

## **Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität**

### **STROMbegleitung**

im Rahmen der Förderbekanntmachung

*Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM)*

des BMBF

### **Abschlussbericht des Verbundvorhabens**

an das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Förderkennzeichen: 13N11855 & 13N11856

März 2015

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**Abschlussbericht**

Dieser Bericht ist Ergebnis des Verbundprojekts „STROMbegleitung – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität“ im Rahmen der Förderbekanntmachung im Themenfeld *Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM)*.

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen 13N11855 & 13N11856 durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Bitte den Bericht folgendermaßen zitieren:

DLR und Wuppertal Institut (2014): Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität (STROMbegleitung). Abschlussbericht im Rahmen der Förderung des Themenfeldes „Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM)“ an das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Stuttgart, Wuppertal, Berlin.

**Projektlaufzeit:** Oktober 2011 – September 2014

**Projektkoordination:** Matthias Klötzke, DLR

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)  
Institut für Fahrzeugkonzepte  
Pfaffenwaldring 38–40, 70569 Stuttgart  
Tel.: 0711 6862-255, Fax: -258  
Mail: matthias.kloetzke@dlr.de



**Projektpartner:**

Dr. Claus Barthel  
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (WI)  
Forschungsgruppe 1 „Zukünftige Energie- und Mobilitätsstrukturen“  
Döppersberg 19, 42103 Wuppertal  
Tel.: 0202 2492-166, Fax: -198  
Mail: claus.barthel@wupperinst.org



Danny Kreyenberg  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)  
Institut für Verkehrsforschung  
Rutherfordstraße 2  
12489 Berlin  
Tel.: 030 67055-0, Fax: -102  
Mail: danny.kreyenberg@dlr.de



**Autor(inn)en:**

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR):**

Benjamin Frieske, Matthias Klötzke, Danny Kreyenberg

**Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (WI):**

Katrin Bienge, Philipp Hillebrand, Hanna Hüging, Thorsten Koska, Julian Monscheidt, Michael Ritthoff, Ole Soukup, Julia Tenbergen

**Weitere Mitarbeiter:**

Arne Höttl (DLR), Markus Mehlin (DLR), Michael Schmitt (DLR), Stefan Trommer (DLR), Julian Veitengruber (DLR), Evgenia Alexopoulou (WI), Dr. Claus Barthel (WI), Lukas Korella (WI), Dr. Peter Viebahn (WI)

Das Verbundprojekt wurde vom DLR und WI gemeinsam im Auftrag des BMBF durchgeführt.





## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Verzeichnis von Abkürzungen, Einheiten und Symbolen	v
Tabellenverzeichnis	xi
Abbildungsverzeichnis	xv
1 Kurzfassung	25
2 Einleitung	31
3 Begleitung der Förderprojekte	33
4 Trendanalyse Fahrzeugtechnik und -konzepte	35
4.1 Internationale Trends bei Fahrzeugkonzepten	35
4.1.1 Aufbau der Datenbank	36
4.1.2 Komponenten für elektrifizierte Antriebskonzepte	37
4.1.3 Ergebnisse	39
4.2 Internationales Technologiemonitoring	54
4.2.1 Patent- und Publikationsanalyse „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter Pkw“	56
4.2.2 Patent- und Publikationsanalyse „Elektrische Maschine im Antriebsstrang elektrifizierter Pkw“	77
4.3 Untersuchung der Auswirkungen technologischer und konzeptioneller Verbesserungen auf den Fahrzeugenergieverbrauch	110
4.4 Auswirkungen geänderter Rahmenbedingungen auf den deutschen Neuwagenmarkt	125
5 Regionale Übersicht zum Monitoring der Elektromobilitätsarena	137
5.1 Vorgehen und Methodik	137
5.2 Zusammenfassung der Regionalstudien	139
5.2.1 Deutschland	139
5.2.2 Europa	157
5.2.3 USA	173

5.2.4	Japan	182
5.2.6	China	194
5.2.7	Indien	201
5.2.8	Entwicklungen außerhalb der Fokusbänder	212
5.3	Vergleichende Globalstudie	215
5.3.1	Regierung/Politik/Öffentliche Infrastruktur	215
5.3.2	Forschungsförderung und Institutionen	223
5.3.3	Wirtschaft und Industrie	232
5.3.4	Verbraucher und Marktentwicklung	240
5.3.5	Zentrale Erkenntnisse – Deutschland im internationalen Vergleich	249
6	Materialintensitätsanalysen	253
6.1	Hintergrund	253
6.2	Methodischer Aufbau	254
6.2.1	Ziel und Untersuchungsrahmen	254
6.2.2	Analyseschritte	255
6.2.3	Bewertungsansätze	256
6.2.4	Begriffsdefinitionen	257
6.3	Technologieauswahl	258
6.3.1	Vorgehensweise	258
6.3.2	Auswahl der Fahrzeugsegmente	258
6.3.3	Auswahl von Antriebskonzepten	259
6.3.4	Technische Eigenschaften und Komponenten der Typfahrzeuge	262
6.3.5	Prozessketten und Technologiepfade	265
6.3.6	Fazit der Technologieauswahl	267
6.4	Analyse bestehender Lebenszyklusstudien	269
6.4.1	Vorgehensweise und Zielsetzung	269
6.4.2	Berücksichtigte Studien	269
6.4.3	Ergebnis der Auswertung	273
6.5	Erstellung von Materialintensitätsanalysen	275
6.5.1	Beschreibung der Materialintensitätsanalyse nach der MIPS-Methodik	275
6.5.2	Herleitung der Materialinventare von Systemkomponenten	276
6.5.3	Ergebnisse der MAIA auf Fahrzeugebene	289
6.5.4	Treibhauspotential	297
6.5.5	Daten- und Forschungsbedarf	300
6.6	Definition langfristiger Verkehrsszenarien	301

6.6.1	Ziel und Vorgehensweise	301
6.6.2	Verkehrsleistung in Deutschland und der Welt	302
6.6.3	Pkw Bestandsentwicklung in Deutschland und der Welt	304
6.6.4	Pkw-Fahrleistung und Pkw-Lebensdauer in Deutschland und der Welt	308
6.6.5	Verkehrsszenarien dieser Arbeit (Deutschland)	311
6.6.6	Verkehrsszenarien dieser Arbeit (Welt)	312
6.6.7	Daten- und Forschungsbedarf	313
6.7	Kumulierter Materialbedarf und THG-Emissionen der Verkehrsszenarien	314
6.7.1	Vorgehensweise	314
6.7.2	Abiotischer Materialbedarf Deutschland	316
6.7.3	Abiotischer Materialbedarf Welt	319
6.7.4	Treibhausgasemissionen Deutschland	321
6.7.5	Treibhausgasemissionen Welt	324
6.8	Risiken und Knappheitsfragen	327
6.8.1	Untersuchungsrahmen	328
6.8.2	Seltene Erden	329
6.8.3	Lithium	338
6.8.4	Silber	343
6.8.5	Gold	345
6.8.6	Palladium und Platin	346
6.8.7	Gallium	349
6.8.8	Indium	349
6.8.9	Germanium	351
6.8.10	Tantal	351
6.8.11	Zusammenfassung des Optimierungsbedarfs	353
6.9	Alternativszenario zum optimierten Umgang mit kritischen Ressourcen	354
6.9.1	Beschleunigter Technologiewechsel von PSM zu ASM	354
6.9.2	Verstärkter Einsatz Erneuerbarer Energien für die Fahrzeugnutzung	355
6.9.3	Lithium-Recycling	359
6.9.4	Fahrzeuglebensdauer	360
6.9.5	Ersatz von Tantal-Kondensatoren	361
6.9.6	Bewertung des optimierten Szenarios	361
6.10	Fazit der Materialintensitätsanalyse	362
6.10.1	Ergebnisse der Materialintensitätsanalyse auf Fahrzeugebene	363
6.10.2	Ergebnisse der Materialintensitätsanalyse auf Szenarioebene	363
6.10.3	Fazit abiotischer Materialbedarf und Treibhauspotenzial	365
6.10.4	Ergebnisse zur Kritikalität/Verfügbarkeit von Rohstoffen für die Elektromobilität	365

7	Synthese und integrierte Bewertung	367
7.1	Forschungseffizienz	367
7.1.1	Wissensbasis und technologische Basis im Vergleich	367
7.1.2	Forschungsförderung im Vergleich	374
7.2	Fahrzeuge und Technologien	378
7.2.1	Fahrzeuge	378
7.2.2	Technologien	381
7.3	Marktentwicklung	384
7.3.1	Status quo der Marktentwicklung	384
7.3.2	Marktperspektiven in Deutschland	384
7.3.3	Marktperspektiven international	387
7.3.4	Einflussfaktoren auf die Marktentwicklung	388
7.4	Umweltwirkung und Rohstoffkritikalität	392
7.4.1	Politische Motive und Strategien	392
7.4.2	Einbindung der Elektromobilität ins Energiesystem	393
7.4.3	Materialbedarf und Treibhauspotenzial der Elektromobilität	394
8	Handlungsempfehlungen	399
9	Literaturverzeichnis	403
Anhang A	Auflistung der in der Fahrzeugkonzeptdatenbank erfassten Fahrzeuge	421
Anhang B	Erläuterung zu nicht berücksichtigten Studien der Materialintensitätsanalyse im Rahmen der Analyse bestehender Lebenszyklusanalysen	429
Anhang C	Herleitung der Materialinventare von Systemkomponenten (Skalierungsfaktoren, Materialinventare)	431

## Verzeichnis von Abkürzungen, Einheiten und Symbolen

### Abkürzungen

Abb.	Abbildung
ACEA	European Automobile Manufacturers' Association
ADP	Abiotic Depletion Potential
AFDC	Alternative Fuels Data Center
AFST	Alternate Fuels for Surface Transportation
ARAI	Automotive Research Association of India
ARRA	American Recovery and Reinvestment Act of 2009
ASM	Asynchronmaschine
B	Benzin
B/BB	Berlin/Brandenburg
B7	Dieselmotortreibstoff, 7- Vol.-%- Biodiesel
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BEM	Bundesverband EMobilität
BEV	Batterieelektrisches Fahrzeug (Battery Electric Vehicle)
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMF	Bundesministerium der Finanzen
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (heute BMUB)
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BW	Baden-Württemberg
BY	Bayern
CADC	Common Artemis Driving Cycles
CATARC	China Automotive Technology and Research Center
CCFA	Comité des Constructeurs Français d'Automobiles
CDV	Clean Diesel Vehicle
CFK	Kohlefaserverbundwerkstoffe
CNG	Compressed Natural Gas (Erdgas)
COE	Centres of excellence'
CSP	Concentrated Solar Power
D	Diesel
DCTI	Deutsches Clean-Tech Institut
DDI	Deutsches Dialog Institut
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DOE	Department of Energy (US-Energieministerium)



---

E10	Ottokraftstoff, 10- Vol.-%- Bio-Ethanol
E5	Ottokraftstoff, 5- Vol.-%- Bio-Ethanol
EEA	European Environment Agency
EEO	European Electro-Mobility Observatory
E-Fahrzeug	Elektrofahrzeug
EGVI	European Green Vehicle Initiative
EM	Elektrische Maschine, Elektromobilität
EMOTOR	Energiespeicher-Monitoring für die Elektromobilität
EPC	European Patent Office
EREC	European Renewable Energy Council
ESMT	European School of Management and Technology
EVI	Electric Vehicles Initiative
FCEV	Brennstoffzellenfahrzeug (Fuel Cell Electric Vehicle)
F-ISI	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
fka	Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen Aachen
FuE	Forschung und Entwicklung
FYP	Five-Year-Plan
G	Benzin (Gasoline)
GaAs	Galliumarsenid
GaN	Galliumnitrid
GBP	Britisches Pfund (Great Britain Pound)
GWP	Global Warming Potential
HDPE	High Density Polyethylene
HEV	Hybridelektrisches Fahrzeug (Hybrid Electric Vehicle)
HiStockHiEV	Szenariobezeichnung: hoher Fahrzeugbestand, hoher Anteil elektrischer Antriebe
HiStockLoEV	Szenariobezeichnung: hoher Fahrzeugbestand, niedriger Anteil elektrischer Antriebe
HOV	High occupancy vehicle
IA-HEV	Implementing Agreement for co-operation on Hybrid and Electric Vehicle Technologies and Programmes
ICCT	International Council on Clean Transportation
ICE(V)	Konventionelles verbrennungsmotorisches Fahrzeug (Internal Combustion Engine (Vehicle))
IEA	International Energy Agency
IEC	International Electrotechnical Commission
IEKP	Integriertes Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung
IFA	Invest in France Agency
InfE	Ingenieurbüro für neue Energien
IGBT	Insulated-Gate Bipolar Transistor
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IM	Induction Machine
INR	Indische Rupie
IP	Intellectual Property
IPC	International Patent Classification
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change

ISO	International Organization for Standardization
IWES	Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik
KBA	Kraftfahrtbundesamt
KEA	Kumulierter Energieaufwand
Kfz	Kraftfahrzeug
KiD	Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland
KMU	Kleine und Mittelständische Unternehmen
KraftStG	Kraftfahrzeugsteuergesetz
KRESSE	Kritische mineralische Ressourcen und Stoffströme bei der Transformation des deutschen Energieversorgungssystems (Projekt des Wuppertal Instituts)
LCA	Life Cycle Assessment
LCVPP	Low Carbon Vehicle Public Procurement Programme
LFP	Lithium-Eisen-Phosphat
LiS	Lithium-Schwefel
Lkw	Lastkraftwagen
LMO	Lithium-Mangan-Oxid
LoStockHiEV	Szenariobezeichnung: niedriger Fahrzeugbestand, hoher Anteil elektrischer Antriebe
LoStockLoEV	Szenariobezeichnung: niedriger Fahrzeugbestand, niedriger Anteil elektrischer Antriebe
MAIA	Materialintensitätsanalyse
Max	Maximum
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell (Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle)
METI	Ministry of Economy, Trade and Industry (Japanisches Ministerium für Wirtschaft, Handel und Industrie)
MEXT	Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (Japanisches Ministerium für Bildung, Kultur, Sport, Wissenschaft und Technologie)
MI	Materialinput
MiD	Mobilität in Deutschland
Min	Minimum
MIPS	Material-Input pro Service-Einheit
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MLIT	Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (Japanisches Ministerium für Land, Infrastruktur, Transport und Tourismus)
MNRE	Ministry of New and Renewable Energy
MOEJ	Ministry of the Environment, Japan (Japanisches Ministerium für Umwelt)
MoHIPE	Ministry of Heavy Industries and Public Enterprises (Japanisches Ministerium für Schwerindustrie und staatliche Unternehmen)
MOP	Deutsches Mobilitätspanel
MOSFET	Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor
NAB	National Automotive Board
NBEM	National Board for Electric Mobility
NCEM	National Council for Electric Mobility
NEDC	Neuer Europäischer Fahrzyklus (New European Driving Cycle)
NEDO	New Energy and Industrial Technology Development Organization (Japan)
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus

---

NEMMP	National Electric Mobility Mission Plan
NeV	Next Generation Vehicle Promotion Center
NEV	New Energy Vehicle
NI	Niedersachsen
NiMH	Nickel-Metallhydrid-Akkumulator
NOK	Norwegische Krone
NOW	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
NO <sub>x</sub>	Stickstoffoxid
NPE	Nationale Plattform Elektromobilität
NRW	Nordrhein-Westfalen
OEM	Original Equipment Manufacturer
OICA	Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles
OLEV	Office of Low Emission Vehicles
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OPTUM	Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen
ÖSPV	Öffentlicher Schienenpersonenverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PE, LE	Leistungselektronik (Power Electronics)
PEMFC	Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle
PEV	Plug-in Elektrisches Fahrzeug (Plug-In Electric Vehicle); PHEV, REEV, BEV & FCEV
PHEV	Plug-in Hybridelektrisches Fahrzeug (Plug-In Hybrid Electric Vehicle)
Pkw	Personenkraftwagen
PSM	Permanenterregte Synchronmaschine
PWB	Printed Wiring Board (Leiterplatte)
REEV	Reichweitenverlängertes Elektrofahrzeug (Range Extended Electric Vehicle)
REG	Erneuerbare Energien
RER	Europa
RISING	Research & Development Initiative for Scientific Innovation of New Generation Batteries
RMB	Chinesische Renminbi
SA	Sachsen
SEE	Seltenerdelemente
SEO	Seltenerdoxide
Si	Silizium
SiC	Siliziumkarbid
SMMT	Society of Motor Manufacturers & Traders
SOFC	Festoxid-Brennstoffzelle
SRM	Switched Reluctance Machine (Geschaltete Reluktanzmaschine)
SSM	Stromerregte Synchronmaschine
STROM	Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität
Tab.	Tabelle
TCO	Total Cost of Ownership
TFM	Transversalflussmaschine
THG	Treibhausgas

---

TMR	Total Material Requirement
TRL	Transport and Research Laboratory
TÜV	Technischer Überwachungsverein
UCTE	Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity
UK	Großbritannien (United Kingdom)
UMBR <sub>e</sub> LA	Umweltbilanzen Elektromobilität
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
USGS	United States Geological Survey
VDA	Verband der Automobilindustrie
VW	Volkswagen
WBG	Wide-Bandgap-Halbleitermaterialien
WI	Wuppertal Institut für Klima Umwelt, Energie GmbH
xEV	Elektrofahrzeug (Electric Vehicle)
ZEV	Zero Emission Vehicle

## Einheiten und Symbole

\$	US-Dollar
%	Prozent
€	Euro
°C	Grad Celsius
a	annum
Ag	Silber
Al	Aluminium
Au	Gold
B	Bor
Ce	Cer
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CO <sub>2</sub> -Äq.	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
Dy	Dysprosium
Er	Erbium
Eu	Europium
g	Gramm
Gd	Gadolinium
Ge	Germanium
Gt	Gigatonne
h	Stunde
H	Wasserstoff
H <sub>2</sub>	Wasserstoff
H <sub>2</sub> O	Wasser
Ho	Holmium
In	Indium

---

KCl	Kaliumchlorid
kg	Kilogramm
km	Kilometer
kt	Kilotonne
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
l	Liter
La	Lanthan
Li	Lithium
Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Lithiumkarbonat
Lu	Lutetium
Mg	Magnesium
Mio.	Million
MJ	Mega-Joule
Mrd.	Milliarde
Mt	Megatonne
NaCl	Natriumchlorid
Nb	Niob
Nd	Neodym
Nm <sup>3</sup>	Normkubikmeter
Pd	Palladium
pkm	Personenkilometer
Pm	Promethium
ppm	Parts per million
Pr	Praseodym
Pt	Platin
s	Sekunde
Sc	Scandium
Sm	Samarium
t	Tonne
Ta	Tantal
Tb	Terbium
Tm	Thulium
Vol.-%	Volumenprozent
Y	Yttrium

## Tabellenverzeichnis

Tab. 4-1	Top-20-Patentanmelder im Bereich Leistungselektronik nach Anzahl der Erfindungen	60
Tab. 4-2	Top-20-Patentanmelder im Bereich Wechselrichter nach Anzahl der Erfindungen	64
Tab. 4-3	Top-20-Patentanmelder im Bereich Wechselrichter ohne Einschränkung auf elektrifizierte Pkw nach Anzahl der Erfindungen	65
Tab. 4-4	Top-20-Patentanmelder im Bereich Kondensator nach Anzahl der Erfindungen	67
Tab. 4-5	Top-20-Patentanmelder im Bereich Halbleiter nach Anzahl der Erfindungen	69
Tab. 4-6	Top-20-Patentanmelder im Bereich SiC nach Anzahl der Erfindungen	72
Tab. 4-7	Top-20-Patentanmelder im Bereich GaN nach Anzahl der Erfindungen	75
Tab. 4-8	Top-20-Patentanmelder im Bereich „Elektrische Maschine“ nach Anzahl der Erfindungen	80
Tab. 4-9	Top-20-Patentanmelder im Bereich „Synchronmaschine“ nach Anzahl der Erfindungen	87
Tab. 4-10	Top-20-Patentanmelder im Bereich „Synchronmaschine erweitert“ nach Anzahl der Erfindungen	89
Tab. 4-11	Top-20-Patentanmelder im Bereich „Asynchronmaschine erweitert“ nach Anzahl der Erfindungen	93
Tab. 4-12	Top-20-Patentanmelder im Bereich „Reluktanzmaschine erweitert“ nach Anzahl der Erfindungen	95
Tab. 4-13	Top-20-Patentanmelder im Bereich „Transversalflussmaschine erweitert“ nach Anzahl der Erfindungen	97
Tab. 4-14	Top-20-Patentanmelder im Bereich „Stator“ nach Anzahl der Erfindungen	100
Tab. 4-15	Top-20-Patentanmelder im Bereich „Rotor“ nach Anzahl der Erfindungen	102
Tab. 4-16	Top-20-Patentanmelder im Bereich „Wicklungen“ nach Anzahl der Erfindungen	104
Tab. 4-17	Top-20-Patentanmelder im Bereich „Thermomanagement“ nach Anzahl der Erfindungen	106
Tab. 4-18	Top-20-Patentanmelder im Bereich „Permanentmagnete“ nach Anzahl der Erfindungen	109
Tab. 4-19	Entwicklung der Preise für Energieträger	128
Tab. 5-1	Fokusregionen und beauftragte Institutionen	138
Tab. 5-2	Förderschwerpunkte der deutschen Ministerien	141
Tab. 5-3	Budget der verschiedenen Ministerien zur Weiterentwicklung der Elektromobilität im Jahr 2012	144
Tab. 5-4	Förderprojekte in den sechs Leuchttürmen der NPE in Deutschland mit Stand 2012	145

Tab. 5-5	Überblick über die vier Schaufensterregionen im Demonstrationsprogramm "Schaufenster Elektromobilität"	148
Tab. 5-6	HEV-, PHEV- und BEV-Modelle deutscher Automobilhersteller mit Angabe der Markteinführung	150
Tab. 5-7	Überblick über ausgewählte Studien zur Marktdurchdringung von BEV/PHEV	156
Tab. 5-8	Gesamtzahl produzierter Pkw und Anteil der Automobilindustrie am BIP in den fünf Fallstudienregionen	168
Tab. 5-9	Gesamtzahl, und Marktanteile von BEV und PHEVs im Pkw Bereich in den fünf Fallstudienregionen	170
Tab. 5-10	Überblick über projizierte Marktanteile von xEVs an den Pkw-Neuregistrierungen in ausgewählten Ländern	172
Tab. 5-11	Kaufanreize für ZEV-Fahrzeuge auf US-Bundesstaatenebene	176
Tab. 5-12	Verkaufszahlen Pkw in den USA 2007 - 2014	180
Tab. 5-13	Entwicklung des japanischen Subventionssystems 2008 - 2012	184
Tab. 5-14	Ausgewählte finanzielle Anreize zur Förderung emissionsarmer Fahrzeuge in Japan	185
Tab. 5-15	Produktion von PHEVs, BEVs und HEVs in Japan 2009-2012	189
Tab. 5-16	Eckdaten zum Bestand und Verkäufen von PHEV, BEV und HEV in Japan 2009- 2012	191
Tab. 5-17	Marktperspektiven von xEVs in Japan auf Basis von Schätzungen der Study Group on Next Generation Vehicle Strategy	192
Tab. 5-18	Geschätzter Investitionsbedarf im Bereich Elektromobilität in Indien	205
Tab. 5-19	Regierungsziele zur Verbreitung von xEVs im Vergleich	216
Tab. 5-20	Struktur der Subventionen in ausgewählten Ländern im Vergleich	218
Tab. 5-21	Ausbauziele für Ladeinfrastruktur im Vergleich	221
Tab. 5-22	Verteilung der nötigen Investitionssummen auf die verschiedenen Forschungsfelder	228
Tab. 5-23	Gesamtförderbudget zentraler Demonstrationsprojekte in der öffentlichen Förderung im Vergleich	231
Tab. 6-1	Begriffsdefinitionen der Materialintensitätsanalyse	257
Tab. 6-2	Antriebskonzepte und deren Zusammensetzung aus Systemkomponenten	268
Tab. 6-3	Übersicht der verwendeten Quellen zur Bestimmung der Materialinventare der jeweiligen Systemkomponenten und der Energiebereitstellung	274
Tab. 6-4	Gegenüberstellung der Komponentenmasse aus Literatur und der verwendeten Datenbasis für einen HEV für das Jahr 2010 und daraus resultierende Skalierungsfaktoren	277
Tab. 6-5	Übersicht der Verlustfaktoren ausgewählter Materialien	278

Tab. 6-6	Materialzusammensetzung und zugeordnete Ecoinventprozesse für den Verbrennungsmotor	279
Tab. 6-7	Materialzusammensetzung des Permanentmagneten	281
Tab. 6-8	Materialbedarf an kritischen Rohstoffen für die Leistungselektronik je Antriebskonzept	282
Tab. 6-9	Annahmen bezüglich der Kraftstoff- bzw. Energiebereitstellung für die Nutzungsphase	285
Tab. 6-10	Material- und Energiebedarf für die Produktion von 1 kg H <sub>2</sub> durch alkalische Elektrolyse	286
Tab. 6-11	Materialbedarf kritischer Rohstoffe für die Strombereitstellung	289
Tab. 6-12	Übersicht der Materialien mit anteilig höchstem abiotischem Materialbedarf für den BEV und ICEV-B in 2010	293
Tab. 6-13	Anteile des abiotischen Materialbedarfs der Systemkomponenten an der Herstellung und der Lebenszyklusphasen an dem gesamten Materialbedarf für das Jahr 2010 [in %] (Nutzungsphase = 10 Jahre mit dem Deutschland-Szenario)	294
Tab. 6-14	Anteile des abiotischen Materialbedarfs der Systemkomponenten an der Herstellung sowie Anteile der Lebenszyklusphasen an dem gesamten Materialbedarf für das Jahr 2050 [in %] (Nutzungsphase = 10 Jahre mit dem Deutschland-Szenario)	296
Tab. 6-15	Entwicklung der Verkehrsleistung im Personenverkehr in Deutschland von 1975 - 2010	303
Tab. 6-16	Pkw-Bestand und Neuzulassungen in Deutschland nach Kraftstoffart (Statistisches Bundesamt 2013)	304
Tab. 6-17	Pkw-Bestand in Deutschland nach Segment in 2012 und 2008 (Statistisches Bundesamt 2013)	305
Tab. 6-18	Verschiedene Verkehrserhebungen im Vergleich	309
Tab. 6-19	Vergleich Pkw-Fahrleistung [in km pro Pkw und Jahr] nach Fahrzeugsegment und Kraftstoffart von MiD 2008 und Fahrleistungserhebung BASt 2002	310
Tab. 6-20	Pkw Bestand Deutschland in Szenarien 2010 – 2050	312
Tab. 6-21	Gehalte an Seltenerdoxiden bei wichtigen Seltenerdmineralen	331
Tab. 6-22	Größe und Gehalte verschiedener Seltenerdlagerstätten	336
Tab. 6-23	Kosten der Gewinnung von Lithium aus Salzlaugen	340
Tab. 6-24	Kosten der Gewinnung von Lithium aus Spodumen	340
Tab. 6-25	Kosten der Gewinnung von Lithium durch Auslaugung von Ton	340
Tab. 7-1:	Überblick über die STROM V21 Szenarien	385
Tab. 10-1	Masse des Gliders nach (Huss, Maas, & Hass, 2013) und die resultierenden Skalierungsfaktoren der jeweiligen Antriebskonzepte für den Zeitraum 2010 bis 2030	431



---

Tab. 10-2	Masse des Verbrennungsmotors nach (Huss, Maas, & Hass, 2013) und die resultierenden Skalierungsfaktoren der jeweiligen Antriebskonzepte für den Zeitraum 2010 bis 2030	431
Tab. 10-3	Masse des Restantriebsstrangs nach (Huss, Maas, & Hass, 2013) und die resultierenden Skalierungsfaktoren der jeweiligen Antriebskonzepte für den Zeitraum 2010 bis 2030	432
Tab. 10-4	Tankmasse der jeweiligen Antriebskonzepte für den Zeitraum 2010 bis 2030	432
Tab. 10-5	Masse des Elektromotors nach (Huss, Maas, & Hass, 2013) und die resultierenden Skalierungsfaktoren der jeweiligen Antriebskonzepte für den Zeitraum 2010 bis 2030	433
Tab. 10-6	Materialinventar eines PSM und ASM, skaliert für HEV und den Zeitraum 2030	433
Tab. 10-7	Masse des Generators nach (Huss, Maas, & Hass, 2013) und die resultierenden Skalierungsfaktoren des Antriebskonzeptes für den Zeitraum 2010 bis 2030	434
Tab. 10-8	Masse des Leitungssatzes nach (Huss, Maas, & Hass, 2013) und die resultierenden Skalierungsfaktoren der jeweiligen Antriebskonzepte für den Zeitraum 2010 bis 2030	434
Tab. 10-9	Masse der Batterie der jeweiligen Antriebskonzepte für den Zeitraum 2010 bis 2030	434
Tab. 10-10	Masse der Brennstoffzelle nach (Huss, Maas, & Hass, 2013) und die resultierenden Skalierungsfaktoren des Antriebskonzeptes für den Zeitraum 2010 bis 2030	434
Tab. 10-11	Materialzusammensetzung für eine PEM-Brennstoffzelle	435
Tab. 10-12	Ecoinventprozesse zur Stromproduktion (electricity, production mix)	435

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 4-1	Anzahl der jährlich international vorgestellten elektrifizierten Fahrzeuge nach Antriebsstrangkonzzept	36
Abb. 4-2	Aufbau der Fahrzeugdatenbank	37
Abb. 4-3	Verteilung der identifizierten Fahrzeuge nach Heimatländern der Hersteller und Institutionen (alle Entwicklungsstufen 2001–2013)	39
Abb. 4-4	Gesamtzahl elektrifizierter Fahrzeuge nach Fahrzeugsegmenten von 2001 bis 2013	40
Abb. 4-5	Gesamtzahl der Fahrzeuge nach Elektrifizierungsgraden von 2001 bis 2013	40
Abb. 4-6	Anzahl der angekündigten und eingeführten Serienmodelle elektrifizierter Fahrzeuge nach Herstellern zwischen 2000 und 2013	41
Abb. 4-7	Elektrifizierte Fahrzeugkonzepte in den einzelnen Fahrzeugsegmenten von 2000 bis 2013	42
Abb. 4-8	Konzeptansatz elektrifizierter Fahrzeugkonzepte nach Fahrzeugherstellern	43
Abb. 4-9	Jährliche Anzahl der jeweiligen Antriebsstrangvarianten in neu vorgestellten Fahrzeugen	44
Abb. 4-10	Anzahl der jährlich neu vorgestellten Serienfahrzeuge sowie Prototypen und Konzepte mit elektrifiziertem Antriebsstrang	44
Abb. 4-11	Elektrifizierungsgrad der vorgestellten Fahrzeuge nach Fahrzeugherstellern	45
Abb. 4-12	Anteil der Elektrifizierungsvarianten pro Fahrzeuggewicht und Verteilung der elektrifizierten Fahrzeugkonzepte über Fahrzeuggewicht	46
Abb. 4-13	Anteil der Elektrifizierungsvarianten pro Systemleistungsklasse und Verteilung der elektrifizierten Fahrzeugkonzepte über Systemleistung	47
Abb. 4-14	Entwicklung der Anzahl der Fahrzeuge, welche mit den jeweiligen Energiespeichertechnologien ausgerüstet sind.	47
Abb. 4-15	Anteile der Energiespeichertechnologien bei den diversen Elektrifizierungsvarianten	48
Abb. 4-16	Entwicklung der Anzahl der Fahrzeuge mit Maschinen der jeweiligen Erregungsart	48
Abb. 4-17	Anteil der Erregungsarten an Elektrifizierungsgraden	49
Abb. 4-18	Installierte Antriebsleistung pro Fahrzeugmasse bei batterieelektrischen Fahrzeugen (ohne Slow-Speed-Vehicles)	50
Abb. 4-19	Installierte Batteriekapazität pro Fahrzeugmasse bei batterieelektrischen Fahrzeugen (ohne Slow-Speed-Vehicles)	51
Abb. 4-20	Installierte Antriebsleistung pro Fahrzeugmasse bei Plug-in-Hybriden	51
Abb. 4-21	Installierte Batteriekapazität pro Fahrzeugmasse bei Plug-in-Hybriden	52
Abb. 4-22	Installierte Antriebsleistung pro Fahrzeugmasse bei Voll-Hybriden	52

Abb. 4-23	Installierte Batteriekapazität pro Fahrzeugmasse bei Voll-Hybriden	53
Abb. 4-24:	Betrachtete Technologiefelder im Bereich Leistungselektronik	57
Abb. 4-25:	Anteil Patente für betrachtete Weltregionen	57
Abb. 4-26:	Anzahl Patente nach Weltregionen 2000–2012	59
Abb. 4-27	Anteil Patente im Bereich „Wandlertypen“	61
Abb. 4-28	Anteil Patente im Bereich „Wandler“ nach Weltregionen 2000–2012	62
Abb. 4-29	Anteil Patente nach „Wandlertypen“ über Weltregionen	62
Abb. 4-30	Anzahl Patente im Bereich Wechselrichter nach Weltregionen 2000–2012	63
Abb. 4-31	Anzahl Patente im Bereich Kondensator nach Weltregionen 2000–2012	66
Abb. 4-32	Anzahl Patente im Bereich Halbleiter nach Weltregionen 2000–2012	68
Abb. 4-33	Anzahl Patente im Bereich SiC nach Weltregionen 2000–2012	71
Abb. 4-34	Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich SiC nach Weltregionen	72
Abb. 4-35	Innovationsnetzwerk im Bereich SiC – Denso (JP) und Nissan (JP)	73
Abb. 4-36	Innovationsnetzwerk im Bereich SiC – Siemens (DE) und Cree (US)	73
Abb. 4-37	Anzahl Patente im Bereich GaN nach Weltregionen 2000–2012	74
Abb. 4-38	Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich GaN nach Weltregionen	76
Abb. 4-39	Innovationsnetzwerk im Bereich GaN – Sumitomo Electric Industries (JP) und Matsushita (JP)	76
Abb. 4-40	Innovationsnetzwerk im Bereich GaN – Toyota Motor (JP) und Cree (US)	77
Abb. 4-41	Betrachtete Technologiefelder im Bereich „Elektrische Maschine“	77
Abb. 4-42	Anzahl Patente im Bereich „Elektrische Maschine im Antriebsstrang elektrifizierter Pkw“ 2000–2012	78
Abb. 4-43	Anteil Patente nach Weltregionen	78
Abb. 4-44	Anzahl Patente nach Weltregionen 2000–2012	79
Abb. 4-45	Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich „Elektrische Maschinen im Antriebsstrang elektrifizierter Pkw“	81
Abb. 4-46	Anteile der Erfindungen im Bereich „Bauformen“	83
Abb. 4-47	Anteil Patente im Bereich „Bauformen“ nach Weltregionen 2000–2012	84
Abb. 4-48:	Anteil Patente nach Bauformen über Weltregionen	84
Abb. 4-49	Anteil Publikationen nach Bauformen über Weltregionen	85
Abb. 4-50	Anzahl Patente im Bereich „Synchronmaschine“ nach Weltregionen 2000–2012	86
Abb. 4-51	Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich „Synchronmaschine“	88
Abb. 4-52	Innovationsnetzwerke im Bereich „Synchronmaschine“ – Toyota Motor (JP) und Hitachi (JP)	90
Abb. 4-53	Anzahl Patente im Bereich „Asynchronmaschine“ nach Weltregionen 2000–2012	91

Abb. 4-54	Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich „Asynchronmaschine“	91
Abb. 4-55	Anzahl Patente im Bereich „Asynchronmaschine erweitert“ nach Weltregionen 2000–2012	92
Abb. 4-56	Anzahl Patente im Bereich „Reluktanzmaschine“ nach Weltregionen 2000–2012	94
Abb. 4-57	Anzahl Patente im Bereich „Reluktanzmaschine erweitert“ nach Weltregionen 2000–2012	94
Abb. 4-58	Anzahl Patente im Bereich „Transversalflussmaschine erweitert“ nach Weltregionen 2000–2012	96
Abb. 4-59	Schwerpunkte der Publikationen nach Weltregionen und Komponenten/Bauteilen	98
Abb. 4-60	Anzahl Patente im Bereich „Stator“ für alle Bauformen nach Weltregionen 2000–2012	99
Abb. 4-61	Anzahl Patente im Bereich „Rotor“ für alle Bauformen nach Weltregionen 2000–2012	101
Abb. 4-62	Anteil Patente im Bereich „Wicklungen“ für Bauformen nach Weltregionen 2000–2012	103
Abb. 4-63	Anzahl Patente im Bereich „Thermomanagement“ für alle Bauformen nach Weltregionen 2000–2012	105
Abb. 4-64	Anteil Patente im Bereich „Thermomanagement“ für Bauformen nach Weltregionen 2000–2012	105
Abb. 4-65	Anzahl Patente im Bereich „Permanentmagnete“ für Synchron-, Reluktanz- und Transversalflussmaschine nach Weltregionen 2000–2012	108
Abb. 4-66	Für die Simulation verwendete Antriebsarchitekturen (links: ICE, mitte: PHEV, rechts: BEV)	111
Abb. 4-67	Effizienzkennfeld der verwendeten elektrischen Maschine	111
Abb. 4-68	Geschwindigkeitsprofil des Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEDC)	112
Abb. 4-69	Geschwindigkeitsprofil des CADC-Urban-Fahrzyklus	112
Abb. 4-70	Geschwindigkeitsprofil des CADC-Road-Fahrzyklus	113
Abb. 4-71	Geschwindigkeitsprofil des CADC-Motorway-Fahrzyklus	113
Abb. 4-72	Endenergieverbrauch der Basisfahrzeuge in den unterschiedlichen Fahrzyklen	114
Abb. 4-73	Änderung des Endenergieverbrauchs des BEV durch Änderung der Fahrzeugmasse	115
Abb. 4-74	Änderung des Energieverbrauchs des PHEV durch die Änderung der Fahrzeugmasse	116
Abb. 4-75	Änderung des Endenergieverbrauchs des ICE durch Änderung der Fahrzeugmasse	117
Abb. 4-76	Einfluss der Änderung der festen Getriebeübersetzung (von 3:1 auf 5:1) auf den Energieverbrauch des BEV	118

Abb. 4-77	Betriebspunkte des BEV (Getriebeübersetzung $i=3$ ) bei simulierter Fahrt durch den CADC Autobahn Zyklus aufgetragen auf das Effizienzkennfeld der elektrischen Maschine	118
Abb. 4-78	Betriebspunkte des BEV (Getriebeübersetzung $i = 5$ ) bei simulierter Fahrt durch den CADC-Motorway-Zyklus aufgetragen auf das Effizienzkennfeld der elektrischen Maschine	119
Abb. 4-79	Betriebspunkte des BEV (Getriebeübersetzung $i = 3$ ) bei simulierter Fahrt durch den CADC-Urban-Zyklus aufgetragen auf das Effizienzkennfeld der elektrischen Maschine	119
Abb. 4-80	Betriebspunkte des BEV (Getriebeübersetzung $i = 5$ ) bei simulierter Fahrt durch den CADC-Urban-Zyklus aufgetragen auf das Effizienzkennfeld der elektrischen Maschine	120
Abb. 4-81	Betriebspunkte des BEV (Getriebeübersetzung $i = 5$ ) bei simulierter Fahrt durch den CADC-Motorway-Zyklus aufgetragen auf das modifizierte Effizienzkennfeld der elektrischen Maschine mit abgesenktem Spitzenwirkungsgrad	120
Abb. 4-82	Betriebspunkte des BEV (Getriebeübersetzung $i = 5$ ) bei simulierter Fahrt durch den CADC-Motorway-Zyklus aufgetragen auf das modifizierte Effizienzkennfeld der elektrischen Maschine mit angehobenem Spitzenwirkungsgrad	121
Abb. 4-83	Absolute und relative Änderung des spezifischen Energieverbrauchs beim BEV durch Eingriffe in die elektrische Maschine	122
Abb. 4-84	Absolute und relative Änderung des spezifischen Energieverbrauchs beim PHEV durch Eingriffe in die elektrische Maschine	122
Abb. 4-85	Betriebspunkte des PHEV bei simulierter Fahrt durch den CADC-Motorway-Zyklus aufgetragen auf das Effizienzkennfeld der elektrischen Maschine	123
Abb. 4-86	Betriebspunkte des PHEV bei simulierter Fahrt durch den CADC-Urban-Zyklus aufgetragen auf das Effizienzkennfeld der elektrischen Maschine	124
Abb. 4-87	Schematische Darstellung der Kundenmodellierung in <i>Vector21</i>	125
Abb. 4-88	Schematischer Aufbau des Kaufprozesses in <i>Vector21</i>	126
Abb. 4-89	Stufen der Kaufentscheidung des Kundenmodells von <i>Vector21</i>	127
Abb. 4-90	Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs (nach Regelung 101 UN/ECE)	128
Abb. 4-91	Neuwagenmarkt Basisszenario	129
Abb. 4-92	Von <i>Vector21</i> berechnete Entwicklung der Batterie-Zellkosten im Basisszenario	129
Abb. 4-93	Entwicklung des Fahrzeugbestands im Basisszenario	130
Abb. 4-94	Änderung der Anzahl der jeweiligen Antriebsstrangvarianten im Fahrzeugbestand für das 1. Alternativszenario gegenüber dem Basisszenario	131
Abb. 4-95	Differenz bei den Batteriekosten in den Alternativszenarien gegenüber dem Basisszenario	132
Abb. 4-96	Änderung der Anzahl der jeweiligen Antriebsstrangvarianten im Neuwagenmarkt für das 2. Alternativszenario gegenüber dem Basisszenario	133

Abb. 4-97	Änderung der Anzahl der jeweiligen Antriebsstrangvarianten im Fahrzeugbestand für das 2. Alternativszenario gegenüber dem Basisszenario	134
Abb. 4-98	Entwicklung des Energieverbrauchs von BEV und PHEV im 3. Alternativszenario	135
Abb. 4-99	Änderung der Anzahl der jeweiligen Antriebsstrangvarianten im Neuwagenmarkt für das 3. Alternativszenario gegenüber dem Basisszenario	135
Abb. 4-100	Änderung der Anzahl der jeweiligen Antriebsstrangvarianten im Fahrzeugbestand für das 3. Alternativszenario gegenüber dem Basisszenario	136
Abb. 5-1	Verteilung der Projektbudgets auf Forschungsbereiche in Deutschland mit Stand 2012	146
Abb. 5-2	Produktion von HEV / PHEV, BEV und konventionellen Fahrzeugen in Deutschland 2010 - 2013	150
Abb. 5-3	Pkw-Bestand in Deutschland im Januar 2014 nach Kraftstoffarten	152
Abb. 5-4	Neuzulassungen von BEV, PHEV / HEV und konventionellen Pkw in Deutschland	153
Abb. 5-5	Marktanteile: Meist verkaufte Modelle nach Herstellern im Jahr 2013	153
Abb. 5-6	Überblick über die Marktdurchdringung von PEV in Deutschland in verschiedenen Szenarienprojektionen (dargestellt auf Basis des Marktanteils in 2020 und 2030 in verschiedene Szenarioprojektionen) [**nur BEV]	155
Abb. 5-7	Förderung der Europäischen Kommission unter der "European Green Cars Initiative"	164
Abb. 5-8	Aufteilung des Förderbudgets auf EU und Mitgliedsstaaten am Gesamtinvestitionsvolumen von 1,4 Mrd Euro	166
Abb. 5-9	Investitionen in FuE Projekte nach Fahrzeugkomponenten im EU-Vergleich	167
Abb. 5-10	Anzahl von BEV und PHEV an Verkäufen/Registrierungen und Marktanteil im Jahr 2013	170
Abb. 5-11	Förderstrategie Elektromobilität USA	174
Abb. 5-12	Ladestationen in den USA inkl. Ladepunkte	176
Abb. 5-13	Anzahl abgesetzter PEV in den USA nach Verkaufsjahr und Herkunftsland	179
Abb. 5-14	Darstellung der Next Generation Vehicle Strategy 2010	183
Abb. 5-15	Entwicklung der Forschungsbudgets für die Elektromobilität in den Fünf-Jahres-Plänen der Zentralregierung	196
Abb. 5-16	Chinas Politik und Aktivitäten im Bereich Elektromobilität	197
Abb. 5-17	Jährliche Autoproduktion in China	198
Abb. 5-18	Projizierte Nachfrage nach xEV in Indien bis 2020 laut NEMMP 2020	202
Abb. 5-19	Gesamthöhe der Subventionen in verschiedenen Ländern für einen Renault Zoe (BEV, 65 kW) im Vergleich zu einem Renault Clio (Benzin, 66 kW)	219
Abb. 5-20	Gesamtkosten (TCO) über vier Jahre in ausgewählten Ländern für einen Renault Zoe (BEV, 65 kW) im Vergleich zu einem Renault Clio (Benzin, 66 kW)	220

Abb. 5-21	Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur in verschiedenen Regionen	221
Abb. 5-22	Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur in verschiedenen Regionen je 100 000 Einwohner	222
Abb. 5-23	Öffentliche Ausgaben zur Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration von Elektromobilität (inkl. Brennstoffzellenfahrzeuge) (2008-2012)	224
Abb. 5-24	Öffentliche Ausgaben zur Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration kumulativ über 2008 - 2012	224
Abb. 5-25	Laufende FuE Förderung zur Elektromobilität in 2014 (bis 2016)	225
Abb. 5-26	Verteilung der Forschungsfördermittel den USA (laut DOE)	226
Abb. 5-27	Verteilung der Forschungsfördermittel in Japan (laut METI,MLIT,NEDO. MEXT-Daten nicht beinhaltet)	227
Abb. 5-28	Verteilung der Forschungsbudgets in Deutschland in den Leuchttürmen der NPE	228
Abb. 5-29	Verteilung der Forschungsfördermittel der Europäischen Kommission im Rahmen der European Green Cars Initiative	229
Abb. 5-30	Gesamtförderbudget zentraler Demonstrationsprojekte in der öffentlichen Förderung im Vergleich	231
Abb. 5-31	Anzahl produzierter Pkw in 2012 in den Untersuchungsregionen	232
Abb. 5-32	PEV-Serienmodelle nach Herstellerländern die zwischen 2006 und 2013 vorgestellt wurden (kumulativ)	233
Abb. 5-33	Anzahl der Konzeptfahrzeuge, Prototypen und der angekündigten und eingeführten elektrischen Fahrzeuge nach Herstellern und Elektrifizierungsgrad, Stand April 2014	234
Abb. 5-34	Anzahl der Konzeptfahrzeuge, Prototypen und der angekündigten sowie eingeführten elektrischen Fahrzeuge nach Herstellern und Designansatz	235
Abb. 5-35	Jährliche Produktion von elektrischen Pkw in Japan und Deutschland	236
Abb. 5-36	Marktanteile der erfolgreichsten Modelle am PEV-Gesamtabsatz in Deutschland 2013	237
Abb. 5-37	Marktanteile der erfolgreichsten Modelle am PEV-Gesamtabsatz in Frankreich 2013	237
Abb. 5-38	Marktanteile der erfolgreichsten Modelle am PEV-Gesamtabsatz in Norwegen 2013	237
Abb. 5-39	Marktanteile der erfolgreichsten Modelle am PEV-Gesamtabsatz in den USA 2013	238
Abb. 5-40	Marktanteile der erfolgreichsten PEV-Modelle am PEV-Gesamtabsatz in Japan 2013	238
Abb. 5-41	Marktanteile der erfolgreichsten PEV-Modelle am PEV-Gesamtabsatz in China 2011	238
Abb. 5-42	Weltweite jährliche Verkäufe von PEV (Pkw) von 2009 bis 2013	240

Abb. 5-43	Jährliche Registrierungen/Verkäufe Marktanteile (Neuwagen) von PEV in den untersuchten Ländern (+ Niederlande, ohne Indien) im Jahr 2013 im internationalen Vergleich	241
Abb. 5-44	Zeitlicher Verlauf der Marktentwicklung von PEV in ausgewählten Ländern, unten: Verlauf im Detail ohne Norwegen <i>Quelle: eigene Darstellung nach</i> (KBA 2014, Grønn Bil 2014, IA-HEV 2012, IA-HEV 2013, OICA 2014, UN/ECE 2014, Hybridcars.com 2014, Regionalstudie Japan, Proff & Kilian 2012)	242
Abb. 5-45	Prognostizierter Marktanteil von BEV und PHEV (inkl. REEV) in 2020 in verschiedenen Studien in Prozent	247
Abb. 5-46	Prognostizierte Verkäufe von BEV und PHEV (inkl. REEV) in 2020 im IEA 2DS Szenario	248
Abb. 6-1	Überblick über die Arbeitsschritte der Materialintensitätsanalyse	255
Abb. 6-2	Anteile der Fahrzeugsegmente am Pkw-Bestand	259
Abb. 6-3	Im Rahmen dieser Studie berücksichtigte Antriebskonzepte des mittleren Pkw-Segments	260
Abb. 6-4	Angenommene Entwicklung der Anteile verschiedener Wasserstoffbereitstellungspfade an der Wasserstoffherzeugung	266
Abb. 6-5	Kumulierte Materialzusammensetzung der Herstellungsphase inklusive Verluste je Antriebskonzept	283
Abb. 6-6	Herstellungsphase: Kumulierte Materialzusammensetzung der batterieelektrischen Antriebskonzepte inklusive Verluste je Systemkomponente in 2010	284
Abb. 6-7	Herstellungsphase: Kumulierte Materialzusammensetzung der batterieelektrischen Antriebskonzepte inklusive Verluste je Systemkomponente in 2050	284
Abb. 6-8	Anteile der Energieträger an der Bruttostromerzeugung für Deutschland von 2010 bis 2050 nach dem BMU Szenario 2011 A	287
Abb. 6-9	Anteile der Energieträger an der Bruttostromerzeugung für die Welt von 2010 bis 2050 nach dem EREC revolution-Szenario	288
Abb. 6-10	Abiotischer Materialbedarf der Herstellungsphase der batterieelektrischen Antriebskonzepte nach Systemkomponenten für das Jahr 2010	291
Abb. 6-11	Abiotischer Materialbedarf der Herstellungsphase der batterieelektrischen Antriebskonzepte nach Systemkomponenten für das Jahr 2050	292
Abb. 6-12	Vergleich des abiotischen Materialbedarfs für die Nutzungsphase mit den Szenarien BMU 2011 A, EREC und 100 % RE je Antriebskonzept (Elektromobilität) für das Jahr 2010	295
Abb. 6-13	Lebenszyklusübergreifender Vergleich (Herstellung, Nutzung, End of Life) des abiotischen Materialbedarfs aller Antriebskonzepte und für den gesamten Betrachtungszeitraum (Angaben bezogen auf ein Jahr); Deutschland-Szenario als Grundlage	297



Abb. 6-14	Lebenszyklusübergreifender Vergleich (Herstellung, Nutzung, End of Life) des Treibhauspotentials (GWP 100) aller Antriebskonzepte und für den gesamten Betrachtungszeitraum. (Angaben bezogen auf ein Jahr), Deutschland-Szenario als Grundlage	300
Abb. 6-15	Verkehrsleistung im motorisierten Personenverkehr 2009	303
Abb. 6-16	Übersicht Studien zur Verkehrsentwicklung in Deutschland	306
Abb. 6-17	Referenzentwicklung der Verkehrsleistungen im motorisierten Personenverkehr	306
Abb. 6-18	Entwicklung Bevölkerungsgröße und Pkw-Bestand	307
Abb. 6-19	IEA-Szenarien (Eigene Darstellung aus IEA 2012, S. 443)	312
Abb. 6-20	Erweiterte IEA Szenarien	313
Abb. 6-21	Abiotischer Materialbedarf des Pkw-Verkehrs in Deutschland nach Verkehrsszenarien	316
Abb. 6-22	Abiotischer Materialbedarf des Pkw-Verkehrs in Deutschland nach Verkehrsszenarien, Gegenüberstellung der Zeiträume 2011-2020 und 2041-2050)	318
Abb. 6-23	Abiotischer Materialbedarf des Pkw-Verkehrs weltweit nach Verkehrsszenarien	319
Abb. 6-24	Abiotischer Materialbedarf des Pkw-Verkehrs in Deutschland nach Verkehrsszenarien, Gegenüberstellung der Zeiträume 2011-2020 und 2041-2050)	320
Abb. 6-25	Treibhausgaspotenzial des Pkw-Verkehrs in Deutschland nach Verkehrsszenarien	322
Abb. 6-26	GWP des Pkw-Verkehrs in Deutschland nach Verkehrsszenarien, Gegenüberstellung der Zeiträume 2011-2020 und 2041-2050)	323
Abb. 6-27	Treibhausgaspotenzial des Pkw-Verkehrs weltweit nach Verkehrsszenarien	325
Abb. 6-28	GWP des Pkw-Verkehrs weltweit nach Verkehrsszenarien, Gegenüberstellung der Zeiträume 2011-2020 und 2041-2050)	326
Abb. 6-29	Kritikalität und Verwendung von Elementen	329
Abb. 6-30	Entwicklung der Produktion von Seltenen Erden nach Ländern	330
Abb. 6-31	Verteilung der Reserven an Seltenen Erden	331
Abb. 6-32	Verteilung der Reserven von Neodym und Praseodym	334
Abb. 6-33	Verteilung der Reserven von Dysprosium und Terbium	335
Abb. 6-34	Verfügbare Vorkommen an Seltenen Erden in Abhängigkeit vom TMR	337
Abb. 6-35	Entwicklung der Produktion von Lithium	338
Abb. 6-36	Verteilung der Reserven an Lithium	339
Abb. 6-37	TMR, THG und Kosten der Gewinnung und Aufbereitung von Lithiumrohstoffen (Wuppertal Institut 2014)	341
Abb. 6-38	Verfügbare Lithiumreserven und -ressourcen in Abhängigkeit von TMR, THG und Gewinnungskosten	342
Abb. 6-39	Entwicklung der Produktion von Silber nach Ländern	343

Abb. 6-40	Verteilung der Reserven von Silber	343
Abb. 6-41	Entwicklung der Produktion von Gold nach Ländern	345
Abb. 6-42	Verteilung der Reserven nach Ländern	346
Abb. 6-43	Entwicklung der Produktion von Palladium	347
Abb. 6-44	Verteilung der Reserven von Palladium	347
Abb. 6-45	Entwicklung der Produktion von Platin nach Ländern	348
Abb. 6-46	Verteilung der Reserven von Platin	348
Abb. 6-47	Entwicklung der Produktion von Indium	350
Abb. 6-48	Entwicklung der Produktion von Germanium nach Ländern	351
Abb. 6-49	Entwicklung der Produktionsmengen von Tantal nach Ländern	352
Abb. 6-50	Verteilung der Reserven von Tantal	353
Abb. 6-51	Vergleich der Antriebskonzepte und THG-Emissionen der Nutzungsphase im Jahr 2010; Vergleich Deutschland-Szenario und 100% EE-Strom	356
Abb. 6-52	Vergleich der Antriebskonzepte und des abiotischen Materialbedarfs der Nutzungsphase im Jahr 2010; Vergleich Deutschland-Szenario und 100% EE-Strom	357
Abb. 6-53	Abiotischer Materialbedarf Deutschland: Sensitivität mit ausschließlich erneuerbarer elektrischer Traktionsenergie und beschleunigtem Technologiewechsel von PSM auf ASM	358
Abb. 6-54	Treibhausgaspotenzial Deutschland: Sensitivität mit ausschließlich erneuerbarer elektrischer Traktionsenergie und beschleunigtem Technologiewechsel von PSM auf ASM	359
Abb. 6-55	Bedarf an Lithium im weltweiten Pkw-Bestand nach Szenarien und Jahren	360
Abb. 7-1	Wissensbasis „Elektrische Maschinen“ im Ländervergleich, 2002–2012 kumuliert	369
Abb. 7-2	Wissensbasis „Leistungselektronik“ im Ländervergleich, 2002–2012 kumuliert	370
Abb. 7-3	Technologische Basis „Elektrische Maschinen“ im Ländervergleich, 2002–2012 kumuliert	371
Abb. 7-4	Technologische Basis „Leistungselektronik“ im Ländervergleich, 2002–2012 kumuliert	373
Abb. 7-5	Anzahl registrierter PEV in Deutschland in 2020 nach verschiedenen Studien und Szenarien	386
Abb. 7-6	Prognostizierter Marktanteil von BEV und PHEV (inkl. REEV) in 2020 und 2030 verschiedener Studien in Prozent	388
Abb. 7-7	Kaufanreize (als Anteil des Fahrzeuggrundpreises) für BEV und PHEV im Vergleich zu Marktanteilen 2012 und 2013 für ausgewählte Länder	389
Abb. 7-8	Ladeinfrastruktur und Marktanteile	390
Abb. 7-9	BEV/PHEV-Serienmodelle (kumulativ über die Jahre) und weltweite Verkäufe	391

Abb. 7-10 CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung in g/kWh

393

# 1 Kurzfassung

*M. Klötzke (DLR), B. Frieske (DLR), H. Hüging (WI), T. Koska (WI), O. Soukup (WI), M. Ritthoff (WI), K. Bienge (WI)*

Die Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität (STROMbegleitung) untersucht verschiedene Aspekte in Bezug auf Stand und Entwicklung der Elektromobilität im internationalen Umfeld. Neben einer Untersuchung genereller Rahmenbedingungen konzentriert sie sich auf eine technische und ökobilanzielle Analyse elektrifizierter Fahrzeugkonzepte und relevanter Schlüsseltechnologien der Elektromobilität. Der jeweilige Untersuchungsrahmen wurde in enger Abstimmung mit den Forschungs- und Entwicklungsprojekten festgelegt, die im Rahmen der Förderbekanntmachung „Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM)“ vom 01.04.2010 durch das BMBF gefördert wurden. Die verschiedenen Aspekte waren:

- Trendanalyse zu Fahrzeugtechnik und -konzepten (Kapitel 4),
- regionale Übersicht zum Monitoring der Elektromobilitätsarena (Kapitel 5),
- Materialintensitätsanalysen (Kapitel 0).

## **Trendanalyse zu Fahrzeugtechnik und -konzepten**

Bestandteil der Arbeiten zur Trendanalyse von Fahrzeugtechnik und -konzepten ist unter anderem die Analyse eingesetzter Technologien und vorgestellter Konzepte elektrifizierter Pkw. Zu diesem Zweck wird eine neu entwickelte Datenbank verwendet, in der elektrifizierte Pkw, die entweder als Serien- oder Kleinserienfahrzeuge auf dem Markt erhältlich sind oder als Konzept-, Prototyp- und Forschungsfahrzeug auf Automobilmessen vorgestellt wurden, bis auf Bauteil- und Parameterebene analysiert werden. Insgesamt sind für den Zeitraum 2000 bis 2013 weltweit über 500 elektrifizierte Fahrzeugkonzepte identifiziert sowie Informationen zu ausgewählten Technologien sowie zu Aufbau und Anordnung der verbauten elektrischen Komponenten erfasst und analysiert. Der Fokus liegt dabei in Abstimmung mit den Forschungs- und Entwicklungsprojekten auf Themen des Antriebsstrangs, insbesondere auf elektrischen Maschinen, der Leistungselektronik und verschiedenen Technologien für Traktionsbatterien. Es kann gezeigt werden, dass die Aktivitäten internationaler Automobilhersteller im Bereich elektrifizierter Fahrzeugkonzepte (xEV) erstmals ab dem Jahr 2006 und insbesondere ab 2009 weltweit deutlich zunahmten.

Ab 2012 ist ein Rückgang der jährlich neu vorgestellten Fahrzeuge zu verzeichnen. Während sich hybridelektrische Fahrzeuge ohne externe Ladeinheit (HEV) mit einer recht konstanten Zahl in den Analysen zeigen, ist ab 2009 eine deutliche Zunahme vorgestellter und/oder in den Markt eingeführter batterieelektrischer Fahrzeuge (BEV) festzustellen. Überdies nimmt die Bedeutung hybridelektrischer Fahrzeuge mit externer Ladeinheit (PHEV) seit 2007 insofern kontinuierlich zu, als PHEV im Jahr 2013 nach BEV den größten Anteil neu vorgestellter Fahrzeuge ausmachten. Auch ergeben die Analysen, dass mit zunehmender Fahrzeugmasse der Elektrifizierungsgrad innerhalb der elektrifizierten Fahrzeuge abnimmt. Während bei Fahrzeugen unter 1000 kg hauptsächlich BEV zu finden sind, steigt der Anteil an HEV bei schweren Fahrzeugen signifikant an. Den größten Anteil an PHEV findet man zwischen einem Fahrzeugleergewicht von 1500 kg und 2000 kg. Aus technologischer Sicht machen

permanent erregte Synchronmaschinen den eindeutig größten Anteil bei xEV aus (über 90 %). Hier gibt es auch bei den neueren Entwicklungen keine signifikanten Änderungen. Es kann lediglich festgehalten werden, dass bei BEV der Anteil alternativer elektrischer Maschinenkonzepte etwas höher ausfällt als bei hybridisierten Fahrzeugen. Auch bei Batterietechnologien kann eine deutliche Dominanz von Li-Ionen-Zellen beobachtet werden, insbesondere bei höher elektrifizierten Fahrzeugen, wenngleich der Anteil nur bei knapp 80 % liegt. Vor dem Jahr 2007 kamen mehrheitlich Nickel-Metall-Hydrid-Batterien zum Einsatz, die v. a. bei HEV verbaut wurden.

Neben der Untersuchung eingesetzter Technologien im Rahmen des Gesamtfahrzeugkonzepts werden weitere Trendanalysen auch über umfangreiche globale bibliometrische Analysen von Patent- und Publikationsdaten durchgeführt. Dies dient der Abbildung von Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten in frühen Stadien der Technologieentwicklung und dem Vergleich der internationalen Forschungslandschaft bei ausgewählten Schlüsseltechnologien im speziellen Umfeld der Elektromobilität. Knapp 52 000 Publikationen und 82 000 Patente im Bereich von Hybrid- und Elektrofahrzeugen wurden erfasst und über einen Zeitraum von ca. zehn Jahren analysiert. Die Untersuchung zeigt beispielsweise, dass insbesondere japanische Unternehmen in ausgewählten Feldern der Leistungselektronik, wie z. B. Halbleiter und Halbleitermaterialien, eine dominante Position einnehmen und Treiber der Technologieentwicklung sind.

Um die Auswirkungen technischer Entwicklungen auf den Energieverbrauch auf Fahrzeugebene zu beleuchten, werden als weiterer Bestandteil der Trendanalyse elektrifizierte Fahrzeuge simuliert, d. h. umfangreiche Parametervariation von Fahrwiderständen (durch Änderung der Fahrzeugmasse sowie des Luftwiderstandsbeiwerts) sowie der Effizienz von elektrischer Maschine und Leistungselektronik durchgeführt. Dabei kann z. B. gezeigt werden, dass unter Berücksichtigung unterschiedlicher Fahrzyklen der Einfluss einzelner Parameter auf den Energieverbrauch des Fahrzeugs stark variieren kann, sodass Einzelmaßnahmen nur erschwert bewertet werden können.

Darüber hinaus werden diverse Szenarien berechnet und analysiert, um die Diffusion elektrifizierter Pkw in den deutschen Neuwagenmarkt unter Berücksichtigung wechselnder Rahmenbedingungen zu untersuchen. In diesem Zusammenhang kann festgehalten werden, dass eine weitere Steigerung der Effizienz elektrifizierter Fahrzeuge gegenüber den Entwicklungen in einem Basisszenario einen eher geringen Einfluss auf den Anteil elektrifizierter Fahrzeuge im Neuwagenmarkt mit sich bringt. Der Einfluss einer rascheren Minderung der Batteriekosten, z. B. durch verbesserte Produktionsprozesse oder einen höheren globalen Absatz, ist deutlich signifikanter.

### **Regionale Übersicht zum Monitoring der Elektromobilitätsarena**

Zum regionalen und globalen Monitoring der Elektromobilitätsarena wurden fünf Fokusregionen (USA, Japan, Europa, China und Indien) ausgewählt. In Länderstudien wurden die aktuellen Rahmenbedingungen und Trends zur Elektromobilität auf Basis einer Analyse wissenschaftlicher und politischer Dokumente sowie leitfadengestützter Experteninterviews nach einem einheitlichen Analyseraster untersucht. Betrachtet wurden dabei die Bereiche Politik und öffentliche Infrastruktur, Forschung und Entwicklung, Wirtschaft und Industrie sowie Verbraucher und Markt.

Auf Basis der Ergebnisse lassen sich die Entwicklungen in Deutschland im internationalen Vergleich einordnen und die globalen Trends der Elektromobilität aufzeigen.

Die Verbreitung der Elektromobilität wird aktuell noch durch verschiedene Faktoren – wie hohe Anschaffungskosten, begrenzte Reichweite und begrenzte Infrastrukturverfügbarkeit sowie technologische Reife – gehemmt.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass der politische Rahmen einen Teil dieser Faktoren beeinflussen kann und daher einen entscheidenden Einfluss auf die Marktentwicklung hat. In vielen Ländern wurden Kaufanreize in Form von direkten Subventionen oder Steuerbegünstigungen geschaffen. Am stärksten unter den betrachteten Ländern fallen diese in Norwegen aus, wo BEV durch hohe Steuernachlässe und zusätzliche monetäre Anreize für den Nutzer bereits heute eine wirtschaftliche Alternative zu einem konventionellen Fahrzeug darstellen. Zusätzlich gestützt von nicht monetären Anreizen und einem intensiven Infrastrukturaufbau konnte Norwegen durch das starke Anreizsystem die höchste weltweite Pro-Kopf-Rate an BEV erreichen. Die Kaufanreize in Japan, Großbritannien, Frankreich oder den USA fallen zumeist geringer aus, sodass die Preisdifferenz zu konventionellen Fahrzeugen nicht ausgeglichen wird. Neben dem Anreizsystem für potenzielle Kunden profitieren Elektrofahrzeuge in einigen Ländern von Emissions- oder Effizienzstandards, wie den CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerten der EU, den Fahrzeugeffizienzstandards in Japan oder der „Zero-Emission-Vehicle“-Gesetzgebung in den USA.

Länder, die eine bedeutende Automobilindustrie ausweisen oder entwickeln wollen (insbesondere Deutschland, Japan, USA, China), investieren vergleichsweise hohe Summen in die Forschung und Entwicklung (FuE) zu Elektrofahrzeugen. Neben dem Ziel, eine höhere Marktdurchdringung durch technische Verbesserungen und Herstellungskosten senkung zu erreichen, steht dabei auch die Positionierung der heimischen Automobilindustrie auf dem Zukunftsmarkt Elektromobilität im Vordergrund. Die Förderung von FuE-Aktivitäten adressiert in den betrachteten Ländern verschiedene Aspekte der Elektromobilität; Schwerpunkte sind meist Energiespeichertechnologien (Weiterentwicklung der Lithium-Ionen-Batterie und Entwicklung von Post-Lithium-Ionen-Batterien) und Verbesserungen der Leistungselektronik. China und Indien haben das Ziel, verstärkt Kompetenzen in der Entwicklung und Produktion von Elektrofahrzeugen aufzubauen. China setzt dabei insbesondere auf internationale Kooperationen, während sich Indien in erster Linie auf den heimischen Markt konzentriert und bestehende Technologien an die indischen Bedingungen und Ansprüche anzupassen versucht. Auf Basis derzeit laufender und angekündigter Förderprogramme steht Deutschland im internationalen Vergleich sehr gut da und weist unter anderem auch ein höheres FuE-Budget als Japan auf. Europaweite Analysen weisen für Deutschland unter den europäischen Staaten die höchsten FuE-Investitionen im Bereich Elektromobilität aus. Zudem ist die Beteiligung deutscher Institutionen an europäischen Forschungsprojekten, beispielsweise im Rahmen der Green Cars Initiative, sehr hoch.

Heute international verfügbare BEV- und PHEV-Serienmodelle stammen hauptsächlich von japanischen, amerikanischen, deutschen und französischen Herstellern. Die Automobilindustrie in Japan (und z. T. in den USA) hat bei der Entwicklung marktreifer Fahrzeugmodelle zunächst eine Vorreiterrolle übernommen und stellt aktuell die am Markt erfolgreichsten Modelle. Deutsche Produzenten haben in Bezug auf Fahrzeugtechnologien und -modelle im globalen Wettbewerb zum Teil aufgeholt, insgesamt findet aber noch ein Großteil der globalen Produktion von BEV und PHEV in Japan statt. Neben den Modellen japanischer OEM

werden dort auch im Rahmen der Kooperation mit Mitsubishi die Modelle von Citroën und Peugeot gefertigt. Mit ca. 20 000 produzierten elektrifizierten Fahrzeugen (BEV/PHEV/HEV) liegt Deutschland deutlich hinter den 1,3 Mio. in Japan produzierten elektrifizierten Fahrzeugen.

Tendenziell dominieren – soweit verfügbar – Modelle heimischer Hersteller von Elektrofahrzeugen den heimischen Markt, wie der Smart Fortwo Electric Drive in Deutschland, der Renault Zoe in Frankreich, der Chevrolet Volt in den USA oder der Nissan Leaf in Japan. Durch die spezifischen Rahmenbedingungen in China sind dort in erster Linie Modelle chinesischer Hersteller bzw. aus Joint Ventures mit ausländischen OEM verfügbar. In Indien sind derzeit kaum elektrifizierte Pkw verfügbar. Das vom indischen Hersteller Mahindra REVA produzierte Modell e2o ist derzeit das einzige BEV-Modell auf dem indischen Markt, und HEV-Modelle ausländischer OEM finden bislang kaum Absatz.

Der derzeitige Markt für Elektrofahrzeuge wird in einigen Ländern (insbesondere China, Japan und Deutschland) intensiv durch den Einsatz in Demonstrationsprojekten geprägt, die die Anwendung von Elektrofahrzeugen in der Praxis testen und Nutzer mit der Elektromobilität vertraut machen sollen. In China stehen die nationalen Subventionen für Elektrofahrzeuge nur in den Regionen zur Verfügung, die am Demonstrationsprojekt „10 Cities – 1000 Vehicles“ teilnehmen und in Japan werden durch die Demonstrationsprojekte zusätzliche, über die allgemeine Förderung hinausgehende Subventionen vergeben.

In Deutschland wird neben den in den Modell- und Schaufensterregionen eingesetzten Elektrofahrzeugen ein signifikanter Anteil der registrierten BEV in Carsharing-Flotten verwendet.

Technische Entwicklung, steigende Anzahl verfügbarer Serienmodelle sowie Anreize und Investitionen in Kaufanreize und Infrastrukturaufbau ließen die jährlichen weltweiten PEV-Verkäufe in den letzten Jahren deutlich zunehmen: 2013 wurden weltweit 210 000 PEV verkauft, ca. die Hälfte in den USA – dem derzeit größten Markt für PEV. In Europa waren die Niederlande der größte Abnehmer von PEV im Jahr 2013. Daneben ist Norwegen trotz seines relativ kleinen Gesamtmarkts einer der wichtigsten Märkte für BEV in Europa. Mit einem PEV-Anteil von 7,6 % unter den Neuwagen im Jahr 2013 hat Norwegen den weltweit höchsten Marktanteil von PEV. In den meisten Ländern liegt der Marktanteil noch deutlich unter einem Prozent. Deutschland hat zwar in Europa den größten Markt für Neuwagen, spielt jedoch bei den Verkäufen von PEV auch in absoluten Zahlen eine geringere Rolle als Frankreich, Norwegen oder die Niederlande. Mit einem PEV-Anteil unter den Neuregistrierungen von ca. 0,3 % liegt Deutschland hinter den USA, Japan und Frankreich, indes vor China und Großbritannien.

### **Materialintensitätsanalysen**

Die Materialintensitätsanalyse hat den Bedarf an stofflichen und energetischen Ressourcen (abiotischer Materialbedarf) unterschiedlicher Elektromobilitätsstrategien im Bereich des Pkw-Verkehrs bis 2050 untersucht. Diese wurden basierend auf dem MIPS-Konzept „Material-Input pro Service-Einheit“ (MIPS) (Schmidt-Bleek et al. 1998, Liedtke et al. 2014) abgeschätzt und in Relation zu einer Referenzentwicklung betrachtet. Ergänzend zum Materialbedarf wurden auch die Emissionen von Treibhausgasen (THG) berücksichtigt. Es wurden vierrädrige Pkw des mittleren Fahrzeugsegments untersucht, wobei zwischen drei konventionellen sowie fünf elektrifizierten Antriebskonzepten unterschieden wurde.

Auf Fahrzeugebene weisen elektrifizierte Konzepte durch zusätzlich erforderliche Komponenten und deren Materialbedarf (z. B. Batterie, E-Motor) in der Herstellung in der Regel einen höheren abiotischen Materialbedarf als verbrennungsmotorische Konzepte (ICEV) auf. Über den betrachteten Zeitraum zeigt sich eine Annäherung des Materialbedarfs in der Herstellungsphase von ICEV und elektrifizierten Konzepten (xEV). Generell lässt sich über alle Antriebskonzepte dem Glider der größte Anteil am abiotischen Materialbedarf zuordnen. Daneben haben bei den xEV die Batterie und die Leistungselektronik einen höheren Einfluss. Über alle Lebenszyklusphasen ist eine deutliche Annäherung aller Antriebskonzepte über den Betrachtungszeitraum erkennbar, vor allem durch den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien in der Nutzungsphase.

Beim Treibhauspotenzial zeigt sich für die Nutzungsphase die größte Klimawirkung – außer bei BEV ab 2020 und Brennstoffzellenfahrzeugen (FCEV) ab 2010. Über die Zeit ist eine deutliche THG-Reduktion erkennbar, bedingt durch den steigenden Anteil erneuerbarer Energien. Die Herstellung aller Antriebskonzepte weist geringere Unterschiede bezüglich des Treibhauspotenzials auf als beim abiotischen Materialbedarf. Insgesamt entscheidet die Art der Bereitstellung elektrischer Energie über das Treibhauspotenzial.

Alle Elektromobilitätsszenarien für *Deutschland* weisen gegenüber einer Referenzentwicklung ohne Elektromobilität über den gesamten Betrachtungszeitraum einen erhöhten *abiotischen Materialbedarf* auf. Mit steigender Elektrifizierung der Flotte erhöht sich auch der kumulierte abiotische Materialbedarf. Durch verbesserte Fahrzeugeigenschaften in allen Szenarien kann eine Reduktion des Materialbedarfs einzelner Dekaden innerhalb des Betrachtungszeitraums erreicht werden. Mit zunehmendem Anteil elektrifizierter Fahrzeuge fällt diese Reduktion des Materialbedarfs der letzten im Vergleich zur ersten Dekade jedoch schwächer aus. Die Elektrifizierung der Pkw-Flotten allein ist demnach nicht geeignet, den Materialbedarf des Pkw-Verkehrs in Deutschland gegenüber einer Flotte ohne elektrische Antriebe weiter zu senken. Um dieses Ziel zu erreichen, sind weitere Maßnahmen notwendig, wie z. B. Materialsubstitutionen in der Fahrzeugherstellung oder strukturelle Ansätze, die auf eine intelligentere Nutzung mit besserer Auslastung des Pkw-Verkehrs sowie auf verlängerte Nutzungsdauern der Fahrzeuge abzielen.

Die berechneten kumulierten *THG-Emissionen* für *Deutschland* liegen je nach Szenario zwischen 4 und 5 Gt CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Im Gegensatz zum abiotischen Materialbedarf zeigt sich, dass alle Elektromobilitätsszenarien gegenüber einer Referenzentwicklung ohne Elektromobilität über den gesamten Betrachtungszeitraum niedrigere THG-Emissionen aufweisen, wobei mit steigendem Anteil elektrifizierter Fahrzeuge jeweils auch ein weiterer Rückgang der Emissionen verbunden ist. Die ermittelten THG-Einsparungen der STROM-Szenarien sind auf die bessere THG-Bilanz der elektrifizierten Fahrzeuge durch die zunehmende CO<sub>2</sub>-arme Bereitstellung elektrischer Antriebsenergie aus erneuerbaren Quellen zurückzuführen. Die Auswertung der Deutschland-Szenarien hinsichtlich der THG-Emissionen ergibt die Elektrifizierung der Pkw-Flotten als geeignete Maßnahme, um die THG-Emissionen des Pkw-Verkehrs in Deutschland zu reduzieren. Dabei kann sowohl eine absolute Senkung der Emissionen im Zeitverlauf als auch eine Reduktion gegenüber einer Referenzentwicklung ohne Elektrofahrzeuge erreicht werden.

Bei der Elektromobilität bestehen folgende Abhängigkeiten von kritischen Rohstoffen: Die eingesetzten Elektromotoren nutzen häufig Permanentmagneten auf der Basis von Seltenerdmetallen, aufgrund deren hoher Feldstärke erhebliche Massevorteile erreicht werden



können. Seltenerdmetalle liegen in deutlich unterschiedlicher Verfügbarkeit vor: Für Neodym und Praesodym erscheint sie unkritisch, während für Dysprosium und Terbium, das zur Erhöhung der Curie-Temperatur eingesetzt werden muss, die Nachfrage aus der Elektromobilität bezogen auf die betrachteten Szenarien eine kritische Größe erreicht. Es besteht eine hohe Abhängigkeit von wenigen Lieferländern (insbesondere China, nachrangig USA, unter Umständen auch Grönland). Des Weiteren können Lieferbeschränkungen einzelner Länder erhebliche Auswirkungen auf die Versorgungslage haben. Recycling kann kurzfristig kaum zu einer Entspannung der Versorgungslage beitragen, da der Anfall an Sekundärmaterial noch zu gering ist und einem hochwertigen Recycling von Seltenerdmetall-Permanentmagneten noch verfahrenstechnische Hürden im Wege stehen.

Die meisten Batterien für Elektrofahrzeuge werden auch zukünftig auf Lithium basieren. Die Nachfrage nach Lithium aus der Elektromobilität erreicht in den betrachteten Szenarien eine kritische Größe, deren Abdeckung unklar ist, da bereits ein einmaliger Bestandsaufbau einen erheblichen Teil der Lithiumreserven (ca. 21 %) benötigt. Auch unter der Annahme einer Etablierung von Recyclingsystemen für Lithium verbleibt daher ein kritisch hoher Bedarf nach Lithium aus der Elektromobilität. Daneben wird bei steigender Nachfrage nach Lithium mit zunehmenden Umweltbelastungen bei der Gewinnung und anwachsenden Gewinnungskosten zu rechnen sein, da nach der absehbaren Erschöpfung der geologisch günstigsten Salzlagerstätten andere Lagerstätten genutzt werden müssen, die eine aufwendigere Aufbereitung erfordern. Die derzeitigen Preise für Lithium sind jedoch bereits so hoch, dass auch einige der relativ aufwendig zu gewinnenden und aufzubereitenden Rohstoffe (insbesondere australische Pegmatitgesteine) wirtschaftlich gewonnen und aufbereitet werden können.

Der Bedarf der anderen betrachteten potenziell kritischen Stoffe (z. B. Silber, Germanium oder Tantal) erscheint insgesamt unkritisch, da deren Verfügbarkeit entweder unkritisch ist oder geeignete unkritische Substitute verfügbar sind.

## 2 Einleitung

*M. Klötzke (DLR), B. Frieske (DLR)*

Im Energiekonzept der Bundesregierung hat sich Deutschland verpflichtet, die Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40 % und bis 2050 um mindestens 80 % zu senken (Basis 1990).

Da der straßengebundene Verkehr derzeit hauptsächlich auf fossilen Energieträgern beruht, kommt der Elektromobilität eine wesentliche Rolle zur CO<sub>2</sub>-Emissionsenkung zu. Damit verbundene Ziele sind die Reduzierung der Abhängigkeit von Erdöl und der Kompetenzaufbau in der deutschen Automobilindustrie.

Unter anderem um Deutschland zum Leitmarkt und insbesondere zum Leitanbieter für Elektromobilität zu machen, initiierte das BMBF mit der Förderbekanntmachung STROM Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den Bereichen Gesamtfahrzeugsysteme, Batterieentwicklung und -integration, Energiemanagement sowie in der entsprechenden Werkstoff- und Materialforschung. Nach den Fördervorhaben des Konjunkturpakets II ist STROM die erste Maßnahme zur Umsetzung des „Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität“. Die Themen orientieren sich an Empfehlungen externer Experten und sind konsistent mit den Inhalten und Zielen der Arbeitsgruppen „Antriebstechnologie und Fahrzeugintegration“ sowie „Batterietechnologie“ der im Jahr 2010 ins Leben gerufenen „Nationalen Plattform Elektromobilität“ (NPE).

Die „Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität“ (im Folgenden „STROMbegleitung“ genannt) wurde im Rahmen der 2009 veröffentlichten BMBF-Förderbekanntmachung „Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität“ (STROM) durchgeführt und diente der wissenschaftlichen Begleitung und Beforschung der im Rahmen dieser Bekanntmachung gestarteten FuE-Projekte.

Im Rahmen der STROMbegleitung wurden unterschiedliche Ziele verfolgt, die zusammen ein umfassendes Bild über den Stand der Technik und die Potenziale vielversprechender technologischer Lösungen der Elektromobilität ermöglichen. Ein weiterer Schwerpunkt lag in der Identifikation und Analyse aktueller und zukünftiger Trends der Fahrzeugkonzept- und Technologieentwicklung sowie in der Einordnung der deutschen Aktivitäten in den internationalen Kontext. Im Detail orientierte sich die Begleitforschung an den folgenden Forschungsfragen:

- Welche generellen technischen und marktlichen Trends zeichnen sich bei Schlüsseltechnologien der Elektromobilität sowie elektrifizierten Fahrzeugkonzepten ab?
- Was ist der State of the Art bei den Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und welches zukünftige Entwicklungspotenzial besitzen diese?
- Welchen Stand hat die Technologieentwicklung im nationalen und internationalen Vergleich?
- Welche Förderschwerpunkte können in den verschiedenen Weltregionen identifiziert werden und welche Zielgruppen werden adressiert?
- Welche Forschungsaktivitäten und -schwerpunkte gibt es weltweit und wie stellt sich Deutschland im internationalen Vergleich dar?

- Wie sind die Materialintensitäten der Schlüsseltechnologien und Fahrzeugkonzepte beschaffen?
- Sind bei einem weltweiten Ausbau der Elektromobilität Engpässe, z. B. bei kritischen Ressourcen, zu erwarten?

Die wissenschaftlich fundierte Beantwortung der genannten Aspekte und Fragen erlaubt es u. a., das Förderprogramm STROM und die beforschten Schlüsseltechnologien in die internationalen Forschungsaktivitäten einzuordnen und Empfehlungen für die weitere Ausgestaltung staatlicher Förderprogramme und andere politische Entscheidungen abzuleiten.

Begleitung und Einbezug der Förderprojekte in die Ausrichtung und die Untersuchungen der STROMbegleitung werden in Kapitel 3 dargestellt. Die Ergebnisse aus den Untersuchungen der internationalen Trends bei elektrifizierten Fahrzeugkonzepten sowie in der Forschungs- und Entwicklungslandschaft zu Komponenten und Technologien für Elektrofahrzeuge werden in Kapitel 4 vorgestellt. Kapitel 5 widmet sich Studienresultaten über die Elektromobilitätsarenen USA, Japan, China, Indien sowie die Europäische Union. Die Auswirkungen der Elektromobilität auf den Ressourcenbedarf und die Materialintensität des Verkehrssektors werden in Kapitel 0 dargelegt und diskutiert. Kapitel 0 synthetisiert schließlich die Ergebnisse der einzelnen Kapitel und leitet daraus Handlungsempfehlungen ab.

### 3 Begleitung der Förderprojekte

*M. Klötzke (DLR), H. Hüging (WI)*

Die STROM-Begleitforschung wurde an den im Rahmen der Bekanntmachung „Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität“ (STROM) vom 01.04.2010 im Referat 523 des Bundesministeriums für Bildung und Forschung geförderten Themen der Förderprojekte ausgerichtet. Für deren Erfassung wurden die vom BMBF veröffentlichten Steckbriefe analysiert und eine erste Interviewrunde genutzt, um detailliertere Zielsetzungen und Ausrichtungen der Förderprojekte zu erfragen. In zwei weiteren Interviewrunden mit Vertretern der Förderprojekte wurden neben dem Arbeitsfortschritt auch neue Probleme und Herausforderungen sowie Lösungskonzepte besprochen, die in der Planungsphase und zu Beginn des jeweiligen Förderprojekts noch nicht absehbar gewesen waren. Zudem wurden die Experten um Einschätzungen zum Potenzial und zum Marktanteil der in der STROM-Begleitforschung identifizierten Schlüsseltechnologien gebeten.

In drei Workshops – zu Beginn, etwa zur Hälfte sowie gegen Ende der Förderprojektlaufzeiten – wurden Ergebnisse aus der STROM-Begleitforschung vorgestellt und ausgewählte Fragestellungen mit den Vertretern der Förderprojekte diskutiert.

Darüber hinaus wurden die Förderprojekte mittels Arbeitspapieren und Zwischenberichten über Ergebnisse aus den verschiedenen Untersuchungsaspekten der STROM-Begleitforschung informiert.

Die Interessen der Förderprojekte wurden auch bei der Konzeption und Durchführung der internationalen Regionalstudien berücksichtigt. Dazu wurde im Rahmen des zweiten STROM-Workshops ein Schwerpunkt auf die Regionalstudien gelegt. Der Workshop fand im April 2013 gemeinsam mit den Förderprojekten und Vertretern der für die Regionalstudien beauftragten internationalen Partnerinstitutionen statt. Erste Ergebnisse der Regionalstudien wurden von den Regionalpartnern vorgestellt und gemeinsam mit den Vertretern der Förderprojekte diskutiert. Auf Basis der Anmerkungen der Förderprojekte wurden zusätzliche Aspekte in das einheitliche Rechercheraster der Regionalstudien aufgenommen, spezifische Schwerpunkte insbesondere für die geplanten Experteninterviews gesetzt und konzeptionelle Anpassungen vorgenommen. Unter anderem wurde die Recherchematrix um eine Sammlung einheitlicher Schlüsselindikatoren für die in den Regionalstudien untersuchten Themenkomplexe ergänzt.



## 4 Trendanalyse Fahrzeugtechnik und -konzepte

*M. Klötzke (DLR), B. Frieske (DLR)*

Um Entwicklungen im Bereich neuer Fahrzeugtechnologien einordnen zu können, sind diese aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten. Gegenstand des vorliegenden Kapitels ist eine Analyse der Trends bei Technologien und Konzepten für elektrifizierte Fahrzeuge. Zu Beginn werden sowohl konzeptionelle Entwicklungen als auch zum Einsatz kommenden Technologien der vergangenen Jahre untersucht. Somit können Trends hin zu oder weg von einzelnen Technologien für elektrifizierte Komponenten sowie bei der Auslegung von Fahrzeugen abgeleitet und ein internationaler Herstellervergleich angestellt werden. Im Anschluss wird eine dezidierte Patent- und Publikationsanalyse durchgeführt, um neben einer internationalen Einordnung der deutschen Forschungsaktivitäten Aussagen zu zukünftigen Technologien für elektrifizierte Fahrzeugkonzepte abzuleiten. Diese Erkenntnisse fließen dann in eine Untersuchung zu Auswirkungen technologischer Entwicklungen auf das Gesamtsystem Fahrzeug, insbesondere auf den Energieverbrauch, sowie daraus resultierenden Auswirkungen auf den deutschen Neuwagenmarkt ein.

### 4.1 Internationale Trends bei Fahrzeugkonzepten

*M. Klötzke (DLR), Benjamin Frieske (DLR)*

Auf dem derzeitigen Neuwagenmarkt lassen sich zahlreiche unterschiedliche Fahrzeugkonzepte mit elektrifizierten Antriebssträngen finden. Neben batterieelektrischen sind das insbesondere Fahrzeuge mit einem hybriden Antriebsstrang, die zudem zum Teil schon über die Möglichkeit verfügen, ihre Batterie mittels Ladevorrichtung am Stromnetz aufzuladen. In dem – zumindest wenn es um den großvolumigen Absatz elektrifizierter Fahrzeuge geht – noch recht jungen Markt herrscht derzeit noch eine intensive Dynamik. Immer wieder wird darüber diskutiert, welche Antriebsstrang- und Fahrzeugkonzepte in Zukunft erfolgreich sein können (DLR 2013, Fraunhofer ISI 2013). Darüber hinaus wird intensiv über geeignete Technologien für elektrifizierte Fahrzeuge debattiert. Neben der richtigen Traktionsbatterie sind auch Ladetechnologien, elektrische Maschinen sowie die Leistungselektronik Gegenstand dieser Auseinandersetzungen. Hersteller und Forschungseinrichtungen entwickeln immer wieder prototypische Fahrzeuge, die zwar nicht direkt als Serienfahrzeug angeboten werden, jedoch zahlreiche neuartige Technologien beinhalten und erproben. Einige dieser Fahrzeuge werden auch in der Fachliteratur oder auf den Automobilmessen dem Publikum vorgestellt (ATZextra 2013, ATZextra 2014) und gelten als Indikatoren für zukünftig in Serienfahrzeugen zum Einsatz kommende Technologien und Konzepte.

Untersuchungen zu Trends in der Fahrzeugtechnik widmen sich Entwicklungen aus dem Bereich der elektrifizierten Antriebskonzepte mit Schwerpunkt auf den fünf Technologiebereichen *Elektrische Maschine, Leistungselektronik, Batterie, Leichtbau* und *Thermomanagement*. Diesbezüglich wurde eine umfassende Datenbank für elektrifizierte Fahrzeugkonzepte aufgebaut, die alle elektrifizierten Fahrzeugkonzepte der Jahre 2001 bis 2013 beinhaltet (Abb. 4-1) und mit deren Hilfe Entwicklungen und Trends beim Einsatz bestimmter Technologien oder der Konzeption von Fahrzeugen sowie Unternehmensstrategien identifiziert und analysiert werden können.

Neben als Serienfahrzeuge konzipierten finden auch solche Fahrzeuge Berücksichtigung, die zum Beispiel als Versuchs- oder Forschungsfahrzeug aufgebaut wurden, sodass Mehrfachnennungen insofern möglich sind, als Konzeptfahrzeuge in überarbeiteter Form als Serienfahrzeuge auf den Markt kommen. Entwicklungsschritte und Veränderungen vom Konzept- (z. B. BMW i8 Concept) zum Serienfahrzeug (z. B. BMW i8) können damit im Detail erfasst und abgebildet werden.

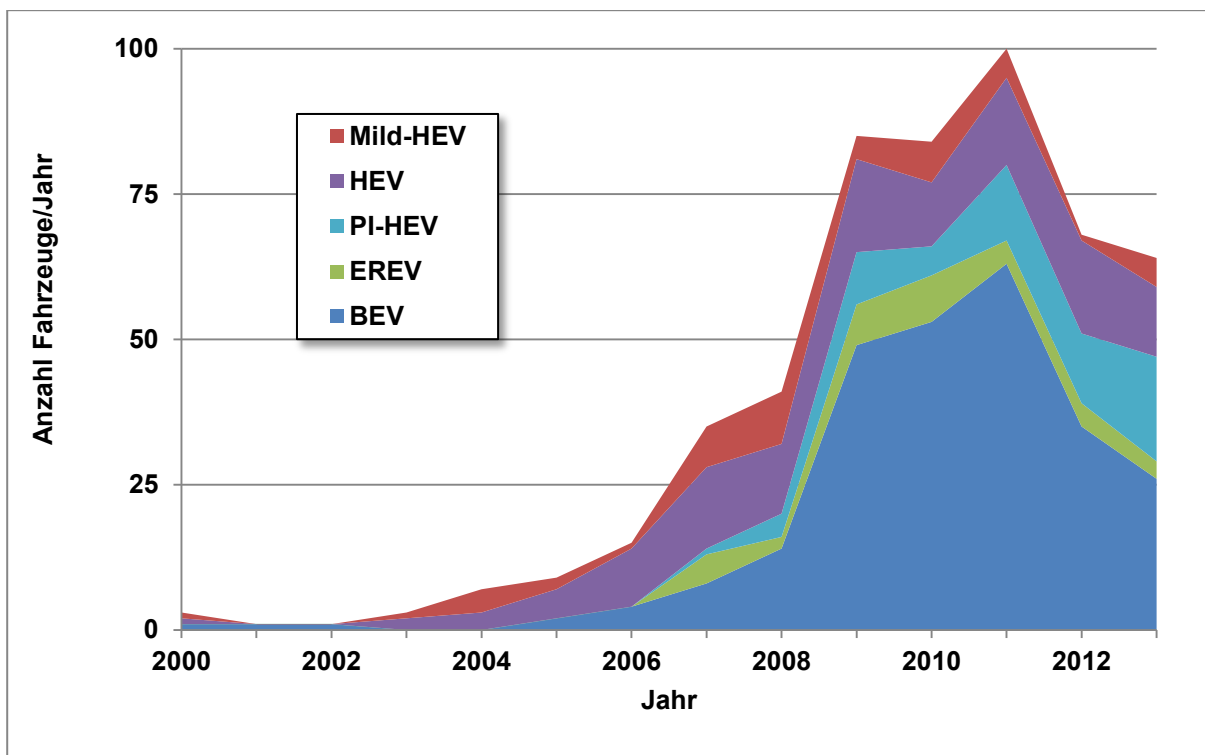


Abb. 4-1 Anzahl der jährlich international vorgestellten elektrifizierten Fahrzeuge nach Antriebsstrangkonzzept

#### 4.1.1 Aufbau der Datenbank

In der Datenbank werden weltweit solche Fahrzeuge erfasst, die über einen elektrifizierten Antriebsstrang verfügen, d. h. sowohl batterieelektrische als auch hybridelektrische Fahrzeuge der EG-Fahrzeugklasse M1 (Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung). Neben als Serienfahrzeuge konzipierten finden auch solche Fahrzeuge Berücksichtigung, die z. B. als Prototyp, Konzept-, Versuchs- oder Forschungsfahrzeug aufgebaut wurden.

Die elektrifizierten Fahrzeuge werden hinsichtlich ihres Hybridisierungs- bzw. Elektrifizierungsgrads und der Antriebsstrangarchitektur unterschieden. Der Elektrifizierungsgrad ist in Mild-Hybride (Mild-HEV), Voll-Hybride (HEV), Plug-in-Hybride (PHEV) und batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) unterteilt, wobei Plug-in-Hybride auch reichweitenverlängerte Fahrzeuge (EREV, Electric Range Extended Vehicle) beinhalten, die in der Datenbank als eigene Gruppe erfasst sind (Abb. 4-2). Die Antriebsstrangarchitektur umfasst serielle Hybridantriebe, parallele Hybridantriebe sowie Sonder- oder Mischformen. Eine vollständige Auflistung der in der Datenbank erfassten Fahrzeuge (Stand Oktober 2014) liefert Anhang 10.

**Fahrzeugdatenbank** Aktuelle ID 1

**Fahrzeugdaten allgemein**

Hersteller	BMW	Marktrelevanz	5
Modell / Basis	X6 Active Hybrid X6 50i	Zielgruppe	Aufstiegsorientiertes Milieu
Erscheinungsjahr	2009	Zielkosten [EUR]	102900
Entwicklungsstatus	Serie	Weltregion / Land	Europa / Deutschland
Fahrzeugsegment	J	Serienstart / Zielmarkt	2010 / Weltweit
Elektrifizierung	Voll-Hybrid	Kraftstoffart / Tankvol. [l]	Benzin / 85
Plug-In-Funktion	<input type="checkbox"/>	Türen / Sitzplätze	5 / 4
Nutzungskonzept	All-Zweck	Kofferraum [l]	470 / 1350
Weitere Quellen Daten:	Hybrid Architektur Two-Mode	L / B / H [mm]	4877 / 1983 / 1690
	Fahrzeugaufbau SUV	Leergewicht [kg]	2500
	Fachmesse IAA	Vorgänger / Nachfolger	X6 Active Hybrid 2 / -

**Fahrzeugdaten spezifisch**

Systemleistung [kW]	357	Cw-Wert	0,36
Systemdrehmoment [Nm]	780	Reichweite gesamt [km]	
Vmax [km/h]	236	Reichweite elektrisch [km]	2,5 bei konstant [km/h] 60
Vmax (elektrisch) [km/h]	60	Besonderheiten	
Beschleunigung 0-100 [s]	5,6		

**Verbrauch / Emission**

Innerorts [l/100km]	10,8	Elektrisch [kWh/100km]	0
Außerorts [l/100km]	9,4	CO2 Emission TTW [g/km]	231
Kombiniert [l/100km]	9,9	Emissionsklasse	EUS

**Verbrennungsmotor / Kraftübertragung**

Bauart	V	Nennleistung [kW]	300 bei 1/min 5500-6400
Einbaort	Front	Nenn Drehmoment [Nm]	600 bei 1/min 1750-4500
Hubraum [ccm]	4395	Aufladung	TwinTurbo
Zylinder / Ventile	8 / 4	Antriebsart / Getriebe	Allrad / 7-Gang Automat
Bohrung / Hub [mm]	88,3 / 89	Übersetzung: Min. / Max. / Achs.	0,723 / 3,889 / 3,640
Verdichtungsverhältnis :1	10	Range Extender <input type="checkbox"/> / RE Technologie:	-

Abb. 4-2 Aufbau der Fahrzeugdatenbank

#### 4.1.2 Komponenten für elektrifizierte Antriebskonzepte

Abgesehen von den bei konventionellen Fahrzeugen für den Antriebsstrang notwendigen Komponenten, wie Verbrennungskraftmaschine, Kupplung oder Getriebe, spielen bei hybrid- und batterieelektrischen Fahrzeugen weitere Bauteile eine wichtige Rolle. Neben der Batterie sind das insbesondere die elektrische Maschine sowie die Leistungselektronik. Für die Identifikation von Trends im Bereich der Fahrzeugkonzepte sind in der Datenbank Informationen zur Spezifikation und Technologie einzelner Komponenten, zum Aufbau sowie zur Größenklasse der Fahrzeuge und zu konzeptionellen Besonderheiten wie der Art der Kühlung einzelner Komponenten erfasst. Bei der Festlegung der Datenbankindikatoren wurden Fachliteratur und Datenblätter elektrischer Komponenten ausgewertet und die Ergebnisse einer Expertenbefragung einbezogen.



Im Bereich der allgemeinen Angaben zu Fahrzeug und Markt wurden 73 mögliche Parameter und Informationspunkte definiert, z. B.:

- Hersteller (Bezeichnung),
- Fahrzeugmodell (Bezeichnung),
- Fahrzeugsegment<sup>1</sup> (A-S),
- Zielmarkt (Weltregion),
- Entwicklungsstatus des Fahrzeugs (z. B. Mock-up<sup>2</sup>, Konzept, Prototyp, Vorserie, Serie),
- Zeitpunkt der Vorstellung Konzeptfahrzeug (Jahr),
- Zeitpunkt der geplanten Markteinführung als Serienfahrzeug (Jahr),
- Grad der Elektrifizierung (Mild-HEV, HEV, PHEV, EREV, BEV),
- Hybridarchitektur (z. B. parallel, seriell, kombiniert),
- Systemleistung/elektrische Leistung in kW,
- Höchstgeschwindigkeit (elektrisch) in km/h,
- Beschleunigungszeit 0–100 km/h in s,
- Fahrzeugmasse in kg,
- Energieverbrauch<sup>3</sup> in l/100 km; kWh/100 km,
- TTW<sup>4</sup>-CO<sub>2</sub>-Emissionen in g/km.

Für die elektrischen Maschinen können 183 Parameter erfasst werden, wobei bis zu 5 Motoren in einem Fahrzeug unterschieden werden können. Dies ist notwendig, da in einigen Fahrzeugen mehrere elektrische Maschinen mit zum Teil signifikant unterschiedlichen Eigenschaften verbaut sind. Die Parameter sind z. B.:

- Bauart (z. B. Synchronmaschine, Asynchronmaschine),
- Einbauort (z. B. Getriebe, Radnabe),
- Erregungsart (z. B. permanenterregt),
- Nennleistung in kW,
- Nenndrehmoment in Nm,
- Masse in kg,
- Thermomanagement (z. B. flüssigkeits-/luftgekühlt).

Die Eigenschaften der Leistungselektronik können mit insgesamt 37 Parametern erfasst werden, darunter:

- Spannungsregelbereich (minimale und maximale Spannung) in V,
- Integration (z. B. in elektrischer Maschine),
- Gesamtgewicht in kg,
- Thermomanagement (z. B. flüssigkeits-/luftgekühlt),
- Funktion (z. B. DC/DC-Wandler),
- Halbleiterbauelemente (z. B. MOSFET, IGBT).

---

<sup>1</sup> Nach EU-Kommission.

<sup>2</sup> Mock-up – Maßstäbliches Modell, jedoch nicht funktionsfähig.

<sup>3</sup> Nach UN/ECE Regelung 101.

<sup>4</sup> TTW – Tank-to-Wheel, CO<sub>2</sub>-Emissionen nach UN/ECE Regelung 101.

Batteriesysteme, die im Detail nicht Gegenstand der Untersuchungen im Rahmen der STROM-Begleitung sind, können in der Datenbank mit zwei Batteriemodulen und bis zu 95 Parametern pro Modul hinterlegt werden. Mögliche Parameter sind z. B.:

- Technologie (z. B. Lithium-Ionen, Nickel-Metall-Hydrid),
- Einbauort (z. B. Unterboden, Kofferraum),
- gravimetrische Energiedichte in Wh/kg,
- gravimetrische Leistungsdichte in W/kg,
- volumetrische Energiedichte in Wh/l,
- Kapazität<sup>5</sup> in Ah,
- Spannung in V,
- Thermomanagement (z. B. flüssigkeits-/luftgekühlt).

Die Datenverfügbarkeit unterscheidet sich je nach Bereich und Komponente sehr deutlich. Während allgemein zu Fahrzeugen und Energiespeichern sehr viele Informationen zur Verfügung stehen, ist dies bei der Leistungselektronik sowie bei einzelnen Angaben zu elektrischen Maschinen in vielen Fällen nicht gegeben. Aus diesem Grund können zur Leistungselektronik auch nur deutlich weniger Informationen ausgewertet werden.

#### 4.1.3 Ergebnisse

Weltweit entwickeln etablierte Fahrzeughersteller, Forschungseinrichtungen sowie neu gegründete Start-ups elektrifizierte Antriebskonzepte für den Großserieneinsatz und visionäre Versuche und Überlegungen. Besonders in Europa, Asien und den USA konnten Hersteller und Einrichtungen sowie deren Modelle identifiziert werden. Es ist nicht gänzlich auszuschließen, dass im Zuge der Recherchen Fahrzeuge nicht gefunden wurden, insbesondere wenn diese nur in Quellen Erwähnung finden, die in Deutschland nicht oder nur schwer zugänglich sind. Die Analyse der Datenbank könnte eine solche Schlussfolgerung nahelegen, da der Großteil der aufgeführten Fahrzeuge von deutschen Firmen oder Institutionen stammt (Abb. 4-3).

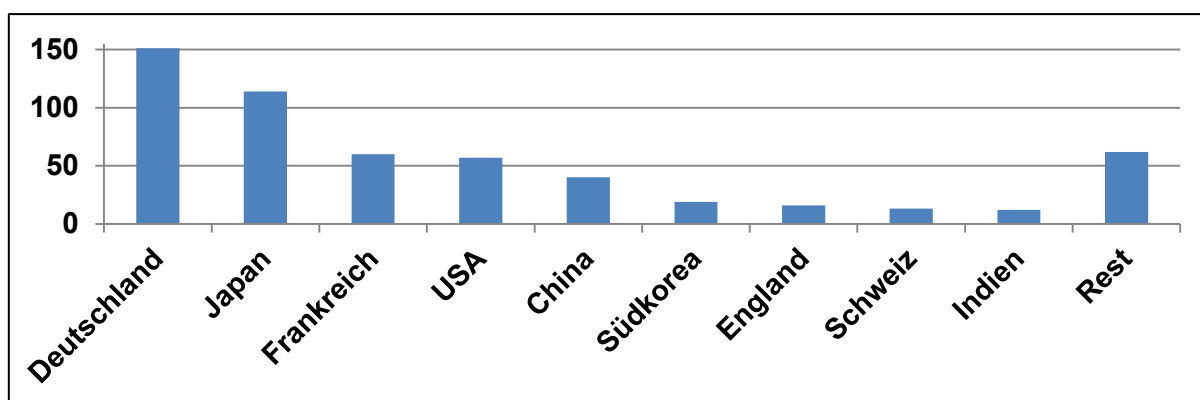


Abb. 4-3 Verteilung der identifizierten Fahrzeuge<sup>6</sup> nach Heimatländern der Hersteller und Institutionen (alle Entwicklungsstufen 2001–2013)

<sup>5</sup> Soweit verfügbar sind sowohl Nenn- als auch nutzbare Kapazität berücksichtigt.

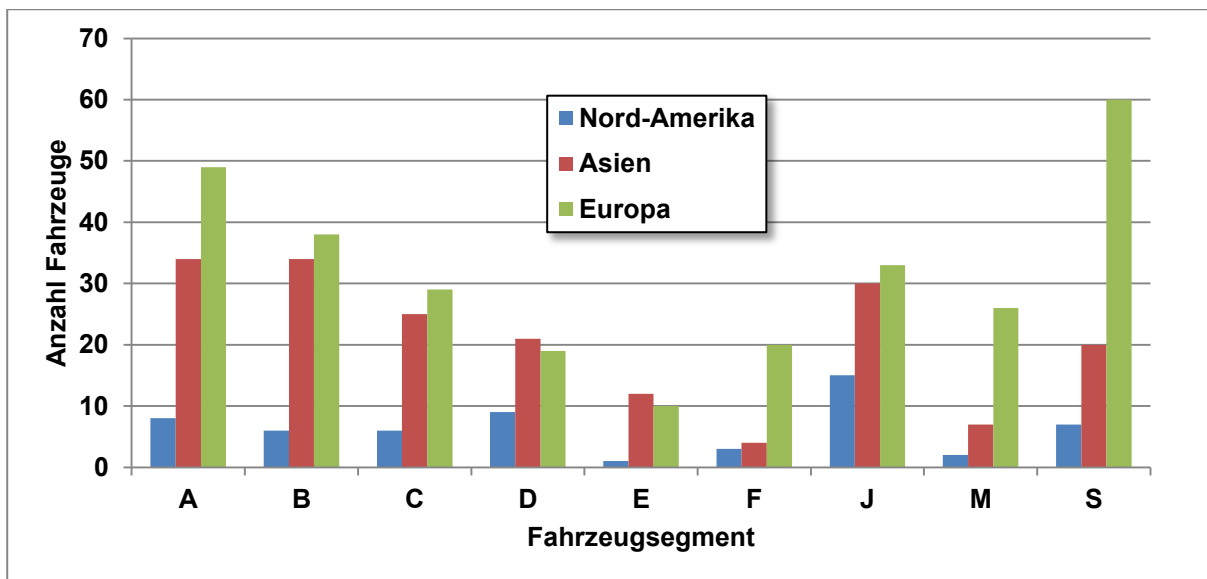


Abb. 4-4 Gesamtzahl elektrifizierter Fahrzeuge nach Fahrzeugsegmenten<sup>7</sup> von 2001 bis 2013

Bei der Elektrifizierungsstrategie kann ein ähnliches Verhalten der Hersteller in Europa und in Asien identifiziert werden (Abb. 4-4). Insbesondere kleine Fahrzeuge (Segmente A & B) werden mit elektrifizierten Antriebssträngen ausgerüstet, wobei die Zahl mit zunehmender Größe erst einmal abnimmt. Allerdings kommt es bei den Fahrzeugen aus dem J-Segment (SUV, Geländewagen) sowohl in Asien als auch in Europa zu starken Aktivitäten.

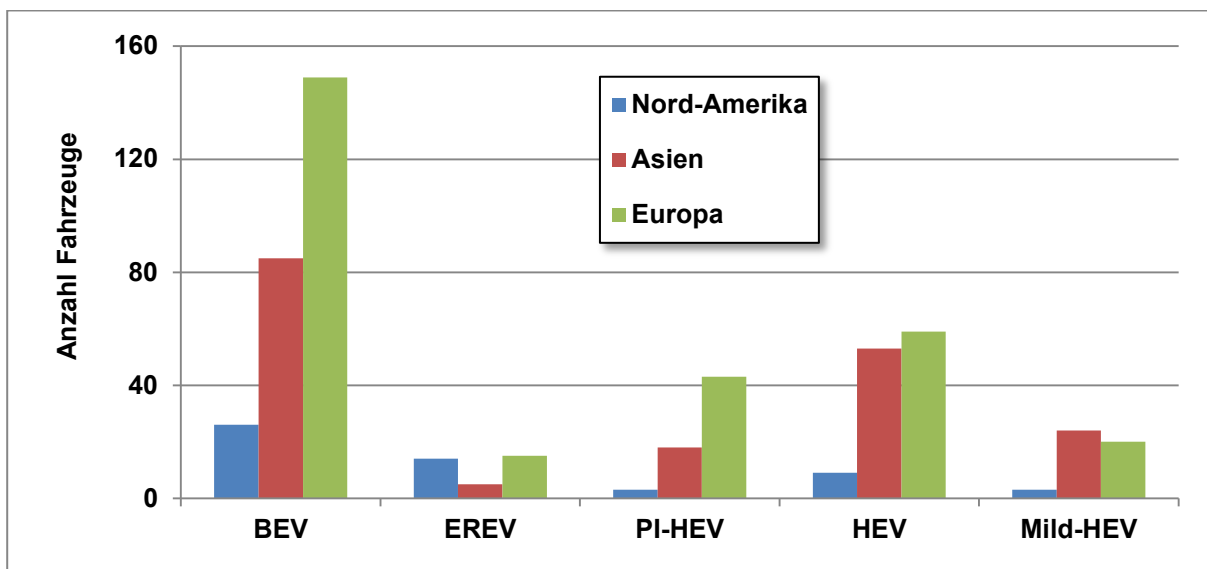


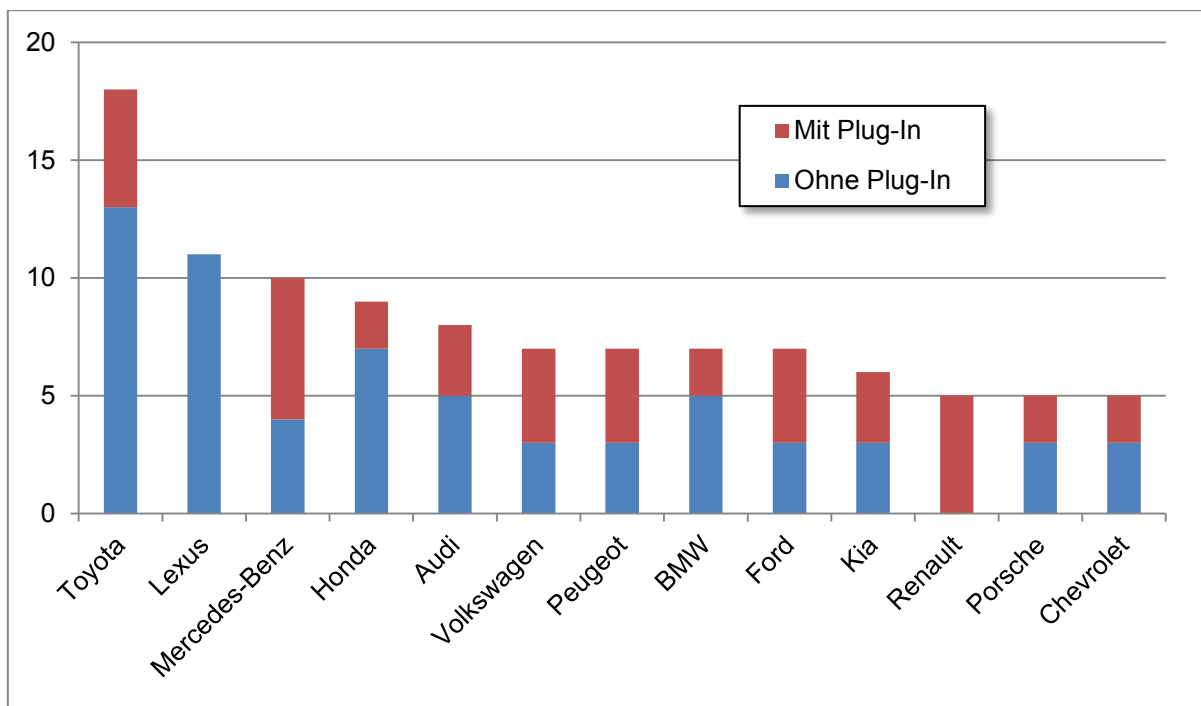
Abb. 4-5 Gesamtzahl der Fahrzeuge nach Elektrifizierungsgraden von 2001 bis 2013

Toyota, der Hersteller, der 1997 mit dem Prius 1 das erste elektrifizierte Großserienmodell auf den Markt brachte, ist bei der Anzahl der Serienmodelle weltweit führend (Abb. 4-6). Bis

<sup>6</sup> Falls nicht explizit erwähnt sind bei „Fahrzeugen“ alle in der Datenbank erfassten Fahrzeuge gezählt, also sowohl Serienfahrzeuge als auch sämtliche Entwicklungs- und Evolutionsstufen.

<sup>7</sup> Nach EU-Kommission (Europäische Kommission, 2002) – A: Kleinstwagen, B: Kleinwagen, C: Mittelklasse, D: Obere Mittelklasse, E: Oberklasse, F: Luxusklasse, S: Sportwagen, M: Mehrzweckfahrzeug, J: Geländewagen.

April 2014 wurden insgesamt 18 elektrifizierte Fahrzeuge des japanischen Unternehmens vorgestellt, die als Serienfahrzeuge im Markt verfügbar oder als solche für die Zukunft geplant sind. Fünf von ihnen verfügen über die Möglichkeit, die Batterie an der Steckdose aufzuladen. Auch der an zweiter Stelle folgt, gehört zur Toyota Motor Corporation. Lexus stellte der Öffentlichkeit im selben Zeitraum immerhin 11 Fahrzeuge mit elektrifiziertem Antriebsstrang vor, wenngleich keines über eine externe Lademöglichkeit für die Batterie verfügt.



**Abb. 4-6** Anzahl der angekündigten und eingeführten Serienmodelle elektrifizierter Fahrzeuge nach Herstellern<sup>8</sup> zwischen 2000 und 2013

Mercedes-Benz war in Bezug auf die Vorstellung von Serienfahrzeugen der aktivste europäische und somit auch deutsche Hersteller. Von den zehn vorgestellten Modellen verfügt mit sechs Fahrzeugen die Mehrheit über eine externe Lademöglichkeit. Neben der Toyota Motor Corporation sind insbesondere deutsche Hersteller sehr aktiv bei der Vorstellung und Ankündigung von Serienfahrzeugen. Aus den USA ist Ford der Hersteller mit den meisten Fahrzeugen mit Aussicht auf Serienfertigung.

Unter den Kleinst- sowie Kleinwagen (Segmente A und B) dominieren batterieelektrische Fahrzeuge, während ihre absolute Zahl und ihr Anteil in der Mittelklasse deutlich abnehmen und in den Mittelklasse- und Oberklassensegmenten (C, D, E und F) der Anteil von Hybridfahrzeugen unverkennbar ansteigt (Abb. 4-7). Insbesondere sind im Segment der Gelände- und Geländesportwagen (J) ausgeprägte Aktivitäten (insbesondere für Hybridfahrzeuge) zu erkennen. Auch Sportwagen (S) erfreuen sich großer Beliebtheit bei der Entwicklung elektrifizierter Fahrzeugkonzepte. In diesem Segment sind wie unter Kleinst- und Kleinwagen zudem viele batterieelektrische Fahrzeuge zu finden, die sich auch noch bei Mehrzweckfahrzeugen (M) finden, während in diesem Segment, ähnlich wie bei den Kleinstwagen, die Anzahl der Hybridfahrzeuge sehr gering ausfällt.

<sup>8</sup> Nur Hersteller mit mindestens fünf in der Datenbank erfassten Fahrzeugen.

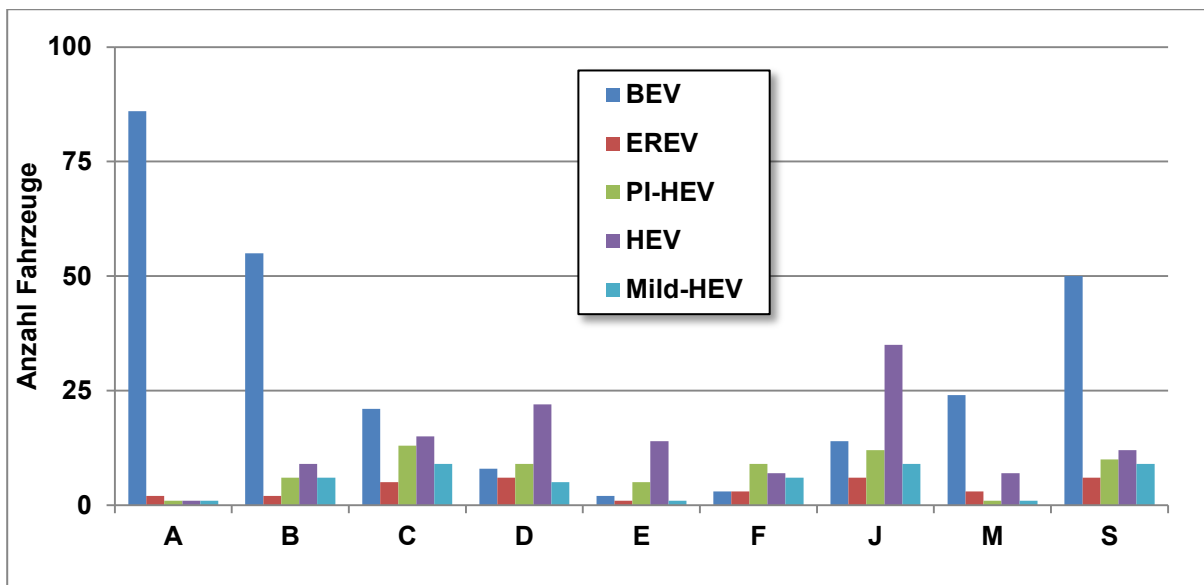


Abb. 4-7 Elektrifizierte Fahrzeugkonzepte in den einzelnen Fahrzeugsegmenten von 2000 bis 2013

Im Umfeld der Elektromobilität wird immer wieder der Ansatz für die Fahrzeugkonzepte diskutiert: Sollten bestehende Fahrzeugmodelle elektrifiziert („Conversion Design“), wie beim „Smart fortwo electric drive“, oder elektrifizierte Fahrzeuge gänzlich neu designt und entwickelt („Purpose Design“) und damit auf die Bedürfnisse eines Elektrofahrzeugs ausgelegt werden (Klötzke et al. 2013a, Klötzke et al. 2014a, Klötzke et al. 2013b, Frieske 2013). Den Weg des Purpose Designs geht z. B. BMW mit seinen Fahrzeugen, die unter der Marke „BMW i“ entwickelt werden. Im internationalen Umfeld sehen die Experten im Conversion Design einen entscheidenden Produktionsvorteil, da mit wenigen Ausnahmen bei einzelnen Komponenten auf bestehenden Fertigungsstraßen gebaut werden kann, wodurch die Auslastung der Produktionsstätten nicht so stark vom Absatz der elektrifizierten Fahrzeuge abhängt. Auch können der Elektromobilität gegenüber zurückhaltende Kunden elektrifizierte Fahrzeuge fahren und trotzdem das Gefühl haben, in einem bewährten Fahrzeug zu sitzen. Vertreter des Purpose Designs sehen Vorteile speziell entwickelter Fahrzeuge insbesondere in ihrem Innovationscharakter. Es ist sofort ersichtlich, dass es sich um ein neuartiges Fahrzeug handelt, wodurch die Sichtbarkeit verbessert wird (Klötzke et al. 2013). Ein klarer Trend zu einem der beiden Ansätze ist insgesamt nicht zu erkennen, dennoch lassen sich Rückschlüsse auf die Strategie einzelner Hersteller ziehen (Abb. 4-8). Bei Konzeptfahrzeugen und Prototypen besteht ein leichtes Übergewicht des Purpose Designs, bei Serienfahrzeugen überwiegt das Conversion Design. Ausnahmen bilden Opel, Renault, Citroën, Nissan, Honda und Toyota, wo auch bei den Serienfahrzeugen das Purpose Design dominiert. Bei den deutschen Herstellern überwiegt eindeutig das Conversion Design, sowohl bei Serienfahrzeugen als auch bei Konzeptfahrzeugen und Prototypen. Eine Ausnahme ist Opel, wobei mit dem Opel Ampera lediglich ein im Purpose Design entwickeltes Serienfahrzeug identifiziert werden konnte. Bei den Fahrzeugherstellern aus Frankreich kann insgesamt, insbesondere bei den Konzeptfahrzeugen und Prototypen, ein deutliches Übergewicht von Fahrzeugen im Purpose Design ermittelt werden, wobei bei den Serienfahrzeugen von Peugeot, Renault und Citroën das Conversion Design dominiert.

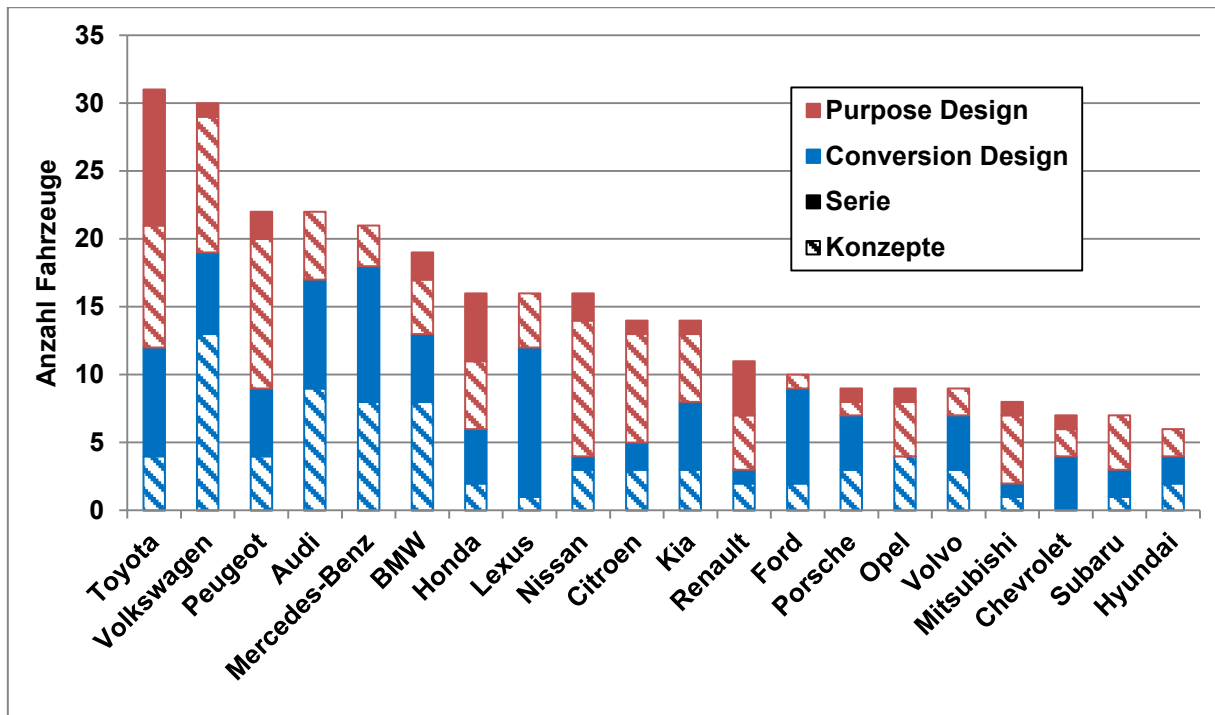


Abb. 4-8 Konzeptansatz<sup>9</sup> elektrifizierter Fahrzeugkonzepte nach Fahrzeugherstellern

Über das gesamte 20. Jahrhundert hinweg wurden von Industrie oder Forschungseinrichtungen immer wieder elektrifizierte Fahrzeugkonzepte vorgestellt, wenngleich selten ein konkreter Serieneinsatz geplant und die Anzahl der Neuvorstellungen pro Jahr überschaubar war. Anfang des 21. Jahrhunderts hat die Elektrifizierung des Antriebsstrangs angefangen, Fahrt aufzunehmen (Abb. 4-9). Wurden 2000 gerade einmal drei Fahrzeuge mit einem elektrifizierten Antriebsstrang vorgestellt, waren es 2004 schon acht. Bis ins Jahr 2011 konnte dann ein deutlicher Zuwachs der Aktivitäten verzeichnet werden. Während zu Beginn der Entwicklung hybride Antriebsstränge, vor allem Voll- und Mild-Hybride zu finden waren, nahmen ab 2007 batterieelektrische Fahrzeugkonzepte zu. Hybridelektrische Fahrzeuge, die zwar rein elektrisch fahren können, aber keine Möglichkeit haben, ihre Batterie an der Steckdose zu laden blieben über die Jahre konstant. Eine steigende Zahl neuer Fahrzeuge ist bei hybrid-elektrischen Fahrzeugen zu beobachten, die ihre Batterie extern aufladen können.

Ein zwischenzeitliches Maximum bei der Vorstellung neuer elektrifizierter Fahrzeugkonzepte ist im Jahr 2011 auszumachen, als insgesamt 100 Fahrzeuge präsentiert wurden, wobei batterieelektrische Konzepte mit 63 den größten Anteil hatten. Seit 2011 ist jedoch ein deutlicher Rückgang festzustellen. Insbesondere batterieelektrische Fahrzeuge, die seit 2009 den größten Anteil elektrifizierter Neuvorstellungen ausmachen, gehen deutlich zurück.

Der Rückgang ist vor allem bei Neuvorstellungen von Serienfahrzeugen festzustellen (Abb. 4-10). Während 2009 36 Serienfahrzeuge vorgestellt wurden, waren es 2013 mit 18 gerade einmal halb so viele. Für Prototypen und Konzeptfahrzeuge trifft das nicht zu: Sie liegen, mit einer Ausnahme im Jahr 2011, seit 2009 bei ungefähr 45 bis 50 Fahrzeugen pro Jahr.

<sup>9</sup> Unter dem Begriff ‚Konzepte‘ sind Forschungs- und Konzeptfahrzeuge sowie Prototypen zusammengefasst.

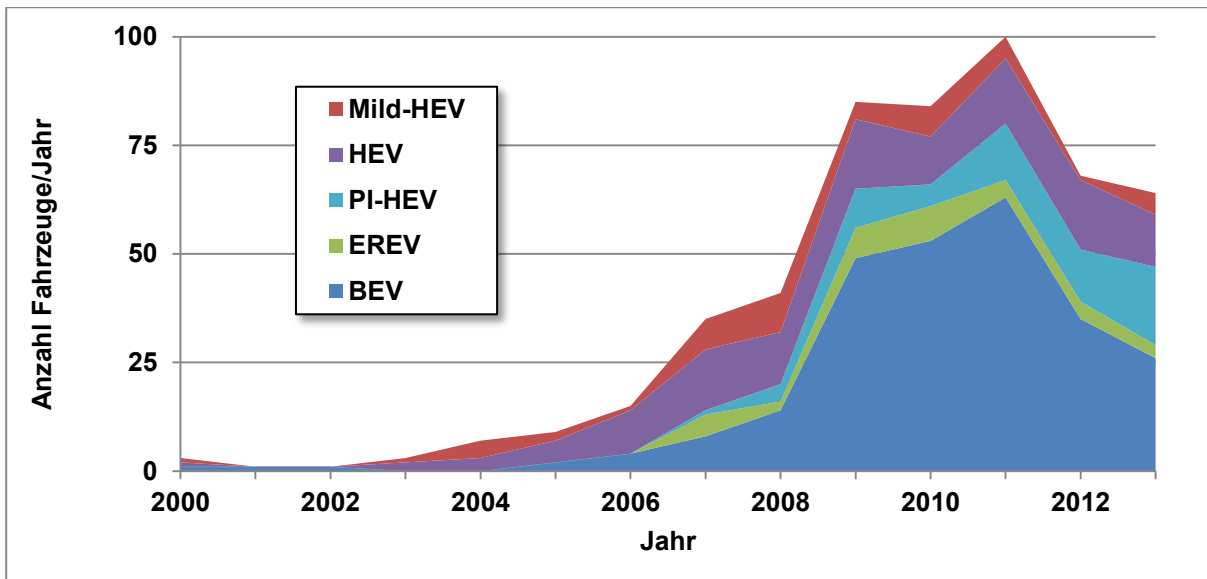


Abb. 4-9 Jährliche Anzahl der jeweiligen Antriebsstrangvarianten in neu vorgestellten Fahrzeugen

Neben divergierenden Strategien bei der Art des Fahrzeugkonzepts (Neuentwicklung vs. Integration) können Unterschiede bei der Elektrifizierung zwischen den Herstellern ausgemacht werden.

Bis auf EREV lassen sich alle Elektrifizierungsvarianten bei fast allen Herstellern in den Modellen wiederfinden (Abb. 4-11). Ausnahmen bilden Lexus (nur Voll-Hybride) und Renault (bis 2014 ausschließlich batterieelektrische Fahrzeuge). Erst im Oktober 2014 präsentierte Renault auf dem Pariser Autosalon ein Konzept für einen Plug-in-Hybriden (Baumann, 2014), der in den Analysen und Untersuchungen allerdings nicht mehr berücksichtigt werden konnte.

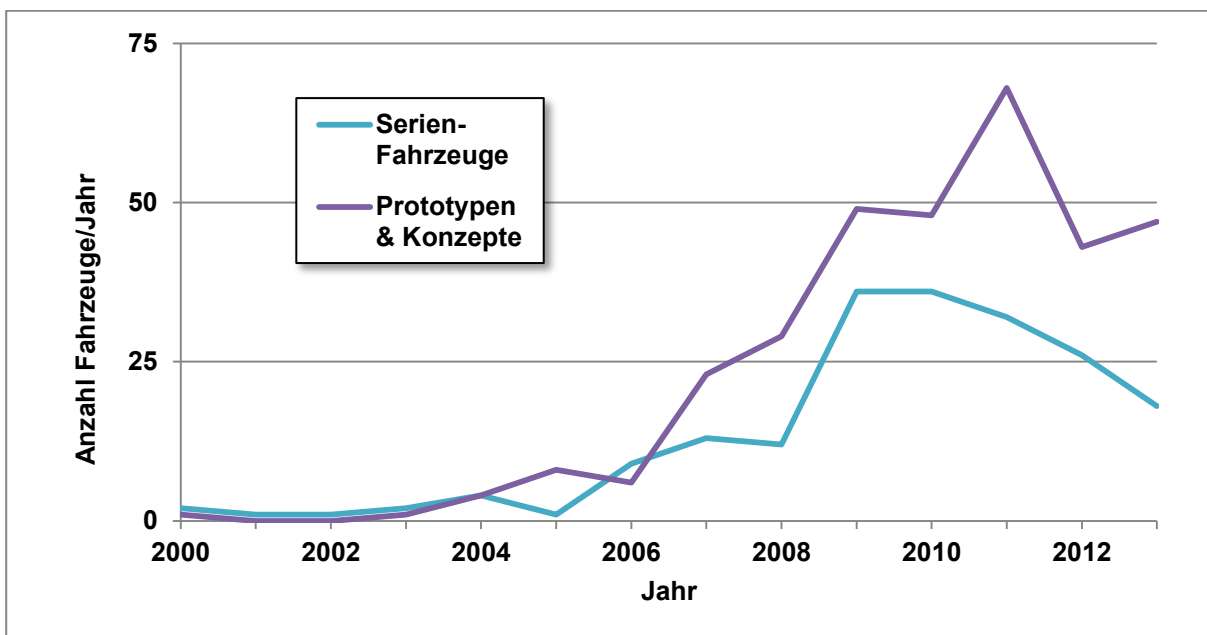


Abb. 4-10 Anzahl der jährlich neu vorgestellten Serienfahrzeuge sowie Prototypen und Konzepte mit elektrifiziertem Antriebsstrang

Einige Hersteller – wie Toyota, Peugeot oder Honda – setzen ihren Schwerpunkt auf hybride Konzepte, die sich nicht extern an der Steckdose aufladen lassen (Abb. 4-11). Andere Hersteller – wie Volkswagen, Audi und Volvo – statten ihre hybriden Fahrzeuge mit Komponenten zum Nachladen der Batterie aus. Mit Audi, Mercedes-Benz, Ford, Volvo, Chevrolet und insbesondere Opel gibt es auch einige Hersteller, die EREVs in ihren Fahrzeugkonzepten und Serienfahrzeugen platziert haben, wenngleich diese Fahrzeuge eine eher untergeordnete Rolle bei den aktivsten Herstellern elektrifizierter Fahrzeugkonzepte einnehmen.

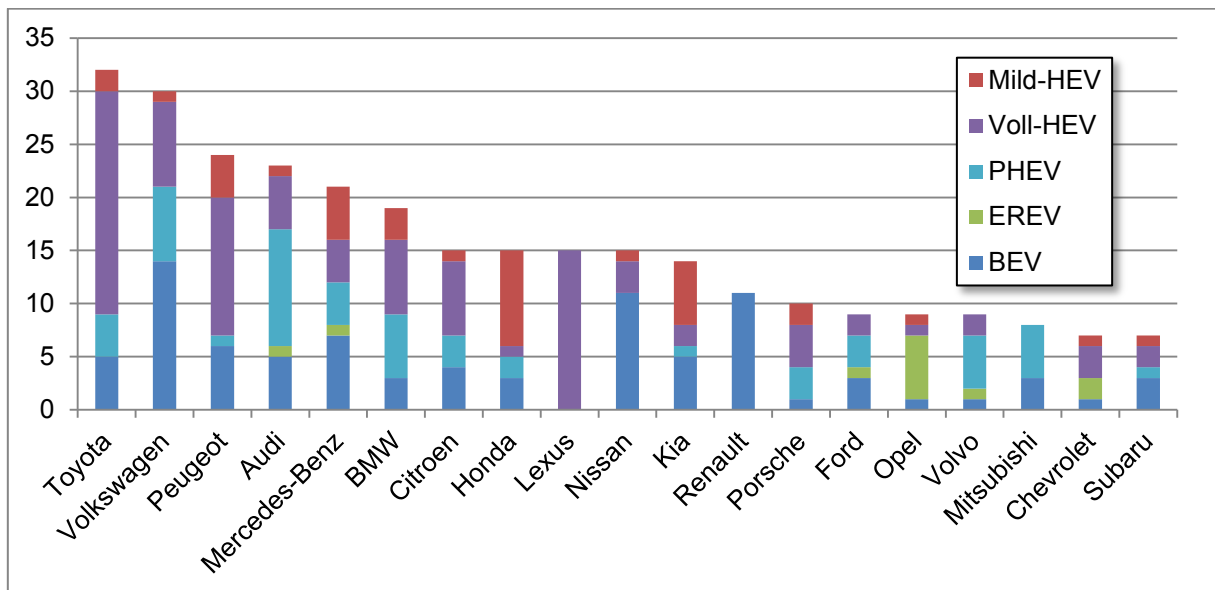


Abb. 4-11 Elektrifizierungsgrad der vorgestellten Fahrzeuge nach Fahrzeugherstellern

Fahrzeuge werden auch nach Massen- bzw. Leistungsklassen eingeteilt, wobei signifikante Unterschiede identifiziert werden können. Leichte Fahrzeuge mit einem Leergewicht von unter 500 kg werden hauptsächlich als batterieelektrische Fahrzeuge konzipiert (Abb. 4-12). Mit zunehmender Fahrzeugmasse gewinnen die Hybridvarianten an Bedeutung. Reichweitenverlängerte Fahrzeuge lassen sich nur ab 1000 kg ausfindig machen. Überdies zeigt sich, dass der größte Anteil elektrifizierter Fahrzeugkonzepte im Bereich zwischen 1000 kg und 2000 kg existiert. Fahrzeuge unter 500 kg und oberhalb von 2000 kg sind eher selten zu finden, zumindest bei der Betrachtung von Fahrzeugen der EG-Fahrzeugklasse M1 (Pkw).

Eine Untersuchung der Antriebskonzepte hinsichtlich der Leistungsklassen liefert ein ähnliches Ergebnis wie die Einteilung in Gewichtsklassen. Fahrzeuge mit niedriger Systemleistung sind deutlich häufiger batterieelektrische als Fahrzeuge mit viel Leistung. Mit zunehmender Leistung steigt der Anteil der hybridisierten Antriebsstränge, insbesondere auch der von Plug-in-Hybriden (Abb. 4-13). Bei der Verteilung der elektrifizierten Antriebsstränge über die Leistungsklassen tritt zutage, dass elektrifizierte Fahrzeuge mit hohen Leistungen deutlich häufiger vorkommen als Fahrzeuge mit einer geringen Systemleistung. Dies könnte als Indiz dafür gewertet werden, dass viele Hersteller ihre Kunden bei der Elektromobilität neben Umweltaspekten mit dem Fahrspaß überzeugen wollen. Trotz der möglicherweise etwas geringeren Leistung des Verbrennungsmotors können Hybridfahrzeuge dank ihrer elektrischen Antriebskomponenten die vom Fahrer geforderte Leistung kurzfristig zur Verfügung stellen. Darüber hinaus sind es besonders die großen und schweren Fahrzeuge, die den Herstellern Schwierigkeiten bei der Einhaltung der jeweils geltenden Emissions- oder Effi-



zuvorschriften machen. In diesen Fahrzeugen, die häufig auch über mehr Leistung verfügen als kleine und kompakte Fahrzeuge, kann die Hybridisierung angesichts der derzeit geltenden Vorschriften, z. B. in der Europäischen Union, insbesondere auch in Verbindung mit der externen Nachlademöglichkeit für die Batterie helfen, die Emissionen und den Kraftstoffverbrauch deutlich zu reduzieren. Bei kleinen Fahrzeugen können die Vorgaben häufig schon ohne Elektrifizierung eingehalten werden.

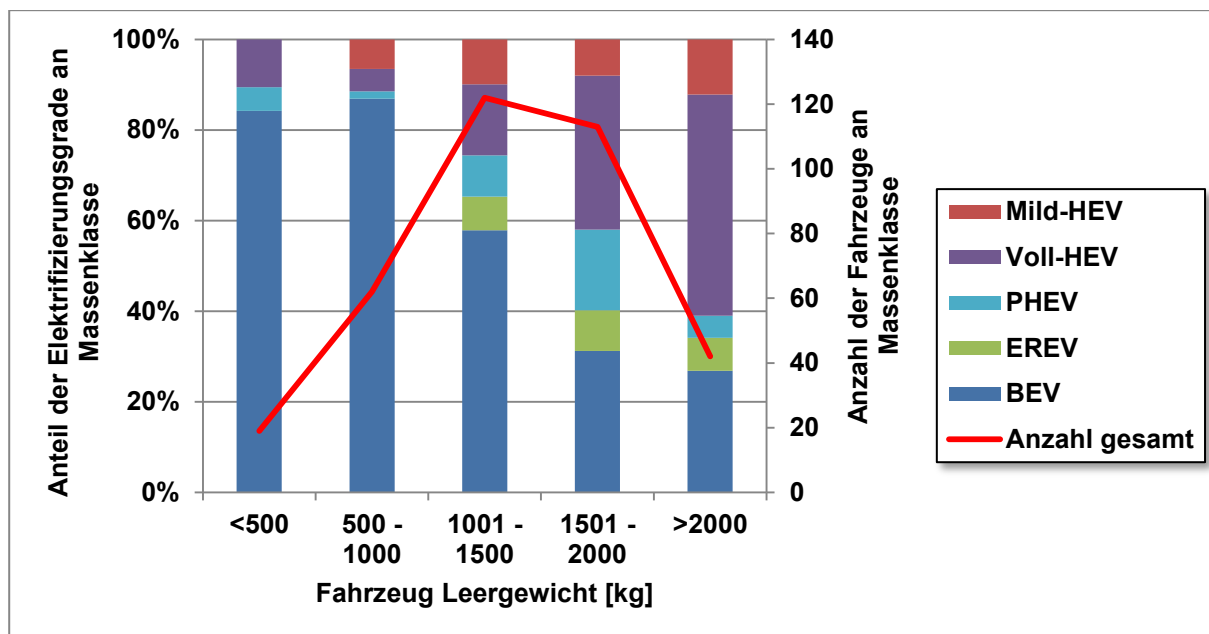


Abb. 4-12 Anteil der Elektrifizierungsvarianten pro Fahrzeuggewicht und Verteilung der elektrifizierten Fahrzeugkonzepte über Fahrzeuggewicht

Neben konzeptionellen sind auch technologische Varianten elektrifizierter Fahrzeuge von Interesse, vor allem Energiespeicher und elektrische Maschinen betreffend. Zu Beginn der Elektromobilitätsentwicklung zwischen 2005 und 2007 waren Fahrzeuge in der Regel mit Nickel-Metall-Hydrid-Batterien ausgestattet (Abb. 4-14), einige aber auch schon mit Li-Ionen-Batterien entwickelt. Ab 2007 überwiegt die Li-Ionen-Technologie und heute ist von einer Dominanz von Li-Ionen-Batterien bei elektrifizierten Fahrzeugkonzepten auszugehen. Dennoch werden regelmäßig Fahrzeuge mit anderem elektrischen Energiespeicher vorgestellt, z. B. mit Blei-Batterien, Kondensatoren (sogenannte Super-Caps), aber auch mit anderen chemischen Zusammensetzungen, mit Schwungradspeicher oder Redox-Flow-Batterien. Die in Abb. 4-14 unter „Sonstige“ aufgeführten Technologien spielen nicht nur hinsichtlich ihres Anteils oder ihrer absoluten Anzahl eine untergeordnete Rolle, sondern kommen in der Regel auch in Fahrzeugen in einem frühen Entwicklungsstadium vor. Oftmals sind sie, wie Forschungs- und Versuchsfahrzeuge, nicht für den Einsatz in der Großserie vorgesehen.

Der Anteil der Li-Ionen-Technologie bei Energiespeichern für elektrifizierte Fahrzeuge ist zwar derzeit der größte und auch weiterhin zunehmend, jedoch offenbart eine Betrachtung der verschiedenen Elektrifizierungsgrade einen vermehrten Einsatz von Li-Ionen-Batterien insbesondere mit steigender Elektrifizierung. Bei 90 % der batterieelektrischen Fahrzeuge, Range-Extender und sonstigen Plug-in-Hybride kommt diese Technologie zum Einsatz (siehe Abb. 4-15). Bei Fahrzeugen mit niedrigerem Elektrifizierungsgrad, wie Voll- oder Mild-Hybride, haben auch die anderen Technologien einen signifikanten Anteil. Über 50 % der

Voll-Hybride sind mit Nickel-Metall-Hydrid-Batterien ausgerüstet. Mild-Hybride verfügen mit einem Anteil von fast 10 % über Blei-Batterien als Energiespeicher und auch sonstige Technologien kommen in über 10 % der Mild-Hybride zum Einsatz. Insgesamt verfügt mit über 75 % der deutliche größte Anteil der Fahrzeuge über Li-Ionen-Technologie.

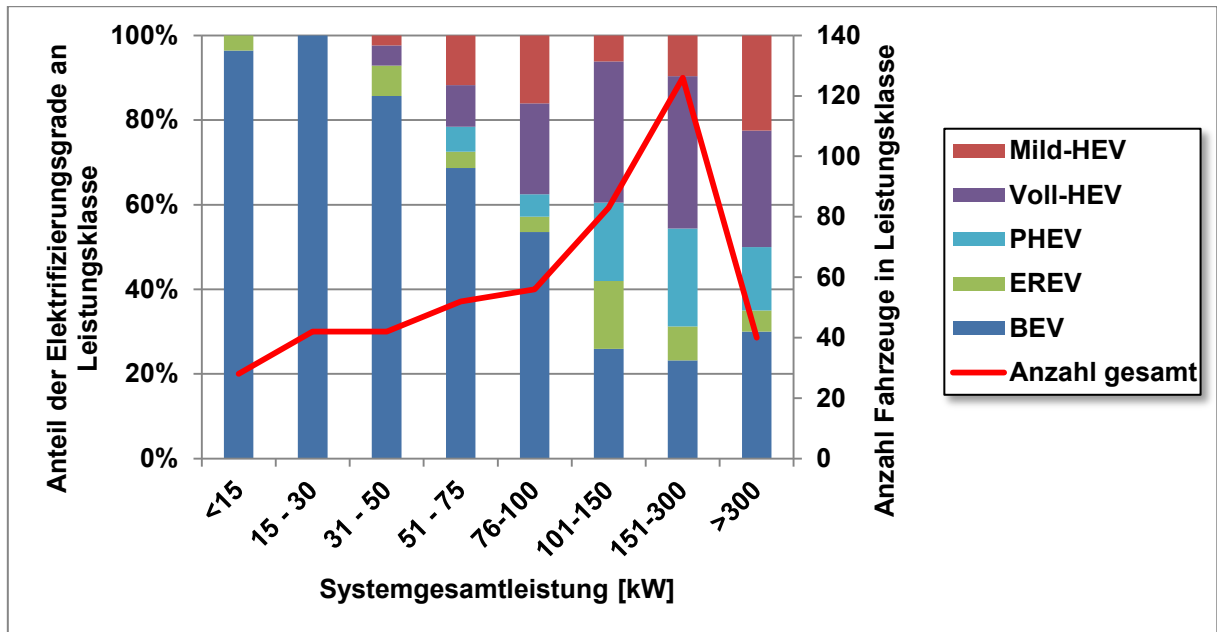


Abb. 4-13 Anteil der Elektrifizierungsvarianten pro Systemleistungsklasse und Verteilung der elektrifizierten Fahrzeugkonzepte über Systemleistung

Bereits am Markt verfügbare Serienfahrzeuge liefern ein ähnliches Bild: Von den zehn weltweit am meisten verkauften PEV verfügen neun über Li-Ionen-Batterien. Lediglich der ausschließlich in China angebotene Chery QQ3 konnte als Fahrzeug mit Blei-Batterie identifiziert werden.

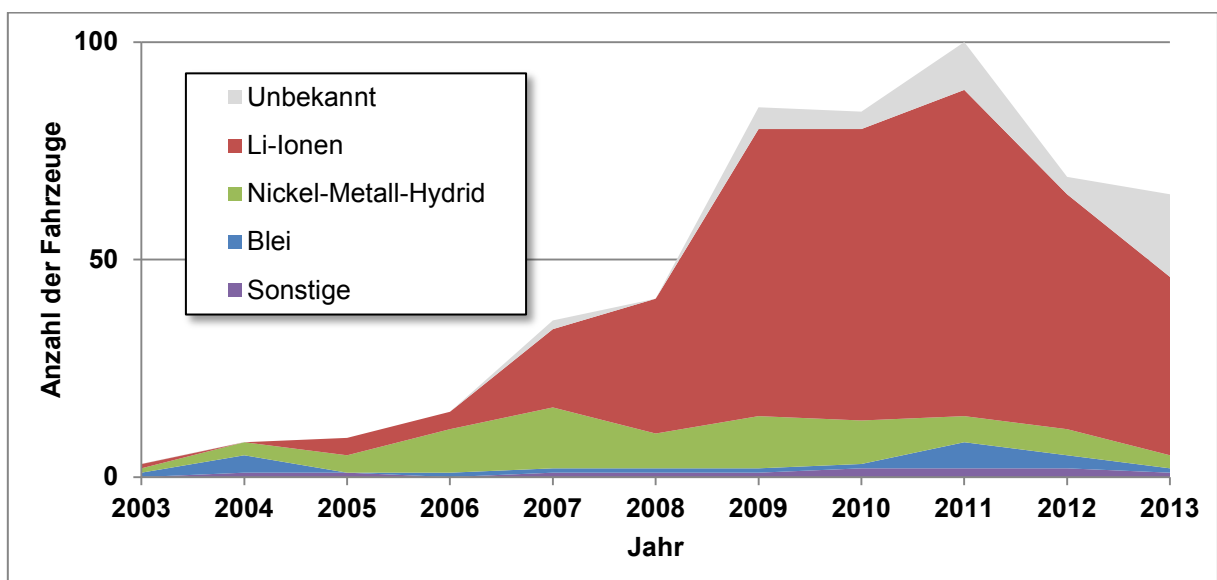


Abb. 4-14 Entwicklung der Anzahl der Fahrzeuge, welche mit den jeweiligen Energiespeichertechnologien ausgerüstet sind.

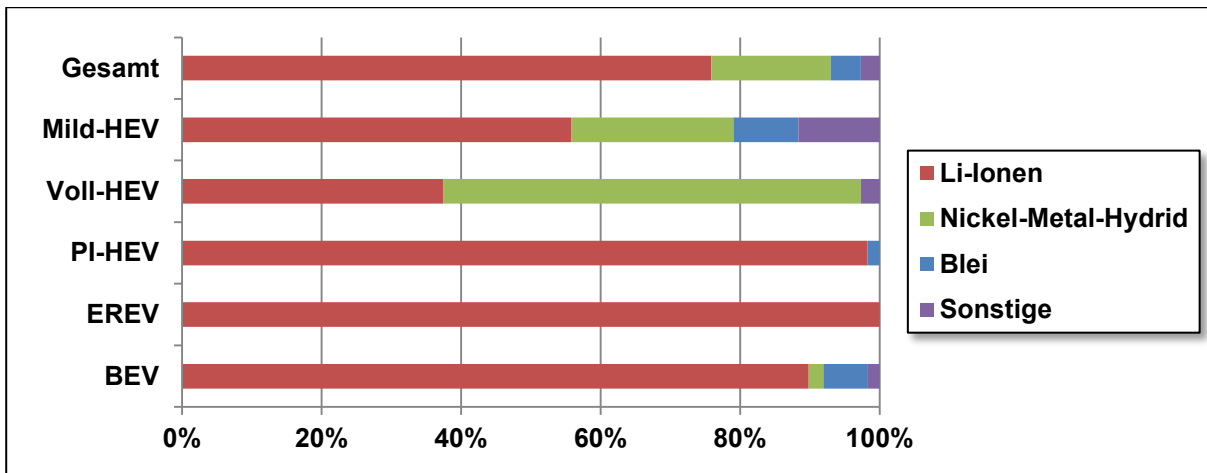


Abb. 4-15 Anteile der Energiespeichertechnologien bei den diversen Elektrifizierungsvarianten

Bei zum Einsatz kommenden elektrischen Maschinen fällt das Ergebnis noch deutlicher aus. Seit Beginn der Entwicklung ist ein ausgesprochener Schwerpunkt bei permanenterrregten elektrischen Maschinen zu erkennen (Abb. 4-16). Diese Entwicklung setzt sich bis heute fort. Zwar gibt es immer wieder Konzepte mit anderen Maschinen, mengenmäßig allerdings auf niedrigem Niveau. Einschränkend ist zu bemerken, dass bei einer erheblichen Anzahl von Fahrzeugen der verwendete Maschinentyp nicht identifiziert werden konnte, da er bei Studien- oder Konzeptfahrzeugen in einer sehr frühen Entwicklungsphase teilweise noch nicht feststeht oder entsprechende Informationen nicht öffentlich zugänglich sind.

Der hohe Anteil permanenterrregter Maschinen ist insbesondere auch deshalb beachtlich, weil den Magneten dieser Maschinenart aufgrund der notwendigen Seltenerdelemente eine wichtige Rolle hinsichtlich der Rohstoff- und Versorgungssituation zukommt (siehe Kapitel 0). Die Ergebnisse legen nahe, dass die Vorteile bei der Effizienz sowie der Leistungsdichte gegenüber dieser Problematik jedoch überwiegen und mögliche Engpässe in der Zukunft derzeit noch keine sichtbaren Auswirkungen auf die Auswahl der Motorentechnologie durch den Hersteller haben.

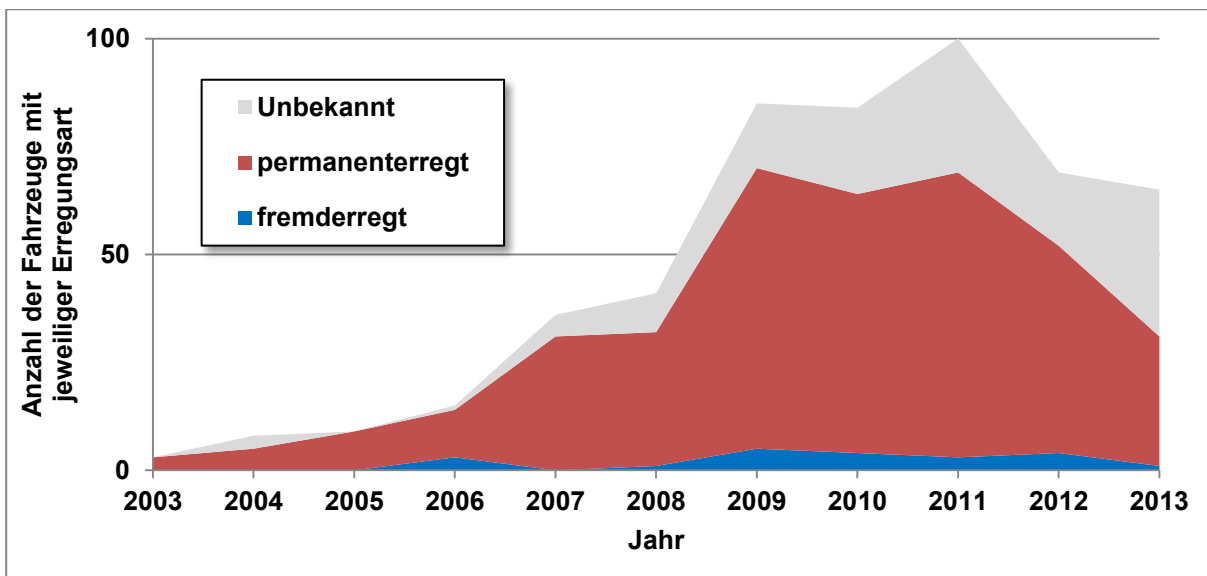


Abb. 4-16 Entwicklung der Anzahl der Fahrzeuge mit Maschinen der jeweiligen Erregungsart

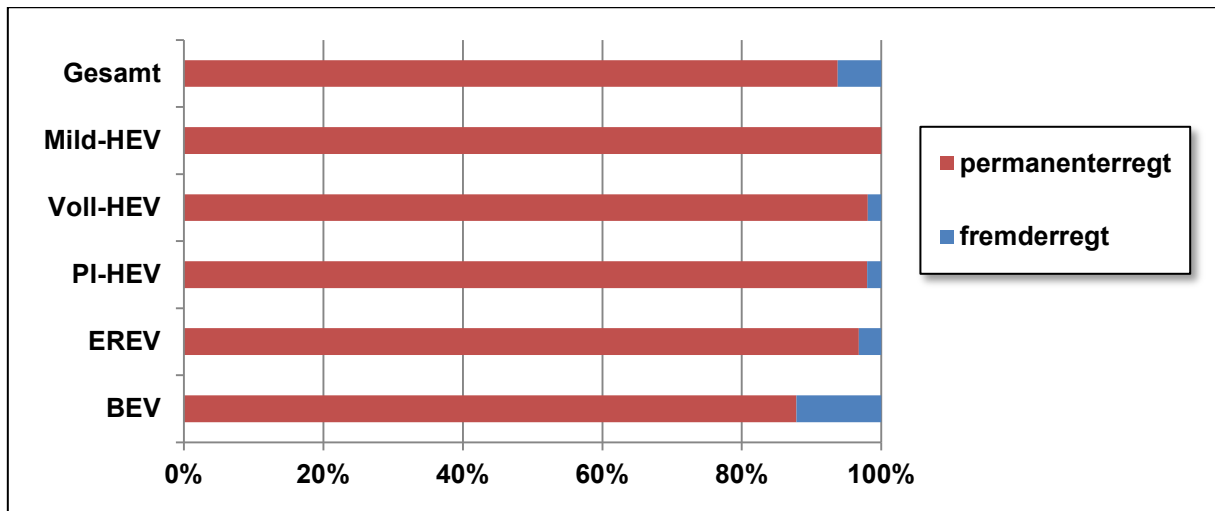


Abb. 4-17 Anteil der Erregungsarten an Elektrifizierungsgraden

Insgesamt haben permanent erregte Maschinen unter den Fahrzeugen mit identifiziertem Maschinentyp einen Anteil von über 90 % (Abb. 4-17). Bei batterieelektrischen Fahrzeugen ist der Anteil mit knapp unter 90 % am geringsten, wobei sich auch hier eine klare Tendenz abzeichnet. Unter den Mild-Hybriden konnte für keines der Fahrzeuge eine nicht permanent erregte Maschine ausgemacht werden.

Bei internationalen Experten hat sich die Ansicht etabliert, dass die permanent erregte elektrische Maschine den wichtigsten Maschinentyp für Elektrofahrzeuge darstellt. Entscheidende Faktoren sind die positiv ausgeprägten Eigenschaften wie Effizienz und Leistungsdichte (Klötzke et al. 2014a). Allerdings sehen viele Experten eine Problematik aufgrund der Versorgungssituation mit Seltenerdmetallen aufkommen. In Nordamerika und Japan geht man davon aus, dass aus diesem Grund langfristig vermehrt alternative Konzepte wie Asynchronmaschinen oder fremderregte Synchronmaschinen in den Fahrzeugen verbaut werden. Zudem können Fortschritte in der Materialentwicklung dazu führen, dass Substitutionsmaterialien die Seltenerdmetalle in den Permanentmagneten ersetzen oder zumindest deren Anteil reduzieren. Diese Entwicklung wird jedoch nicht vor 2030 erwartet. Lediglich in Indien werden derzeit zu einem größeren Teil Asynchronmaschinen eingesetzt, nach Expertenmeinungen deshalb, weil diese vergleichsweise einfach und günstig in der Herstellung und robust gegenüber äußeren Einflüssen sind, was für den indischen Fahrzeugmarkt eine wichtige Eigenschaft darstellt. Zudem gibt es in Indien zahlreiche Firmen, die diesen Maschinentyp für industrielle Anwendungen herstellen. Jedoch wird auch hier erwartet, dass sich mittelfristig permanent erregte elektrische Maschinen aufgrund ihrer technischen Eigenschaften durchsetzen.

Auch in der Mehrzahl der verkauften PEV kommen permanent erregte elektrische Maschinen zum Einsatz. In den Top 10 der meistverkauften PEV weltweit ist lediglich im Tesla Modell S sowie im Renault Twizy eine Asynchronmaschine verbaut.

Batterieelektrische Fahrzeuge weisen mit steigender Fahrzeugmasse mehr Leistung pro Masseinheit auf (Abb. 4-18). Während Fahrzeuge aus dem A-Segment (Kleinstwagen) im Durchschnitt über 39 W/kg elektrischer Leistung verfügen, besitzen Fahrzeuge aus dem B-Segment durchschnittlich schon 59 W/kg, Fahrzeuge aus dem C- und D-Segment ca. 68 W/kg. Eine Ausnahme stellen mit im Durchschnitt lediglich 42 W/kg elektrischer Leistung

die Fahrzeuge aus dem M-Segment dar. Diese Tendenz zeigt sich auch beim Leistungsspektrum: Fahrzeuge aus dem A-Segment bringen 22–70 W/kg mit, Fahrzeuge aus dem B-Segment immerhin schon 27–102 W/kg. Fahrzeuge aus dem C- und D-Segment liegen auch beim Leistungsspektrum mit 44–120 W/kg elektrischer Leistung ähnlich, Fahrzeuge aus dem M-Segment wiederum verfügen lediglich über 27–57 W/kg. Bei Fahrzeugen aus dem S-Segment (Sportwagen) liegen sowohl die durchschnittliche Leistung mit 130 W/kg als auch das Leistungsspektrum mit 78–244 W/kg deutlich über den Werten der anderen Segmente. Das ist wenig verwunderlich, da das Beschleunigungsverhalten, das bei einem Sportwagen in besonderem Maße ausgeprägt ist, eng mit der spezifischen Leistung verknüpft ist.

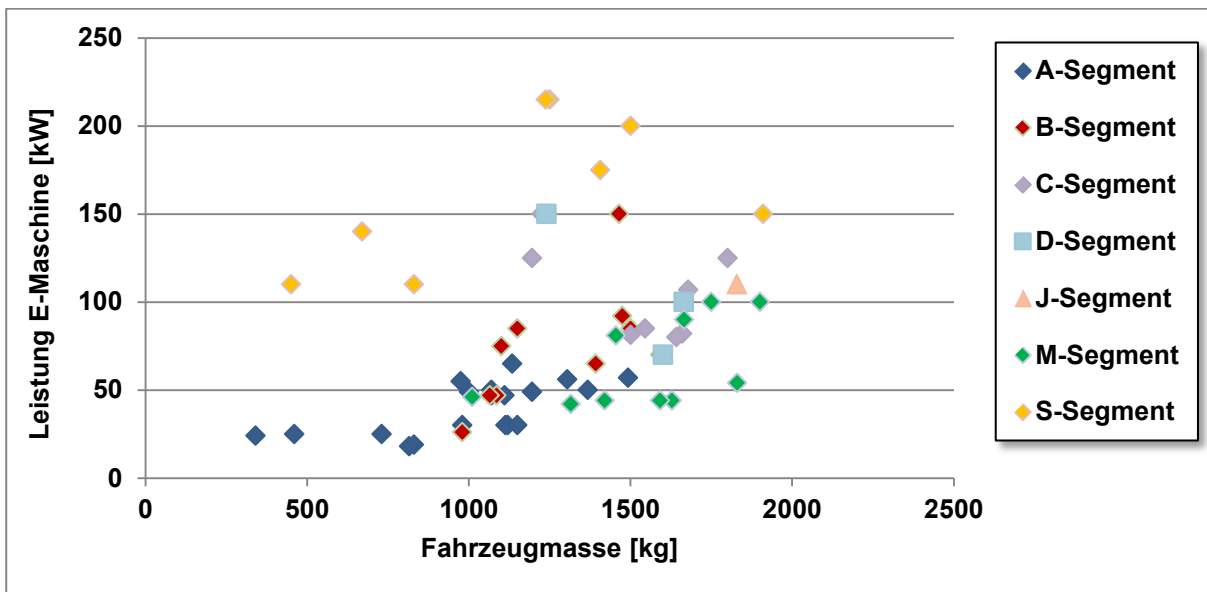


Abb. 4-18 Installierte Antriebsleistung pro Fahrzeugmasse bei batterieelektrischen Fahrzeugen (ohne Slow-Speed-Vehicles)

Auch hinsichtlich des Verhältnisses aus installierter Batteriekapazität und Fahrzeugleergewicht liegen die Vertreter des S-Segments vorn (Abb. 4-19). Diese Fahrzeuge verfügen im Mittel über 35 Wh/kg. Allerdings sind die Fahrzeuge der Segmente A, C, D und M, im Gegensatz zu den Ergebnissen für die installierte elektrische Leistung, bei der Batteriekapazität mit durchschnittlich 17 Wh/kg ungefähr gleich auf. Lediglich die untersuchten Fahrzeuge aus dem B-Segment verfügen mit einer Durchschnittskapazität von 21 Wh/kg über etwas mehr Energie im Verhältnis zu ihrer Fahrzeugmasse als bei den vorher genannten Segmenten. Allerdings ist bei allen Segmenten eine deutliche Spreizung festzustellen. Für die Fahrzeuge aus dem A-, C-, D- und M-Segment existieren Batteriekapazitäten von 9,4 Wh/kg bis 28 Wh/kg. Im B-Segment liegt der Minimalwert bei 14 Wh/kg, das Maximum bei 32 Wh/kg. Die Fahrzeuge aus dem S-Segment weisen eine Batteriekapazität zwischen 26 Wh/kg und 44 Wh/kg auf.

Bei Plug-in-Hybriden ist eine so klare Einordnung wie bei batterieelektrischen Fahrzeugen nicht möglich, denn die Fahrzeuge liegen schon innerhalb der einzelnen Segmente weiter auseinander. Bei der installierten elektrischen Leistung findet man für die Segmente C, D, E, F und J Ergebnisse zwischen 12 W/kg und 72 W/kg (Abb. 4-20). Kleinstfahrzeuge aus dem B-Segment liegen mit 25–84 W/kg etwas darüber.

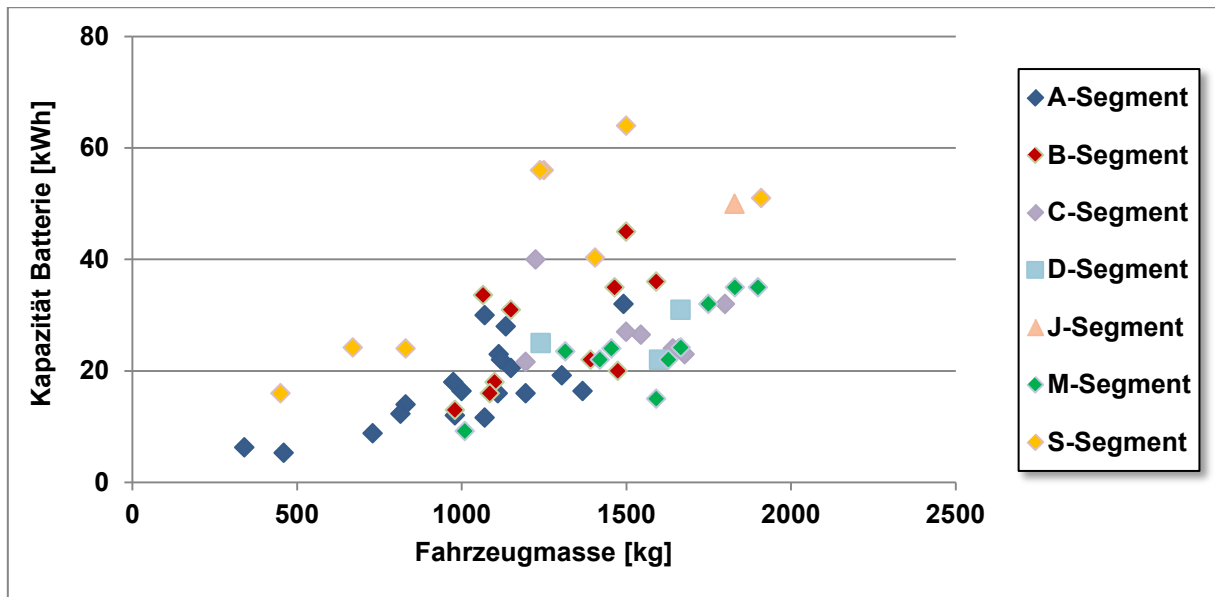


Abb. 4-19 Installierte Batteriekapazität pro Fahrzeugmasse bei batterieelektrischen Fahrzeugen (ohne Slow-Speed-Vehicles)

Bei Plug-in-Hybriden übersteigen die Sportwagen aus dem S-Segment die übrigen Fahrzeuge nicht in dem Maß wie bei batterieelektrischen Fahrzeugen und liegen mit 44–125 W/kg zwar über den Fahrzeugen der übrigen Segmente, allerdings ist der Unterschied nicht so deutlich. Gleichwohl lässt dies noch keine Aussage über die gesamte installierte Leistung zu, da der Verbrennungsmotor noch nicht berücksichtigt ist.

Bezüglich der installierten Batteriekapazität ist bei Plug-in-Hybriden kein Unterschied zwischen den Segmenten festzustellen. Zwar reicht die Spanne aus dem Verhältnis von Batteriekapazität und Fahrzeugleergewicht von ungefähr 3 Wh/kg bis etwas über 12 Wh/kg, allerdings ist keine signifikante Zuordnung zu einzelnen Segmenten möglich (Abb. 4-21).

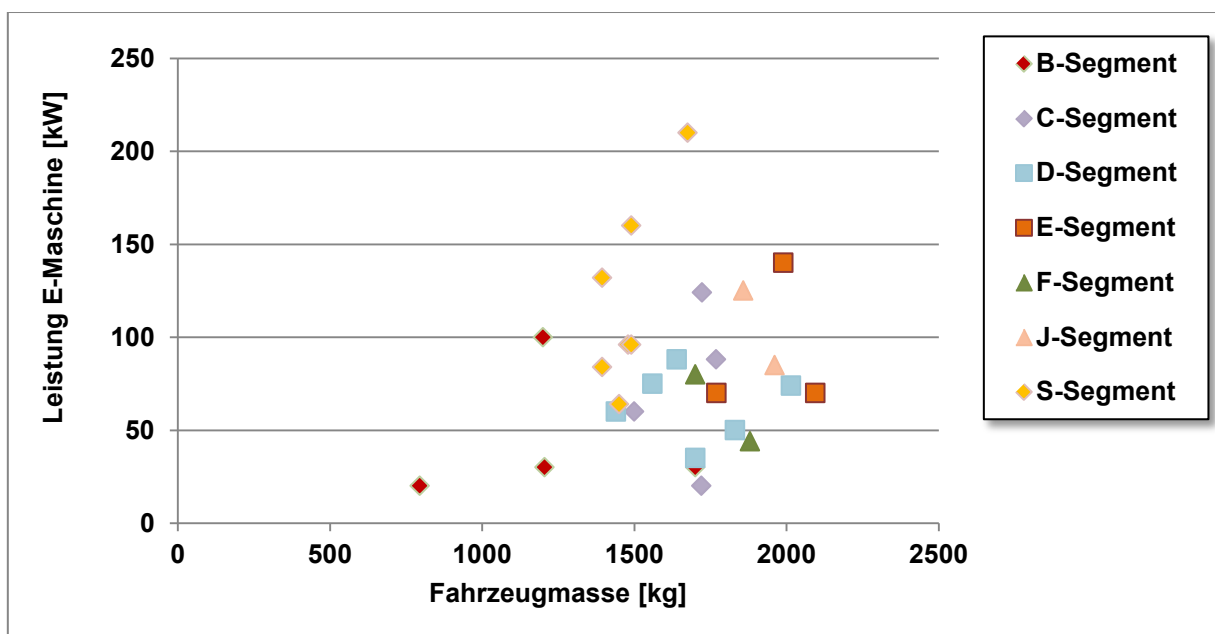


Abb. 4-20 Installierte Antriebsleistung pro Fahrzeugmasse bei Plug-in-Hybriden

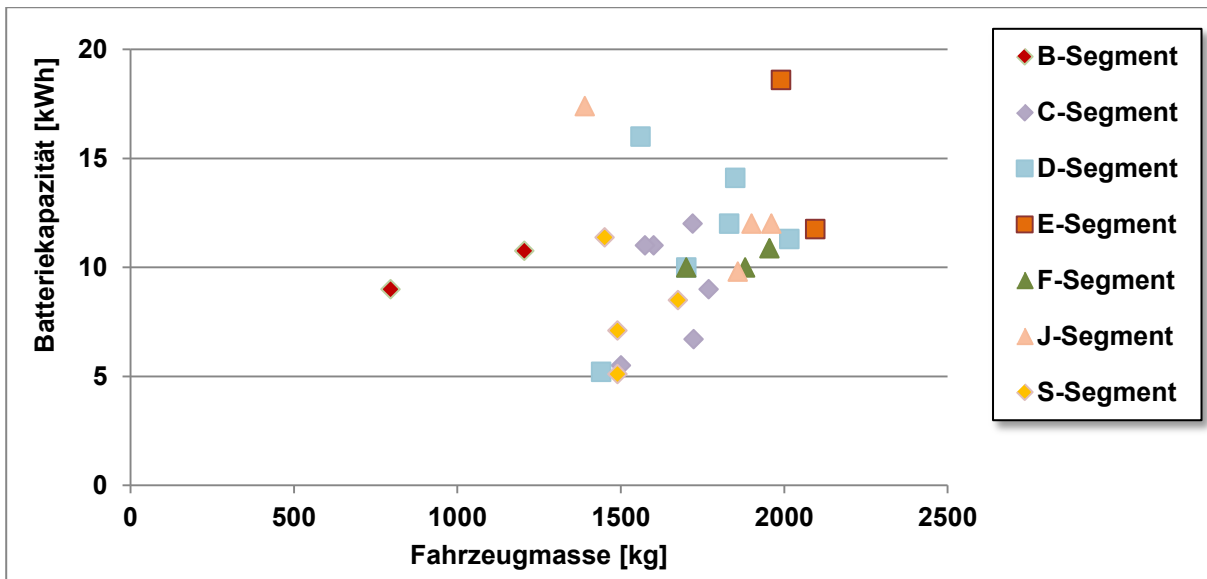


Abb. 4-21 Installierte Batteriekapazität pro Fahrzeugmasse bei Plug-in-Hybriden

Bei Voll-Hybriden lässt sich keinerlei Unterscheid zwischen den Fahrzeugsegmenten bezüglich des Verhältnisses aus elektrischer Leistung beziehungsweise Batteriekapazität und Fahrzeugmasse erkennen. Zwar liegt auch hier mit Werten zwischen 1,3 W/kg und 8,9 W/kg für die Leistung der elektrischen Maschine eine recht große Spreizung vor, diese verteilt sich jedoch gleichmäßig über die Segmente (Abb. 4-22).

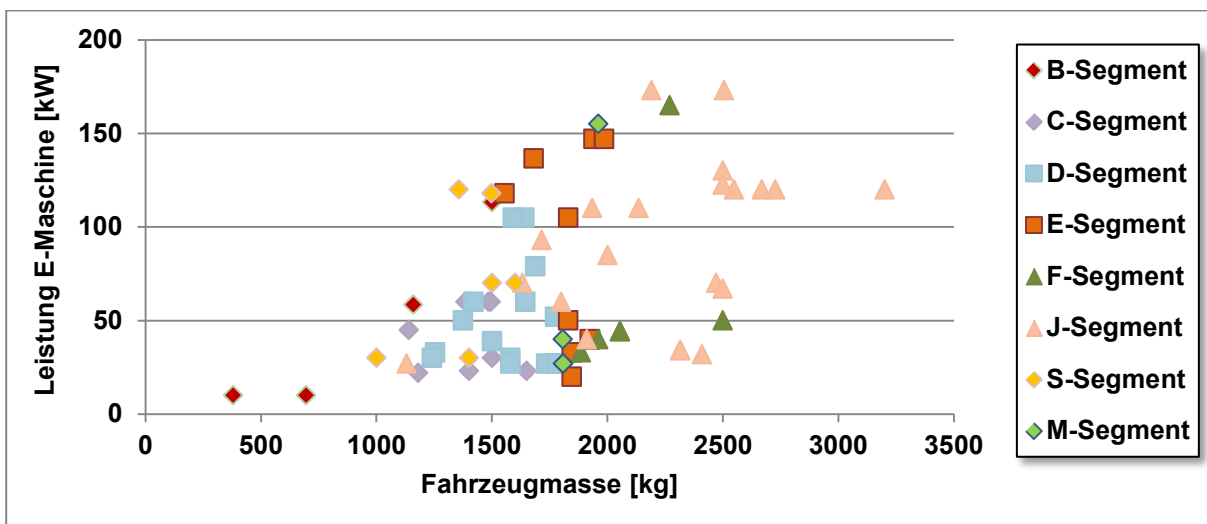


Abb. 4-22 Installierte Antriebsleistung pro Fahrzeugmasse bei Voll-Hybriden

Bei der Untersuchung der Batteriekapazität für Voll-Hybride kommt erschwerend hinzu, dass die Information zur installierten Kapazität nicht immer verfügbar ist. Aus diesem Grund enthält Abb. 4-23, in der die Batteriekapazität von Voll-Hybriden über das Fahrzeugleergewicht aufgetragen ist, deutlich weniger Fahrzeuge als Abb. 4-22 zum Verhältnis zwischen installierter elektrischer Antriebsleistung und Fahrzeugmasse. Die Batteriekapazität liegt über alle Fahrzeugsegmente zwischen 0,4 Wh/kg und 2,6 Wh/kg.

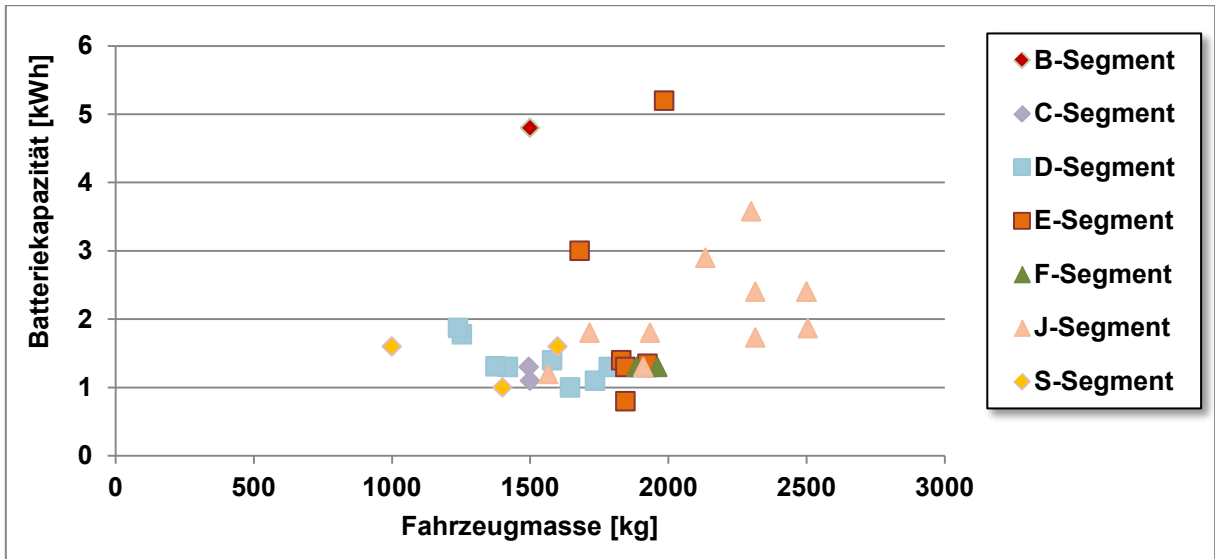


Abb. 4-23 Installierte Batteriekapazität pro Fahrzeugmasse bei Voll-Hybriden



## 4.2 Internationales Technologiemonitoring

*B. Frieske (DLR), M. Klötzke (DLR)*

Zur Abbildung der aktuellen Forschungslandschaft von Schlüsseltechnologien im speziellen Umfeld der Elektromobilität wurden bibliometrische Analysen globaler Patent- und Publikationsdaten von 2000 bis 2012 durchgeführt, d. h. die zugrunde liegenden (Meta-)Informationen referierter wissenschaftlicher Publikationen sowie veröffentlichter Patente in dezidierten Datenbanken per Indikatoren erfasst, strukturiert und harmonisiert, um damit sowohl quantitative Analysen (Anzahl Patente/Publikationen) per statistischer Auswertung als auch qualitative Analysen (Inhalte Patente/Publikationen) über Text- und Data-Mining-Funktionen durchführen zu können.

Insgesamt wurden im Rahmen dieser Untersuchung 54 687 Publikationen und 93 435 Patente im Bereich Hybrid- und Elektrofahrzeuge erfasst, die als für den Antriebsstrang elektrifizierter Pkw relevant bewertet und deshalb für die nachfolgende qualitative Inhaltsanalyse herangezogen wurden. Die jeweiligen Such- und Recherchestrategien in den Themenfeldern „E-Maschine“ und „Leistungselektronik“ wurden in den Datenbanken SCOPUS (Publikationsanalyse) und Espacenet des Europäischen Patentamts (EPO, Patentanalyse) in Kombination von IPC-Klassen (International Patent Classification) und Schlüsselworten ausgeführt.

Ziele der Analysen sind Identifikation und Vergleich internationaler Forschungsschwerpunkte und Entwicklungstrends in Bezug auf die Leistungselektronik und die elektrische Maschine als Schlüsseltechnologien der Elektromobilität sowie einzelner, ausgewählter Komponenten und Bauteile. Dabei wird insbesondere auf diejenigen Bauteile fokussiert, die von nationalen und internationalen Experten als besonders relevant für die technische Weiterentwicklung eingeschätzt wurden und an Inhalte des STROM-Programms anknüpfen. Im Rahmen dieser Untersuchung für die Leistungselektronik sind das z. B. passive Bauelemente wie Kondensatoren, v. a. aber aktive Elemente wie Halbleiter und hier im Speziellen neuartige Halbleitermaterialien wie Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN). Im Bereich der elektrischen Maschinen sind dies unterschiedliche Bauformen und auf Komponentenebene z. B. Stator und Rotor sowie Permanentmagnete. Zudem dient die Analyse dazu, führende Institutionen aus Industrie und Wissenschaft sowie Innovationsnetzwerke und -dynamiken zu identifizieren und letztlich einen internationalen Vergleich von Wettbewerbsfähigkeit und technologischer Position zu ermöglichen.

In den Datenbanken zur Leistungselektronik und zu E-Maschinen sind insgesamt 2 092 371 Datenpunkte über u. a. folgende Dimensionen auswertbar:

- Research field,
- Technology,
- Parameter,
- Title,
- Abstract,
- Keyword,
- Citation,
- Publication year,
- Applicant/Inventor/Institution/Author,
- Country/Worldregion,
- International Patent Classification (IPC).

Die Patentanalyse dient als originäres Instrument der strategischen Unternehmensführung der Untersuchung wettbewerbsrelevanter Aktivitäten in definierten Technologiefeldern und zielt als Planungs- und Entscheidungshilfe auf die Entwicklung von Handlungsempfehlungen für das Technologiemanagement ab (Chang 2012). Hierfür werden der enge Zusammenhang zwischen Investitionen im Bereich Forschung und Entwicklung (FuE) als Inputfaktor und Patentanmeldungen als Outputfaktor herangezogen. Patente beinhalten per Definition Erfindungen (Inventionen), die über den aktuellen Stand der Technik hinausgehen und in zukünftigen Produkten in konkreter Anwendung (Innovation) mit wirtschaftlichem Interesse Verwendung finden können (Pienkos 2005).

Neben der Nutzung als strategisches Planungstool ist die Patentanalyse ebenfalls zur Darstellung technologieorientierter Wettbewerbs- und Trendanalysen geeignet – wie im Rahmen dieses Arbeitspapiers realisiert. Patentinformationen werden damit als Indikatoren technologischer Trends und Entwicklungen sowie zur Bewertung der relativen Stärke von Technologieposition und Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich von Institutionen, Ländern und/oder Weltregionen genutzt.

Überdies kann die Analyse themenspezifisch rezensierter Publikationen als Indikator für FuE-Aktivität interpretiert werden (Ruegg & Jordan 2007). Beide Methoden werden in Kombination verwendet, um ein gesamtheitliches und objektives Bild internationaler Aktivitäten im Bereich Forschung und Entwicklung zu erhalten. Während Publikationen als Medium zur Dokumentation wissenschaftlicher Leistungen insbesondere dem Umfeld von Universitäten und Forschungsinstituten entstammen, werden Patente aufgrund des Aspekts der wirtschaftlichen Verwertung in konkreten Anwendungen eher der Industrie zugeordnet.

Die Patent- und Publikationsanalyse wurde in folgenden Schritten durchgeführt:

1. Identifikation und Definition von Technologiefeldern in den Bereichen „E-Maschine“ und „Leistungselektronik“ auf System-, Komponenten- und Bauteilebene,
2. Definition der Such- und Recherchestrategie über IPC-Klassen und Stichworte sofern nötig,
3. Datenerhebung in Zitations-, Abstract- und Patentdatenbanken (SCOPUS, Espacenet),
4. Strukturierung und Harmonisierung der Rohdaten und Definition relevanter bibliometrischer Indikatoren (z. B. Autor, Jahr, Institution, Titel, Abstract, Schutzrechtsanspruch, Forschungsthema),
5. Aufbau von Technologiedatenbanken,
6. Analyse der Patent(-meta-)informationen (quantitative Analyse),
7. Analyse der Patentinhalte mittels Text und Data Mining und Zuordnung zu Forschungs- und Technologiefeldern (qualitative Analyse),
8. Bestimmung der relativen Patentposition je Weltregion und Technologiefeld,
9. Bestimmung der Patentaktivität und Technologiedynamik je Weltregion und Technologiefeld, Darstellung von Innovationsnetzwerken sofern möglich,
10. Bestimmung der Forschungsschwerpunkte je Weltregion und Technologiefeld.

Zu den Treibern der Elektromobilität und innovativer Technologien für elektrifizierte Pkw zählen insbesondere Japan, die USA, Deutschland und Frankreich, die mit ihrer historisch gewachsenen starken Automobil- und Zuliefererindustrie große Anteile an den weltweiten FuE-Investitionen haben und damit auch im Bereich Patente und Publikationen signifikante Aktivitäten zeigen. Länder wie Indien oder China sind zwar aufgrund der schieren Größe des Markts und des Marktpotenzials von Bedeutung, jedoch (noch) keine Vorreiter in der techno-

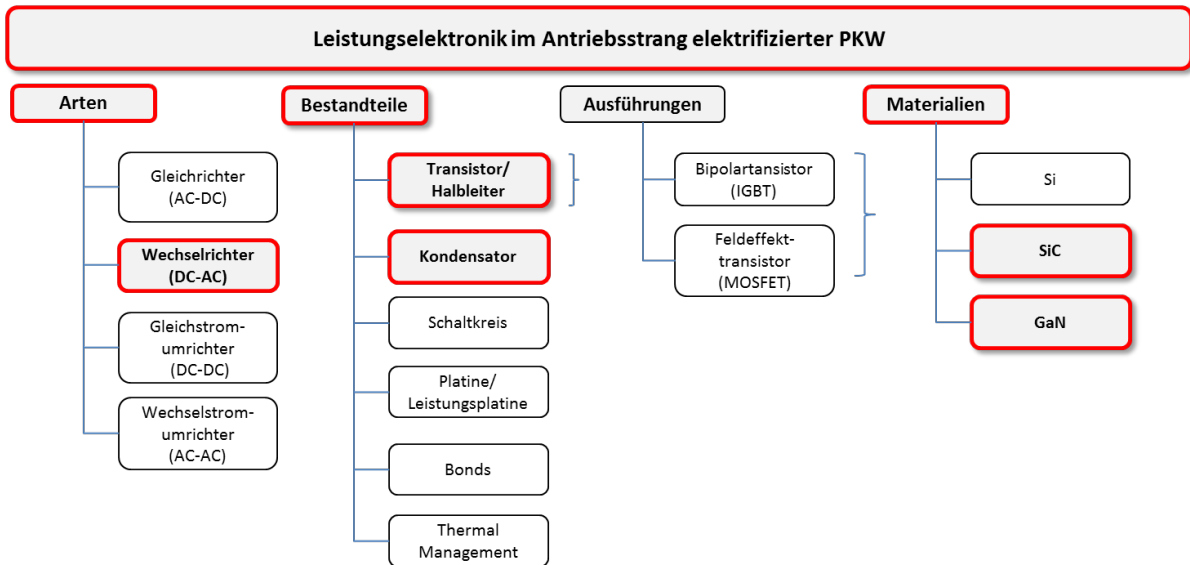
logischen Entwicklung. Insbesondere für China wird vorliegende Analyse zeigen, dass die Innovationsdynamik auch im Bereich von Schlüsseltechnologien der Elektromobilität seit einigen Jahren stark zunimmt.

Im Folgenden werden die finalen Auswertungen zu Leistungselektronik und E-Maschine auf Systemebene sowie jeweils nachfolgend die Analysen auf Komponenten-, Bauteil- und Materialebene dargestellt. In einem ersten Schritt werden dabei jeweils die Gesamtanzahl der identifizierten und zum Schutzrecht angemeldeten Patente anteilig (in %) und/oder über die Zeit (Gesamtzahl p. a.) nach Weltregionen im Vergleich dargestellt und interpretiert. Die Analyse dieser Patentzahlen dient der Bewertung von Veränderungen in der Struktur und Bedeutung des jeweiligen *Patentmarkts* (im Folgenden nur „Markt“, „IP-Markt“). Im zweiten Schritt sollen dann Aussagen zur *Technologie* getätigt werden, indem nicht mehr betrachtet wird, auf welchem Markt die Patente, sondern von welcher Institution sie angemeldet wurden. Damit lassen sich die führenden und bei FuE-Aktivitäten aktivsten Unternehmen/Forschungseinrichtungen/Universitäten je Technologiefeld identifizieren, anhand ihres Hauptsitzes einer Weltregion zuordnen und letztlich über ein Ranking die Haupttreiber der Technologieentwicklung darstellen.

Zusätzlich werden in einzelnen Technologiefeldern ergänzende Analysen durchgeführt, um die Anzahl der in den Weltregionen aktiven Institutionen zu vergleichen und damit als Indikator für bestehende FuE-Strukturen und -Intensitäten heranzuziehen. Zudem sollen exemplarisch auch Vernetzungen und Dynamiken in der Zusammenarbeit von Institutionen bei Patentaktivitäten analysiert und vergleichend dargestellt werden. Diese Analyse dient der Interpretation bestehender Innovationsnetzwerke und -strukturen in verschiedenen Ländern.

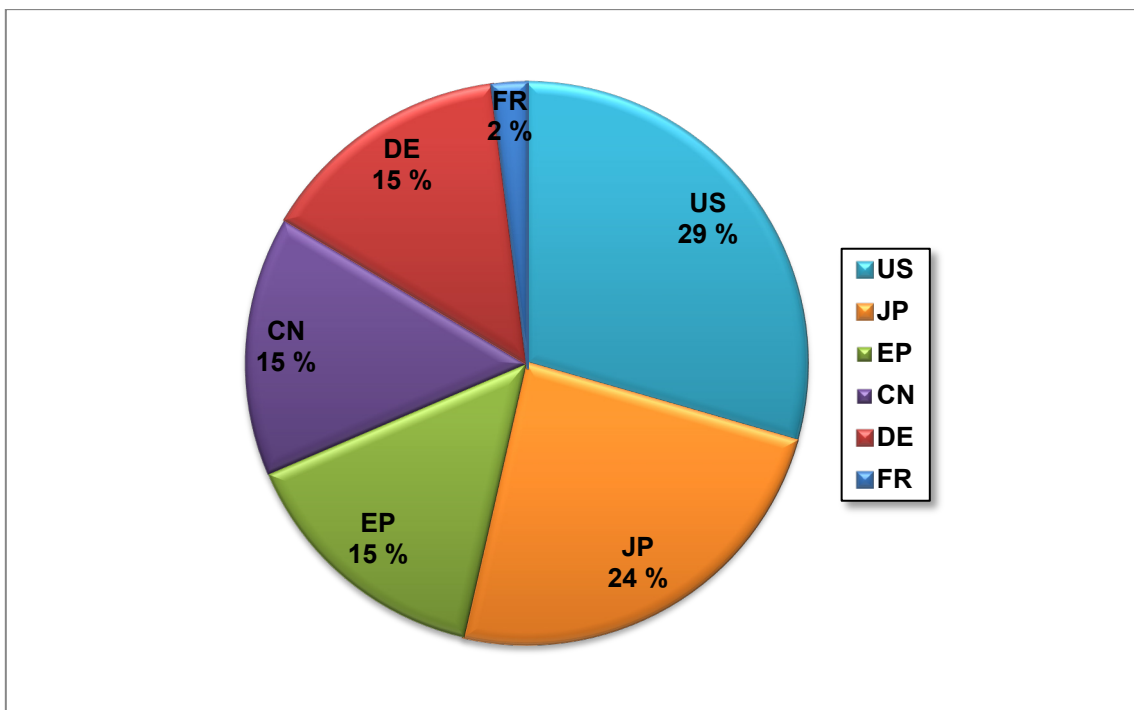
#### **4.2.1 Patent- und Publikationsanalyse „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter Pkw“**

Zur Analyse der Patentanmeldungen im Bereich „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter Pkw“ wurde eine dezidierte Patentrecherche in der Patentdatenbank Espacenet des Europäischen Patentamts (EPO) durchgeführt. Für die in Abb. 4-24 angegebenen Technologiefelder sind insgesamt 52 IPC-(Unter-)Klassen herangezogen (z. B. B60L, B60W, B60K) und z. T. mit einer Stichwortsuche kombiniert worden. Die hervorgehobenen Felder werden im Detail analysiert.



**Abb. 4-24: Betrachtete Technologiefelder im Bereich Leistungselektronik**

Insgesamt wurden in dem für diese Auswertung relevanten Feld „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter Pkw“ über 47 000 Patente veröffentlicht, wobei die Patentmärkte Japan (JP), USA (US), China (CN), Europa (EP), Deutschland (DE) und Frankreich (FR) zusammen ca. 48 % aller Patentschriften verzeichnen konnten (ca. 23 000). Die überwiegende Mehrzahl der Patente in diesem Bereich von 2000 bis 2012 wurden in den USA angemeldet (ca. 6700; 29 %), gefolgt von Japan (5500; 24 %) sowie gleichverteilt Europa, China und Deutschland mit jeweils ca. 3400 Patenten und einem Anteil von 15 % (Abb. 4-25). Nur ca. 450 Patentschriften wurden auf dem französischen Markt für IP („Intellectual Property“) publiziert, um dort Schutzrechtsansprüche geltend zu machen.



**Abb. 4-25: Anteil Patente für betrachtete Weltregionen**

Bei einem Vergleich der Offenlegung von Patentschriften im Bereich Leistungselektronik nach Zeit über die Jahre 2000 bis 2012 ist insgesamt ein Anstieg zu verzeichnen, wobei mit 4293 Patenten der Peak im Jahr 2012 erreicht wurde (Abb. 4-26).

Der japanische und der US-amerikanische IP-Markt hatten bis ins Jahr 2010 jeweils konstant steigende und relativ ähnliche Veröffentlichungszahlen. Während Japan dann aber auf einem relativ gleichbleibenden Niveau von ca. 700 Patenten pro Jahr stagnierte, konnten sich bis ins Jahr 2012 die USA einen klaren Vorsprung erarbeiten und den Patentoutput auf bis maximal 1400 pro Jahr steigern.

Die Bedeutung der chinesischen Patentanmeldungen stieg in den vergangenen Jahren kontinuierlich an; China verdrängte Deutschland bzw. Europa ab 2010 von Platz 3 und Japan 2011 erstmals knapp vom zweiten Platz.

Im direkten Vergleich der Patentsituation der Jahre 2000 und 2010 ist ein Anstieg der Veröffentlichungszahlen um knapp 900 % zu verzeichnen (430 auf 4293), wobei die USA ihre schon 2000 führende Position weiter ausbauen konnten und mit 779 die – in Bezug auf die Anzahl – meisten Anmeldungen vermeldeten. Dennoch verloren die USA aufgrund der höheren Gesamtzahl an Offenlegungen insgesamt an Marktanteil und pendelten sich im Jahr 2010 bei ca. 29 % ein, ein Verlust von knapp 5 % innerhalb einer Dekade.

Die Bedeutung des deutschen IP-Markts wurde geschwächt und sein Anteil von 20 % im Jahr 2000 auf 13 % verringert. Die Anzahl an Patentanmeldungen in Deutschland wuchs in diesem Zeitraum um nur ca. 400 %. Der deutsche Patentmarkt lag beim Wachstum dabei zwar vor Frankreich (ca. 300 %), aber hinter den USA (530 %), Japan (560 %), Europa (920 %) und insbesondere China (2870 %). Mit Abstand am meisten Dynamik ist damit in China zu beobachten. Hier konnte der Marktanteil innerhalb der letzten 10 Jahre von 3,7 % auf 16,8 % gesteigert werden. Die Anzahl offengelegter Patentschriften erreichte mit 459 den im Jahr 2010 drittbesten Wert.

Bemerkenswert ist die ab diesem Zeitpunkt sich noch einmal rasant verstärkende Dynamik: Innerhalb der folgenden zwei Jahre steigerte China den Anteil der auf dem eigenen IP-Markt veröffentlichten Patente von 16,8 % auf fast 27 %, während Japans Anteil von 24 % auf nur noch 17 % schrumpfte. Die USA konnten ihren Marktanteil nach Verlusten bis 2010 wiederum steigern und erreichten führende 32 % im Jahr 2012.

In Deutschland gingen bis 2012 die Patentanmeldungen konstant zurück, sodass nach einem Peak im Jahr 2009 nur noch 242 Patente in 2012 im Bereich Leistungselektronik veröffentlicht wurden und der Marktanteil um weitere 14 % auf nur noch 6 % fiel. In Frankreich ist eine nur leichte Steigerung der Gesamtzahl veröffentlichter Patente über die Jahre erkennbar. Der Marktanteil stagnierte dementsprechend auf einem relativ geringen Niveau zwischen 1,3 und 1,7 %.

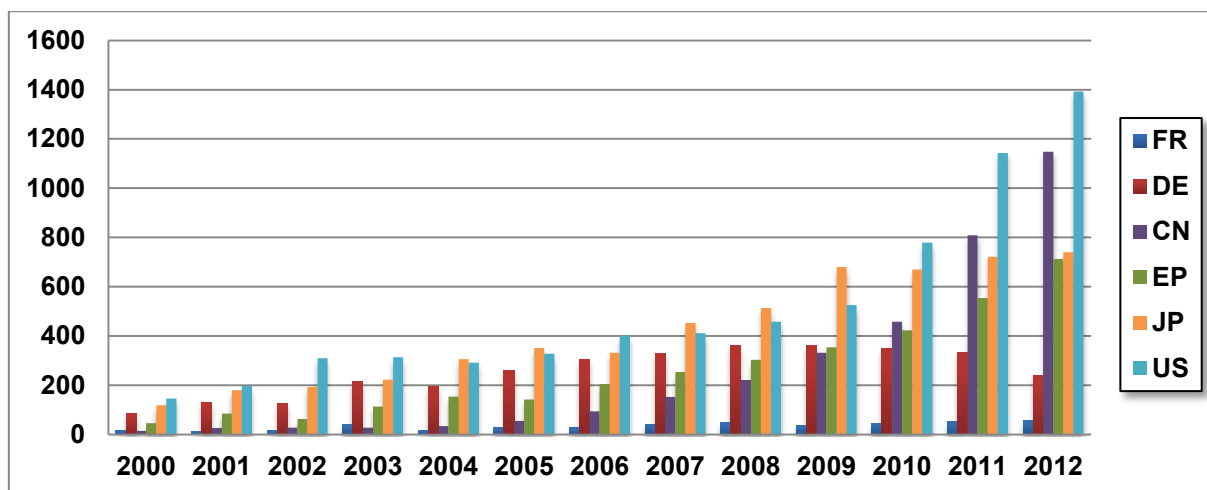


Abb. 4-26: Anzahl Patente nach Weltregionen 2000–2012

Die Analyse von Patentanmeldungen und -offenlegungszahlen dient der Identifikation von Aktivitäten und Dynamiken im internationalen Vergleich, um z. B. die Bedeutung der jeweiligen IP-Märkte über einen definierten Zeitraum zu gewichten. Zur Ableitung von Aussagen zur Technologieposition ist aber eine Untersuchung der jeweils führenden Institutionen innerhalb des Technologiefelds notwendig. Dies wird im folgenden Ranking für den Bereich Leistungselektronik im Antriebsstrang aufgezeigt.

Da die Aussagekraft der Patentanzahl beschränkt ist, sollen bei Erstellung des Rankings diejenigen Patentschriften ausgeklammert werden, die gleiche Inhalte in unterschiedlichen Weltregionen schützen bzw. derselben Patentfamilie zugeordnet werden können. So sollen Doppel- oder Mehrfachzählungen vermieden und das Ranking der Top-20-Institutionen anhand inhaltlich relevanter Erfindungen (oder Inventionen), die über den jeweiligen State-of-the-Art bestehender Lösungen hinausgehen, erstellt werden. Tab. 4-1 stellt das Ranking der Top-Patentanmelder nach Anzahl der Inventionen dar.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	TOYOTA MOTOR	6049	JP
2	NISSAN MOTOR	1977	JP
3	TOYOTA JIDOSHA	1470	JP
4	HONDA MOTOR	1208	JP
5	HYUNDAI MOTOR	696	SK
6	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	575	US
7	DENSO	573	JP
8	HITACHI	571	JP
9	HONDA MOTOR	558	JP
10	AISIN AW	530	JP
11	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>496</b>	<b>DE</b>
12	FORD GLOBAL TECH	375	US

<b>13</b>	<b>DAIMLER</b>	<b>345</b>	<b>DE</b>
<b>14</b>	TOSHIBA	319	JP
<b>15</b>	MITSUBISHI JIDOSHA KOGYO	299	JP
<b>16</b>	MAZDA MOTOR	263	JP
<b>17</b>	<b>ZF FRIEDRICHSHAFEN</b>	<b>248</b>	<b>DE</b>
<b>18</b>	KIA MOTORS	247	SK
<b>19</b>	FUJI HEAVY IND	238	JP
<b>20</b>	<b>BAYERISCHE MOTOREN WERKE</b>	<b>233</b>	<b>DE</b>

**Tab. 4-1 Top-20-Patentanmelder im Bereich Leistungselektronik nach Anzahl der Erfindungen**

Im Ranking der weltweit führenden Patentanmelder belegen asiatische Unternehmen damit neun Positionen in den Top 10, wobei insbesondere japanische Institutionen weit überlegen und mit einer Gesamtzahl von 14 055 Erfindungen führend sind. Während Toyota (Motor + Jidosha) insgesamt auf 7591 Inventionen kommt, halten deutsche OEM 469 inhaltlich relevante Patente und finden sich mit Daimler (inkl. DaimlerChrysler) und BMW auf den Plätzen 13 und 20 wieder.

Bestplatziertes deutsches Unternehmen ist die Robert Bosch GmbH auf Rang 11 mit 496 Inventionen im Portfolio. Die USA sind mit GM (575) und Ford (375) auf Platz 6 bzw. 12 vertreten, Tesla Motors hält neun Patente im Bereich Leistungselektronik elektrifizierter Pkw. Bestplatzierte chinesische Unternehmen sind Chery Automobile und BYD mit 90 bzw. 50 Inventionen, gefolgt von der Tsinghua University in Peking mit 40 Erfindungen.

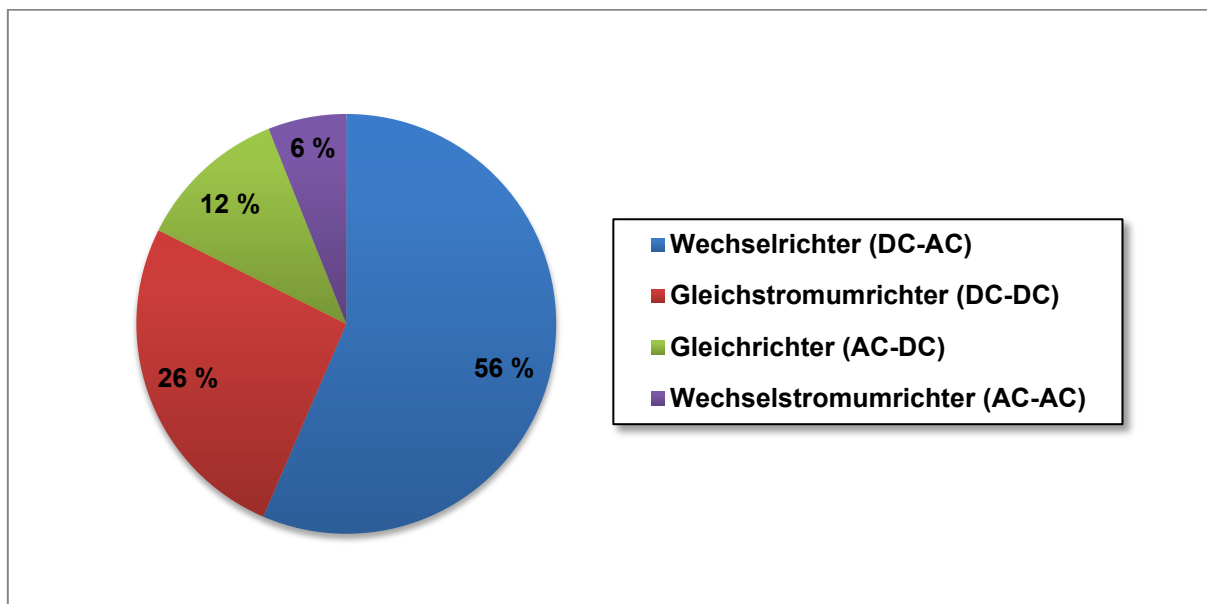
### Patentlandschaft „Wandlertypen“

Unter den untersuchten Patenten im Bereich „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter Pkw“ sind verschiedene Schwerpunktsetzungen erkennbar, die sich z. T. auf konkrete Anwendung im Komponenten- und Bauteilbereich beziehen und im Folgenden im Fokus der Analysen liegen werden.

Auf Komponentenebene befasst sich ein Großteil der Erfindungen (5225; 22 %) mit unterschiedlichen Wandlertypen. In einem Hybrid- oder Elektrofahrzeug werden aus diversen Gründen mehrere Arten von Stromrichtern benötigt, bei Nutzung einer Drehstrommaschine als Antriebseinheit bspw. ein bidirektionaler Gleich-/Wechselrichter, der im motorischen Betrieb die Gleichspannung von der Batterie in Wechselspannung für die elektrische Maschine wandelt und im generatorischen Betrieb umgekehrt die Wechselspannung in Gleichspannung.

Daneben ist in der Regel auch ein Gleichstromwandler erforderlich, der das Bordnetz in einen Hochspannungs- und einen Niederspannungsteil mit bedarfsgerechter Spannungsversorgung für Nebenaggregate aufteilt. Zusätzlich kann so eine stabile, vom Ladezustand der Batterie unabhängig Spannungsversorgung auf konstantem Niveau gesichert werden. Dies erleichtert die Auslegung aller elektrischen Komponenten und insbesondere der elektrischen Maschine. Nicht zuletzt besteht bei BEV und Plug-in-Hybriden eine weitere wichtige Aufgabe der Leistungselektronik darin, den Strom aus der Steckdose zum Speichern in der Batterie gleichzurichten (Ladegerätfunktionalität).

Wie Abb. 4-27 illustriert, bilden Erfindungen im Bereich Wechselrichter (Inverter) mit 2951 den insgesamt größten Anteil, gefolgt von Erfindungen im Bereich Gleichstromumrichter (1352; 26 %), Gleichrichter (607; 12 %) und Wechselstromumrichter (315; 6 %).



**Abb. 4-27 Anteil Patente im Bereich „Wandlertypen“**

Über alle Wandlertypen hinweg liegt auch hier eine Dominanz Japans vor, wobei der Anteil von über 65 % an allen Patentanmeldungen im Jahr 2000 auf ca. 51 % im Jahr 2010 und sogar unter 30 % im Jahr 2012 zurückging. Im selben Zeitraum verlor der deutsche IP-Markt trotz einer Verdopplung seines Patentoutputs in absoluten Zahlen knapp 6 % Marktanteil und entsprach nur noch 5 % des Gesamtmarkts, während auf EU- und US-Ebene der Anteil um jeweils ca. 5 % anstieg.

Den größten Zuwachs verzeichnete abermals der chinesische Patentmarkt, der die reine Anmeldungsmenge von vier im Jahr 2000 auf 141 in 2010 und 416 im Jahr 2012 steigern konnte. China nahm damit 2012 erstmals Platz 2 hinter Japan ein und verdrängte die USA auf Platz 3. Der Anteil des chinesischen Markts am Gesamtmarkt stieg von 2 % in 2000 auf 13 % im Jahr 2010 und 26 % in 2012.



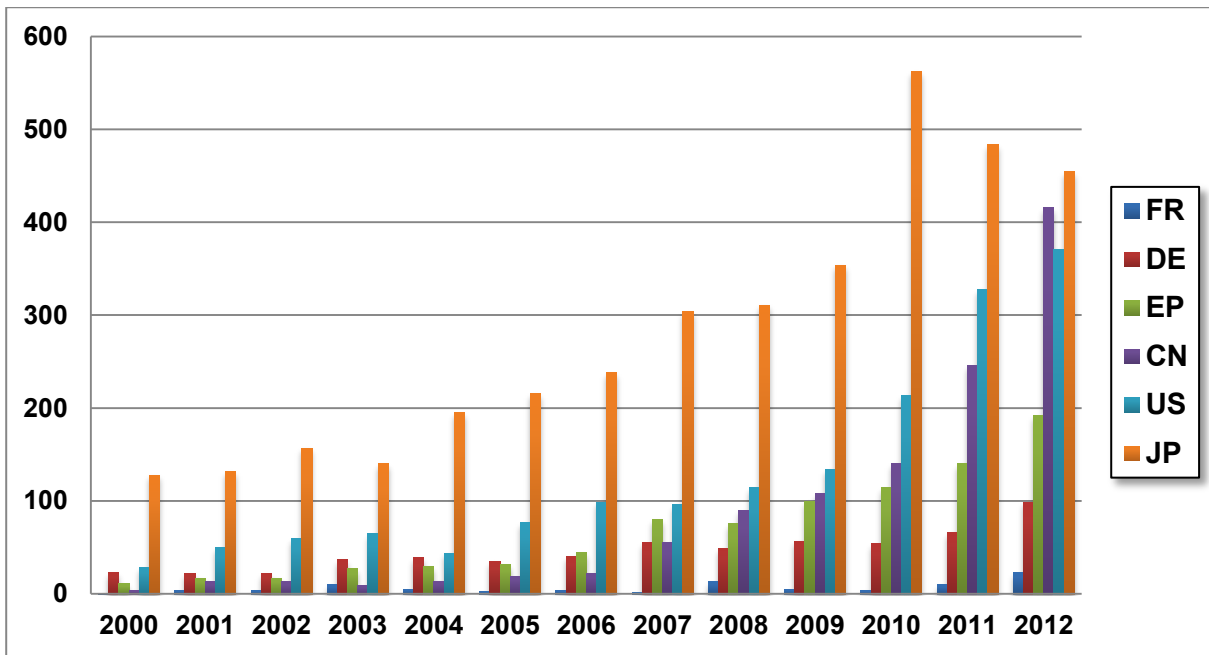


Abb. 4-28 Anteil Patente im Bereich „Wandler“ nach Weltregionen 2000–2012

Eine klare Fokussierung von Forschungsaktivitäten einzelner Weltregionen auf bestimmte Wandlertypen ist generell nicht erkennbar (Abb. 4-29). Die Aufteilung in Inverter (zwischen 40 % und 60 % Anteil), Gleichstromumrichter (17–25 %), Gleichrichter (7–14 %) und Wechselstromumrichter (6–10 %) variiert in relativ geringem Maße in den hier untersuchten Zeiträumen.

Eine leicht verstärkte Schwerpunktsetzung Deutschlands und Japans mit 57 % bzw. 59 % am Gesamtanteil aller Wandlertypen kann beim Wechselrichter (Inverter) identifiziert werden.

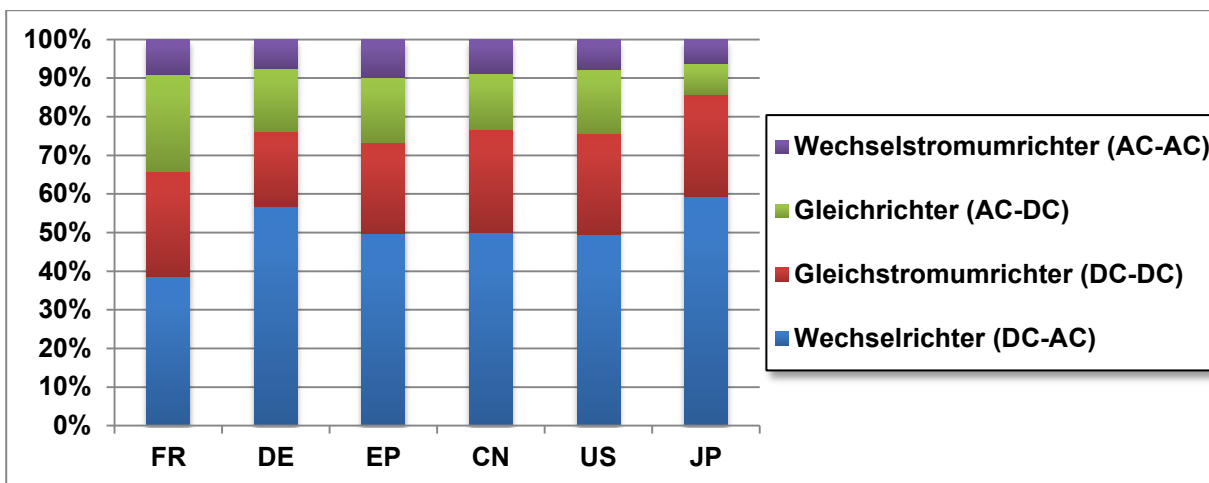


Abb. 4-29 Anteil Patente nach „Wandlertypen“ über Weltregionen

### Patentlandschaft „Wechselrichter“

Im speziellen Feld der Patentveröffentlichungen, die im Zusammenhang mit Erfindungen im Bereich Wechselrichter stehen, ist Japan im untersuchten Zeitraum bei der Gesamtanzahl ebenfalls klar führend. Abb. 4-30 lässt jedoch eine bemerkenswerte Veränderung über die

Zeit erkennen: Während der japanische Patentmarkt im Jahr 2000 noch fast 70 % aller Anmeldungen verzeichnen konnte, schrumpfte dieser Anteil bis 2010 auf unter 55 % und innerhalb der nächsten zwei Jahre bis 2012 sogar auf unter 30 %.

Der Gesamtmarkt im Bereich Inverter ist innerhalb von zwölf Jahren um über 660 % gewachsen, die Anzahl der in Japan angemeldeten Patente gleichzeitig aber nur um ca. 280 %. Im Vergleich dazu konnte China den Anteil der Patentschriften ab 2006 kontinuierlich steigern und bezüglich der reinen Anzahl veröffentlichter Patente im Jahr 2012 erstmals die USA von Platz 2 verdrängen. Der Anteil am Gesamtmarkt wuchs so von ca. 2 % im Jahr 2000 auf über 11 % in 2010 und sogar 27 % in 2012.

Der Anteil Deutschlands rangierte über die letzten zwölf Jahre relativ konstant in einem Bereich von 6 % bis 7 %.

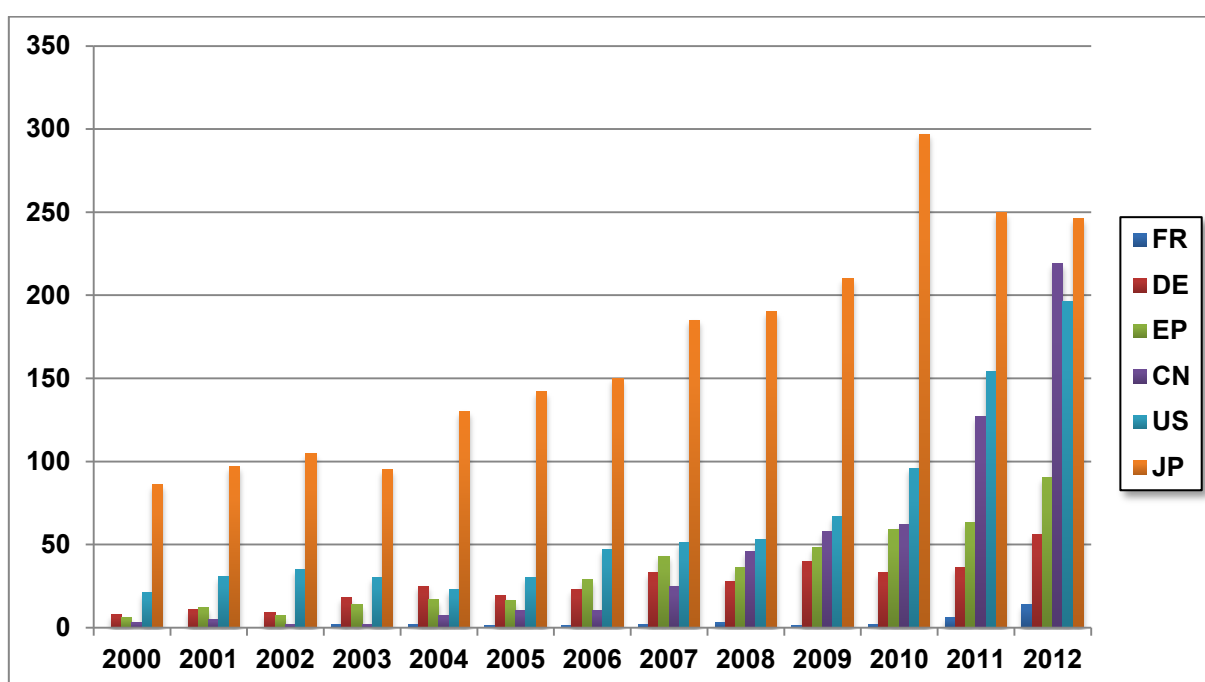


Abb. 4-30 Anzahl Patente im Bereich Wechselrichter nach Weltregionen 2000–2012

Im Ranking der weltweit führenden Patentanmelder im Bereich der Inverter belegen asiatische Institutionen die ersten zehn Ränge (Tab. 4-2), wobei japanische Unternehmen mit einer Gesamtzahl von 2047 Erfindungen führend sind.

Während allein der Toyota-Konzern mit Toyota Motor und Toyota Jidosha auf insgesamt 856 inhaltlich relevante Inventionen kommt, sind deutsche OEM in den Top 20 überhaupt nicht vertreten. Die stärksten Positionen aus deutscher Sicht in diesem Technologiefeld nehmen die Tier1-Zulieferer Siemens und Bosch ein, die gemeinsam 58 inhaltlich relevante Erfindungen (156 Patente) im Portfolio haben – das bedeutet die Plätze 13 (Siemens AG) und 14 (Robert Bosch GmbH).

Die bestplatzierten deutschen OEM sind Daimler (inkl. DaimlerChrysler) mit 13, Volkswagen und BMW mit jeweils sechs und Porsche mit zwei Inventionen. Die USA sind mit Ford (15) und Tesla (3) vertreten. Bestplatzierte chinesische Automobilhersteller sind Chery Automobile und BYD mit 14 bzw. 3 Inventionen.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	TOYOTA MOTOR	667	JP
2	HITACHI	198	JP
3	NISSAN MOTOR	197	JP
4	TOSHIBA	193	JP
5	TOYOTA JIDOSHA	189	JP
6	HONDA MOTOR	159	JP
7	DENSO	136	JP
8	mitsubishi denki	105	JP
9	HYUNDAI MOTOR	98	SK
10	AISIN AW	76	JP
11	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	61	US
12	FUJI ELECTRIC	43	JP
13	<b>SIEMENS</b>	<b>31</b>	<b>DE</b>
14	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>27</b>	<b>DE</b>
15	KIA MOTORS	25	SK
16	FUJI HEAVY IND	23	JP
17	HINO MOTORS	23	JP
18	RAILWAY TECHNICAL RES INST	23	JP
19	MAZDA MOTOR	22	JP
20	MEIDENSHA	20	JP

**Tab. 4-2 Top-20-Patentanmelder im Bereich Wechselrichter nach Anzahl der Erfindungen**

Wird das Suchfeld im Bereich Wechselrichter auf Patentanmeldungen und Erfindungen, die sich nicht speziell auf elektrifizierte Pkw und die Leistungselektronik im Antriebsstrang beziehen, erweitert und damit auch Forschungsaktivitäten betrachtet, die z. B. im Bereich Luft- und Raumfahrt, Energie oder Schiene existieren, verstärkt sich das Bild der starken technologischen Position Asiens und speziell Japans noch.

In diesem Fall nehmen z. T. allerdings andere Institutionen die führenden 20 Positionen ein (Tab. 4-3): Mitsubishi Denki springt bei dieser weiter gefassten Analyse von Rang 8 auf Platz 1 der Liste, Toshiba von 4 auf 2 und Matsushita Electric Industries (bzw. die Panasonic Corporation) nimmt Rang 3 ein. Einziges nicht asiatisches Unternehmen in dieser Analyse ist Siemens, das mit 507 Inventionen Platz 16 belegt und sich damit in den Top 20 halten kann, während Bosch von Platz 14 auf 40 abrutscht.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	MITSUBISHI DENKI	2366	JP
2	TOSHIBA	1967	JP
3	MATSUSHITA ELECTRIC IND	1897	JP
4	HITACHI	1798	JP
5	TOYOTA MOTOR	1455	JP
6	DENSO	1024	JP
7	SAMSUNG ELECTRONICS	1006	SK
8	MATSUSHITA ELECTRIC WORKS	974	JP
9	FUJI ELECTRIC	834	JP
10	LG ELECTRONICS	812	SK
11	SANYO ELECTRIC	705	JP
12	PANASONIC	604	JP
13	NISSAN MOTOR	586	JP
14	SHARP	548	JP
15	DAIKIN IND	514	JP
16	<b>SIEMENS</b>	<b>507</b>	<b>DE</b>
17	MEIDENSHA	503	JP
18	HYNIX SEMICONDUCTOR	476	SK
19	YASKAWA ELECTRIC	474	JP
20	NEC	454	JP

Tab. 4-3 Top-20-Patentanmelder im Bereich Wechselrichter ohne Einschränkung auf elektrifizierte Pkw nach Anzahl der Erfindungen

### Patentlandschaft „Kondensatoren“

Bei einer weiteren Analyse von Patentschriften – nun auf Bauteilebene – liegt der Fokus der Forschungen auf passiven Bauelementen wie Kondensatoren und aktiven Bauelementen wie Halbleitern. Das wichtigste Nicht-Halbleiter-Bauelement der Leistungselektronik ist der u. a. zur Spannungsglättung benötigte Kondensator. Da bei hohen Spannungen auch hohe Kapazitäten benötigt werden, nehmen Kondensatoren ein verhältnismäßig großes Bauvolumen in Anspruch und haben somit einen deutlichen Einfluss auf die erreichbare Leistungsdichte des Leistungselektroniksystems im Automobil. Als Bauweisen können dabei Folien- und Elektrolytkondensatoren zum Einsatz kommen.

Im Bereich Kondensatoren für die Leistungselektronik nach Weltregionen und über den Zeitraum 2000 bis 2012 ist insgesamt ein kontinuierlicher Anstieg der Patentzahlen zu verzeichnen, wobei mit 431 Patenten der Peak im Jahr 2012 erreicht wurde (Abb. 4-31).

Während der japanische IP-Markt insgesamt die meisten Patentanmeldungen zu verzeichnen hatte (1089), gefolgt von den USA mit 493 Patenten, wuchs die Bedeutung des chinesi-

schen Markts ab 2006 kontinuierlich, sodass er den US-amerikanischen erstmals 2010 vom zweiten Rang und Japan 2012 sogar an der Spitzenposition ablöste. Auch Deutschland und Europa konnten ihre Patentschriftmengen ab 2008 steigern, aber mit 7 % bzw. 10 % Anteil an den Gesamtveröffentlichungen über den kompletten Zeitraum nur einen Bruchteil der Gesamtanmeldungen verzeichnen.

Im direkten Vergleich der Patentsituationen der Jahre 2000 und 2010 ist ein Anstieg der Anmeldezahlen um knapp 400 % zu erkennen (54 zu 269), wobei insbesondere Europa und China ihre Positionen in 2010 stärken konnten und eine Steigerung ihres Marktanteils um 10 % bis 12 % realisierten. Japan und die USA verloren im gleichen Zeitraum trotz Zunahme der angemeldeten Patente um 330 % und 360 % Marktanteile in Höhe von 20 % (Japan) und 8 % (USA). 2012 besaß Japan nur noch 26 % Marktanteil und wies damit einen Gesamtverlust von 40 Prozentpunkten auf, war aber damit dennoch um einen Faktor 4 stärker als der deutsche IP-Markt.

Insgesamt konnte die Veröffentlichungszahl in Deutschland von nur zwei im Jahr 2000 auf 29 im Jahr 2012 gesteigert werden. Viel dynamischer stellte sich dagegen die Situation in China dar, wo von der gleichen Basis im Jahr 2000 ausgehend bereits 117 Patente in 2012 im Bereich der Kondensatoren offengelegt wurden – eine Steigerung von ca. 5800 %.

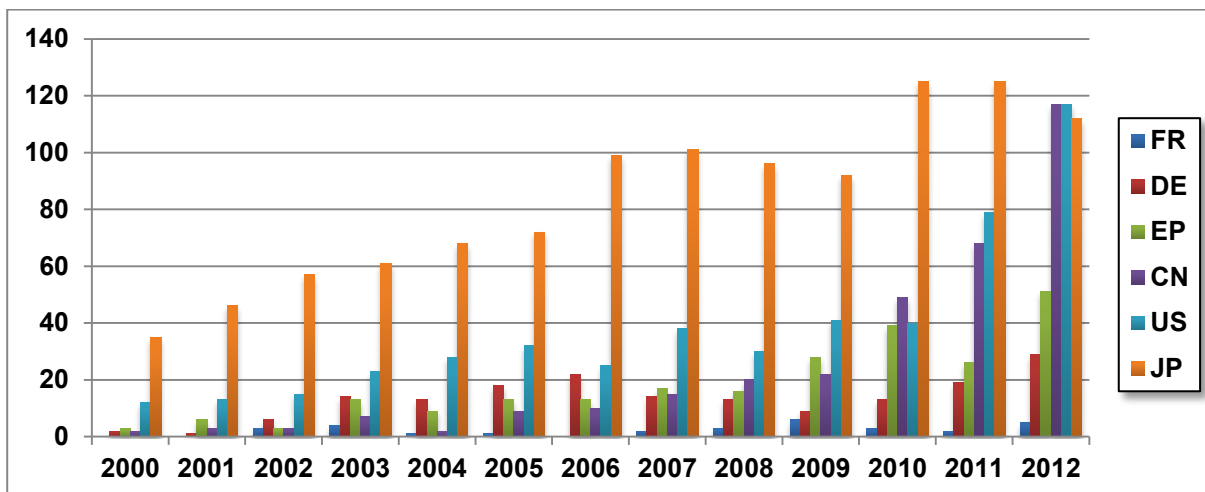


Abb. 4-31 Anzahl Patente im Bereich Kondensator nach Weltregionen 2000–2012

Im Ranking der weltweit führenden Patentanmelder belegen japanische Unternehmen 17 Positionen in den Top 20 und sind dabei mit einer Gesamtzahl von 973 Erfindungen führend (Tab. 4-4). Während Toyota Motor mit 277 Inventionen bestplatziertes japanischer OEM ist, folgen mit Honda, Nissan und Mazda drei weitere Automobilhersteller auf den Plätzen 2, 4 und 17. Deutsche OEM befinden sich mit Volkswagen (8), BMW (8), Daimler (6) sowie Audi und Porsche (jeweils 2) auf hinteren Plätzen.

Bestplatzierte deutsche Unternehmen in dieser Rangliste sind Siemens (22 Erfindungen, 53 Patente) auf Platz 11 und Bosch (11 Erfindungen, 20 Patente) auf Rang 23.

In den USA sind die Unternehmen GM (16 Inventionen), Ford (7) und Chrysler (3) in den Top 3 und im Bereich Patentanmeldungen für Kondensatoren am breitesten aufgestellt. In China führt die Tsinghua-Universität die Rangliste mit fünf Erfindungen an, gefolgt von Chery Automobile mit 2.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	TOYOTA MOTOR	277	JP
2	HONDA MOTOR	191	JP
3	TOYOTA JIDOSHA	75	JP
4	NISSAN MOTOR	69	JP
5	TOSHIBA	67	JP
6	HITACHI	66	JP
7	HYUNDAI MOTOR	54	SK
8	MITSUBISHI DENKI	38	JP
9	DENSO	32	JP
10	NISSAN DIESEL MOTOR	30	JP
11	<b>SIEMENS</b>	<b>22</b>	<b>DE</b>
12	AISIN AW	19	JP
13	MATSUSHITA ELECTRIC IND	18	JP
14	FUJI ELECTRIC	18	JP
15	MEIDENSHA	18	JP
16	SANYO ELECTRIC	17	JP
17	MAZDA MOTOR	15	JP
18	FUJI HEAVY IND	12	JP
19	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	11	US
20	KOMATSU	11	JP

**Tab. 4-4 Top-20-Patentanmelder im Bereich Kondensator nach Anzahl der Erfindungen**

Wird auch hier eine vergleichende Analyse mit erweitertem Suchfeld durchgeführt, also keine Einschränkung im Bereich von Kondensatoren auf den Antriebsstrang elektrifizierter Pkw vorgenommen, lassen sich über 115 000 Erfindungen identifizieren. Führend bei dieser Untersuchung ist Matsushita (Japan) mit 4722 Inventionen, gefolgt von Hynix Semiconductor (Südkorea, 3379) und Murata Manufacturing (Japan, 3206). Siemens (899), Infineon (898) und Bosch (321) sind die bestplatzierten deutschen Unternehmen.

### Patentlandschaft „Halbleiter“

Im Bereich der aktiven Bauelemente der Leistungselektronik stehen insbesondere Halbleiter im Fokus der Forschung. Für die Funktion der Leistungselektronik sind Schalterelemente nötig, die hohe Ströme mit hoher Frequenz schalten können. Hierzu kommen praktisch ausschließlich Halbleiter-Bauelemente zum Einsatz.

Im automobilen Bereich werden Transistoren als Halbleiterschalter eingesetzt und grundsätzlich drei Bauweisen unterschieden: Bipolartransistoren (BPT), Feldeffekttransistoren

(FET) und Bipolartransistoren mit isolierter Gate-Elektrode (IGBT). Im automobilen Bereich sind vor allem IGBT und – bei niedrigerem elektrischen Leistungsbedarf – MOSFET (engl. metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) relevant.

Insgesamt sind von 2000 bis 2012 939 Patente im Bereich Halbleiter für die Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter Pkw angemeldet worden. Der japanische Markt nahm dabei ca. 40 % aller Veröffentlichungen ein, gefolgt von den USA mit knapp 25 %, China (14 %), Europa (11 %) und Deutschland (10 %) (Abb. 4-32).

Im Verlauf sind bedeutende Verschiebungen zu erkennen: Während Japan im Jahr 2000 noch 45 % aller Patentanmeldungen verzeichnen konnte und bis 2010 nur einen kleinen Anteil verlor (42 %), fiel der Markt in den dann folgenden beiden Jahren auf einen Anteil von nur noch 24 %. Die Zahl der in China angemeldeten Patente stieg ab 2007 kontinuierlich auf insgesamt 36 im Jahr 2012 an, sodass China mit 27 % dann die führende Position vor Japan und den USA (23 %) einnahm.

Der deutsche Markt stagnierte in diesem Zeitraum mit drei bis 11 Patentanmeldungen pro Jahr und verlor im Vergleich der Jahre 2000 und 2010 insgesamt 12 % Marktanteil.

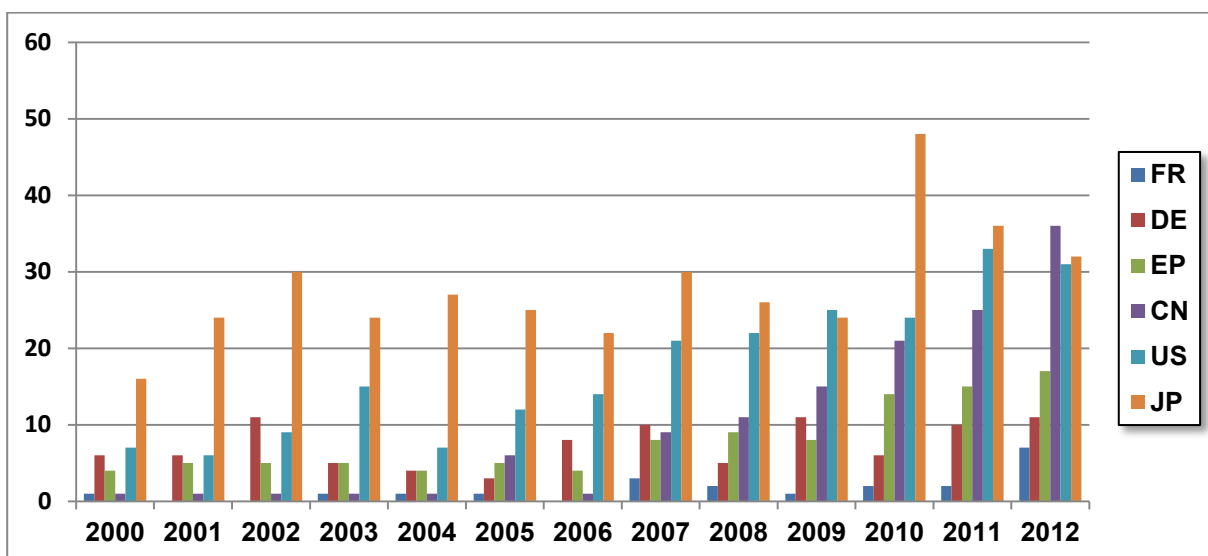


Abb. 4-32 Anzahl Patente im Bereich Halbleiter nach Weltregionen 2000–2012

Tab. 4-5 verdeutlicht, dass auch im Bereich der Halbleiter japanische Institutionen mit Abstand führend sind. Unter den bestplatzierten zehn Patentanmeldern finden sich mit Hyundai (Südkorea), GM (USA) und Daimler (Deutschland) auf den Plätzen 7, 8 und 10 nur drei nicht japanische Unternehmen. Toyota führt wiederum die Liste mit insgesamt 107 angemeldeten und veröffentlichten Patentschriften an.

Als Zulieferer konnten Siemens und Bosch mit 73 und 33 Patenten im eigenen Portfolio bzw. 14 und 9 inhaltlich relevanten Erfindungen auf den Plätzen 12 und 17 eingeordnet werden. Daimler (inkl. DaimlerChrysler) hat 15 Erfindungen in diesem Bereich geleistet und ist bestplatziertes deutsches OEM. Audi, Volkswagen und BMW haben jeweils eine Erfindung im Portfolio.

Insgesamt nur 16 Erfindungen können chinesische Institutionen vorweisen, wobei die Tianjin Santroll Electric Automobile Technology Co. Ltd. mit drei Erfindungen führend ist. BYD und

Chery Automobile haben jeweils eine Invention zum Patent angemeldet. In den USA folgen nach GM mit 15 Erfindungen Ford (4) und Chrysler (3) auf den Plätzen 2 und 3.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	TOYOTA MOTOR	82	JP
2	HITACHI	48	JP
3	HONDA MOTOR	32	JP
4	TOSHIBA	30	JP
5	TOYOTA JIDOSHA	25	JP
6	NISSAN MOTOR	18	JP
7	HYUNDAI MOTOR	17	SK
8	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	15	US
9	DENSO	15	JP
10	<b>DAIMLER</b>	<b>15</b>	<b>DE</b>
11	MITSUBISHI DENKI	14	JP
12	<b>SIEMENS</b>	<b>14</b>	<b>DE</b>
13	FUJI ELECTRIC	13	JP
14	TOYODA AUTOMATIC LOOM WORKS	11	JP
15	SUMITOMO ELECTRIC IND	10	JP
16	HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS	8	JP
17	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>9</b>	<b>DE</b>
18	AISIN AW	6	JP
19	NIPPONDENSO	6	JP
20	TOSHIBA TRANSPORT ENG	6	JP

**Tab. 4-5 Top-20-Patentanmelder im Bereich Halbleiter nach Anzahl der Erfindungen**

Bei einer Erweiterung des Suchfelds auf alle Patente und Inventionen im Bereich Halbleiter – ohne Einschränkung auf den Bereich elektrifizierter Pkw – verschiebt sich das Bild führender Institutionen auf dem Technologiefeld in Richtung Südkorea: Hier ist Hynix Semiconductor (Südkorea) mit 9324 Erfindungen führend, gefolgt von Toshiba (8742, Japan) und Samsung Electronics (8226, Südkorea). IBM als bestplatziertes US-amerikanisches Unternehmen folgt auf Platz 9 mit 3732 Erfindungen im Portfolio. Infineon führt das Ranking der deutschen Patentanmelder mit 2738 an (im Gesamtranking auf Platz 14), gefolgt von Siemens (971) und Qimonda (433, mittlerweile insolvent).

Die beiden abschließenden Analysen befassen sich mit neuartigen Materialien für Halbleiter, und hier insbesondere mit Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN), die den sog. Wide-Bandgap-Materialien (WBG) zuzuordnen sind.



## Patentlandschaft „Halbleitermaterial – Siliziumkarbid (SiC)“

Von besonderer Bedeutung für die Leistungselektronik sind die verwendeten Halbleitermaterialien. Bei der Verwendung monokristallinen Siliziums (Si), dem derzeit am häufigsten eingesetzten Werkstoff, besteht eine Beschränkung der Einsatztemperatur auf ca. 175 °C. Damit ergibt sich sowohl ein erheblicher Kühlungsbedarf, der die erzielbare Leistungsdichte reduziert, als auch eine Beschränkung der Haltbarkeit und Schaltfrequenz, da die letztlich Wärme abgebenden Schaltverluste frequenzabhängig sind. Ziel ist es daher, Halbleitermaterialien mit möglichst hohen Temperaturbeständigkeiten zu verwenden. Mögliche Alternativen stellen beispielsweise Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN) dar, die deutlich höhere Temperaturen ermöglichen (bis zu 600 °C), günstigere Schalteigenschaften besitzen und höhere Schaltfrequenzen realisieren können. Problematisch sind dabei die im Vergleich zu Si höheren Kosten, die vor allem durch die aufwendigere Waferherstellung und Kristallzüchtung bedingt sind. Allerdings ist hier schon eine deutlich sinkende Tendenz festzustellen: Während im Falle von SiC die Kosten im Jahr 2007 noch etwa um einen Faktor 100 höher waren, betrug dieser 2013 nur noch 3 bis 6 im Vergleich zu Silizium (Si).<sup>10</sup> Unter Berücksichtigung der positiven Einflüsse auf das Gesamtsystem (Kühlaufwand, verkleinerte Spulen wegen höherer Schaltfrequenz) könnten mit SiC-Halbleiterelementen unter günstigen Rahmenbedingungen sogar geringere Systemkosten als mit Si erzielt werden.

Im speziellen Feld der Patentveröffentlichungen, die im Zusammenhang mit Erfindungen im Bereich SiC als Halbleitermaterial für die Leistungselektronik stehen, ist Japan (1284 Patente) im untersuchten Zeitraum bei der Gesamtanzahl führend, dicht gefolgt von den USA (1096). Beide Länder lagen über den gesamten Zeitraum bei der Anzahl der Patentanmeldungen jeweils eng beieinander, wobei Japan insbesondere ab 2007 die führende Position übernahm und die Patentanmeldungen jedes Jahr kontinuierlich steigerte (Abb. 4-33).

Ein bemerkenswerter Sprung ist in China im Jahr 2012 insofern zu beobachten, als die Patentzahl im Vergleich zum Vorjahr mehr als verdoppelt wurde. China festigte damit die erstmals im Jahr 2009 und nachfolgend in 2011 von der EU eroberte dritte Position und baute den Vorsprung deutlich aus. Auch Deutschland konnte die Anzahl der Patentanmeldungen bis ins Jahr 2006 steigern, stagnierte dann jedoch in einem Bereich von 20 bis 25 Patenten pro Jahr. Nur 11 Patentansprüche wurden im gesamten Zeitraum in Frankreich publiziert.

Im direkten Vergleich der Jahre 2000 und 2010 konnte Japan den Anteil am Gesamtmarkt von 28 % auf ca. 40 % ausbauen, gleichzeitig verlor der US-amerikanische IP-Markt 15 Prozentpunkte. Während China seinen Anteil bis 2010 kaum verändern konnte (7 % im Jahr 2000; 9 % in 2010), erhöhte sich dann die Dynamik rasant, sodass der Anteil an Patentanmeldungen in China einen Wert von über 20 % erreicht hat.

<sup>10</sup> Vgl. Zühlke, K. (<http://www.elektroniknet.de/distribution/design-in/artikel/99817>).

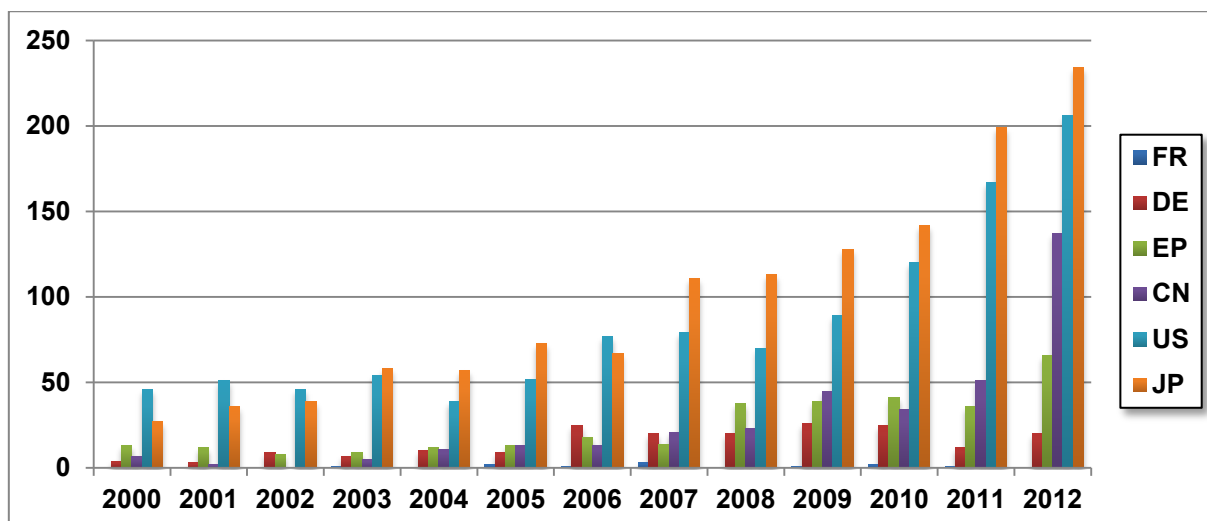


Abb. 4-33 Anzahl Patente im Bereich SiC nach Weltregionen 2000–2012

Wie im Bereich der Halbleiter sind japanische Institutionen auch im speziellen Feld der Halbleitermaterialien (SiC) führend und belegen neun Plätze in den Top 10 (Tab. 4-6). Denso (178 Erfindungen) steht dabei vor Sumitomo Electric (167), Mitsubishi (123), Nissan (95), Matsushita Electric (89) und Toshiba (70), bevor auf Platz 7 das erste nicht japanische Unternehmen mit Cree (66) folgt. Bemerkenswert ist, dass trotz des sehr speziellen Technologiefelds und Forschungen auf Halbleitermaterialebene sowohl Nissan als auch Toyota als automotive OEM in der Rangliste zu finden sind. Insgesamt 126 Institutionen konnten identifiziert werden, die in Japan Forschung zum Thema SiC betreiben.

Deutsche OEM sind in der gesamten Rangliste nur durch Daimler mit zwei Inventionen im Portfolio vertreten. Weder in Frankreich und den USA noch in China gibt es auf diesem Gebiet Schutzrechte beanspruchende OEM. Als Zulieferer konnten Siemens und Infineon mit 101 bzw. 57 Patenten im eigenen Portfolio bzw. 30 und 21 inhaltlich relevanten Erfindungen auf den Plätzen 13 und 17 eingeordnet werden. Die Top 4 in Deutschland komplettieren nach Siemens und Infineon SiCED Electronics mit 73 Patenten (15 Inventionen) und Bosch mit sechs Patenten (5 Inventionen). Insgesamt forschen 19 verschiedene Institutionen in Deutschland an diesem Thema.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	DENSO	178	JP
2	SUMITOMO ELECTRIC IND	167	JP
3	MITSUBISHI DENKI	123	JP
4	NISSAN MOTOR	95	JP
5	MATSUSHITA ELECTRIC IND	89	JP
6	TOSHIBA	70	JP
7	CREE	66	US
8	FUJI ELECTRIC	74	JP
9	NATIONAL INST ADVANCED IND SCI & TECH	57	JP

10	PANASONIC	44	JP
11	HITACHI	41	JP
12	TOYOTA MOTOR	37	JP
13	<b>SIEMENS</b>	<b>30</b>	<b>DE</b>
14	FUJITSU	25	JP
15	KANSAI ELECTRIC POWER	25	JP
16	SANYO ELECTRIC	23	JP
17	<b>INFINEON TECH</b>	<b>21</b>	<b>DE</b>
18	INTL BUSINESS MACHINES	20	US
19	ROHM	18	JP
20	GEN ELECTRIC	17	US

Tab. 4-6 Top-20-Patentanmelder im Bereich SiC nach Anzahl der Erfindungen

In den USA sind neben Cree und IBM weitere 72 Unternehmen in der Forschung aktiv, z. B. General Electric (18 Erfindungen), Micron Technology (15), Semisouth Laboratories (15) und Texas Instruments (13). China stellt insgesamt 26 Institutionen, darunter Xidian University (14), Semiconductor Manufacturing International (14) und China Electronics Technology Group (7) die Top 3. Bemerkenswert ist, dass eine Universität das Ranking in China anführt.



Abb. 4-34 Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich SiC nach Weltregionen

Neben einer Untersuchung der geografischen Verteilung können über eine Patentanalyse auch Kooperationstätigkeiten und gemeinsame Forschungs- bzw. Innovationsnetzwerke und -dynamiken identifiziert werden. Hierzu werden Verbindungen einzelner Institutionen oder Erfinder über Patente hinweg visualisiert.

Während Denso als führende Institution im Bereich SiC im Innovationsnetzwerk über verschiedene Patente sowohl mit Hitachi (Rang 11) als auch Toyota Motor, Toyota Jidosha und Toyota Central R&D Labs vernetzt ist, scheint Sumitomo Electric auf Rang 2 Forschung und

Technologieentwicklungen eher ohne Kooperationsaktivitäten zu forcieren, da eine Verbindung nur zu Kansai Electric Power zu identifizieren ist (Abb. 4-35).

Nissan hingegen scheint in der Forschungsarbeit relativ stark vernetzt zu sein, Verbindungen sind sowohl zu Rohm als auch zum Institute of Advanced International Science, zu Toshiba und zu Sanyo Electric erkennbar. Über letztere Verbindung ist wiederum Hitachi im Innovationsnetzwerk von Nissan vertreten.

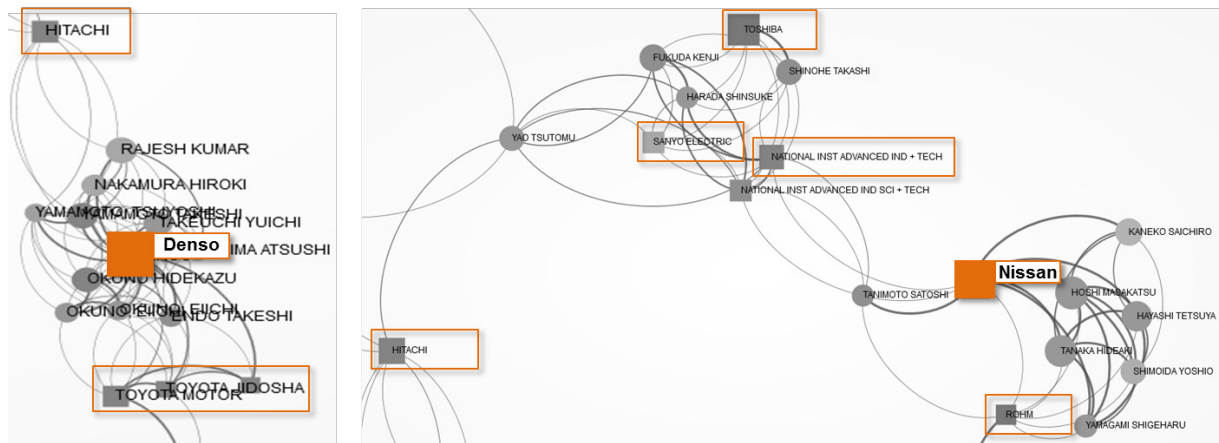


Abb. 4-35 Innovationsnetzwerk im Bereich SiC – Denso (JP) und Nissan (JP)

Die führenden Institutionen aus Deutschland und den USA im Bereich SiC sind über Patentschriften in der Zusammenarbeit weit weniger vernetzt, wie Abb. 4-36 illustriert.

Während Verbindungen bei Siemens insbesondere zu Infineon und SiCED Electronics bestehen und in zweiter Ebene auch IBM und Qimonda Teil des Netzwerks sind bzw. waren, kann beim US-amerikanischen Unternehmen Cree im Rahmen dieser Analyse nur die Zusammenarbeit mit ABB identifiziert werden. Die relativ hohe Anzahl von Patenten im Portfolio (ca. 500) weist auf eine defensiv ausgerichtete, das Know-how schützende Patentstrategie hin.

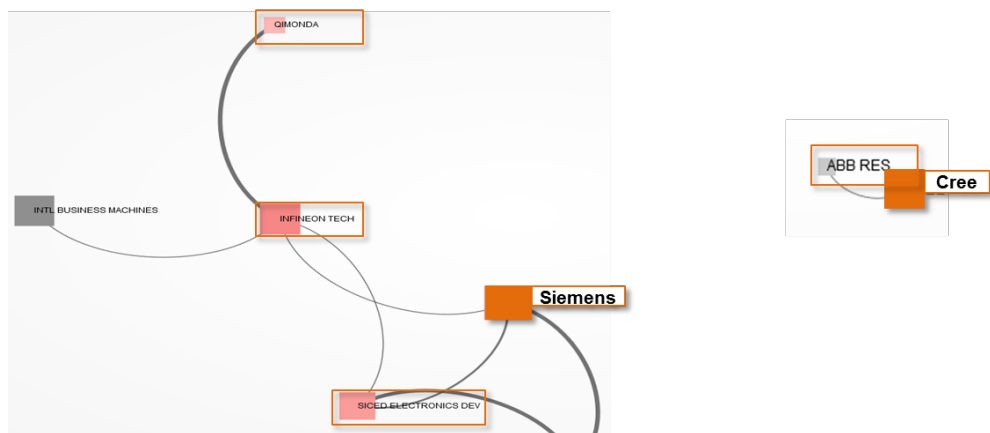


Abb. 4-36 Innovationsnetzwerk im Bereich SiC – Siemens (DE) und Cree (US)

## Patentlandschaft „Halbleitermaterial – Galliumnitrid (GaN)“

Bei der Analyse der Offenlegung von Patentschriften im Zusammenhang mit Erfindungen im Bereich GaN als Halbleitermaterial für die Leistungselektronik ist Japan mit 900 Patenten über den gesamten Zeitraum 2000–2012 bei der reinen Patentanzahl führend, während die USA mit ca. 740 Patenten den zweiten Rang einnehmen. Beide Länder haben über den gesamten Zeitraum jeweils eine relativ ähnliche Anzahl an Patenten angemeldet, jedoch konnte sich Japan ab dem Jahr 2007 auf der Spitzenposition behaupten und insbesondere in den Jahren 2008 und 2010 einen signifikanten Vorsprung erarbeiten (Abb. 4-37).

Wie bei den Untersuchungen zu SiC als Halbleitermaterial konnten die Patentanmeldungen auf dem chinesischen Patentmarkt von 2007 bis 2008 signifikant gesteigert werden, sodass China den dritten Platz vor der EU erobert hat. Der deutsche IP-Markt hingegen wies im Rahmen dieser Analyse kaum nennenswerte Patentzahlen auf und bewegte sich mit einem Anteil von nur einem Prozent auf einem konstant niedrigen Niveau.

Im Vergleich der Jahre 2000 und 2010 konnte der Output an Patenten im Bereich GaN insgesamt um einen Faktor 6 gesteigert werden, im Vergleich zu 2012 sogar um einen Faktor 8. Japan verlor dabei bis 2012 einen Anteil am Gesamtmarkt von 10 % und besaß im Jahr 2012 insgesamt 34 % Anteil.

Die USA verloren im gleichen Zeitraum ca. 9 % Marktanteil und konnten in 2012 ca. 33 % aller Patentanmeldungen für sich beanspruchen. China, im Jahr 2000 noch ohne Patentanmeldung im GaN-Bereich, hat 2010 bereits 30 Anmeldungen zu verzeichnen und 2012 steigerte sich diese Menge auf über 80. Der chinesische IP-Markt verdoppelte damit seinen Anteil im Vergleich zu 2010 und erreichte 22 %.

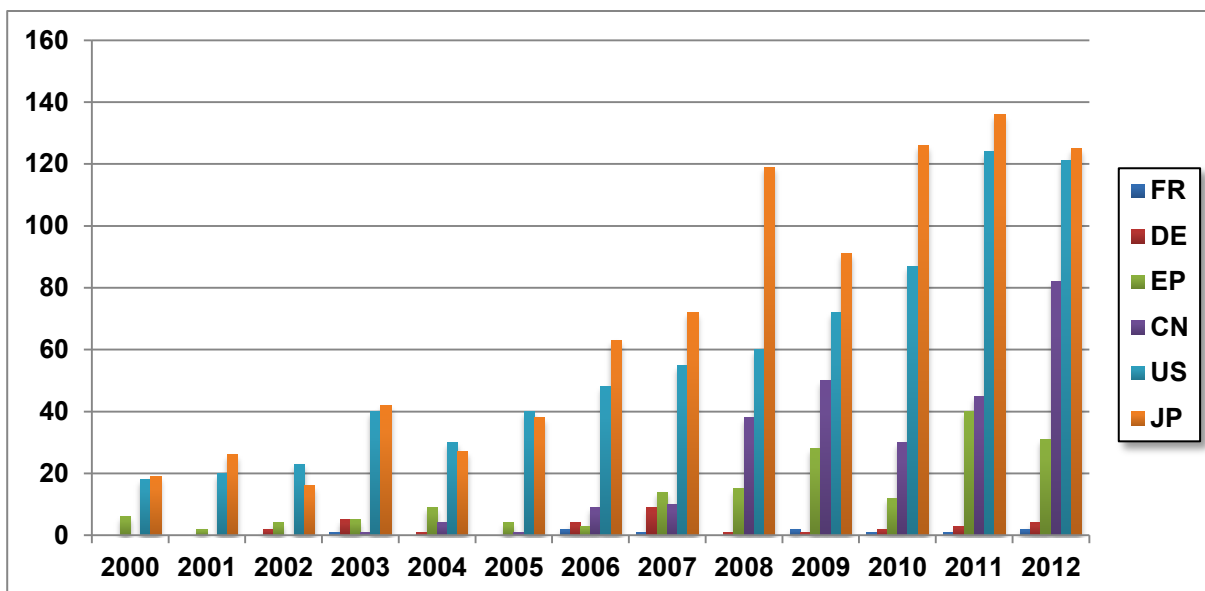


Abb. 4-37 Anzahl Patente im Bereich GaN nach Weltregionen 2000–2012

Im Bereich der Halbleitermaterialien und im speziellen GaN dominieren japanische Institutionen die Technologieentwicklung beinahe vollkommen. Die einzigen nicht japanischen Unternehmen in den Top 20 sind die Xidian University aus China auf Rang 16 mit 20 Erfindungen und Cree (USA) auf Rang 17 mit 19 Erfindungen.

Auch hier ist bemerkenswert, dass ein OEM auf der Ebene der Materialforschung aktiv und unter den führenden Institutionen bei Forschungsaktivitäten ist. Toyota Motor steht mit 38 Erfindungen auf Platz 9 der Rangliste, hinter den Toyota Central R&D Labs auf Rang 8 mit 39 Erfindungen. Insgesamt 84 Unternehmen entwickeln in Japan GaN-Technologien und melden Schutzrechte auf Erfindungen an (Tab. 4-7).

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	FURUKAWA ELECTRIC	77	JP
2	SUMITOMO ELECTRIC IND	68	JP
3	MATSUSHITA ELECTRIC IND	66	JP
4	TOSHIBA	64	JP
5	FUJITSU	49	JP
6	NIPPON TELEGRAPH	44	JP
7	SHARP	40	JP
8	TOYOTA CENTRAL R & D LABS	39	JP
9	TOYOTA MOTOR	38	JP
10	PANASONIC	35	JP
11	ROHM	35	JP
12	OKI ELECTRIC IND	32	JP
13	EUDYNA DEVICES	25	JP
14	HITACHI	25	JP
15	SONY	21	JP
16	XIDIAN UNIV	20	CN
17	CREE	19	US
18	SANKEN ELECTRIC	19	JP
19	TOYODA GOSEI	19	JP
20	NEC	18	JP

**Tab. 4-7 Top-20-Patentanmelder im Bereich GaN nach Anzahl der Erfindungen**

Die Verteilung der in den verschiedenen Weltregionen aktiven Institutionen zeigt ein ähnliches Bild wie bei Siliziumkarbid als Halbleitermaterial. In Deutschland sind insgesamt 11 Institutionen aktiv, darunter auch Daimler bzw. DaimlerChrysler mit einer Erfindung im Bereich GaN. Auf Platz 1 in Deutschland befindet sich der Forschungsverbund Berlin (3), gefolgt von Siemens (2) und EADS (2).

Die USA sind mit insgesamt 77 Institutionen bei Schutzrechten im Bereich des Halbleitermaterials in der Forschung aktiv, wobei Cree mit 19 Erfindungen die Rangliste anführt, gefolgt von International Rectifier (16) und der University of California (12). In China können insgesamt 23 Institutionen identifiziert werden, wiederum mit der Xidian University auf Rang

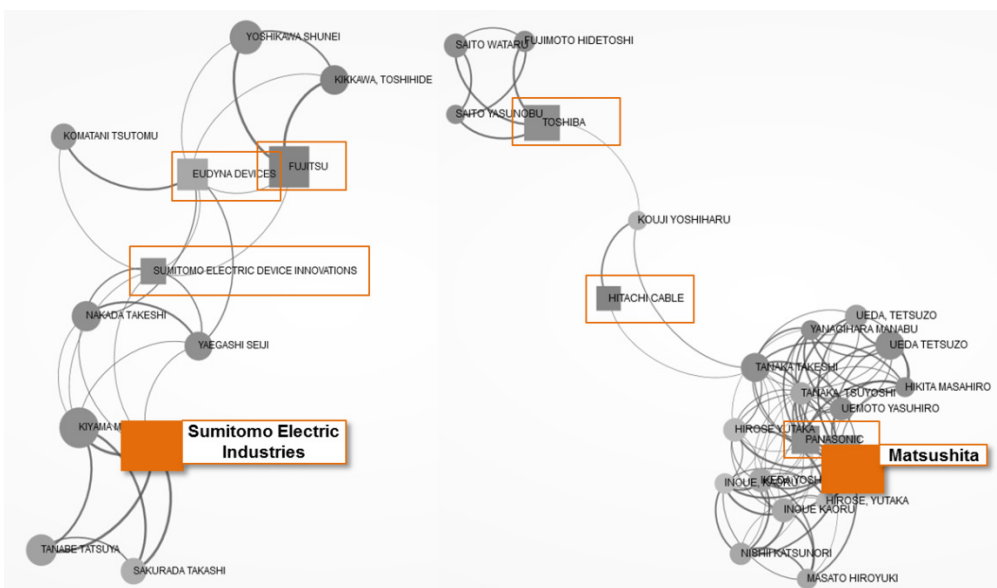
1 (20), gefolgt von der University of Electronic Science and Technology (17) und dem Institute of Microelectronics der Chinese Academy of Sciences (17).



**Abb. 4-38 Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich GaN nach Weltregionen**

Im Rahmen dieser Untersuchung sind insgesamt mit Toyota und Daimler nur zwei OEM in diesem Forschungsbereich schutzrechtlich aktiv, die überwiegende Mehrzahl inhaltlich relevanter Erfindungen entstammt der Entwicklung von Zulieferern, Forschungsinstituten und Universitäten.

Aufschlussreich ist zudem, dass ein länderübergreifendes Innovationsnetzwerk bei GaN-Technologien über gemeinsame Erfindungen überhaupt nicht erkennbar ist. Zudem sind die untersuchten Netzwerke auch innerhalb eines Landes eher geschlossen und konzentrieren sich auf die Zusammenarbeit einiger weniger nationaler Institutionen (Abb. 4-39 und Abb. 4-40).



**Abb. 4-39 Innovationsnetzwerk im Bereich GaN – Sumitomo Electric Industries (JP) und Matsushita (JP)**

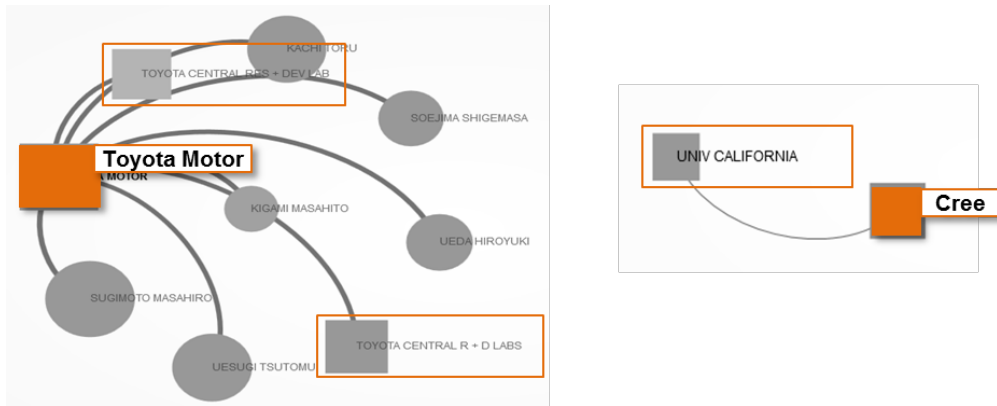


Abb. 4-40 Innovationsnetzwerk im Bereich GaN – Toyota Motor (JP) und Cree (US)

#### 4.2.2 Patent- und Publikationsanalyse „Elektrische Maschine im Antriebsstrang elektrifizierter Pkw“

Zur Abbildung der aktuellen Forschungslandschaft im Bereich „Elektrische Maschine“ im speziellen Umfeld der Elektromobilität wurden von 2000 bis 2012 analog zur vorgehenden Auswertung bibliometrische Analysen globaler Patent- und Publikationsdaten durchgeführt. Dafür sind erneut die Patentdatenbank Espacenet des Europäischen Patentamts (EPO) und relevante IPC-Klassen herangezogen (z.B. B60L, B60K, B60W, H02K, H02W, H01F) und z. T. mit einer Stichwortsuche kombiniert worden. Die untersuchten Technologiefelder im Bereich E-Maschine bildet Abb. 4-41 ab, hervorgehobene Themen werden im Detail erläutert.

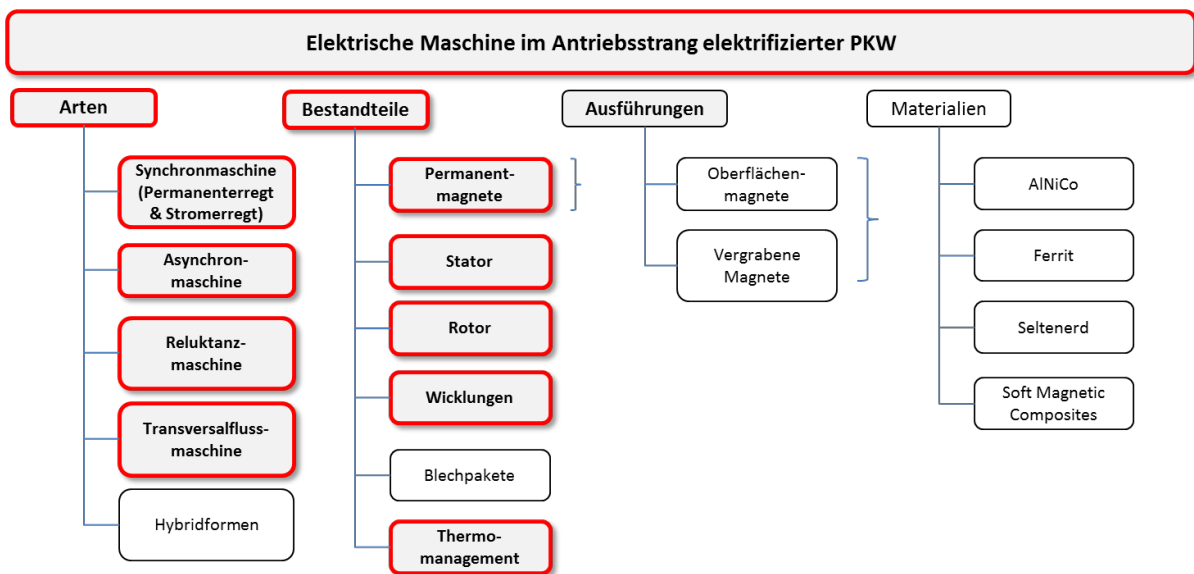


Abb. 4-41 Betrachtete Technologiefelder im Bereich „Elektrische Maschine“

Insgesamt wurden in den für diese Auswertung relevanten Weltregionen Japan (JP), USA (US), China (CN), Europa (EP), Deutschland (DE) und Frankreich (FR) ca. 3100 Publikationen und ca. 59 000 Patente veröffentlicht. Der Patentoutput konnte über die Jahre kontinuierlich gesteigert werden und erreichte das absolute Maximum 2012 mit einer Steigerung von insgesamt 1080 % im Vergleich zum Basisjahr 2000 (Abb. 4-42). Eine starke Dynamik ist



insofern ab 2010 zu erkennen, als sich der Patentschriftoutput in den folgenden beiden Jahre fast verdoppelt hat und von ca. 7000 Patenten auf über 13 000 angestiegen ist.

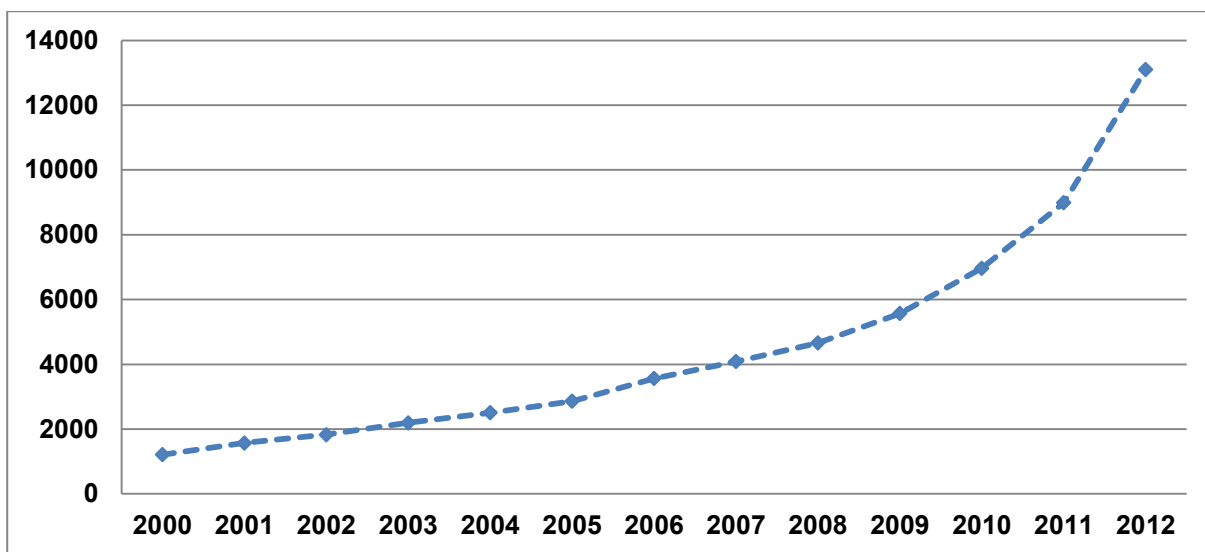


Abb. 4-42 Anzahl Patente im Bereich „Elektrische Maschine im Antriebsstrang elektrifizierter Pkw“ 2000–2012

Die überwiegende Mehrzahl der Patente, die sich auf Erfindungen im Bereich „E-Maschine im Antriebsstrang elektrifizierter Pkw“ im Zeitraum von 2000 bis 2012 beziehen und über den jeweils aktuellen Stand der Technik hinausgehen, wurde in Japan angemeldet (40 %), gefolgt von den USA (22 %) und China (14 %) (Abb. 4-43).

Patentanmeldungen in Europa und speziell in Deutschland haben mit 6065 bzw. 6642 einen Anteil von jeweils 11 %. Nur 1303 Patentschriften wurden auf dem französischen Markt für IP publiziert.

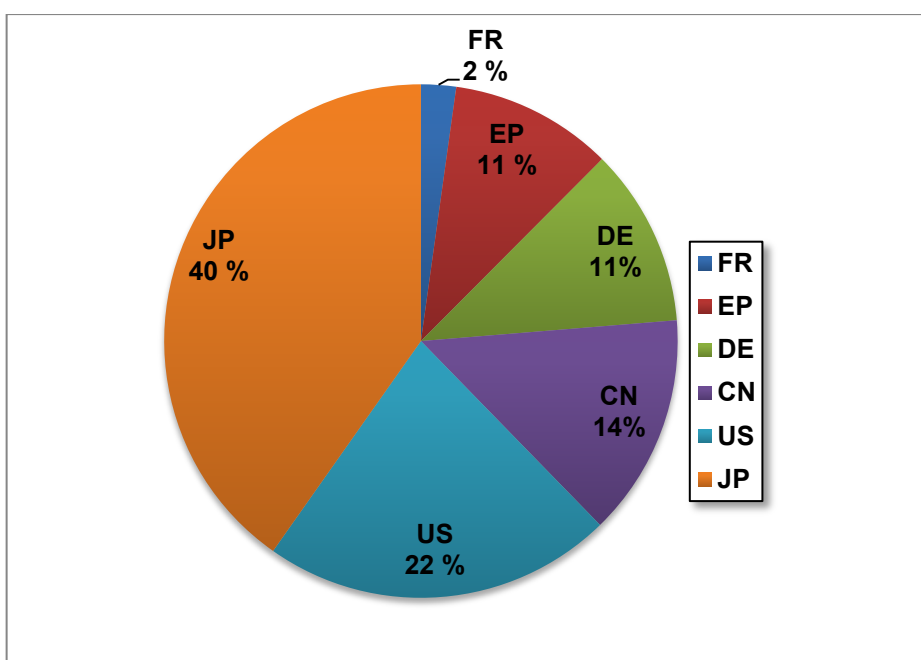


Abb. 4-43 Anteil Patente nach Weltregionen

Bei einem Vergleich der Offenlegung von Patentschriften im Bereich E-Maschine nach Zeit über die Jahre 2000 bis 2012 mit Fokus auf den untersuchten Weltregionen sind relativ klare Trends zu erkennen (Abb. 4-44): Während der japanische IP-Markt in jedem Jahr mit Abstand am meisten Patentanmeldungen zu verzeichnen hatte und die USA bis auf das Jahr 2012 durchgehend auf Platz 2 standen, wuchs die Bedeutung des chinesischen Markts kontinuierlich und er löste Deutschland bzw. Europa ab dem Jahr 2009 auf Platz 3 ab. Diese Entwicklung gipfelte darin, dass die USA im Jahr 2012 erstmals knapp vom zweiten Platz verdrängt wurden.

Im direkten Vergleich der Patentsituationen der Jahre 2000 und 2010 ist ein Anstieg der Veröffentlichungszahlen auf knapp 580 % zu verzeichnen (1211 zu 6965), wobei insbesondere Japan die schon im Jahr 2000 führende Position 2010 noch ausbauen konnte und mit 2908 die – in Bezug auf die reine Anzahl – mit Abstand meisten Anmeldungen innehatte. Dennoch verlor Japan aufgrund der höheren Gesamtzahl an Offenlegungen insgesamt an Marktanteil und pendelte sich 2010 mit einem Verlust von knapp 13 % innerhalb einer Dekade bei ca. 42 % ein.

Die Bedeutung des deutschen IP-Markts wurde dagegen leicht verstärkt und der Marktanteil von 6 % auf 10 % gesteigert. Die reine Anzahl an Patentanmeldungen in Deutschland wuchs in diesem Zeitraum um das zehnfache und damit mehr als doppelt so stark wie in Japan. Die mit Abstand intensivste Dynamik ist jedoch in China zu beobachten. Hier konnte der Marktanteil in den letzten zehn Jahren von 2,6 % auf 14,7 % gesteigert werden. Die reine Anzahl der offengelegten Patentschriften erreichte 2010 1024 – eine Steigerung um ca. 3200 %.

Bemerkenswert ist die ab diesem Zeitpunkt sich noch einmal rasant verstärkende Dynamik: Innerhalb der folgenden zwei Jahre steigerte China den Anteil der auf dem eigenen IP-Markt veröffentlichten Patente von 14,7 % auf über 23 %, während Japans Anteil von 42 % auf nur noch 31 % schrumpfte, trotzdem aber weiterhin die führende Position einnahm. Auch in Deutschland konnte bis 2012 eine nochmals gestiegene Anzahl an Patentanmeldungen identifiziert werden, sodass knapp 1100 Patente im Bereich E-Maschine veröffentlicht wurden und der Marktanteil auf über 11 % kletterte. In Frankreich dagegen ist eine nur leichte Steigerung der Gesamtzahl veröffentlichter Patente über die Jahre erkennbar. Der Marktanteil stagnierte dementsprechend auf einem relativ geringen Niveau bei ca. 2 %.

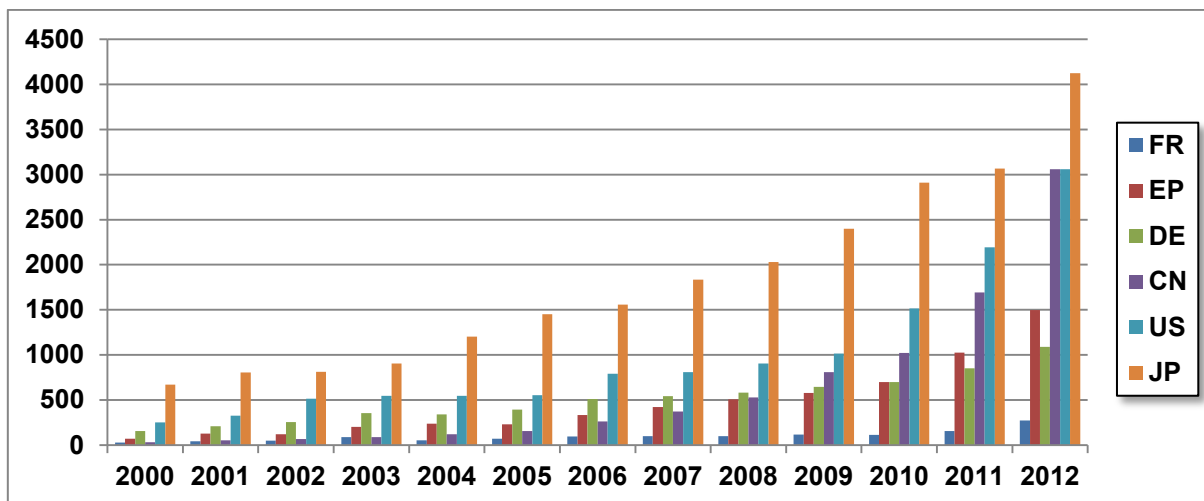


Abb. 4-44 Anzahl Patente nach Weltregionen 2000–2012

Im Ranking der weltweit führenden Patentanmelder belegen asiatische Unternehmen neun Positionen in den Top 10, wobei insbesondere japanische Institutionen weit überlegen und mit einer Gesamtzahl von 19 695 Erfindungen führend sind. Während alleine Toyota (Motor + Jidosha) insgesamt auf 9776 Inventionen kommt, halten deutsche OEM 984 inhaltlich relevante Patentschriften und belegen mit Daimler (inkl. DaimlerChrysler) und BMW die Plätze 13 und 20.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	TOYOTA MOTOR	7789	JP
2	HONDA MOTOR	3073	JP
3	NISSAN MOTOR	2835	JP
4	TOYOTA JIDOSHA	1987	JP
5	HYUNDAI MOTOR	1255	SK
6	mitsubishi JIDOSHA KOGYO	1055	JP
7	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	833	US
8	DENSO	829	JP
9	AISIN AW	722	JP
10	HITACHI	685	JP
11	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>679</b>	<b>DE</b>
12	FORD GLOBAL TECH	655	US
13	<b>DAIMLER</b>	<b>637</b>	<b>DE</b>
14	KIA MOTORS	427	SK
15	PEUGEOT CITROEN AUTOMOB	411	FR
16	<b>ZF FRIEDRICHSHAFEN</b>	<b>399</b>	<b>DE</b>
17	MAZDA MOTOR	367	JP
18	RENAULT	357	FR
19	TOSHIBA	353	JP
20	<b>BAYERISCHE MOTOREN WERKE</b>	<b>347</b>	<b>DE</b>

Tab. 4-8 Top-20-Patentanmelder im Bereich „Elektrische Maschine“ nach Anzahl der Erfindungen

Bestplatziertes deutsches Unternehmen ist die Robert Bosch GmbH auf Rang 11 mit 679 Inventionen im Portfolio. Die USA sind mit GM (833) und Ford (655) auf Platz 7 bzw. 12 vertreten, Tesla Motors hält 122 Patente (22 Inventionen) im Bereich E-Maschinen für elektrifizierte Pkw. Bestplatzierte chinesische Unternehmen sind Chery Automobile und BYD mit 117 bzw 81 Inventionen, gefolgt von der Tsinghua University in Peking mit 55 Erfindungen.

Mit Abstand am meisten Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich „Elektrische Maschinen im Antriebsstrang elektrifizierter Pkw“ sind in Europa aktiv (Abb. 4-45). Insgesamt können dort 1358 Unternehmen, Forschungsinstitute und Universitäten identifiziert werden,

gefolgt von den USA mit 938 und Japan mit 775. Allein Deutschland ist in Europa für über ein Drittel aller aktiven Institutionen verantwortlich.

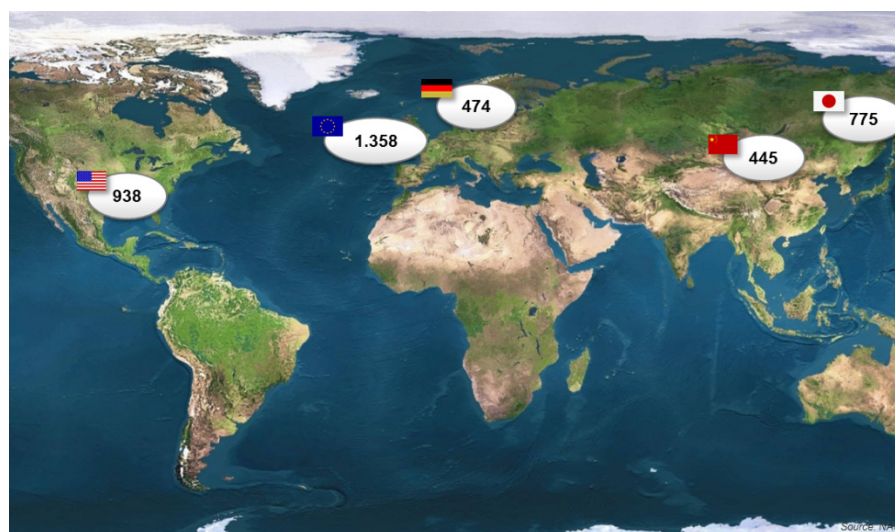


Abb. 4-45 Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich „Elektrische Maschinen im Antriebsstrang elektrifizierter Pkw“

### Patentlandschaft „E-Maschine-Bauformen“

Bei den untersuchten Patenten im Bereich „Elektrische Maschine“ sind einige Schwerpunktsetzungen erkennbar, die sich z. B. auf unterschiedliche Bauformen elektrischer Maschinen oder konkrete Anwendungen im Komponenten- und Bauteilebereich beziehen und genauerer Betrachtung bedürfen.

Der mechanische Aufbau elektrischer Maschinen ist insbesondere im Vergleich mit konventionellen Verbrennungsmotoren recht einfach: Ein feststehender Teil (*Stator* oder *Ständer*), dem elektrische Leistung zu- bzw. abgeführt wird, ist durch einen Luftspalt von einem sich bewegenden Teil (*Rotor*, *Läufer* oder *Anker*) getrennt, dem mechanische Leistung zu- bzw. abgeführt wird. Dabei kann der Rotor sowohl innen (*Innenläufer*) als auch außen liegen (*Außenläufer*). Die Funktionsweise elektrischer Maschinen beruht auf Elektromagnetismus. Dabei wird entweder die Lorentz-Kraft, die auf bewegte Ladungen (elektrische Ströme) in einem magnetischen Feld wirkt, oder die Maxwell-Kraft, die beispielsweise auch Grundlage von Hubmagneten ist, genutzt, um eine kontinuierliche Drehbewegung zu erzeugen. Hinsichtlich des Aufbaus von Rotor und Stator – und damit untrennbar verbunden auch der Funktionsweise – existieren verschiedene Ausführungsformen mit spezifischen Vor- und Nachteilen, deren im Bereich elektrischer Antriebe für Kraftfahrzeuge bedeutendste im Folgenden kurz vorgestellt werden sollen.

Bei der **permanentenerregten Synchronmaschine** (PSM) wird im Stator ein magnetisches Drehfeld erzeugt, indem die rotationssymmetrisch angeordneten Ständerwicklungen statt mit Gleichstrom mit dreiphasigem Wechselstrom gespeist werden. Durch das umlaufende Magnetfeld im Stator ist keine Kommutierung notwendig, sodass der Aufbau des Rotors wesentlich vereinfacht werden kann. Im Falle der permanentenerregten Synchronmaschine werden hierfür Permanentmagnete verwendet, die sich am Magnetfeld des Stators ausrichten und damit dessen Drehbewegung folgen. Konstruktiv kann dies entweder durch Oberflächen-

magnete oder im Rotor vergrabene Magnete (engl. *interior permanent magnets*) realisiert werden.

Die **stromerregte Synchronmaschine** (SSM) unterscheidet sich von ihrem permanenterregten Pendant lediglich durch den Aufbau des Rotors. Wie der Name impliziert, wird hier im Rotor ein Elektromagnet verwendet, der von einer Gleichspannungsquelle mit Strom versorgt wird. Da das Magnetfeld aus Sicht des Rotors zeitlich konstant ist bestehen kaum Probleme hinsichtlich entstehender Wirbelströme, sodass der Rotor aus massivem Stahl gefertigt werden kann und keine aufwendige Laminierung erforderlich ist. Allerdings sind zur Stromversorgung Bürsten oder Schleifringe erforderlich, woraus sich wiederum Nachteile bezüglich Wartungsaufwand und Maximaldrehzahl ergeben. Gegenüber der permanenterregten Synchronmaschine ergeben sich die Vorteile eines Verzichts auf Permanentmagnete und die entsprechende Kostenersparnis, wobei nur geringe Einbußen bezüglich des Wirkungsgrads hingenommen werden müssen. Den technischen Entwicklungsstand betreffend ist die stromerregte Synchronmaschine noch nicht so ausgereift wie die permanenterregte, stellt jedoch zunehmend eine interessante Alternative dar.

Die **Asynchronmaschine** (engl. *Induction Machine; IM*) weist einen zur Synchronmaschine identischen Aufbau des Stators mit den Drehstromwicklungen auf, unterscheidet sich aber im Rotoraufbau deutlich. Hierbei finden meist Käfigläufer mit Stabwicklungen Anwendung, die über Kurzschlussringe miteinander verbunden sind. Entscheidender Unterschied zu den Läufern von Gleichstrom- oder stromerregter Synchronmaschine ist damit, dass keine elektrischen Leitungen über Bürsten oder Schleifringe nach außen geführt werden müssen.

Eine weitere Alternative ist die **Reluktanzmaschine** (engl. *Switched Reluctance Machine; SRM*). Obwohl sie elektrisch über denselben Statoraufbau wie Synchron- und Asynchronmaschine verfügt, beruht ihre Funktionsweise auf anderen physikalischen Prinzipien, wobei die namensgebende Reluktanzkraft entscheidend ist. Sie bewirkt, dass sich magnetisierbares Material immer in Richtung des geringsten magnetischen Widerstands bewegt und somit das Bestreben hat, den Abstand zwischen sich und dem Magneten zu verringern. Darauf beruht auch die aus dem Alltag bekannte Anziehungskraft von Magneten. Um das Prinzip für eine elektrische Maschine nutzbar zu machen, müssen sowohl Rotor als auch Stator ein zahnförmiges Profil mit unterschiedlicher Zähnezahl aufweisen. Dabei ist jeder Statorzahn mit Spulen bestückt, während der Rotor einfach aus weichmagnetischem Material (im einfachsten Fall Eisen) besteht, also weder Wicklungen noch Permanentmagnete benötigt.

Während bei allen bisherigen Ausführungsformen der magnetische Fluss stets in der radialen Ebene liegt, es sich also um „Radialflussmaschinen“ handelt, ist das gemeinsame Merkmal von **Transversalflussmaschinen** (engl. *Transverse Flux Machine; TFM*) die Magnetisierung in Richtung der Rotationsachse. Der Aufbau des Stators ist dabei grundlegend verschieden und weist um die Wellenachse in einem Ring geführte Statorwicklungen auf. Auch auf diese Weise kann im Stator ein Drehfeld erzeugt werden, wenngleich der Aufbau des magnetischen Kreises wesentlich komplizierter und entsprechend kostspieliger ist. Rotorseitig können alle von den „Radialflussmaschinen“ bekannten Lösungen eingesetzt werden, es gibt also beispielsweise ebenso permanenterregte Transversalflussmaschinen wie Transversalfluss-Reluktanzmaschinen.

Bei der bauformenbezogenen Analyse der Patente ohne Beschränkung auf Erfindungen, die sich auf elektrifizierte Pkw beziehen, lässt sich ein klarer Schwerpunkt bei Inventionen im Bereich Synchronmaschine (35 141 Inventionen; 81 %) erkennen, gefolgt von der Asyn-

chronmaschine (4593; 11 %), der Reluktanzmaschine (3437; 8 %) und der Transversalflussmaschine (235; 0,5 %) (Abb. 4-46).

Ein nahezu identisches Bild zeigt sich bei den konkret auf eine Anwendung im Bereich elektrifizierter Pkw bezogenen Erfindungen, mit der Ausnahme, dass die Asynchronmaschine mit 8 % hier einen leicht geringeren und die Synchronmaschine mit 84 % einen etwas größeren Anteil an den FuE-Aktivitäten hat. Die Gesamtzahl aller Patentoffenlegungen beträgt hier 1518.

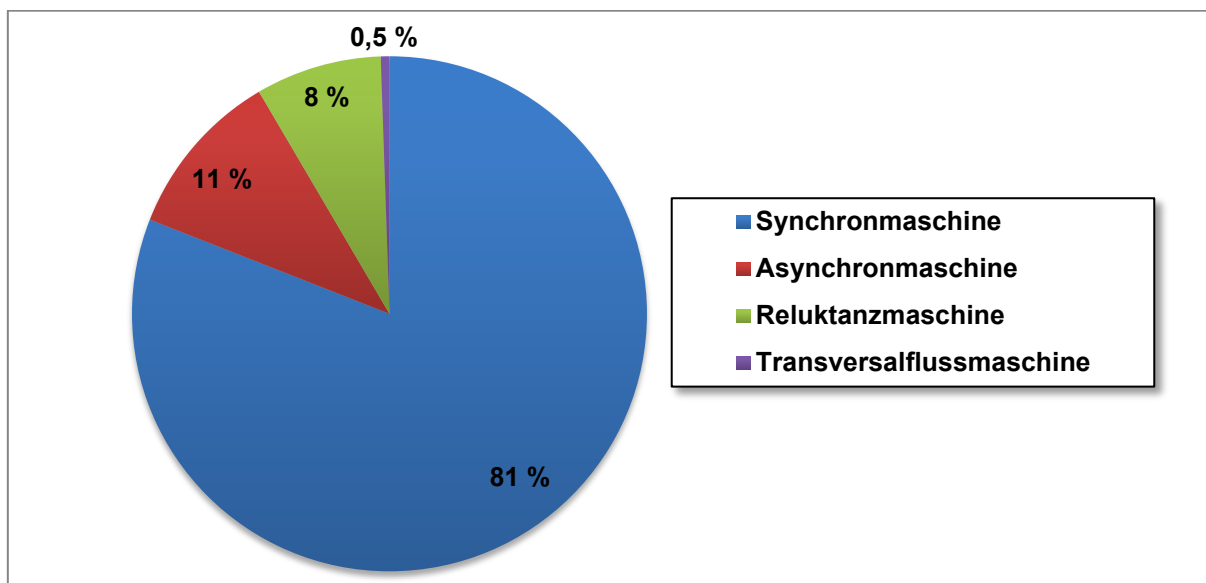


Abb. 4-46 Anteile der Erfindungen im Bereich „Bauformen“

Über alle Bauformen hinweg ist auch bei einer Analyse der Patentanmeldungen der Jahre 2000–2012 insgesamt eine Dominanz Japans festzustellen (Abb. 4-47), wobei sein Anteil an den weltweiten Patentanmeldungen aber von 44 % 2000 auf ca. 30 % 2012 zurückging.

Bis 2012 verlor auch der deutsche IP-Markt für die Patentanmelder an Bedeutung und schrumpfte um knapp 8 %, um nur noch 5 % des Gesamtmarkts zu entsprechen. Gleichzeitig konnten auf EU- und US-Ebene die jeweiligen Marktanteile um 2 % auf 12 % (Europa) bzw. 29 % (USA) ansteigen.

Den größten Zuwachs verzeichnete abermals der chinesische Patentmarkt, der sich von vier Anmeldungen im Jahr 2000 auf 38 in 2010 und 62 im Jahr 2012 steigern konnte. China nahm damit nach 2006 im Jahr 2009 wieder den dritten Platz hinter Japan und den USA ein und verdrängte Europa auf Platz 4. Der Anteil des chinesischen Markts am Gesamtmarkt stieg von 5 % in 2000 auf 20 % im Jahr 2010 und sogar 25 % in 2012.

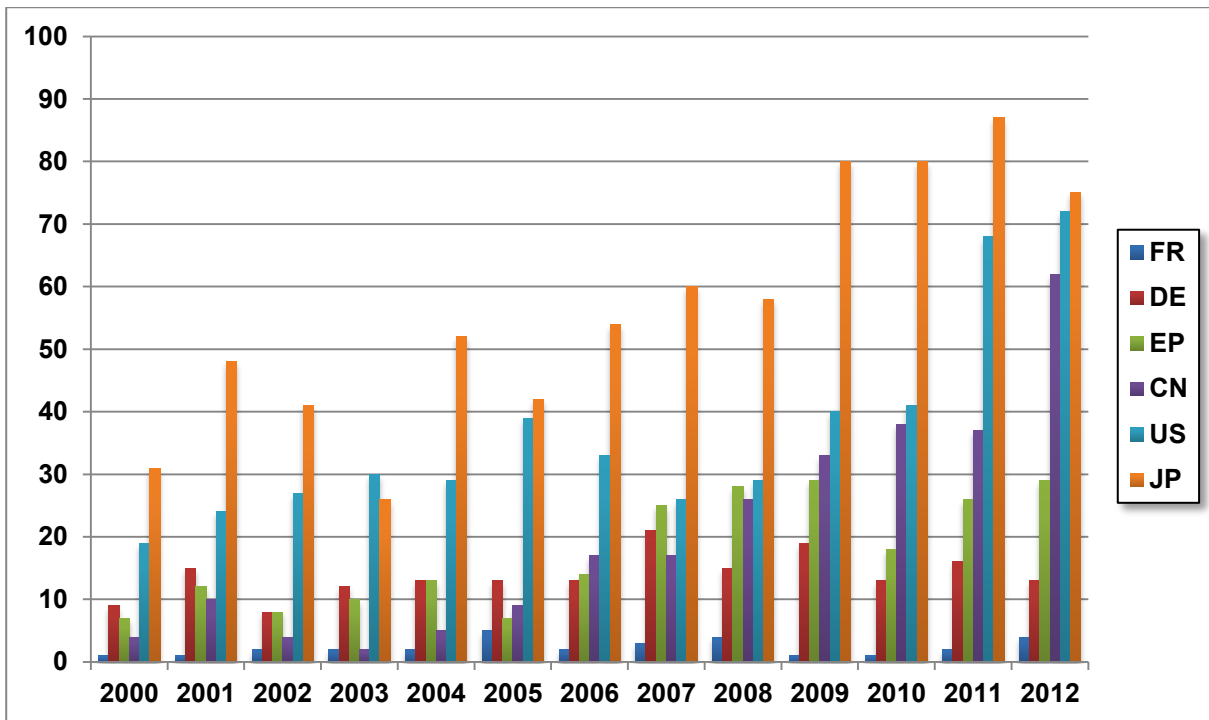


Abb. 4-47 Anteil Patente im Bereich „Bauformen“ nach Weltregionen 2000–2012

Eine regionsspezifische Fokussierung von Patentaktivitäten auf bestimmte E-Maschinentypen ist laut Analyse nicht erkennbar (Abb. 4-48). Die Schwerpunktsetzung von FuE-Aktivitäten liegt in allen untersuchten Weltregionen ausgeprägt auf der Synchronmaschine mit Anteilen von 58 % (FR) bis 84 % (JP), gefolgt von Forschungen zur Asynchronmaschine zwischen 8 % (JP) und 18 % (CN) sowie zur Reluktanzmaschine mit Anteilen von 7 % (DE) bis 24 % (FR).

Patente zur Transversalfflussmaschine mit Bezug zu elektrifizierten Pkw wurden in nennenswertem Umfang bislang nur in Deutschland und Europa veröffentlicht. Eine Analyse mit erweitertem Suchfeld – also ohne Beschränkung auf elektrifizierte Pkw – identifiziert in diesem Technologiefeld eine Dominanz der USA und Deutschlands, die im untersuchten Zeitraum jeweils ca. 100 Patente zur Transversalfflussmaschine aufweisen können.

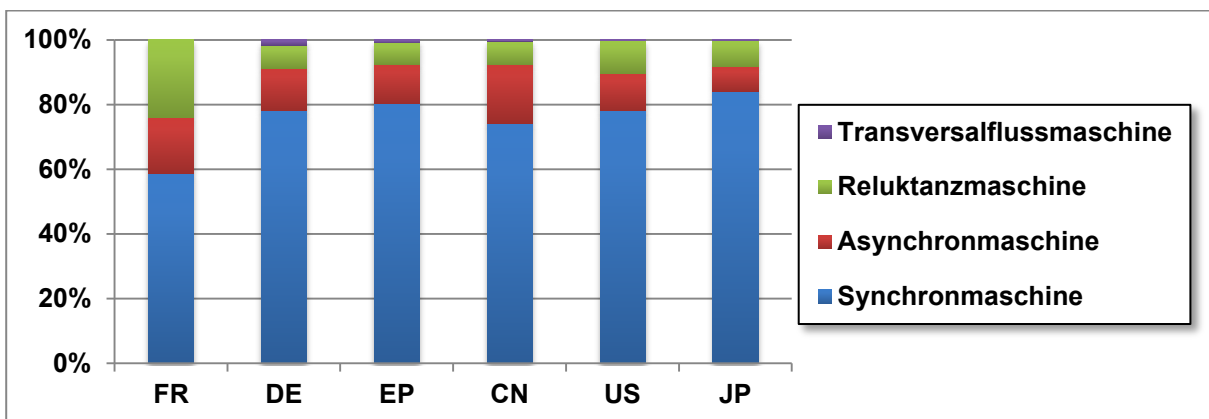
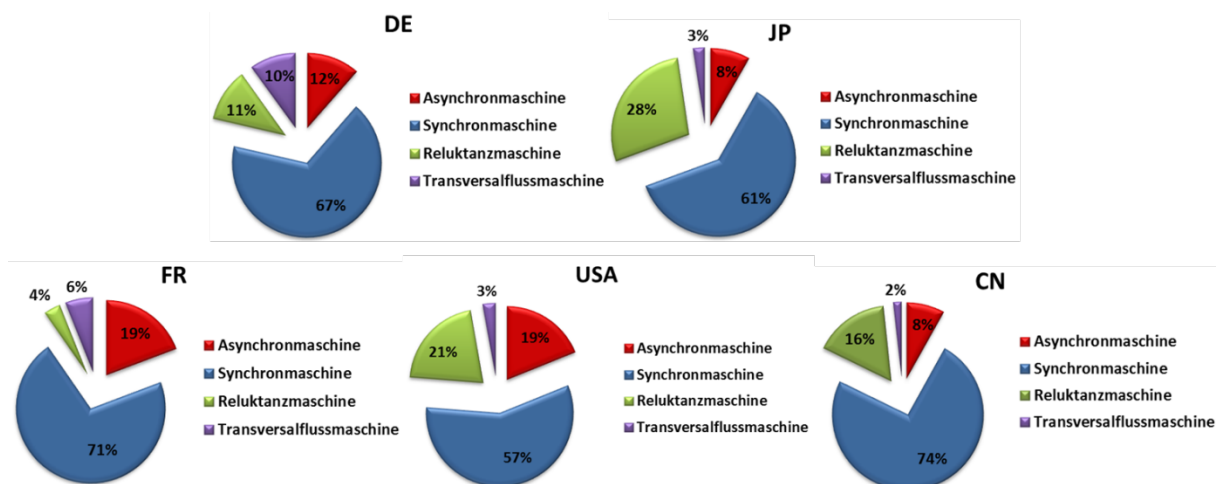


Abb. 4-48: Anteil Patente nach Bauformen über Weltregionen

Die Analyse wissenschaftlich rezensierter Publikationen ergibt ein abweichendes Bild. Zwar ist auch hier in allen untersuchten Weltregionen ein starker Forschungsfokus auf (permanenterregte) Synchronmaschinen zu erkennen, dennoch sind die Forschungsanteile bei alternativen E-Maschinentypen und -bauformen insgesamt höher.

Im Vergleich zu Patenten bilden Publikationen eher weniger anwendungsorientierte Forschungsleistungen ab und entstammen insbesondere dem Umfeld von Universitäten und Forschungsinstituten. Die hier thematisierten Inhalte sind stärker theoriegeleitet oder zielen eher auf die Lösung grundlegender Problemstellungen zur Realisierbarkeit neuartiger Technologien ab, sind von einer konkreten marktorientierten Anwendung also weiter entfernt als im Rahmen von Patentschriften thematisierte Inhalte.

Abb. 4-49 verdeutlicht, dass die Anteile verschiedener E-Maschinentypen beim Vergleich der Patent- und Publikationslandschaft in Deutschland relativ ähnlich ausgeprägt sind. Während der Publikationsanteil bei Synchronmaschinen aber um ca. zehn Prozentpunkte geringer ausfällt als bei der Patentsituation, sind die Anteile von Asynchron-, Reluktanz- und Transversalflussmaschine entsprechend höher und mit ca. 10–12 % relativ gleich verteilt. Insgesamt 932 Publikationen mit inhaltlichem Fokus auf „Bauformen“ konnten identifiziert werden.



**Abb. 4-49 Anteil Publikationen nach Bauformen über Weltregionen**

Japan und die USA haben bei den Publikationsanteilen die größten Abweichungen im Vergleich zu den Patenten. In beiden Ländern weicht der starke Patentfokus auf Synchronmaschinen (78 % bzw. 84 %) einer auf längere Sicht „technologieoffeneren“ Forschung, sodass die Anteile auf 57 % (USA) und 61 % (Japan) zurückgehen. Insbesondere die Reluktanzmaschine wird in beiden Ländern stärker von wissenschaftlicher Forschung adressiert und nimmt Anteile zwischen 21 % (USA) und sogar 28 % (Japan) ein. Während die Asynchronmaschine in Japan sowohl bei den Patenten als auch den Publikationen kaum im Forschungsinteresse steht und eine vernachlässigbare Rolle einnimmt, entspricht sie in den USA einem Anteil von fast 20 % aller Publikationen zu E-Maschinentypen und ist dort – wie auch in Frankreich – mit Abstand am stärksten Gegenstand von Forschungsleistungen.



## Patentlandschaft „Synchronmaschine“

Im speziellen Feld der Patentveröffentlichungen zu Erfindungen im Bereich Synchronmaschine ist Japan im untersuchten Zeitraum bei der Gesamtanzahl ebenfalls klar führend, wenngleich Abb. 4-50 signifikante Veränderungen über die Zeit erkennen lässt: Während der japanische Patentmarkt im Jahr 2000 knapp 40 % aller Anmeldungen zu verzeichnen hatte und diese bis auf 45 % im Jahr 2010 steigern konnte, schrumpfte dieser Anteil bis 2012 auf nur noch 30 % Anteil am Gesamtmarkt.

Insgesamt ist der Patentmarkt im Bereich Synchronmaschine für elektrifizierte Pkw in den untersuchten Weltregionen innerhalb von 12 Jahren um ca. 460 % gewachsen, die Anzahl der in Japan angemeldeten Patente aber nur um ca. 350 %. Im Vergleich dazu konnte China den Anteil der Patentschriften kontinuierlich ab dem Jahr 2007 steigern und bezüglich der Anzahl veröffentlichter Patente im Jahr 2010 erstmals Europa von Platz 3 verdrängen. Der Anteil des chinesischen Patentmarkts am Gesamtmarkt wuchs so von ca. 2 % im Jahr 2000 auf über 21 % in 2010 und sogar 25 % in 2012.

Der Anteil Deutschlands dagegen hat über die letzten zwölf Jahre stark abgenommen und rangiert 2012, ausgehend von ca. 17 % im Jahr 2000, nur noch bei 4 %.

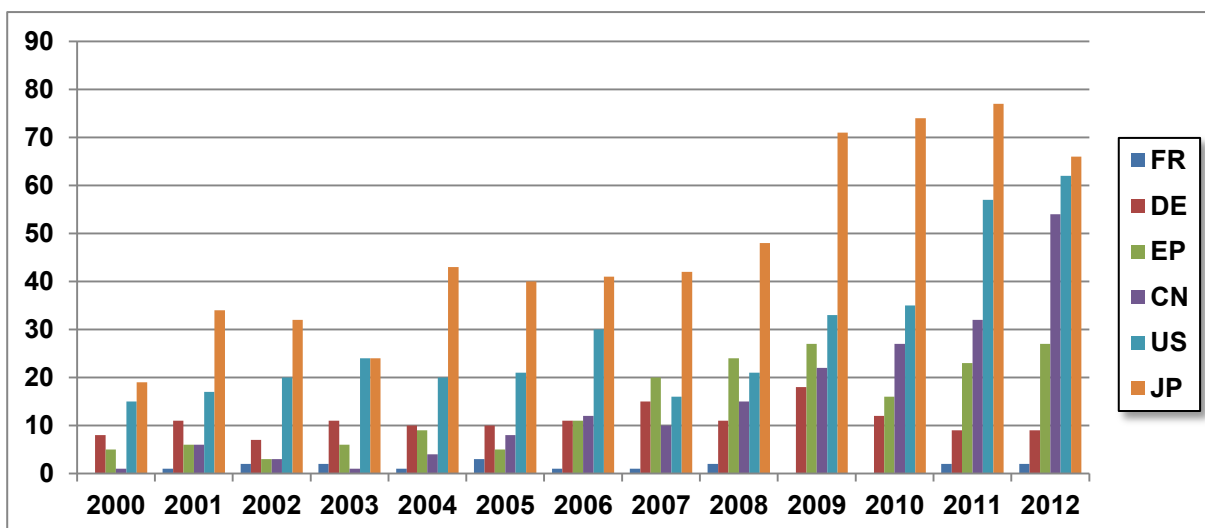


Abb. 4-50 Anzahl Patente im Bereich „Synchronmaschine“ nach Weltregionen 2000–2012

Im Ranking der weltweit führenden Patentanmelder im Bereich der Synchronmaschine belegen asiatische Institutionen 15 Plätze in den Top 20, wobei japanische Unternehmen mit einer Gesamtzahl von 606 Erfindungen vertreten sind und die asiatische Region dominieren (Tab. 4-9). Hyundai (Südkorea) ist auf Rang 19 mit sieben Erfindungen mit Bezug zu elektrifizierten Pkw einziges nicht japanisches asiatisches Unternehmen in den Top 20.

Während allein der Toyota-Konzern mit Toyota Motor und Toyota Jidosha auf insgesamt 163 inhaltlich relevante Inventionen kommt, sind deutsche OEM in den Top 20 überhaupt nicht vertreten. Die aus deutscher Sicht stärksten Positionen in diesem Technologiefeld nehmen die Tier1-Zulieferer Siemens und Bosch ein, die gemeinsam 15 inhaltlich relevante Erfindungen (54 Patente) im Portfolio haben. Sie belegen damit die Plätze 17 (Siemens AG) und 20 (Robert Bosch GmbH).

Die bestplatzierten deutschen OEM sind Volkswagen mit 4, BMW mit 3 und Daimler mit 2 Erfindungen. Porsche und Audi haben jeweils eine Invention im Portfolio. Die USA sind mit GM (27) und Ford (13) vertreten. Bestplatzierte chinesische Institutionen sind die Tongji University, United Electronci Automotive Systems und Chongqing Tsingshan Industries mit jeweils zwei Inventionen.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	HONDA MOTOR	114	JP
2	TOYOTA MOTOR	113	JP
3	HITACHI	80	JP
4	TOYOTA JIDOSHA	50	JP
5	DENSO	46	JP
6	NISSAN MOTOR	39	JP
7	AISIN AW	33	JP
8	TOSHIBA	30	JP
9	MITSUBISHI DENKI	27	JP
10	GM GLOBAL TECH OPS	27	US
11	YAMAHA MOTOR	18	JP
12	FUJI ELECTRIC	18	JP
13	MATSUSHITA ELECTRIC IND	14	JP
14	FORD GLOBAL TECH	13	US
15	TOYOTA CENTRAL R & D LABS	9	JP
16	MITSUBA	8	JP
17	<b>SIEMENS</b>	<b>8</b>	<b>DE</b>
18	MEIDENSHA	7	JP
19	HYUNDAI MOTOR	7	SK
20	<b>BOSCH</b>	<b>7</b>	<b>DE</b>

Tab. 4-9 Top-20-Patentanmelder im Bereich „Synchronmaschine“ nach Anzahl der Erfindungen

Insgesamt 235 Institutionen sind in den untersuchten Weltregionen aktiv in der Forschung zum Thema Synchronmaschine für elektrifizierte Pkw. Die Verteilung der aktiven Institutionen zeigt, dass Japan mit 101 Unternehmen führend ist, gefolgt von Europa (72), den USA (48) und China (14). Deutschland alleine stellt in Europa 50 % aller aktiven Unternehmen aus Industrie und Forschung (Abb. 4-51).

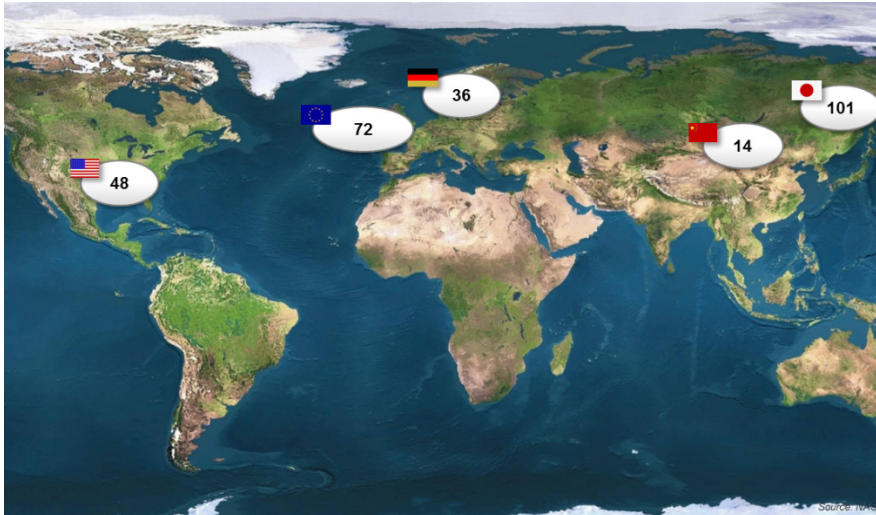


Abb. 4-51 Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich „Synchronmaschine“

Erweitert man das Suchfeld im Bereich Synchronmaschine auf Patentanmeldungen und Erfindungen, die sich nicht speziell auf elektrifizierte Pkw und die Synchronmaschine im Antriebsstrang beziehen, und betrachtet auch Forschungsaktivitäten z. B. im Bereich Luft- und Raumfahrt, Energie oder Schiene, lassen sich mehr und z. T. andere Institutionen mit FuE-Aktivitäten identifizieren – allein in Japan 1141 Unternehmen. Die USA folgen mit 1035, China mit 881 und Deutschland mit 683 Unternehmen. In allen europäischen Märkten sind insgesamt 1774 Institutionen aktiv.

Matsushita Electric Industrial (bzw. Panasonic) springt bei Analyse der Top-Patentanmelder mit erweitertem Suchfeld von Rang 13 auf Position 1, gefolgt von dem japanischen OEM Mitsubishi, der sich von Platz 9 auf Rang 2 verbessern kann (Tab. 4-10). Auch Toyota und Honda – führend bei Patentanmeldungen mit konkretem Bezug zu elektrifizierten Pkw – sind als OEM weiterhin in den Top 10 aller Patentanmelder vertreten und belegen die Ränge 6 und 7.

Auf Platz 8 als bestplatziertes deutsches Unternehmen ist die Robert Bosch GmbH mit 495 Inventionen anzutreffen, die Siemens AG komplettiert die Top 20 aus deutscher Sicht und belegt Platz 13 mit 418 Erfindungen.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	MATSUSHITA ELECTRIC IND	1437	JP
2	mitsubishi denki	1281	JP
3	DENSO	967	JP
4	HITACHI	832	JP
5	TOSHIBA	728	JP
6	TOYOTA MOTOR	619	JP
7	HONDA MOTOR	581	JP
8	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>495</b>	<b>DE</b>

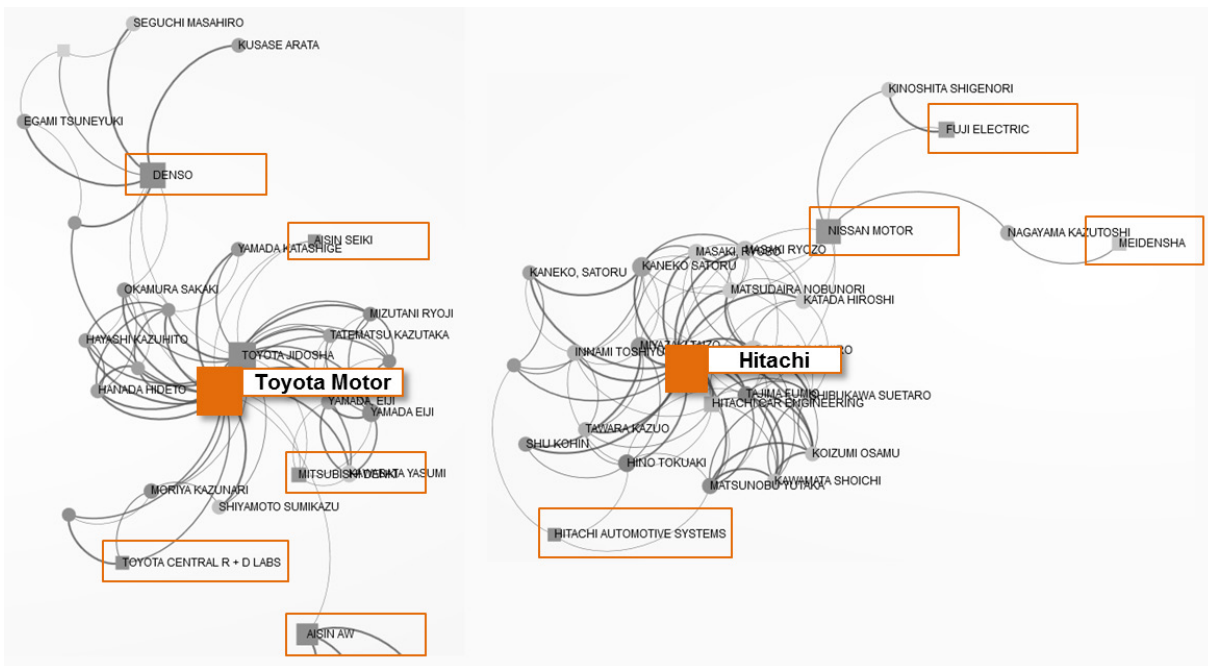
9	NISSAN MOTOR	489	JP
10	NIPPON DENSAN	480	JP
11	LG ELECTRONICS	472	SK
12	SANYO ELECTRIC	431	JP
13	<b>SIEMENS</b>	<b>418</b>	<b>DE</b>
14	DAIKIN IND	375	JP
15	YASKAWA ELECTRIC	371	JP
16	PANASONIC	361	JP
17	JTEKT	330	JP
18	ASMO	293	JP
19	SAMSUNG ELECTRONICS	279	SK
20	MITSUBA	270	JP

**Tab. 4-10 Top-20-Patentanmelder im Bereich „Synchronmaschine erweitert“ nach Anzahl der Erfindungen**

Insgesamt besteht auch bei einer Erweiterung des Suchfelds eine Dominanz asiatischer Institutionen bei FuE zu Synchronmaschinen, wobei der Anteil japanischer Erfindungen in den Top 20 leicht zugunsten Südkoreas abnimmt und von 91 % auf ca. 83 % fällt.

Neben der geografischen Verteilung können über eine Patentanalyse auch Kooperationstätigkeiten und gemeinsame Forschungs- bzw. Innovationsnetzwerke und -dynamiken identifiziert werden. Hierzu werden Verbindungen einzelner Institutionen oder Erfinder über Patente hinweg visualisiert. Die folgende Analyse des Innovationsnetzwerks zur Synchronmaschine wird bei engem Suchfeld durchgeführt und bezieht sich dementsprechend nur auf Kooperationen im Zusammenhang mit Entwicklungen im Bereich „Synchronmaschine im Antriebsstrang elektrifizierter Pkw“.

Während mit Honda das in der Rangliste führende Unternehmen keine kooperativen Forschungstätigkeiten in diesem Technologiefeld durchführt und auch die bestplatzierten deutschen Unternehmen Siemens und Bosch sich bei Patenten in geschlossenen Netzwerken bewegen, betreiben die auf Rang 2 und 3 liegenden Unternehmen Toyota und Hitachi ausgeprägte Innovationsnetzwerke (Abb. 4-52).



**Abb. 4-52 Innovationsnetzwerke im Bereich „Synchronmaschine“ – Toyota Motor (JP) und Hitachi (JP)**

In beiden Netzwerken finden weit verzweigte Kooperationstätigkeiten statt. Während Verbindungen von Toyota Motor insbesondere zur hauseigenen Forschungsinstitution Toyota Central R&D Labs sowie zu Zulieferern wie Denso und Aisin bestehen, ist mit Mitsubishi auch ein weiterer japanischer OEM Teil des Netzwerks, der selbst starke Forschungsaktivitäten im Bereich Synchronmaschine (Rang 9 im engen bzw. 2 im erweiterten Suchfeld) betreibt.

Im Innovationsnetzwerk von Hitachi können mit Nissan Motor ein weiterer japanischer OEM (auf Rang 6 im Technologieranking) sowie die Zulieferer Fuji Electric (Platz 12) und Meidensha (Platz 18) identifiziert werden.

### Patentlandschaft „Asynchronmaschine“

Im Bereich Asynchronmaschine mit Bezug zu elektrifizierten Pkw nach Weltregionen und Zeit ist kein klarer Trend von 2000 bis 2012 zu erkennen. Insgesamt sind die internationalen FuE-Aktivitäten in diesem speziellen Feld relativ gering, wobei insbesondere Deutschland im Jahr 2005 und die USA im Jahr 2007 mit jeweils 15 Patentanmeldungen Peaks aufwiesen, sich danach aber wieder auf einem konstant niedrigen Level eingependelt haben (Abb. 4-53). Beide Länder führten so auch das Ranking mit jeweils 55 auf dem jeweiligen IP-Markt angemeldeten Patenten an, gefolgt von China auf Rang 3, das insbesondere ab dem Jahr 2008 vermehrt Patentanmeldungen auf dem eigenen Markt verzeichnete.

Bemerkenswert ist, dass in Japan über den gesamten Zeitraum nur 24 Patente angemeldet wurden und diese Region damit abgeschlagen vor Frankreich auf dem vorletzten Platz rangierte.

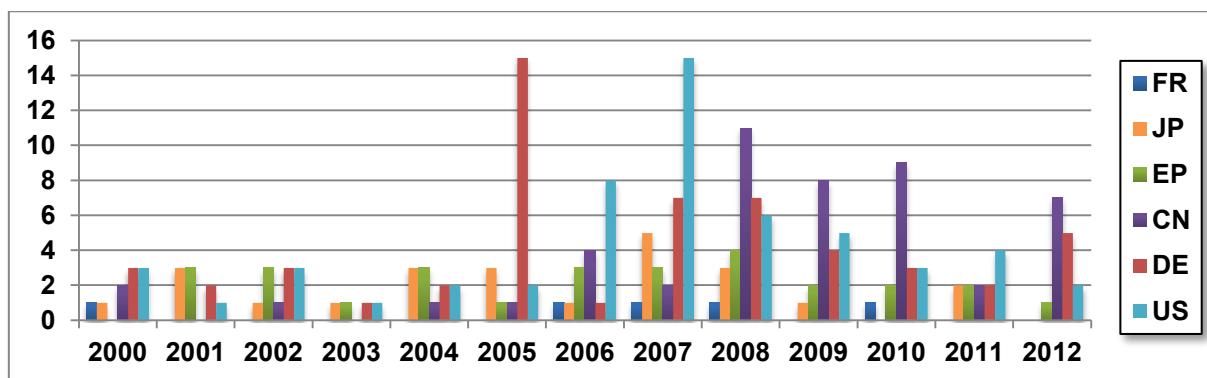


Abb. 4-53 Anzahl Patente im Bereich „Asynchronmaschine“ nach Weltregionen 2000–2012

Auch die Gesamtzahl der in der Forschung aktiven Institutionen ist bei eingeschränktem Suchfeld relativ gering (Abb. 4-54). Deutschland ist für knapp 60 % aller Unternehmen in Europa verantwortlich und nimmt im internationalen Vergleich sogar die Spitzenposition vor den USA (13), Japan (11) und China (1) ein.

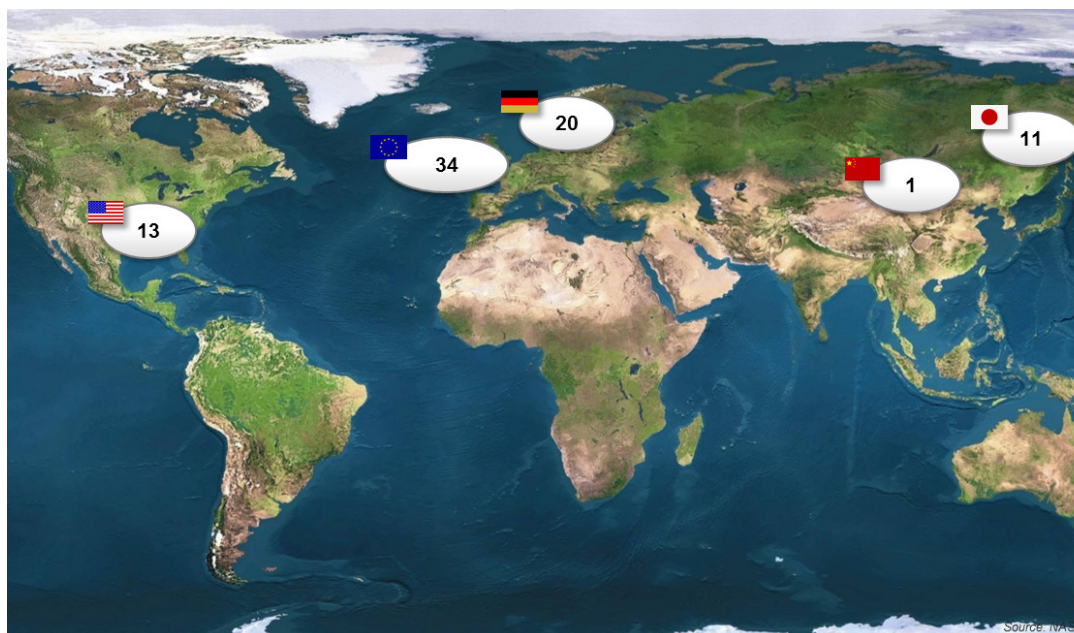


Abb. 4-54 Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich „Asynchronmaschine“

Aufgrund der geringen Anzahl an Patentanmeldungen im Bereich Asynchronmaschine mit konkretem Bezug zur Elektromobilität soll im Folgenden das Suchfeld erweitert werden, um auch technologiespezifische, über elektrifizierte Pkw hinausgehende FuE-Aktivitäten zu erfassen. So erweitert sich die reine Anzahl der in den Weltregionen aktiven Unternehmen um ein Vielfaches: China stellt mit 329 Institutionen die führende Position, gefolgt von Deutschland (295), den USA (234) und Japan (200).

Bei der erweiterten Suche zur Asynchronmaschine wurden mehr als 5300 Patente im untersuchten Zeitraum angemeldet, bei engem Suchfeld nur ca. 220 (Abb. 4-55). Dies entspricht einem Anteil „elektromobilitätsgetriebener“ FuE an der Technologie von nur vier Prozent. Führend bei der reinen Anzahl der angemeldeten Patente ist der chinesische IP-Markt mit knapp 1600 Patenten vor den USA (ca. 1100) und Japan (ca. 1000). Insbesondere ab dem

Jahr 2008 konnte sich China im Rahmen dieser Analyse behaupten, die führende Position bis ins Jahr 2012 festigen und sogar noch weiter ausbauen, sodass der Marktanteil von 11 % in 2000 auf über 53 % in 2012 anstieg. Die USA und insbesondere Japan verloren im gleichen Zeitraum sieben bzw. 19 Prozentpunkte Marktanteil und erreichten 2012 damit nur noch 16 % bzw. 11 %.

Auf dem deutschen IP-Markt wurden im untersuchten Zeitraum knapp 730 Patente zur Asynchronmaschine eingereicht und veröffentlicht. Auch hier entwickelten sich die angemeldeten Patente in Relation zu China stark rückläufig. Während der Output in den untersuchten zwölf Jahren um über 160 % gesteigert werden konnte, verlor Deutschland insgesamt 14 % Marktanteil und fiel von 21 % auf nur noch ca. 7 % ab.

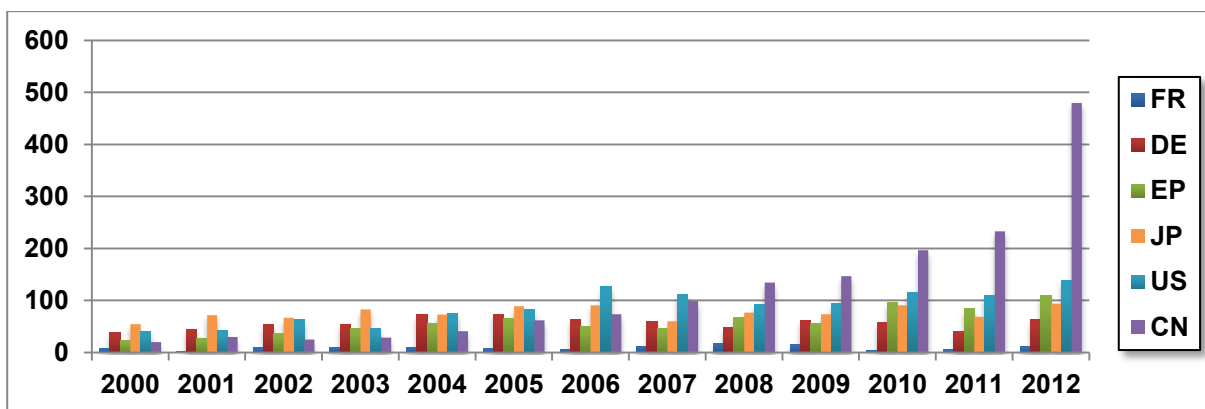


Abb. 4-55 Anzahl Patente im Bereich „Asynchronmaschine erweitert“ nach Weltregionen 2000–2012

Im Ranking der weltweit führenden Patentanmelder belegen japanische Unternehmen acht Positionen in den Top 20 und sind dabei mit einer Gesamtzahl von 405 Erfindungen führend (Tab. 4-11). Bemerkenswert ist, dass auch im Ranking mit erweitertem Suchfeld ein japanischer OEM – Mitsubishi (Rang 3, 112 Inventionen) – unter den Bestplatzierten vertreten ist. Toyota belegt in diesem Ranking mit 15 Erfindungen nur Platz 20, Honda mit 11 Erfindungen Rang 41.

Bestplatziertes deutsches Unternehmen und gleichzeitig im Gesamtranking führend ist Siemens mit 136 Inventionen (349 Patente), gefolgt von Bosch mit 37 Erfindungen (163 Patente) auf Rang 10 und SEW Eurodrive mit 26 Erfindungen (51 Patente) auf Platz 13. Deutsche OEM sind in diesem Technologiebereich weiterhin mit Daimler (16 Inventionen, inkl. Daimler Chrysler), Volkswagen und BMW (jeweils 3) sowie Porsche (eine Erfindung) vertreten.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	SIEMENS	136	DE
2	LG ELECTRONICS	113	SK
3	MITSUBISHI DENKI	112	JP
4	HITACHI	81	JP
5	FUJITSU GEN	57	JP

6	MATSUSHITA ELECTRIC IND	49	JP
7	CHONGQING MACHINERY	45	CN
8	GEN ELECTRIC	44	US
9	TOSHIBA	42	JP
10	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>37</b>	<b>DE</b>
11	ZHONGDA MOTORS	36	CN
12	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	27	US
13	<b>SEW-EURODRIVE</b>	<b>26</b>	<b>DE</b>
14	YASKAWA ELECTRIC	24	JP
15	DENSO	22	JP
16	EMERSON ELECTRIC	22	US
17	FANUC	18	JP
18	YONGJI XINSHISU ELECTRIC	17	CN
19	JIANGSU UNIV	16	CN
20	TOYOTA	15	JP

**Tab. 4-11 Top-20-Patentanmelder im Bereich „Asynchronmaschine erweitert“ nach Anzahl der Erfindungen**

In den USA sind die Unternehmen GE (44 Inventionen), GM (27) und Emerson Electric (22) in den Top 3 und im Bereich Patentanmeldungen für Asynchronmaschinen am breitesten aufgestellt. In China führt Chongqing Machinery mit 45 Erfindungen die Rangliste an, gefolgt von Zhongda Motors (36).

Ferner sind Yongji Xinshisu Electric (17) und die Jiangso University (16) in den Top 10 vertreten und China dementsprechend insgesamt in diesem Technologiefeld im internationalen Vergleich nicht nur marktseitig, sondern tatsächlich auch bei der konkreten Technologieentwicklung aktiv und in einer treibenden Rolle.

### Patentlandschaft „Reluktanzmaschine“

Im Bereich der Reluktanzmaschine in Verbindung mit elektrifizierten Pkw konnten insgesamt 162 Patente im untersuchten Zeitraum identifiziert werden, wobei auch hier aufgrund der geringen Datenpunkte kein klarer Trend über die Zeit erkennbar ist.

Der japanische Markt nimmt ca. 37 % aller Veröffentlichungen ein, gefolgt von den USA mit knapp 30 % sowie Europa (12 %), Deutschland (9 %) und China (8 %) (Abb. 4-56).



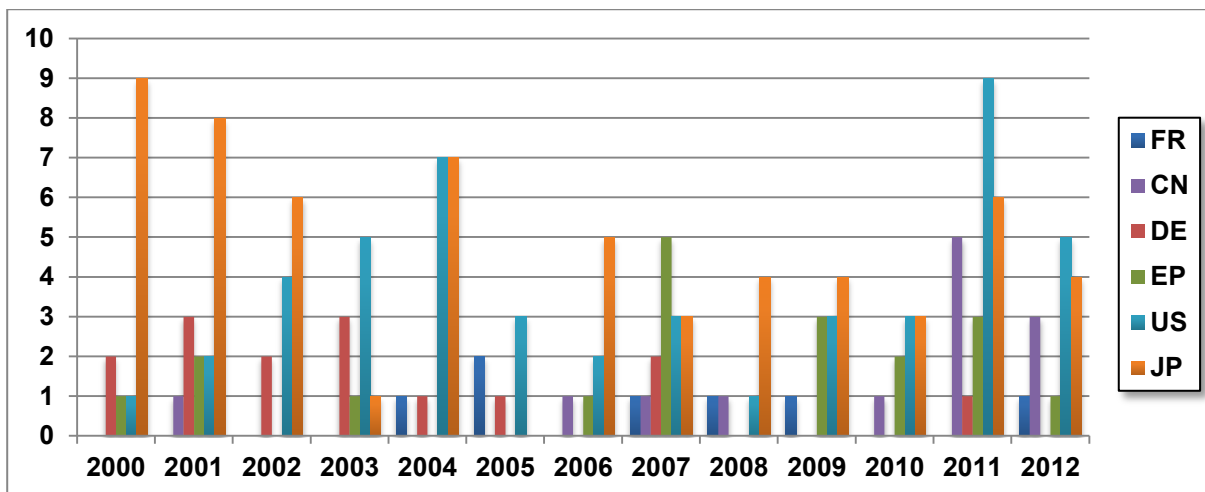


Abb. 4-56 Anzahl Patente im Bereich „Reluktanzmaschine“ nach Weltregionen 2000–2012

Bei einer Erweiterung des Suchfelds auf alle Patente und Erfindungen im Bereich Reluktanzmaschine – ohne Einschränkung auf den Bereich elektrifizierter Pkw – können ca. 4700 Patente identifiziert werden. Dabei verschiebt sich das Bild dahingehend, dass eine konstant hohe Aktivität sowohl in Japan als auch in den USA über den gesamten Zeitraum erkennbar ist. Insgesamt ist Japan dabei mit ca. 1600 angemeldeten Patenten führend, gefolgt von den USA mit ca. 1200 und China, das die Patentanmeldungen auf dem eigenen Markt ab 2004 kontinuierlich steigern konnte und ab 2012 mit ca. 800 Patenten die führende Position für Patentanmelder einnimmt (Abb. 4-57).

Der japanische Markt verlor über die Jahre insgesamt 24 % Marktanteil und erreichte 2012 nur noch 20 %, während China seinen Output um den Faktor 30 steigern konnte und ausgehend von zwei Prozent Marktanteil 2000 innerhalb einer Dekade 27 % und bis 2012 sogar 42 % erreicht hat. Die USA halten sich im untersuchten Zeitraum relativ konstant bei einem Marktanteil zwischen 22 % und 29 %, während in Deutschland ab 2006 ein konstanter Rückgang der Patentanmeldungen erkennbar wird. Konnte der deutsche IP-Markt im Jahr 2000 noch ca. 12 % Marktanteil vorweisen, sank dieser Wert bis 2012 auf nur noch 3,6 %.

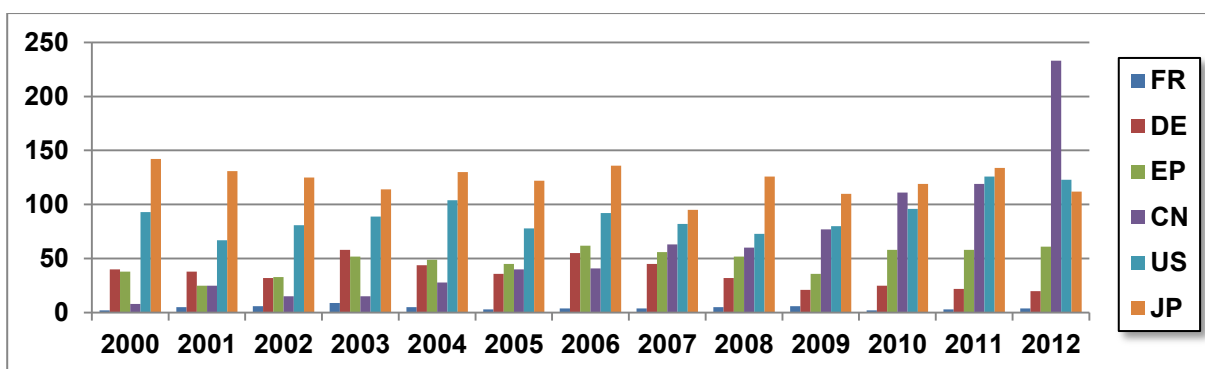


Abb. 4-57 Anzahl Patente im Bereich „Reluktanzmaschine erweitert“ nach Weltregionen 2000–2012

Die führende Institution in diesem Technologiefeld kommt mit LG Electronics und insgesamt 224 inhaltlich relevanten Erfindungen (394 Patente) aus Südkorea, gefolgt von Switched Reluctance Drives aus Großbritannien (106 Erfindungen) und Denso aus Japan.

Japanische Unternehmen sind zwar mit 60 % immer noch für die Mehrzahl der Erfindungen in den Top 20 verantwortlich und treibende Kraft, jedoch nicht mehr dominante Technologieführer, wie z. B. bei der Synchronmaschine. Auffallend ist dennoch, dass auch bei der Analyse mit erweitertem Suchfeld japanische OEM stark vertreten sind. Toyota (inkl. Toyota Central R&D Labs) befindet sich demnach mit 93 Erfindungen auf Rang 5, Mitsubishi (81) auf Rang 7 und Nissan (68) auf Platz 11 (Tab. 4-12).

Rang	Institution	Anzahl Erfindungen	Land
1	LG ELECTRONICS	224	SK
2	SWITCHED RELUCTANCE DR	106	UK
3	DENSO	110	JP
4	SAMSUNG ELECTRONICS	94	SK
5	TOYOTA MOTOR	93	JP
6	TOSHIBA	86	JP
7	MITSUBISHI DENKI	81	JP
8	MATSUSHITA ELECTRIC IND	74	JP
9	HITACHI	72	JP
10	AISIN SEIKI	69	JP
11	NISSAN MOTOR	68	JP
12	JAPAN SERVO	60	JP
13	EMERSON ELECTRIC	57	US
14	FUJITSU GEN	53	JP
15	MITSUBA	44	JP
16	DAIKIN IND	38	JP
17	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>38</b>	<b>DE</b>
18	NANJING UNIV	35	CN
19	DANA	30	US
20	OKUMA	28	JP

**Tab. 4-12 Top-20-Patentanmelder im Bereich „Reluktanzmaschine erweitert“ nach Anzahl der Erfindungen**

Emerson Electric ist bestplatziertes US-amerikanisches Unternehmen, die Robert Bosch GmbH auf Rang 17 führt die Technologieentwicklung aus deutscher Sicht an. China ist mit der Nanjing University Aeronautics & Astronautics und 35 Erfindungen in den Top 20 vertreten.

## Patentlandschaft „Transversalflossmaschine“

Im speziellen Feld der Patentveröffentlichungen im Zusammenhang mit Erfindungen im Bereich Transversalflossmaschine für elektrifizierte Pkw können insgesamt nur 13 Patente identifiziert werden. Deutschland ist dabei mit sechs Patenten führend, wobei diese bereits in den Jahren 1996, 1998 und 2001 veröffentlicht wurden. Aktuelle Forschungen können nur auf dem japanischen, US-amerikanischen und europäischen Markt identifiziert werden (jeweils eine Patentveröffentlichung 2012). Die treibenden Unternehmen sind dabei die Voith AG, Toshiba sowie Daimler.

Auch hier wird im Folgenden die Patentlandschaft mit erweitertem Suchfeld im Bereich Transversalflossmaschine betrachtet (Abb. 4-58). Im untersuchten Zeitraum können so insgesamt ca. 390 Patente identifiziert und den verschiedenen Weltmärkten zugeordnet werden. Die USA und Deutschland sind diesbezüglich mit 104 bzw. 102 Patenten führend, gefolgt vom europäischen IP-Markt (85), China (51), Japan (41) sowie Frankreich (4).

Auch diese Analyse verdeutlicht für Deutschland vermehrt in den Jahren 2000–2004 FuE-Aktivitäten, während in den Folgejahren andere Weltregionen – insbesondere die USA und ab 2011 auch China – relevant wurden. Auch die Marktanteile verschieben sich über die Jahre entsprechend: Während der deutsche Markt im Jahr 2000 noch knapp 65 % aller Patentanmeldungen verbuchen konnte, sank der Anteil bis 2010 auf 24 % und erreichte 2012 nur noch ca. 4 %, während die USA ihren Marktanteil von 6 % auf 28 %, China sogar von 6 % auf ca. 33 % steigern konnte. China bildete demnach im Jahr 2012 erstmals den bedeutendsten Markt für Patentanmelder im erweiterten Bereich der Transversalflossmaschine.

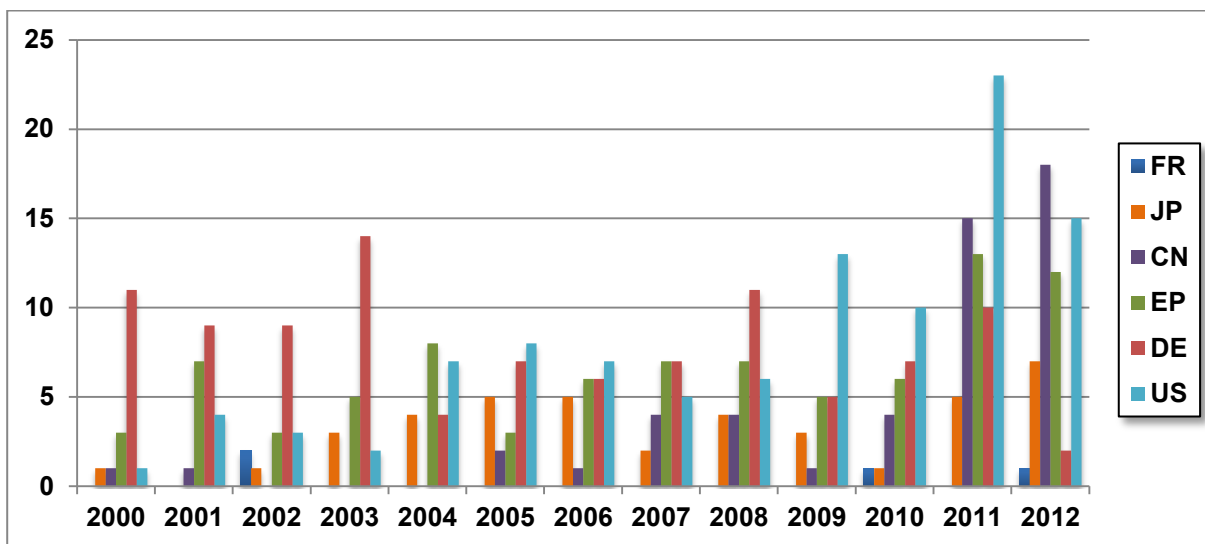


Abb. 4-58 Anzahl Patente im Bereich „Transversalflossmaschine erweitert“ nach Weltregionen 2000–2012

Deutsche Institutionen sind im erweiterten Feld zur Transversalflossmaschine führend und belegen 11 Plätze in den Top 20 (Tab. 4-13). Die Voith AG steht dabei mit 27 Erfindungen (86 Patente) auf Rang 1 vor der Robert Bosch GmbH mit 19 Erfindungen (69 Patente) und dem Harbin Institute of Technology aus China. Auf den Plätzen 5 und 7 rangieren zwei deutsche OEM, die neun bzw. sieben Erfindungen in ihrem Technologieportfolio vorweisen können. Insgesamt sind deutsche Unternehmen für ca. 52 % aller Patentaktivitäten in den Top

20 verantwortlich. 40 deutsche Institutionen – und damit im internationalen Vergleich mit Abstand am meisten – forschen an Themen zur Transversalfussmaschine.

Das einzige japanische Unternehmen in dieser Rangliste ist die Minebea K. K., die auf Rang 19 nur zwei Inventionen vorweisen kann. Nordamerikanische Unternehmen sind durch Motor Excellence, LLC auf Platz 6, Hamilton Sundstrand (bzw. United Technologies Corp.) auf Platz 8, Otis Corp. auf Rang 10 sowie Eocycle Technologies aus Kanada auf Platz 20 vertreten.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	<b>VOITH</b>	<b>27</b>	<b>DE</b>
2	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>19</b>	<b>DE</b>
3	HARBIN INST TECH	16	CN
4	KOREA ELECTROTECHNOLOGY INST	28	SK
5	<b>DAIMLER-BENZ</b>	<b>9</b>	<b>DE</b>
6	MOTOR EXCELLENCE	7	US
7	<b>BAYERISCHE MOTOREN WERKE</b>	<b>7</b>	<b>DE</b>
8	HAMILTON SUNDSTRAND	6	US
9	BOMBARDIER TRANSPORTATION	6	FR
10	OTIS	4	US
11	<b>SEW-EURODRIVE</b>	<b>4</b>	<b>DE</b>
12	SOUTHEAST UNIV	4	CN
13	<b>SIEMENS</b>	<b>3</b>	<b>DE</b>
14	<b>BLUM</b>	<b>3</b>	<b>DE</b>
15	<b>SCHAEFFLER</b>	<b>3</b>	<b>DE</b>
16	<b>COMPACT DYNAMICS</b>	<b>2</b>	<b>DE</b>
17	<b>HARMONIC DRIVE SYSTEMS</b>	<b>2</b>	<b>DE</b>
18	<b>MTU AERO ENGINES</b>	<b>2</b>	<b>DE</b>
19	MINEBEA	2	JP
20	EOCYCLE TECH	2	CAN

Tab. 4-13 Top-20-Patentanmelder im Bereich „Transversalfussmaschine erweitert“ nach Anzahl der Erfindungen

## Patentlandschaft „Stator/Rotor“

Bei einer weiteren Analyse von Patent- und Publikationsschriften können Trends und Schwerpunkte auf Komponenten- und Bauteilebene elektrischer Maschinen identifiziert werden. Im Folgenden soll die Forschungslandschaft für diejenigen Komponenten dargestellt werden, die im Rahmen der internationalen Experteninterviews und von den STROM-Experten als besonders relevant für die Weiterentwicklung und/oder Optimierung von E-Maschinen im Antriebsstrang elektrifizierter Pkw genannt wurden: Stator, Rotor, Wicklungen, Thermomanagement sowie Permanentmagnete.

Die themenspezifische Untersuchung der identifizierten wissenschaftlichen Veröffentlichungen hat regionsspezifische Schwerpunkte in der Forschung auf Komponenten- und Bauteilebene ergeben (Abb. 4-59): Während chinesische Publikationen ihren Forschungsfokus auf die Bereiche Rotor sowie Wicklung und Bestromung legen, sind US-amerikanische und deutsche Veröffentlichungen weniger spezifisch, sodass sich hier weder klare Prioritäten noch „technologieoffenere“ Aktivitäten erkennen lassen.

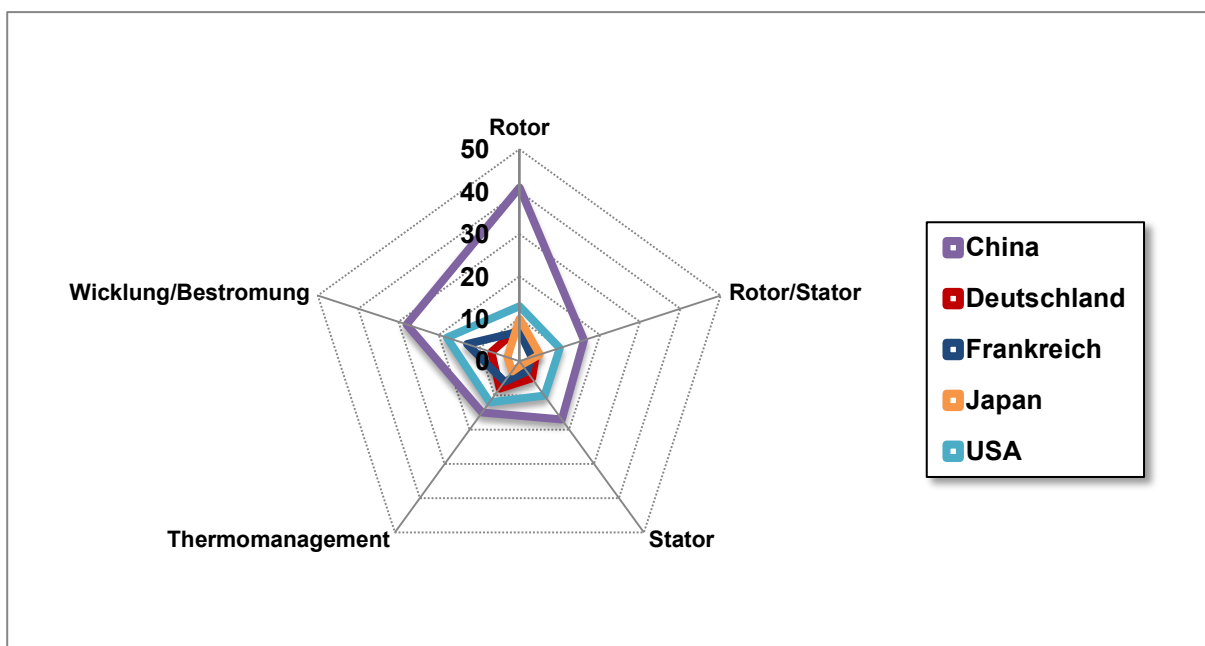


Abb. 4-59 Schwerpunkte der Publikationen nach Weltregionen und Komponenten/Bauteilen

Die Analyse von Patentschriften bezüglich Erfindungen im Bereich Stator über alle Bauformen hinweg belegt Japan mit 8238 Patenten zwischen 2000 und 2012 bei der reinen Patentanzahl als führend, während die USA mit ca. 5700 Patenten bis 2010 den zweiten Rang einnehmen und sich nur 2009 China knapp geschlagen geben müssen (Abb. 4-60).

Der Marktanteil der USA bewegte sich über die Jahre sehr konstant bei ca. 23 %, während der japanische Anteil von führenden 43 % in 2000 auf nur noch 19 % in 2012 abfiel. Dennoch rangiert Japan damit vor Europa (14 %) auf dem dritten Rang.

Die Patentanmeldungen auf dem chinesischen Markt nahmen ab 2003 konstant zu und zeigten insbesondere ab 2008 eine ausgeprägte Dynamik, sodass die USA von Platz 2 verdrängt wurden und 2012 China sogar mit Abstand die Spitzenposition einnahm. China konnte den Marktanteil von nur 5 % im Jahr 2000 auf 22 % in 2010 und auf über 37 % in 2012 steigern.

Deutschland hingegen war mit einer Patentzahl zwischen 140 und 240 pro Jahr über den untersuchten Zeitraum relativ konstant und konnte keine nennenswerten Steigerungen der Patentanmeldungen auf dem eigenen IP-Markt vorweisen. Der Peak wurde mit ca. 240 Patenten im Jahr 2008 erreicht, in den Folgejahren sind relativ sinkende Patentzahlen zu erkennen. Der Anteil Deutschlands am Gesamtmarkt ist dementsprechend von ca. 14 % auf 8 % in 2010 und nur noch 5 % in 2012 gefallen.

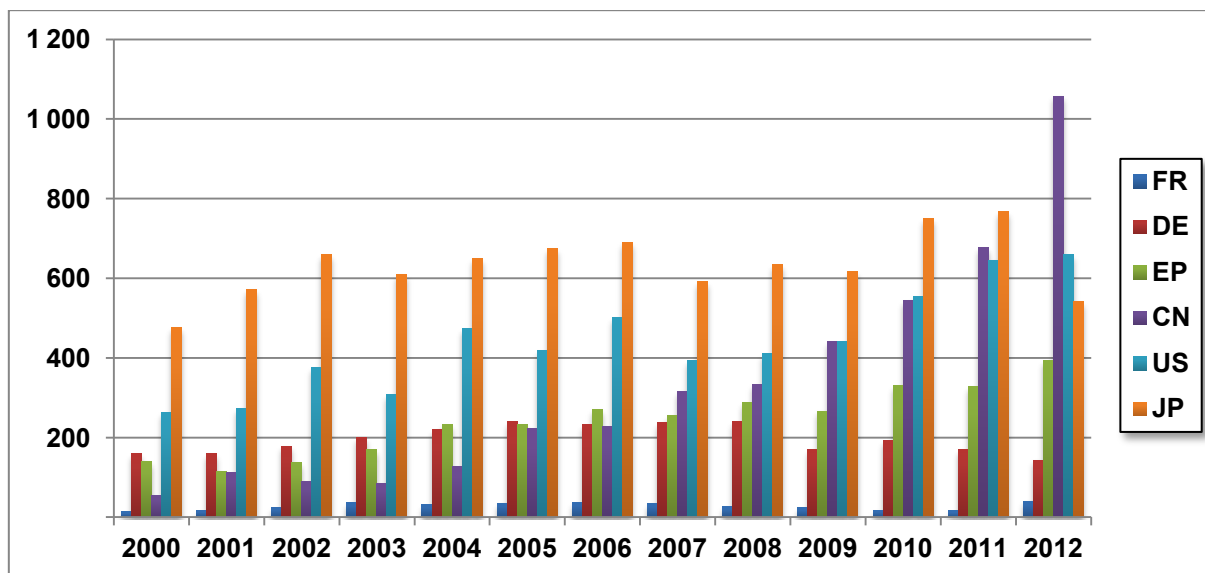


Abb. 4-60 Anzahl Patente im Bereich „Stator“ für alle Bauformen nach Weltregionen 2000–2012

Im Bereich Stator sind japanische Institutionen insgesamt stark vertreten und belegen sieben Plätze in den Top 10 (Tab. 4-14). Die einzigen nicht japanischen Unternehmen innerhalb der ersten zehn Plätze sind Siemens und Bosch auf den Plätzen 5 und 6 sowie LG aus Südkorea auf Rang 8. Bestplatziertes US-amerikanisches Unternehmen ist General Electric auf Platz 14 mit 672 inhaltlich relevanten Erfindungen.

Auch in diesem Zusammenhang ist bemerkenswert, dass mit Mitsubishi ein OEM auf Komponentenebene führend und auch Toyota (Rang 3) sowie Honda und Nissan in der Rangliste vertreten sind. Bestplatzierte deutsche OEM sind Daimler mit ca. 150 Erfindungen, gefolgt von Volkswagen und BMW mit 65 bzw. 55 Inventionen im Portfolio. In den USA können GM (78 Inventionen) und Ford (57) als führende OEM identifiziert werden.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	MITSUBISHI DENKI	2207	JP
2	MATSUSHITA ELECTRIC IND	1659	JP
3	TOYOTA MOTOR	1589	JP
4	DENSO	1466	JP
5	<b>SIEMENS</b>	<b>1344</b>	<b>DE</b>
6	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>1319</b>	<b>DE</b>

7	HITACHI	1226	JP
8	TOSHIBA	1212	JP
9	LG ELECTRONICS	1036	SK
10	HONDA MOTOR	1026	JP
11	NISSAN MOTOR	924	JP
12	ASMO	899	JP
13	YASKAWA ELECTRIC	694	JP
14	GEN ELECTRIC	672	US
15	NIPPON DENSAN	611	JP
16	SANYO ELECTRIC	543	JP
17	MINEBEA	522	JP
18	MITSUBA	502	JP
19	SAMSUNG	495	SK
20	FUJITSO GEN	367	JP

**Tab. 4-14 Top-20-Patentanmelder im Bereich „Stator“ nach Anzahl der Erfindungen**

Im Bereich des „Rotors“ über alle analysierten E-Maschinentypen hinweg ist ein sehr ähnliches Bild über die Zeit zu erkennen wie beim Stator, wobei die Gesamtanzahl der Patentschriften hier insgesamt mit ca. 32 000 höher liegt (Stator: ca. 24 000).

Auch hier ist Japan über den gesamten Zeitraum bei der absoluten Patentmenge führend (ca. 11 700), während die USA mit ca. 7100 Patenten den zweiten Rang einnehmen und sich bis ins Jahr 2011 auf diesem Platz behaupten konnten. Der Marktanteil der USA variierte über die Jahre nur leicht und entsprach im Mittel ca. 22 %, während Japan große Anteile verloren hat und von 47 % in 2000 auf 22 % in 2012 abfiel. Japan nahm damit im Jahr 2012 knapp hinter den USA und China den dritten Rang ein.

Patentanmeldungen auf dem chinesischen Markt konnten wie beim Stator auch beim Rotor ab dem Jahr 2003 konstant gesteigert werden und nahmen ab dem Jahr 2008 nochmals rasant zu, sodass die USA erstmals im Jahr 2011 von Platz 2 verdrängt werden konnten. Im Jahr 2012 war China dann der bedeutendste Markt für Patentschriften im Bereich Rotor (Abb. 4-61). Der Output auf dem chinesischen Markt wurde dabei von 54 Patenten im Jahr 2000 auf 544 im Jahr 2010 und sogar 1058 in 2012 gesteigert. Der Anteil am Gesamtmarkt stieg dementsprechend ebenfalls extrem an und konnte um 34 Prozentpunkte innerhalb von zwölf Jahren erhöht werden, um 2012 insgesamt 36 % zu erreichen.

Deutschland konnte die Zahl der Patentanmeldungen bis auf ein Maximum von 300 im Jahr 2007 steigern, bewegte sich aber bei der absoluten Patentzahl im Vergleich zu den anderen Weltregionen auf einem konstanten Niveau. Der Marktanteil sank von ca. 13 % im Jahr 2000 auf nur noch 5 % in 2012.

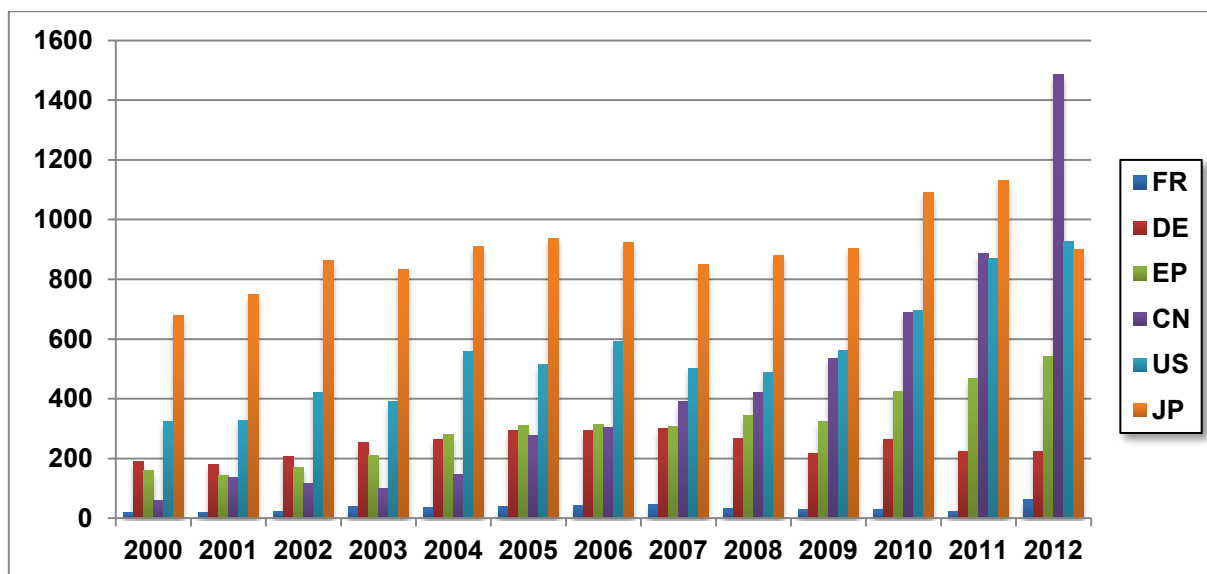


Abb. 4-61 Anzahl Patente im Bereich „Rotor“ für alle Bauformen nach Weltregionen 2000–2012

Die Top 20 der aktivsten Unternehmen im Bereich „Rotor“ ähneln denen im Feld „Stator“, wengleich einige interessante Verschiebungen identifiziert werden können (Tab. 4-15).

Japanische Unternehmen belegen sieben Plätze in den Top 10 und führen mit Mitsubishi bzw. Matsushita (Panasonic) die Rangliste an. Direkt dahinter kann Siemens mit 1074 Inventionen den dritten Rang erobern und verdrängt Toyota mit den Rotor betreffend weniger Forschungsaktivitäten als zum Stator. Auch Bosch kann sich um einen Platz verbessern und nimmt damit vor Denso den fünften Platz im Ranking ein.

Wiederum bestplatziertes US-amerikanisches Unternehmen ist General Electric auf Platz 13 mit 504 inhaltlich relevanten Erfindungen. Zudem kann erstmals ein taiwanesisches Unternehmen einen Platz in der Rangliste erobern: Sunonwealth Electric Machine Industry mit 287 Erfindungen auf dem 20. Platz.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	MITSUBISHI DENKI	1443	JP
2	MATSUSHITA ELECTRIC IND	1341	JP
3	<b>SIEMENS</b>	<b>1074</b>	<b>DE</b>
4	HITACHI	1014	JP
5	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>1006</b>	<b>DE</b>
6	DENSO	977	JP
7	TOSHIBA	953	JP
8	TOYOTA MOTOR	870	JP
9	LG ELECTRONICS	758	SK
10	HONDA MOTOR	740	JP
11	NISSAN MOTOR	699	JP



12	ASMO	637	JP
13	GEN ELECTRIC	504	US
14	NIPPON DENSAN	487	JP
15	YASKAWA ELECTRIC	414	JP
16	MINEBEA	397	JP
17	SANYO ELECTRIC	394	JP
18	SAMSUNG ELECTRO-MECHANICS	386	SK
19	MITSUBA	362	JP
20	SUNONWEALTH ELECTRIC MACHI	287	TW

Tab. 4-15 Top-20-Patentanmelder im Bereich „Rotor“ nach Anzahl der Erfindungen

### Patentlandschaft „Wicklungen“

Im Bereich „Wicklungen“ zeigt sich über alle betrachteten E-Maschinenbauformen hinweg nach Weltregion von 2000 bis 2012 ein insgesamt kontinuierlicher Anstieg der Patentzahlen, wobei 2012 mit 2858 Patenten der Peak erreicht wurde.

Während der japanische IP-Markt insgesamt die meisten Patentanmeldungen zu verzeichnen hatte (7183) und die USA mit 5008 Patenten auf Platz 2 stehen, wuchs die Bedeutung des chinesischen Markts ab 2006 kontinuierlich, sodass China die USA erstmals 2009 vom zweiten Rang ablöste, um 2012 sogar die Spitzenposition vor Japan zu erreichen. Auch Europa konnte die Anzahl an Patentschriften ab 2008 steigern, aber mit 13 % Anteil über den kompletten Zeitraum nur einen Bruchteil der Gesamtanmeldungen verzeichnen.

Im direkten Vergleich der Patentsituationen der Jahre 2000 und 2010 ist ein Anstieg der Anmeldezahlen um knapp 120 % zu identifizieren (932 auf 2064), wobei insbesondere Europa und China ihre Positionen 2010 verbessern und eine Steigerung des Marktanteils um 3 % bzw. 18 % realisieren konnten. Japan und die USA verloren trotz jeweiliger Erhöhung der Anmeldezahlen um ca. 170 % und 180 % Marktanteile in Höhe von 9 % (Japan) und 5 % (USA). 2012 besaß Japan nur noch 20 % Marktanteil und wies einen Gesamtverlust von 19 Prozentpunkten auf, war damit aber immer noch um fast den Faktor vier stärker als der deutsche IP-Markt.

Insgesamt konnte die Veröffentlichungszahl in Deutschland von 136 im Jahr 2000 auf 145 im Jahr 2012 gesteigert werden. Viel dynamischer stellte sich die Situation in China dar, wo 2000 50 Patente, 2010 dann bereits 475 Patente und 2012 sogar 1104 Patente im Bereich der Wicklungen offengelegt wurden – eine Steigerung auf ca. 2200 %.

Der größte Anteil an Patentschriften im Bereich „Wicklungen“ ist mit Abstand der Synchronmaschine zuzuordnen, über 80 % aller untersuchten Patente beziehen sich auf Lösungen für diese spezielle Bauform. 23 000 Patente weniger sind im Bereich der Asynchronmaschine zu identifizieren (ca. 2800; 9 %), die hinter der Reluktanzmaschine (ca. 3100; 10 %) auf Platz 3 folgt. Wicklungen im Bereich Transversalflussmaschine entsprechen insgesamt nur 0,8 %.

Die Anteile über die Weltregionen sind relativ gleich verteilt und fokussieren stark auf Erfindungen im Bereich Synchronmaschine (Abb. 4-62). Die größten Anteile an alternativen Bauformen haben China und Deutschland, die 25 % bzw. 22 % aller Patentschriften zu Wicklungen

gen auf die Bauformen Asynchron- und Reluktanzmaschine sowie im Falle Deutschlands auch auf die Transversalfeldmaschine beziehen. Wiederum ist ein Fokus chinesischer Patentschriften auf die Asynchronmaschine zu erkennen, die hier einen relativ hohen Anteil von 14 % erreichen.

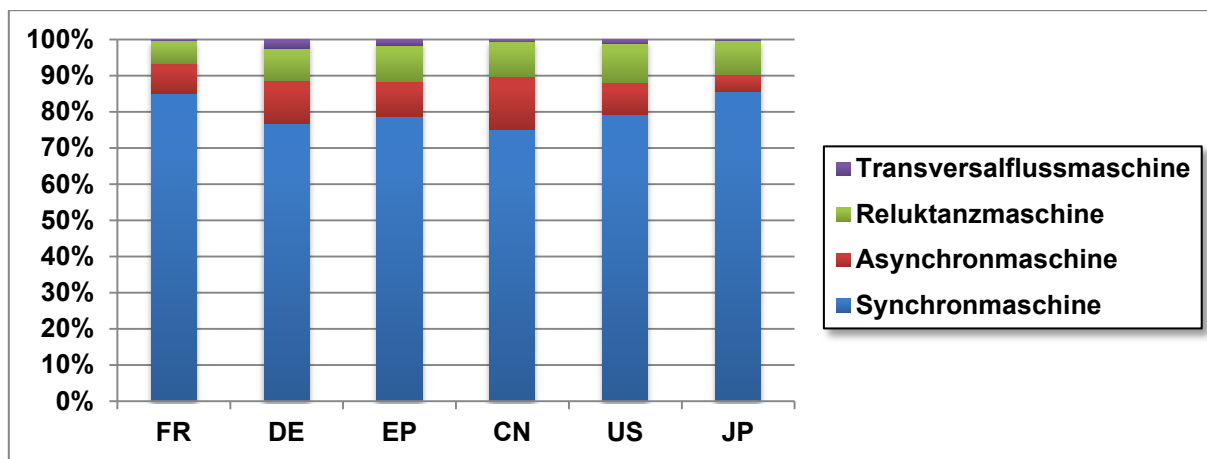


Abb. 4-62 Anteil Patente im Bereich „Wicklungen“ für Bauformen nach Weltregionen 2000–2012

Die führende Institution im Technologiefeld „Wicklungen“ ist der japanische OEM Mitsubishi mit insgesamt 611 inhaltlich relevanten Erfindungen, gefolgt von Matsushita (bzw. Panasonic, 513) und Denso (403). Die Top 5 werden von Hitachi (352) und Toshiba (280) komplettiert und bestehen damit in Gänze aus Institutionen mit Sitz in Japan. Auf den Plätzen 6 und 7 folgen Siemens (241) und Bosch (211), die damit die mit Abstand bestplatzierten Unternehmen aus Deutschland sind, bevor auf Rang 8 das erste US-amerikanische Unternehmen mit General Electric (165) zu finden ist (Tab. 4-16).

Insgesamt sind japanische Unternehmen in den Top 20 auch bei FuE-Aktivitäten im Technologiefeld „Wicklungen“ starke treibende Kräfte und stellen 82 % aller inhaltlich relevanten Erfindungen. Auffallend ist wiederum, dass mit Mitsubishi, Nissan, Honda und Toyota japanische OEM stark vertreten sind.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	MITSUBISHI DENKI	611	JP
2	MATSUSHITA ELECTRIC IND	513	JP
3	DENSO	403	JP
4	HITACHI	352	JP
5	TOSHIBA	280	JP
6	<b>SIEMENS</b>	<b>241</b>	<b>DE</b>
7	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>211</b>	<b>DE</b>
8	GEN ELECTRIC	165	US
9	NISSAN MOTOR	164	JP

10	HONDA MOTOR	161	JP
11	TOYOTA MOTOR	159	JP
12	LG ELECTRONICS	154	SK
13	YASKAWA ELECTRIC	145	JP
14	FUJITSU GEN	136	JP
15	ASMO	125	JP
16	SANYO ELECTRIC	107	JP
17	NIPPON DENSAN	106	JP
18	MINEBEA	104	JP
19	MITSUBA	102	JP
20	SWITCHED RELUCTANCE DR	55	GB

Tab. 4-16 Top-20-Patentanmelder im Bereich „Wicklungen“ nach Anzahl der Erfindungen

### Patentlandschaft „Thermomanagement“

Bei einem Vergleich offengelegter Patentschriften im Bereich „Thermomanagement“ von 2000 bis 2012, die sich auf alle untersuchten E-Maschinenbauformen beziehen, können weltweit insgesamt ca. 4200 Patente identifiziert werden (Abb. 4-63). Der japanische und US-amerikanische IP-Markt führen bei der Gesamtanzahl relativ deutlich (ca. 1300 bzw. 1100 Patente) vor dem chinesischen Markt (ca. 660), Europa (ca. 600), Deutschland (ca. 470) und Frankreich (ca. 100).

Wiederum sind z. T. extreme Verschiebungen über die Jahre zu erkennen: Auch in diesem Technologiefeld wuchs die Bedeutung des chinesischen Markts insbesondere ab 2008 kontinuierlich, sodass die USA erstmals 2010 von Platz 2 verdrängt und 2012 dann die Spitzenposition vor Japan und den USA eingenommen werden konnte. China konnte den Output über die Jahre um insgesamt über 1600 % steigern und erreichte 2012 einen Marktanteil von 35 %, was einer Steigerung von 28 Prozentpunkten im untersuchten Zeitraum entspricht.

Die Bedeutung des deutschen IP-Markts variierte während der Jahre 2000–2008 bei relativ konstanten Anteilen von 10 % bis 15 %, brach aber 2009 dramatisch ein. Die Gesamtzahl der in Deutschland angemeldeten Patente fiel von ca. 50 auf nur noch 15 und der Anteil am Gesamtmarkt ging innerhalb eines Jahres von ca. 13 % auf 5 % zurück. Bis ins Jahr 2012 ergaben sich dann keine nennenswerten Veränderungen und der Marktanteil sank sogar noch leicht weiter bis auf 4,7 %. Bis 2012 verlor Deutschland damit über 10 % Marktanteil.

Auch der japanische Markt verlor zugunsten Chinas an Marktanteilen und fiel von 35 % im Jahr 2000 auf 29 % in 2010 und nur noch 23 % in 2012 – das Niveau des amerikanischen Markts. Dennoch ist Japan bei Betrachtung des gesamten Zeitraums führend. Im direkten Vergleich der Patentsituationen der Jahre 2000 und 2010 ist ein Anstieg der Veröffentlichungszahlen um knapp 160 % zu verzeichnen (145 zu 376).

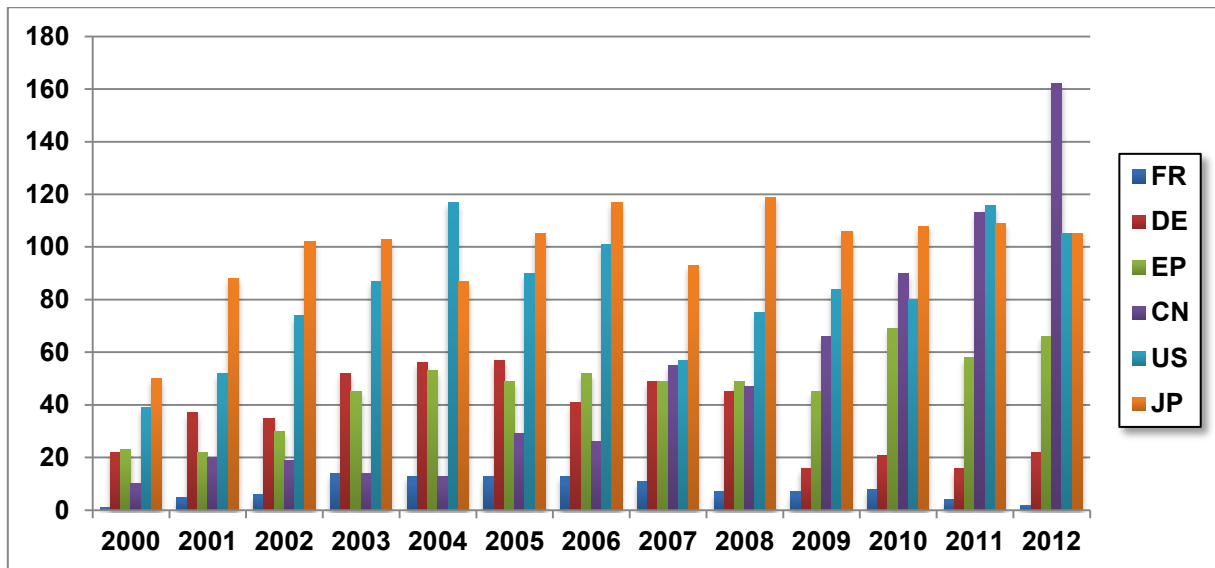


Abb. 4-63 Anzahl Patente im Bereich „Thermomanagement“ für alle Bauformen nach Weltregionen 2000–2012

Der größte Anteil an Patentschriften zum Thermomanagement ist mit ca. 3600 der Synchronmaschine zuzuordnen, gefolgt von der Asynchronmaschine mit ca. 400, der Reluktanzmaschine mit ca. 150 und der Transversalflussmaschine mit nur noch ca. 40.

Die Patentanteile der einzelnen Bauformen sind weltweit relativ ähnlich verteilt und fokussieren auf Erfindungen im Bereich Synchronmaschine (Abb. 4-64). Bemerkenswert ist, dass sich sowohl Frankreich als auch Japan zu über 90 % auf diese Technologie konzentrieren, während Deutschland und die USA, insbesondere aber China breiter aufgestellt sind und auch Lösungen zur Asynchron-, Reluktanz- sowie (in sehr geringen Anteilen) Transversalflussmaschine als schützenswert definieren. China weist über die untersuchten Länder hinweg die größten Anteile bei der Asynchronmaschine auf.

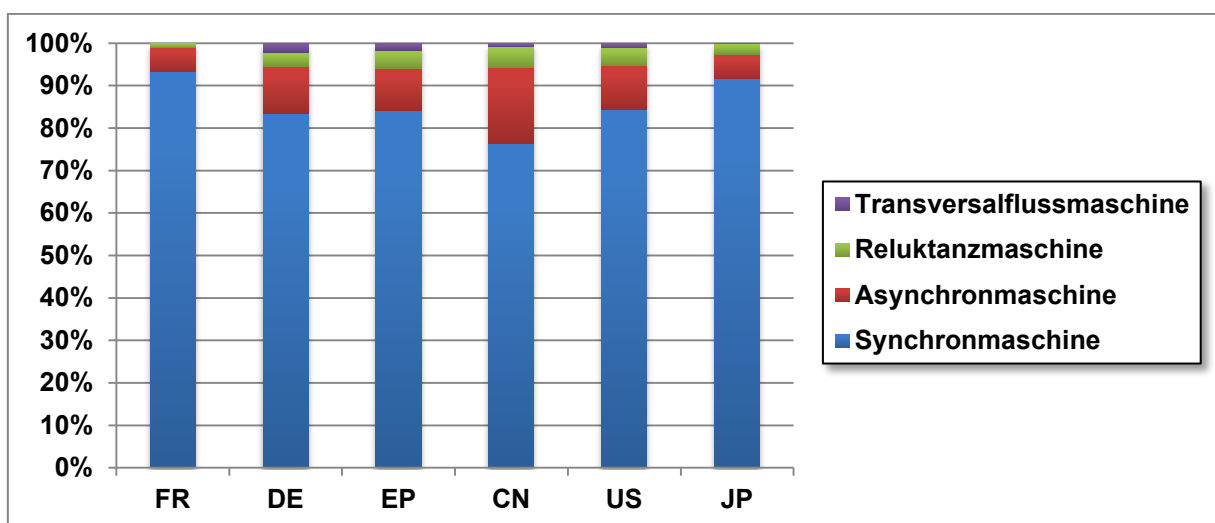


Abb. 4-64 Anteil Patente im Bereich „Thermomanagement“ für Bauformen nach Weltregionen 2000–2012

Die führenden Institutionen im Bereich „Thermomanagement“ über alle E-Maschinentypen hinweg stammen aus Japan, sodass die Top 5 von Mitsubishi, Denso, Hitachi, Matsushita (bzw. Panasonic) sowie Toshiba gestellt werden. Diese fünf Unternehmen haben insgesamt

553 inhaltlich relevante Erfindungen im Portfolio und besitzen damit fast 60 % aller in den Top 20 identifizierten Patentschriften. Mit Nissan auf Rang 7, Honda auf 8 und Toyota auf Platz 11 sind neben Mitsubishi auch hier weitere japanische OEM im Ranking vertreten.

Bestplatziertes deutsches Unternehmen ist die Siemens AG auf Rang 6 mit 49 Erfindungen, gefolgt von der Robert Bosch GmbH, die die Top 10 mit 34 Erfindungen komplettiert. Erstmals schafft es im Rahmen dieser Analysen ein Unternehmen aus Frankreich in die Rangliste der aktivsten Patentanmelder: Valeo auf Rang 13. Auch chinesische Institutionen sind mit Yongji Xinshisu auf Rang 19 (sechs Erfindungen) und Wuxi Thongda Motors auf Platz 18 (neun Erfindungen) in dieser Rangliste vertreten.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	MITSUBISHI DENKI	206	JP
2	DENSO	183	JP
3	HITACHI	59	JP
4	MATSUSHITA ELECTRIC IND	57	JP
5	TOSHIBA	53	JP
6	<b>SIEMENS</b>	<b>49</b>	<b>DE</b>
7	NISSAN MOTOR	47	JP
8	HONDA MOTOR	44	JP
9	GEN ELECTRIC	39	US
10	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>34</b>	<b>DE</b>
11	TOYOTA MOTOR	30	JP
12	LG ELECTRONICS	29	SK
13	VALEO ELECTRIQUES MOTEUR	24	FR
14	KOKUSAN DENKI	20	JP
15	ROHM	16	JP
16	AISIN SEIKI	16	JP
17	DAIKIN IND	11	JP
18	WUXI ZHONGDA MOTORS	9	CN
19	YONGJI XINSHISU ELECTRIC EQUIPMENT	6	CN
20	YASKAWA ELECTRIC	5	JP

Tab. 4-17 Top-20-Patentanmelder im Bereich „Thermomanagement“ nach Anzahl der Erfindungen

### Patentlandschaft „Permanentmagnete“

Im Bereich „Permanentmagnete“ werden im Folgenden alle Patentschriften analysiert, die sich auf die Bauformen Synchronmaschine, Reluktanzmaschine sowie Transversalflussmaschine beziehen. Das Suchfeld ist erweitert und beinhaltet dementsprechend auch Erfindungen, die über die Anwendung im elektrifizierten Pkw hinausgehen.

Der mit Abstand größte Anteil der insgesamt 18 400 identifizierten Patentschriften befasst sich mit Permanentmagneten in Verbindung mit der Synchronmaschine (ca. 16 700, 91 %), gefolgt von der Reluktanzmaschine (ca. 1 400; 8 %) und der Transversalflossmaschine (ca. 170; 1 %).

Führender Markt für Patentanmelder zu Permanentmagneten in Verbindung mit der Synchronmaschine ist Japan, auf dem über den untersuchten Zeitraum hinweg ca. 6300 Patente angemeldet wurden, mit einem Peak von 666 in 2011. Obwohl insgesamt führend verlor Japan über die Hälfte seines Marktanteils und stürzte von 52 % im Jahr 2000 auf nur noch 24 % in 2012 ab. Die USA folgen mit ca. 3500 angemeldeten Patenten und über die Jahre relativ konstanten Marktanteilen zwischen 22 % und 19 %. Auf dem dritten Platz rangiert China mit knapp 3200 Patenten und einer Steigerung des Patentoutputs von über 1800 % über die Jahre. Der Marktanteil Chinas stieg dementsprechend von 3 % in 2000 auf 39 % in 2012. Allein 2012 Jahr wurden fast 1000 Patente auf dem chinesischen Markt angemeldet und damit über ein Drittel mehr als in Japan.

Bei Permanentmagneten in Verbindung mit der Reluktanzmaschine sind die Anteile ähnlich verteilt. Auch hier ist Japan insgesamt führend (ca. 550 Patente), hat aber insgesamt 29 Prozentpunkte Anteil bis 2012 verloren, während China den Output auf dem eigenen Markt von null in 2000 auf über 70 in 2012 steigern konnte und damit in diesem Jahr fast doppelt so viele Patentschriften zu verzeichnen hatte wie Japan. Der Marktanteil in China wuchs innerhalb von 12 Jahren auf 43 %.

Erfindungen, die sich auf Permanentmagnete in Verbindung mit der Transversalflossmaschine beziehen, sind über die Jahre relativ gering thematisiert, sodass insgesamt nur ca. 170 Patente in diesem speziellen Bereich existieren. Deutschland ist dabei mit über 52 Patenten führend, gefolgt von den USA (40), Europa (36), Japan (21), China (18) und Frankreich (2).

Für alle E-Maschinenbauformen zeigt sich 2000–2012 weltweit ein kontinuierlicher Anstieg der Patentzahlen, wobei mit knapp 2700 Patenten des Maximum im Jahr 2012 erreicht wurde (Abb. 4-65).

Während auf dem japanischen IP-Markt insgesamt die meisten Patente angemeldet und offengelegt wurden (6894) und die USA mit 3916 Patenten den zweiten Platz einnahmen, wuchs die Bedeutung des chinesischen Markts ab dem Jahr 2004 kontinuierlich an und entwickelte ab 2009 eine beachtliche Dynamik, sodass die USA erstmals 2009 vom zweiten Rang abgelöst werden konnten. Im Jahr 2012 war der chinesische Markt dann sogar mit Abstand Spitzenreiter. Auch der europäische Markt konnte einen kontinuierlichen Anstieg der Patentzahlen vorweisen, während Deutschland nach einem Anstieg bis 2008 wieder rückläufige absolute Zahlen und relative Marktanteile hatte.

Im direkten Vergleich der Patentsituationen der Jahre 2000 und 2010 ist ein Anstieg der Anmeldezahlen um mehr als 280 % zu verzeichnen (690 auf 2700), wobei insbesondere China und Europa Marktanteile gewannen und von 3 % auf 22 % (China) sowie 9 % auf 12 % (Europa) anstiegen.

Die USA und Deutschland verloren bis zum Jahr 2010 geringe Anteile (2 % bzw. 4 %) und besaßen dann noch 8 % bzw. 21 %. Der größte Verlierer in diesem Technologiefeld war Japan, das 15 % Marktanteil abgeben musste, mit knapp 35 % aber nach wie vor führend war. Bis ins Jahr 2012 verlor der japanische IP-Markt dann noch weitere Anteile und konnte nur noch 24 % der gesamten Patentanmeldungen für sich verzeichnen.

Auf dem chinesischen Markt wurden 2012 über 1050 Patentschriften angemeldet. Innerhalb von zwölf Jahren konnte China den Patentoutput um über 4800 % steigern und erreichte in 2012 einen Marktanteil von 39 %. Deutschland dagegen erreichte 2012 nur ein Zehntel der chinesischen Patentzahlen, verlor insgesamt 8 % Marktanteil und entsprach nur noch 4 % des Gesamtmarkts.

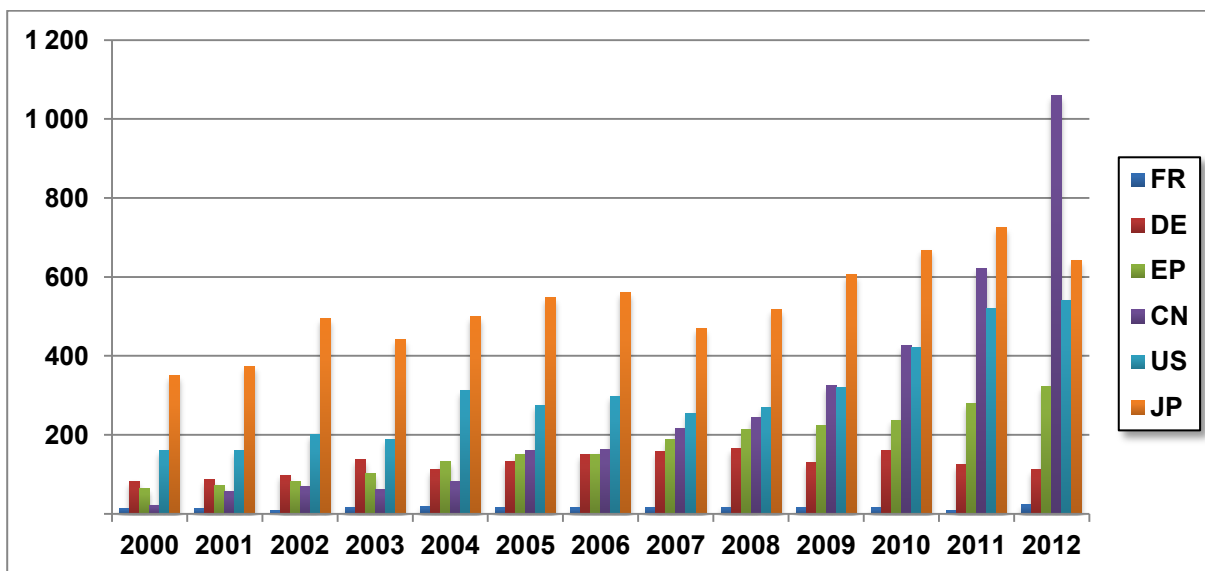


Abb. 4-65 Anzahl Patente im Bereich „Permanentmagnete“ für Synchron-, Reluktanz- und Transversalfeldmaschine nach Weltregionen 2000–2012

Die Top 20 der aktivsten Unternehmen im Bereich „Permanentmagnete“ listet folgende Tab. 4-18.

Insgesamt dominieren japanische Institutionen mit neun Unternehmen auf den ersten zehn Rängen, nur die Siemens AG schafft es mit 236 Erfindungen auf Rang 7. Mitsubishi und Toshiba führen das Ranking mit 475 bzw. 381 Inventionen an, gefolgt von Matsushita (374), Hitachi (347) und den OEM Honda Motor (242) sowie Nissan Motor (236). Auch Toyota ist in diesem Technologiefeld stark aufgestellt und belegt den neunten Platz mit 187 Erfindungen.

Die Robert Bosch GmbH komplettiert aus deutscher Sicht auf Rang 11 und 162 Inventionen die Rangliste. Während US-amerikanische Unternehmen die Top 20 nicht erreichen, wird eine chinesische Forschungsinstitution mit 11 Erfindungen auf Rang 16 unter den führenden Patentanmeldern gelistet.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	MITSUBISHI DENKI	475	JP
2	TOSHIBA	381	JP
3	MATSUSHITA ELECTRIC IND	374	JP
4	HITACHI	347	JP
5	HONDA MOTOR	242	JP
6	NISSAN MOTOR	236	JP
7	<b>SIEMENS</b>	<b>236</b>	<b>DE</b>
8	YASKAWA ELECTRIC	194	JP
9	TOYOTA MOTOR	187	JP
10	DENSO	183	JP
11	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>162</b>	<b>DE</b>
12	DAIKIN IND	139	JP
13	FUJITSU GEN	136	JP
14	LG ELECTRONICS	132	SK
15	ASMO	128	JP
16	HARBIN INST TECH	111	CN
17	MINEBEA	103	JP
18	KOKUSAN DENKI	97	JP
19	MEIDENSHA	97	JP
20	SEIKO EPSON	87	JP

Tab. 4-18 Top-20-Patentanmelder im Bereich „Permanentmagnete“ nach Anzahl der Erfindungen



### 4.3 Untersuchung der Auswirkungen technologischer und konzeptioneller Verbesserungen auf den Fahrzeugenergieverbrauch

M. Klötzke (DLR)

Die Verbesserung, insbesondere die Effizienzsteigerung einzelner Komponenten hat Auswirkungen auf den Endenergieverbrauch des Fahrzeugs, die maßgeblich mit den Fahrzeugeigenschaften – insbesondere Architektur des Antriebsstrangs – und den Rahmenbedingungen der Energieverbrauchsermittlung zusammenhängen. Maßnahmen, die im Stadtverkehr einen positiven Einfluss haben (z. B. Start-Stopp-Systeme), müssen bei der Fahrt auf der Autobahn nicht zwangsläufig ähnliche Einspareffekte zeigen. Dies gilt, neben konzeptionellen Maßnahmen (z. B. Antriebsstrangarchitektur oder Hybridisierungsgrad), auch für technologische Maßnahmen, die an einzelnen Komponenten Anwendung finden.

Bei der Untersuchung von Potenzialen einzelner technologischer Maßnahmen können Längsdynamiksimulationen des Gesamtfahrzeugs wichtige Hinweise darauf liefern, welcher Nutzen aus einer Weiterentwicklung gewonnen werden kann. Da Pkw in der Regel recht dynamisch in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten und unter verschiedensten Bedingungen zum Einsatz kommen, sind diverse Einsatzprofile zu berücksichtigen.

Die am Institut für Fahrzeugkonzepte des DLR entwickelte Simulationsbibliothek „*Alternative Vehicles*“ für die Simulationsumgebung Modelica/Dymola bietet die Möglichkeit, Fahrzeugkomponenten im Gesamtsystem „Fahrzeug“ integriert zu simulieren, wodurch eine Bewertung der Maßnahmen für einzelne Komponenten hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Energieverbrauch möglich wird (Hülsebusch et al. 2009). Um dies zu erreichen, sind einzelne Komponenten separat modelliert und werden zu einem Gesamtsystem verknüpft, wobei neben der Übertragung der mechanischen Kräfte und Momente auch Energieflüsse in verschiedenen Medien wie Kühlmittel, elektrischer Strom oder Kraftstofffluss simuliert werden. Zudem erlaubt eine Bus-gesteuerte Regelung, dass Komponenten abhängig vom Zustand anderer Komponenten oder des Gesamtsystems gesteuert und kontrolliert werden können.

Im vorliegenden Kapitel werden diverse Antriebsstrangarchitekturen in verschiedenen Fahrzyklen untersucht, auf Fahrzeugkomponenten und Untersysteme bezogene technologische Maßnahmen abgebildet und deren Wirkung im Gesamtsystem Fahrzeug beleuchtet. Neben batterieelektrischen werden auch Fahrzeuge mit hybridem Antriebsstrang untersucht und Maßnahmen, die auch in Fahrzeugen mit konventionellem Antriebsstrang angewandt werden können, einbezogen (Abb. 4-66).

Den Untersuchungsschwerpunkt bilden Maßnahmen, die den Wirkungsgrad der Leistungselektronik und der elektrischen Maschinen betreffen. Dabei werden keine tatsächlichen Einzelmaßnahmen, wie konkrete Verbesserungen einer Komponente durch bestimmte Technologien, abgebildet. Da verschiedene Einzelmaßnahmen ähnliche Auswirkungen haben können, werden übergeordnete resultierende Änderungen herangezogen, um eine Bewertung zu ermöglichen. So wird bei der Untersuchung des Einflusses von Leichtbaumaßnahmen die übergeordnete Änderung der Fahrzeugmasse in den Simulationen als Variationsparameter berücksichtigt, ohne auf einzelne Technologien zur Reduktion der Fahrzeugmasse einzugehen.

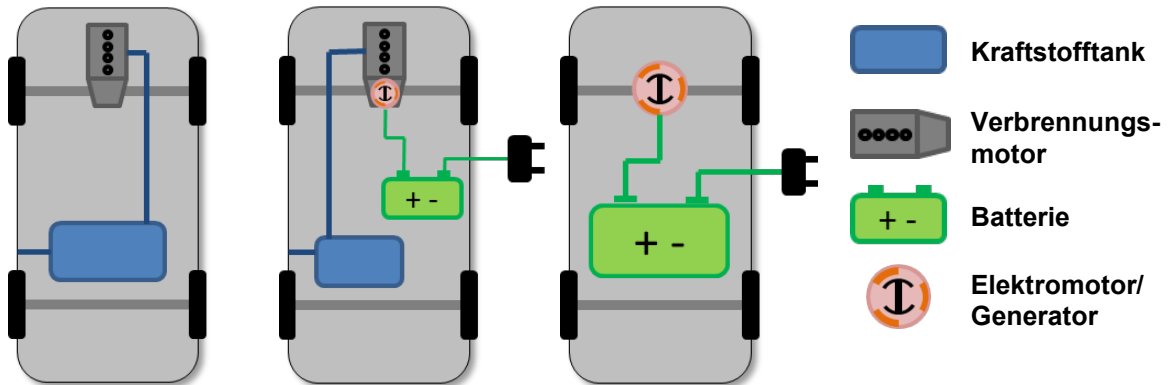


Abb. 4-66 Für die Simulation verwendete Antriebsarchitekturen (links: ICE, mitte: PHEV, rechts: BEV)

Ähnlich wird bei der Ermittlung der Wirkung der Variation des Luftwiderstands vorgegangen, wobei übergeordnete Änderungen des Produkts aus Querschnittsfläche und Luftwiderstandsbeiwert unterstellt werden. Für die Leistungselektronik und die elektrischen Maschinen wird ein kombiniertes Wirkungsgradkennfeld als Ausgangsbasis herangezogen (Abb. 4-67). Ohne auf einzelne Technologien oder Maßnahmen einzugehen, werden Änderungen am Effizienzkennfeld angenommen und deren Einfluss auf den Endenergieverbrauch untersucht. Somit kann für zukünftige Technologien eine schnelle Einschätzung gewonnen werden, wie sich, bei Kenntnis des Einflusses auf das Wirkungsgradkennfeld, der Endenergieverbrauch unter bestimmten Rahmenbedingungen verhält.

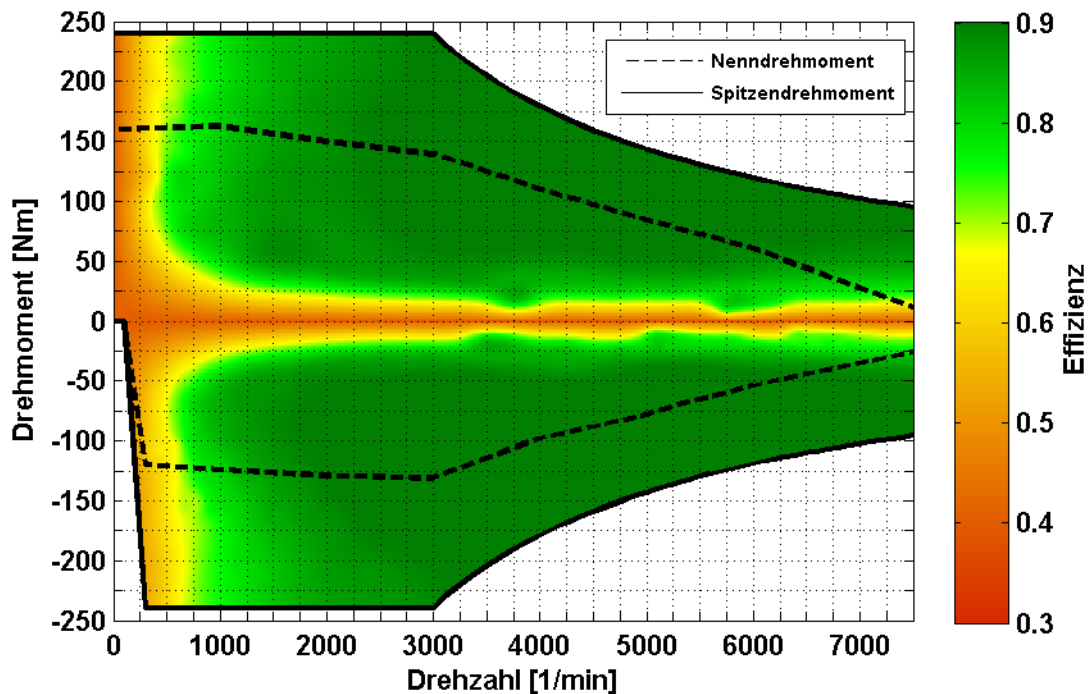


Abb. 4-67 Effizienzkennfeld der verwendeten elektrischen Maschine

Die Untersuchungen berücksichtigen unterschiedliche Fahrzyklen. Neben dem derzeit in Europa für die Ermittlung der Energieverbräuche und Abgasemissionen von Neuwagen eingesetzten Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEDC, Abb. 4-68) finden aus realen Fahrversuchen generierte Fahrzyklen Anwendung (UN/ECE, 2010). Die CADC-Fahrzyklen (Com-

mon Artemis Driving Cycle, (André 2004)) differenzieren sich in einen Autobahnzyklus (CADC Motorway, Abb. 4-71), einen Überlandzyklus (CADC Road, Abb. 4-70) und einen innerstädtischen Zyklus (CADC Urban, Abb. 4-69). Somit werden neben den Einflüssen der Maßnahmen auf den Normenergieverbrauch auch die zu erwartenden Auswirkungen in realen Fahrzyklen beleuchtet.

Der Neue Europäische Fahrzyklus besteht aus zwei Teilabschnitten: (1) Stadtfahrt und (2) Überlandfahrt, wobei auch ein Teilabschnitt auf einer Autobahn berücksichtigt ist. Der erste Teil der Stadtfahrt setzt sich aus drei Beschleunigungs- und Abbremsvorgängen zusammen, die jeweils vier Mal durchfahren werden, und dauert 195 s bei durchschnittlich 19 km/h, wobei auf der Strecke von 1 km Länge mit einer Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h gefahren wird. Der außerstädtische Zyklusteil erstreckt sich über knapp 7 km, wobei eine Maximalgeschwindigkeit von 120 km/h gefahren wird, und dauert 400 s, was einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 62 km/h entspricht. Der gesamte NEDC dauert demzufolge 1180 s und deckt eine Distanz von circa 11 km ab. Die Durchschnittsgeschwindigkeit liegt bei 33 km/h.

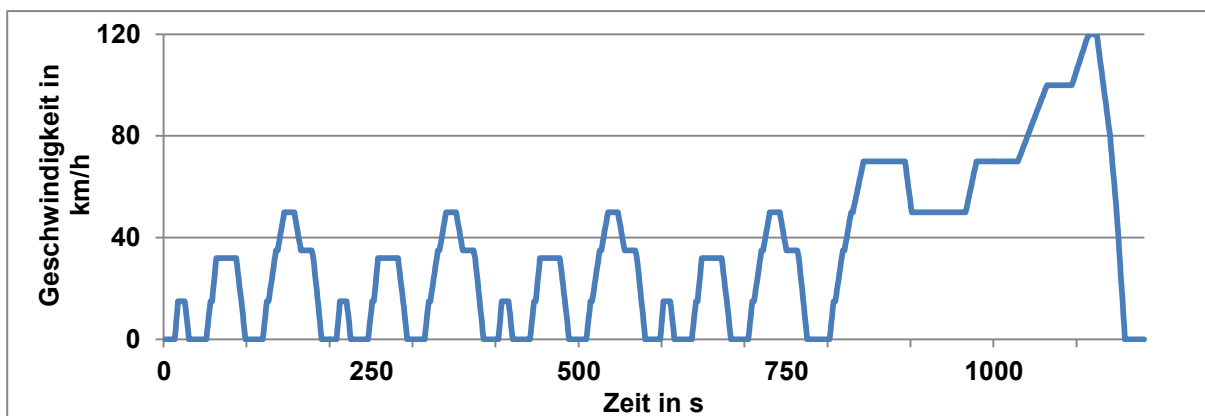


Abb. 4-68 Geschwindigkeitsprofil des Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEDC)

Der CADC-Urban-Fahrzyklus (Abb. 4-69) repräsentiert eine Fahrt in der Stadt mit unterschiedlichen Verzögerungs- und Beschleunigungsphasen. Die Maximalgeschwindigkeit liegt bei knapp 58 km/h. Durchschnittlich wird mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 19 km/h gefahren, wobei in 920 s eine Distanz von knapp 5 km zurückgelegt wird.

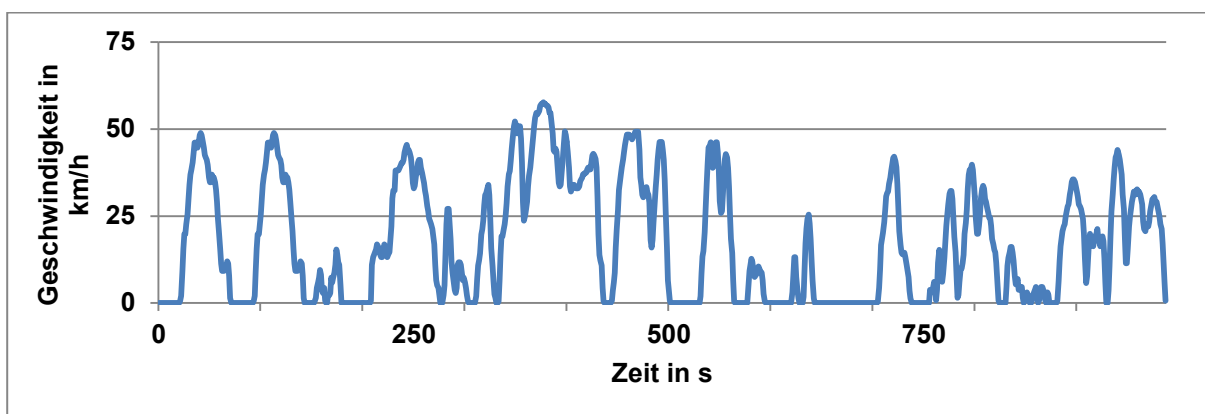


Abb. 4-69 Geschwindigkeitsprofil des CADC-Urban-Fahrzyklus

Eine außerstädtische Fahrt über z. B. Land- und Bundesstraßen wird durch den CADC-Road-Fahrzyklus dargestellt (Abb. 4-70). Neben verschiedenen Brems- und Beschleunigungsphasen wird drei Mal bis zum Stillstand abgebremst und im Anschluss wieder beschleunigt, wie es z. B. bei einer Durchfahrt durch einen kleinen Ort der Fall sein kann. Die Durchschnittsgeschwindigkeit beträgt 54 km/h, sodass eine Distanz von 16 km in 1081 s zurückgelegt wird. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 112 km/h.

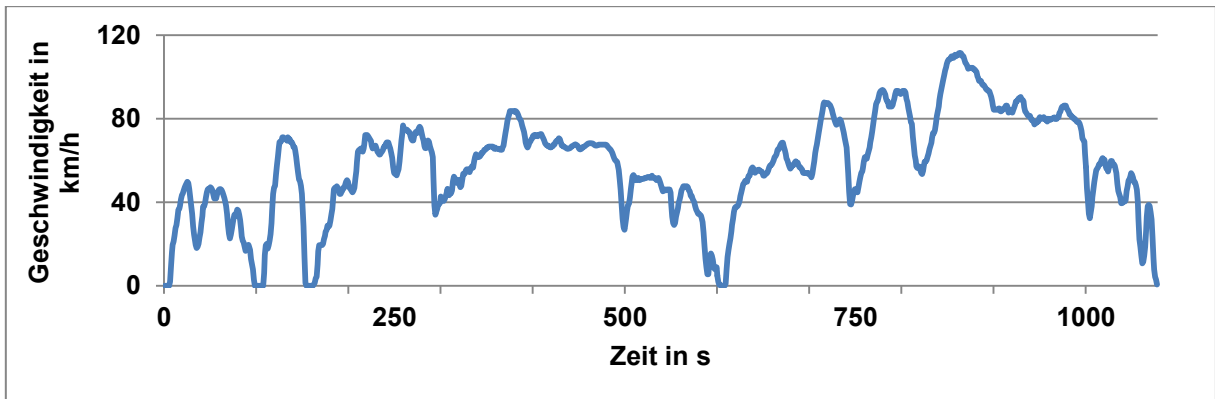


Abb. 4-70 Geschwindigkeitsprofil des CADC-Road-Fahrzyklus

Der CADC Motorway 150 repräsentiert eine Fahrt ähnlich wie auf einer Autobahn (Abb. 4-71). Im Gegensatz zum NEDC mit einer Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h werden in diesem Zyklus Geschwindigkeiten von bis zu 150 km/h erreicht. Auch liegt die durchschnittliche Geschwindigkeit mit 100 km/h deutlich über der des außerstädtischen Abschnitts im NEDC von knapp über 60 km/h. Der gesamte Zyklus erstreckt sich über 1067 s und deckt dabei eine Strecke von circa 30 km ab.

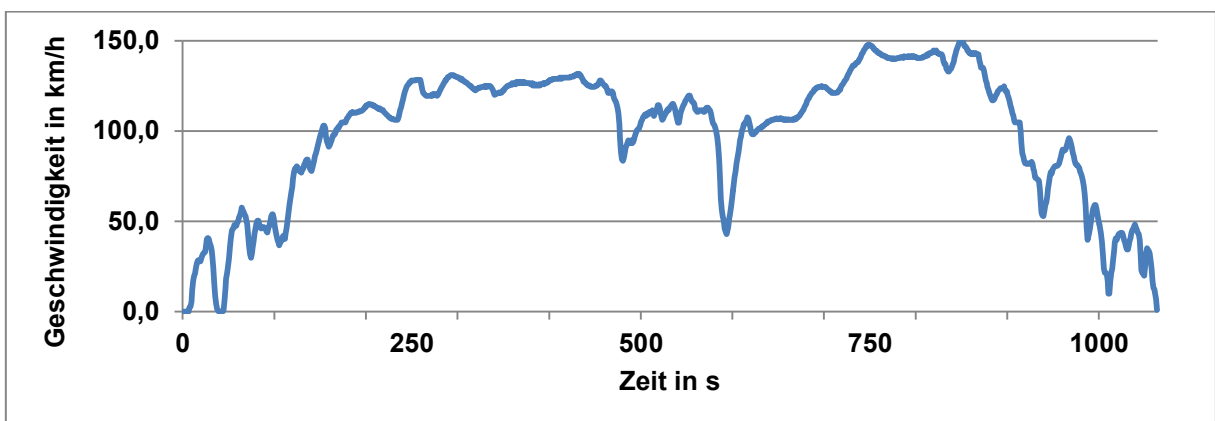


Abb. 4-71 Geschwindigkeitsprofil des CADC-Motorway-Fahrzyklus

Der Energieverbrauch der drei Fahrzeugvarianten unterscheidet sich deutlich (Abb. 4-72). Insbesondere für den PHEV zeigt sich, dass in Fahrzyklen mit langen rein elektrisch gefahrenen Teilstrecken der spezifische Energieverbrauch gegenüber solchen, die zu einem großen Teil auf verbrennungsmotorischen Antrieb basieren, massiv abgesenkt werden kann. Im realen Autobahnzyklus (CADC Motorway, Abb. 4-71) ist der Energieverbrauch quasi identisch mit dem des konventionellen Fahrzeugs. Während das konventionelle Fahrzeug im innerstädtischen Realzyklus (CADC Urban, Abb. 4-69) seinen höchsten spezifischen Ener-

gieverbrauch aufweist, hat der PHEV in diesem Zyklus seinen niedrigsten (Abb. 4-72), da der PHEV wie im Rahmen dieser Untersuchungen konfiguriert den innerstädtischen Realzyklus ohne Unterstützung des Verbrennungsmotors durchfahren kann. Hierbei sind die Verbräuche von PHEV und BEV auf dem gleichen Niveau. Der im NEDC (Abb. 4-68) ermittelte simulierte spezifische Verbrauch liegt beim PHEV und konventionellen Fahrzeug zwischen den maximalen und minimalen Verbräuchen, die in den Realzyklen ermittelt wurden. Für das BEV hingegen ist der Normverbrauch aus dem NEDC auf dem gleichen Niveau wie der niedrigste ermittelte spezifische Energieverbrauch aus den Realzyklen, unter anderem weil bei Verzögerungsphasen, d. h. Abbremsen des Fahrzeugs, die notwendige Verzögerungsleistung komplett von der elektrischen Maschine im Generatorbetrieb geleistet werden kann, wodurch ein hoher Rekuperationsgrad erreicht wird. Dies bedeutet, dass die gesamte Bremsenergie, die über die Verluste durch Fahrwiderstände hinausgeht, aus dem Fahrzeug abgeführt werden muss und unter Berücksichtigung der Rekuperations-Wirkungsgradkette der Batterie wieder zugeführt werden kann. In den realen CADC-Fahrzyklen wird über die Bremsleistung der elektrischen Maschine im Generatorbetrieb hinaus auch die Bremsleistung der mechanischen Bremsen benötigt, um das Fahrzeug wie gefordert zu verzögern. Die durch die mechanischen Bremsen abgeführte Energie wird in Wärme umgewandelt und an die Umgebung abgegeben, wodurch sie dem Antrieb des Fahrzeugs nicht mehr zur Verfügung steht.

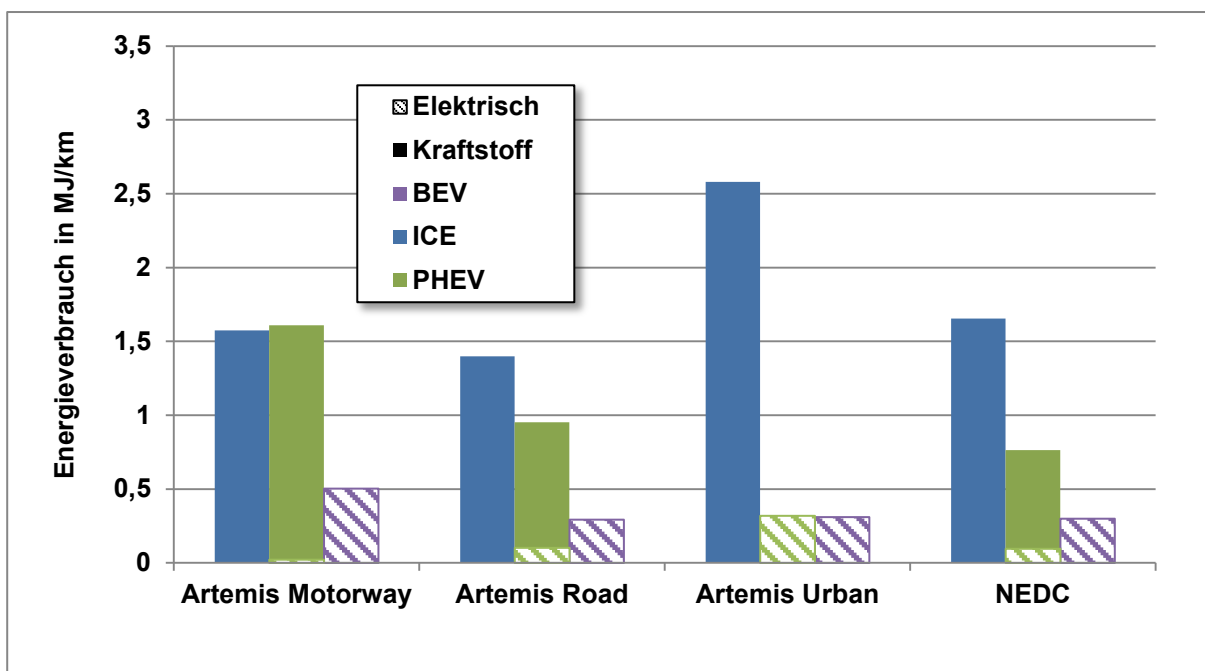


Abb. 4-72 Endenergieverbrauch der Basisfahrzeuge in den unterschiedlichen Fahrzyklen

Ebenso können deutliche Unterschiede in den Auswirkungen verschiedener technologischer und konzeptioneller Maßnahmen auf den Energieverbrauch zwischen den Fahrzyklen identifiziert werden. Bei einem batterieelektrischen Fahrzeug ändert sich bei einer Variation der Fahrzeugmasse um 21 % der spezifische Energieverbrauch zwischen 3 % und 16 %. Den geringsten Einfluss der Fahrzeugmasse auf den spezifischen Energieverbrauch findet man hier im Autobahnzyklus der CADC-Zyklen (CADC Motorway). Da dieser im Vergleich zu den anderen Zyklen ein gleichmäßiges Geschwindigkeitsprofil aufweist, ist der Bedarf an Energie für das Beschleunigen des Fahrzeugs auch nicht so hoch. Es wird aufgrund der hohen

durchschnittlichen und maximalen Geschwindigkeit mehr Energie benötigt, um die Fahrwiderstände, insbesondere die aerodynamischen Widerstände, zu überwinden. Großer Einfluss auf den Energieverbrauch, der eine Erhöhung oder Verringerung der Fahrzeugmasse zur Folge hat, kann im innerstädtischen CADC-Zyklus ermittelt werden. Durch das häufige Beschleunigen und Verzögern wird viel Beschleunigungsenergie benötigt. Zwar hat das batterieelektrische Fahrzeug die Möglichkeit, beim Verzögern einen Teil der Beschleunigungsenergie mittels Rekuperation wieder zurückzugewinnen, allerdings sind die Verzögerungen im CADC Urban derart hoch, dass die Bremsleistung der elektrischen Maschine im Generatorbetrieb nicht mehr ausreicht, um das Fahrzeug wie gewünscht abzubremsen und die mechanischen Bremsen zur Unterstützung hinzugezogen werden müssen. Der NEDC und der CADC Road haben in etwa den gleichen Einfluss bei einer Variation der Fahrzeugmasse auf den spezifischen Energieverbrauch.

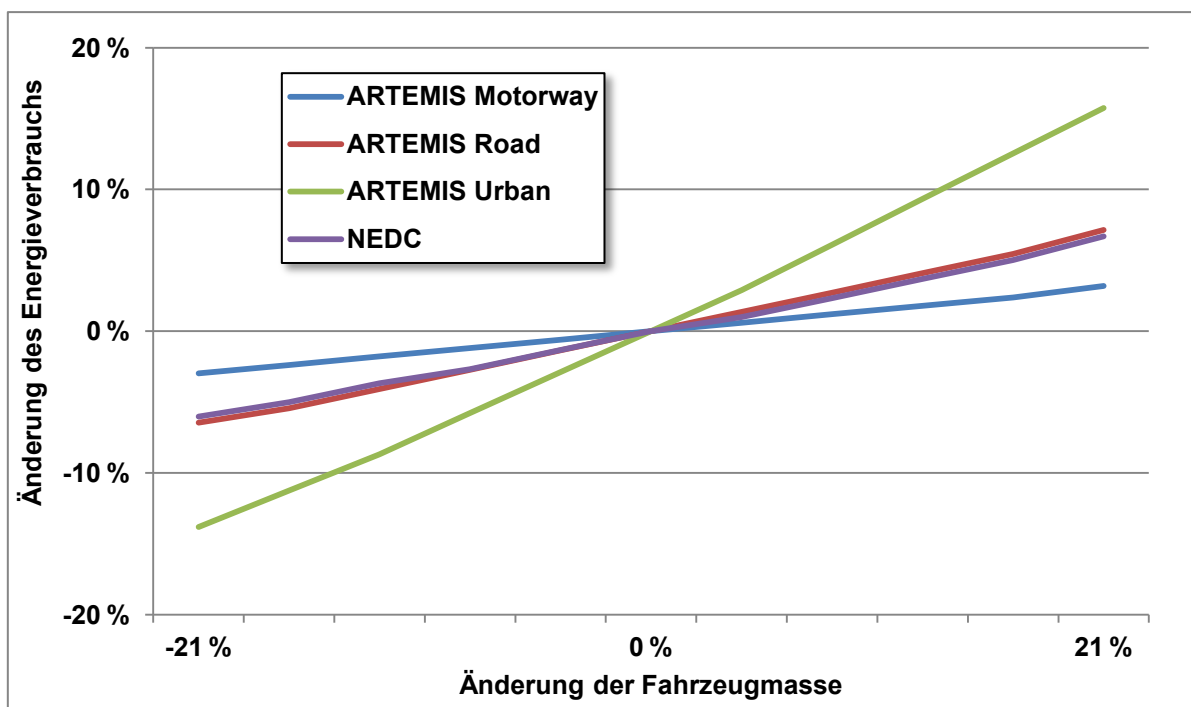


Abb. 4-73 Änderung des Endenergieverbrauchs des BEV durch Änderung der Fahrzeugmasse

Ein ähnliches Ergebnis bei der Untersuchung des relativen Einflusses der Fahrzeugmassenänderung auf den spezifischen Energieverbrauch wie beim BEV erhält man für den PHEV. Durch den Anteil des Verbrauchs an Ottokraftstoff beim PHEV – außer im innerstädtischen CADC – unterscheidet sich allerdings der Einfluss auf die absolute Änderung des Energieverbrauchs gegenüber dem BEV (Abb. 4-72).

Beim konventionellen Fahrzeug zeigen sich insofern abweichende Ergebnisse, als die unterschiedlichen Fahrzyklen keinen intensiven Einfluss haben (Abb. 4-75). Bei konventionellen Fahrzeugen im innerstädtischen Fahrzyklus fällt der Einfluss sowohl auf die relative als auch auf die absolute Änderung des Energieverbrauchs am größten aus. Dies ist insbesondere wieder auf die häufigen Beschleunigungs- und Abbremsvorgänge zurückzuführen, wobei im Gegensatz zum BEV und zum PHEV das konventionelle Fahrzeug nicht die Möglichkeit hat, Energie beim Bremsen mittels Rekuperation zurückzugewinnen, wodurch der absolute Verbrauch deutlich höher ist.

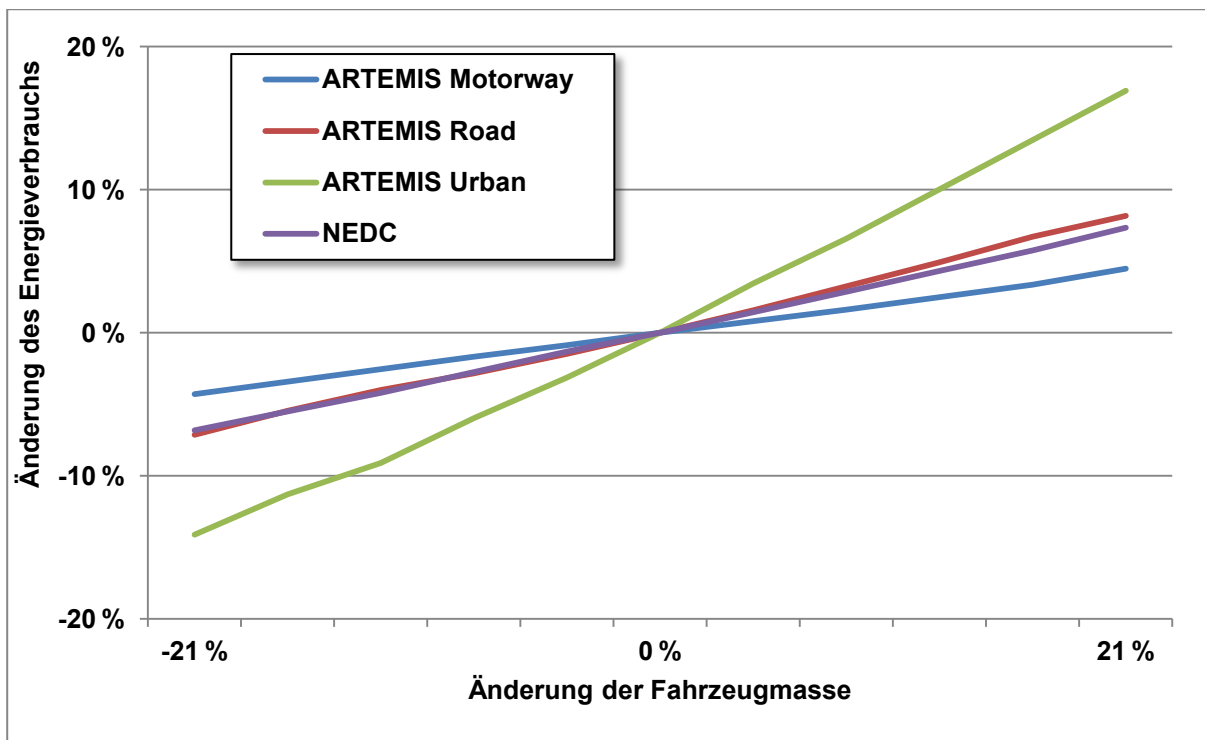


Abb. 4-74 Änderung des Energieverbrauchs des PHEV durch die Änderung der Fahrzeugmasse

Im Gegensatz zu konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor, der über die verschiedenen Übersetzungsstufen eines Schaltgetriebes sowie die notwendigen Verteilergtriebe seine Leistung an eine der beiden Achsen liefert, gibt es bei batterieelektrischen Fahrzeugen verschiedene Möglichkeiten, die elektrische(n) Maschine(n) in den Antriebsstrang einzubinden. Die Maschinen können an verschiedenen Positionen im Fahrzeug untergebracht und im Antriebsstrang integriert werden, z. B. in den Rädern integriert (Radnabenmotoren), in direkter Nähe des Rads über eine kurze Achse an eines der Räder angebunden (radnahe Motoren), direkt auf einer der Antriebsachsen sitzend (Achsmotoren) sowie ähnlich dem Verbrennungsmotor bei konventionellen Fahrzeugen an zentraler Stelle im Fahrzeug untergebracht und über ein Getriebe mit den Rädern verbundene (Zentralmotor) (Hofmann 2010). Insbesondere bei Zentral- und Achsmotoren können diverse Übersetzungen und zum Teil sogar Schaltgetriebe zum Einsatz kommen (Trechow 2012). Die vorliegenden Untersuchungen setzen ein BEV mit einer festen Getriebeübersetzung in den Simulationen voraus. Das Modell des PHEV ist über das Getriebe des Verbrennungsmotors mit einem schaltbaren Getriebe ausgerüstet. Angesichts der variierenden Leistungsanforderungen der Fahrzyklen müssen die Getriebeübersetzungsänderungen jeweils spezifisch untersucht werden. In der Ausgangskonfiguration besitzt das Getriebe ein Übersetzungsverhältnis von 3:1. Für die Untersuchung des Einflusses der Getriebeübersetzung wird für die Vergleichssimulationen ein Verhältnis von 5:1 verwendet. Durch die größere Übersetzung nimmt bei identischem Fahrzyklus die Drehzahl der elektrischen Maschine zu.

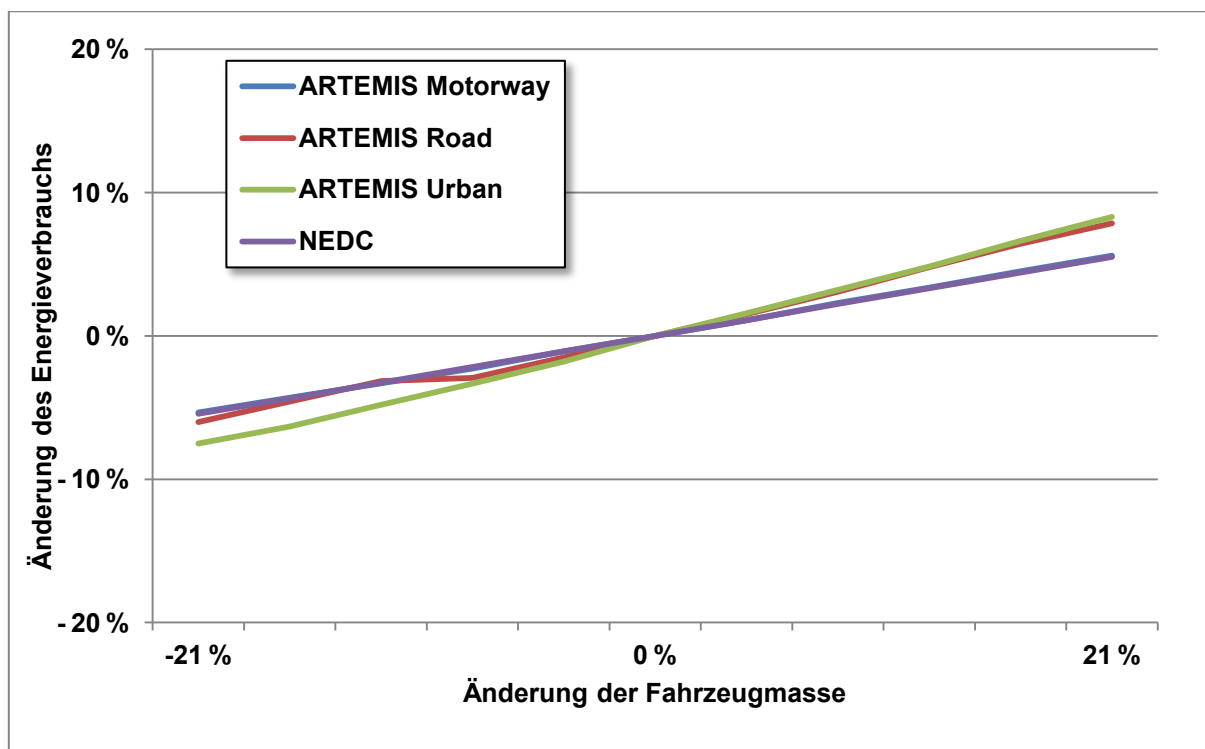


Abb. 4-75 Änderung des Endenergieverbrauchs des ICE durch Änderung der Fahrzeugmasse

Abb. 4-77 illustriert das Effizienzkennfeld der verwendeten elektrischen Maschine in der Basiskonfiguration – überlagert mit den Betriebspunkten für eine Fahrt durch den CADC-Motorway-Zyklus. Gut zu erkennen ist, dass die Leistung der elektrischen Maschine in dieser Konfiguration in den Betriebspunkten (Drehzahl und Leistung) mit hoher Leistungsanforderung recht gut ausgenutzt und in einigen der Betriebspunkte die elektrische Maschine im Überlastbereich (oberhalb der gestrichelten Linie) betrieben werden muss. Dieser Bereich ist in der Regel nur für begrenzte Phasen nutzbar, da es sonst zu einem Überhitzen der Maschine kommen kann, wodurch die Leistungselektronik und, bei permanenten elektrischen Maschinen, die Magneten beschädigt werden können. Abb. 4-77 verdeutlicht auch, dass das Fahrzeug in dieser Konfiguration eine höhere Maximalgeschwindigkeit erreichen kann, da an den Punkten mit maximaler Drehzahl, die den Betriebspunkten bei der höchsten gefahrenen Geschwindigkeit entsprechen, neben einer ausreichenden Drehzahlreserve (in positiver x-Richtung) auch noch Leistungsreserven (in positiver y-Richtung) vorhanden sind. Im Zusammenspiel mit dem Effizienzkennfeld der Maschine zeigt sich, dass die Fahrt durch den CADC-Motorway-Zyklus in dieser Konfiguration den Bereich, in dem die elektrische Maschine eine hohe Effizienz aufweist (grün), gut ausnutzt. Nur wenige der Betriebspunkte liegen in den ineffizienten (gelben und roten) Bereichen.

Die Veränderung der Getriebeübersetzung bewirkt, dass die Betriebspunkte bei gleichem Fahrzyklus in Richtung der höheren Drehzahl (in Richtung höherer Werte auf der x-Achse) sowie zu niedrigeren Momenten (in Richtung niedrigerer Werte auf der y-Achse) wandern (Abb. 4-78) und fast der gesamte Fahrzyklus ohne Nutzung des Überlastbereichs im Motorbetrieb durchfahren werden kann. Lediglich bei der Verzögerung des Fahrzeugs kommt es noch zur Nutzung des Überlastbereichs im Generatorbetrieb. Überdies resultiert aus der Verschiebung eine Verschlechterung des durchschnittlichen Wirkungsgrads, da deutlich mehr Betriebspunkte in den Bereichen mit einer geringeren Effizienz liegen. Daraus resultiert der höhere Energieverbrauch in Abb. 4-76. Durch die weitestgehend vollständige Nutzung



des zur Verfügung stehenden Drehzahlbereichs erreicht dieses Fahrzeug im CADC-Motorway-Zyklus schon fast seine Höchstgeschwindigkeit.

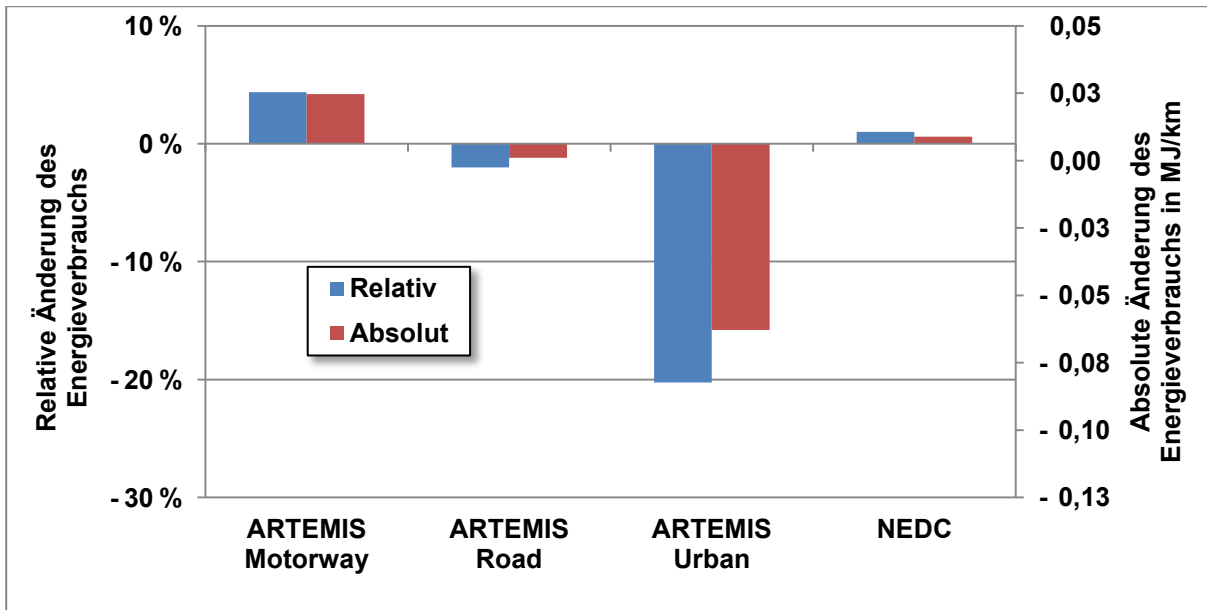


Abb. 4-76 Einfluss der Änderung der festen Getriebeübersetzung (von 3:1 auf 5:1) auf den Energieverbrauch des BEV

Zwar hat das Fahrzeug mit der größeren Getriebeübersetzung durch die Begrenzung der maximalen Drehzahl eine geringere Höchstgeschwindigkeit als das Fahrzeug mit der kurzen Übersetzung, allerdings stehen mehr Leistungsreserven über den gesamten Fahrzyklus zur Verfügung, wodurch ein besseres Beschleunigungsverhalten zu erwarten ist.

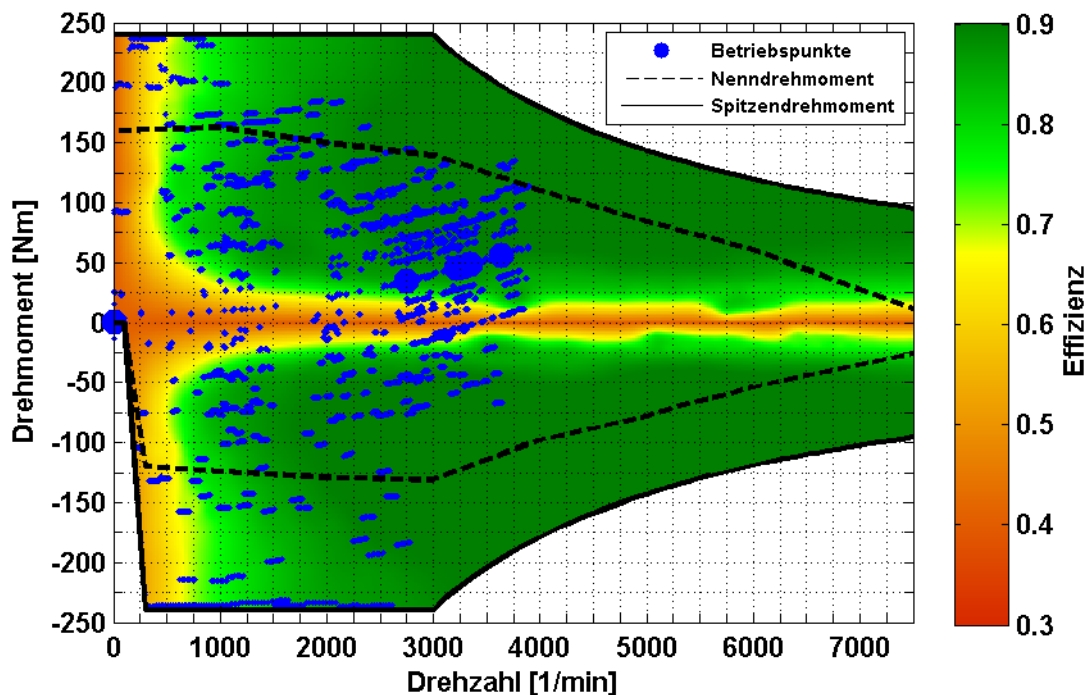


Abb. 4-77 Betriebspunkte des BEV (Getriebeübersetzung  $i=3$ ) bei simulierter Fahrt durch den CADC Autobahn Zyklus aufgetragen auf das Effizienzkennfeld der elektrischen Maschine

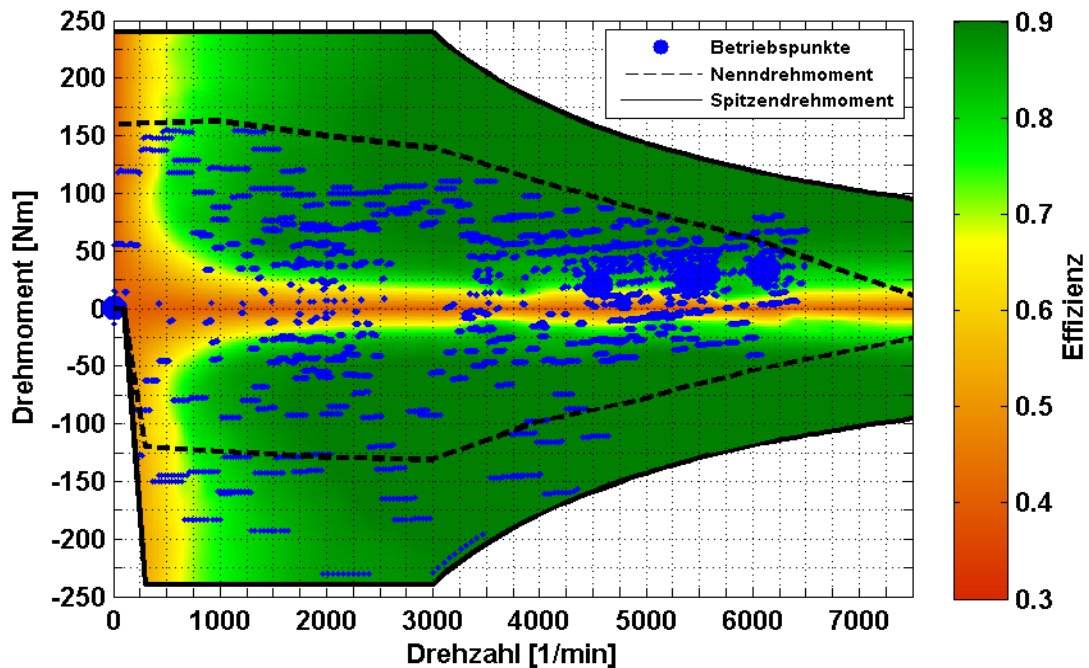


Abb. 4-78 Betriebspunkte des BEV (Getriebeübersetzung  $i = 5$ ) bei simulierter Fahrt durch den CADC-Motorway-Zyklus aufgetragen auf das Effizienzfeld der elektrischen Maschine

Ein anderes Bild zeigt sich für den CADC-Urban-Zyklus (Abb. 4-79). Bei der Basiskonfiguration mit einem Übersetzungsverhältnis von 5:1 liegen die Betriebspunkte in einem niedrigen Drehzahlbereich (links), viele also in den ineffizienten Bereichen (gelb und rot), was eine niedrige durchschnittliche Effizienz der elektrischen Maschine nach sich zieht. Zudem wird die Maschine in dieser Konfiguration häufig im Überlastbereich betrieben, zum Teil sogar mit für die entsprechende Drehzahl maximaler Leistung im Motorbetrieb (obere, durchgezogene Linie).

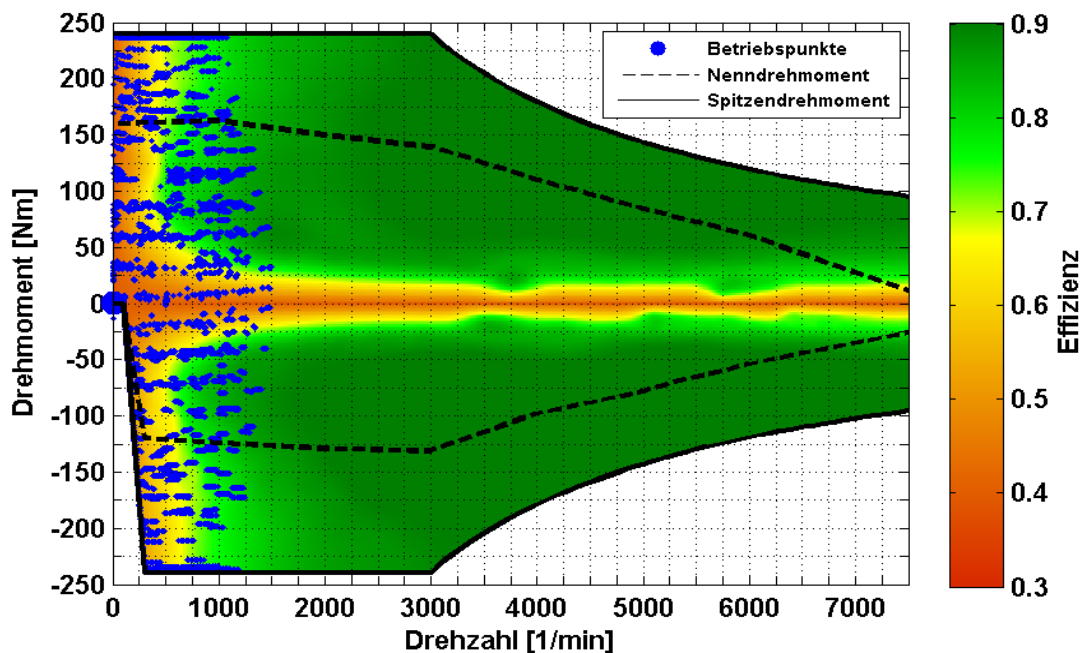


Abb. 4-79 Betriebspunkte des BEV (Getriebeübersetzung  $i = 3$ ) bei simulierter Fahrt durch den CADC-Urban-Zyklus aufgetragen auf das Effizienzfeld der elektrischen Maschine

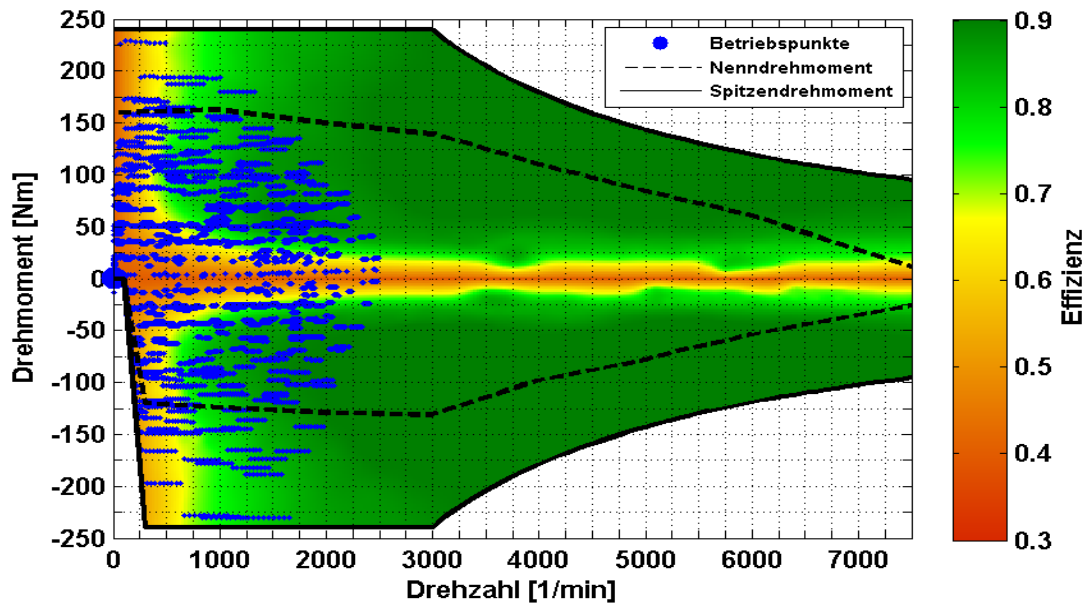


Abb. 4-80 Betriebspunkte des BEV (Getriebeübersetzung  $i = 5$ ) bei simulierter Fahrt durch den CADC-Urban-Zyklus aufgetragen auf das Effizienzfeld der elektrischen Maschine

Durch die Veränderung der Getriebeübersetzung bewegen sich die Betriebspunkte der elektrischen Maschine wieder in Richtung höherer Drehzahl und niedrigeren Moments (Abb. 4-80). Auch im CADC-Urban-Zyklus wird die Maschine mit dieser Konfiguration weniger im Überlastbereich betrieben. Im Gegensatz zum CADC-Motorway-Zyklus bewirkt der Eingriff in das Getriebe jedoch eine Effizienzsteigerung. Durch die Verschiebung zu höheren Drehzahlen befinden sich deutlich mehr Betriebspunkte in den Bereichen mit höherer Effizienz (grüne Bereiche, Abb. 4-80). Daraus folgt auch eine Reduzierung des Energieverbrauchs (Abb. 4-76). Auch kann die Fahrdynamik durch das größere Drehmoment, das bei einer größeren Übersetzung am Rad zur Verfügung steht, verbessert werden. Jedoch ist wie beschrieben die Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs niedriger.

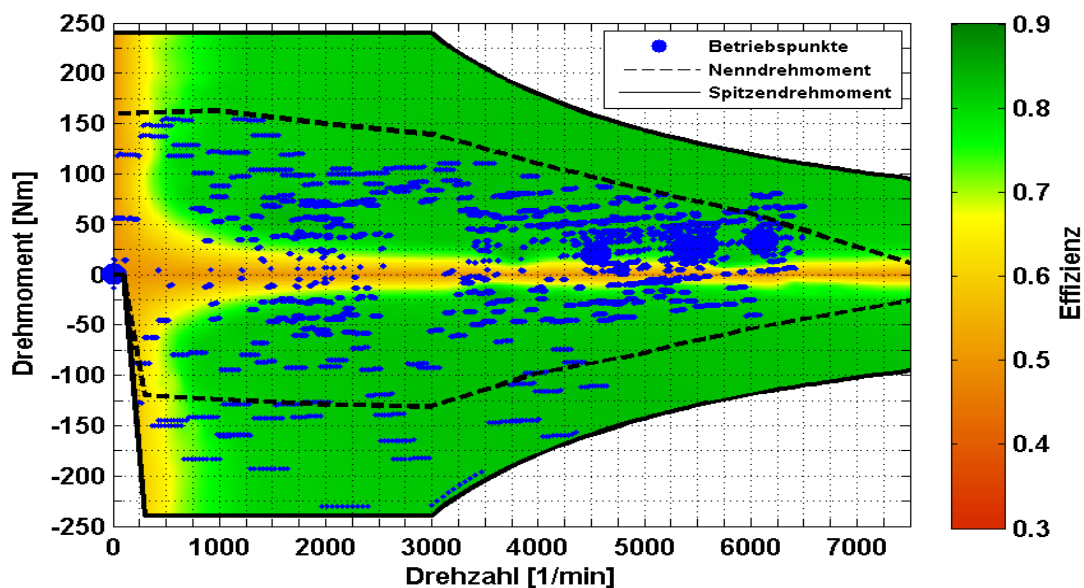


Abb. 4-81 Betriebspunkte des BEV (Getriebeübersetzung  $i = 5$ ) bei simulierter Fahrt durch den CADC-Motorway-Zyklus aufgetragen auf das modifizierte Effizienzfeld der elektrischen Maschine mit abgesenktem Spitzenwirkungsgrad

Die Auswirkungen von Maßnahmen an den elektrischen Komponenten batterie- und hybrid-elektrischer Fahrzeuge sind im folgenden Abschnitt analysiert. Ein synthetisches Effizienzkennfeld, das aus Eingriffen resultieren kann, die die Effizienz in den Nebenlastbereichen verbessern, aber den Spitzenwirkungsgrad reduzieren, zeigt beispielhaft Abb. 4-81.

Im Gegensatz dazu zeigt Abb. 4-82 beispielhaft ein Effizienzkennfeld mit angehobenem Spitzenwirkungsgrad, allerdings zulasten der Effizienz in den Nebenlastbereichen. Wie gezeigt müssen bei der Bewertung einzelner Maßnahmen verschiedenen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. In diesem Fall ist es wichtig, die Maßnahmen unter Berücksichtigung des Fahrzyklus einzuordnen. Abb. 4-83 illustriert absolute und relative Änderung des spezifischen Energieverbrauchs für die betrachteten Fahrzyklen durch die Änderung des Effizienzverhaltens der elektrischen Maschine. Hierbei wird wieder jeweils von der Basiskonfiguration mit einer Getriebeübersetzung von 1:3 ausgegangen. Bei der Steigerung der Effizienz im Nebenlastbereich und einem gleichzeitigen Reduzieren des Spitzenwirkungsgrad folgt ein höherer Energieverbrauch im CADC-Motorway- und CADC-Urban-Zyklus. Auch im Neuen Europäischen Fahrzyklus kommt es zu einer Erhöhung des spezifischen Energieverbrauchs. Lediglich im CADC-Urban-Zyklus kann eine Verringerung identifiziert werden. Die Erhöhung des Spitzenwirkungsgrads, wie im Rahmen der Untersuchungen angenommen, hat zur Folge, dass sich im CADC-Urban- und CADC-Road-Zyklus sowie im NEDC der Energieverbrauch erhöht, da die Effizienz in den Nebenlastbereichen schlechter ausgeführt ist. Da im CADC-Motorway-Zyklus ein größerer Teil der Lastpunkte im Bereich der höheren Leistungen und höheren Motordrehzahlen zu finden ist, kommt es hier zu einer leichten Verbesserung.

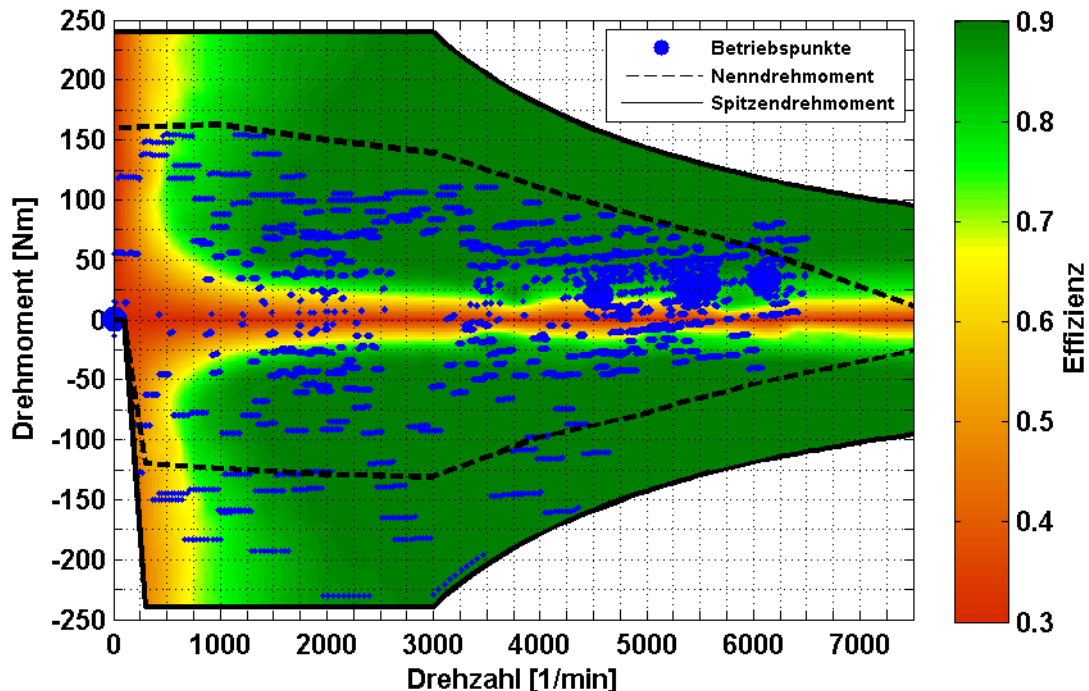


Abb. 4-82 Betriebspunkte des BEV (Getriebeübersetzung  $i = 5$ ) bei simulierter Fahrt durch den CADC-Motorway-Zyklus aufgetragen auf das modifizierte Effizienzkennfeld der elektrischen Maschine mit angehobenem Spitzenwirkungsgrad

Abb. 4-83 veranschaulicht, dass die meisten hier vorgenommenen Maßnahmen zu einer Verschlechterung der durchschnittlichen Effizienz und damit zu einer Erhöhung des Energieverbrauchs führen. Das legt die Annahme nahe, dass die Konfiguration der elektrischen An-

triebseinheit für diese Fahrzyklen schon gut ist. Insbesondere führt im NEDC sowie im CADC-Road-Zyklus ein Eingreifen zu einer Erhöhung des spezifischen Energieverbrauchs. Jedoch könnten Maßnahmen zur Verbesserung des Wirkungsgrads über den gesamten Drehzahl- und Leistungsbereich zu einer generellen Energieverbrauchssenkung führen.

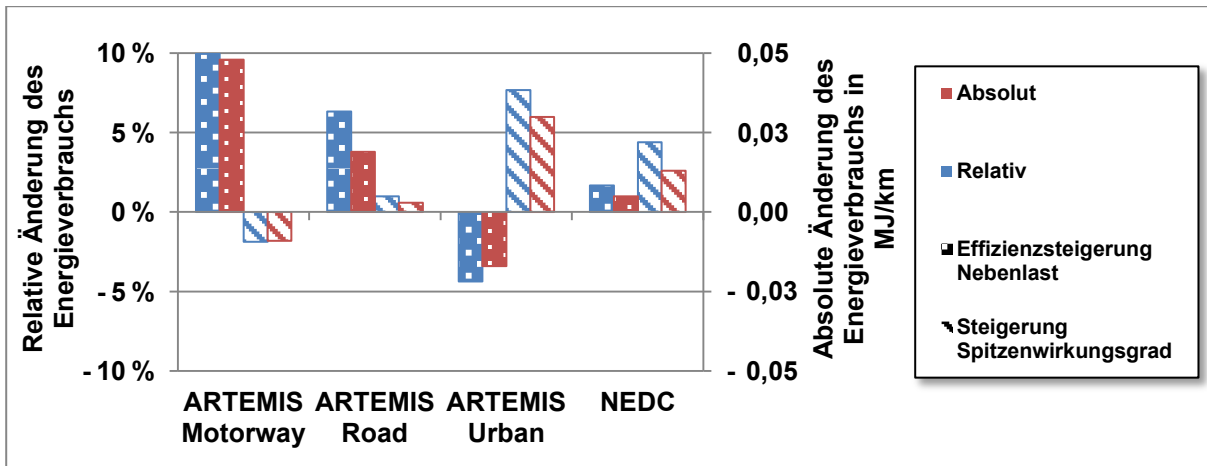


Abb. 4-83 Absolute und relative Änderung des spezifischen Energieverbrauchs beim BEV durch Eingriffe in die elektrische Maschine

Ein anderes Bild ergibt sich bei der Untersuchung des PHEV. Hier muss die elektrische Antriebseinheit nicht für die gesamte Traktion sorgen, da die Fahrzyklen, insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten, im Zusammenspiel von Verbrennungsmotor und elektrischer Maschine durchfahren werden. Zudem ist wie vorangegangen beschrieben die elektrische Maschine beim PHEV im Gegensatz zum untersuchten BEV über ein schaltbares Getriebe in den Antriebsstrang eingebunden.

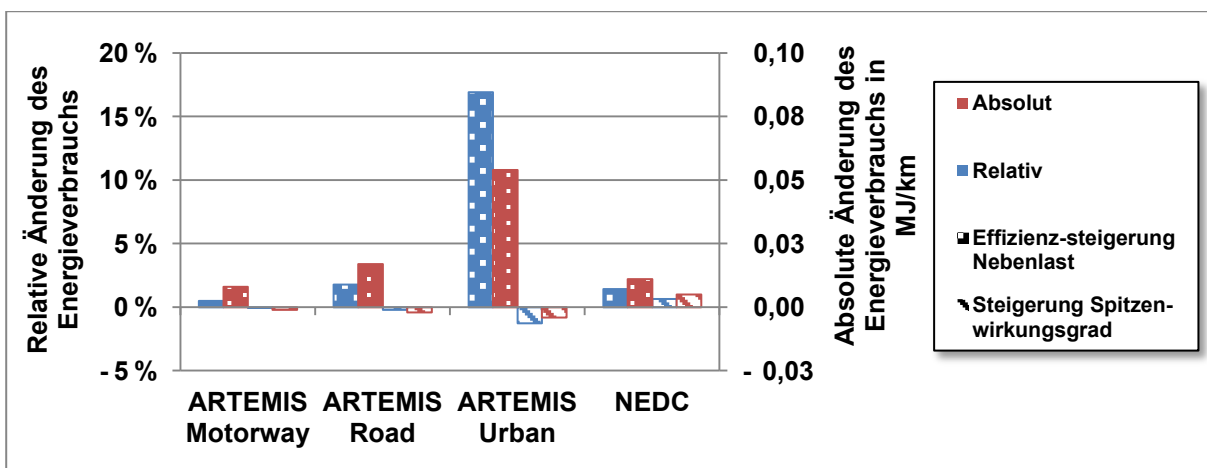


Abb. 4-84 Absolute und relative Änderung des spezifischen Energieverbrauchs beim PHEV durch Eingriffe in die elektrische Maschine

Die Auswirkungen der Eingriffe auf den spezifischen Energieverbrauch des PHEV in den Fahrzyklen betreffend zeigt sich, dass eine Steigerung der Nebenlasteffizienz zu einer Zunahme des Energieverbrauchs führt und bei Erhöhung des Spitzenwirkungsgrads der Energieverbrauch leicht gesenkt werden kann (Abb. 4-84). Zumindest trifft das für die realen Fahrzyklen zu. Bei zugrunde liegendem NEDC führen beide Maßnahmen zu einer leichten

Zunahme des spezifischen Energieverbrauchs. Besonders deutlich sind die Auswirkungen im CADC-Urban-Zyklus. Hier führt die mit einer Verschlechterung des Spitzenwirkungsgrads einhergehende Verbesserung der Nebenlasteffizienz zu einer Zunahme des spezifischen Energieverbrauchs um 17 % gegenüber der Ausgangskonfiguration. In den übrigen Zyklen ist die Änderung jeweils kleiner als 5 %.

Die Auswirkungen auf den Energieverbrauch lassen sich wiederum gut am Kennfeld und den darüber aufgetragenen Betriebspunkten erklären. Durch das schaltbare Getriebe kann die elektrische Maschine im CADC-Motorway-Zyklus in vielen Betriebspunkten in sehr effizienten Bereichen arbeiten (Abb. 4-85). Zwar gibt es auch eine Häufung der Betriebspunkte bei niedrigen Drehmomenten, jedoch ist hier auch die Leistung recht gering, wodurch diese Betriebspunkte für den Energieverbrauch nicht so schwer ins Gewicht fallen. Dadurch bewirkt eine Verbesserung des Spitzenwirkungsgrads eine Verbesserung der durchschnittlichen Effizienz, was in einem geringeren Energieverbrauch mündet. Auf der anderen Seite verursacht eine Absenkung des Spitzenwirkungsgrads trotz effizienterer Gestaltung der Nebenlastbereiche eine deutliche Verschlechterung.

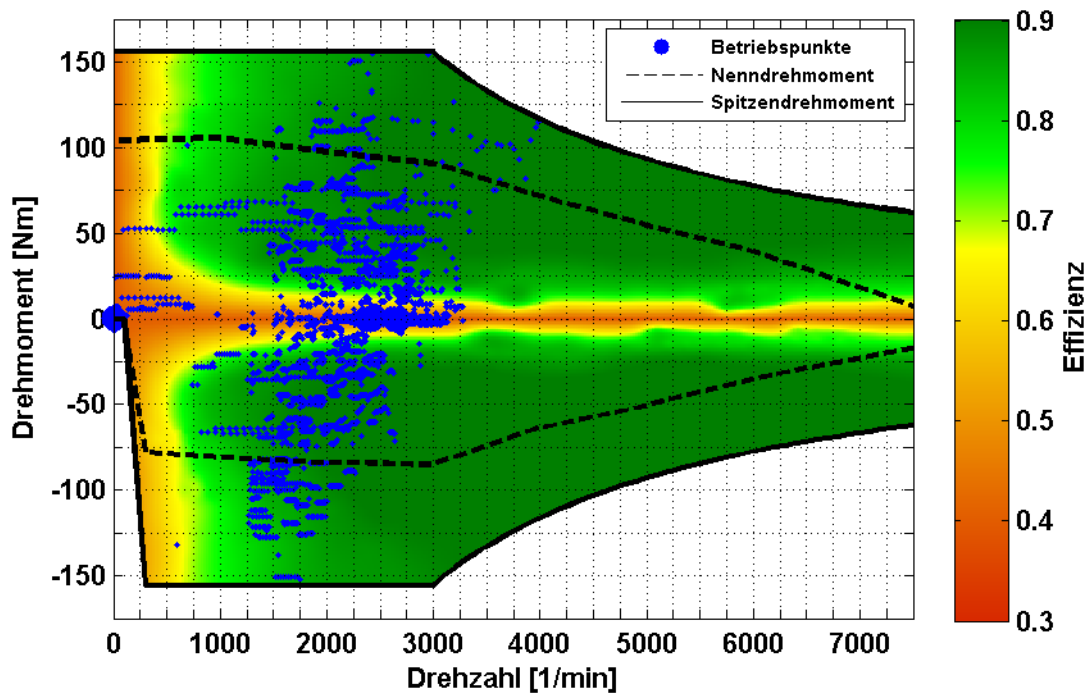


Abb. 4-85 Betriebspunkte des PHEV bei simulierter Fahrt durch den CADC-Motorway-Zyklus aufgetragen auf das Effizienzkennfeld der elektrischen Maschine

Ein anderes Bild zeigt sich bei der Auswertung der elektrischen Maschine des PHEV im CADC-Urban-Zyklus (Abb. 4-86). Da hier viel bei niedrigen Geschwindigkeiten gefahren wird, sind Betriebspunkten bei niedrigen Drehzahlen im Nebenlastbereich deutlich häufiger als im Autobahnzyklus. Der Effekt der Verbesserung der Nebenlastbereiche kann somit die Verschlechterung der Spitzenwirkungsgradeffizienz ein Stück weit ausgleichen. Jedoch gelingt das nicht vollständig. Auf der anderen Seite stellt sich in diesem speziellen Fall auch bei einer Verbesserung des Spitzenwirkungsgrads bei gleichzeitiger Verschlechterung der Nebenlastbereiche eine Zunahme des Energieverbrauchs ein, was jedoch nur für den NEDC zutrifft.

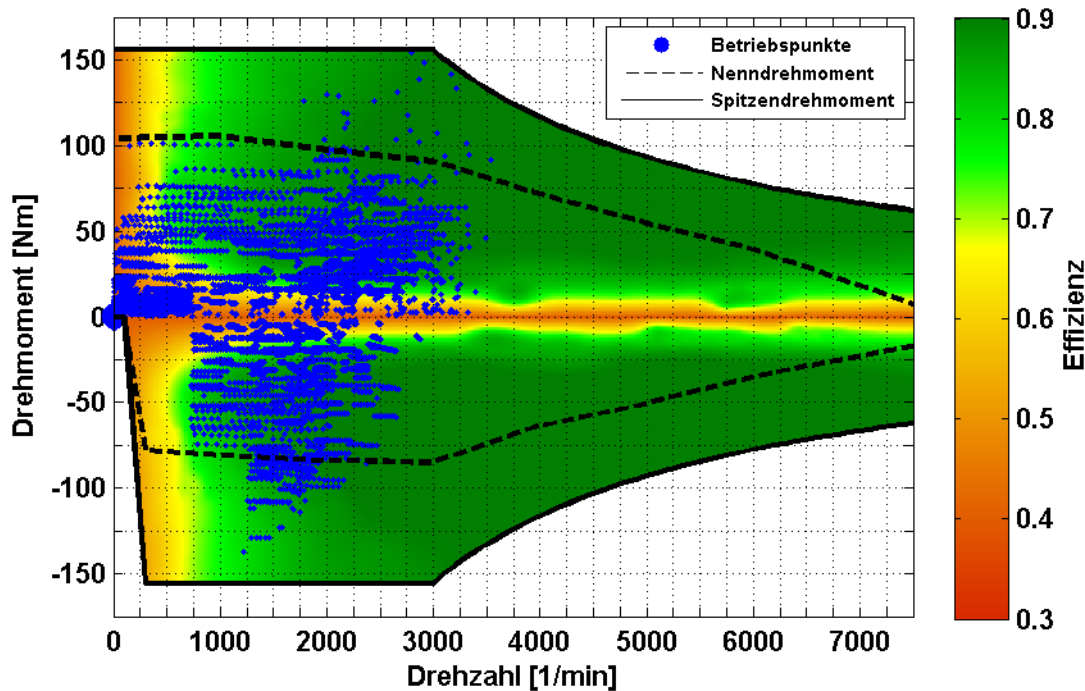


Abb. 4-86 Betriebspunkte des PHEV bei simulierter Fahrt durch den CADC-Urban-Zyklus aufgetragen auf das Effizienzfeld der elektrischen Maschine

Die Untersuchungen zeigen, dass bei Eingriffen in den Antriebsstrang eine ganzheitliche Betrachtung – sowohl des Gesamtsystems „Fahrzeug“ als auch unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen, in diesem Fall Fahrzyklen – notwendig ist, um belastbare Aussagen über die Wirkung der Technologien tätigen zu können. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn durch die Maßnahmen zwar bestimmte Bereiche des Kennfelds verbessert werden können, andere Bereiche aber in ihrer Effizienz Einbußen hinnehmen müssen.

Für die BEV legen die Ergebnisse die Schlussfolgerung nahe, dass der Einsatz schaltbarer Getriebe sinnvoll ist, da dann in unterschiedlichsten Fahrprofilen ein größerer Anteil der Betriebspunkte in den effizienten Bereichen der elektrischen Maschine gefahren werden kann, ohne die elektrische Antriebseinheit auf ein Einsatzgebiet auslegen zu müssen. Zwar sind mit dem Einsatz von Getrieben höhere Kosten und auch ein Mehrgewicht verbunden, jedoch sind die positiven Effekte nach Aussage von Experten intensiver, sodass in vielen Fällen der Einsatz von Schaltgetrieben in Betracht gezogen werden sollte (Treichow 2012).

### 4.4 Auswirkungen geänderter Rahmenbedingungen auf den deutschen Neuwagenmarkt

M. Klötzke (DLR), B. Frieske (DLR)

Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, Deutschland zum Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität zu entwickeln (BMVBS 2011). Leitmarkt bedeutet, dass Deutschland im internationalen Vergleich zu einem zentralen Markt für Elektrofahrzeuge und dazugehörige Infrastruktur werden soll. Derzeit nehmen diese Rollen insbesondere Kalifornien in den USA sowie Japan ein (siehe Abschnitt 5.3.4). Um das zu erreichen, müssen in Deutschland signifikante Stückzahlen von Elektrofahrzeugen abgesetzt werden können. Nur so wird Deutschland für die Hersteller so bedeutend, dass strategische Entscheidungen entsprechend beeinflusst werden. Zu diesem Zweck wurden steuerliche Anreize für Elektrofahrzeuge geschaffen und eine umfassende Forschungsförderung auf den Weg gebracht (BMVBS 2011). Darüber hinaus soll den Kommunen in Deutschland mit dem im September 2014 auf den Weg gebrachten Elektromobilitätsgesetz die Möglichkeit gegeben werden, Elektrofahrzeugen Privilegien im Straßenverkehr, wie Nutzung von Busspuren oder gebührenfreies Parken, einzuräumen (BMVI 2014a).

Seit 2008 können steigende Zulassungszahlen elektrifizierter Fahrzeuge in Deutschland beobachtet werden (vgl. Abschnitt 5.2.1). Einige Studien bemerken jedoch, dass das Niveau aktueller Verkaufszahlen und absoluter Zuwächse nicht ausreichen wird, um das Ziel, bis 2020 eine Millionen Elektrofahrzeuge im deutschen Fahrzeugbestand aufweisen zu können, zu erreichen (DLR 2013, Fraunhofer ISI 2013) und kommen zu dem Ergebnis, dass vielmehr monetäre Kaufanreize nötig wären. Bisher wurden alle Vorschläge, den Kauf von Elektrofahrzeugen im großen Stil finanziell zu bezuschussen, von der Bundesregierung abgelehnt (Bundesregierung 2014, BMVI 2014).

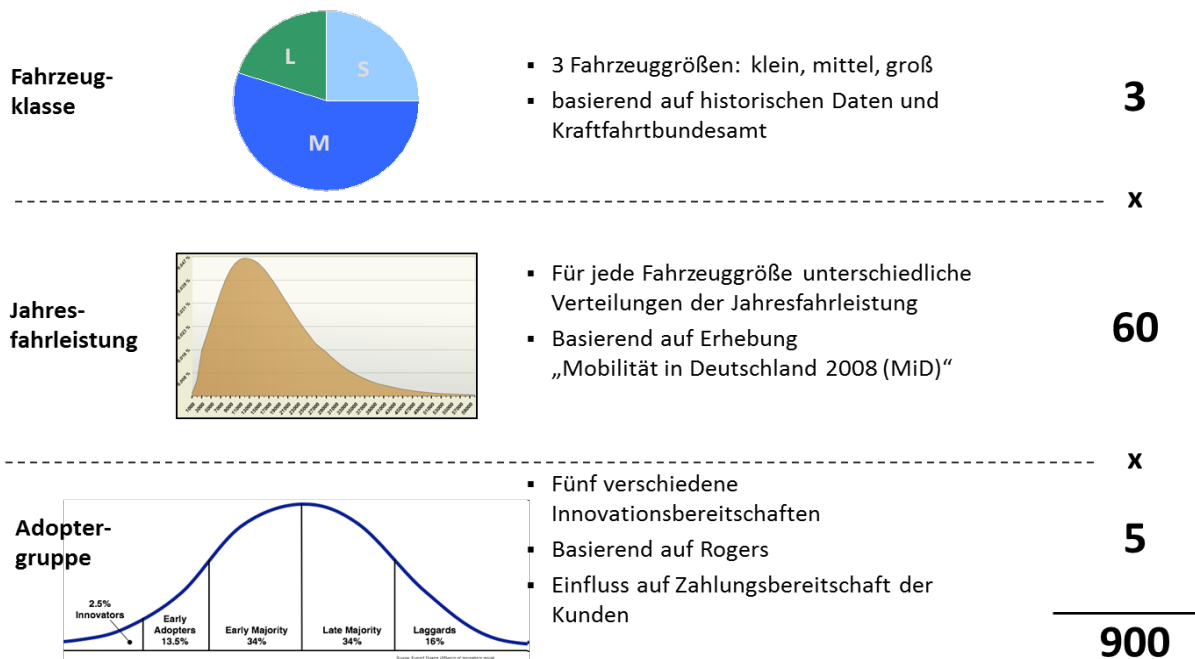


Abb. 4-87 Schematische Darstellung der Kundenmodellierung in Vector21



Vielmehr soll durch eine technologieorientierte Forschungsförderung erreicht werden, dass die Kosten für Elektrofahrzeuge, insbesondere für die Schlüsselkomponenten, sinken. Darüber hinaus sollen Elektrofahrzeuge für Kunden über eine Steigerung der Fahrzeugeffizienz attraktiver werden. Neben anderen sind dies die übergeordneten Ziele der Forschungsförderung hinsichtlich der Etablierung Deutschlands als Leitmarkt. Jedoch stellt sich die Frage, in welchem Umfang und Zeitraum die Kosten für Elektrofahrzeuge sinken können, insbesondere aber welche Auswirkungen das auf das Kaufverhalten der Kunden und damit die Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen haben wird. In den nachfolgenden Analysen sollen deshalb die Auswirkungen diverser Einflussfaktoren auf den deutschen Neuwagenmarkt eingeordnet werden.

Um entsprechende Einschätzungen zu liefern, werden mithilfe eines Fahrzeugszenariomodells verschiedene Szenarien untersucht. Dabei wird auf das etablierte, am DLR entwickelte und in zahlreichen Untersuchungen und Studien zum Einsatz gekommene Modell Vector21 zurückgegriffen (Mock 2010, Propfe et al. 2013, DLR 2013). Dieses Modell ermöglicht eine Simulation des Kaufverhaltens von Neuwagenkunden unter Berücksichtigung komplexer Rahmenbedingungen. Einerseits werden im Rahmen der Simulation Kundenprofile mit unterschiedlichen Eigenschaften, z. B. in der Jahresfahrleistung und Fahrzeuggröße (siehe Abb. 4-88) und besonderen Anforderungen an das Fahrzeug generiert. Sie unterscheiden sich in der Bereitschaft, für umweltfreundliche Fahrzeuge höhere Kosten in Kauf zu nehmen. Unter Kosten versteht man hierbei die Gesamtbesitzkosten, neben den Anschaffungskosten werden also auch Betriebskosten einbezogen (TCO, Total Costs of Ownership).

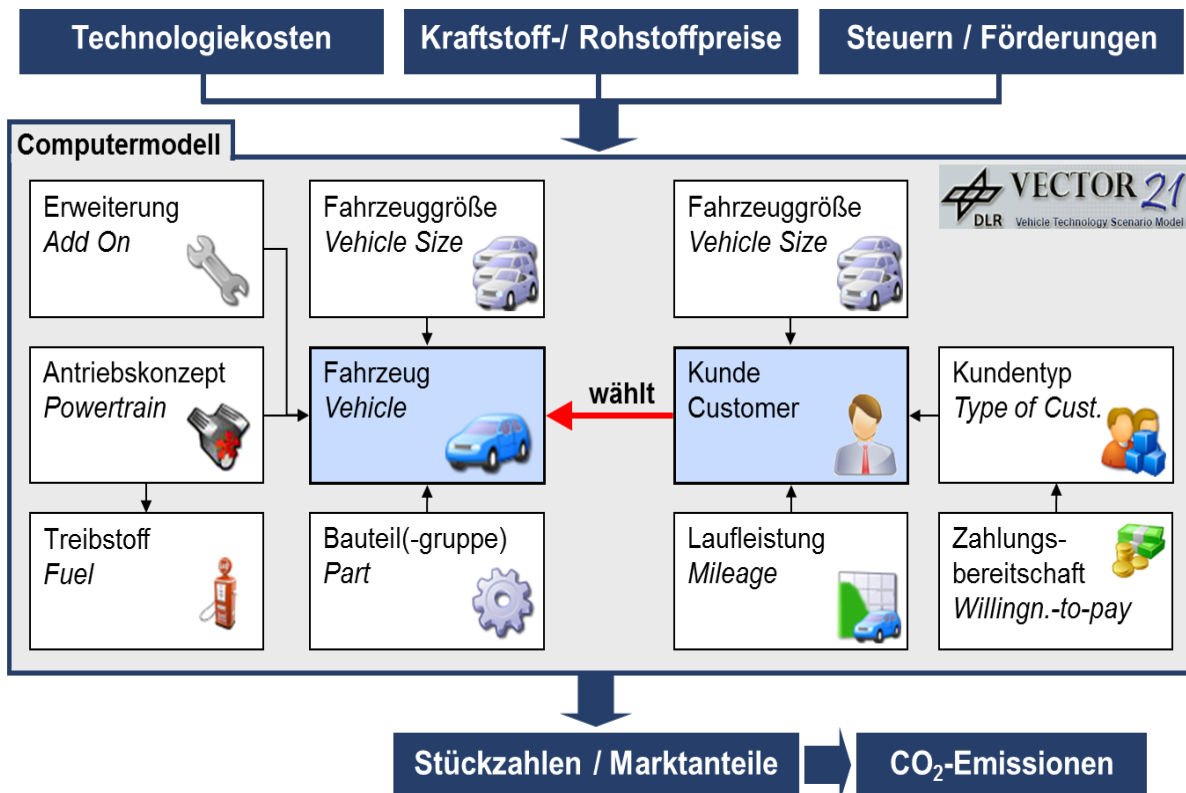


Abb. 4-88 Schematischer Aufbau des Kaufprozesses in Vector21

Quelle: DLR

Auf der anderen Seite werden in dem Modell Fahrzeuge mit unterschiedlichen Antriebskonzepten und Treibstoffarten generiert und den Kunden angeboten (Abb. 4-88), wobei technologische und kostenseitige Entwicklungen der Fahrzeuge, genauer der Fahrzeugkomponenten, Berücksichtigung finden. Die Kaufentscheidung wird in einem modellierten Umfeld simuliert, wobei zu den Rahmenbedingungen zum Beispiel die Art der Kraftfahrzeugbesteuerung, die Entwicklung der Energiekosten oder der Ausbau der Lade- und Betankungsinfrastruktur zu zählen sind. Dem Kunden wird unterstellt, dass er das Fahrzeug kauft, das seine Anforderungen an ein Fahrzeug sowie die notwendige Infrastruktur erfüllt und die für ihn hinsichtlich der Gesamtkosten günstigste Variante darstellt. Wenn der Kunde bereit ist, einen Aufschlag bei den Gesamtkosten zu akzeptieren, wenn er ein umweltfreundliches Fahrzeug bekommen kann, entscheidet er sich für das umweltfreundlichste Fahrzeug, das im Rahmen seiner Zahlungsbereitschaft liegt (Abb. 4-89).

Die Fahrzeuge unterscheiden sich nach Größe bzw. Fahrzeugsegment sowie Antriebsstrangkzept, d. h., ihnen werden spezifische Energieverbräuche sowie Kosten der verbauten Komponenten zugewiesen. Bei der zukünftigen Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs (Abb. 4-90) findet das Potenzial zur Verbesserung und Weiterentwicklung von Fahrzeugtechnologien Anwendung, wie z. B. Leichtbautechnologien oder auch Downsizing. Für die Ermittlung der Fahrzeugkosten können Kostenverläufe herangezogen werden. Für die Szenarien werden darüber hinaus Annahmen zur Entwicklung der Energieträgerpreise und der politischen Rahmenbedingungen getroffen, die in allen Szenarien identisch sind. Auch für diese Angaben wird eine zeitliche Entwicklung unterstellt. Bezüglich der politischen Rahmenbedingungen wird davon ausgegangen, dass es, wie es aktuelle Gesetzgebung regelt, neben der Befreiung von E-Fahrzeugen von der Kraftfahrzeugsteuer in Deutschland keine monetären Kaufanreize geben wird.

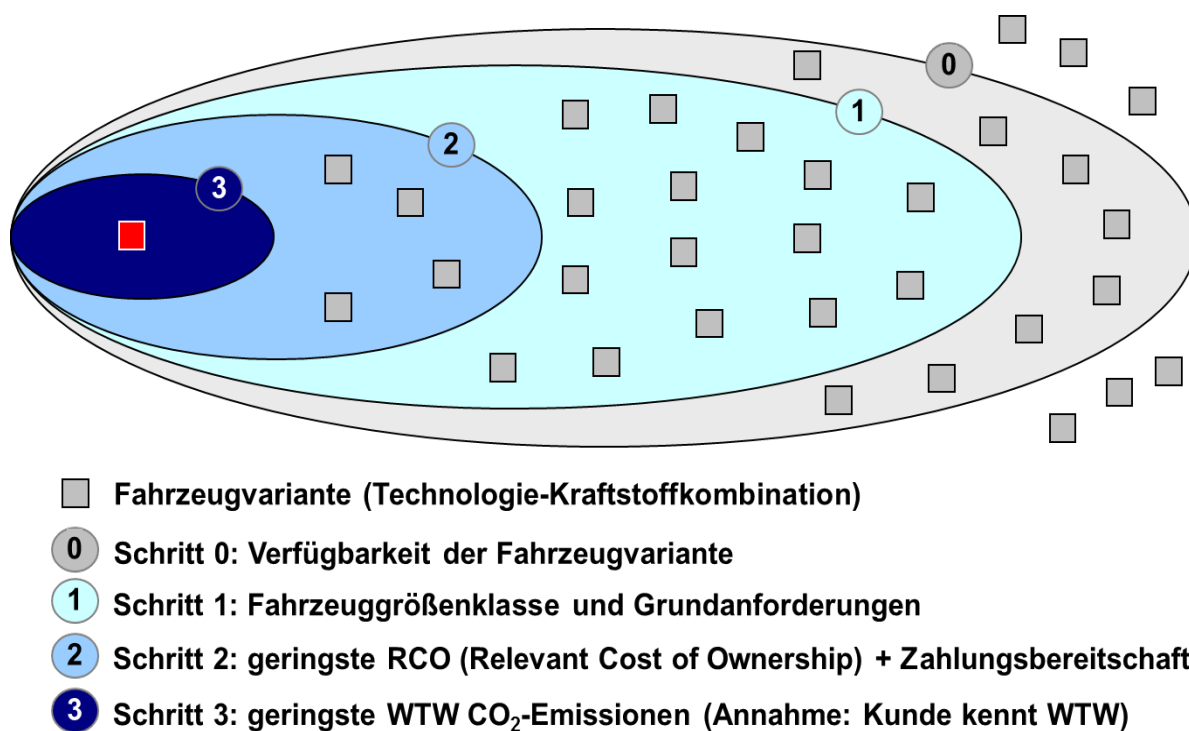


Abb. 4-89 Stufen der Kaufentscheidung des Kundenmodells von Vector21

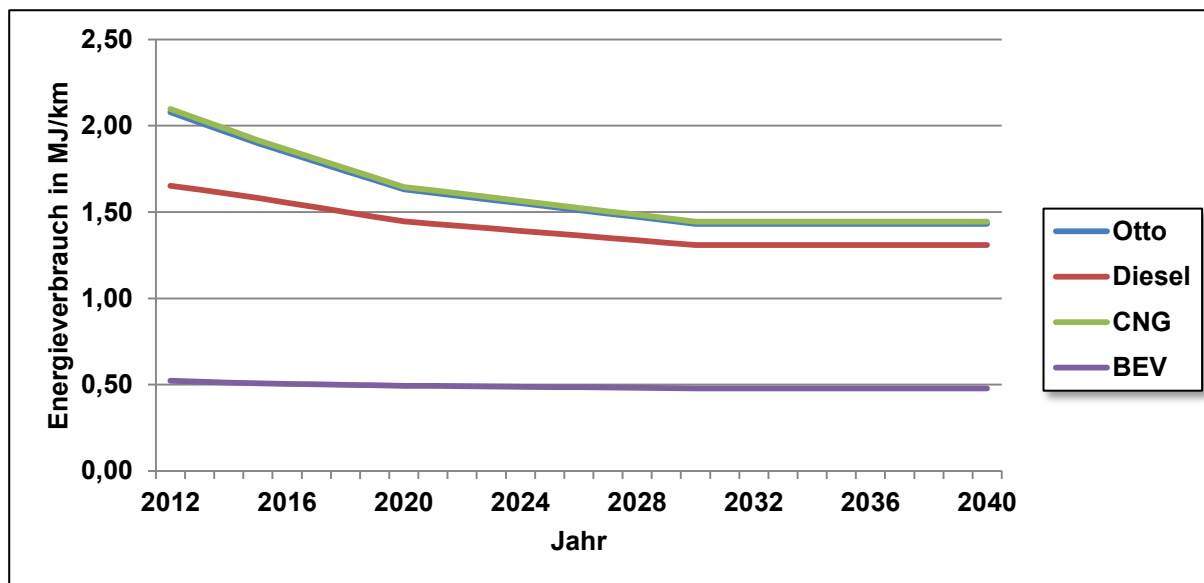


Abb. 4-90 Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs (nach Regelung 101 UN/ECE)

Der CO<sub>2</sub>-Grenzwert liegt 2015 bei 130 g/km und 2020 bei 95 g/km. Diese Entwicklung wird fortgeschrieben, wodurch für 2030 Grenzwerte von 70 g/km und 2040 45 g/km erreicht werden. Die unterstellte Entwicklung der Energiepreise verdeutlicht **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Bei der Entwicklung des Rohölpreises wird das „New Policies Scenario“ der Internationalen Energieagentur (IEA) aus dem World Energy Outlook 2012 (IEA 2012) zugrunde gelegt. Die Entwicklung des Erdgaspreises wird an den Rohölpreis gekoppelt.

Otto- und Diesel-Hybridfahrzeuge werden im Neuwagenmarkt bis 2020 deutlich zunehmen, Diesel-Hybridfahrzeuge, wie der Anteil an Dieselfahrzeugen generell ab 2024 aber wieder zurückgehen. Dieselhybridfahrzeuge mit Plug-in können sich in diesem Szenario am Markt nicht signifikant durchsetzen. Zwar bekommen sie, insbesondere ab dem Jahr 2020 einen sichtbaren Anteil bei den Neufahrzeugen, können diesen aber nicht über das Jahr 2025 hinaus halten. Fahrzeuge mit Erdgasantrieb machen zwar einen konstanten, aber kleinen Anteil aus, der erst ab 2027 merklich gesteigert werden kann, wenngleich insbesondere Hybridvarianten Zuwächse verzeichnen können. Erdgasfahrzeuge ersetzen dabei die immer weiter aus dem Markt verschwindenden Dieselfahrzeuge.

Energieträger	Einheit	2012	2020	2030	2040
Rohöl	USD <sub>2011</sub> /bbl	108	120	124	126
Erdgas	EUR <sub>2010</sub> /kg	1,01	1,20	1,22	1,25
Elektrizität (Hausstrom)	EUR <sub>2010</sub> /kWh	0,20	0,284	0,324	0,33
Wasserstoff	EUR <sub>2010</sub> /kg	16,60	6,60	5,00	5,00

Tab. 4-19 Entwicklung der Preise für Energieträger

Quelle: (DLR et al. 2012, IEA 2012, McKinsey 2010)

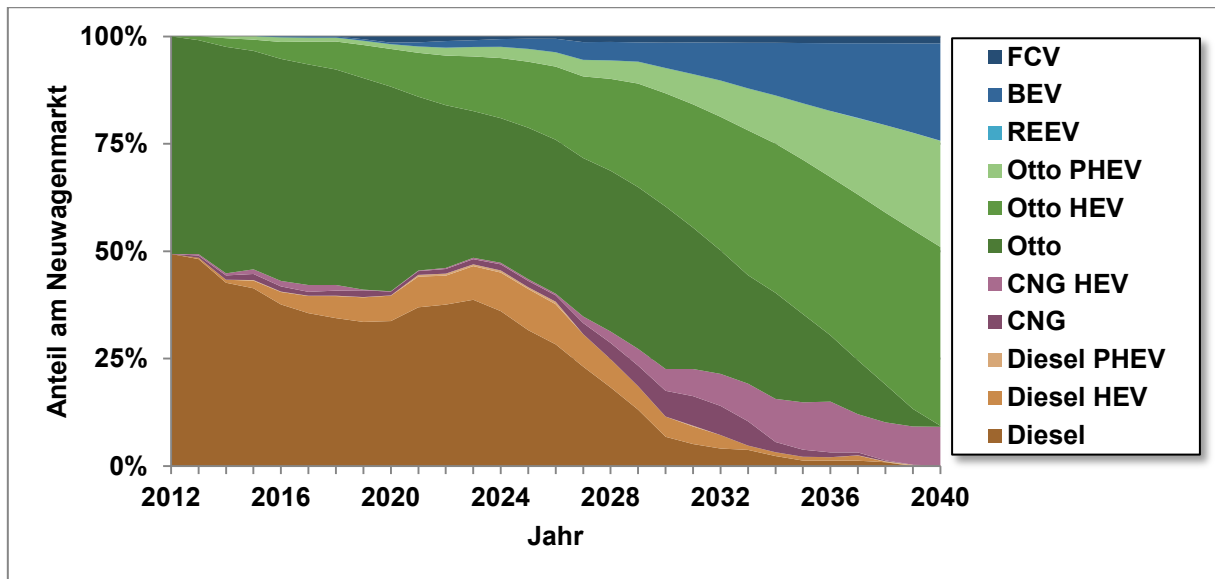


Abb. 4-91 Neuwagenmarkt Basisszenario

Durch die unterstellte Effizienzsteigerung von Ottofahrzeugen, demzufolge sich der Energieverbrauch von Otto- und Dieselfahrzeugen stetig angleicht, wird ein Großteil der Dieselfahrzeuge durch Ottofahrzeuge ersetzt. Insbesondere Otto-Hybridfahrzeuge sind hier gegenüber Dieselfahrzeugen bei der Betrachtung der relevanten Kosten über die Haltedauer (RCO, *relevant costs of ownership*) gut aufgestellt. Allerdings bekommen Ottofahrzeuge durch die anziehenden CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte Probleme, wodurch der Anteil von Dieselfahrzeugen ab 2020 noch einmal steigen kann.

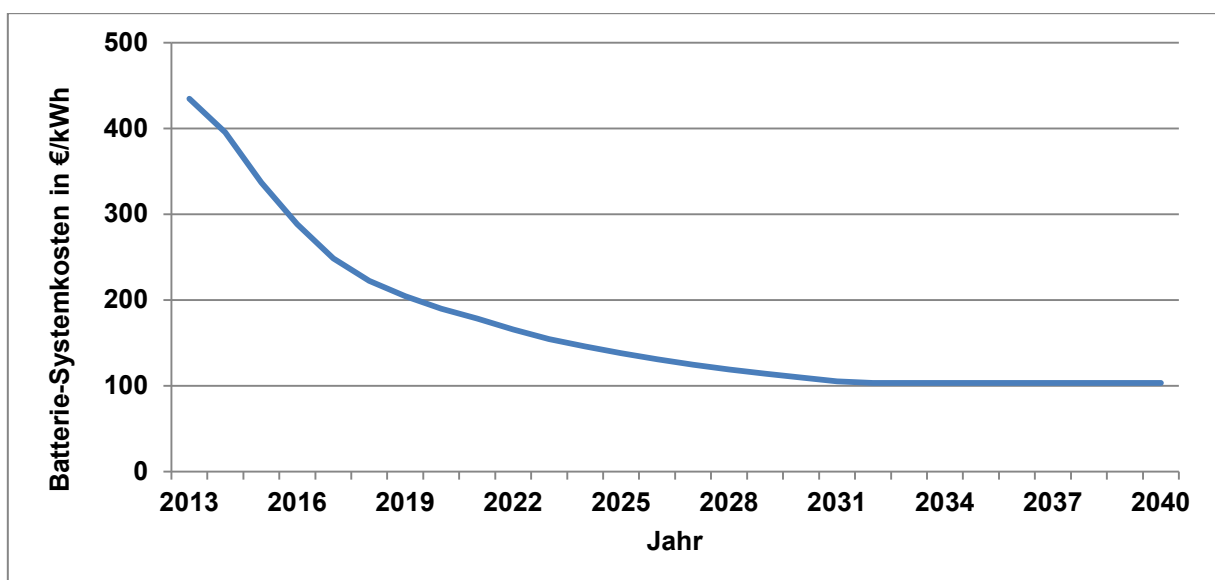


Abb. 4-92 Von Vector21 berechnete Entwicklung der Batterie-Zellkosten im Basisszenario

Ab 2023 können elektrifizierte Ottofahrzeuge diesen Nachteil aber wettmachen. Insbesondere werden dann die Fahrzeuge mit Plug-in signifikant zunehmen. Während sich der Anteil an Otto-PHEV bis 2020 auf einem niedrigen konstanten Niveau hält, können diese, auch beeinflusst durch die positive Entwicklung der Komponentenpreise, zunehmend mehr Kunden finden, die sich für diese Antriebsstrangvariante entscheiden. Gleiches gilt auch für batterie-

elektrische Fahrzeuge, deren Anteil am Neuwagenmarkt bis 2020 sehr gering ist. Dies ist insbesondere durch die hohen Zusatzkosten zu erklären. Ab dem Jahr 2020 beginnt ihr Anteil jedoch merklich zu wachsen und wird sich ab 2030 noch einmal deutlich steigern. Die Preisentwicklung der Batteriezellen für die automobile Anwendung, wie sie modellintern auf Basis von Lernkurven berechnet wird, veranschaulicht Abb. 4-92 übereinstimmend mit der Literatur (Bernhardt 2014). Fahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb können ab 2020 einen konstanten Anteil von ungefähr 1–2 % am Neuwagenmarkt verzeichnen. Allerdings unterstellen die Szenarien einen Ausbau der Infrastruktur in dem Maße, dass eine flächendeckende Nutzung von Brennstoffzellenfahrzeugen gewährleistet werden kann.

Die Entwicklung am Neuwagenmarkt wirkt sich auf die Zusammensetzung des Fahrzeugbestands in Deutschland aus (Abb. 4-93). Die Entwicklung ist aufgrund der Überlebenskurven von Bestandfahrzeugen jedoch deutlich verzögert und im Fahrzeugbestand macht sich die Elektrifizierung erst später bemerkbar. Bis 2020 lassen sich in diesem Szenario zwar ungefähr zwei Millionen Fahrzeuge mit elektrifiziertem Antriebsstrang finden, allerdings verfügen lediglich gut 200 000 Fahrzeuge über die Möglichkeit, die Batterie an einem externen Stromnetz aufzuladen. Ziel der Bundesregierung ist jedoch, die Anzahl solcher Fahrzeuge bis 2020 auf eine Million zu steigern. Durch den starken Zuwachs im Neuwagenmarkt nach 2020 wird dieses Ziel zwar erreicht, aber erst 2026. Zu diesem Zeitpunkt befinden sich dann schon knapp sieben Millionen elektrifizierte Fahrzeuge im deutschen Pkw-Bestand. Bis 2030 nimmt deren Bedeutung weiterhin zu, sodass dann schon über zehn Millionen dieser Fahrzeuge vorhanden sind, von denen fast zwei Millionen als Plug-in-Fahrzeug einzustufen sind.

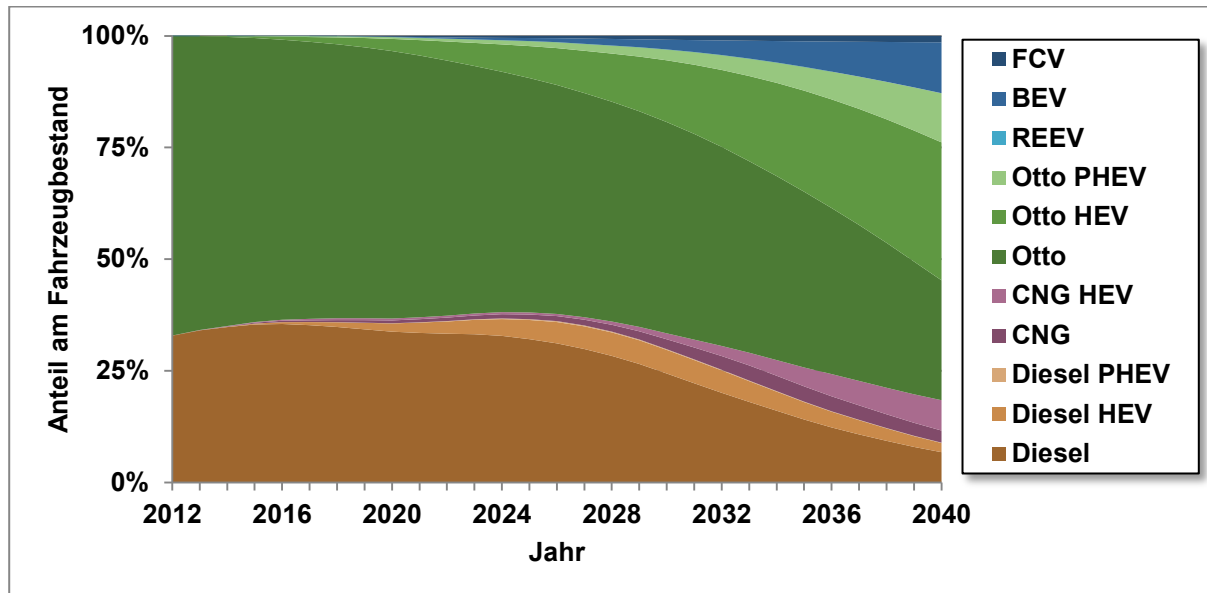


Abb. 4-93 Entwicklung des Fahrzeugbestands im Basisszenario

Um die Anzahl elektrifizierter Fahrzeuge, insbesondere von Plug-in-Fahrzeugen, zu steigern, werden in verschiedenen Weltregionen z. B. monetäre Kaufanreize gesetzt, wobei Kunden entweder direkte Zuschüsse beim Kauf von Elektrofahrzeugen bekommen oder ihnen über Steuernachlässe finanzielle Vorteile gewährt werden (Abschnitt 5.3.1). Dieses Instrument wird von der Bundesregierung derzeit jedoch nicht angewandt und es ist auch nicht geplant, derartige Subventionen in absehbarer Zeit auf den Weg zu bringen. Aus diesem Grund wer-

den solche Maßnahmen in den Szenarien nicht, sondern vielmehr Faktoren untersucht, die durch eine Unterstützung der Industrie beeinflusst werden könnten.

Im Folgenden werden drei alternative Szenarien betrachtet, die sich in einzelnen Annahmen vom Basisszenario unterscheiden:

1. Alternativszenario: Weltweit erfährt die Elektromobilität ein erhöhtes Wachstum, wodurch die Komponentenkosten schneller sinken und höhere Produktionskapazitäten für Elektrofahrzeuge zur Verfügung stehen.
2. Alternativszenario: Weltweit wächst die Elektromobilität langsamer, als im Basisszenario unterstellt, wodurch geringer Produktionskapazitäten zur Verfügung stehen und die Kosten für Komponenten langsamer sinken.
3. Alternativszenario: Gegenüber den Annahmen zur technologischen Entwicklung der Fahrzeuge im Basisszenario wird eine verdoppelte Effizienzsteigerung der elektrischen Komponenten des Antriebsstrangs unterstellt.

Durch ein weltweites Wachstum der Elektromobilität könnten sich jedoch positive Effekte mit Auswirkungen auch in Deutschland einstellen. So könnten sich die Preise für Batteriezellen schneller positiv entwickeln und auch die Zahl der zur Verfügung stehenden Elektrofahrzeuge aufgrund schneller wachsender Produktionskapazitäten steigen. Um diese Auswirkungen zu beleuchten, wurden zwei Alternativszenarien entwickelt, in denen die eben beschriebenen Entwicklungen unterstellt werden. So steigt die weltweite Anzahl von Elektrofahrzeugen um weitere 25 % gegenüber der Entwicklung im Basisszenario.

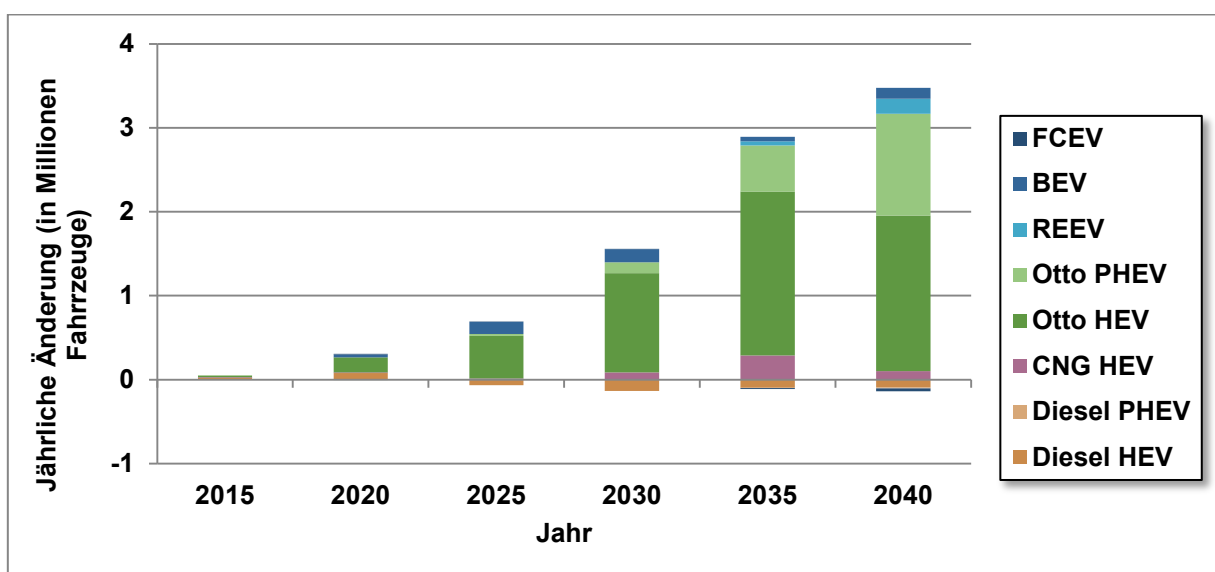


Abb. 4-94 Änderung der Anzahl der jeweiligen Antriebsstrangvarianten im Fahrzeugbestand für das 1. Alternativszenario gegenüber dem Basisszenario

Bis 2020 kann der Anteil elektrifizierter Fahrzeuge in der Flotte um ca. 13 % gegenüber dem Basisszenario gesteigert werden (Abb. 4-94). Der Anteil der Plug-in-Fahrzeuge steigt dabei ebenfalls um 13 %. Somit befinden sich in einem Szenario mit einem beschleunigten weltweiten Elektromobilitätswachstum im Jahr 2020 knapp 2,7 Millionen Elektrofahrzeuge in der Flotte. Jedoch steigt die Zahl der Fahrzeuge mit Plug-in-Option, die damit zum Ziel von einer Million Elektrofahrzeuge bis 2020 beitragen, auf gerade einmal rund 330 000. Diese positive Entwicklung setzt sich im Anschluss fort, sodass bis 2030 schon 2,5 Millionen Pkw mit Stecker im Fahrzeugbestand zu finden sind und über 12 Millionen Fahrzeuge einen elektrifizierten Antriebsstrang aufweisen, was in diesem Fall ungefähr einem Viertel des Gesamtbestands entsprechen würde. Bis 2040 kann man bei dieser Entwicklung bei drei Viertel der Fahrzeuge im Pkw-Bestand elektrifizierte Antriebstränge finden, von denen ungefähr ein Drittel einen Stecker zum Aufladen der Batterie besitzt.

Diese Entwicklung vollzieht sich gemeinsam mit einer Änderung der Batteriesystemkosten gegenüber dem Basisszenario. Diese reduzieren sich schneller als im Basisszenario, liegen für das Jahr 2015 schon bei rund 320 €/kWh und sinken bis 2020 weiter ab auf 170 €/kWh (Abb. 4-95). Im Folgenden nähern sich die Preise wie im 1. Alternativszenario berechneten denen des Basisszenarios sukzessive an, erreichen jedoch etwas früher als im Basisszenario schon 2030 ihre Minimalkosten.

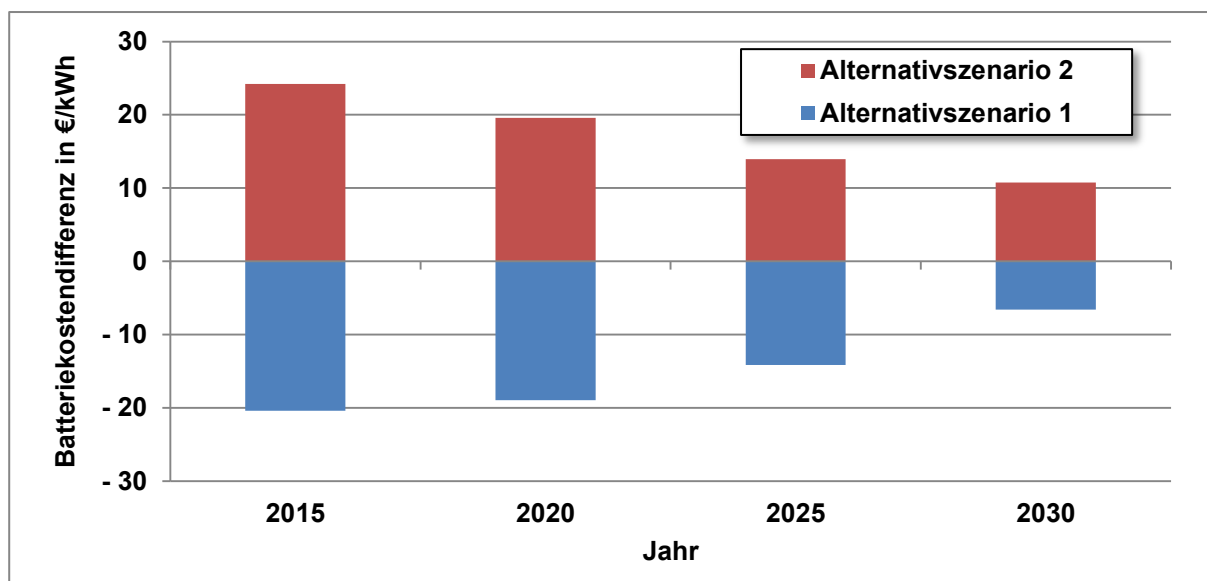


Abb. 4-95 Differenz bei den Batteriekosten in den Alternativszenarien gegenüber dem Basisszenario

Eine langsamere Entwicklung der weltweiten Elektromobilität kann insofern auch negative Konsequenzen für die Anzahl der Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen haben, als dies Auswirkungen auf die Entwicklung der Technologiekosten sowie die Produktionskapazitäten hätte. Dies wurde im zweiten Alternativszenario untersucht. Beispielhaft für die Technologiekosten ist in Abb. 4-95 die Differenz der Batteriekosten abgebildet, wie sie ein um 20 % langsames globales Elektromobilitätswachstum im Vergleich zur im Basisszenario unterstellten Entwicklung mit sich bringen würde. Durch die reduzierten Skaleneffekte müssen insbesondere in den ersten Jahren höhere Kosten für die Batteriesysteme getragen werden. So werden 2015 noch 360 €/kWh und 2020 noch 210 €/kWh fällig. Das hat zur Folge, dass die Verkaufszahlen von Elektrofahrzeugen merklich zurückgehen (Abb. 4-96). 2020 werden in die-

sem Szenario gegenüber dem Basisszenario 60 000 weniger Elektrofahrzeuge verkauft, 2030 schon fast 210 000 weniger. Zu diesem Zeitpunkt sind vordergründig Hybridfahrzeuge ohne Stecker von dem Rückgang betroffen. Plug-in-Fahrzeuge bekommen diese Entwicklung insbesondere in der Zeit nach 2035 zu spüren, wenn deren Verkauf im Basisszenario deutlich an Dynamik gewinnt, was sich in einem Szenario mit einem reduzierten globalen Wachstum deutlich geringer darstellt. Die Zunahme reichweitenverlängerter Elektrofahrzeuge ist auf fehlende Produktionskapazitäten bei batterieelektrischen Fahrzeugen zurückzuführen, wodurch sich vereinzelt Kunden für diese Fahrzeugvariante entscheiden.

Der Rückgang am Neuwagenmarkt macht sich auch im Fahrzeugbestand deutlich bemerkbar (Abb. 4-97). Insbesondere Hybridfahrzeuge ohne externe Lademöglichkeit durchdringen den Fahrzeugbestand merklich langsamer. Im Jahr 2020 finden sich somit über 360 000 Fahrzeuge weniger mit elektrifiziertem Antriebsstrang in der Fahrzeugflotte als im Basisszenario, was einer Differenz von 16 % entspricht. Bei den Plug-in-Fahrzeugen sind es knapp 35 000 Fahrzeuge oder 12 % weniger. Somit weist der Fahrzeugbestand zu diesem Zeitpunkt knapp unter 2 Millionen elektrifizierte Fahrzeuge auf, wobei es sich bei rund 260 000 Fahrzeugen um PEV handelt. Wie auch bei einem beschleunigten globalen Wachstum bekommen insbesondere die Hybridvarianten ohne Stecker in den ersten Jahren die Auswirkungen zu spüren. Doch auch Plug-in-Hybride erfahren einen nachhaltigen Rückgang bei der Marktdurchdringung.

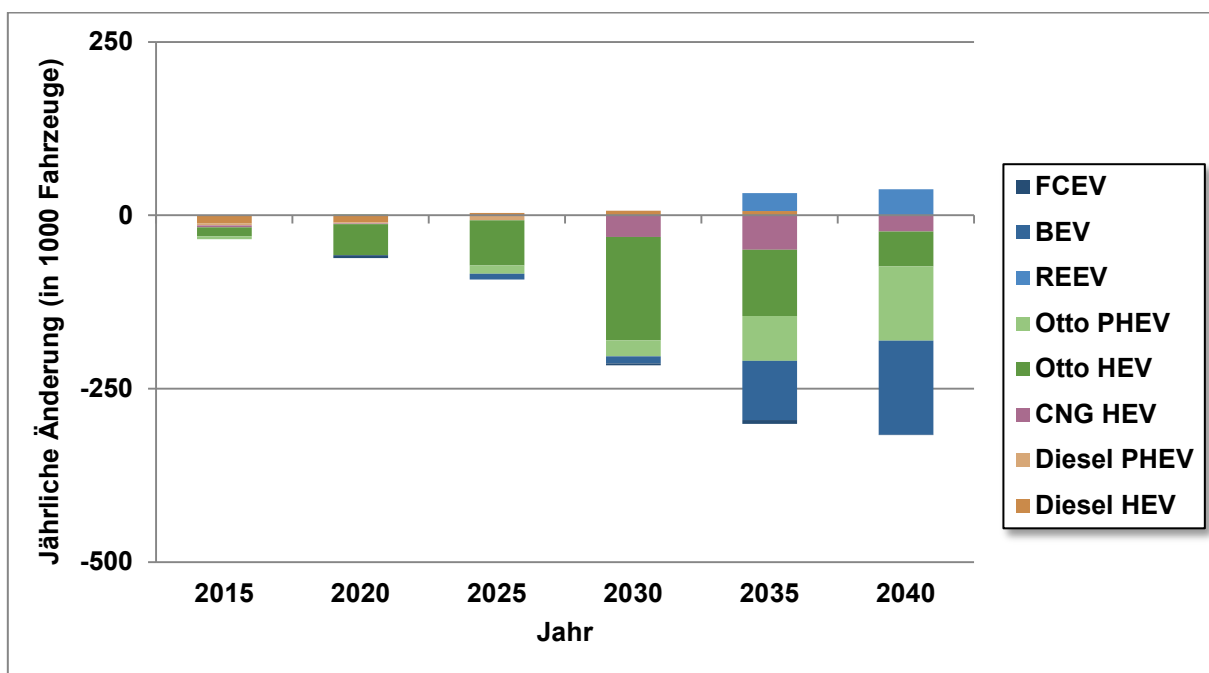


Abb. 4-96 Änderung der Anzahl der jeweiligen Antriebsstrangvarianten im Neuwagenmarkt für das 2. Alternativszenario gegenüber dem Basisszenario

Batterieelektrische Fahrzeuge haben zwar zu Beginn der Entwicklung bis 2030 merkliche Rückgänge zu verzeichnen, können diese aber, auch durch das Fernbleiben der Plug-in-Hybride und den damit verbundenen langsameren Aufbau von Produktionskapazitäten, nach 2030 wieder ausgleichen. Zudem können auch in diesem Fall die reichweitenverlängerten Fahrzeuge von der Entwicklung profitieren. Ihr Anteil sowohl am Neuwagenmarkt als auch im Fahrzeugbestand bleibt mit unter 1 % allerdings gering.



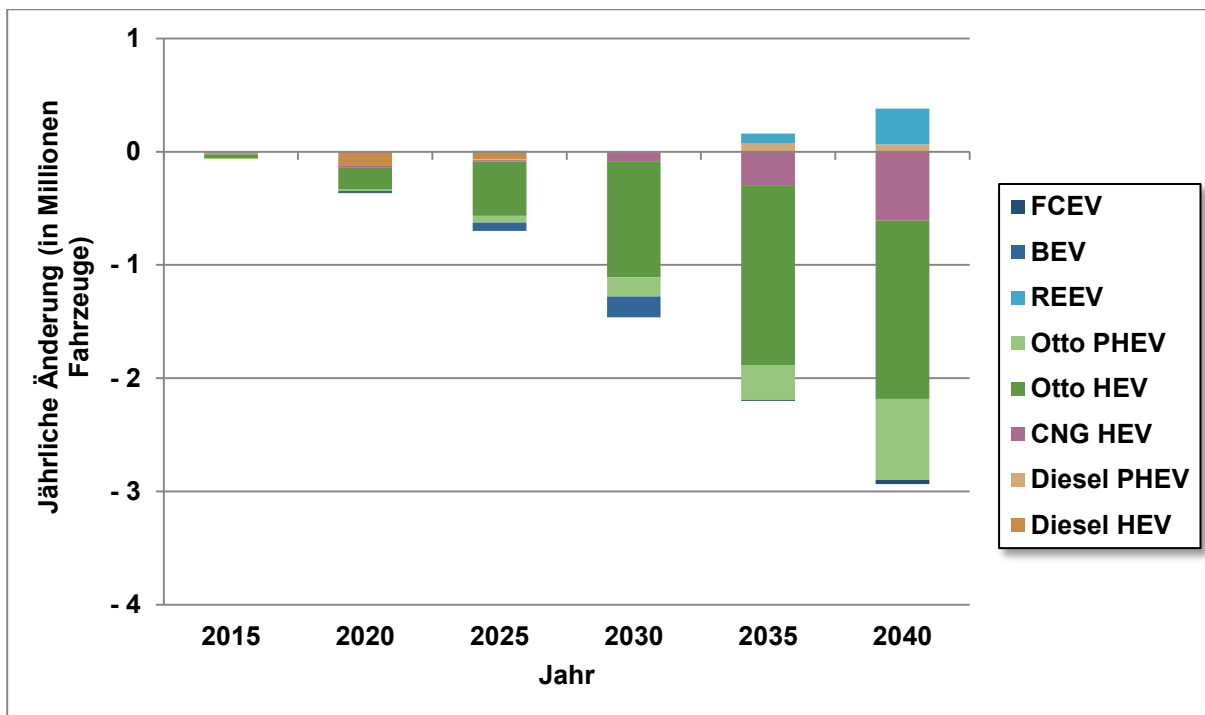


Abb. 4-97 Änderung der Anzahl der jeweiligen Antriebsstrangvarianten im Fahrzeugbestand für das 2. Alternativszenario gegenüber dem Basisszenario

Neben den Einflüssen des globalen Elektromobilitätswachstums können Forschung und Industrie versuchen, Einfluss auf die technologische Ausgestaltung der elektrifizierten Fahrzeuge zu nehmen – und zwar mittels Entwicklungen, die sich auf die Kosten für die Komponenten von Elektrofahrzeugen auswirken, oder einer effizienteren Gestaltung der Komponenten selbst, wodurch der Energieverbrauch der Fahrzeuge sinkt. Um den zweiten Punkt genauer zu untersuchen, wurde in einem dritten Alternativszenario angenommen, dass sich der elektrische Energieverbrauch elektrifizierter Fahrzeuge über die Jahre um weitere 10 % gegenüber der Entwicklung im Basisszenario reduziert. Abb. 4-98 veranschaulicht die Entwicklung des Energieverbrauchs von Otto- und Diesel-PHEV sowie des BEV im 3. Alternativszenario im Vergleich zum Basisszenario. Zu erkennen ist, dass der Energieverbrauch der BEV im Vergleich zum Basisszenario stärker abnimmt als bei den PHEV, was darauf zurückzuführen ist, dass die PHEV nur zum Teil den Antrieb über den elektrischen Antriebspfad realisieren und die restliche Antriebsenergie über den Verbrennungsmotor bereitgestellt wird. Jedoch fällt die absolute Effizienzsteigerung bei den PHEV mit rund 35 % weiterhin höher aus als bei dem schon sehr effizienten BEV mit ungefähr 20 %.

Trotz des signifikanten Eingriffs in den Energieverbrauch der elektrifizierten Fahrzeuge sind die Auswirkungen auf den Fahrzeugmarkt im Vergleich zu den vorangehend beschriebenen Szenarien gering (Abb. 4-99). In den ersten Jahren bis 2025 können zwar mehr Fahrzeuge in den Markt gebracht werden, insbesondere die hoch elektrifizierten PEV. Im Vergleich zum ersten und zweiten Alternativszenario sind diese Zunahmen jedoch eher gering. Zudem geht der Zuwachs an PEV ab 2030 zuungunsten der HEV, wodurch zwar mehr PEV in den Markt kommen, die Anzahl an xEV jedoch recht konstant bleibt.

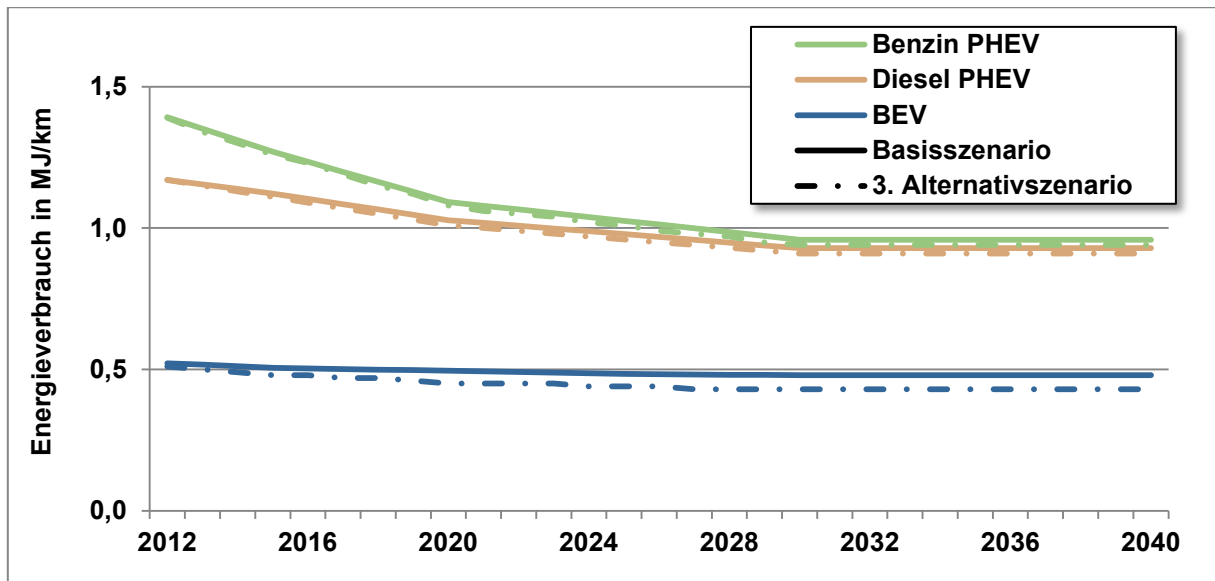


Abb. 4-98 Entwicklung des Energieverbrauchs von BEV und PHEV im 3. Alternativszenario

Das zeigt sich insofern auch bei der Veränderung im Fahrzeugbestand (Abb. 4-100), als die Anzahl von PEV, insbesondere von BEV, gesteigert werden kann. Dies verursacht jedoch ab 2035 auch ein signifikantes Verdrängen von HEV aus dem Fahrzeugbestand, was sich insbesondere bei den CNG HEV bemerkbar macht.

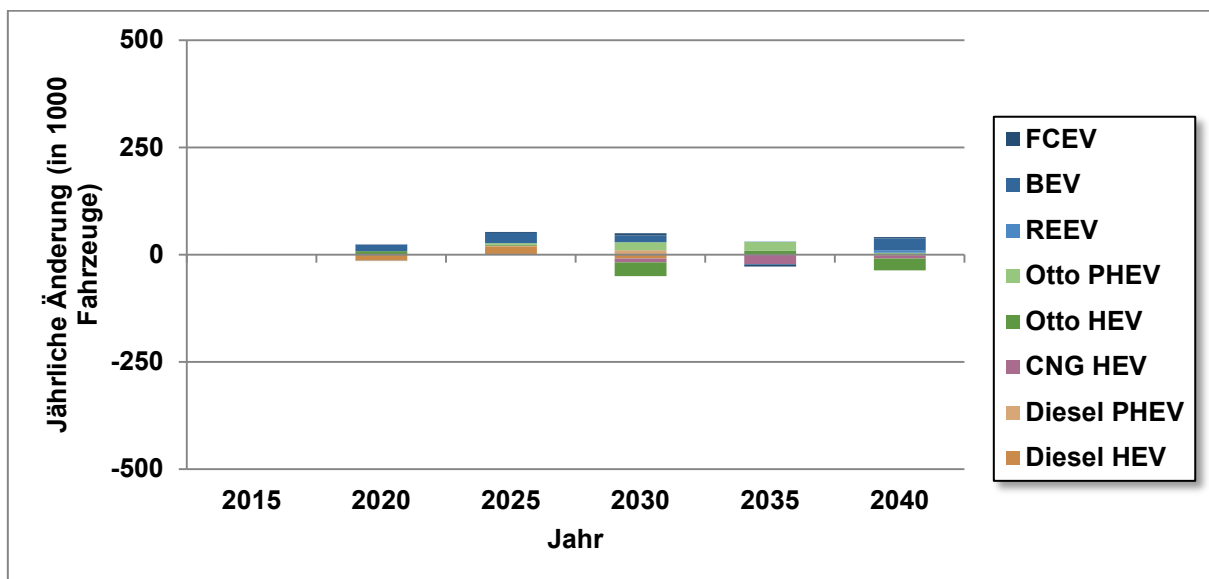


Abb. 4-99 Änderung der Anzahl der jeweiligen Antriebsstrangvarianten im Neuwagenmarkt für das 3. Alternativszenario gegenüber dem Basisszenario

In den vorgestellten Szenarien ist es durchaus möglich, die Anzahl elektrifizierter Fahrzeuge, insbesondere auch von PEV, im deutschen Neuwagenmarkt und damit auch im deutschen Fahrzeugbestand zu erhöhen. Jedoch treten die Auswirkungen des globalen Elektromobilitätswachstums nur deutlich verzögert ein. Um das Ziel, bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge, die über einen Stecker verfügen, im deutschen Pkw-Bestand zu haben, erreichen zu können, reichen die untersuchten Maßnahmen und Entwicklungen nicht aus. Eine technologische Verbesserung der Fahrzeuge kann zwar Energieeinsparungen bewirken, jedoch rea-

giert der Markt in dem zugrunde gelegten Szenario nicht besonders sensitiv auf diese Entwicklung. Anders sieht das bei einer Beschleunigung des weltweiten Elektromobilitätswachstums aus. Wenn auch spät können hier Zuwächse im zweistelligen Prozentbereich gegenüber der Entwicklung im Basisszenario beobachtet werden. Das verdeutlicht, dass der Markt vergleichsweise sensibel auf die Preisentwicklung reagiert. Gerade die Kosten für die Batterie, die derzeit einen großen Teil der Gesamtkosten, insbesondere bei PEV, ausmachen, können hier wesentliche Konsequenzen haben.

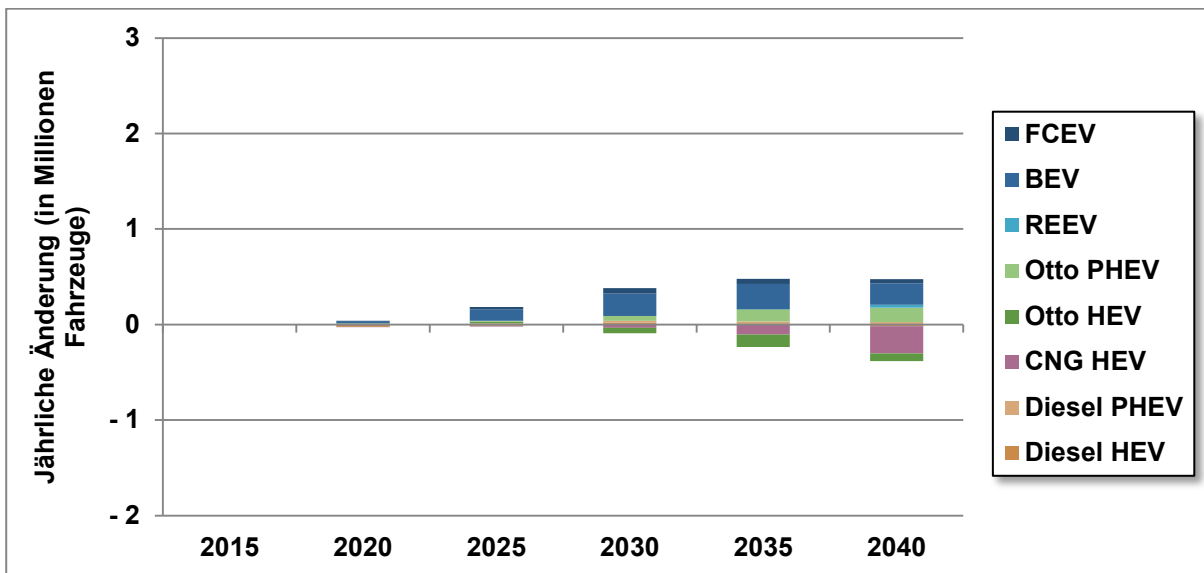


Abb. 4-100 Änderung der Anzahl der jeweiligen Antriebsstrangvarianten im Fahrzeugbestand für das 3. Alternativszenario gegenüber dem Basisszenario

## 5 Regionale Übersicht zum Monitoring der Elektromobilitätsarena

*T. Koska (WI), H. Hüging (WI), D. Kreyenberg (DLR), P. Hillebrand (WI), J. Tenbergen (WI)*

### 5.1 Vorgehen und Methodik

Die „Regionale Übersicht zum Monitoring der Elektromobilitätsarena“ dient der Darstellung und Bewertung von Förderansätzen und Rahmenbedingungen der Elektromobilität weltweit, der Analyse von Trends und Perspektiven in der Marktentwicklung, der Erhebung von Schwerpunkten der Forschungsförderung sowie der Übersicht von Aktivitäten und Strategien der Industrie. Die Kenntnisse der Rahmenbedingungen und Entwicklungen in den verschiedenen Ländern ist zentral, um die Technologieentwicklung im Bereich Elektromobilität einzuordnen und Trends potenziell konkurrierender Länder zu identifizieren. Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sind häufig eng an (nationale) Förderschwerpunkte und den Charakteristika nationaler Märkte geknüpft. Zudem ist eine Berücksichtigung landesspezifischer Rahmenbedingungen essentiell, um die Forschung und Industrie zu unterstützen, aussichtsreiche Entwicklungsvorhaben zu definieren und zu verfolgen, so dass international erfolgreiche Produkte entwickelt werden können. Aus den regionalen Übersichten können Erkenntnisse zu globalen Entwicklungen und Perspektive der Elektromobilität abgeleitet werden. Auf Basis der Darstellung des Status quo in verschiedenen Regionen lässt sich Deutschland hinsichtlich seiner Position im internationalen Vergleich einordnen.

Der zentrale Untersuchungsgegenstand „Elektromobilität“ wurde dabei im Hinblick auf die Gesamtausrichtung des STROM-Förderprogramms und der STROM-Begleitforschung auf den motorisierten Individualverkehr eingegrenzt. Der Fokus liegt dabei auf elektrifizierten Pkw. Andere Fahrzeugsegmente wie elektrifizierte Zweiräder oder Busse wurden nur bei besonderer Relevanz in bestimmten Fokusregionen in der Analyse berücksichtigt. Hinsichtlich des Elektrifizierungsgrades wurden insbesondere höher elektrifizierte Fahrzeuge betrachtet. Dies umfasst zum einen Fahrzeuge, die begrenzt rein elektrisch fahren können und Verbrennungs- sowie Elektromotor in Kombination nutzen (z.B. PHEV/REEV) und zum anderen auch rein elektrisch betriebene, batteriebasierte Fahrzeuge (BEV) (vgl. Kapitel 6.2.2). Der Fokus lag somit auf batteriebasierten Fahrzeugen, die über das Stromnetz geladen werden können (BEV und PHEV/REEV, zusammengefasst als PEV). Förderpolitisch und statistisch wird häufig nicht zwischen PHEV und REEV unterschieden, so dass alle Fahrzeuge, die einen Elektro- und einen Verbrennungsmotor besitzen und über das Stromnetz geladen werden können, unter PHEV zusammengefasst wurden. Brennstoffzellenbasierte Fahrzeuge sind nicht im Untersuchungsgegenstand enthalten und wurden lediglich als weitere Technologieoption behandelt.

Die Regionalstudien konzentrieren sich auf vier Untersuchungsfelder:

- a) Regierung/Politik/öffentliche Infrastruktur
- b) Forschung und Entwicklung
- c) Wirtschaft und Industrie
- d) Verbraucher und Markt

Das Untersuchungsfeld „Regierung / Politik / öffentliche Infrastruktur“ befasst sich mit den politischen Strategien, dem regulatorischen Rahmen und der Förderung für Elektrofahrzeuge durch regulatorische oder finanzielle Anreize. Im Bereich „Forschung und Entwicklung“ werden nationale Förderprogramme hinsichtlich ihrer thematischen Ausrichtung und ihres Umfangs ausgewertet. Das Themenfeld „Wirtschaft und Industrie“ befasst sich mit der Automobilindustrie in den jeweiligen Regionen. Die Bedeutung des Industriezweiges für die Region wird dargestellt und wichtige Strategien und Produkte der ansässigen Automobilhersteller dargelegt. Das Untersuchungsfeld „Verbraucher und Markt“ beleuchtet die bisherige Entwicklung, den Status quo sowie zukünftige Entwicklungen im Absatz von elektrifizierten Fahrzeugen. Außerdem wird die Nutzerakzeptanz gegenüber Elektrofahrzeugen thematisiert. Insgesamt geben die vier Untersuchungsfelder somit ein umfassendes Bild über den Status der Elektromobilität in der jeweiligen Region.

Das Monitoring der internationalen Elektromobilitätarena speist sich aus drei Erkenntnisquellen:

**I. Regionale Recherchen in fünf Fokusregionen (Indien, Japan, USA, China Europa) von vor Ort ansässigen bzw. tätigen Fachinstituten**

Es wurden fünf Fokusregionen ausgewählt, die eine besondere Bedeutung für die weltweiten Perspektiven der Elektromobilität haben. Die Fokusregionen China, USA, EU, Japan und Indien gehören zu den größten Absatzmärkten für Pkw und sind außerdem bedeutende Produktionsstandorte (VDA 2014). Ein stark steigender Motorisierungsgrad in China und Indien trägt zudem zu einer wachsenden Bedeutung dieser Regionen bei.

Um die Rahmenbedingungen und Entwicklungen der Elektromobilität in den fünf Fokusregionen zu erfassen, wurde jeweils ein vor Ort ansässiges oder tätiges Fachinstitut beauftragt. Dadurch wurde gewährleistet, dass ein Zugang zu maßgeblichen Dokumenten besteht, die zum Teil nur in der Landessprache verfügbar sind, und eine Einordnung unter Kenntnis der regionalen Gegebenheiten erfolgen kann. Zusätzlich wurde analog dazu die Situation in Deutschland als Vergleichsbasis durch das Wuppertal Institut erfasst. Die jeweiligen Regionalpartner sind in Tab. 5-1 dargestellt.

<b>Region</b>	<b>Beauftragte Institution</b>
Europa	Ernst Basler + Partner AG (Schweiz)
USA	UC Davis (USA - Kalifornien)
Indien	TERI – The Energy and Resources Institute (Indien)
Japan	IGES – Institute for Global Environmental Strategies (Japan)
China	EnergieAgentur NRW (Deutschland)

**Tab. 5-1 Fokusregionen und beauftragte Institutionen**

Um eine größtmögliche Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen, wurde ein einheitliches Analyseraster entwickelt und mit den Regionalpartnern und den STROM-Projekten abgestimmt. Das Analyseraster thematisiert Themen und Schlüsselindikatoren in jedem der eingangs genannten Untersuchungsfelder.

## **II. Rechercheaufenthalte in den Fokusregionen zur Durchführung von leitfadengestützten Experten-Interviews**

Die Ergebnisse der durch die Regionalpartner angefertigten Regionalstudien wurden durch leitfragengestützte Interviews mit lokalen Experten ergänzt und vom Wuppertal Institut bzw. vom DLR durchgeführt. Die Vorbereitung der Rechercheaufenthalte und die Identifizierung relevanter Interviewpartner wurde in enger Zusammenarbeit mit den jeweiligen Regionalpartnern vorgenommen. Interviewt wurden Experten aus Politik, Forschung und Industrie. Die leitfadengestützten Interviews wurden genutzt, um die vorab recherchierten Informationen aus den Regionalstudien zu verifizieren, aktuelle, noch nicht veröffentlichte Entwicklungen abzubilden und Experteneinschätzungen zum aktuellen Stand und der zukünftigen Entwicklung zu erfassen. Die Ergebnisse der leitfadengestützten Interviews wurden anonymisiert in die Regionalstudien integriert.

## **III. Ergänzende Desktoprecherche und Dokumentenanalyse zu weltweiten Studien und Schlüsselindikatoren**

Für die Berücksichtigung der globalen Entwicklung über die Fokusregionen hinaus hat das Wuppertal Institut zusätzliche Recherchen durchgeführt. Außerdem wurden ergänzende Recherchen zu aktuellen Daten zu den Fokusregionen durchgeführt, um ein hohes Maß an Aktualität und Vergleichbarkeit gewährleisten zu können.

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse aus den Fokusregionen zusammenfassend dargestellt (Kapitel 5.2); die ausführlichen Berichte zu den einzelnen Regionen liegen dem BMBF als Anlage zu diesem Bericht vor. Danach erfolgt der Vergleich zwischen die Fokusregionen in den vier Untersuchungsfeldern (Kapitel 5.3). Die Einordnung Deutschlands hinsichtlich seiner Position im internationalen Vergleich erfolgt im zusammenfassenden Kapitel.

## **5.2 Zusammenfassung der Regionalstudien**

### **5.2.1 Deutschland**

*T. Koska (WI), H. Hüging (WI), P. Hillebrand (WI), J. Tenbergen (WI)*

#### **Regierung/Politik/Öffentliche Infrastruktur**

##### *Ziele der Bundesregierung*

Mit dem „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ hat die Bundesregierung im Jahr 2009 die Grundlagen ihrer Strategie zur Förderung der Elektromobilität in Deutschland festgelegt (Bundesregierung 2009). Der Plan benennt Potenziale und Herausforderungen der Elektromobilität, stellt Ziele auf und umfasst Handlungsempfehlungen. Konkretisiert wurde der Plan im Jahr 2011 durch das Regierungsprogramm Elektromobilität (Bundesregierung

2011), in dem konkrete FuE-Vorhaben („Leuchttürme“) und Demonstrationsprogramme („Schaufenster Elektromobilität“) angestoßen werden.

Eine zentrale Zielvorgabe der Bundesregierung ist es, dass bis 2020 in Deutschland eine Million Elektrofahrzeuge zugelassen sind (Bundesregierung 2009), wobei es sich dabei um extern aufladbare Fahrzeuge handeln soll (BEV und PHEV/REEV). Darin konkretisiert sich das industriepolitische Ziel, dass Deutschland Leitmarkt für Elektromobilität werden soll. Ebenso solle Deutschland die Position eines Leitanbieters für Elektromobilität erlangen. Damit soll die Position der deutschen Automobil- und Zulieferindustrie gesichert werden.

Technologieführerschaft wird als Schlüssel betrachtet, um die dafür notwendige Wettbewerbsposition zu erreichen. Gefördert werden soll diese durch eine Stärkung und Vernetzung der Forschungsaktivitäten von Wirtschaft und Wissenschaft sowie eine Ausbildungsinitiative. Ebenso strebt die Bundesregierung eine führende Rolle bei der Definition internationaler Normen und Standards im Bereich Elektromobilität an.

Weitere Ziele betreffen die Energie- und Klimapolitik: So möchte Deutschland durch Förderung der Elektromobilität dazu beitragen, seine THG-Emissionen zu reduzieren und unabhängiger vom Erdöl werden. Der Ausbau der Elektromobilität soll mit dem Ausbau der regenerativen Stromerzeugung einhergehen. Zudem sollen Mobilitätskonzepte gefördert werden, die Elektromobilität einbinden.

Bei der Förderung von Elektromobilität verfolgt die Bundesregierung einen systemischen, marktorientierten und technologieoffenen Ansatz (NPE 2012), der im Folgenden erläutert wird.

### *Umsetzung der Strategie*

Dabei soll Elektromobilität als Gesamtsystem mit seinen wissenschaftlichen, technischen, marktbezogenen und verkehrssystemischen Aspekten und Akteuren gefördert werden. Bestimmte Typen von Elektrofahrzeugen werden dabei nicht präferiert.

Zur Erreichung dieser Ziele setzt die Bundesregierung primär auf die Förderung von FuE- sowie Demonstrationsprojekten. Es werden nur in sehr geringem Umfang durch Steuererleichterungen Anreize für Käufer von Elektrofahrzeugen gewährt. Während die Forschung dem Ziel dienen soll, Deutschland zu einem Leitanbieter der Elektromobilität zu machen, zielen die Demonstrationsprojekte darauf ab, Elektromobilität im alltäglichen Verkehrsgeschehen zu erproben und die Entwicklung zum Leitmarkt zu fördern (NPE 2012). Die Entwicklung des Leitmarktes soll in drei Phasen erreicht werden: Phase 1 der Marktvorbereitung (2009-2011) ist durch FuE, Prototypenentwicklung und erste Serienfahrzeuge geprägt, die fast ausschließlich in Versuchsflotten zur Anwendung kommen. Phase 2 des Markthochlaufs (2011-2016) sieht die Entwicklung von Komponenten und Fahrzeugen der zweiten Generation vor, erste Privatanutzer und selbsttragende Geschäftsmodelle werden erwartet. In Phase 3 des Volumenmarktes (2017-2020) soll schließlich eine Massenfertigung von Komponenten und Fahrzeugen der zweiten Generation stattfinden, eine flächendeckende Ladeinfrastruktur aufgebaut sein und der Marktdurchbruch gelingen.

Inwieweit die Marktentwicklungsziele bis 2020 erreichbar sind, hängt stark von den Rahmenbedingungen ab; so halten Plötz et al. (2013) in den Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge die Ziele nur unter günstigen Annahmen hinsichtlich Batteriekosten, Öl- und Strompreis für erreichbar, solange keine Kaufanreize eingeführt werden sollen. Dagegen wird die

Erreichung der Ziele hinsichtlich der Technologieführerschaft optimistischer eingeschätzt – in diesem Bereich sieht etwa der E-Mobility-Index von Roland Berger und fka Deutschland an zweiter Position (Roland Berger & fka 2014).

### *Vernetzung von Akteuren*

Um eine Vernetzung der verschiedenen Akteure im Feld der Elektromobilität zu fördern, Herausforderungen zu identifizieren und die Arbeit in relevanten Forschungsfeldern zu koordinieren, hat die Bundesregierung 2010 die „Nationale Plattform Elektromobilität“ (NPE) ins Leben gerufen. Das Beratungsgremium mit Vertretern von Industrie, Wissenschaft, Politik, Gewerkschaften und Gesellschaft behandelt in sieben Arbeitsgruppen (Antriebstechnologie; Batterietechnologie; Ladeinfrastruktur und Netzintegration; Normung, Standardisierung und Zertifizierung; Materialien und Recycling; Nachwuchs und Qualifizierung; Rahmenbedingungen) die Schwerpunktthemen der Elektromobilität und formuliert Empfehlungen an die Bundesregierung (NPE 2012). Innerhalb der Bundesregierung werden die Aktivitäten zur Förderung der Elektromobilität durch einen Ressortkreis, bestehend aus BMWi, BMVI, BMUB und BMBF, koordiniert (Bundesregierung 2009). Dabei haben die Ministerien unterschiedliche Förderschwerpunkte (vgl. Tab. 5-2).

<b>Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)</b>	<b>Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)</b>	<b>Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)</b>	<b>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)</b>
IKT für Elektromobilität Fahrzeugtaugliche Batteriesysteme und Fertigungstechnologien Stromwirtschaftliche Elemente: Speicher, Netze, Integration Technologien für Antriebssysteme von Elektro- und Hybridfahrzeugen Ladeinfrastruktur (mit BMVI) Abrechnungssysteme Nutzerakzeptanz (mit BMVI)	Sicherheit von Batterien Demonstration und Erprobung innovativer Mobilitätssysteme Ladeinfrastruktur (mit BMWi) Sicherheit und Effizienz von Fahrzeugflotten Hybridisierung von Lkw, Effizienzsteigerung Nebenaggregate Verkehrssicherheit Nutzerakzeptanz (mit BMWi)	Zell- und Batterieentwicklung (Batteriekonzepte und-management) neuartige Materialien Produktionsforschung künftiger Batteriegenerationen ausfallsichere Komponenten und Systeme Systemforschung IKT für Energieeffizienz im Elektrofahrzeug Aus- und Weiterbildung	Demonstration und Erprobung zur Ermittlung der Umwelt- und Klimafaktoren Kopplung der Elektromobilität an erneuerbare Energien und deren Netzintegration Umwelt- und Klimakonzepte Markteinführung mit ökologischen Standards Recyclingverfahren, Öko- und Energiebilanzen der Komponenten

**Tab. 5-2 Förderschwerpunkte der deutschen Ministerien**

Quelle: Eigene Darstellung nach (Bundesregierung 2011)

### *Bevorrechtigung von Elektrofahrzeugen*

Bislang gibt es in Deutschland keine Bevorrechtigung von Elektrofahrzeugen. Nichtmonetäre Anreize wie die privilegierte Verfügbarmachung von Parkplätzen oder die Nutzung von Busspuren sind im Referentenentwurf für ein Elektromobilitätsgesetz vorgesehen, das 2015 in Kraft treten könnte. Der Gesetzentwurf stellt eine Ermächtigungsgrundlage für Kommunen dar, gekennzeichneten Elektrofahrzeugen Privilegien beim Zugang zu Parkflächen oder zufahrtsbeschränkten Straßen zu gewähren. Adressiert werden BEV sowie PHEV mit



CO<sub>2</sub>-Emissionen unter 50 g/km oder einer Mindestreichweite von 30 km (ab Zulassungsjahr 2017: 40 km) (Bundesregierung 2014). Kritiker befürchten, dass durch die sehr großzügige Reichweitenregelung ohne eine „und-Verknüpfung“ mit den CO<sub>2</sub>-Emissionen vor allem hochmotorisierte PHEVs profitieren, deren Bevorrechtigung den öffentlichen Diskurs zu Elektromobilität negativ prägen könnte (BEM 2014).

### *Kaufanreize*

Direkte finanzielle Anreize für den Kauf von Elektrofahrzeugen bestehen in Deutschland nicht. Als indirekter Kaufanreiz kann die Befreiung von Elektrofahrzeugen von der Kraftfahrzeugsteuer seit 2011 gelten. Diese gilt nur für rein batterieelektrische Fahrzeuge – Plug-In-Hybrid oder Range-Extender-Fahrzeuge sind von der Vergünstigung ausgenommen. Elektrofahrzeuge, die zwischen Mai 2011 und Ende 2015 zugelassen werden, sind für zehn Jahre befreit, für den Zulassungszeitraum 2016 bis 2020 gilt die Befreiung nur für fünf Jahre, ebenso wie für vor 2011 zugelassene Elektrofahrzeuge (§ 3d KraftStG). Der Subventionseffekt ist allerdings eher gering: Gegenüber der vorherigen Besteuerung von Elektrofahrzeugen nach Leergewicht (28 Euro pro 100 kg) bedeutet die Regelung nur eine vergleichsweise geringe Entlastung. Etwas stärker ist der Effekt der Änderung der Dienstwagenbesteuerung: Bei der monatlichen Besteuerung der Nutzer mit einem Prozent des Listenpreises können pro kW Batterieleistung 500 Euro abgezogen werden (bei Zulassung bis Ende 2013; für später zugelassene Fahrzeuge verringert sich der Betrag pro kW um 50 Euro jährlich), was bei einer Batterieleistung von 20 kW eine Verringerung des zu versteuernden Listenpreises um 10 000 Euro bedeutet.

### *Öffentliche Infrastruktur*

Im Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität ist das Ziel formuliert, bis 2020 eine flächendeckende Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland aufzubauen und Elektrofahrzeuge über ein „Smart Grid“, welches Rückspeisungen ermöglicht, ins Stromnetz einzubinden. Bislang erfolgte der Aufbau der Ladeinfrastruktur dezentral organisiert und wurde im Rahmen von regionalen Modellprojekten durch Initiativen von Energieanbietern oder einzelnen Fahrzeugherstellern umgesetzt. Die verfügbare Ladeinfrastruktur konzentriert sich dabei insbesondere auf die Regionen, in denen Modellprojekte umgesetzt wurden oder werden. Im Rahmen des BMWi-geförderten Projekts SLAM kooperieren seit 2014 mehrere große deutsche Automobilhersteller, weitere Unternehmen und Hochschulen beim Aufbau eines flächendeckenden Schnellladenetzes in Deutschland, das bis 2017 400 Ladestationen umfassen soll (BMW, 2014).

Zum Jahresende 2013 waren laut einer Mitgliederumfrage des Branchenverbandes der Energiewirtschaft BDEW 2 122 Ladestationen mit Lademöglichkeiten für 4 454 Elektrofahrzeuge verfügbar (BDEW 2014).

## **Forschungsförderung und Institutionen**

Die Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität wird als essentiell angesehen, um durch überlegene Produkte die Technologieführerschaft zu erreichen und Deutschland als Leitanbieter für Elektrofahrzeuge zu etablieren. Gleichzeitig sollen die Fahrzeuge durch technische Fortschritte für den Nutzer attraktiver (etwa durch größere Reichweiten oder kürzere Ladezeiten) und kostengünstiger werden und so zur Leitmarktentwicklung beitragen (NPE 2012).

### *Nationale Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration*

Verschiedene umfangreiche Förderprogramme für Forschung, Entwicklung und Demonstration wurden bereits aufgelegt – teilweise in der Verantwortung einzelner Ministerien, teilweise durch einen gemeinsamen Ressortkreis (vgl. Tab. 5-3). Für den Zeitraum 2009 bis 2011 hat die Bundesregierung im Rahmen des Konjunkturpakets II 500 Mio. Euro zur Förderung der Elektromobilität zur Verfügung gestellt. Das vom BMVBS (heute BMVI) koordinierte Forschungs- und Demonstrationsprogramm „Modellregionen Elektromobilität in Deutschland“ wurde in der ersten Phase mit insgesamt 130 Mio. Euro gefördert (s.u.) (BMVI 2014). Als weiteres Demonstrationsvorhaben wurde 2011 das Förderprogramm „Schaufenster Elektromobilität“ mit einem Fördervolumen von 180 Mio. Euro aufgelegt (DDI 2014). Neben diesen eher auf Demonstration und Erprobung in der Praxis ausgerichteten Programmen fördert die Bundesregierung Forschung und Technologieentwicklung insbesondere durch das BMBF.

Insgesamt trägt das BMBF mit mehr als 50% der Fördergelder den größten Anteil der Fördermaßnahmen der Bundesregierung zur Weiterentwicklung der Elektromobilität und fördert insbesondere die Weiterentwicklung der Komponenten. Die vom BMBF bis 2014 bereitgestellte Gesamtförderung von 627 Millionen Euro floss vor allem in die Weiterentwicklung der Antriebstechnologie (41 %) und der Batterietechnologie (31 %). (Fernholz 2014). Im Jahr 2013 laufende Projekte zur Batterieforschung förderte das BMBF mit insgesamt über 130 Mio. Euro (BMF 2013). Die Batterie, als ein in vielerlei Hinsicht begrenzender Faktor der E-Fahrzeuge, sowie Energieeffizienz und Sicherheit sind derzeit Hauptforschungsthemen. Im Bereich der Lithium-Ionen-Batterien werden insbesondere die Entwicklung von Produktionstechnologien und die Erhöhung der Eigensicherheit der Batterien gefördert. Daneben wird die Forschung an Post-Lithium-Batterien unterstützt. Weitere Forschung im Bereich der Batterie, wie die Erforschung neuer Kathoden- und Anodenmaterialien, wird unter anderem vom BMWi gefördert. Auch der Aufbau von Forschungsk Kooperationen, wie beispielsweise durch die „Innovationsallianz Lithium-Ionen-Batterie 2015“ oder dem „Kompetenzzentrum Batterie“, wird vom BMBF und BMWi gefördert.

Ministerium	Zugewiesene Mittel 2012	Programme/Schwerpunkte (Auswahl)
BMBF	114,7 Mio. Euro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schaufenster Elektromobilität</li> <li>• Batterieforschung</li> <li>• Energieeffizienztechnologien (STROM und STROM 2)</li> <li>• Aus- und Weiterbildung</li> </ul>
BMWi	54,8 Mio. Euro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schaufenster Elektromobilität</li> <li>• IKT für Elektromobilität</li> <li>• ELEKTRO POWER</li> <li>• ERA-NET Plus on Electromobility</li> <li>• CROME</li> <li>• ATEM</li> </ul>
BMVBS	37,8 Mio. Euro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schaufenster Elektromobilität</li> <li>• Modellregionen Elektromobilität</li> <li>• ERA-NET Plus on Electromobility</li> <li>• CROME</li> </ul>
BMU	12,7 Mio. Euro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schaufenster Elektromobilität</li> <li>• Erneuerbar Mobil</li> </ul>
<b>Gesamt</b>	<b>220 Mio. Euro</b>	

**Tab. 5-3 Budget der verschiedenen Ministerien zur Weiterentwicklung der Elektromobilität im Jahr 2012**

Quelle: (BMF 2013)

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt sind Effizienztechnologien wie verbesserte Leistungselektronik, E-Maschinen, Thermomanagement oder Leichtbau. Zentrales Förderprogramm ist hier das BMBF Programm „Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität – STROM“. Die Netzintegration von Elektrofahrzeugen wird insbesondere vom BMWi im Förderschwerpunkt IKT für Elektromobilität gefördert (BMF 2013).

Neben den Fördermitteln, die in die Forschung und Entwicklung zur Elektromobilität fließen, hat die deutsche Automobilindustrie zugesagt, ca. 8 bis 10 Milliarden Euro in die Entwicklung der Elektromobilität zu investieren. Insgesamt sollen die Investitionen der deutschen Wirtschaft in die Entwicklung der Elektromobilität 17 Milliarden Euro umfassen (NPE 2012).

#### Akteure

Wesentliche Akteure in der Forschung und Entwicklung zur Elektromobilität sind Universitäten und Forschungsinstitute sowie Entwicklungsabteilungen der Automobilkonzerne. Die vom BMBF bereitgestellten Fördermittel zur Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität flossen annähernd zu gleichen Teilen in die Industrie und Forschungsinstitutionen. OEMs erhielten 16 %, Zulieferer 30 % der Fördermittel. 41 % floss in die institutionelle Forschung (Fernholz 2014).

Wichtige Akteure der Forschung sind die Institute der Fraunhofer-Gesellschaft und die Helmholtzinstitute, da sie eine wichtige Vernetzungsfunktion übernehmen. Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die größte Forschungsorganisation für anwendungsorientierte Forschung in Europa. Verschiedene Fraunhofer Institute arbeiten zur Zeit zu unterschiedlichen Forschungsthemen zur Elektromobilität (Fraunhofer-Gesellschaft 2014). Neben technologischer

Forschung und Entwicklung sind in Deutschland verschiedene Institutionen im Bereich der wirtschafts-, sozial- oder umweltwissenschaftlichen Forschung zur Elektromobilität tätig.

#### *Forschungsschwerpunkte - Leuchttürme der NPE*

Im Regierungsprogramm Elektromobilität hat die Bundesregierung auf Empfehlung der NPE sechs Themenfelder benannt, in denen Forschung und Entwicklung in „Leuchtturmprojekten“ mit bis zu 1 Mrd. Euro gefördert werden soll (Bundesregierung 2011). Es werden herausragende FuE-Projekte in den Themenfeldern IKT, Mobilitätskonzepte, Ladeinfrastruktur und Netzintegration, Recycling und Ressourceneffizienz, Energiesysteme und Energiespeicherung sowie Antriebstechnik und Leichtbau gefördert. In Tab. 5-4 werden die Gesamtprojektbudgets in den sechs Themenfeldern dargestellt. Die Zahlen basieren auf dem dritten Fortschrittsbericht der NPE und umfassen abgeschlossenen, laufende und neu-initiierte Projekte mit Stand 2012. Eine Förderquote von 40 % wurde angenommen (NPE 2012). In den anwendungsorientierten Projekten arbeiten wissenschaftliche Einrichtungen, KMU sowie Großunternehmen zusammen.

Batterie	21 Projekte	601 Mio. Euro Projektbudget
Antriebstechnologie	74 Projekte	505 Mio. Euro Projektbudget
Fahrzeugintegration	36 Projekte	368 Mio. Euro Projektbudget
Leichtbau	43 Projekte	300 Mio. Euro Projektbudget
Recycling	nicht verfügbar	90 Mio. Euro Projektbudget
IKT & Infrastruktur	32 Projekte	300 Mio. Euro Projektbudget
<b>Gesamt</b>		<b>2 164 Mio. Euro Projektbudget</b>

**Tab. 5-4 Förderprojekte in den sechs Leuchttürmen der NPE in Deutschland mit Stand 2012**

Quelle: (NPE 2012)

Der Leuchtturm Batterie hat insgesamt das höchste Projektvolumen und macht ca. 28 % der Investitionen aus (Abb. 5-1). Innerhalb des Leuchtturms Batterie entfällt das größte Projektbudget auf die Entwicklung von Prozesstechnologie für Massenfertigung (NPE 2012). Auf den Bereich Antriebstechnologie entfallen ca. 23 % der Investitionen, wobei über die Hälfte der Vorhaben in diesem Themenbereich bereits 2012 abgeschlossen waren. Thematisch wird im Leuchtturm Antriebstechnologie zu E-Maschinen, Leistungselektronik, Antriebssysteme und Produktionstechnologie geforscht. Beim Leuchtturm Fahrzeugintegration zum systemischen Ansatz aus Fahrzeugsicht, der ca. 17 % der Investitionen ausmacht, wurden ebenfalls viele Projekte bereits vor 2012 abgeschlossen. Weitere Forschungsschwerpunkte sind Leichtbau sowie IKT und Infrastruktur mit jeweils ca. 14 % der Investitionen. Recycling wurde zwar ebenfalls als Leuchtturm definiert, jedoch entfallen nur ca. 4 % der Investitionen auf dieses Forschungsfeld.

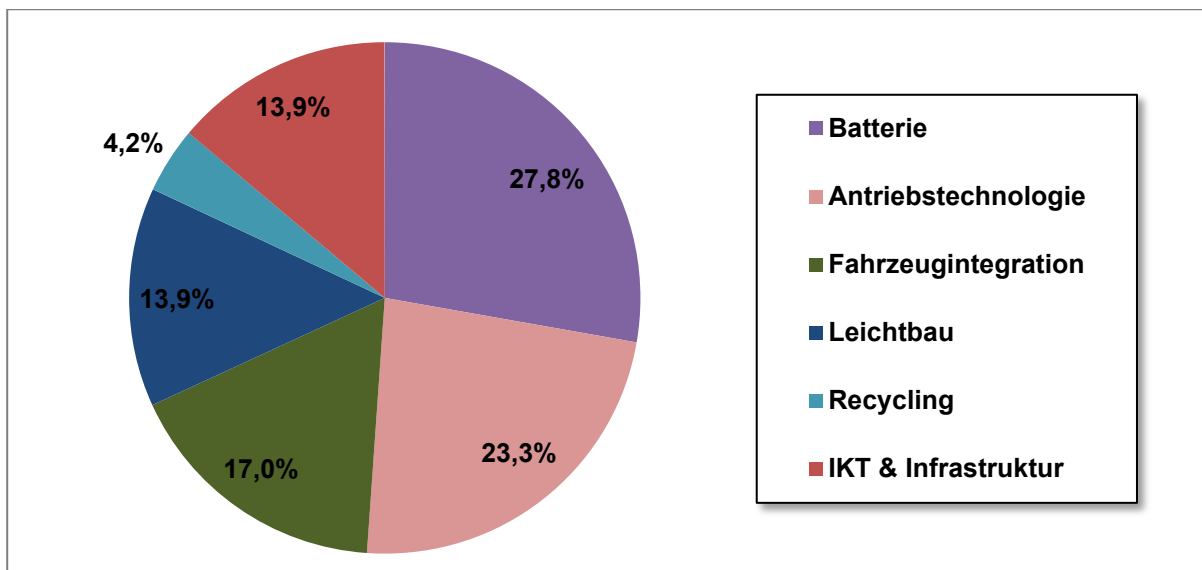


Abb. 5-1 Verteilung der Projektbudgets auf Forschungsbereiche in Deutschland mit Stand 2012

Quelle: Eigene Darstellung nach (NPE 2012)

### Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM)

Mit dem Ziel, Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich Gesamtfahrzeugsysteme, Batterieentwicklung und -integration, Energiemanagement sowie Werkstoff- und Materialforschung zu unterstützen, wurden Mittel mit einem Gesamtvolumen von 120 Mio. Euro im Forschungsprogramm „Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität“ vom BMBF bereitgestellt. Die Förderprojekte sind im Herbst 2011 angelaufen mit überwiegend einer dreijährigen Laufzeit und umfassen 110 Verbünde (BMBF 2010, BMBF 2012, Fernholz, 2014). In 2012 wurde mit STROM 2 eine Fortsetzung des Programms gestartet, mit 8 Verbänden und einer Laufzeit von 2012 bis 2016 (Fernholz 2014). Das STROM-Programm soll neue Innovationspartnerschaften zwischen Wirtschaft und Wissenschaft fördern und adressiert Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft, Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen.

### Innovationsallianz Lithium-Ionen-Batterie 2015

Batterieforschung wird insbesondere auch im Rahmen der Innovationsallianz Lithium-Ionen-Batterie (LIB2015) vorangetrieben mit dem Ziel, Lithium-Ionen-Akkus hinsichtlich Speicherpotential, Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Sicherheit zu optimieren. Die LIB2015 wurde Ende 2007 gegründet und vom BMBF mit 60 Mio. Euro gefördert (AK et al. 2011). Die Allianz setzt sich zusammen aus Vertretern von Politik, Wirtschaft und Wissenschaft. Rund 60 Unternehmen oder Universitäten sind Mitglieder der Allianz. Verschiedene Industrieunternehmen haben sich verpflichtet, insgesamt 360 Mio. Euro für FuE im Bereich der Lithium-Ionen-Batterien zu investieren. Die Innovationsallianz wird durch einen Roadmapping-Prozess durch das Fraunhofer ISI begleitet. Im Rahmen der STROM-Förderbekanntmachung baut das „Energiespeicher-Monitoring für die Elektromobilität“ (EMOTOR) auf das LIB2015-Roadmapping des Fraunhofer ISI auf. Es umfasst ein internationales Monitoring und die Untersuchung wissenschaftlich-technologischer Trends, industrieller-wirtschaftlicher Entwicklungen, ökologischer Bewertungen sowie politischer Rahmenbedingungen zur Ableitung von Handlungsempfehlungen für deutsche Akteure in Wissenschaft, Wirtschaft und Politik (Modellregionen).

*Demonstrationsprojekte Modellregionen Elektromobilität und Schaufenster Elektromobilität*

Seit Veröffentlichung des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität hat die Bunderegierung verschiedene große Förderprogramme zur Demonstration der Elektromobilität aufgelegt. Im Rahmen des vom BMVBS (heute BMVI) koordinierten Forschungs- und Demonstrationsprogramms „Modellregionen Elektromobilität in Deutschland“ wurden in der ersten Phase der Modellregionen über 190 Projekte in acht Modellregionen durchgeführt. In der zweiten Phase der Modellregionen - seit 2012 - werden vier große Modellregionen und vier Regionen mit Modellprojekten gefördert. Der thematische Schwerpunkt der zweiten Phase liegt auf der Förderung des elektrifizierten ÖPNV, von Sharing-Systemen, Nutzfahrzeugen und der Ladinfrastruktur. Die Modellregionen sollen Knowhow der Akteure in den Regionen bündeln und Elektromobilität für die Öffentlichkeit erlebbar machen (BMVI 2014). Koordiniert werden die Modellregionen von der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW).

In der ersten Phase der Modellregionen wurden ca. 2 000 Fahrzeuge eingesetzt und 1 700 Ladepunkte aufgebaut. In der zweiten Phase wurden bis Ende 2013 zusätzlich ca. 1 800 Fahrzeuge eingesetzt und 1 000 Ladepunkte installiert (Sévin 2014).

Als weiteres Demonstrationsvorhaben wurde 2011 das ressortübergreifende Förderprogramm „Schaufenster Elektromobilität“ durch BMW, BMVI, BMBF und BMUB mit einem Fördervolumen von 180 Mio. Euro aufgelegt. In vier Schaufensterregionen (Baden-Württemberg, Bayern-Sachsen, Berlin-Brandenburg und Niedersachsen) werden im Zeitraum von 2012 bis 2016 insgesamt 90 Verbundprojekte gefördert, die Elektromobilität für die Öffentlichkeit erfahrbar machen sollen (Tab. 5-4). Die Schaufensterprojekte werden von den teilnehmenden Unternehmen mitfinanziert (DDI 2014).

	Anzahl bundesgeförderter Projekte	Anzahl landesgeförderter Projekte	Förderbudget in Mio. Euro Bund (und Länder)	Inhaltliche Schwerpunkte	Sonstiges
<b>Living Lab BW E-Mobil (BW)</b>	24 + 7 assoziiert	13	45	Intermodalität, Flotten & gewerbliche Verkehre, Infrastruktur und IKT, Wohnen und Elektromobilität, Aus- & Weiterbildungsangebote	Neben Bundesförderung fördern auch Land und Region Stuttgart. Projekt-mittel beteiligter Unternehmen ergänzen das Projektvolumen. Bis 2015 sollen 2 000 Elektrofahrzeuge auf die Straße gebracht und 1 000 Ladepunkte installiert werden.
<b>Internationales Schaufenster der Elektromobilität (B/BB)</b>	20 + 2 assoziiert	9	36 (B/BB: 20)	Abstimmung der Verkehrsangebote wie ÖPNV oder Carsharing sowie Verbindung mit einem intelligenten Stromnetz	Beteiligte Unternehmen bringen 34 Millionen Euro ein.

<b>Unsere Pferde- stärken werden elektrisch (NI)</b>	20 + 5 assoziiert	9	38	intermodale Mobilitäts- und Ladekonzepte  zusätzliche Produktion erneuerbarer Energie  Entwicklung/Produktion von E-Fzg. und Komponenten  internationale Messen und Kooperationen	Land und beteiligte Pro- jektpartner stellen weitere Mittel bereit.
<b>Elektro- mobilität verbindet (BY/SA)</b>	26 + 1 assoziiert	11	39 (BY:15/SA: 15)	Langstreckenmobilität & internationale Verbindungen  urbane und ländliche Mobili- tät,  Aus- & Weiterbildungsan- gebote	Projektmittel beteiligter Unternehmen ergänzen Projektvolumen

**Tab. 5-5 Überblick über die vier Schaufensterregionen im Demonstrationsprogramm "Schaufenster Elektromobilität"**

Quelle: (DDI 2014)

### *FuE Förderung auf Landesebene am Beispiel Kompetenzzentren Elektromobilität in NRW*

Zusätzlich zur Förderung auf Bundesebene gibt es in verschiedenen Bundesländern Initiativen zur Förderung der Elektromobilität. So wurden etwa in Nordrhein-Westfalen drei technisch orientierte Kompetenzzentren gegründet. Die Kompetenzzentren sollen landesweiten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten für Elektromobilität zusammenzuführen und eine zentrale Anlaufstellen für die Forschungs- und Industriepartner sein. Das Kompetenzzentrum Infrastruktur und Netze ist an der TU Dortmund angesiedelt. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten befassen sich mit der Bereitstellung von Regelenergie für Verteilnetze sowie der Versorgung mit Lademöglichkeiten, der Abrechnung zum Laden benötigter Energie und der Entwicklung von Schnittstellen zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur. Das Kompetenzzentrum Fahrzeugtechnik ist an der RWTH Aachen angesiedelt und bündelt Kompetenzen in den Bereichen Antriebstechnologie, Leichtbau und Fahrzeugintegration. Das Kompetenzzentrum Batterie am MEET Batterieforschungszentrum der Westfälischen Wilhelms-Universität arbeitet zur Weiterentwicklung der Lithium-Ionen Technologie und der Entwicklung neuartiger Batteriesystems (ETN 2015).

## **Wirtschaft und Industrie**

Mit einem Umsatz von 361,6 Milliarden Euro (Statistisches Bundesamt 2014a) und 755 983 Beschäftigten (Statistisches Bundesamt 2014b) im Jahr 2013 ist die Automobilindustrie für die deutsche Wirtschaft eine der bedeutendsten Branchen. Sie leistet einen erheblichen Beitrag zur industriellen Bruttowertschöpfung und erwirtschaftet einen großen Teil der Exportüberschüsse Deutschlands (Meissner 2014).

Für die Entwicklung der Elektromobilität investiert die deutsche Automobilindustrie in der Marktvorbereitungsphase bis 2014 bis zu 17 Mrd. Euro. Davon fließen ca. 10 bis 12 Mrd. Euro in die Entwicklung alternativer Antriebe, wovon ca. 80 % in die weitere Entwicklung der Elektromobilität investiert werden. Diese Entwicklung wird durch die Investitionen weiterer Branchen, wie beispielsweise des Maschinen- und Anlagenbaus, der Elektrotechnik und

Elektronik, den Metallen beziehungsweise der Metallverarbeitung sowie durch Investitionen aus dem Energie- und Verkehrssektor ergänzt (NPE 2012).

Die 2012 umsatzstärksten deutschen Automobilhersteller waren die Volkswagen AG (192,7 Mrd. Euro) inklusive der Porsche AG (13,8 Mrd. Euro) und der Audi AG (48,7 Mrd. Euro), die Ford-Werke GmbH (93,1 Mrd. Euro), die BMW AG (76,8 Mrd. Euro), Mercedes Benz (19,7 Mrd. Euro), und die Opel AG (9,9 Mrd. Euro) (siehe Websites der jeweiligen Automobilhersteller 2013). Traditionell sind die OEMs für die Forschung und Entwicklung, die Markenführung und die Gesamtmontage von Fahrzeugen verantwortlich. Die umsatzstärksten Automobilzulieferer waren 2013 Continental (33,3 Mrd. Euro), Bosch (30,7 Mrd. Euro), ZF Friedrichshafen (17,2 Mrd. Euro) und Mahle (9,9 Mrd. Euro) (Berylls Strategy Advisors 2014). Diese sind vor allem im Bereich der FuE und Produktion von (elektronischen) Komponenten und leichten Materialien tätig.

Die HEV-, PHEV- und BEV-Modelle deutscher Automobilhersteller sind mit Angabe des Zeitpunkts der Markteinführung in Tab. 5-6 aufgeführt.

Hersteller	Modellbezeichnung	Markteinführung
<b>HEV-Modelle</b>		
Audi (VW Group)	Q5 Hybrid	2011
	A8 Hybrid	2012
	A6 Hybrid	2012
BMW	ActiveHybrid 7/7L	2010
	ActiveHybrid 5	2012
	ActiveHybrid 3	2012
	Active Hybrid X6	2010
Daimler / Mercedes-Benz	S400 HYBRID/S300 BlueTec HYBRID	2013
	E300 BlueTec HYBRID/ E400 HYBRID	2012
Porsche	ML450 Hybrid	2009-2011
	Cayenne S Hybrid	2010
	Panamera S Hybrid	2011
<b>PHEV-Modelle</b>		
BMW	i8	Herbst 2014
Opel / Vauxhall (GM Group)	Ampera	2012
Porsche (VW Group)	Panamera S E-Hybrid	2013
	918 Spider	2013
	Cayenne S E-Hybrid	Sommer 2014
VW	XL 1	Frühjahr 2014
<b>BEV-Modelle</b>		
BMW	Mini E	2009
	Active E	2011
	i3	2013
BMW Brilliance	Zinoro 1E	02/2014



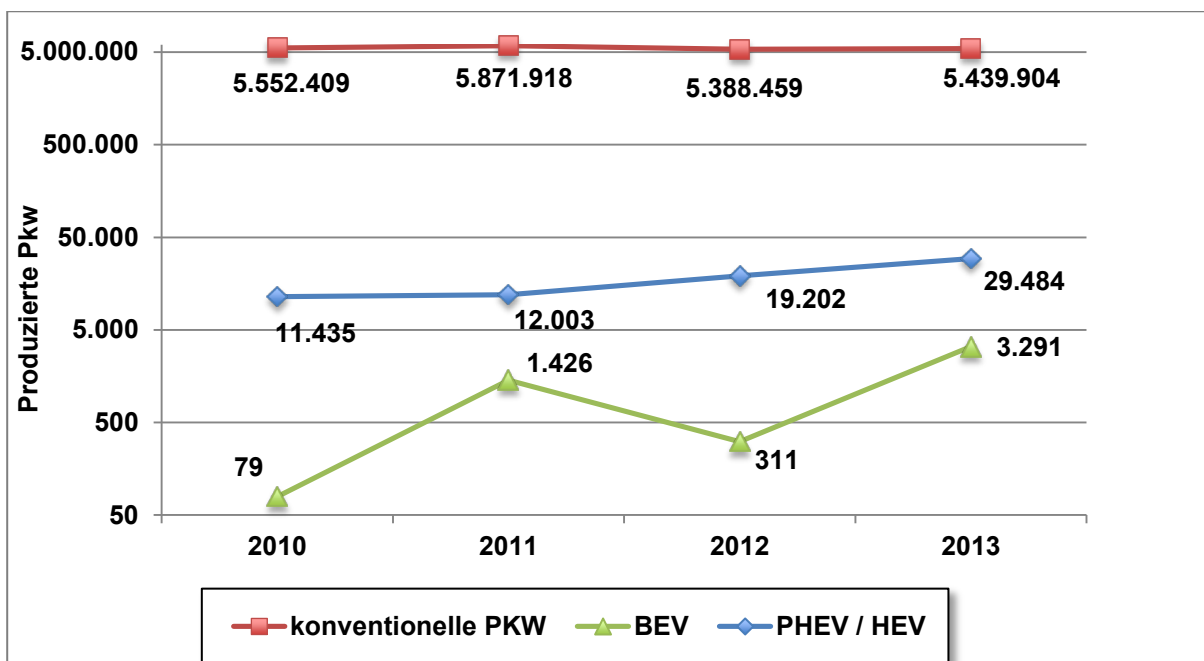
	A-class E-CELL	2010
Daimler/ Mercedes-Benz	SLS AMG Electric Drive	2013
	B class Electric Drive	06/2014
Smart (Daimler Group)	fortwo electric drive	2012
	e-up!	2013
VW	e-Golf	Herbst 2014

**Tab. 5-6 HEV-, PHEV- und BEV-Modelle deutscher Automobilhersteller mit Angabe der Markteinführung**

Quelle: Eigene Darstellung nach (MarkLines 2014)

Wie aus der Tabelle hervorgeht, konnten bis zum Herbst 2014 über 15 elektrische Fahrzeugmodelle deutscher Automobilhersteller auf den Markt gebracht werden (siehe Tab. 5-6). Jedoch werden nicht alle diese Modelle in Deutschland produziert. Beispielsweise wird der smart fortwo electric drive in Frankreich gefertigt, der Opel Ampera wird zusammen mit dem baugleichen Chevrolet Volt in den USA hergestellt.

Im Jahr 2013 konnte die inländische Produktion von BEV und HEV mit insgesamt 32 775 Fahrzeugen gegenüber den Vorjahren deutlich gesteigert werden (siehe Abb. 5-2) – auch wenn sie noch weit hinter der Produktion konventioneller Fahrzeuge (5 439 904) liegt (VDA, 2014). Der Anteil der HEV-, PHEV- und BEV-Fahrzeuge an den gesamten produzierten Fahrzeugen entspricht im Jahr 2013 einem Anteil von 0,6 % (siehe Abb. 5-2).



**Abb. 5-2 Produktion von HEV / PHEV, BEV und konventionellen Fahrzeugen in Deutschland 2010 - 2013**

Quelle: Eigene Darstellung nach (VDA 2014)

Durch die Abdeckung der klassischen metallbearbeitenden Prozesstechnologien, langjährige Erfahrungen in den verschiedenen Produktionstechnologie und der hohen Automatisierungskompetenz bei Kernprozessen ist der Maschinen- und Anlagenbau in Deutschland auch im Bereich der Elektromobilität gut aufgestellt (Schlick et al. 2011).

Trotz verschiedener Kooperationen zwischen Automobilherstellern und Zulieferbetrieben und hohem Standardisationspotential werden die Elektromotoren modellspezifisch entwickelt und gefertigt. Zwischen 1991 und 2008 stammten 26 % der Patente im Bereich Elektromotoren aus Deutschland, wodurch Deutschland neben Japan eine Spitzenposition einnahm und neben China zu den wichtigsten Exporteuren von Elektromotoren zählt (Pötz & Eichhammer 2011). In der im Rahmen der STROM Begleitforschung durchgeführten Patentanalyse verschiedener Technologiefelder im Bereich der Elektrischen Maschine, lag Deutschland mit 11 % der angemeldeten Patente hinter Japan, den USA und China (vgl. 4.2.2). Zu den wichtigsten Herstellern von Elektromotoren in Deutschland zählen Continental, Siemens, Bosch und Volkswagen (Proff & Kilian 2012).

Im Bereich der Leistungselektronik zählen Bosch, Continental, Siemens und Infineon zu den wichtigsten Produzenten in Deutschland und haben auch hohe internationale Relevanz. Daneben zählen noch EPCOS und VW zu wichtigen Herstellern, und verschiedene kleine und mittlere Unternehmen sind im Bereich der Leistungselektronik aktiv (Proff & Kilian 2012).

Unternehmen wie BMW, VW und Daimler investieren zudem in die Zusammenarbeit im Bereich der Leichtbaumaterialien wie Carbon (Beispielsweise kooperiert BMW mit SGL Carbon) (Proff & Kilian 2012).

Die Mehrheit der Automobilhersteller betrachtet Batterietechnik als wichtigste Systemkomponente der Elektromobilität, die es in die eigenen Forschungsanstrengungen bzw. Produktionsprozesse zu integrieren gilt. Beispielsweise haben der deutsche Automobilhersteller Volkswagen und die amerikanische General Motors-Gruppe beschlossen, Batteriesysteme selbst zu produzieren. Auch viele Zulieferer wie beispielsweise Continental konzentrieren sich auf die Produktion kompletter Batteriesysteme und Module, um sich eine starke Marktposition zu sichern und Skaleneffekte zu generieren (Proff & Kilian 2012).

Bei der Produktion von Lithium-Ionen-Batterien nehmen deutsche Hersteller jedoch keine relevante Marktposition ein. In Deutschland sind z.Z. die vier Unternehmen Li-Tec, Gaia, Varta Microbatteries und Lechlanche mit einer Zellproduktion vertreten (Fraunhofer ISI 2013).

Verschiedene deutsche Unternehmen sind Kooperationen und Joint Ventures mit anderen Unternehmen eingegangen. Beispielhaft genannt sei hier Evonik, welches in der Herstellung von Lithium-Ionen Batteriepaketen in dem Joint Venture Deutsche Accumotive mit Daimler zusammenarbeitet. Auch im Bereich der Batterieforschung wurden frühzeitig Kooperationen und Joint Ventures geschlossen. So arbeitet z.B. seit 2009 Varta Microbatteries mit VW im Joint Venture Volkswagen Varta Microbattery zusammen, sowie seit 2013 Continental und SK Innovation im Joint Venture SK Continental Emotion (Fraunhofer ISI 2013).

Durch den internationalen Wettbewerb werden in vielen Feldern strategische Kooperationen zwischen Automobilherstellern und Zulieferbetrieben mit entsprechenden Kompetenzen in relevanten Gebieten der Technik verfolgt. Beispielhaft genannt werden können hier strategische Kooperationen zwischen Daimler und Bosch, Volvo und Siemens und zwischen General Motors und LG (Koch & Meisinger 2011).

## **Verbraucher und Marktentwicklung**

Deutschland hatte im Januar 2014 eine Flotte von 53 Millionen registrierten Kraftfahrzeugen; den Großteil hiervon machen 43,9 Millionen registrierte Pkw aus (KBA 2014a). Im Jahr 2013

wurden 2,95 Million Pkw neu zugelassen. Trotz leicht rückläufiger Zulassungszahlen gegenüber 2012 stellt Deutschland innerhalb der EU den größten Pkw-Markt dar (ACEA 2014).

Benzin- und Dieselfahrzeuge machen zusammen über 98 % der deutschen Pkw-Flotte aus (siehe Abb. 5-3). Nur 0,22 % der Flotte sind elektrifizierte Fahrzeuge, von denen Hybride (HEV und PHEV<sup>11</sup>) mit 85 375 den Großteil ausmachen. Bis Januar 2014 waren in Deutschland insgesamt 12 156 BEV registriert (KBA 2014a).

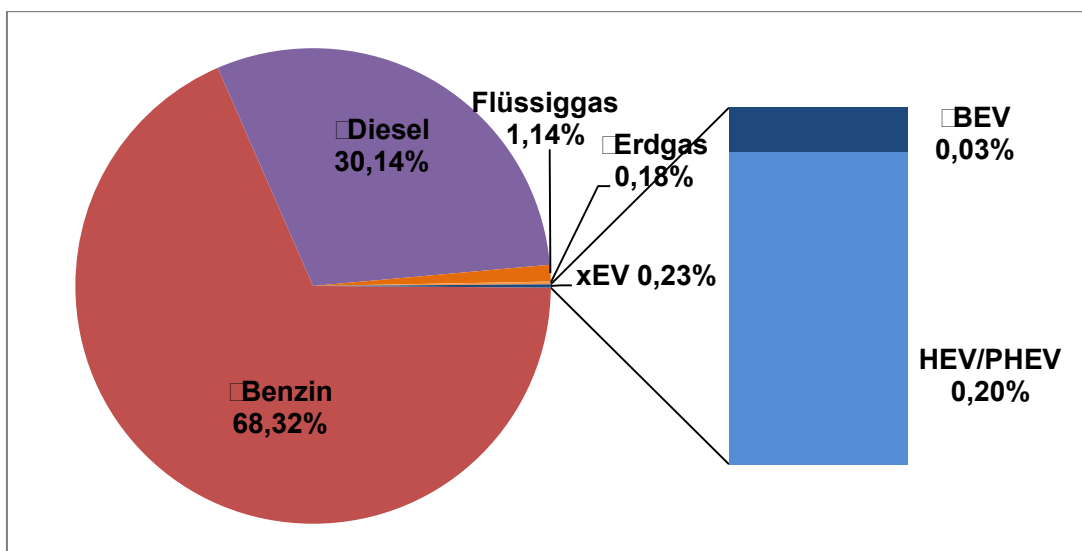


Abb. 5-3 Pkw-Bestand in Deutschland im Januar 2014 nach Kraftstoffarten

Quelle: eigene Darstellung nach KBA 2014a

Bei der Entwicklung der Neuregistrierungen lässt sich jedoch ein positiver Trend bei den elektrifizierten Fahrzeugen feststellen. Im Jahr 2008 wurden nur 6 500 hybridelektrische Fahrzeuge neu zugelassen. Seitdem stiegen die jährlichen Zulassungen kontinuierlich an (siehe Abb. 5-4). 2013 wurden 26 348 hybridelektrische Fahrzeuge zugelassen, davon 1 385 PHEV. Dies wurde 2014 mit 27 435 HEV/PHEV Neuzulassungen noch übertroffen. Damit erreichten HEV einen Anteil von 0,9 % unter den Neuzulassungen. Rein batterieelektrische Fahrzeuge weisen ebenfalls starke Wachstumsraten bei den Neuzulassungen auf. Zwischen 2008 und 2011 vervierfachten sich die Zulassungszahlen jährlich - bei geringen absoluten Neuzulassungen - und erreichten 2 154 Zulassungen in 2011. Auch in den Folgejahren fand ein kontinuierliches Wachstum der Neuzulassungen statt. 2014 wurden 8 522 BEV zugelassen, was einem Marktanteil von 0,3 % entspricht.

<sup>11</sup> Das Kraftfahrtbundesamt erfasst HEV seit 2005. In den Daten enthalten sind auch PHEV (inkl. REEV). PHEV-Zulassungen werden erst seit 2013 separat erfasst.

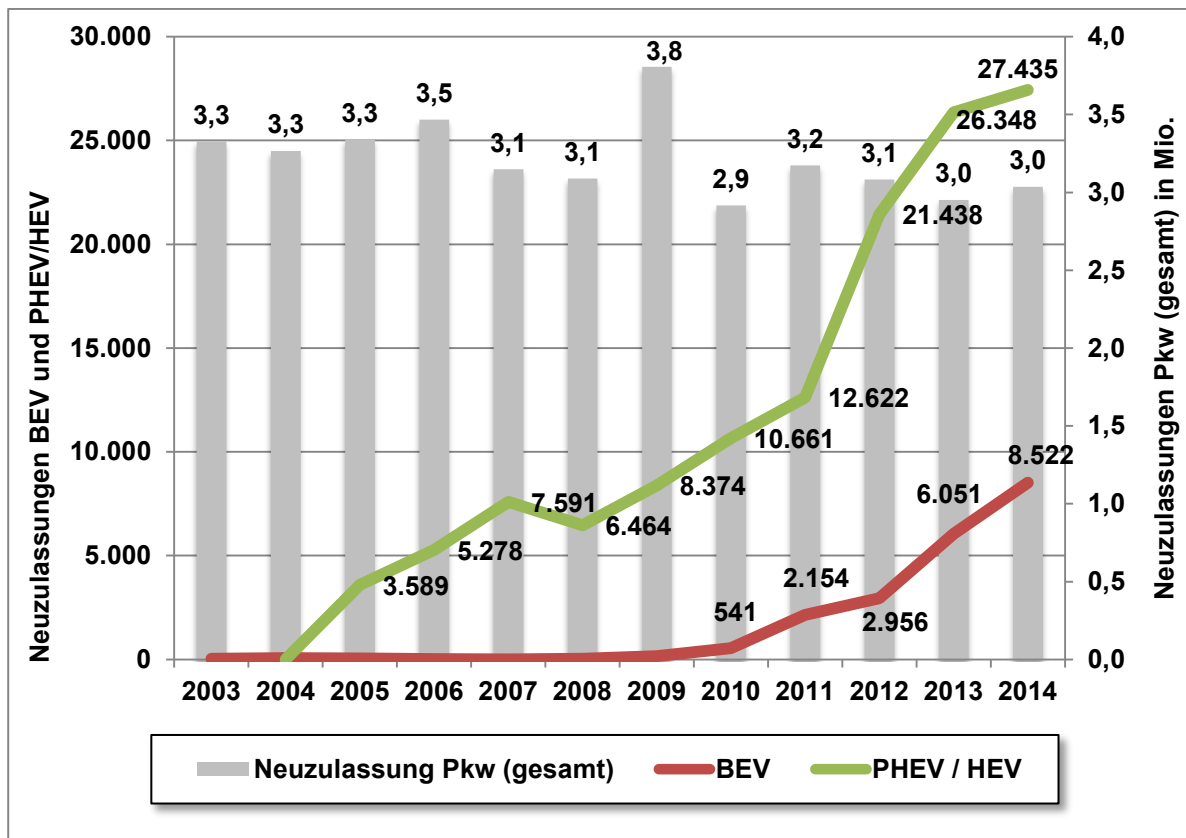


Abb. 5-4 Neuzulassungen von BEV, PHEV / HEV und konventionellen Pkw in Deutschland

Quelle: eigene Darstellung nach (KBA 2014b)

Die 2013 in Deutschland meist verkauften batterieelektrischen Fahrzeugmodelle sind der „Smart Fortwo Electric Drive“ mit einem Marktanteil von 22%, der „Renault Zoe“ mit einem Marktanteil von 17% und der „Nissan Leaf“ mit einem Anteil von 14 % (siehe Abb. 5-5).

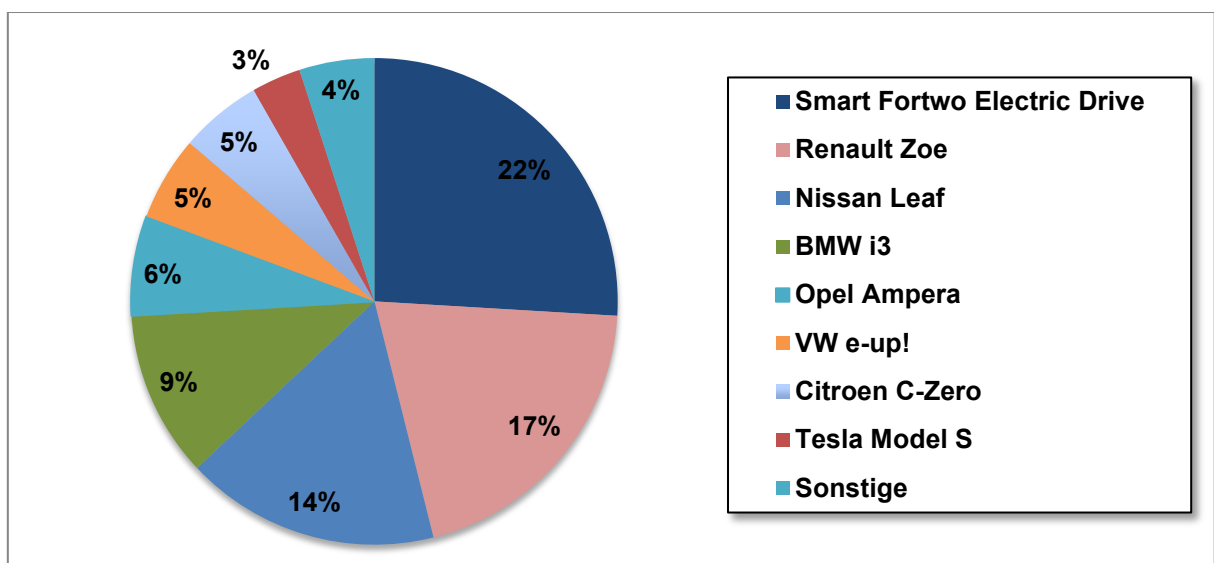


Abb. 5-5 Marktanteile: Meist verkaufte Modelle nach Herstellern im Jahr 2013

Quelle: eigene Darstellung nach (KBA 2014b)

Bei den meisten BEV-Modellen betrug der Anteil an gewerblichen Zulassungen über 90 % (KBA 2014b). Eine Ausnahme bildet hier der „Renault Zoe“ mit nur 70 % gewerblichen Zulassungen. Es kann angenommen werden, dass viele Fahrzeuge für Test- und Demonstrationszwecke zugelassen werden. Außerdem nutzen verschiedene Car-Sharing-Anbieter Elektrofahrzeuge in ihren Flotten. Vollständige Daten zum Einsatz von BEV in Car-Sharing-Flotten liegen nicht vor. Auf Basis verfügbarer Kennzahlen (Müller et al. 2013) ist davon auszugehen, dass ca. acht bis zehn Prozent der registrierten BEVs in Deutschland in Car-Sharing-Flotten eingesetzt werden. Ein wesentlicher Anteil der bestehenden Flotte von Elektrofahrzeugen in Deutschland wurde außerdem im Rahmen von Demonstrationsprojekten angeschafft. In den Projekten Modellregion Elektromobilität I und II wurden 3 000 Fahrzeuge eingesetzt (Sévin 2014).

Verschiedene Studien haben die Nutzerakzeptanz von Elektrofahrzeugen in Deutschland untersucht (vgl. Bozem et al. 2013, Paternoga et al. 2013, Peters & Hoffmann 2011, Dudenhöffer, 2013, Aral, 2011). Insgesamt zeigt sich, dass die Mehrheit der Nutzer ähnliche Ansprüche an ein Elektrofahrzeug stellt wie an ein konventionelles Fahrzeug (z.B. hinsichtlich Kosten und Reichweite). Die Mehrkostenbereitschaft ist sehr begrenzt (siehe Paternoga et al. 2013, Bozem et al. 2013). Jedoch würden trotz der Mehrkosten mehr potentielle Käufer ein BEV in Betracht ziehen, wenn die Reichweite weit über 150 km liegen würde. Freies Parken oder Zufahrtsbeschränkungen für konventionelle Fahrzeuge würden einige potentielle Nutzer dazu bewegen, Elektrofahrzeuge in Betracht zu ziehen (Bozem et al. 2013). Basierend auf die heutigen Charakteristika hinsichtlich Reichweite, Treibstoffkosten und Anschaffungskosten präferieren Nutzer konventionelle Antriebe. Bei den elektrifizierten Fahrzeugen präferieren die Nutzer in Umfragen PHEV vor HEV und BEV. Die Mehrheit der Nutzer (90 % der Befragten in Bozem et al. 2013) halten Heimlademöglichkeiten für wichtig bis sehr wichtig. Heimladung wird gegenüber Lademöglichkeiten am Arbeitsplatz oder im öffentlichen Raum von deutlich mehr Nutzern als wichtig eingeschätzt.

Die Marktperspektiven für Elektrofahrzeuge in Deutschland wurden in zahlreichen Studien untersucht. Ein Überblick über zentrale Studien wird in Tab. 5-7 gegeben. Die Studien variieren in Methodik, Ausrichtung und Annahmen sowie in den betrachteten Einflussfaktoren, wodurch die Ergebnisse nur begrenzt vergleichbar sind. Je nach Studie und Szenario variiert die Marktdurchdringung von PEV stark (siehe Abb. 5-6). Die meisten Szenarien resultieren in einer relativ geringen Marktdurchdringung von unter 5 % Marktanteil von PEVs im Jahr 2020. Auch in optimistischen Szenarien liegt der Marktanteil nicht über 10 %. Eine stärkere Marktdurchdringung sehen die meisten Studien bis 2030.

Hinsichtlich des Bestands an PEV kommen die meisten Studien zum Ergebnis, dass das Regierungsziel von einer Millionen PEV bis 2020 nicht erreicht wird oder nur durch Implementierung starker Anreize zu erreichen ist. Die NPE nimmt an, dass die PEV Flotte ohne zusätzliche Anreize bis 2020 auf 450 000 Fahrzeuge wachsen wird (NPE 2011). Im Fraunhofer ISI pro-EV-Szenario (Plötz et al. 2013) wird das Ziel ohne zusätzliche Anreize, aber unter der Annahme deutlicher Mehrpreisbereitschaft, Reduktion in den Infrastrukturkosten und einer vorteilhaften Preisentwicklung für Batterien, Kraftstoffe und Strom erreicht.

Insgesamt zeigt sich auch in den Studien die starke Abhängigkeit der Marktentwicklung von Rahmenbedingungen wie Kraftstoffpreisen, Strompreisen und technologischen Entwicklungen sowie dem regulatorischen Rahmen und monetären sowie nicht-monetären Anreizsystemen.

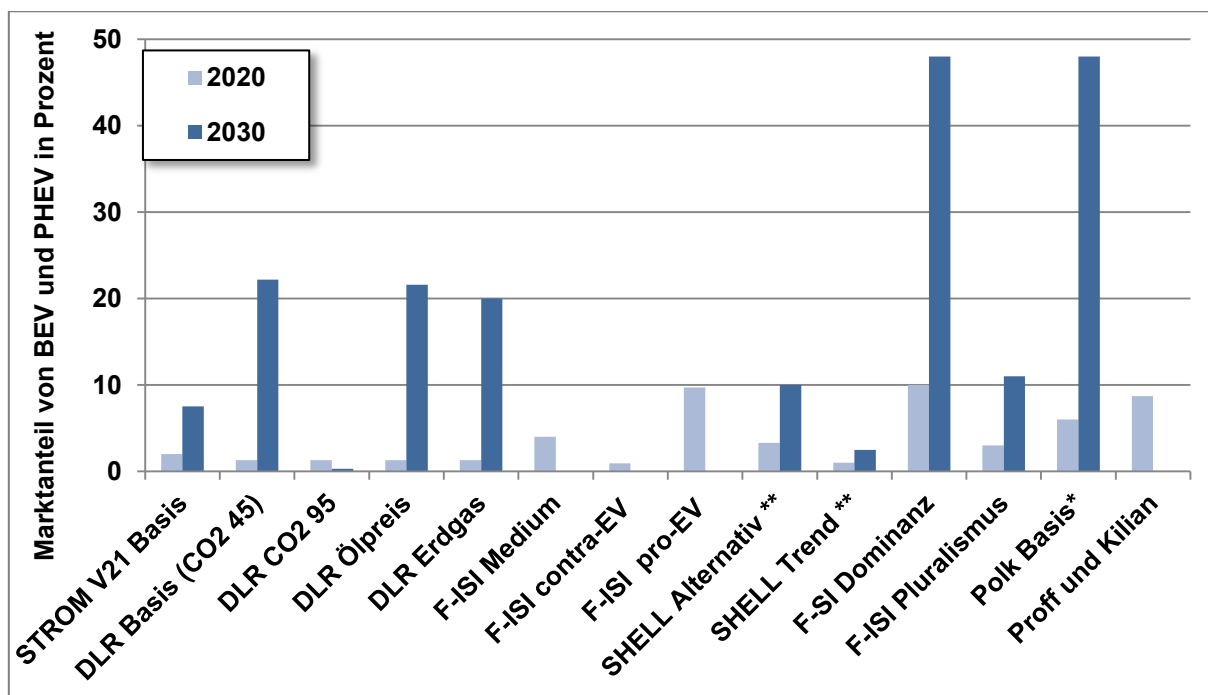


Abb. 5-6 Überblick über die Marktdurchdringung von PEV in Deutschland in verschiedenen Szenarienprojektionen (dargestellt auf Basis des Marktanteils in 2020 und 2030 in verschiedene Szenarioprojektionen) [\*\*nur BEV]

Quelle: Eigene Darstellung nach (Brokate et al. 2013, ESMT 2011, NPE 2011, Shell 2009, Wietschel & Dallinger, 2008, Plötz et al. 2013, Polk 2011, Proff & Kilian, 2012)

<b>Autoren</b>	<b>Studie [in Abb. 5-6 dargestellte Szenarien]</b>	<b>Modell/Leitfragen</b>
STROM Vector 21	STROM - Technologiemonitoring (vgl. Unterkapitel 4.4) [STROM V21 Basis]	Das Vector 21 Modell ermöglicht es, das Kaufverhalten von Neuwagenkunden zu simulieren. Dabei werden verschiedene Kundenprofile sowie unterschiedliche Fahrzeugmodelle berücksichtigt.
Brokate et al. 2013	Der Pkw Markt bis 2040: Was das Auto von morgen antreibt. (DLR) [DLR Basis, DLR CO <sub>2</sub> 95, DLR Ölpreis, DLR Erdgas]	Untersuchung der Flottenzusammensetzung bis 2040 vor dem Hintergrund von strengen CO <sub>2</sub> -Flotten-Limits. Simulation mit dem DLR VECTOR21 Modell.
Plötz et al. 2013	Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge (Fraunhofer ISI) [F-ISI Medium, F-ISI contra-EV, F-ISI pro-EV]	Untersuchung der Entwicklung des Marktes für Elektrofahrzeuge bis 2020 basierend auf derzeitigem Fahrverhalten, ökonomischen und technischen Daten, sowie Simulationen mit dem erweiterten TCO-Modell ALADIN.
Shell (2009)	Pkw Szenarien bis 2030 [SHELL Alternativ]	Vergleich der Flottenentwicklung und -zusammensetzung in einem Trend-Szenario (Technischer Fortschritt führt zu niedrigeren „Turnover“ Raten) und einem Alternativ-Szenario (starker politischer Rahmen für alternative Antriebe).
Wietschel und Dallinger 2008	Fraunhofer ISI 2008: Quo vadis Elektromobilität [F-ISI Dominanz, F-ISI- Pluralismus]	Vergleich eines sehr optimistischen Szenarios (Dominanz-Szenario) mit technischem Fortschritt und politischer Unterstützung für Elektrofahrzeuge mit einem Szenario, in dem verschiedene Technologien gleichermaßen entwickelt und gefördert werden (Pluralismus-Szenario).
Polk 2011	Polk 2011: Electric Vehicle Demand Global forecast through 2030 [Polk Basis]	Untersuchung der Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen (BEV und REEV). Das Basis-Szenario geht von starker Reduktion der Batteriekosten und starkem Ausbau der Infrastruktur aus.
Proff und Kilian (2012)	Competitiveness of the EU Automotive Industry in Electric Vehicles [Proff und Kilian]	Untersuchung der Entwicklung des PEV-Marktes mithilfe eines Marktmodells welches neben ökonomischen und fahrzeugspezifischen Faktoren auch nutzerspezifische Faktoren und politische Rahmensezungen berücksichtigt und mit Experteneinschätzungen verifiziert wurde.
ESMT 2011	MMEM 2011: Marktmodell Elektromobilität	Marktmodell, das verschiedenen Politikmaßnahmen für Elektrofahrzeuge und deren Auswirkungen die Kaufbereitschaft untersucht.
NPE 2011b	Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität	Verwendung eines TCO-Modells, Ziel ist es zu untersuchen, unter welchen Rahmenbedingungen das Regierungsziel von 1 Mio. Elektrofahrzeugen erreicht wird.
Hacker et al. 2011	Ökoinstitut 2011: Umweltlastungspotential durch Elektromobilität – Projekt E-Mobility	Die Studie untersucht die Marktdurchdringung basierend auf Annahmen zu technischem Fortschritt, Nutzerakzeptanz und Wirtschaftlichkeit. Lediglich BEV in den Segmenten Mini, Klein und Kompakt werden untersucht.

**Tab. 5-7 Überblick über ausgewählte Studien zur Marktdurchdringung von BEV/PHEV**

Quelle: eigene Darstellung nach genannten Studien

## Fazit

Die Bundesregierung hat sich ambitionierte Ziele im Bereich der Elektromobilität gesetzt und will Deutschland sowohl zum Leitmarkt als auch zum Leitanbieter entwickeln. Mit ihrer Strategie zur Elektromobilität verfolgt die Regierung verschiedene energie-, umwelt- und industriepolitische Ziele. Zentrale Elemente der Strategie sind zum einen die Forschungsförderung zur Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnologie und Senkung der Kosten, zum anderen Demonstrationsprojekte, in denen Nutzer an die Elektromobilität herangeführt werden und die Technologien und Geschäftsmodelle getestet und weiterentwickelt werden. Dabei konnten in den letzten Jahren wesentliche Fortschritte erreicht werden und zahlreiche BEV- oder PHEV-Modelle wurden von deutschen Herstellern auf den Markt gebracht. Auch die Anzahl der in Deutschland produzierten Elektrofahrzeuge ist deutlich gestiegen – wenn auch auf geringem Niveau. Jedoch handelt es sich bei der Mehrzahl der neu registrierten Fahrzeuge um importierte Modelle. Insgesamt ist der Marktanteil von Elektrofahrzeugen unter den neu registrierten Pkw noch sehr gering, konnte aber in den letzten Jahren deutlich gesteigert werden. Anfang 2014 waren ca. 12 000 BEV in Deutschland registriert. Für Nutzer gibt es bislang kaum Anreize zum Kauf oder zur Nutzung eines Elektrofahrzeuges, wobei Mehrkosten und begrenzte Reichweite die größten Hemmnisse darstellen. Die Nutzung in Fahrzeugflotten inklusive Car-Sharing-Flotten dominiert derzeit. Auch die Demonstrationsprojekte haben bei der Marktentwicklung eine unmittelbare Wirkung – mit 3 000 allein in den Modellprojekten I und II eingesetzten Fahrzeugen und dem Aufbau von 2 800 Ladepunkten.

Insgesamt arbeiten Politik, Industrie und Wissenschaft in Deutschland im Bereich Elektromobilität eng zusammen, was sich aus dem Design der Förderprogramme und den entstandenen Allianzen und Plattformen zur Elektromobilität ableiten lässt. Auch wenn Deutschland noch weit vom Millionenziel der Bundesregierung entfernt ist, lässt sich ein positiver Trend hinsichtlich der Anbieterschaft und Marktentwicklung ableiten.

### 5.2.2 Europa

H. Hüging (WI)

Im Rahmen der Regionalstudie Europa wurden die wichtigsten Trends auf dem Feld der Elektromobilität exemplarisch in fünf Fallstudien die Situation in Frankreich, Großbritannien, Norwegen, Italien und Polen betrachtet. Die fünf ausgewählten Länder reflektieren die regionalen Unterschiede im Hinblick auf sozio-ökonomische Faktoren als auch auf politische Rahmenbedingungen und Maßnahmen innerhalb Europas. Zudem werden die Rolle der EU und die Entwicklung auf gesamteuropäischer Ebene betrachtet. Neben Deutschland sind Großbritannien, Frankreich und Italien die größten Automobilmärkte in Europa (auf Basis der Neuzulassungen in 2012) und spielen damit auch für Elektrofahrzeuge eine wichtige Rolle. Norwegen spielt eine Sonderrolle und ist als vergleichsweise kleiner Automobilmarkt weltweit führend hinsichtlich des Marktanteils von Elektrofahrzeugen. Polen repräsentiert die osteuropäischen Staaten und steht exemplarisch für eine weniger auf Elektromobilität ausgerichtete Politik.



## **Regierung / Politik / Öffentliche Infrastruktur**

Auf gesamteuropäischer Ebene betreibt die Europäische Union Politik zur Förderung und Regulierung von xEVs auf der Grundlage ihrer Energie- und Verkehrspolitik, die in nationale Energiestrategien und Maßnahmen übersetzt und dadurch in die einzelnen Mitgliedsländer übertragen wird. Ein wichtiges Instrument, das Einfluss auf die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen hat, ist die EU-Verordnung über CO<sub>2</sub>-Flottenemissionslimits für Neuwagen. Der Grenzwert für die durchschnittlichen Fahrzeugemissionen eines Herstellers wurde für 2015 auf 130 g CO<sub>2</sub> pro gefahrenem Kilometer für Neuwagen (Pkw) festgesetzt. Bis zum Jahr 2020 werden die Grenzwerte weiter auf 95 g CO<sub>2</sub> pro Kilometer gesenkt. Elektrofahrzeuge profitieren bei diesem Flottenlimit insbesondere durch die sogenannten „Supercredits“: Jedes Fahrzeug mit Emissionen unter 50 g/km) wurde als 3,5 Fahrzeuge in 2012 und 2013 gewertet und wird jeweils als 2,5 Fahrzeuge im Jahr 2014 und als 1,5 Fahrzeuge im Jahr 2015 angerechnet. Erst ab 2016 wird es als ein Fahrzeug gezählt werden. Die Regulierungsverordnungen geben den Herstellern hierdurch zusätzliche Anreize für die Produktion von Fahrzeugen mit sehr niedrigen Emissionen. „Supercredits“ werden auch in der zweiten Stufe von Emissionsreduktionen von 2020 bis 2023 gelten (European Commission 2014).

Im Folgenden werden die fünf Fallstudienländer Frankreich, Großbritannien, Norwegen, Italien und Polen detaillierter betrachtet. Hierbei werden die drei Dimensionen „Regierungsstrategie“, „Anreizsysteme“ und „Infrastruktur“, die für die zukünftige Entwicklung der Elektromobilität essentiell sind, für jedes der fünf Länder dargestellt.

### **Frankreich**

#### *Regierungsstrategie*

Frankreichs Regierungsstrategie für xEVs basiert auf dem sogenannten „Electric Vehicle Plan“, der im Jahr 2009 verabschiedet wurde. Der französische Umwelt- und Verkehrsminister Jean-Louis Borloo stellte einen 14-Punkte-Plan vor, um die Entwicklung von xEVs zu fördern. Die französische Regierung machte die Einführung des Elektroantriebs daraufhin zu einer der obersten Prioritäten in den folgenden Jahren. Das übergeordnete Ziel der Regierung, bis zum Jahr 2020 zwei Millionen Elektroautos auf der Straße zu haben, wird derzeit als zu ambitioniert eingeschätzt. Bis 2025 sollen laut dem „Electric Vehicle Plan“ sogar 4,5 Millionen Fahrzeuge auf den Straßen sein.

#### *Anreizsysteme*

Steuerbefreiungen werden auch für Firmenwagen gewährt: Fahrzeuge, die weniger als 50 g CO<sub>2</sub>/km ausstoßen, wie BEVs und PHEVs, sind von der Steuer ausgenommen. Eine teilweise Steuerbefreiung gilt für Hybridfahrzeuge: HEVs, die weniger als 110 g CO<sub>2</sub>/km emittieren, sind für die ersten beiden Jahre nach dem Kauf befreit (IA-HEV 2013). Außerdem bestehen auch für Gebrauchtwagen auf den CO<sub>2</sub>-Emissionen basierende Steuervergünstigungen.

Steuerbefreiungen werden auch für Firmenwagen gewährt: Fahrzeuge, die weniger als 50 g CO<sub>2</sub>/km ausstoßen, wie BEVs und PHEVs, sind von der Steuer ausgenommen. Eine teilweise Steuerbefreiung gilt für Hybridfahrzeuge: HEVs, die weniger als 110 g CO<sub>2</sub>/km emittieren, sind für die ersten beiden Jahre nach dem Kauf befreit (IA-HEV 2013). Außerdem bestehen auch für Gebrauchtwagen auf den CO<sub>2</sub>-Emissionen basierende Steuervergünstigungen.

Als weiteres Instrument zur Verbreitung von Elektrofahrzeugen stellt in Frankreich die Beschaffung von xEVs durch große, oft staatliche Unternehmen dar. Einer Initiative der La Poste folgend, hat eine Gruppe von 20 Großunternehmen und staatlichen Vereinigungen eine gemeinsame öffentliche Ausschreibung für den Aufbau einer Flotte von 100 000 Fahrzeugen bis zum Jahr 2015 auf den Weg gebracht. Im Oktober 2011 wurden die ersten Aufträge an PSA und Renault vergeben. Im Jahr 2012 hat die nationale Regierung außerdem festgelegt, dass 25% der öffentlich beschafften Fahrzeuge ein Hybrid- oder Elektrofahrzeug sein sollen, was 1 500 Fahrzeugen pro Jahr entspricht (IA-HEV 2013).

### *Infrastruktur*

Ein 50 Mio. Euro umfassendes Investitionsprogramm zur Förderung von Elektrofahrzeugen und Ladeinfrastruktur wurde im Herbst 2012 unter der Bezeichnung „Hirtzmann Mission“ ins Leben gerufen. Das Investitionsprogramm fördert in erster Linie die Bereitstellung von Ladestationen. Bis 2025 soll eine Ladeinfrastruktur bestehend aus 9,9 Mio. Ladepunkten in Frankreich eingerichtet werden. Davon sollen 9 Mio. private Ladepunkte sein, 750 000 öffentliche Standardladepunkte und 150 000 öffentliche Schnellladepunkte (City, Mobility & Transport Laboratory 2013). Um die Versorgung mit Ladeinfrastruktur zu gewährleisten, wurden außerdem Gesetze erlassen, gemäß denen bei jedem neue Gebäude seit 2012 eine Stromversorgung bei den Parkplätzen angelegt werden muss. Außerdem müssen bis 2015 Parkplätze an Arbeitsplätzen verpflichtend an die Stromversorgung angeschlossen werden.

Ende 2012 gab es 749 Ladestationen in Frankreich; diese enthielten 2 561 Ladepunkte, von denen 5,6 % (42 Stationen/ 143 Ladepunkte) Schnellladestationen waren (IA-HEV 2013).

## **Großbritannien**

### *Regierungsstrategie*

Die Aktivitäten der britischen Regierung im Bereich der xEVs werden von dem „Four-Year Business Plan 2011-2015: Decarbonization of Road Transport“ bestimmt. Anders als andere Länder in Europa hat Großbritannien eine Regierungsbehörde gegründet, die für die Förderung der xEVs verantwortlich ist: Das „Office of Low Emission Vehicles“ (OLEV). OLEV implementiert die landesweite Strategie zur Förderung von xEV-Infrastruktur, unterstützt Pilotprogramme, treibt die Standardisierung, koordiniert und konsolidiert Forschung und Entwicklung und fördert den Kauf von xEVs.

### *Anreizsysteme*

Die britische Regierung hat etwa 400 Mio. GBP (ca. 500 Mio. Euro) zur Förderung des Kaufs, der Nutzung und der Produktion von Niedrigemissionsfahrzeugen („ultra-low emission vehicles“) bereitgestellt. Darunter fällt auch ein Anreizprogramm, genannt Plug-In Car Grant, für den Kauf von emissionsarmen Fahrzeugen. Seit Januar 2011 können Verbraucher im Rahmen des Plug-In-Car Grant-Programms einen Zuschuss von 25 % zu den Kosten des Fahrzeugs bis zu einem Maximum von 5 000 GBP (ca. 5 800 Euro) erhalten. Neben BEVs und PHEVs sind auch FCEVs und andere Technologien förderberechtigt. Im Jahr 2012 wurde der Zuschuss außerdem als sogenannte „Plug-in Van Grant“ auf Transporter erweitert. Beide Zuschüsse gelten für Unternehmen und als auch private Nutzer und können bei Fahrzeugkauf oder Leasing angewendet werden. Zuschüsse für Transporter

sind dabei auf 20 % des Preises bis zu einer Obergrenze von 8 000 GBP (ca. 9 250 Euro) beschränkt (IA-HEV 2013). Bis Ende 2012 wurden Zuschüsse für über 3 000 Fahrzeuge über die Plug-in Car Grant beantragt und weitere 215 über die Plug-in Van Grant.

Sonstige finanzielle Anreize auf nationaler Ebene sind unter anderem:

- Befreiung von Fahrzeugsteuer (bei Auspuffemissionen <100 g CO<sub>2</sub>/km);
- Befreiungen bei der Firmenwagensteuer;
- verbesserte Abschreibungsregelungen bis zu 100 % (Unternehmen können die gesamten Anschaffungskosten eines Elektroautos oder Transporters im Jahr der Anschaffung abschreiben).

Weitere lokale Maßnahmen sind eine Befreiung von den Mautgebühren in London („London congestion charge“) sowie Befreiungen oder Reduzierung der Parkgebühren in einigen Kommunen (IA-HEV 2013).

Zur Förderung von xEVs wurde im Juli 2011 außerdem das sogenannte „Low Carbon Vehicle Public Procurement Programme“ (LCVPP) von verschiedenen lokalen Behörden beschlossen und teilweise durch das Ministerium für Wirtschaft finanziert. Das Ziel des LCVPP ist die Förderung der öffentlichen Beschaffung von umweltfreundlichen Fahrzeugen (insbesondere xEVs). Öffentliche Verwaltungen, die solche Fahrzeuge erwerben, erhalten eine Kofinanzierung. Das Gesamtbudget der Initiative liegt bei etwa 20 Millionen GBP (CleanVehicleEurope 2012).

### *Infrastruktur*

Der Ausbau der Infrastruktur wird maßgeblich durch das „Plugged-in Places Programme“ bestimmt. Das Programm ist eine öffentlich finanzierte Initiative der Regierung, angeführt vom OLEV. Im Rahmen des Programms werden von der britischen Regierung Zuschüsse für die Installation von öffentlichen Ladestationen für xEVs an Regionalregierungen vergeben. Bis Dezember 2012 wurden über 2 800 Ladepunkte im Rahmen von acht „Plugged-in Places“-Projekten eingerichtet. Etwa 70 % dieser Ladepunkte sind öffentlich zugänglich. Daten der Hersteller von Ladestationen zeigen, dass auch andere Organisationen vermutlich über 5 000 Ladepunkte landesweit installiert haben (IA-HEV 2013).

Im Februar 2013 kündigte das Verkehrsministerium ein weiteres 37 Mio. GBP (43 Mio. Euro) schweres Maßnahmenpaket an, welches weitere Unterstützung für die Installation und Nutzung von Ladeinfrastruktur bereitstellt. Hierzu zählen Zuschüsse für die Installation von Ladeinfrastruktur für Hausbesitzer, Budgets für lokale Verwaltungen, um Ladeinfrastruktur auf den Straßen zu installieren, sowie Ladeanlagen an Bahnhöfen und auf Regierungsgeländen (IA-HEV 2013).

## **Norwegen**

### *Regierungsstrategie*

Norwegens Strategie hinsichtlich xEVs basiert auf dem „Commitment to a Change in Vehicle Technology“ der norwegischen Regierung. Die parteienübergreifende Vereinbarung zum Klimaschutz („agreement on climate“) von 2012 setzt einen wichtigen Meilenstein auf dem Weg zu einem klimaneutralen Verkehrssektor: Bis 2020 sollen die durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen neuer Pkw in Norwegen 85 Gramm pro Kilometer betragen und damit 10 g unter den geplanten Grenzwerten in der EU liegen (EV Norway 2014).

Herausragend innerhalb Europas ist die Initiative „Grønn Bil“ von norwegischer Regierung und Industrie. Das Projekt „Grønn Bil“ wurde von der Vereinigung der norwegischen Energieunternehmen gestartet, um die Einführung von 200 000 xEVs auf norwegischen Straßen bis zum Jahr 2020 zu erreichen. Zusätzlich sind Transnova, eine Unterabteilung des norwegischen Ministeriums für Verkehr, sowie der Verband der norwegischen Kommunen im Lenkungsausschuss der Initiative.

### *Anreizsysteme*

Essentiell für das Verständnis des norwegischen Anreizmodells für xEVs ist die Tatsache, dass herkömmliche Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor in Norwegen sehr stark besteuert werden. Beim Import werden die Fahrzeuge unter anderem nach Gewicht, CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie NO<sub>x</sub>-Emissionen besteuert. Hinzu kommen 25 % Mehrwertsteuer (Hannisdahl et al. 2013). Für Elektrofahrzeuge hat die Regierung in Norwegen dagegen ein umfassendes steuerliches Anreizsystem für Kauf und Nutzung eingeführt, von dem insbesondere BEV profitieren. Dies führt zu einer erheblichen Verringerung der Gesamtkosten der Fahrzeuge vor allem dank folgender Regelungen:

- keine Mehrwertsteuer für BEV und FCEV,
- kein Einfuhrzoll für BEV und FCEV,
- Reduktion der jährlichen Kfz-Steuer,
- kostenloses Parken auf öffentlichen Parkplätzen;
- gebührenfreie Nutzung von Mautstraßen und Fähren,
- Erlaubnis zur Nutzung von Busspuren (CleanVehicleEurope 2012).

Seit dem Programm zur Förderung der Elektromobilität von 2011 gilt eine Bevorzugung von BEVs in der Beschaffung bei öffentlichen Stellen wie der Zentralregierung und lokalen Verwaltungen. Hierdurch soll sichergestellt werden, dass alle Fahrzeuge der öffentlichen Verwaltung bis 2020 CO<sub>2</sub>-frei oder CO<sub>2</sub>-neutral angetrieben werden (CleanVehicleEurope 2012).

Nach Auskunft der interviewten Experten kosten die Steuerermäßigungen die öffentliche Hand durchschnittlich 15 000 bis 20 000 Euro pro Fahrzeug. Das Anreizsystem soll bis 2018 bestehen bleiben - oder bis 50 000 Fahrzeuge auf den Straßen sind, was voraussichtlich bereits im Jahr 2015 oder Anfang 2016 erreicht wird (EV Norway 2014). Die Anreize werden hauptsächlich von privaten Fahrzeugbesitzern in Anspruch genommen. Um eine höhere Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen in Unternehmensflotten zu erreichen, wurden die finanziellen Anreize auf das Leasing von xEVs erweitert (Transnova 2013). Seit 2011 genießen xEVs bereits eine ermäßigte MwSt-Einstufung beim Leasing im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen und es gibt auch eine vollständige Befreiung von der Mehrwertsteuer für den Kauf von Traktionsbatterien (d.h. für einen möglichen Austausch der Batterie) (CleanVehicleEurope 2012).

Zusätzlich zu den Anreizen sind die Betriebskosten der BEVs deutlich niedriger als bei einem ähnlichen Verbrennungsfahrzeug. Das Ergebnis ist, dass in Norwegen die Gesamtkosten (TCO) für BEVs im Vergleich zu Verbrennungsfahrzeugen deutlich geringer ausfallen (Hannisdahl et al. 2013).

### *Infrastruktur*

Vor 2008 war die xEV-Ladeinfrastruktur nur dürftig ausgebaut. Ab 2009, mit der gleichzeitigen Einführung eines nationalen xEV-Infrastrukturprogramms von Transnova und einem lokalen Programm in Oslo, wurden massiv Ladestationen in ganz Norwegen aufgebaut. Die große Mehrzahl der Ladestationen in Norwegen verfügen über reguläre Schuko-Steckdosen. Wie der Rest Europas wird auch Norwegen zukünftig sukzessive den Typ-2-Standard für neue Ladepunkte übernehmen (EV Norway et al. 2014). Zusätzlich hat Norwegen ein Förderbudget für xEV-Ladestationen von etwa 100 Mio. NOK (ca. 11,9 Mio. Euro) beschlossen. Neue Ladestationen sind insbesondere auf öffentlichen Parkplätzen geplant (CleanVehicleEurope 2012).

## **Italien**

### *Regierungsstrategie*

Italiens Strategie für Elektrofahrzeuge basiert auf dem „Commitment to Support Electric Mobility“ der italienischen Regierung. Im Jahr 2012 wurde eine nationale Politik für die Einführung sauberer Fahrzeuge, darunter Kaufanreize und die Etablierung von Ladeinfrastruktur, offiziell als Teil eines Gesetzes zur Förderung der wirtschaftlichen Entwicklung des Landes beschlossen. Die Strategie umfasst drei wesentliche Tätigkeitsfelder:

- Aufbau einer nationalen Ladeinfrastruktur für jede Art von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen
- Demonstration und Verbreitung von emissionsarmen Fahrzeugen in öffentlichen und privaten Fuhrparks, vor allem für den Einsatz in städtischen Gebieten
- Finanzielle Kaufanreize für Elektrofahrzeuge jeglicher Art.

Die genehmigten Gesetze beinhalten außerdem Regelungen, gemäß denen die lokalen Behörden die öffentliche und private Installation von xEV-Ladestationen fördern können. Insgesamt werden öffentliche Mittel von 120 Millionen Euro von 2013 bis 2015 zur Verfügung stehen (IA-HEV 2013).

### *Anreizsysteme*

Italien bietet Kaufanreize für Fahrzeuge mit alternativem Antrieb (Strom, Erdgas, Flüssiggas, Biokraftstoffe oder Wasserstoff): Der Verkaufspreis für Neufahrzeuge mit CO<sub>2</sub>-Emissionen von weniger als 50 g/km wird mit bis zu 20 % (maximal 5 000 Euro) subventioniert. Der Subventionsbetrag sinkt mit steigenden Fahrzeugemissionen bis maximal 120 CO<sub>2</sub> g/km. Der Kaufanreiz wird zum Großteil an Flotten des öffentlichen Dienstes vergeben (70 % des Gesamtfonds). Als weitere Voraussetzungen muss ein altes Fahrzeug der gleichen Kategorie wie das gekaufte Fahrzeug verschrottet werden. Die berechtigten Fahrzeugklassen sind zwei- und dreirädrige Motorräder und Mopeds, sowie Transporter und Pkw (IA-HEV 2013). Für den Erwerb von BEV wird außerdem eine fünf Jahre lange Befreiung von der Kfz-Steuer und ein anschließende Steuerermäßigung von 75 % gewährt. Hinzu kommen verschiedene finanzielle Anreize auf regionaler Ebene. So offerieren beispielsweise die Regionen Lombardei und Piemont eine Reduzierung der Kfz-Versicherung von etwa 50 %.

### *Infrastruktur*

In Italien gab es 2013 etwa 1 350 Level 2 / Standard-AC-Ladestationen (640 in öffentlichen Bereichen und etwa 710 in privaten Bereichen). Nur wenige DC-Schnellladestationen sind vorhanden, und noch bis 2012 waren diese ausschließlich private Ladepunkte für Demonstrationszwecke (IA-HEV 2013). Der nationale Plan für die Ladeinfrastruktur, soll die Installation von Ladeinfrastruktur weiter voranbringen und auch die Zusammenarbeit mit lokalen Behörden regeln.

## **Polen**

### *Regierungsstrategie*

Elektromobilität hat für die polnische Regierung keine hohe Priorität. Aufgrund der heimischen Vorkommen von Kohle und Erdgas hat der polnische Strommix eine hohe Emissionsintensität. Polen legt seinen Fokus in Bezug auf erneuerbare Energien im Verkehr eher auf den Bereich der Biokraftstoffe.

### *Anreizsysteme*

Obwohl die polnische Regierung sich verpflichtet hat, xEVs zu unterstützen, wurden bisher keine speziellen Regelungen eingeführt.

### *Infrastruktur*

Bislang wurden nur sehr kleine Projekte realisiert, oft mithilfe von EU-Mitteln, wie z.B. die EU-finanzierten Pilotprojekte für Elektromobilität „Fuel for Warsaw“ und „Cars for Warsaw“. Warschaus erste Ladestation für Elektrofahrzeuge wurde im November 2009 eröffnet. Im Rahmen des Pilotprogramms erhielt das Rathaus von Warschau außerdem fünf Elektroautos (Eurocities 2010).

## **Forschungsförderung und Institutionen**

### **EU-Ebene**

Auf EU-Ebene findet die Förderung von Forschung und Entwicklung insbesondere im Rahmen der „European Green Cars Initiative“ bzw. „European Green Vehicle Initiative“, dem siebten Forschungsrahmenprogramm sowie im Forschungsprogramm „Horizon 2020“ statt.

Als Teil des EU-Konjunkturprogramms wurde die European Green Car Initiative als „Public-Private Partnership“ ins Leben gerufen. Zwischen 2009 und 2013 wurden 80 Forschungsprojekte gefördert (z.T. noch Projektlaufzeiten bis 2015/2016). Auf EU-Ebene wurden dazu 500 Millionen Euro an öffentlichen Mitteln zur Verfügung gestellt, der gleiche Betrag wird von der Industrie aufgebracht (siehe (European Commission 2013, European Green Cars Initiative, 2014). Das Forschungsbudget wird den beteiligten Industriepartnern mit einer Förderquote von 50 % zur Verfügung gestellt. Die EU-Kommission fördert hierbei vorwettbewerbliche Forschung, die noch nicht marktreif und damit noch nicht wettbewerbsrelevant ist (siehe STROM Regionalstudie Europa). Die Förderung konzentriert sich auf Forschung im Bereich der Elektrifizierung von Fahrzeugen. Daneben wurden auch Projekte zum Langstreckengüterverkehr und zur Logistik gefördert (European Green Cars Initiative 2014). Die Fördermittel wurden durch das siebte Forschungsrahmenprogramm vergeben. Neben direkter Forschungsförderung stehen auch zinsgünstige, zweckgebundene (an die Entwicklung sauberer/effizienter Fahrzeuge gekoppelte) Darlehen zur Verfügung. Ende 2013 waren 109 Projekte unter der European Green Cars Initiative gelistet (laufend und in Verhandlung) (Abb. 5-7).

Davon hatten ca. 65 Projekte einen Fokus auf Elektromobilität. Insgesamt umfassen die Projekte ca. 421 Mio. Euro Fördermittel der EU-Kommission. Fortschritt im Bereich der Fahrzeugintegration (inkl. Fahrzeugklimatisierung, Leichtbau, Recycling, Elektronik und weiterer Optimierung von existierenden Komponenten) und Demonstration wird mit ca. einem Drittel der Fördermittel am stärksten gefördert, gefolgt von Forschung zu Energiespeichern und Antriebssystemen. Mit 25 Projekten, die von deutschen Institutionen koordiniert werden, ist Deutschland am stärksten in der Green Cars Initiative vertreten, gefolgt von Spanien und Italien. Großbritannien und Frankreich haben jeweils nur 9 Projekte (Kommunikation Maurizio Maggiore).

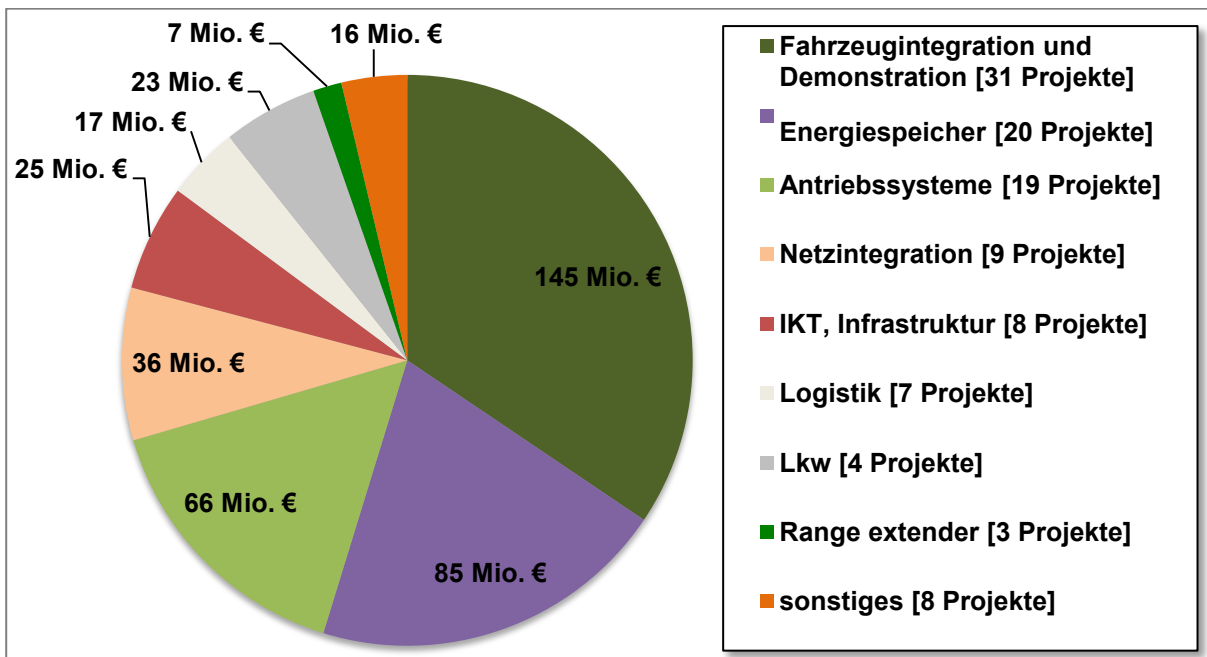


Abb. 5-7 Förderung der Europäischen Kommission unter der "European Green Cars Initiative"

Quelle: persönliche Kommunikation EU-Kommission Maurizio Maggiore

Im Anschluss an die „Green Cars Initiative“ wurde die „European Clean Vehicles Initiative“ 2014 gestartet. Diese fokussiert stärker auf Energieeffizienz von Fahrzeugen und alternative Antriebe und umfasst neben Pkw weitere Fahrzeugtypen. Die erste Ausschreibungsrunde für Fördermittel der „Green Vehicle Initiative“ wurde 2013 im Rahmen der „Horizon 2020“-Ausschreibung veröffentlicht (EGVI 2013). Für diese Ausschreibung stehen für 2014 und 2015 159 Mio. Euro zur Verfügung, unter anderem zur Weiterentwicklung von Lithium-Ionen Batterien, für Energiemanagement in Elektrofahrzeugen, elektrische zwei- und dreirädrige Fahrzeuge, Hybrid-Nutzfahrzeuge und die Integration von Elektrofahrzeugen in das Verkehrssystem und Stromnetz. Neben den spezifischen Ausschreibungen im Rahmen der „Green Vehicles Initiative“ werden Aspekte der Elektromobilität auch durch Forschungsvorhaben in weiteren verkehrsbezogenen oder in Energie- oder IKT-bezogenen „Horizon 2020“-Ausschreibungen adressiert (European Commission 2013a).

### Nationale Förderprogramme

In **Frankreich** hat die Regierung im Jahr 2009 für einen Vierjahreszeitraum 120 Mio. Euro für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte für kohlenstoffarme Fahrzeuge sowie

Ladeinfrastruktur zur Verfügung gestellt. Zusätzlich sind im „Automobile Pact“ Darlehen von 250 Mio. Euro vergeben worden. Der Plan mit einem Gesamtvolumen von bis zu 7 Mrd. Euro wurde beschlossen, um Darlehen an Fahrzeug- und Komponentenhersteller sowie für die Förderung von Innovationen in der xEV-Industrie zu vergeben (IFA 2014).

In **Großbritannien** stellte die Regierung 2012 82 Mio. GBP (95 Mio. Euro) für die Forschungs- und Entwicklungsförderung bis 2015 zur Verfügung, die vor allem durch das „Technology Strategy Board“ verwaltet wird (IA-HEV 2013). Das „Technology Strategy Board“, eine nichtstaatliche Gesellschaft der britischen Regierung, ist eine zentrale Förderinstitution in Großbritannien und koordiniert die „low carbon vehicles innovation platform“. Die Plattform vergibt in Wettbewerbsverfahren Fördermittel für Forschungs- und Entwicklungskooperationen. Alle Projekte müssen durch die Industrie kofinanziert werden. Die Förderthemen und -konditionen werden in Abstimmung zwischen Industrie (repräsentiert durch das „Automotive Council“) und Regierung (über das Technology Strategy Board) formuliert (Technology Strategy Board 2014). Der „Automotive Council“ wurde 2009 gegründet, um eine Technologie-Roadmap für emissionsarme Fahrzeuge und Kraftstoffe zu entwickeln. Darin wurden fünf strategische Bereiche für weitergehende Forschung und Entwicklung identifiziert:

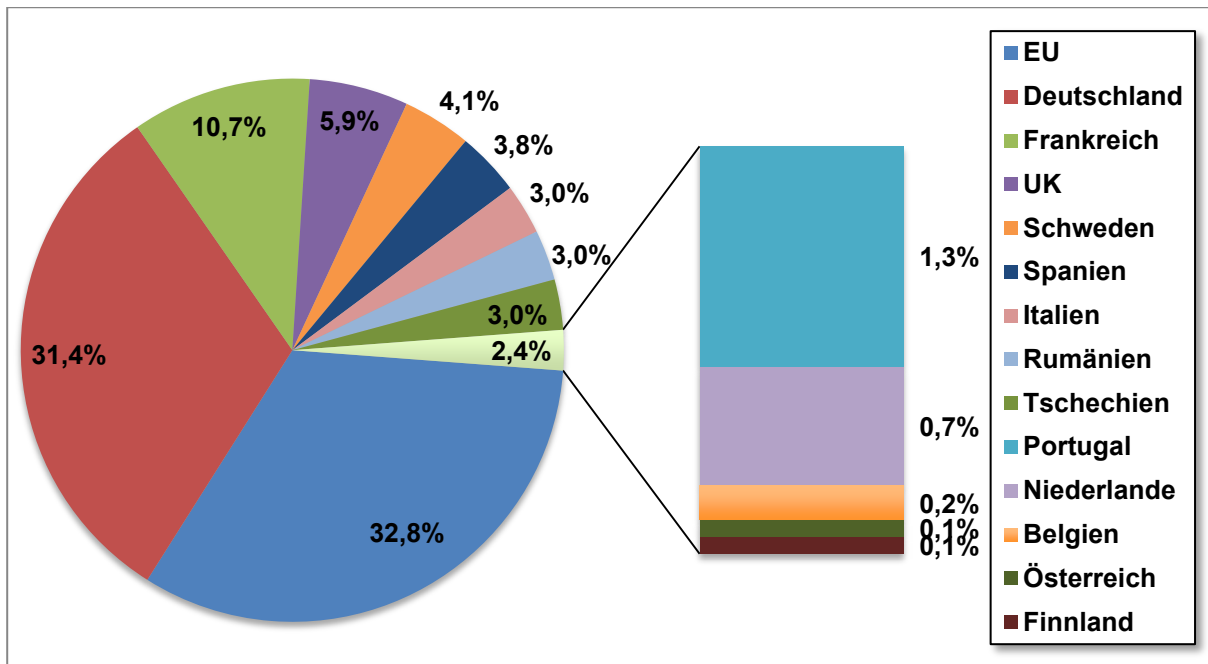
- Verbesserungen an Verbrennungsmotoren
- Energiespeicherung und Energiemanagement für Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeuge
- Leichtbaufahrzeuge und Antriebsstrangstrukturen
- Entwicklung von Leistungselektronik und elektrischen Maschinen
- Entwicklung und Anwendung intelligenter Transportsysteme

In **Norwegen** ist Transnova die zentrale Institution und fördert Forschung und Demonstrationsprojekte im Bereich nachhaltiger, zukunftsorientierter und klimaeffizienter Mobilität. Themenschwerpunkte sind neue Konzepte der Organisation von Verkehr (z.B. Car-Sharing, E-Bikes, E-Taxis) und neue Konzepte zur Batterieaufladung. Transnova unterstützt hierfür Demonstrations- und Pilotprojekte und führt Informationsaktivitäten durch. Transnova ist unter dem Verkehrsministerium tätig und hatte 2013 ein Budget von 87,2 Mio. NOK (11,75 Mio. Euro) (Transnova 2014)

In **Italien** werden die nationalen Forschungsprogramme und Projekte mit einem Schwerpunkt auf xEV- und HEV-Technologien und Anwendungen weitergeführt, während Forschung und Demonstrationsprojekte für Brennstoffzellenfahrzeuge erheblich reduziert wurden. Forschung und Entwicklung im Bereich xEVs und HEVs sind auch Bestandteil einiger weiterer nationaler Programme. So enthalten die Programme INDUSTRYA 2015 and “Research for the Electrical System” einige Forschungsaktivitäten zum Thema Elektromobilität (IA-HEV 2012).

Einen **Überblick** über die öffentlich finanzierte Forschung auf dem Feld der Elektromobilität in Europa gibt eine Untersuchung des Joint Research Center der europäischen Kommission (European Commission 2013). Die Studie betrachtet ca. 320 von EU oder Mitgliedsstaaten finanzierte Projekte zur Elektromobilität, welche sich zu einem Gesamtinvestitionsvolumen von 1,4 Mrd. Euro aufsummieren. Deutsche und EU-Projekte haben, gefolgt von Frankreich, UK und Schweden, das größte Gesamtbudget (Abb. 5-8).

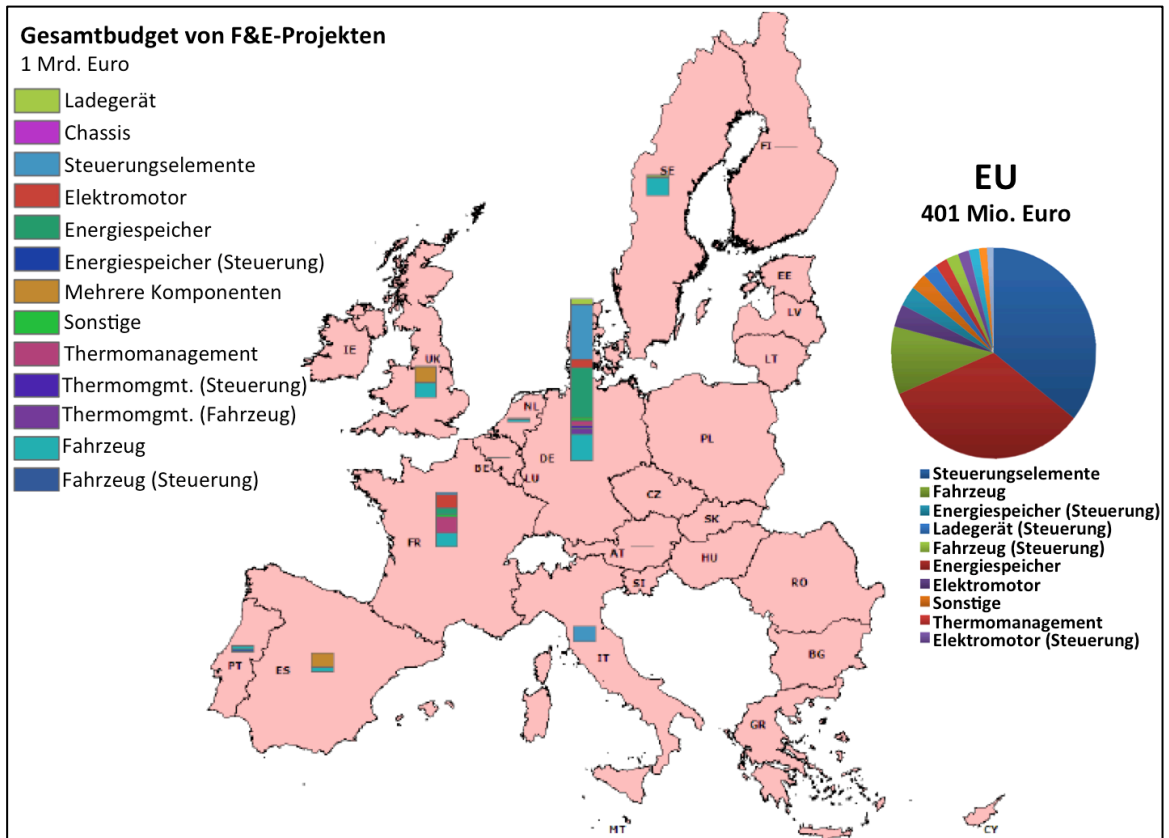




**Abb. 5-8** Aufteilung des Förderbudgets auf EU und Mitgliedsstaaten am Gesamtinvestitionsvolumen von 1,4 Mrd. Euro

Quelle: (European Commission 2013, S. 17)

Bei der Verteilung der Budgets auf die verschiedenen Forschungsfelder ergeben sich große regionale Unterschiede: Die von der EU kofinanzierten Projekte konzentrieren sich vor allem auf Forschung an Energiespeichern und Steuerungselementen. Die EU-Programme sowie die nationalen Programme in Deutschland führen mit einem Volumen von ca. 130 Mio. Euro bzw. 118 Mio. Euro im EU-Vergleich die Forschung im Bereich Energiespeicher an. Mit zum Teil unter 20 Mio. Euro investieren Frankreich und UK deutlich weniger in dieses Forschungsthema (Abb. 5-9).



**Abb. 5-9 Investitionen in FuE Projekte nach Fahrzeugkomponenten im EU-Vergleich**

Quelle: (European Commission 2013, S. 20)

Im Bereich der Steuerung (inkl. Energiemanagement, Batteriemonitoring, Netzintegration) liegen die EU-Förderung und Deutschland ebenfalls mit Volumen von über 120 Mio. Euro deutlich vorne, während andere EU-Länder in diesem Bereich deutlich unter 20 Mio. Euro Forschungsbudget verzeichnen. Hinsichtlich der Forschung an Elektromotoren führt Frankreich im europäischen Vergleich mit über 30 Mio. Euro, gefolgt von Deutschland (ca. 22 Mio. Euro) und der EU-Förderung (ca. 14 Mio. Euro). Frankreich verzeichnet ebenfalls das höchste Budget im Bereich Thermomanagement (ca. 39 Mio. Euro). In Deutschland sind die Projekte zu Thermomanagement meist mit Forschung zu weiteren Komponenten bzw. Gesamtfahrzeugkonzepten verbunden und weisen insgesamt fast ein ähnliches Budget auf wie Frankreich. Im Bereich neuer Fahrzeugkonzepte liegt Deutschland mit über 60 Mio. Euro im europäischen Vergleich an erster Stelle, gefolgt von Schweden, sowie UK und Frankreich mit über 30 Mio. Euro Förderungsvolumen (European Commission 2013).

## Wirtschaft und Industrie

Die Bedeutung der Automobilindustrie für die Gesamtwirtschaft ist in den untersuchten Fällen unterschiedlich hoch: Frankreich, Großbritannien und Italien haben eine lange Tradition in der Automobilproduktion. Die Autoindustrie trägt dort mit 1,7 Mio. bzw. 1,5 Mio. und 0,4 Mio. produzierten Pkw mit bis zu 1,5 % zum BIP bei (Tab. 5-8). Norwegen dagegen weist kaum eigene Autoindustrie auf. In Polen produzieren vor allem ausländische Firmen etwa 540.000 Fahrzeuge von europäischen und asiatischen Marken für den Weltmarkt.

	Gesamtzahl produzierter Pkw (2012)	Anteil der Automobilindustrie an Bruttowertschöpfung (2005)
<b>Frankreich</b>	1,7 Mio.	1,5 %
<b>UK</b>	1,5 Mio.	1,1 %
<b>Norwegen</b>	-	-
<b>Italien</b>	0,4 Mio.	0,8 %
<b>Polen</b>	0,5 Mio.	1,7 %

**Tab. 5-8 Gesamtzahl produzierter Pkw und Anteil der Automobilindustrie am BIP in den fünf Fallstudienregionen**

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von (OICA 2012) und EU KLEMS Database

Auch die Bedeutung von xEVs innerhalb der Autoindustrie schwankt stark zwischen den einzelnen Ländern:

Die **französischen** Automobilindustrie bietet seit 2011 BEVs zum Verkauf an. Die wichtigsten Hersteller von xEVs sind dort PSA Peugeot Citroën und Renault-Nissan. Diese haben zugesagt, bis 2015 70 000 PEVs zu produzieren und auszuliefern. Auch im Bereich der Batterien sind die französischen Hersteller vertreten. So bauen Renault, die CEA (Französische Atomenergie- und alternative Energien-Kommission) und Nissan derzeit ein Werk in Flins, 45 km außerhalb von Paris, mit einer Produktionskapazität von 100 000 bis 350 000 Batterien pro Jahr. Die französische Firma Saft, ein weltweit führendes Unternehmen in der Produktion von High-Tech-Batterien, produziert diese seit 2009 in seiner Fabrik in Nersac. Hinzu kommt die Bolloré-Gruppe, das Beteiligungsunternehmen hinter dem BEV-Carsharing Autolib. Zu den gänzlich oder in Teilen in Frankreich hergestellten PEV-Modellen zählen: Mia electric, Renault Kangoo ZE, Renault Zoe und der Smart Fortwo Electric Drive (Proff & Kilian 2012).

In **Großbritannien** produzieren mehr als 40 Unternehmen Fahrzeuge. Diese reichen von global tätigen Volumen-Automobilproduzenten und Transporter-, Lkw- und Bus-Herstellern bis zu Nischenanbietern (IA-HEV 2012). Die Automobilindustrie stellt 7% der Industrieproduktion und 5,3 % der Beschäftigung im verarbeitenden Gewerbe in Großbritannien. Im Bereich der Elektrofahrzeuge ist das wichtigste in Großbritannien gefertigte Modell der Nissan Leaf, dessen Produktion im Jahr 2013 in Sunderland begann.

Aus **Norwegen** stammen einige der Pioniere in der Entwicklung von Elektrofahrzeugen, insbesondere der Buddy von Buddy Electric (ehemals früher Elbil Norge AS) sowie die Firma Think Global AS. Allerdings ist die Produktion von Elektrofahrzeugen heute kaum noch existent. Think Global AS ist seit 2011 insolvent, vom Buddy Electric wurden Experten zufolge zuletzt nur noch etwa 30 Fahrzeuge pro Jahr verkauft (Experteninterview Transnova).

In **Italien** gibt es etwa 3 500 Unternehmen in der Automobilindustrie, für die direkt und indirekt rund 1,2 Mio. Mitarbeiter beschäftigt sind. Die Automobilindustrie investiert außerdem pro Jahr mehr als 2 Mrd. Euro in Forschung und Entwicklung. Hierzu gehören auch größere Unternehmen, die Elektro- und Brennstoffzellen-Fahrzeuge entwickeln, insbesondere Fiat, Pininfarina und der Batteriehersteller FIAMM. Zu den in Italien gebauten PEV-Modelle zählen der Bolloré – Blue Car und der Tazzari ZERO.

Die europäischen Automobilhersteller verfolgen hinsichtlich der Produktion von **xEV-Komponenten** unterschiedliche Strategien: Während einige Hersteller wie BMW und Volkswagen eine eigene Inhouse-Produktion der wichtigsten Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs (z.B. Elektromotoren, Batteriemontage) aufbauen, haben sich andere Hersteller dazu entschieden, diese Komponenten meist außerhalb von Europa herstellen zu lassen (siehe Proff und Kilian 2012).

Nissan will für sein Modell Leaf eine weltweite Produktionskapazität von 250 000 Fahrzeugen jährlich schaffen, wovon 25 000 Einheiten in Sunderland (Großbritannien) produziert werden sollen. Opel produziert seinen Ampera mit Range Extender, der identisch mit dem Chevrolet Volt ist, in Hamtramck (Michigan). Die Fiat-Chrysler-Gruppe plant, die elektrische Version des Fiat 500 in Toluca (Mexiko) zu fertigen. Der Citroen C-Zero und Peugeot Ion werden dagegen im Mitsubishi-Werk in Okazaki (Japan) gefertigt, während Renault seine Elektrofahrzeuge in Europa produziert: Der Kangoo Z.E. wird auf der gleichen Fertigungslinie wie der Kangoo mit Verbrennungsmotor in der Produktionsanlage in Maubeuge (Frankreich) hergestellt. 2012 hat Renault außerdem den Twizy Z.E., der in Valladolid (Spanien) produziert wird, sowie die Fluence Z.E. Limousine, die in Bursa (Türkei) hergestellt wird, auf den Markt gebracht. Außerdem baut Renault sein Elektrofahrzeug Zoé in Flins, nahe Paris (Proff & Kilian 2012).

Fast die komplette **Produktion von Lithium-Ionen-Zellen** ist dagegen momentan in Übersee beheimatet. Innerhalb der Europäischen Union gibt es nur einige wenige Produktionsstandorte wie die japanische Allianz von NEC, Nissan und Renault, genannt AESC in Großbritannien und Spanien, die Saft S.A. (Frankreich) oder das deutsche Joint-Venture LiTec der Daimler AG und Evonik. In Frankreich haben außerdem Renault und Nissan in Zusammenarbeit mit der CEA (Französische Kommission für Atomenergie und alternative Energien) eine Fabrik in Flins gebaut, um Batterien in großem Maßstab zu produzieren. Innerhalb der EU hat Frankreich damit momentan eine führende Rolle in der Batterieproduktion (Proff & Kilian 2012).

### **Verbraucher und Markt**

In der gesamten EU waren 2012 etwa 250 Mio. Pkw zugelassen. Italien, Frankreich und Großbritannien sind hierbei mit 37 Mio., 31 Mio. und 30 Mio. zugelassenen Fahrzeugen wichtige Märkte (Tab. 5-9). Die Gesamtzahl der zugelassenen PEV war Mitte 2014 noch relativ gering. Norwegen hat unter den untersuchten Ländern die größte PEV-Flotte mit fast 34 000 Fahrzeugen, trotz der geringen Größe des Gesamtmarktes. In Frankreich waren ca. 24 000 PEV registriert. In allen Untersuchungsregionen ist die BEV Flotte deutlich größer als die PHEV-Flotte (siehe EEO 2014, Eurostat, 2014, IA-HEV 2013).

	Gesamtzahl registrierter Pkw (Stand 2012)	Gesamtzahl registrierter BEV (Stand Juni 2014)	Gesamtzahl registrierter PHEV (Stand Juni 2014)	Marktanteil PEV 2013 an neuen Registrierungen
Frankreich	31,4 Mio.	21 589	1 967	0,49 %
Großbritannien	29,7 Mio.	7 385	3 578	0,16 %
Norwegen	2,4 Mio.	31 992	1 698	7,6 %
Italien	37,1 Mio.	1 860	366	0,09 %
Polen	16 Mio.	n.v.	n.v.	n.v.

Tab. 5-9 Gesamtzahl, und Marktanteile von BEV und PHEVs im Pkw Bereich in den fünf Fallstudienregionen

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von (EEA 2014, EEO 2014, CCFA 2014, Grønn Bil 2014, SMMT 2014, IA-HEV 2013, ICCT 2014)\*

Somit bleibt Elektrofahrzeugen in allen untersuchten Fallregionen, bis auf Norwegen, aktuell nur eine Nischenrolle. Aufgrund der geringen Anteile an den Neuregistrierungen wird sich dies vermutlich erst mittelfristig ändern: Insgesamt wurden in der EU (EU-27) im Jahr 2013 über 55 000 PEVs neu registriert. Bei einer Gesamtzahl von 11,8 Mio. neu registrierter Fahrzeuge liegt der Marktanteil bei ca. 0,47 %. Mit 0,52 % der Neuregistrierungen liegt Frankreich leicht über dem EU-Durchschnitt, während Italien mit 0,09 % den geringsten Marktanteil der dargestellten Länder aufweist (vgl. Abb. 5-10). Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Marktanteil in Polen wesentlich geringer ist. Großbritannien erreichte einen Marktanteil von 0,16 im Jahr 2013. Der höchste Marktanteil wird mit ca. 7,6 % im Jahr 2013 in Norwegen erreicht. Dadurch stellt Norwegen unter den Vergleichsregionen in 2013 auch den größten absoluten Markt für PEV, was angesichts der vergleichsweise geringen Einwohnerzahl durchaus beachtlich ist.

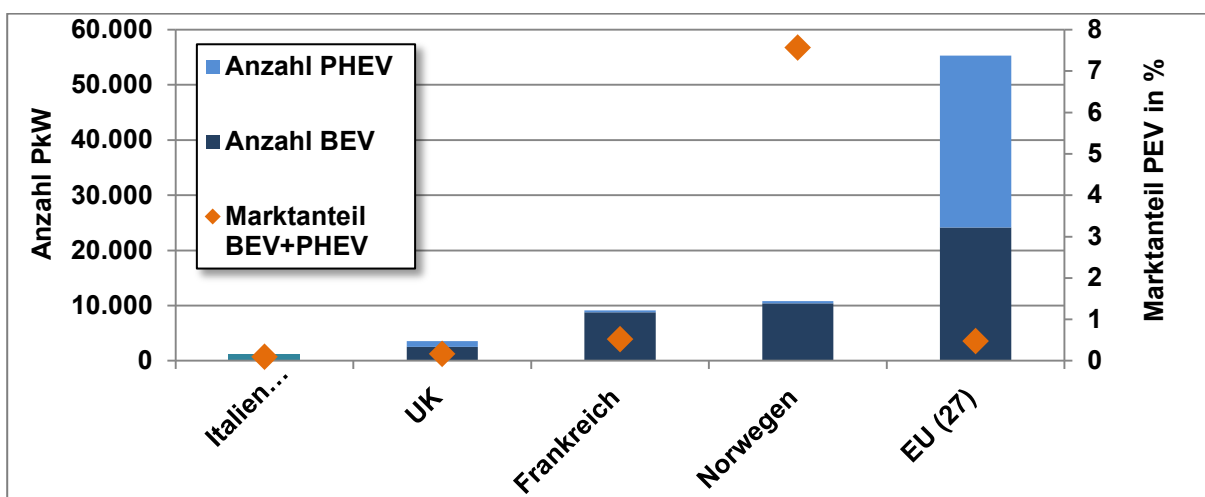


Abb. 5-10 Anzahl von BEV und PHEV an Verkäufen/Registrierungen und Marktanteil im Jahr 2013

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von (EEA 2014, CCFA 2014, Grønn Bil 2014, SMMT 2014, IA-HEV 2013, ICCT, 2014

In Großbritannien wird die Förderung von xEVs durch den Kaufzuschuss über die „Plug-in Car Grant“ (s.o.) als wichtiger Treiber für die Marktentwicklung der Elektromobilität gesehen. Dieses im Januar 2011 eingeführte und im Februar 2012 auf Transporter erweiterte An-

reizsystem war essentiell in der Kaufentscheidung von 85 % der Käufer eines Niedrigemissionsfahrzeugs, wie in einer aktuellen Studie gezeigt wurde (TRL 2013).

Norwegen erreicht in Europa den ersten Platz hinsichtlich der Anzahl von Elektrofahrzeuge pro Kopf. Dies ist einem starken Anreizsystem für xEVs zu verdanken, das teilweise bereits seit 2000 in Kraft ist. Die Situation wird durch Subventionen und Steuervergünstigungen auf der einen Seite und durch einen hohen Anteil erneuerbarer Energien (Wasserkraft) im Energieerzeugungsmix auf der anderen Seite begünstigt. Obwohl die Anreize überwiegend schon in den späten 1990ern oder zur Jahrtausendwende implementiert wurden, ist der Absatz von Elektrofahrzeugen in Norwegen erst seit 2010 stark gestiegen als der Mitsubishi i-Miev und der Nissan-Leaf in Norwegen auf den Markt kamen. Seitdem dominieren ausländische Marken eindeutig den norwegischen Markt (EV Norway 2014). Experten zufolge werden xEVs am häufigsten in den Vororten rund um die großen Städte genutzt, während aktuell das größte Wachstum in ländlichen Gebieten beobachtet wird. In Norwegen besitzen viele Haushalte zwei Autos, sodass das Elektrofahrzeug insbesondere als Zweitwagen dient (Grønn Bil 2013).

Bedenken hinsichtlich der Reichweite, Kosten und fehlende Infrastruktur sind generell die wichtigsten Hindernisse für eine höhere Verbreitung von xEVs in Europa. Mehrere interviewte Experten waren sich einig, dass es ein mangelndes Bewusstsein für die Eigenschaften von Elektrofahrzeugen nicht nur bei den Kunden gibt – auch für Autohändler seien in dieser Hinsicht Schulungen erforderlich. Toyota die Erfahrung gemacht, dass neben höheren Kosten paradoxerweise auch für PHEV die Sorge um Reichweiten eine Rolle für Verbraucher spielt, da sie die Fahrzeuge mit BEVs gleichsetzen. Auch ein französischer Experte hat hervorgehoben, dass wesentliche Informationen, wie z.B. Vorteile bei den Total Cost of Ownership, nur unzureichend kommuniziert werden – sowohl unter den Akteuren der Versorgungsseite als auch in der Gesellschaft bzw. bei potenziellen Kunden. Im Moment werden die meisten xEVs in den hier betrachteten europäischen Ländern für private Zwecke genutzt. Viele der interviewten Experten sehen allerdings Flotten als Hauptmarkt für xEVs in der nahen Zukunft. Kaufentscheidungen der privaten Verbraucher hängen dagegen vor allem von den Anfangsinvestitionen ab und die Rolle der TCO wird unterschätzt, sodass es xEVs auf dem Privatkundenmarkt schwerer haben. Wie von einem norwegischen Experten erwähnt, sehen kleine und mittlere Unternehmen ein hohes Investitionsrisiko in der Umstellung ihrer Flotten auf xEVs, was die Marktentwicklung in Flotten hemmt. Insbesondere herrscht Unsicherheit über den Wiederverkaufswert der Fahrzeuge.

Zur Analyse der Marktperspektiven entwickelten Proff und Kilian (2012) auf Basis von geschätzter Marktnachfrage, Kosten-Nutzen-Schätzungen sowie Segmentierung und Kaufverhalten der Kunden eine Marktprognose für Europa. Demnach wird für 2020 noch eine deutliche Dominanz von ICE (Internal Combustion Engine)-Fahrzeugen mit einem Marktanteil von 84 % prognostiziert, während HEV und PHEV (einschließlich REEV) etwa 9 % bzw. 6 % und BEV sogar nur 1,1 % der Neuzulassungen in den EU 27 – Ländern ausmachen. Bis 2030 wird für BEVs und PHEVs jedoch ein starker Anstieg der Marktanteile auf 11 % bzw. 20 % prognostiziert, wohingegen HEVs ihren Anteil nur moderat auf 13 % steigern können (Tab. 5-10).

Für die wichtigsten europäischen Märkte haben Proff und Kilian (2012) zusätzlich eine detaillierte Analyse der länderspezifischen Marktentwicklung durchgeführt (Tab. 5-10). So wird erwartet, dass in Frankreich aufgrund der spezifischen Strategien der französischen Auto-

mobiler Hersteller und anderer Akteure (z.B. Car-Sharing- und anderer wichtiger Unternehmen) BEV eine vergleichsweise hohe Bedeutung einnehmen werden. Für das Vereinigte Königreich wird ein PEV-Marktanteil von 7 % projiziert. In der nationalen Studie des OLEVs wurde ebenfalls ermittelt, dass die „ultra low emission vehicles“ im Jahr 2020 zwischen 3 % und 7 % Marktanteil erreichen könnten.

		Frankreich	UK	Italien	Spanien	Deutschland	EU 27
2020	HEV	9	7	10	7	7	9
	PEV	9	7	3	7	9	7
2030	HEV	11	8	23	13	7	13
	PEV	38	18	22	29	19	31

**Tab. 5-10 Überblick über projizierte Marktanteile von xEVs an den Pkw-Neuregistrierungen in ausgewählten Ländern**

Quelle: eigene Zusammenstellung auf Basis von (Proff & Kilian 2012)

## Fazit

Mit Ausnahme von Polen, wo Elektromobilität derzeit keine hohe Priorität genießt, finden in den untersuchten Fokuszländern in Europa starke Aktivitäten in Bezug auf Elektrofahrzeuge statt. In Frankreich, Italien, UK und Norwegen profitieren Elektrofahrzeuge von Kaufanreizen, die jedoch unterschiedlich in ihrer Höhe und hinsichtlich der Förderkriterien ausgestaltet sind. Insbesondere die Systeme in Frankreich und Italien sind mit ihrem Bezug auf CO<sub>2</sub>-Emissionen sehr technologieoffen angelegt. Das norwegische Anreizsystem entfaltet die stärksten Auswirkungen auf die Kosten eines BEV im Vergleich zu einem Verbrennungsfahrzeug. Die betrachteten Länder in Europa investieren zudem in Forschung und Entwicklung sowie in Demonstrationsprojekte. Frankreich wendet in diesen Bereichen die größten Investitionen auf. Mit Ausnahme von Norwegen scheint die Förderung von xEVs in den meisten Fällen auch von nationalen industriepolitischen Interessen geleitet zu sein. Diese liegen zum Teil in einer starken, bereits bestehenden inländischen Automobilindustrie begründet, wie es in Frankreich und Italien der Fall ist, oder in Ambitionen im Bereich FuE, um eine dementsprechende Industrie aufzubauen. So legt die britische Politik für xEVs einen Schwerpunkt auf die FuE-Förderung mit der Perspektive, dass die xEV-Industrie ein wichtiger Motor für die Schaffung von Arbeitsplätzen werden kann. Französische Hersteller haben erfolgreich einige PEV-Modelle auf dem Markt gebracht, die zum Teil auch in Frankreich produziert werden. Großbritannien profitiert mit der Produktion des Nissan Leaf in Sunderland von den Aktivitäten ausländischer Hersteller. Großbritannien und Norwegen weisen spezifische Akteursstrukturen im Bereich Elektromobilität auf: In den meisten Ländern liegen die Zuständigkeiten bei den Ministerien auf Abteilungsebene oder in interministeriellen Arbeitsgruppen. In Großbritannien wurde dagegen mit dem „Office for Low Emission Vehicles“ eine neue Institution gegründet, die für den Ausbau des Anteils der xEVs auf den Straßen sorgen soll. In Norwegen ist die gemeinsame Initiative „Grønn Bil“ von Regierung und Industrie ein zentraler Akteur im Bereich Elektromobilität.

### 5.2.3 USA

*D. Kreyenberg (DLR)*

#### **Regierung / Politik / Öffentliche Infrastruktur**

Die Mobilität ist in den USA sehr stark vom Pkw beeinflusst. Das Land ist stark zersiedelt und aufgrund des über lange Jahrzehnte niedrigen Ölpreises und der fehlenden staatlichen Lenkungen gibt es fast keine öffentlichen Verkehrsmittel als Alternative zum Auto. Der öffentliche Personenverkehr über Bahn- und Bus- Systeme konzentriert sich fast ausschließlich auf Großstädte wie New York, Chicago oder San Francisco. Auf politischer Ebene gab es in der Vergangenheit bis heute wenig Anstrengungen, das zu verändern, und so werden Pkw aller Voraussicht nach auch weiterhin für viele Jahre das dominierende Fortbewegungsmittel im US-Transportsystem darstellen.

Die Elektrifizierung von Fahrzeugen wird von der Politik mit den Zielstellungen (I) Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Verkehr (II) Verringerung der Abhängigkeit von Erdöl (III) Verbesserung der lokalen Luftqualität verfolgt. Die Entwicklung einer nachhaltigen Elektrofahrzeugindustrie wird dabei als eine komplexe, langfristige und multi-sektorale Aufgabe mit zahlreichen Akteuren aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung gesehen. Diese Aufgabe wird von der Politik durch Forschungs-, Infrastruktur-, und Absatzförderung gesteuert. Das Ziel der US-Regierung liegt bei 1 Mio. PEV bis 2015.

#### **Akteure**

In der landesweiten Förderung der Elektromobilität spielt das „United States Department of Energy“ (DOE) die zentrale Rolle. Es ist verantwortlich für die Durchführung von Forschung, Forschungsförderung, Kreditvergabe an Unternehmer und für die Unterstützung der Marktentwicklung. Die „Environmental Protection Agency“ (EPA) ist der zweitwichtigste Akteur und zuständig für die Durchsetzung des „Clean Air Acts“ und anderer Umweltbestimmungen. Die EPA regelt die Emissionsvorschriften von Fahrzeugen, aber auch der Industrie. Das „Department of Commerce“ ist als dritter Akteur zu erwähnen und trägt durch die Steuergutschriften zur Unterstützung des PEV Markts bei.

Auf bundesstaatlicher Ebene ist das California Air Resources Board (CARB, auch ARB) der wichtigste Impulsgeber. Das CARB ist bekannt dafür, besonders weitreichende Vorschläge zur Luftreinhaltung zu erarbeiten. In diesem Zusammenhang ist die im Folgenden näher beschriebene ZEV-Gesetzgebung besonders hervorzuheben.

Weitere wichtige Impulsgeber finden sich auf städtischer und kommunaler Ebene. Hier werden, ähnlich wie in Deutschland, spezielle Programme zur Förderung und Vernetzung der Stakeholder und zum Infrastrukturaufbau betrieben.

#### **Programme und Maßnahmen**

Die Rezession der letzten Jahre, die finanzielle Rettung von GM, steigende Kraftstoffpreise, das Engagement für eine neue Energiewirtschaft und der Wille die Konjunktur zu fördern, haben auf nationaler Ebene eine Neuausrichtung der Politik unter der Obama Administration hervorgerufen. So wurde eine Reihe von integrativen Maßnahmen beschlossen, welche eine neue Batterie-Industrie, Elektro-Fahrzeug Fertigungskapazitäten, die Entwicklung von Fahrzeug-Ladegeräten sowie den Rollout von Ladeinfrastruktur initiieren sollte. Der Erfolg und



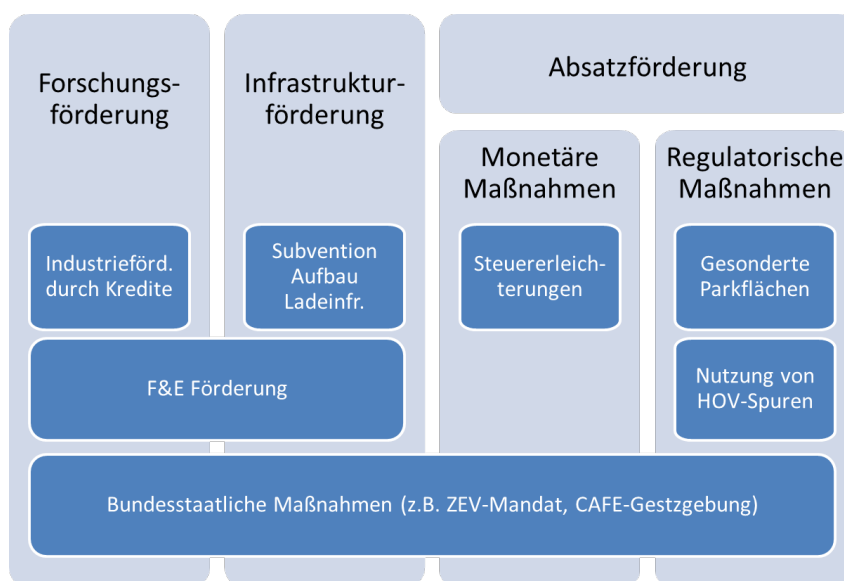
Misserfolg dieser Maßnahmen und die daraus entstehenden Unternehmen werden genau beobachtet.

Auf bundesstaatlicher Ebene war die ZEV-Gesetzgebung in der Vergangenheit besonders erfolgreich. „Die ZEV-Gesetzgebung hat ihren Ursprung im US-Bundesstaat Kalifornien. Das ZEV-Mandat aus dem Jahr 1990, wonach 10 % aller Personenwagen (rund 200 000 Stück) ab 2003 Nullemissionsfahrzeuge (Zero Emission Vehicles - ZEV) sein sollten, wird heute als Initialzündung der neueren Entwicklung von alternativen Antrieben gesehen. Als Reaktion auf das Gesetz haben bis Ende der 1990er Jahre alle großen OEM die Entwicklung von Batteriefahrzeugen vorangetrieben, welche danach durch die Entwicklung der aussichtsreicher erscheinenden Brennstoffzellenfahrzeuge ersetzt wurde. Mittlerweile wurde das ursprüngliche Gesetz immer weiter verändert. So hat sich die kalifornische Behörde bereit erklärt, ein Punktesystem für emissionsarme Fahrzeuge einzuführen, weil sich das ursprüngliche Ziel als unerreichbar herausgestellt hat. In der aktuellen ZEV-Gesetzgebung errechnet sich der verbindliche Zielwert für die Absatzmenge von ZEV-Fahrzeugen (Roland Berger & fka 2014) eines Herstellers aus dem durchschnittlichen Absatz von konventionellen Fahrzeugen, multipliziert mit einem über die Jahre ansteigenden ZEV-Prozentsatz. Aufgrund ihres Vorbildcharakters wurde die ZEV-Gesetzgebung bereits in 12 weiteren US-Bundesstaaten implementiert“ (Kreyenberg et al. 2015)

Für verbrennungsmotorisch angetriebene Pkw verschärfte die Obama-Regierung im März 2009 die seit 1985 unveränderten Flottenemissionsgrenzwerte in der Corporate Average Fuel Economy (CAFE) Gesetzgebung. Seit dem Jahr 2010 entwickeln die Bundesbehörden EPA und NHTSA (National Highway Traffic and Safety Administration) Vorschriften zur expliziten Reduktion der durch Pkw verursachten THG-Emissionen.

### Förderschwerpunkte und finanzieller Rahmen der Förderung

Die Förderschwerpunkte der US-Regierung lassen sich in die drei Themenfelder (I) Forschungs-Förderung (II), Infrastruktur-Förderung und (III) Absatzförderung unterteilen:



**Abb. 5-11 Förderstrategie Elektromobilität USA**

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an (Korthauer 2014)

(I) Forschungsförderung: Die Forschungsförderung der Elektromobilität wird hauptsächlich aus einem 41,7 Mrd. USD (32,1 Mrd. EUR<sup>12</sup>) großen Topf des DOE (2009-2019) bedient. Davon werden 35,2 Mrd. USD (27,1 Mrd. EUR) als direkte Zuschüsse verwendet und 6,5 Mrd. USD (5,1 Mrd. EUR) als Kredite. Sie stammen aus dem im Februar 2009 von Präsident Obama verabschiedeten Konjunkturpaket der USA „American Recovery and Reinvestment Act of 2009“ (ARRA), welches sich auf insgesamt 821 Mrd. USD (632,2 Mrd. EUR) bis 2019 belaufen soll (Wurzelmann 2011).

(II) Infrastrukturförderung: Das „EV-Project“ ist das größte private Demonstrationsprojekt für Ladestation. Das Projekt stellt 230 Million USD (177,1 Mio. EUR) für öffentliche und private Investitionen zur Verfügung, darunter einen Anteil von 115 Million USD (88,6 Mio. EUR) aus den Mitteln von ARRA. Das Transport-und Energieunternehmen „ECotality“ übernimmt die Verwaltung der Installation von 14 000 Ladestationen in 16 Städten aus acht Bundesstaaten. Dabei wird die Gebührenerhebung in den verschiedenen Topographien und Klimazonen untersucht. ECotality installiert in Partnerschaft mit Nissan kostenlos über 8 000 Ladegeräte in den Häusern der Chevrolet Volt und Nissan Leaf Eigentümer. Das Projekt sammelt dabei Daten über die Lademuster dieser häuslichen Ladegeräte und auch öffentlicher Ladegeräte und hofft, die wirksamsten Erlösmodelle für verschiedene Arten von Ladestationen und Regionen zu bestimmen. Ferner soll das EV-Projekt auch das Beschäftigungswachstum durch die Schaffung oder Beibehaltung von 1 200 Arbeitsplätzen sichern.

(III) Absatzförderung: Die US-Regierung bietet PEV Käufern ab dem 01.10.2009 eine Steuergutschrift, die auf der Grundlage der Batteriegröße berechnet wird, mit einer Mindestgröße von 5 kWh. Es wird für diese Fahrzeuge ein Grundbetrag von 2 500 USD (1 925 EUR) plus zusätzliche 417 USD (321 EUR) für jede kWh Kapazität über 5 kWh, mit einer maximalen Größe (16 kWh und größere Batteriekapazitäten) von 7 500 USD (5 775 EUR) gewährt. Dieses Programm war bis zu einer Anzahl von 200 000 Fahrzeugen pro Hersteller begrenzt.

Ab 2013 gibt es auf Bundesstaatenebene eine Reihe von Kaufanreizen für PEV Käufer. Diese sind in ihrer Ausgestaltung sehr unterschiedlich wie Tabelle 1 zeigt. In Kalifornien gibt es z.B. Rabatte oder „Einkaufsgutscheine“ im Wert von 2 500 USD (1 925 EUR) für den Kauf eines Zero Emission Vehicles (xEV und CNG) und 1 500 USD (1 155 EUR) für den Kauf eines Plug-in-Hybriden.

US-Bundestaat	Programm	Betrag	Einschränkung
COLORADO	Innovative Motor Vehicle Credit	8 260 USD (6 360 EUR)	Keine Umbauten
GEORGIA	Zero Emission Vehicle Tax Credit	5 000 USD (3 850 EUR)	20 % auf Kaufpreis, max. 5 000 USD
ILLINOIS	Illinois Alternate Fuels Rebate Program	4 000 USD (3 080 EUR)	80 % auf Kaufpreis, max. 4 000 USD
KENTUCKY	Alternative Fuel Vehicle Credit	3 000 USD (2 310 EUR)	10 % auf Kaufpreis, max. 3 000 USD
PENNSYLVANIA	Alternative Fuel Incentive Grant Program (AFIG)	3 000 USD (2 310 EUR)	für BEV und PHEV

<sup>12</sup> Umrechnungskurs 1 Euro = 1,3 USD

CALIFORNIA	Clean Vehicle Rebate Project (CVRP)	2 500 USD (1 925 EUR)	1 500-2 500 USD
TEXAS	Alternative Fuel Vehicle Rebate	2 500 USD (1 925 EUR)	Bis 4 500 kg Fahrzeuggewicht
UTAH	Alternative Fuel Vehicle Credit	2 500 USD (1 925 EUR)	15 % auf Kaufpreis, max. 2 500 USD
INDIANA	Indiana Alternative Fuel Vehicle Grant Program	2 000 USD (1 540 EUR)	
SOUTH CAROLINA	PHEV Tax Credit	2 000 USD (1 540 EUR)	667-2 000 USD, ab 4 kWh Batterie
MARYLAND	PEV Tax Credit	1 000 USD (770 EUR)	600-1 000 abhängig von Batteriegröße
MONTANA	Alternative Fuel Vehicle Credit	500 USD (385 EUR)	Bis 4 535,92 kg Fahrzeuggewicht
RHODE ISLAND	Warren County Alternative Fuel Vehicle Credit	100 USD (77 EUR)	

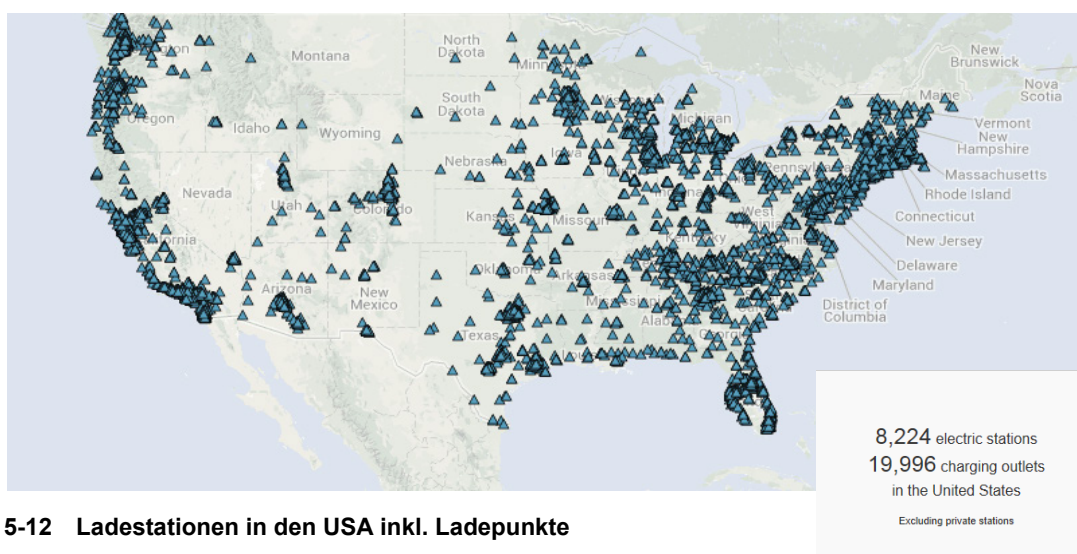
**Tab. 5-11 Kaufanreize für ZEV-Fahrzeuge auf US-Bundesstaatenebene**

Quelle: eigene Darstellung

Ferner gibt es für Fahrer von PEV in einer Reihe von Großstädten Zugang zu speziellen Fahrspuren (High Occupant Vehicle – HOV Lanes) sowie einen bevorzugten Zugang zu High-Occupant und Toll (HOT) Lanes. Angewendet werden diese Maßnahmen vor allem in der Bay Area in Kalifornien, Los Angeles, San Diego, Washington DC, Texas, und Seattle. In der Vergangenheit sollten diese Maßnahmen z.B. Fahrgemeinschaften für Pendler fördern. PEV in den genannten Regionen fallen nun ebenfalls unter diese Regelung.

### Infrastruktur

Das „Alternative Fuels Data Center“ des Energieministeriums (DOE - Department of Energy) unterhält eine Karte von öffentlichen und privaten Ladestationen in den USA, einschließlich der Anzahl ihrer Ladepunkte:



**Abb. 5-12 Ladestationen in den USA inkl. Ladepunkte**

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von (DOE 2014). Stand: 04.06.2014.

Der Ausbau und die Verbesserung der Ladeinfrastruktur ist im Ergebnis der Experteninterviews eine der wichtigsten Maßnahmen für eine erfolgreiche Elektromobilität. Das derzeitige Lade-Netzwerk wird von den Experten als unzuverlässig eingestuft. Dabei sind die Verfügbarkeit und Abrechnung, aufgrund der verschiedenen Anbieter und Ladeprotokolle, besonders hervorzuheben. Die durchschnittliche Haushaltsspannung beträgt in den USA 110V, was eine deutlich langsamere Ladung bedeutet als beispielsweise in Deutschland, wo mit 230V geladen werden kann. Höhere Spannungen von 220V sind gegen Aufpreis im öffentlichen und privaten Raum möglich, wenn die entsprechende Anschlussleistung verfügbar ist.

Die Verfügbarkeit von Ladeoptionen variiert stark zwischen den Staaten. Selbst innerhalb der Staaten sind Ladestationen in der Regel nur in bestimmten Städten konzentriert. Dies begrenzt die Fähigkeit eines PEV-Fahrers, sich zu den angrenzenden Städten mit begrenzter Ladeinfrastruktur zu bewegen. Um diesem Bedarf gerecht zu werden, half der „American Recovery and Reinvestment Act“ die Installation von 1 500 Ladestationen im ganzen Land voranzubringen. Zum Beispiel ist der „West Coast Green Highway“ eine Initiative auf der Interstate-5, die sich von Kanada nach Mexiko an der US-Westküste erstreckt. Wenn sie fertig ist, wird das Projekt der Öffentlichkeit Schnellladung alle 25-60 Meilen bieten, entlang der gesamten Länge von 1 300 Meilen.

### **Forschungsinstitutionen und -förderung**

Die Forschungsschwerpunkte des DOE liegen in der FuE-Förderung von Fahrzeugtechnologien und der Produktionsförderung von Batterien. Dadurch sollen vor allem die Batteriekosten sinken und die Leistung bzw. Energiedichte der Batterien steigen. Die Forschungsprogramme beinhalten deshalb Mittelzusagen, die die Reduzierung der Kosten und Verbesserung der technischen Parameter der Batterien versprechen. Das Gesamtbudget des DOE für diese Themen beläuft sich auf 35,2 Mrd. US-Dollar (27,1 Mio. EUR) über 10 Jahre. Innerhalb des DOE sind drei Abteilungen für die Elektromobilität von Bedeutung.

Office of Science/Basic Energy Sciences (BES): Grundlagenforschung z.B. in der Nanotechnologie, in Chemie- und Materialwissenschaften sowie den Schnittstellentechnologien.

Advanced Research Projects Agency-Energy (ARPA-E): Budget von 387 Mio. US-Dollar (298 Mio. EUR): Fördert neue und revolutionäre Forschungsansätze, welche großes technisches Potenzial und signifikante wirtschaftliche Effekte mit sich bringen könnten, aber auch ein hohes Erfolgsrisiko mit sich bringen. Erwähnenswert ist weiterhin die Batterieforschung, insbesondere diverser Post-Lithium-Ionen-Batterietechnologien, unter dem Programm »Batteries for Electrical Energy Storage in Transportation (BEEST). Die mit Fördermitteln unterstützten Organisationen sind sowohl private Unternehmen als auch Universitäten oder Forschungsinstitute.

Office of Electricity / Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE): FuE-Tätigkeiten zu Batterien, um die Marktdurchdringung mit Elektrofahrzeugen zu ermöglichen. Innerhalb des EERE ist das Vehicle Technology Program (VTP) von Bedeutung. Dieses Programm zielt darauf ab, durch Entwicklung von Lithium-Ionen-Batterien der 3. Generation und Verbesserung der Produktionsprozesse die Batteriekosten weiter zu senken. Die Einzelprogramme des VTP wurden hauptsächlich von der amerikanischen Automobilindustrie in Detroit in Anspruch genommen. Sie können u.a. hier eingesehen werden:

(<http://energy.gov/eere/vehicles/vehicle-technologies-office-key-activities-vehicles>)

Im Rahmen des Konjunkturpaketes ARRA stellt das DOE insgesamt 2,4 Mrd. US-Dollar (1,8 Mrd. Euro) zur Förderung der Entwicklung von Elektrofahrzeugen bereit. Damit werden 48 Projekte in 20 Bundesstaaten gefördert. Ein Schwerpunkt liegt mit einer Förderung von 1,5 Mrd. US-Dollar (1,2 Mrd. Euro) auf FuE, Produktion und die Entwicklung von Maßnahmen zum Recycling von Batterien. Damit soll eine Verdoppelung der Energiedichte und eine Kostensenkung um 70 % von PHEV- und BEV- Batterien erreicht werden. Die 1,5 Mrd. US-Dollar (1,2 Mrd. Euro) sind auf folgende Wertschöpfungsstufen aufgeteilt: 28,4 Mio. US-Dollar (21,9 Mio. Euro) für Abbau und Aufbereitung von Lithium, 259 Mio. US-Dollar (199 Mio. Euro) für Komponentenentwicklung, 735 Mio. US-Dollar (566 Mio. Euro) für Entwicklung der Batteriezellen, 462 Mio. US-Dollar (356 Mio. Euro) für Batterie-Packaging-Anlagen und 9,5 Mio. US-Dollar (7,3 Mio. Euro) für eine Lithiumrecyclinganlage. Dadurch wird deutlich, dass hier vor allem die Batterieindustrie, insbesondere der Auf- und Ausbau von Produktionsanlagen, gefördert wird. Weitere 500 Mio. US-Dollar (385 Mio. Euro) fließen in die Entwicklung des Antriebsstrangs (Elektromotoren, Leistungselektronik und andere Komponenten). 400 Mio. US-Dollar (308 Mio. Euro) werden für PHEV Demonstrationsvorhaben, die Installation von Ladeinfrastruktur und die Ausbildung von Fachpersonal für die Elektromobilität bereitgestellt.<sup>13</sup> (Peters et al. 2012)

Im Jahr 2012 wurde von Präsident Obama das EV Everywhere Projekt gestartet, welches in den nächsten zehn Jahren die Anschaffung und Betriebskosten von Elektrofahrzeugen signifikant senken soll, damit jeder Amerikaner in der Zukunft ein Elektrofahrzeug leisten kann. Dazu werden vom DOE die unterschiedlichsten Forschungsprojekte unterstützt.

## **Wirtschaft und Industrie**

Die Vereinigten Staaten sind eine stark urbanisierte Industriegesellschaft mit einer traditionell starken Automobilindustrie. Einige der weltweit größten Automobilhersteller wie GM, Chrysler und Ford haben in den USA ihren Firmensitz und bedeutende Produktionsstandorte. Der Automobilsektor, einschließlich der Herstellung von Stahl, Kunststoffen und Textilien, die Finanzierung, Verkauf und Wartung von Fahrzeugen und der Bau von Straßen und Brücken ist bis heute eine tragende Säule in der amerikanischen Wirtschaft.

„Historisch gesehen trägt die Automobilindustrie etwa 3 bis 3,5 % zum amerikanischen Bruttoinlandsprodukt bei. Im Jahresdurchschnitt 2011 waren über 2,7 Millionen Menschen in der Herstellung von Kfz und Kfz-Teilen sowie im Groß- und Einzelhandel dieser Erzeugnisse beschäftigt. Aufgrund der Verbindungen zu anderen Industrien, insbesondere im Einkauf von Waren die für die Herstellung benötigt werden, hängen jedoch weit mehr Arbeitsplätze von der Automobilindustrie ab. So ist die Branche beispielsweise mit Bezug von etwa 20 % des gesamten inländischen Stahlbedarfs der größte Stahlkonsument in den USA. Schätzungen gehen von bis zu 13 Millionen Jobs aus, die direkt oder indirekt mit der Automobilindustrie in Verbindung stehen. Das sind etwa 10 % des gesamten amerikanischen Arbeitsmarktes. Diese Jobs generieren ein Einkommen von jährlich über 500 Mrd. USD (385 Mrd. Euro) und Steuereinnahmen von etwa 70 Mrd. USD (54 Mrd. Euro) - Stand 2010“ (Daimler 2011)

---

<sup>13</sup> Dieser Abschnitt basiert im wesentlichen aus einem Bericht für das Büro für Technikfolgen- Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) von (Peters et al. 2012)

Der Übergang zur reinen Elektromobilität wird von den Experten als ein über mehrere Jahrzehnte andauernder Prozess gesehen. Die Förderprogramme des DOE sind dabei ganz bewusst auf die Entwicklung, Produktion und Recycling der Batterien für Elektrofahrzeuge in den USA ausgelegt, um diese Wertschöpfung im eigenen Land zu etablieren.

Die größte Herausforderung der Autoindustrie für die kommenden Jahrzehnte liegt dabei in der parallelen Entwicklung der Wertschöpfungskette für die elektrifizierten Antriebe. Diese werden in den ersten Jahren aller Voraussicht nach keine Gewinne erwirtschaften und sind nur durch staatliche oder OEM-interne Subventionen zu finanzieren. Wie schwer dieser Beginn sein kann, haben bereits die Insolvenzen von Better Place, Fiskar und mehrerer Batteriehersteller gezeigt. Der derzeitige Erfolg von Tesla ist dabei eine positive Ausnahme. Die zweitgrößte Herausforderung liegt in der Konkurrenzfähigkeit der Technik, welche von den Verbrauchern wahrscheinlich immer mit dem gewohnten Komfort und der Reichweite von verbrennungsmotorisch angetriebenen Pkw verglichen werden wird.

Abb. 5-13 zeigt die 10 umsatzstärksten PHEV und BEV Modelle in den USA nach ihrem Herkunftsland von 2011 bis 2013. Diese Auswertung zeigt deutlich, dass ein Großteil der in den USA abgesetzten PEV auch in den USA produziert wurde.

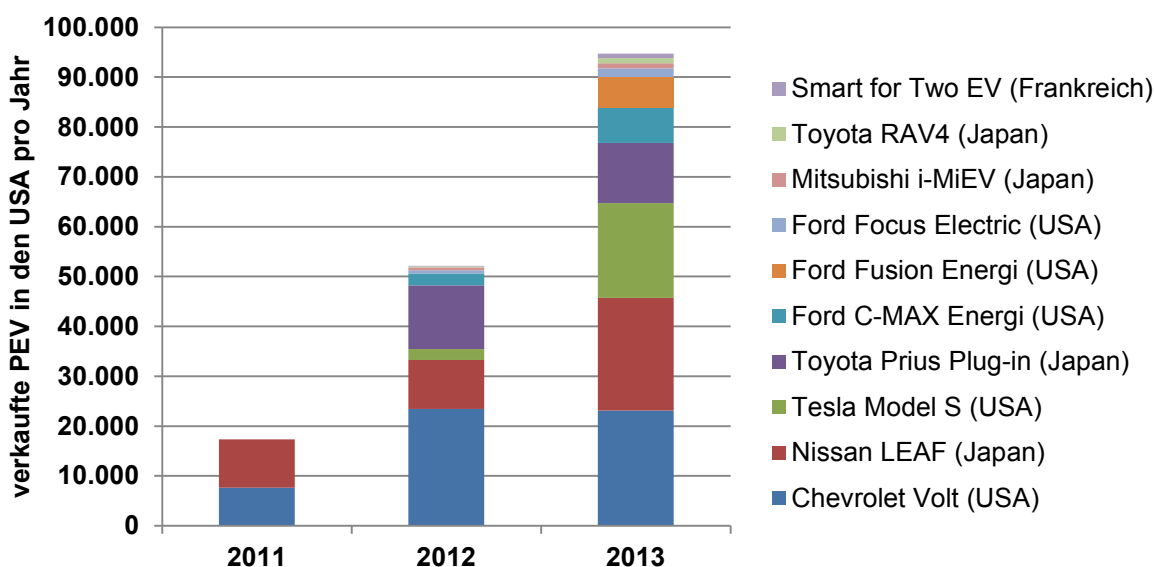


Abb. 5-13 Anzahl abgesetzter PEV in den USA nach Verkaufsjahr und Herkunftsland

Quelle: eigene Darstellung nach (AFDC 2014)

Wie sich die heimischen Produktionskapazitäten in den nächsten Jahren entwickeln werden ist schwierig vorherzusagen. Die deutschen Hersteller kommen in den nächsten Jahren mit BMWi3, Mercedes-Benz B-Klasse, VW e-up und e-Golf mit volumenstarken BEV-Modellen auf den USA-Markt. Hinzu kommen zahlreiche PHEV-Ankündigungen deutscher und japanischer Hersteller.

### Verbraucher und Markt

Im Jahr 2011 legte Präsident Obama das Ziel fest, bis 2015 in Amerika eine Million Elektroautos (PHEV und BEV) auf die Straßen zu bringen. Dieses Ziel wird aller Voraussicht nach

verfehlt, wie Tabelle 2 zeigt. Mit einer Flotte von über 220 000 BEV und PHEV (bis 1.HJ 2014) sind in den USA dennoch die meisten Elektrofahrzeuge weltweit angemeldet. Im 1.HJ 2014 betrug der US-Marktanteil an den weltweiten Neufahrzeugverkäufen von BEV und PHEV knapp 50 %. Der Markt von HEV erreicht in den USA schon eine beachtliche Größe von knapp 500 000 Fahrzeugen in 2013. Am gesamten US Pkw-Markt kamen in 2013 HEV auf einen Marktanteil von etwa 3 %, BEV und PHEV auf jeweils 0,3 %.

Aktuell werden den Fahrzeugkäufern von 16 Fahrzeugherstellern 10 BEV und 7 PHEV Modelle angeboten. Die Gesamtzulassungen bis Juli 2014 führt der Chevrolet Volt mit 65 187 verkauften Fahrzeugen an. Danach kommen Nissan Leaf (57 877) Toyota Prius Plug-In (35 509) und Tesla S (28 455). Für die Jahre 2014 und 2015 sind von den OEM rund 20 Neuerscheinungen, vorwiegend im Kleinen und Mittleren Segment, angekündigt. Das Umsatzplus bei PHEV und BEV von 2012 zu 2013 ist einerseits auf die gestiegene Angebotsvielfalt zurückzuführen. Andererseits und vielleicht noch wichtiger wurde in dieser Zeit von den Fahrzeuganbietern die gewährte Steuergutschrift in die Leasingverträge der Fahrzeuge integrieren, so dass die Leasingkosten einiger Modelle unter denen vergleichbarer Verbrenner lagen.

Verkaufszahlen Pkw USA					Grafik
Jahr	HEV	BEV	PHEV	Gesamt	
2007	352 274	0	0	11 777 314	700.000
2008	313 673	0	0	13 260 747	600.000
2009	290 292	0	0	10 429 014	500.000
2010	274 210	19	326	11 588 783	400.000
2011	266 329	7 671	10 064	12 734 356	300.000
2012	434 645	14 251	38 584	14 439 684	200.000
2013	495 530	47 694	49 008	15 531 609	100.000
1.HJ 2014	232 318	25 844	29 129	-	0
Summe	2 659 271	95 479	127 111	-	

Tab. 5-12 Verkaufszahlen Pkw in den USA 2007 - 2014

Quelle: (EDTA 2014)

Geographisch ist der Verkauf von BEV und PHEV in wenigen Regionen konzentriert, insbesondere in den Stadtregionen an der West und Ostküste (San Diego, Los Angeles, San Francisco Bay Area, Portland Oregon, Seattle und Washington). Der Bundesstaat Kalifornien ist dabei Spitzenreiter mit etwa 1/3 der nationalen BEV und PHEV Verkäufe, bei etwa 12 % aller Neuwagenverkäufe in den USA in 2012. Innerhalb der PEV Käuferschicht gibt es spezifischere Markttrends. So sind unter den Käufern vorwiegend wohlhabende Haushalte mit freistehenden Einfamilienhäusern, die auch die Möglichkeit der Ladung des Pkw bieten, zu

finden. Die durchschnittliche Anzahl an Pkw liegt bei den PEV Käufern mit 2,7 Fahrzeugen im Haushalt überdurchschnittlich hoch, bei sonst durchschnittlich 2,1 Fahrzeugen pro US-Haushalt. Es kann also davon ausgegangen werden, dass sich derzeit mindestens ein Verbrennungsmotor-Pkw zusätzlich zu dem Elektrofahrzeug im Haushalt befindet.

Die Anfangsphase hat gezeigt, dass die Mehrheit der EV-Nutzer ihr Fahrzeug zu Hause oder am Arbeitsplatz lädt. Wie in Deutschland sind sich die Experten daher uneinig, wie groß die benötigte öffentliche Ladeinfrastruktur wirklich sein sollte.

### **Fazit - Gesamtbetrachtung des Status quo der Elektromobilität in den USA**

Der Markt ist in den ersten Jahren stark mit Anreizen und Bundessteuergutschriften gefördert worden. Kalifornien fiel durch die strenge Gesetzgebung und den zahlungskräftigen und umweltbewussten Kunden die Rolle des „Early Markets“ zu. Zusätzlich wurden staatliche Kredite und Rabatte sowie lokale Anreize wie kostenlose Parkplätze an Lade- und Arbeitsstätten geschaffen. In den letzten Monaten wurden kostengünstige Leasingverträge, HOV-Spur-Privilegien (Fahrbahn für stark besetzte Fahrzeuge) und kostenlose Lade- und Parkmöglichkeiten eingerichtet, welche den Markt für Käufer mit mittlerem Einkommen zugänglich gemacht haben. Diese Anreize sind wahrscheinlich nicht nachhaltig und stoßen mit wachsender Anzahl von Fahrzeugen an ihre Grenzen.

In den ersten Jahren des Marktes waren PEVs teurer, die Ladeinfrastruktur noch nicht gut entwickelt, und reine Batterie-Elektrofahrzeuge hatten Reichweiten-Einschränkungen. Elektrofahrzeuge hatten aber auch einige Vorteile für die Verbraucher, einschließlich des guten Fahrgefühls, des im Vergleich zu Kraftstoffen weniger teuren Stroms, möglicherweise weniger Reparaturen und nicht zuletzt wegen des ökologischen Vorteils. Der Markt entwickelte sich zuerst unter gut ausgebildeten, wohlhabenden und technisch versierten Autokäufern. Ferner besaßen diese Käufer meist ein Haus mit einem direkten Zugang zu einer Lademöglichkeit.

Bis heute fanden die EV-Verkäufe vorwiegend im Kleinwagensegment und nicht in den in den USA sonst so absatzstarken Pickup und Limousinenmarkt statt. Aufgrund des höheren Energiebedarfs für größere und schwerere Fahrzeuge sind rein elektrische Pickups oder Limousinen auch in naher Zukunft nicht darstellbar. Auf Seiten der Produktion von E-Fahrzeugen und deren Komponenten gab es bereits einige bedeutende Insolvenzen in der Anfangsphase, einschließlich dem Projekt Better Place, Fiskar und mehrere Batteriehersteller. Besonders interessant wird in der Zukunft die Entwicklung von Tesla und der von Tesla geplanten Batteriefabrik sein.

Bei der Analyse der abgesetzten Fahrzeuge nach ihrem Herkunftsland wurde festgestellt, dass bis zum Jahr 2013 ein Großteil der in den USA abgesetzten PHEV und BEV auch in den USA produziert wurden. Wie sich die heimischen Markt- und Produktionskapazitäten in den nächsten Jahren entwickeln werden ist schwierig vorherzusagen und nicht Gegenstand dieser Arbeit. Ferner konnte die massive Förderung der US-Regierung in Anbetracht auf die heimische Wirtschaftswirkung und der eingesparten Emissionen nicht hinreichend untersucht werden. Für zukünftige Untersuchungen sind diese Punkte allerdings wünschenswert.



## 5.2.4 Japan

H. Hüging (WI), T. Koska (WI)

Die Regierung Japans fördert Elektrofahrzeuge aus ökonomischen und ökologischen Gründen. Mit einem Anteil von 20 % an Produktion und Arbeitsplätzen ist die Automobilindustrie eine Schlüsselindustrie in Japan. Die Regierung will durch die Förderung von xEVs die Erhaltung ihrer globalen Wettbewerbsfähigkeit gewährleisten. Gleichzeitig strebt die Regierung eine Verringerung von Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor an und sieht Elektrofahrzeuge als wichtiges Element ihrer CO<sub>2</sub>-Reduktionsstrategie. Im Zuge der Tsunamikatastrophe und des Atomunfalls in Fukushima im Jahr 2011 haben xEVs außerdem eine Bedeutung als mögliche Energiespeicher im Falle von Katastrophen und Stromausfällen gewonnen. Die batteriebasierte Elektromobilität wird unter den möglichen zukünftigen alternativen Fahrzeugtechnologien als das Konzept mit der höchsten Marktreife betrachtet.

In der Politik zur Förderung der Elektromobilität in Japan nehmen vier Ministerien eine zentrale Rolle ein: Das Ministerium für Wirtschaft, Handel und Industrie (METI), das Ministerium für Land, Infrastruktur, Transport und Tourismus (MLIT), das Ministerium für Umwelt (MOEJ) sowie das Ministerium für Bildung, Kultur, Sport, Wissenschaft und Technologie (MEXT). Das METI, insbesondere die Automobilabteilung, ist für den Bereich Automobilherstellung sowie für verwandte Branchen verantwortlich. Hierzu zählen vor allem die Entwicklung von Pkw betreffenden Maßnahmen, die FuE im Bereich Batterie, Motoren und magnetische Materialien in enger Zusammenarbeit mit privaten Unternehmen sowie die Festlegung von Kraftstoffeffizienzstandards. Die Automobilabteilung des MLIT ist für die Politik hinsichtlich öffentlicher Verkehrsmittel, Lkw, Bussen und Taxen zuständig. Hinzu kommen Fragen der Automobilsicherheit, Politiken mit Umwelt- und Technikbezug und die Formulierung von Fahrzeugnormen. Das MEXT leitet und fördert FuE für Automobile an den Hochschulen, während das MOEJ für die Formulierung von Emissionsvorschriften zuständig ist.

Als wichtigste Strategie hinsichtlich Elektromobilität hat das METI im April 2010 die "Next Generation Vehicle Strategy 2010" vorgelegt. Als "Next Generation Vehicles" werden Hybrid- und Plug-in-Hybridfahrzeuge (HEVs und PHEVs), sowie Fahrzeuge mit Batterieantrieb (BEVs) und Brennstoffzellenantrieb (FCEVs), saubere Diesel- (CDV) sowie Fahrzeuge mit Antrieb auf Gasbasis (CNG) bezeichnet. Die Strategie zielt darauf ab, die Verbreitung dieser Fahrzeuge durch einen integrierten Ansatz zu erhöhen. Dieser beinhaltet die Förderung von FuE und die Erzeugung von Skaleneffekten durch Massenproduktion. Dadurch sollen die Leistung von Akkus erhöht und die Kosten gesenkt werden; Bauteile sollen leichter und energieeffizienter werden und die internationale Standardisierung soll vorangetrieben werden. Die Strategie enthält sechs Teilstrategien: Gesamtstrategie, Batteriestrategie, Ressourcenstrategie, Infrastrukturstrategie, Systemstrategie und die Strategie zur internationalen Standardisierung (Abb. 5-14). Offizielles Ziel ist, dass BEV und PHEV mehr als 15 % der Neuwagenverkäufe im Jahr 2020, sowie mehr als 20 % der Fahrzeugverkäufe im Jahr 2030 ausmachen werden. Bezogen auf die derzeitigen jährlichen Neuzulassungen (4,5 Mio. Pkw in 2013), entsprechen 675 000 PEV-Neuzulassungen 2015 bzw. 900 000 PEV-Neuzulassungen 2020 diesem Ziel.



**Abb. 5-14 Darstellung der Next Generation Vehicle Strategy 2010**

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an (METI 2010)

Verschiedene politische Maßnahmen zielen auf effiziente bzw. umweltfreundlichere Fahrzeuge ab, wobei je nach Programm “next generation vehicles”, “low-emission vehicles” oder “clean energy vehicles” adressiert werden. Obwohl sich die Fahrzeugkategorien leicht voneinander unterscheiden, sind Elektrofahrzeuge in allen drei Begriffen enthalten. Eine hohe Fahrzeugeffizienz soll in Japan insbesondere durch die japanische Kraftstoffeffizienzstandards des “top runner programme” werden: Für Pkw lagen diese bei 14,4 km/l für 2010 und liegen bei 16,8 km/l für 2015. Im Jahr 2010 betrug der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch neuer heimischer Pkw 18,7 km/Liter, sodass die Ziele deutlich übertroffen werden konnte. Hinzu kommen die vom MOEJ festgelegten Emissionsregulierungen für Kohlenstoffmonoxid, Kohlenwasserstoffe sowie Stickoxide für Pkw, Lkw, Busse und Motorräder. Um das öffentliche Bewusstsein für umweltfreundlichere Fahrzeuge zu erhöhen, können Fahrzeuge, die entsprechend zertifiziert sind, mit zwei codierten Aufklebern versehen werden; einer kennzeichnet die Kraftstoffeffizienz und einer das Emissionslevel.

Die japanische Regierung vergibt seit 2009 Subventionen für die Anschaffung von Fahrzeugen, die in die Kategorie “Next Generation Vehicles” fallen, sowie für die Installation von Infrastruktur zur Lieferung von Kraftstoff, wie z. B. Schnellladestationen. Im Bereich der elektrifizierten Fahrzeuge können BEV und PHEV Subventionen erhalten. HEV wurden im vorherigen Förderprogramm von 2003 bis 2009 bezuschusst. Die Zuschüsse werden aus Mitteln des METI zur Verfügung gestellt und vom “Next Generation Vehicle Promotion Center” (NeV) vergeben. Das staatliche Budget für das Subventionssystem betrug 4,27 Mrd. Yen (36,7 Mio. Euro) im Jahr 2009, stieg auf 28,2 Mrd. Yen (242,6 Millionen Euro) im Jahr 2011, 29,2 Mrd. Yen (251 Millionen Euro) im Jahr 2012 und auf 30 Mrd. Yen (258 Millionen Euro) im Jahr 2013. Der maximale Zuschuss für batteriebetriebene und Plug-in-Fahrzeuge, einschließlich normaler Pkw und Kei-Cars<sup>14</sup> lag 2011 bei 1 Mio. Yen (8 603 Euro) pro Fahrzeug. Für vier- und zweirädrige Motorräder betrug die Subvention 70 000 Yen (602 Euro) und für saubere

<sup>14</sup> Kei Cars bezeichnet eine japanische Fahrzeugkategorie, die kleine Pkw, Vans und Kleintransporter umfasst. Die Fahrzeuge dürfen maximal 3,4m lang und 1,48m breit sein sind in Hubraum und Leistung beschränkt. Kei Cars genießen in Japan Steuerbegünstigungen und weitere monetäre und nichtmonetäre Vorteile.

Dieselfahrzeuge 400 000 Yen (144 Euro). Die Installation von normalen und Schnellladestationen wird, je nach Art der Anlage, mit 200 000 Yen (1 721 Euro) bis zu 1,5 Mio. Yen (12 904 Euro) bezuschusst. Einem Interview mit METI zufolge werden die Subventionen als Pauschale allen Kunden bzw. Investoren, sowohl privaten als auch öffentlichen, angeboten. Im Jahr 2012 deckte der Zuschuss bis zu 50 % der Preisdifferenz zwischen einem BEV, PHEV oder „Clean Diesel Vehicle“ und einem entsprechenden konventionellen Fahrzeug ab. 2013 wurde der Fördersatz auf bis zu zwei Drittel der Preisdifferenz erhöht. Der Zuschuss für Ladeinfrastrukturanlagen deckt bis zu 75 % der Gesamtkosten der Installation einer Schnellladestation oder einer CNG-Station ab. Ergänzend wurde bis zu 533 Mio. Yen (4,6 Mio. Euro) als Subvention für Verwaltungskosten im Rahmen der Förderung umweltfreundlicher Fahrzeuge, wie zum Beispiel der Ausrichtung von Konferenzen, Outsourcing und Werbung, zur Verfügung gestellt.

Zusätzlich bieten mehrere japanische Regionalregierungen weitere finanzielle Anreize: So erteilt die Präfektur Kanagawa zusätzliche finanzielle Unterstützung in Höhe von etwa der Hälfte des nationalen Subvention für BEV.

		2008	2009	2010	2011	2012
Elektrofahrzeuge inkl. Plug-in- Hybrids	Anzahl geförderter Fzg.	84	1 604	6 544	9 283	16 410
	Subventionsvolumen in Mio. Euro	0,2	18,5	47,6	58,4	82,9
Ladestationen	Anzahl geförderter Stationen	1	141	724	1 846	998
	Subventionsvolumen in Mio. Euro	0,0	1,8	3,8	4,5	2,2

\* Normale und Kei-Cars, sowie zwei- und vierrädrige Motorräder

**Tab. 5-13 Entwicklung des japanischen Subventionssystems 2008 - 2012**

Quelle: (NEV 2014)

Tab. 5-14 gibt einen Überblick über die verschiedenen finanziellen Anreize, die von der japanischen Regierung zur Förderung von Elektrofahrzeuge und entsprechender Infrastruktur eingesetzt werden. Neben den dargestellten finanziellen Anreizen gibt es zusätzlich spezielle Subventionen für Brennstoffzellen- und Wasserstofffahrzeuge auf kommunaler Ebene sowie Subventionen für erdgasbetriebene oder Hybrid-Busse und Lkw.

Experten aus Industrie und Beratungsunternehmen wiesen auf das mögliche Problem einer zeitlichen Lücke im Anschluss an die Förderprogramme hin: Während die Subventionen auf nationaler Ebene im Jahr 2016 auslaufen sollen, ist noch unsicher, ob der Kaufpreis von Elektrofahrzeugen bis dahin stark genug gefallen sein wird, um eine selbsttragende Nachfrage zu gewährleisten. Bis 2016 müssten die Hersteller demnach ein tragfähiges Geschäftsmodell etabliert haben, um einen Einbruch der Nachfrage zu verhindern.

Maßnahme	Zugelassene Fahrzeugtypen						Zugelassene Förderempfänger / Grundlage der Förderung	Typ
	FCE V	PEV	CNG	HEV	An-dere	An-lagen		
Förderung der Vision einer "low carbon society" auf Basis der "my-car" Regulierung	●	●	●	●	●	●	Subventionen für private Verkehrsunternehmen, die Hybridfahrzeuge (HVs) und Aufladestationen für Transportdienstleistungen in den von "my-car" regulierten Bereichen in Nationalparks erwerben.	Subventionen
Förderung der Verbreitung von BEVs durch die Ökologisierung lokaler Transportsysteme		●			●	●	Subventionen an Betreiber von Lkw, Bussen und Taxis, die BEVs und Ladestationen erwerben oder bestehende Fahrzeuge in BEVs umwandeln	
Freistellung / Ermäßigungen bei Tonnagesteuer und Erwerbsteuer von Automobilen	●	●	●	●	●		Basierend auf Umweltleistung/eigenschaften innerhalb eines bestimmten Zeitraums	Steuerermäßigungen
Ermäßigung bei der Automobilsteuer, um ökologische Autos zu fördern	●	●	●	●	●		Reduzierung der Automobilsteuer im Jahr nach der Registrierung für Neufahrzeuge, die bis Ende 2013 als emissionsarme Fahrzeuge zertifiziert sind	
Ermäßigungen bei Einkommensteuer und Körperschaftsteuer auf Basis von Steuersenkungen für "grüne Investitionen"		●		●	●	●	Spezielle Steuervergünstigungen für den Erwerb von emissionsarmen Fahrzeugen und Schnellladeanlagen	
Sonderbehandlung bei der "fixed asset"-Steuer für den Einbau von Kraftstoffversorgungseinrichtungen usw.						●	Verfügbar für den Einbau von Kraftstoffversorgungseinrichtungen usw.	
Zinsgünstige Finanzierung für kleine und mittelständische Unternehmen sowie für öffentliche Einrichtungen durch die Japan Policy Finance Bank		●	●	●	●	●	Für den Erwerb von emissionsarmen Fahrzeugen und relevante Kraftstoffversorgungseinrichtungen	Finanzierungsoptionen

Anmerkung: Dargestellt werden nur die für PEVs oder HEVs relevanten Maßnahmen).

"Andere" enthält Wasserstofffahrzeuge, emissionsarme Dieselfahrzeuge, andere Fahrzeuge, die als hocheffizient und emissionsarm zertifiziert sind.

**Tab. 5-14 Ausgewählte finanzielle Anreize zur Förderung emissionsarmer Fahrzeuge in Japan**

Quelle: Regionalstudie Japan

Als zentrales Demonstrationsprojekt wurde das "EV/PHEV Towns Concept" vom METI zur Förderung der Verbreitung von xEVs entwickelt. Im März 2009 wurden acht Präfekturen als EV/PHEV-Städte ausgewählt und 2010 um zehn weitere Präfekturen ergänzt. Diese werden in den vier Schwerpunktbereichen des Konzepts gefördert:

1. Schaffung von erster Nachfrage;
2. Entwicklung von Infrastruktur;
3. Bildung und Sensibilisierung der Öffentlichkeit;
4. Evaluierung und Verbesserungen.

In den derzeit ausgewählten 18 Präfekturen werden verschiedene Initiativen umgesetzt, wie z.B. der Einsatz von xEVs als Dienstwagen, Mietwagen, Taxis oder Busse. Hierfür werden oftmals spezielle Subventionen zur Verfügung gestellt. Zusätzlich tragen die lokalen Regierungen mithilfe von Ausstellungen, Testfahr-Events und der Verbreitung von Informationen über Websites usw. aktiv zur Sensibilisierung der Öffentlichkeit bei.

Die japanischen Demonstrationsprojekte ("EV/PHEV Town Concept" s.u.) spielen auch eine Schlüsselrolle beim Aufbau von Ladeinfrastruktur.

Bis Ende 2012 wurden in Japan insgesamt 5 075 Ladestationen mit Hilfe von Fördermitteln aufgebaut. Davon sind 1 750 Schnellladestationen (NEV 2014). Im Rahmen des aktuellen nationalen Förderprogramms, gültig bis Ende Februar 2014, werden von Regierungsseite Gesamtmittel in Höhe von 100,5 Mrd. Yen (734 Mio. Euro) für Ladeinfrastruktursubventionen zur Verfügung gestellt. Die Subventionen sind für Gewerbe und private Nutzer zugänglich und betragen 50 % der Kauf- und Installationskosten. Ladestationen, die mit den sogenannten "Visions Lists" konform sind, können bis zu zwei Drittel der Kosten erstattet bekommen (NEV 2013). Bei den "Vision Lists" handelt es sich um Pläne zur Anzahl, Standort und Art von Ladestation, die von den Präfekturen oder der Straßenbehörde entwickelt werden. Zusätzliche Subventionen auf lokaler Ebene variieren je nach Präfektur.

Die Planungen sehen vor, dass normale Ladestationen vor allem bei Autohändlern, Geschäften, Krankenhäusern, und Parkplätzen installiert werden, während Schnellladeeinrichtungen primär am Straßenrand, an Tankstellen, Schnellstraßen-Rasthöfen, sowie ebenfalls bei Autohändlern und Gewerbeanlagen installiert werden. Hinzu kommen zwei weitere Ansätze der Förderung durch die japanische Regierung: Die proaktive Einrichtung von öffentlichen Ladestationen an Standorten der lokalen Regierungen und der Mitglieder des Förderprogrammes sowie die gezielte Werbung für Ladeanlagen.

Die Entscheidung, ob bei öffentlichen Ladeeinrichtungen Gebühren erhoben werden, treffen in der Regel die Betreiber. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt erheben allerdings viele Einrichtung keine Gebühren. Dies führt zum Teil dazu, dass Nutzer lieber die kostenlosen öffentlichen Schnellladegeräte in ihrer Nachbarschaft verwenden, anstatt zu Hause zu laden. Hotels, Restaurants oder Supermärkte sowie öffentliche Stellen bieten häufig ebenfalls kostenlose Lademöglichkeiten an. Das Aufladen an Tankstellen und Autobahnen ist in Japan meist kostenpflichtig. Elektrizitätsunternehmen haben zudem angefangen, kostenpflichtiges Laden als Geschäftsmodell zu etablieren.

Automobil- und Regierungsexperten sehen xEVs als eine mögliche Lösung für Lücken in der Stromversorgung und als mobiler Energiespeicher. In einem dreistufigen Ansatz plant das METI daher, Autos in mobile Stromquellen zu verwandeln: In einem ersten Schritt können

Fahrzeuge mit Steckdosen ausgestattet werden, um Laptops und Handys aufzuladen; diese Modelle sind bereits verfügbar. Ein weiterer Schritt ist die Verbindung von Fahrzeugen mit Häusern, um Klimaanlage oder Beleuchtung im Haus mit Strom zu versorgen. Diese Systeme werden momentan von Nissan und Toyota entwickelt und sind vor allem für Notfallversorgung im Falle von Stromausfällen ausgelegt. Der nächste Schritt ist, Fahrzeuge mit dem Stromnetz zu verbinden, so dass xEVs als temporäre Energiespeicher arbeiten können, um Strom aus erneuerbaren Energien zu speichern und an das Netz zurückzugeben, sobald die Nachfrage höher ist. Experten sehen diese Netzintegration allerdings als ein langfristiges Projekt, das neue Regulierungen und Technologien benötigt. Ein Experte aus der Batterieforschung erwähnte, dass die Verwendung der Batterie als Energiespeicher zu relevanten Verlusten in Qualität und Lebensdauer führt, so dass der Erfolg dieser Konzepte zweifelhaft ist. Laut einem Experten einer internationalen Beratung sind die japanischen Elektrizitätsunternehmen außerdem sehr zurückhaltend hinsichtlich der Netzintegration und in Richtung erneuerbare Energien. Die Netzintegration von Elektrofahrzeugen erscheint daher für die nahe Zukunft als kein realistisches Szenario.

### **Forschungsförderung und Institutionen**

Fördermittel für Elektrofahrzeuge werden in erster Linie durch das Wirtschaftsministerium (METI) bzw. durch die NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization), welche die Forschungsfinanzierung organisiert, vergeben. Im Steuerjahr 2011 wurden ca. 10,5 Mrd. JPY (ca. 80 Mio. EUR) vom Wirtschaftsministerium für Forschungsprojekte zu Elektrofahrzeugen (v.a. Batterieforschung) bereitgestellt. Laut Auskunft von NEDO war das Forschungsbudget für Elektrofahrzeuge seit 2007 mit ca. 7 bis 8 Mrd. JPY (50 bis 60 Mio. Euro) jährlich relativ konstant. Davon werden ca. 3 Mrd. JPY (26 Mio. Euro) in Grundlagenforschung investiert, jeweils weitere 2 Mrd. JPY (17 Mio. Euro) fließen in die Produktentwicklung im Bereich stationäre Batterien und in die Produktentwicklung von elektrifizierten Fahrzeugen.

Die meisten Investitionen in Forschung und Entwicklung in Japan konzentrieren sich auf die Kapazitätserhöhung und die Kostensenkung von Batterien. Gemäß der aus 2006 stammenden "Battery R&D Roadmap" sollen bis zum Jahr 2015 weiterentwickelte Batterien mit einer um das 1,5 fache erhöhten Kapazität bei gleichzeitiger Kostenreduzierung auf 1/7 des aktuellen Niveaus entwickelt werden. Bis 2030 sollen revolutionäre Batterien entwickelt werden, die die Kapazität um das siebenfache erhöhen und die Kosten auf 1/40 des aktuellen Niveaus senken.

In der Budgetplanung für den Zeitraum 2007-2011 hat der Regierung daher ein jährliches Budget zwischen 1,6 Mrd. Yen (13,7 Mio. Euro) und 2,48 Mrd. Yen (21 Mio. Euro) für die Entwicklung von weiterentwickelten Lithium-Ionen-Batterien zur Verfügung gestellt. In der Planung für 2009-2015 ist für die Entwicklung von revolutionären Batterien der Post-Lithium-Ionen-Ära ein Jahresbudget zwischen 2,8 Mrd. Yen (24,1 Mio. Euro) und 3,9 Mio. Yen (33,6 Mio. Euro) vorgesehen.

Äquivalent zur Batteriestrategie gibt es zwei wichtige, von der Regierung geförderte Forschungsprojekte: das RISING-Projekt zur revolutionären Batterietechnologie und das Li-EAD Projekt zur Weiterentwicklung von Lithium-Ionen Batterien. Im RISING-Projekt („Research & Development Initiative for Scientific Innovation of New Generation Batteries“) werden über einen Zeitraum von 7 Jahren innovative Batterien mit einem Schwerpunkt auf hohe Energie-

dichte entwickelt. In diesem Forschungsbereich ist das RISING-Projekt das Schlüsselprojekt der Regierungsförderung. Aktuell forscht das Projekt an sogenannten Zink-Luft-Batterien. Andere Materialien, sowohl luftbasierte als auch halbleiterbasierte Technologien, werden ebenfalls getestet. Beteiligte Experten erwarten, dass diese neuen Arten von Batterien in den 2020er Jahren für die Markteinführung bereit sein werden. Das Li-EAD-Projekt ("Li-ion and Excellent Advanced Batteries Development") umfasst die Entwicklung von hochwertigen Akku-Systemen für Fahrzeuge der nächsten Generation. Die befragten Experten gehen davon aus, dass Lithium-Ionen-Batterien den Markt weiterhin beherrschen und bis 2020 schrittweise Verbesserungen an diesen Batterien möglich sind.

Nach Expertenmeinung ist Japan hinsichtlich der Weiterentwicklung bestehender Materialkonzepte generell gut positioniert. Japan ist zwar führend im Bereich Lithium-Ionen-Technologien, allerdings gibt es auf dem Markt für Lithium-Ionen-Batterien eine starke internationale Konkurrenz, und vor allem Südkorea gewinnt dort dank Kostenvorteilen Marktanteile. In der Grundlagenforschung an Batterien und der Entwicklung von innovativen Materialien wird Europa als führend angesehen. Während auch die USA sehr aktiv sind, wird die Position Japans auf diesem Gebiet als schwächer eingeschätzt. Ferner wurde erwähnt, dass es nur wenig Forschungszusammenarbeit mit anderen Weltregionen gibt.

Die befragten Experten nannten Batterie-Recycling und Weiternutzung als wichtiges zukünftiges Forschungsthema. Diese Forschungsfelder werden in fünf bis zehn Jahren an Bedeutung gewinnen, sobald der xEV-Markt stärker wächst.

Neben den Batterien zählen die Leichtbauweise, Leistungselektronik, insbesondere Leistungshalbleiter mit hoher Schaltfrequenz, Wärmemanagement und allgemein die Energieeffizienz der Fahrzeuge zu den wichtigen Forschungsfeldern. Für den Leichtbau sind Kohlenstofffasern ein vielversprechendes Material zur Gewichtsreduzierung im Massenmarkt. Im Bereich der Leistungselektronik werden neue Materialien für Halbleiter wie Siliziumkarbid und Galliumnitrid erforscht, um die Leistungselektronikmodule zu verbessern; hinzu kommt das Thema der Reduktion des Bedarfs an seltenen Erden in Elektromotoren. Geforscht wird in Japan außerdem zu den Themen Mikro-xEVs (an der Gumma University), automatisiertes Fahren (Japan Automobile Research Institute), Optimierung der Installation der Ladeinfrastruktur (Osaka Prefectural University) und Informationsmanagement bei Ladestationen für xEVs (National Institute for Land and Infrastructure Management).

## **Wirtschaft und Industrie**

Die Automobilherstellung ist einer der industriellen Kernsektoren der japanischen Volkswirtschaft. Die Entwicklung der Automobilwirtschaft wird als Konjunkturbarometer für die gesamte nationale Wirtschaft gesehen. Derzeit liegt die Gesamtbeschäftigtenzahl in der Automobilherstellung und verwandten Industrien in Japan bei 5,45 Mio., was 8,7 % der gesamten japanischen Arbeitskräfte entspricht. 787 000 hiervon arbeiten direkt in der Automobilherstellung. Im Jahr 2011 produzierte die japanische Automobilindustrie 8,4 Mio. Kraftfahrzeuge, davon 7,16 Mio. im Pkw-Segment.

Japans Automobilindustrie trat im Jahr 2009 mit der Massenproduktion des Mitsubishi i-MiEV in den Markt für Elektrofahrzeuge ein. Die wichtigsten japanischen Autokonzerne in diesem Markt sind Mitsubishi, Nissan, Toyota und Honda:

- **Mitsubishi** führte den i-MiEV nach der Veröffentlichung auf dem heimischen Markt 2009 nach und nach durch die Zusammenarbeit mit Peugeot und Citroen in der EU und in Nordamerika ein. Seit 2011 bietet Mitsubishi außerdem den MINICAB-MiEV an, der den Spezifikationen der Kei-Cars Fahrzeugkategorie entspricht.
- **Nissan** produziert seit 2010 den Nissan LEAF in Massenproduktion für die Märkte in Japan, Nordamerika und Europa. Zusätzlich wird ab Mai 2014 der Nissan E-NV200, ein Van mit Elektroantrieb, in einer Fabrik in Barcelona gefertigt. Seit dem Verkaufsstart in 2010 konnten weltweit bereits über 100 000 Nissan LEAFs verkauft werden (Stand Januar 2014).
- **Toyota** offeriert mit dem Prius einen Mittelklassewagen mit Hybridantrieb. Seit Januar 2012 verkauft Toyota den Prius außerdem als Plug-in-Hybrid. Der Toyota Scion iQ von 2013 ist darüberhinaus ein batteriebetriebenes Viersitzer-Pendlerauto, welches für Car-Sharing-Programme in städtischen Umgebungen entwickelt wurde.
- **Honda** enthüllte im November 2012 die verbesserte Version ihres "Micro Commuter"-Prototyps, einem batteriebetriebenen Stadtmobil in Mikro-Größe. Dieser unter Berücksichtigung der Initiative des MLIT entstandene Zweisitzer ist speziell für Senioren, Lieferdienste, Pendler und Car-Sharing geeignet. Außerdem bietet Honda seit Ende 2013 den Accord Plug-in auf dem japanischen und dem amerikanischen Markt an.

Weitere bedeutende Fahrzeughersteller mit eigenen xEV-Konzeptfahrzeugen sind Subaru, Suzuki, Mazda, Infiniti, Lexus und Daihatsu.

Die Produktion von BEVs ist zwischen 2009 und 2011 von rund 1 700 Pkw auf 42 000 stark gestiegen. Dies ist auf die Einführung mehrerer BEV-Modelle in dieser Zeit, vor allem dem Mitsubishi i-MiEV im Jahr 2009, dem Nissan Leaf 2010 und dem Minicab MiEV im Jahr 2011, zurückzuführen. 2012 gingen die BEV-Produktionszahlen im Vergleich zum Vorjahr deutlich zurück (siehe Tab. 5-8). Stattdessen wurden mit ca. 36 000 Fahrzeugen deutlich mehr PHEV als in den Vorjahren produziert, was unter anderem auf die Neuerscheinungen von verschiedenen PHEV-Modellen 2012 und 2013 zurückgeführt werden kann. Auch bei den HEVs steigt sich eine deutliche Steigerung der Produktionszahlen zwischen 2009 und 2012. Die Produktionszahlen übertreffen dabei die Inlandsverkäufe von Elektrofahrzeugen deutlich, was auf die starke Rolle des Exports im xEV-Segment hinweist. So wurden im Jahr 2012 rund 65 500 Pkw-BEVs produziert, aber nur etwa 27 000 im Inland abgesetzt .

Pkw-Segment*	2009	2010	2011	2012
PHEV	515	251	8 472	35 782
BEV	1 744	16 169	42 036	29 757
HEV	821 946	729 682	1 028 162	1 244 770

\* Standard- und Kleinfahrzeuge sowie LDV, ohne Sonderfahrzeuge

**Tab. 5-15 Produktion von PHEVs, BEVs und HEVs in Japan 2009-2012**

Quelle: eigene Zusammenstellung auf Basis von (NEV 2013)



Die befragten Experten benennen unterschiedliche Anwendungsgebiete für die verschiedenen Fahrzeugtypen: Kleine BEVs für städtische Gebiete und Plug-in-Hybrids für größere Fahrzeuge sowie für die Nutzung auf längeren Strecken. Fahrzeughersteller sehen die Notwendigkeit starker Fortschritte in der Leistungselektronik. Wenn die Kombination aus Elektroantriebsstrangsystem und Verbrennungsmotoren kompakter gebaut werden könnte, könnten Plug-in-Hybrids auch eine Option für kleinere Fahrzeugklassen sein. Experten erwähnen außerdem, dass es in der Regel ein hohes Maß an Zusammenarbeit zwischen OEMs und Komponentenherstellern der BEVs, vor allem für Batterien, gibt. So arbeitet üblicherweise jeder OEM primär mit einem Hersteller für Batterien zusammen; Mitsubishi zum Beispiel bezieht seine Batterietechnologie großteils von Toshiba. Einige Batteriehersteller beliefern allerdings auch mehrere OEMs. Allgemein erwähnen die meisten Experten die Batterie als Kernkomponente von xEVs und gleichzeitig als größte Herausforderung. Obwohl japanische Batterielieferanten viel forschen und in neue Produkte investieren, rentieren sich die Investitionen laut einem Experten einer Unternehmensberatung noch nicht. Als weiteres Hindernis wird eine erwartete Marktkonsolidierung der Batteriehersteller gesehen.

Obwohl laut Expertenmeinung neue Geschäftsmodelle wie Car-Sharing in Japan nicht weit verbreitet sind und die meisten der BEV von privaten Nutzern gekauft werden, zeigen mehrere Demonstrationsprojekte mögliche Nischen für Business-Anwendungen von BEVs. Zum Beispiel gewähren manche japanischen Stadtverwaltungen Taxibetreibern einen Zuschuss für die Anschaffungskosten von xEV-Taxis und stellen spezielle Flächen für Taxistände mit xEVs vor Bahnstationen und Kaufhäusern zur Verfügung. In einem Car-Sharing Modellprojekt in Kanagawa arbeitet die Präfektur mit einer Autovermietung zusammen, um eine Doppelnutzung der Fahrzeuge zu ermöglichen: Während der Arbeitszeiten werden die Fahrzeuge für die Nutzung durch die Angestellten reserviert, in der restlichen Zeit können sie von Privatpersonen als Mietwagen genutzt werden.

Darüber hinaus präsentiert die lokale Regierung in Nagasaki ein Demonstrationsprojekt mit dem Namen "driving tourism of the future". Hierbei wird der örtliche Tourismus gefördert, indem mit neuesten Navigationssystemen ausgestattete BEVs als Mietwagen für Touristen in Nagasaki zur Verfügung gestellt werden.

## **Verbraucher und Markt**

Auf dem japanischen Markt für Elektromobilität sind gemäß dem Clean Energy Vehicles Guidebook von 2012 (MOEJ et al. 2012) 26 Typen von Elektrofahrzeugen, ein Plug-in-Elektrofahrzeug sowie 37 Arten von Hybridfahrzeugen einschließlich der Segmente Pkw, Lkw, Busse und Motorräder. Weitere Fahrzeuge wie der Honda Accord Plug-in und der Mitsubishi Outlander PHEV sind in 2013 hinzugekommen.

Im Jahr 2012 waren in Japan knapp 59 Millionen Pkw registriert, davon fast drei Millionen elektrifizierte Fahrzeuge (HEVs, PHEVs und BEVs). Hybridfahrzeuge dominieren dabei klar, während PEVs nur ca. 51 000 Fahrzeuge ausmachten. Mit etwa 34 000 zugelassenen Fahrzeugen im Pkw-Sektor (einschließlich Kei-Cars) im Jahr 2012 konnten BEVs erhebliche höhere Zulassungszahlen als Plug-in-Hybrids (ca. 17 000 Pkw) erreichen. Laut den befragten Experten liegt dies an der begrenzten Verfügbarkeit von Plug-in-Modellen, außerdem wurden

die meisten verfügbaren PHEV-Modelle erst vor kurzem eingeführt<sup>15</sup>. Hinzu kommt, dass manche lokale Subventionen eine bestimmte Technologie begünstigen. So sind beispielsweise die von der Präfektur Kanagawa bereitgestellten Zuschüsse auf BEVs begrenzt. Zusätzlich zu den elektrifizierten Pkw waren in Japan 2011 etwa 5 500 batteriebetriebene Motorräder sowie eine kleine Anzahl von Lkw und Bussen mit Elektroantrieb registriert.

Pkw-Segment*		2009	2010	2011	2012
PHEV	Bestand	165	379	4 132	17 281
	Verkäufe	165	214	3 753	13 149
BEV	Bestand	1 889	8 977	20 156	34 066
	Verkäufe	1 622	7 110	11 202	14 023
HEV	Bestand	971 121	1 404 138	2 012 559	2 833 443
	Verkäufe	452,098	447,626	633,417	854 904

\* inkl. Kei-Cars und Leichtbau-Pkw, ohne gewerbliche Kei-Cars und Sonderfahrzeuge

**Tab. 5-16 Eckdaten zum Bestand und Verkäufen von PHEV, BEV und HEV in Japan 2009-2012**

Quelle: eigene Zusammenstellung auf Basis von (NEV 2013)

Die Einstellungen und das Verhalten der japanischen Verbraucher hinsichtlich xEVs hat Deloitte im Jahr 2012 in einer Verbraucherumfrage mit 2 075 Teilnehmern analysiert. Während ein Großteil der Befragten (88 %) über BEVs Bescheid wusste, dachten nur 18 % über den Kauf eines BEVs nach. Auf die Frage nach den Gründen für den Kauf eines BEVs nannten 79 % die Umweltfreundlichkeit; 59 % erwähnten die Möglichkeit, BEVs zu Hause aufzuladen und 58 % nannten als einen der Gründe, dass BEVs im Falle eines Notfalls oder einer Katastrophe Strom liefern könnten. Die drei wichtigsten Bedenken gegenüber BEVs waren der hohe Preis (46 %), die geringe Reichweite (16 %) und eine unzureichende Infrastruktur (12%). Gefragt nach dem Preis, zu dem sie ein BEV kaufen würden, nannten die meisten Befragten weniger als 2,5 Mio. Yen (ca. 21 500 Euro). Hinsichtlich des Fahrzeugtyps bei einem eventuellen Neuwagenkauf bevorzugten 42 % der Befragten ein Hybridfahrzeug (HEV) und 22 % ein PHEV, während sich 18 % für ein BEV und 8 % für ein FCEV entscheiden würden.

Nach Ansicht von Experten ist die Affinität zu innovativen Technologien die stärkste Motivation für heutige Kunden, ein xEV zu erwerben. Die sogenannten „First-Mover“ sind vor allem Menschen mit hohem Interesse an den neuen Technologien. Die japanische Tradition der Kei-Cars wird als vorteilhaft für die Akzeptanz von BEVs gesehen. Die seit dem Zweiten Weltkrieg existierende Fahrzeugklasse von Kleinwagen profitiert von Steuervorteilen und ist in ländlichen Gebieten von Parkplatzvorschriften ausgenommen<sup>16</sup>. Kei-Cars sind begrenzt in Größe und Kapazität und werden daher vor allem als Zweitwagen für das Pendeln eingesetzt. Heutzutage haben sie einen Marktanteil von etwa 30 %. Elektrofahrzeuge wie der Mitsubishi i-MiEV ersetzen dabei immer öfter konventionelle Kei-Cars.

<sup>15</sup> 2012: Toyota Prius PHV, 2013: Honda Accord Plug-in und Mitsubishi Outlander PHEV

<sup>16</sup> In Japan müssen Autokäufer bei der Registrierung ihres Autos nachweisen, dass sie Zugang zu einem Parkplatz haben

Neben dem heimischen Markt definieren japanische xEV-Hersteller die USA und Europa als wichtige Märkte für ihre Produkte, während in China weniger Potenzial gesehen wird. Gleichzeitig sehen Experten auch ein hohes Potenzial für ausländische xEVs auf dem japanischen Markt. Vor allem Autos des A-Segments wie der VW E-Up können mit den herkömmlichen Kei-Cars konkurrieren und auf dem japanischen Markt erfolgreich sein.

Eine Beurteilung der Marktperspektiven erfolgte im Rahmen einer Schätzung der "Study Group on Next Generation Vehicle Strategy" (vgl. Tab. 5-17). Die Einschätzungen basieren auf den angekündigten Produktionsplänen der Automobilhersteller. Die Studie schätzt, dass BEVs kontinuierlich steigende Marktanteile erreichen werden. Im Kei-Car-Segment wird ein Wachstum von etwa 0,3 % Marktanteil für BEVs im Jahr 2010 auf 14,4 % im Jahr 2020 und 20,5 % im Jahr 2050 erwartet. Im Kleinwagensegment erwarten die Experten bei ebenfalls starkem Wachstum einen geringeren Marktanteil der BEVs von 6,2 % für 2020 und 11,2 % im Jahr 2050. Im Vergleich zur aktuellen Dominanz der BEVs werden laut Studie in Zukunft die PHEVs eine größere Rolle spielen und bis 2050 einen Marktanteil von 26,3 % erreichen. Unter Voraussetzung der dargestellten Marktanteile wird somit eine Flotte von mehr als zwei Millionen BEVs erwartet. Davon sollen 1,5 Millionen Fahrzeuge im Kei-Car Segment zugelassen sein und ca. 0,7 Millionen batterieelektrische Kleinwagen. Hinzukommt eine Flotte von 1,3 Millionen PHEV.

Pkw-Segment		2010	2015	2020	2030	2050
Kei BEVs	Marktanteil von BEVs am Kei-Car-Absatz	0.3 %	7 %	14.4 %	19,7 %	20.5 %
	Gesamtzahl von genutzten Kei BEVs	8.729	339.953	1.521.194	3.816.346	5.509.479
Kleinwagen-BEVs	Marktanteil von BEVs an Kleinwagenverkäufen	0.09 %	1.6 %	6.2 %	10.5 %	11.2 %
	Gesamtzahl von genutzten BEV im Kleinwagensegment	2.500	142.433	667.730	2.143.868	3.266.433
PHEVs	Marktanteil von PHEV am Pkw-Absatz	0,1 %	3.2 %	12.7 %	23.6 %	26.3 %
	Gesamtzahl von genutzten PHEV	3.000	245.786	1.312.909	4.960.330	7.797.487

**Tab. 5-17 Marktperspektiven von xEVs in Japan auf Basis von Schätzungen der Study Group on Next Generation Vehicle Strategy**

Quelle: (METI 2010)

Um die Nachfrage nach Pkw, Lkw und Bussen mit Elektroantrieb zu befriedigen, wird erwartet, dass sich die Zahl der produzierten Lithium-Ionen-Batterien auf 54,2 Millionen Zellen im Jahr 2015 erhöht. Gleichzeitig könnten laut Low-carbon Society Achievement Action Plan und METI die Leistungsfähigkeit auf das 1,5-fache erhöht und die Kosten bis 2015 von etwa 18 000 Yen (154,9 Euro) auf 2 600 Yen (22,4 Euro) gesenkt werden. Als wichtige Voraussetzung dafür, die erwartete Gesamtzahl von fast 9 Mio. BEVs im Jahr 2050 bedienen zu können, soll die Ladeinfrastruktur von ehemals 65 Schnellladestationen im Jahr 2009 bis dahin auf 13 600 Stationen ausgebaut werden. Der Stromverbrauch von BEVs und PHEVs des Pkw-Segments wird auf 9,2 TWh pro Jahr in 2030 und 11,5 TWh pro Jahr in 2050 geschätzt.

Damit machen BEVs und PHEVs etwa ein Prozent des gesamten nationalen Stromverbrauchs (176 TWh im Jahr 2007) aus..

Die befragten Experten sehen das politische Engagement und finanzielle Anreize von staatlicher Seite als essentiell für eine erfolgreiche Marktdurchdringung der xEVs in der näheren Zukunft. Japanische Hersteller erwarten, dass BEVs und PHEVs hinsichtlich der Kosten im Vergleich zu konventionell angetriebenen Autos erst in zehn bis 15 Jahren wettbewerbsfähig sein werden. Folglich wird befürchtet, dass, falls die japanischen Subventionen in den nächsten Jahren gestoppt werden, die Preise für xEVs nicht mehr wettbewerbsfähig wären und der Markt zusammenbrechen könnte. Es wird vermutet, dass BEVs in der näheren Zukunft nur begrenzte Marktanteile erreichen können. Die meisten Haushalte in Japan besitzen nur ein Auto. Aufgrund der benötigten Flexibilität haben die BEVs durch ihre begrenzte Reichweite nur ein begrenztes Marktpotenzial. BEVs könnten daher vor allem von Pendlern und als Stadtfahrzeug mit niedrigen Geschwindigkeiten verwendet werden. Allerdings bieten die kleineren japanischen Inseln ein großes Marktpotenzial für BEVs. Der Kraftstoffpreis ist dort teilweise bis zu 30 % höher als auf der japanischen Hauptinsel, was aus Kostengründen den Einsatz von Strom attraktiver macht, während die begrenzte Reichweite weniger wichtig ist. Elektrofahrzeugen mit Reichweitenverlängerer oder PHEVs wird dagegen für die Mehrheit der japanischen Ein-Auto-Haushalte ein höheres Potential als den BEVs zugeschrieben. Dementsprechend sehen Experten für die nahe Zukunft eine stärkere Marktdurchdringung der PHEVs als der BEVs.

### **Fazit - Gesamtbetrachtung des Status quo der Elektromobilität in Japan**

Japan hat sowohl ökologische als auch ökonomische Motivationen für die Förderung der Elektromobilität. Hierbei sind vor allem die Zukunftsfähigkeit der Autoindustrie, die Verringerung der Abhängigkeit von Ölimporten, die generelle Energiesicherheit, die Ereignisse in Fukushima und das Ziel einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu nennen.

Japan hat bei der Ausgestaltung der Förderung von Elektromobilität einen sehr umfassenden Ansatz gewählt: Neben der Förderung von Forschung und Entwicklung zu Batterien und Ladeinfrastruktur wurden insbesondere finanzielle Anreize geschaffen, um den Erwerb von BEVs und PHEVs durch Privatpersonen, lokale Verwaltungen oder private Unternehmen zu unterstützen. In einem früheren Programm wurden ebenfalls HEV bezuschusst. In den Demonstrationsprojekten des EV/PHEV Town Concepts werden außerdem Geschäftsmodelle für die Verbreitung von BEVs und PHEVs entwickelt und getestet.

Die Forschung in Japan ist insbesondere im Bereich der Li-Ionen Batterien, der Leistungselektronik und der Elektromotoren stark. Die japanischen Automobilhersteller gehören zu den führenden Herstellern von elektrifizierten Fahrzeugen weltweit und zu den ersten Herstellern, die HEV- und BEV-Modelle breit auf den Markt gebracht haben. Heute stellt Japan einen der wichtigsten Produktionsstandorte für elektrifizierte Pkw dar, mit über 65 000 produzierten PEV und 1,2 Mio. produzierten HEV im Jahr 2012. Auch Modelle europäischer Hersteller werden zum Teil in Japan produziert.

Japan gehört heute zu den am weitesten entwickelten Märkten für elektrifizierte Fahrzeuge, wobei die Subventionsprogramme der nationalen und regionalen Regierungen eine bedeutende Rolle für den Marktanteil von PEV spielen. Ein besonderes Potential gibt es in Japan für PEVs, im Bereich der Kei Cars, auf kleineren Inseln und als mobile Stromspeicher.

### 5.2.5 China

*P. Hillebrand (WI), H. Hüging (WI)*

China ist mit 9,6 Millionen Quadratkilometern das größte Land in Asien und das zweitgrößte der Welt; mit mehr als 1,3 Milliarden Bürgern hat es die größte Bevölkerung weltweit. Sowohl die große Bevölkerung als auch die Ausdehnung des Landes führen zu zahlreichen Herausforderungen in Bezug auf Energiebereitstellung, das Management von Umweltverschmutzung und die Energiesicherung. Die Bereitstellung von Wärme und Strom für die Vielzahl an Menschen und überdies über eine derart große Fläche ist eine komplexe Aufgabe. Dementsprechend sind die Kosten hierfür historisch betrachtet stark gestiegen.

Aufgrund des immensen Verkehrsaufkommens stehen Städte und Ballungsräume vor enormen Herausforderungen. Um den Ausstoß lokaler Luftschadstoffe in städtischen Räumen zu reduzieren, setzt die chinesische Regierung auf Elektromobilität. Jedoch stammt ein Großteil des produzierten Stromes aus der Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Da Kohle der in China am meisten vorkommende Rohstoff ist, hat der derzeitige Strommix eine hohe CO<sub>2</sub>-Intensität, so dass eine breite Einführung von Elektrofahrzeugen unter den derzeitigen Bedingungen keinen Beitrag zu Klimaschutz leisten kann.

In China gibt es in Bezug auf Mobilität vier Megatrends und Herausforderungen:

1. Urbanisation (wachsende urbane Räume, hohe Bevölkerungsdichte),
2. ökonomische Entwicklung (Wachstum der verfügbaren Einkommen, globaler Wettbewerb, wachsende Nachfrage nach Mobilität)
3. unzureichende Infrastruktur (ineffiziente Verkehrsmittel, rückständige Verkehrsmitteltechnologie, Nachfrage der Öffentlichkeit nach bislang weitgehend fehlenden Angeboten im Mobilitätsmanagement).
4. Diversifizierung des Kraftstoffsektors, Versorgungssicherheit aufgrund wachsender Bevölkerung und zukünftiger Verknappung von Erdöl

Dementsprechend beabsichtigt die Zentralregierung unter anderem die Unterstützung der Entwicklung und Verbreitung elektrischer Fahrzeuge. Dies stärkt zudem die Energiesicherheit durch eine breitere Basis der Inputs, verringert die Luftverschmutzung in Ballungsräumen und stärkt den Wettbewerb der Automobilindustrie. Auch Vertreter der Automobilindustrie haben diese Absichten bestätigt.

#### **Regierung/Strategien/öffentliche Infrastruktur**

In China ist über einen Zeitraum von mehr als zehn Jahre ein sogenanntes 'New Energy Vehicle' (NEV) Programm umgesetzt worden. Grundsätzlich hat sich jedoch gezeigt, dass die bislang getätigten Investitionen der OEM in die Forschung und Entwicklung von "New Energy Vehicle" nicht ausreichend sind.

Aktuell verfolgt die chinesische Regierung das Ziel, dass bis zum Jahr 2015 300 000 elektrische Fahrzeuge sowie bis zum Jahr 2020 zwei Millionen elektrische Fahrzeuge in China registriert sind.

Regierungsvertreter erklärten, dass die Umsetzung realistisch sei, da die chinesische Zentralregierung weiterhin finanzielle Unterstützung bereitstellt. Diese sieht wie folgt aus:

Mehr als 486,3 Milliarden Euro sollen in sogenannte *green-related programs* investiert werden. Ferner ist die Installation von 220 000 Aufladestationen und 2 351 Batteriewechselstationen bis zum Jahr 2015 geplant.

Die Subventionen für NEV in China sind z.Z. wie folgt ausgestaltet: Beispielsweise kostet ein Dongfeng i30 derzeit 150 000 RMB (ca. 19 000 Euro). Zentralregierung und eine jeweilige Stadt fördern diesen Kauf mit jeweils rund 40 000 RMB, ca. 5 000 Euro, also insgesamt 80 000 RMB, ca. 10 000 Euro. Die finanzielle Unterstützung hängt seit 2013 nicht mehr von der Batteriekapazität, sondern von der Reichweite des Fahrzeugs ab. Ein vergleichbares konventionelles Fahrzeug kostet ebenfalls 70 000 RMB (ca. 8 800 Euro). Bei Anschaffung eines E-Fahrzeugs werden allerdings zusätzlich Mautgebühren eingespart, und die Teilnahme an der „Nummernschildlotterie“ ist nicht notwendig (In einigen Metropolen darf pro Monat nur eine bestimmte Anzahl an Fahrzeugen angemeldet werden. Diese werden monatlich aus allen vorliegenden Anfragen ausgelost. E-Fahrzeuge müssen nicht an dieser Verlosung teilnehmen und bekommen sofort ihr Nummernschild). Bei 17 Pkw-Typen und 75 Bus-Typen (BEV) sowie 16 HEV chinesischer Fabrikation wird zudem die Mehrwertsteuer erlassen (Stand Ende August 2014). Mittlerweile werden 88 Demonstrationsstädte gefördert.

Ende 2014 kündigte die chinesische Regierung an, das derzeit bis 2015 laufende Subventionsprogramm bis 2020 zu verlängern. Dabei sollen die Subventionsbeträge jedoch schrittweise verringert werden, um den Wettbewerb zu fördern. Im Jahr 2015 sollen elektrische Pkw Subventionen in Höhe bis zu 55 000 RMB (ca. 7 500 Euro) erhalten, rein elektrische Busse werden mit bis zu 500 000 RMB (ca. 68 000 Euro) subventioniert (Shen & Jourdan 2014).

Im September 2013 gab CATARC einen Bestand von fast 40 000 New Energy Vehicles mit Stand Ende Juli 2013 bekannt, aufgeteilt in 85 % öffentlichen Verkehr bzw. Fahrzeugflotten und 15 % private Fahrzeuge. Zurzeit hat China 8 400 Aufladesäulen und 37 Batteriewechselstationen installiert. Die meisten der elektrischen Fahrzeuge werden in Flotten als Taxis und Busse eingesetzt. Die private Nutzung von E-Fahrzeugen ist kaum verbreitet (CATARC 2013).

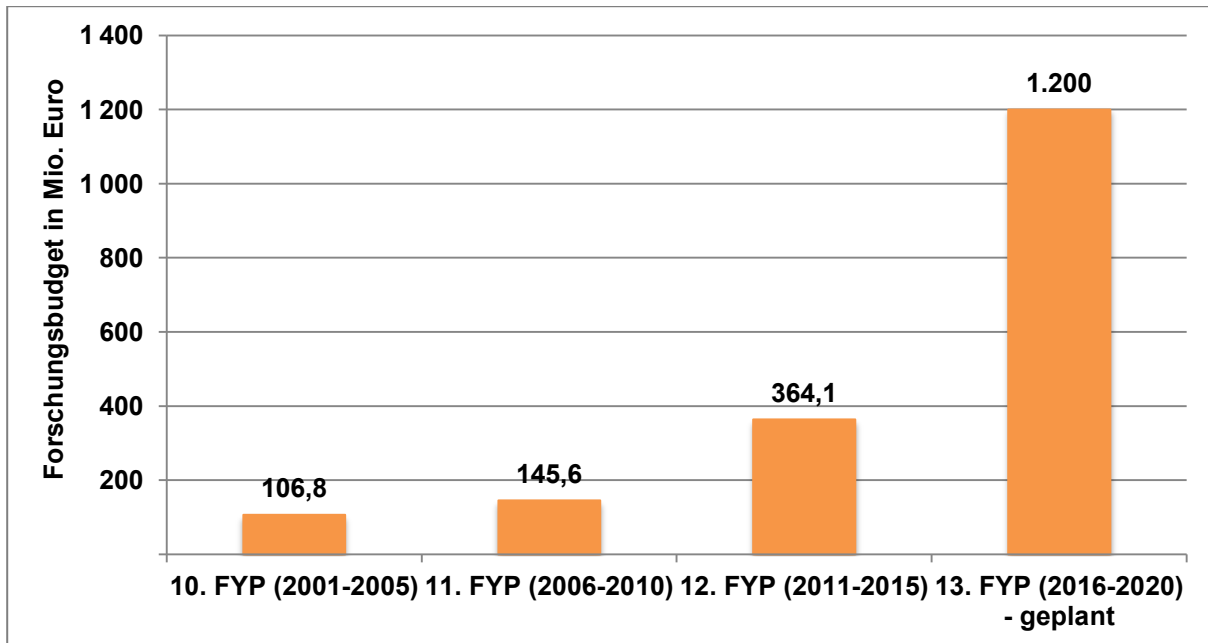
Allgemein treten in China dieselben Herausforderungen und Hindernisse auf, welche die Entwicklung von Elektrofahrzeugen auch in anderen Industrienationen beeinträchtigen, wie zum Beispiel das Kostenniveau, Batteriereichweiten, Sicherheitbelange und ein Mangel an Ladeinfrastruktur. Hinzu kommt, dass insbesondere das geringe Durchschnittseinkommen ein Hemmnis in Bezug auf den privaten Kauf von Elektrofahrzeugen darstellt. Auch deshalb liegt der Fokus der Regierung und der Industrie derzeit primär auf den Flottenbetreibern.

### **Forschungsinstitutionen und -förderung**

Der Einstieg in Forschung und Entwicklung im Bereich Elektromobilität kam in China im Vergleich zu anderen Industrienationen weder spät, noch hat sich der Bereich auffallend langsam entwickelt. Dennoch können Rückstände im Forschungsstand gegenüber relevanten Industrienationen festgestellt werden.

Für die Zukunft ist es wichtig, die Entwicklung weg von einer investitionsgesteuerten hin zu einer innovationsgesteuerten Autoindustrie herbeizuführen. Weiter ist zu erwarten, dass sich ausländische Autohersteller den Markt in China erschließen werden.

Zu diesem Zweck erhöhte die chinesische Zentralregierung kontinuierlich das Forschungsbudget für Elektromobilität in ihren Fünf-Jahres-Plänen (FYP) von 107 Mio. Euro im 10. FYP (2001 - 2005) auf 364 Mio. Euro im 12. FYP (2011 - 2015) (siehe Abb. 5-15). Für den 13. FYP (2016-2020) sind Ausgaben in Höhe von 1 200 Mio. Euro geplant.



**Abb. 5-15** Entwicklung der Forschungsbudgets für die Elektromobilität in den Fünf-Jahres-Plänen der Zentralregierung

Quelle: eigene Darstellung nach (CATARC 2013)

Ein wichtiges Forschungsprogramm ist das *863 High-Tech Development Programm*: Dieses Programm fördert nationale Forschung und Entwicklung zu Elektrofahrzeugen, wovon insbesondere Fahrzeug- und Batteriehersteller profitieren. Beispielsweise erhielt der große chinesische Automobilhersteller FAW im Jahr 2011 87,5 Mio. Euro zum Aufbau einer FuE-Abteilung.

Hinzu kommt das „973 Programm“ zur Grundlagenforschung, insbesondere zur Batterieforschung. Hierbei soll in sieben Teilprojekten die Effizienz der Energiespeichersysteme erhöht werden und kostengünstige Speichersysteme mit hoher Energiedichte entwickelt werden. Dabei werden sowohl Batterietechnologie als auch Brennstoffzellentechnologien adressiert.

Auch in China machen Batterien 60 % der Produktionskosten für das Gesamtfahrzeug aus (Garcke o.J.). Jedoch besitzt China eigene Rohstoff- und Materialressourcen, was zu einem Kostenvorteil in der Produktion im Vergleich zu den westlichen Staaten führen kann. Generell betreffen globale Kostenreduktionen im Bereich von Batterien auch China, was sich unmittelbar auf das Preisniveau von xEVs auswirkt. Eindeutige Priorität hat die Verbesserung der Energiedichte der Batterien. Entsprechend liegt hierauf der Fokus des aktuellen Fünf-Jahresplans (2011 - 2015). Weiterhin ist die Integrationstechnologie zum jetzigen Zeitpunkt unterentwickelt. Insofern sind chinesische Hersteller stark an Kooperationen mit internationalen Universitäten und Forschungsinstituten interessiert.

Wesentliche Herausforderungen sind außerdem die Entwicklung von Ladeinfrastruktur, Standardisierung sowie Bewusstseinsbildung auf dem Gebiet des Verbraucherverhaltens sowie der Akzeptanz von Elektromobilität.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über verschiedene aktuelle nationale Politiken und Aktivitäten sowie lokale Initiativen in der Forschung und Demonstration im Bereich der Elektromobilität in China.

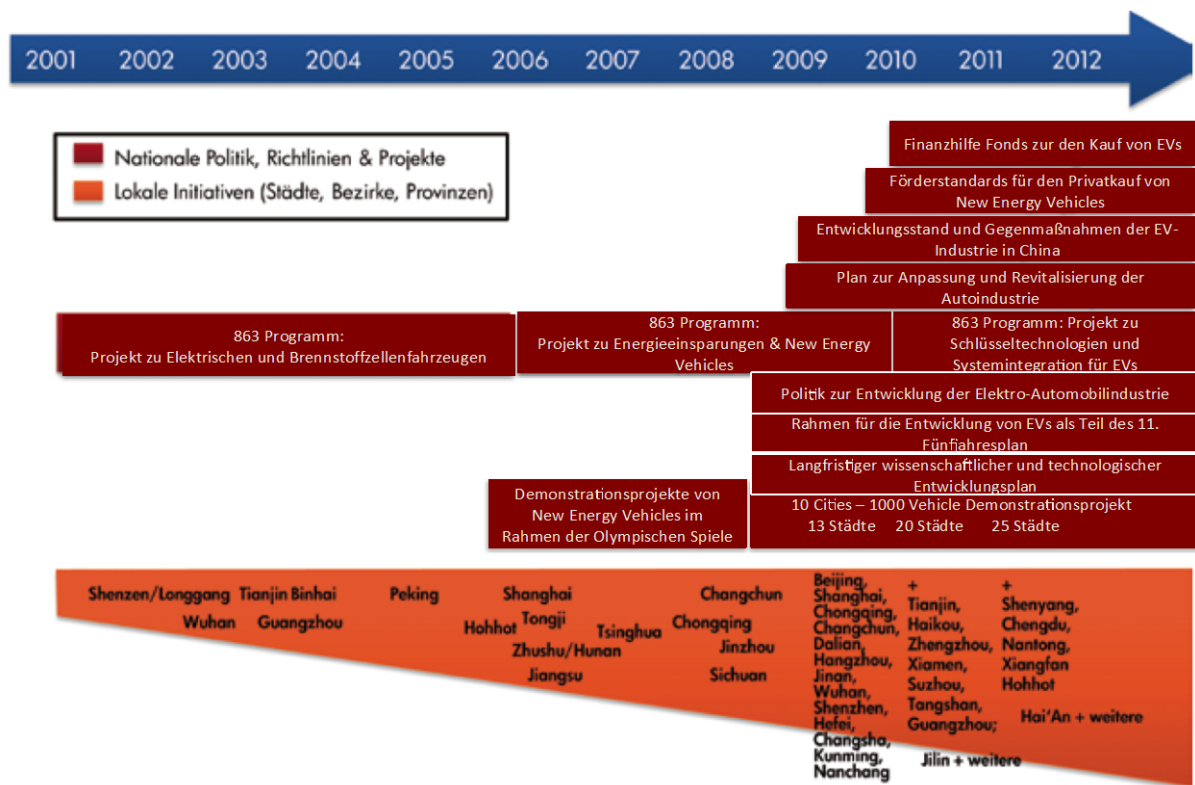


Abb. 5-16 Chinas Politik und Aktivitäten im Bereich Elektromobilität

Quelle: (Klink 2012)



## Wirtschaft und Industrie

Im Jahr 2010 erreichte China als weltweit größter Automobilproduzent eine Gesamtproduktion von 18 Millionen Fahrzeugen. Dies entspricht einem Wachstum von rund einem Drittel im Vergleich zum Jahr 2009. Bis zum Jahr 2012 war ein weiterer Anstieg hin zu 19,3 Millionen Einheiten zu verzeichnen (vgl. Abb. 5-17).

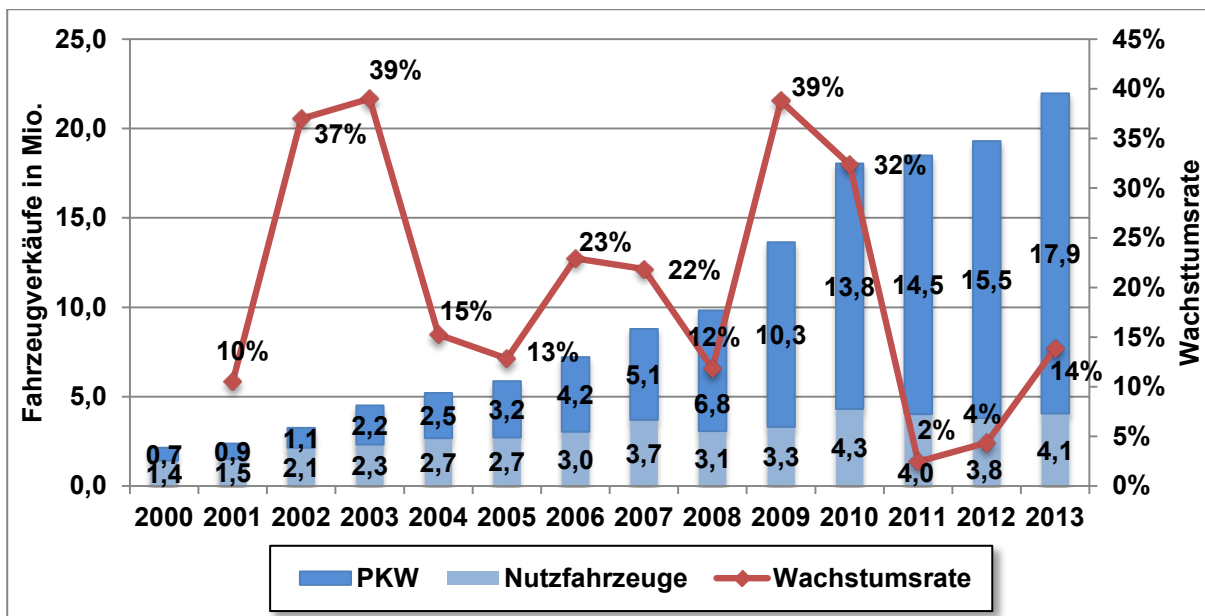


Abb. 5-17 Jährliche Autoproduktion in China

Quelle: Regionalstudie China

Die fünf wichtigsten Hersteller von Elektrofahrzeugen in China sind JAC, Jiangnan Auto, BYD, BAIC Motor and SAIC Motor. Zusammen stellten sie im Jahr 2012 9 000 BEV her. Davon produzierte JAC allein ca. 4 300 Fahrzeuge. Im Bereich der Hybridfahrzeuge ist GAC Toyota der führende Hersteller, mit ca. 6 500 hergestellten HEV in 2013, gefolgt von FAW Toyota, Brilliance BYD and Shanghai GM. Im Jahr 2013 wurden 14 200 batterieelektrische Fahrzeuge in China produziert (Green Car Reports 2014). Dies wurde 2014 durch die Produktion von ca. 48 600 BEV und ca. 30 000 PHEV deutlich übertroffen (Green Car Congress 2015).

Eine nähere Betrachtung der technologischen Seite zeigt, dass Chinas Autoindustrie gegenüber westlichen, japanischen und koreanischen globalen Wettbewerbern von elektrischen Fahrzeugen insgesamt stark zurückliegt, was auch die in STROM durchgeführten Experteninterviews bestätigten. Hinsichtlich der Komponenten für New Energy Vehicles können die chinesische Automobilindustrie und die Zulieferer noch nicht die hohen Produktionsanforderungen bedienen. Joint Ventures zwischen chinesischen und ausländischen Automobilherstellern (Beijing-Benz Automotive, BMW – Brilliance, Dongfeng – Renault, FAW – VW / Audi, SAIC – GM) sind deshalb von besonderer Bedeutung für den chinesischen xEV Markt. Grundlage hierfür sind Marktzugangsbeschränkungen für xEVs ausländischer Hersteller, die nur durch Joint Ventures einen Marktzugang erhalten (siehe Regionalstudie China). So verfügen ausländische Autohersteller in vielen Fällen über weit entwickelte Technologien und ausgeprägtes Nutzervertrauen, von dem chinesische

Unternehmen profitieren können. Beispielsweise entwickelte Daimler zusammen mit dem chinesischen Hersteller BYD das BEV Modell Denza, dessen Produktion im September 2014 startete.

Die hier relevanten Akteure in China stimmen darin überein, dass Investitionen in die Infrastruktur der Schlüssel für eine weitere Entwicklung der Elektromobilität seien. Im Jahr 2009 präsentierten State Grid Corporation, China Southern Power Grid, Sinopec, CNOOC und andere führende chinesische Energiekonzerne ihre Zukunftspläne für den Aufbau und die Auslegung von Ladestationen. So plant der chinesische Stromkonzern State Grid Cooperation of China (SGCC) bis zum Jahr 2020 die Installation von 10 000 Ladestationen und über 500 000 Ladesäulen. In diesem Kontext soll die Investitionssumme für die Erweiterung der Ausstattung laut Information der Unternehmensleitung 3,9 Milliarden Euro betragen (Interview Guo). State Grid Corporation, im Besitz von mehr als 90 % des chinesischen Netzes, plant die Investition von ca. 60 Milliarden Euro in Stromtrassen (überregionale UHV und andere Langstreckenleitungen) in den kommenden fünf Jahren. Als wesentliche Lademethode sieht State Grids Strategie derzeit „battery swapping“ an. Die Batterieaufladung soll zentral erfolgen, die Verteilung der Batterien auf die Stationen soll dynamisch sein. OEM sollen die Fahrzeuge ohne Batterie bereitstellen, sodass die Verbraucher den Akku bei State Grid mieten. Der Konzern ist somit verantwortlich für Instandhaltung und Wiederverwendung.

Bezüglich der AC „charging coupler“ hat die Volksrepublik China seine Standards den internationalen des IEC angepasst. Noch nicht vollzogen ist die Aufnahme von internationalen Regulierungen bezüglich Aufladesystemen. Chinas nationale Standards für AC und DC Charging sind derzeit nicht kompatibel mit internationalen standardisierten Aufladesystemen. Risiken für die chinesischen AC Aufladesysteme sind u.a.:

- fehlender Überanspruchungsschutz der Ladekabel
- kein Schutz vor einer Verbindungsunterbrechung während des Ladens auf der infrastrukturellen Seite
- kein automatisches Erkennen einer „plug-long proxy PIN“

### **Verbraucher und Markt**

Im Jahr 2010 wurde China zum größten Automobilmarkt der Welt. Flotten von eingesetzten Bussen und Taxen machten 2013 ca. 1,7 % aller Fahrzeuge aus. Jedoch verbrauchen diese ca. 27 % des Kraftstoffes in ganz China. Demzufolge konzentriert sich die Volksrepublik bei der Förderung von Elektromobilität auf Flotten, was sich etwa in dem sogenannten „10/25 Cities – 1 000 Vehicles“-Programm, einem chinesischen Förderprogramm für ausgewählte Modellregionen mit Fokus auf Flotten, zeigt. Im Rahmen dieser Demonstrationsprojekte wurden bislang 40 000 PHEV/BEV registriert. Dabei handelt es sich nur bei einem geringen Anteil (15 %) um private Fahrzeuge (Tagscherer 2012).

In China ist der private Sektor bezüglich Elektromobilität immer noch hochgradig unterentwickelt. Betrachtet man generell den Autobesitz pro Kopf, ist ein enormes Wachstumspotenzial für den chinesischen Automarkt erkennbar. Allerdings muss auch konstatiert werden, dass privater Autobesitz in China sich insbesondere auf die Städte und Ballungsräume speziell im Osten des Landes beschränkt.

Der durchschnittliche chinesische Autokäufer war 2013 laut Statistik 31 Jahre alt. 60 % aller Erstkäufer im Bereich Elektromobilität sind junge, männliche Verbraucher, die technikbegeistert sind und neue Produkte ausprobieren möchten. Gleichzeitig steigt das private Einkommen, sodass sich das Ausgabenpotenzial graduell von den verbreiteten Motorrollern hin zu Autos verschiebt, auch wenn die Bereitschaft, höhere Kosten für Elektrofahrzeuge aufgrund von Umweltbewusstsein und Begeisterung für Technologie zu akzeptieren, äußerst gering ist.

Chinesische Verbraucher bewerten die Qualität von ausländischen Produkten höher als von Produkten chinesischer Hersteller. Deshalb sind die Wachstumsraten von Joint Ventures zwischen ausländischen und chinesischen Produzenten höher als die rein chinesischer Produkte.

Auch in Städten, die für Demonstrationsprogramme ausgewählt wurden, ist es bislang nicht gelungen, eine wesentlich höhere Zulassungsquote an elektrischen Autos zu erreichen. Dies liegt zum einen an dem begrenzten Budget der Kommunen sowie zum anderen am Mangel an Ladeinfrastruktur und am begrenzten E-Fahrzeugangebot. Bislang ist die Nachfrage nach elektrischen Fahrzeugen noch gering.

Hinsichtlich der Umsetzungskonzepte von Elektromobilität verfolgt China mit der Integration von Mobilitätssystemen ähnliche Konzepte wie europäische Länder. Ein kürzlich aufgekommener Ansatz in Shanghai ist es, Elektromobilität im städtebaulichen Sinn in neuen Tower-Buildings sowie in Car-Sharing integrativ miteinzubeziehen, um die Akzeptanz und den Nutzen der EV zu steigern (Tagscherer 2012).

### **Fazit - Gesamtbetrachtung des Status quo der Elektromobilität in China**

China setzt in vielerlei Hinsicht einige Hoffnung in die Elektromobilität. So soll diese die bislang nur wenig konkurrenzfähige Automobilindustrie beflügeln. Der im Vergleich zur globalen Automobilindustrie große Rückstand im Bereich konventionell angetriebener Fahrzeuge soll durch „Leapfrogging“ im Bereich der Elektrofahrzeuge wettgemacht werden. Ein weiterer wichtiger Beweggrund sind Energiesicherheit sowie die extreme Luftverschmutzung in den Ballungsräumen. Entsprechend unterstützt die Zentralregierung elektrische Fahrzeuge, um die Energiesicherheit zu stärken, Luftverschmutzung in Ballungsräumen zu verringern und die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Automobilindustrie zu steigern.

Schon allein aufgrund der Luftverschmutzung in den großen urbanen Ballungsräumen bemühen sich auch Kommunalverwaltungen, die Verbreitung der Elektromobilität mit neuen Regelungen zu beschleunigen. Dabei werden in erster Linie Flotten adressiert. Bislang haben chinesische Bürgerinnen und Bürger erst wenig Berührungspunkte zur Elektromobilität. Dies liegt zum einen an den geringen Einkommen und den vergleichsweise hohen Aufwendungen für die Fahrzeuge und zum anderen an dem noch geringen Ausbaustand, was insbesondere Parkregelungen und Ladeinfrastruktur angeht.

## 5.2.6 Indien

*H. Hüging (WI), T. Koska (WI)*

### **Regierung / Politik / Öffentliche Infrastruktur**

Eine Bestrebung der indischen Regierung ist es, den Anteil an alternativen Kraftstoffen in der Fahrzeugflotte des Landes zu erhöhen. Neben anderen Technologien spielt auch die Elektromobilität hierbei eine Rolle. Der indische Staat verfolgt mit der Förderung der Elektromobilität nach Expertenansicht drei Ziele: Angesichts der Abhängigkeit des Straßenverkehrs vom Erdöl soll die langfristige Versorgungssicherheit durch die Bereitstellung von alternativen Energiequellen gewährleistet werden. Zweitens soll die heimische Autoindustrie gefördert und die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie des Landes gestärkt werden. Drittens sollen die negativen Effekte des Straßenverkehrs auf die Umwelt gemindert werden; hier steht primär die Verringerung der lokalen Luftverschmutzung und weniger das Potential zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Mittelpunkt.

### **Akteure**

In der Förderung der Elektromobilität spielt das Ministry of Heavy Industries and Public Enterprises (MoHIPE) eine zentrale Rolle. Die dortige Abteilung für Schwerindustrie (Department of Heavy Industries) ist zuständig für die Forschungsförderung im Automobilsektor und hat zu diesem Zweck zukunftsweisende Programme, insbesondere den National Electric Mobility Mission Plan (NEMMP) 2020, aufgelegt. Weitere wichtige Akteure sind die zwei vom Ministerium gegründeten Agenturen National Council for Electric Mobility (NCEM) und das National Board for Electric Mobility (NBEM). Zusätzlich plant die Regierung den Aufbau des National Automotive Board (NAB), das die Funktion eines Beratungsorgans in technischen Fragen und des Sekretariats für das NCEM und das NBEM übernehmen wird. Gleichzeitig soll das NAB als Moderator zwischen Regierung und Industrie dienen sowie die FuE-Aktivitäten im Sektor fördern und wird daher mit verantwortlichen Akteuren aus Ministerien, Verwaltung, Forschung und Industrie besetzt.

### **Programme und Maßnahmen**

Als wichtigste staatliche Programme und Strategien sind die Auto Policy von 2002, der Automotive Mission Plan 2006-16 und der NEMMP 2020 zu nennen.

Das Ziel der Auto Policy von 2002 war die Etablierung einer global wettbewerbsfähigen Autoindustrie in Indien und die Verdopplung ihres Beitrags zur indischen Wirtschaftskraft bis 2010. Der 12. Fünf-Jahres-Plan Indiens für den Zeitraum 2013-17 hat die Gültigkeit dieser politischen Ziele auch über 2010 hinaus bestätigt. Um die lokalen Produktionszahlen zu erhöhen und gleichzeitig die spezifische Binnennachfrage in Indien zu bedienen, unterstützte die Politik gezielt die Herstellung von Kleinwagen. Zur Zielerreichung wurden außerdem ausländische Kapitalbeteiligungen an Auto- und Komponentenherstellern von bis zu 100 % erlaubt. Zusätzlich beinhaltete die Auto Policy steuerliche und finanzielle Anreize für die Förderung von Forschung und Entwicklung in der Automobilindustrie.

Der „Automotive Mission Plan 2006-16“ wurde auf Basis der Ziele der Auto Policy von 2002 entwickelt. Der Plan bekräftigte die Absicht der Auto Policy, Indien als attraktiven Standort für Automobilentwicklung und -fertigung zu etablieren. In der Folge soll die indische Autoindust-

rie bis zum Jahr 2016 einen Beitrag von mehr als 10 % zum BIP liefern und 25 Mio. zusätzliche Arbeitsplätze schaffen. In einer 10-Jahres-Roadmap für die Industrie deckt der Plan sämtliche wachstumsrelevante Aspekte ab, von Fiskalpolitik, Emissions- und Sicherheitsregeln bis zu Globalisierungsaspekten hinsichtlich technischer Standards und der Verbesserung von Wettbewerbsfähigkeit und technischer Fertigkeiten. Besonderes Gewicht legt der Plan auf die Unterstützung von FuE-Initiativen. Er betont die Notwendigkeit der Eigenentwicklung oder des Erwerbs von Technologien für alternative Kraftstoffe und Hybrid-Motoren und die Wichtigkeit einer Förderung der Herstellung von sparsamen, für den indischen Markt geeigneten Fahrzeugen, z.B. Hybridfahrzeugen, um die Abhängigkeit von konventionellen Kraftstoffen zu verringern (MoHIPE 2012).

Die Auto Policy und der Automotive Mission Plan zielen somit primär auf ein generelles Wachstum der von Diesel- und Benzinantrieben dominierten Automobilindustrie ab. Es wird jedoch wegen der negativen Umwelteffekte auf die Notwendigkeit einer Stärkung von alternativen Antrieben hingewiesen.

Dagegen bezieht sich der im Februar 2013 veröffentlichte National Electric Mobility Mission Plan 2020 schwerpunktmäßig auf die Förderung der Elektromobilität. Der NEMMP formuliert das Ziel, bis zum Auslaufen des Plans im Jahr 2020 eine sich selbst tragende Elektroautomobilindustrie zu etablieren. Mithilfe eines Maßnahmenkatalogs soll der Markt für Elektro- und Hybridautomobile bis 2020 auf eine Größe von fünf bis sieben Millionen Fahrzeugen anwachsen (Abb. 5-18).

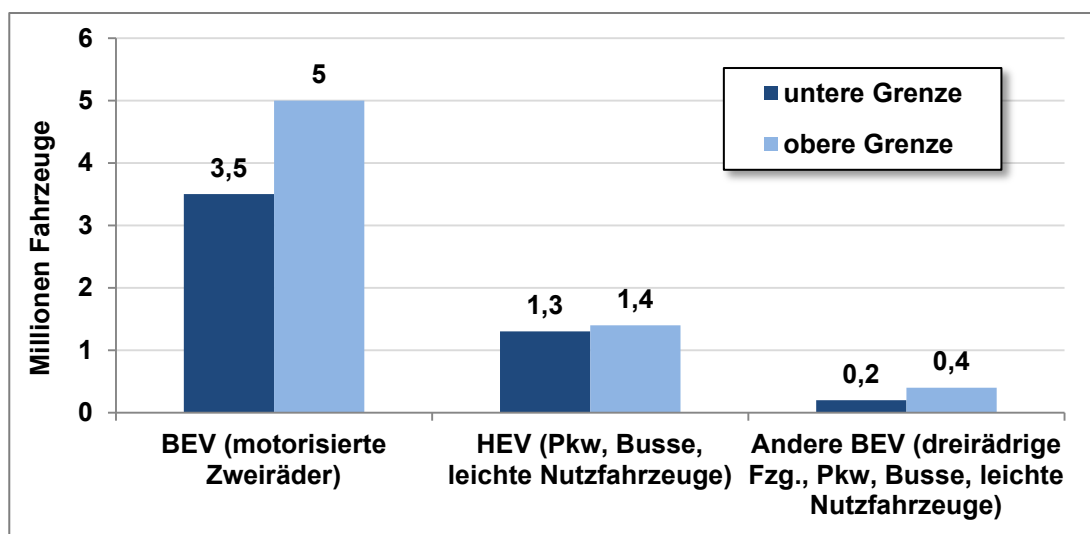


Abb. 5-18 Projizierte Nachfrage nach xEV in Indien bis 2020 laut NEMMP 2020

Quelle: Regionalstudie Indien

Der NEMMP beschreibt das Potenzial für elektrifizierte Fahrzeuge in Indien und benennt konkrete Maßnahmen, die notwendig sind, um die Marktentwicklung voranzutreiben. Die Implementierung der im NEMMP genannten Maßnahmen hängt jedoch von der Übertragung in die verschiedenen Politikinstrumente ab, die separat von der Regierung verabschiedet werden müssen.

Die prognostizierte potenzielle Nachfrage (siehe Abb. 5-18) nach Elektrofahrzeugen soll mithilfe eines Anreizsystems stimuliert werden, welches finanzielle Anreize in Abhängigkeit von

Faktoren wie den verwendeten Technologien, Sicherheitsstandards oder dem Grad der lokalen Fertigung verteilt. Gleichzeitig soll mit weiteren nicht-monetären Maßnahmen zusätzliche Nachfrage geschaffen werden, welche wiederum einen Anreiz für Investitionen in lokale Fertigungskapazitäten bietet. Folgende nicht-monetäre Maßnahmen werden genannt: Erwerb von Elektrofahrzeugen für die Fahrzeugflotten staatlicher Einrichtungen, Mandatierung von Elektroautos in bestimmten Gegenden und Festschreibung eines festen Anteils von elektrischen Bussen in den Flotten staatlicher Transportunternehmen. Zusätzlich empfiehlt der NEMMP 2020 vermehrte FuE-Initiativen im Elektromobilitätssektor.

Die im NEMMP vorgeschlagenen Maßnahmen haben ein erwartetes Investitionsvolumen von bis zu 233 Mrd. INR (2,79 Mrd. Euro), von denen der Großteil auf die finanziellen Anreize zur Nachfrageschaffung entfällt, gefolgt von FuE-Investitionen, welche zum Teil von der Industrie und zum Teil von der Regierung getragen werden sollen. Der NEMMP sieht vor, dass zusätzlich benötigte Infrastrukturinvestitionen von Industrieseite getätigt werden, wohingegen sich die Regierung nur während erster Testphasen im Infrastrukturausbau engagiert.

Von den im Rahmen der Studie interviewten Experten werden die Maßnahmen des NEMMP sehr positiv gesehen, wobei aufgrund der Unklarheit über das Wie und Wann der konkreten Umsetzung auch die tatsächlichen Auswirkungen noch unsicher sind.

### **Regulatorischer Rahmen und finanzielle Förderung**

Zurzeit sind in Indien keine Emissions- oder Kraftstoffverbrauchsstandards für Fahrzeuge in Kraft. Es wird allerdings erwartet, dass Effizienzstandards für Pkw in naher Zukunft implementiert werden. Kleinere Fahrzeuge mit einer Geschwindigkeit von weniger als 25 km/h bzw. weniger als 0,25 KW Leistung sind von der Registrierungs- und Führerscheinplicht ausgenommen. Diese Fahrzeugkategorie spielt derzeit für die Elektrofahrzeuge eine besondere Rolle, insbesondere im Zweiradsegment.

Im Budget 2012-13 sind Vergünstigungen beim Einfuhrzoll auf Hybrid- und Elektrofahrzeuge sowie für zugehörige Akku-Packs vorgesehen.

Bis März 2012 gab es in Indien eine finanzielle Förderung für Elektrofahrzeuge: Das „Ministry of New and Renewable Energy“ zahlte unter der Voraussetzung, dass mindestens 30 % der Fahrzeugkomponenten aus inländischer Produktion stammten, finanzielle Anreize von bis zu 20 % des Kaufpreises. Nach dem Auslaufen der Subvention fielen die Verkaufszahlen für Elektrofahrzeuge um 65 %. Insgesamt wurden bis 2012 rund 47 000 Fahrzeuge gefördert. Dabei handelte es sich hauptsächlich um zweirädrige Fahrzeuge. Dreirädrige Fahrzeuge und kleine batteriebetriebene Autos, wie das Mahindra REVA-Modell, machten nur einen geringen Anteil aus.

Im NEMMP sind nun neue Kaufanreize für einen begrenzten Zeitraum vorgesehen, wobei sich der Elektromobilitätsmarkt nach einiger Zeit selbst tragen soll. Laut Regierungsexperten wird die finanzielle Förderung hierbei zwischen 25 000 und 150 000 INR (300 Euro bis 1 800 Euro), je nach Fahrzeugart, liegen. Die Förderwürdigkeit wird auf von der Regierung entwickelten Kriterien beruhen. Ein Kriterium wird der Grad der einheimischen Fertigung sein. Als weiterer Aspekt wird die Energieeffizienz der Fahrzeuge eine Rolle spielen, so dass beispielsweise Fahrzeuge mit Lithium-Ionen-Batterie höhere Fördermittel erhalten könnten. Experten zufolge sollen als weitere Kriterien Sicherheit, Emissionen, Garantien, Reichweite, Leistungsparameter, Verfügbarkeit von Service-Centern und die Gesamtbetriebskosten berücksichtigt werden.

Nachrecherchen ergaben, dass das Anreizprogramm des NEMMP bis dato (Anfang 2015) noch nicht beschlossen wurde, es wird jedoch mit der Unterzeichnung der entsprechenden Gesetze im Laufe des Jahres 2015 gerechnet (The Silver Institut; Thomson Reuters GFMS, 2014).

Zusätzlich zu den finanziellen Anreizen der Zentralregierung fördern bestimmte Bundesstaaten und Unionsterritorien Elektrofahrzeuge: Delhi, Rajasthan, Uttarakhand und Lakshadweep haben Elektrofahrzeuge von der Mehrwertsteuer befreit, und Chandigarh, Madhya Pradesh, Kerala, Gujarat und Westbengalen bieten Vergünstigungen bei der Mehrwertsteuer (siehe Finpro 2013). Die größten Anreize für Elektrofahrzeuge bietet die Regierung von Delhi: Dort werden Steuernachlässe von bis zu 29,5 % der Kosten (15 % Bezuschussung auf den Grundpreis des Fahrzeugs, plus 12,5 % Mehrwertsteuerbefreiung, sowie eine Rückerstattung von Kraftfahrzeugsteuer- und Zulassungsgebühren von 2 %) gewährt.

Die gezielte Schaffung zusätzlicher Nachfrage ist eine zentrale Säule der Regierungsstrategie. Einige Experten sind der Meinung, dass die indische Industrie auf ebensolche Anreize wartet, um die aktuelle schwierige Marktsituation zu überwinden.

### **Infrastruktur**

Die derzeitige Situation der Stromerzeugung in Indien stellt eine besondere Herausforderung für die Elektromobilität in Indien dar. Die Stabilität des indischen Elektrizitätsnetzes sehen viele Experten als eine große Herausforderung beim Laden von Elektrofahrzeugen. In einigen Regionen kommt es häufiger zu Stromausfällen, und große Übertragungsverluste treten auf. Zudem basiert die Stromerzeugung in Indien hauptsächlich auf Kohle, so dass Elektrofahrzeuge mittelfristig nur begrenzt zur Minderung des Kohlendioxidausstoßes beitragen können.

Einige Experten sind der Meinung, dass räumlich konzentrierte Ladekapazitäten eine Verbesserung des Netzes erfordern. Dies gilt insbesondere für räumliche Konzentration von Heimladestationen, bei denen die Ladeparameter nicht zentral gesteuert werden können. Eine weitere Option wird in der dezentralen Stromerzeugung für Ladepunkte gesehen. Andere Experten sehen diese Herausforderung jedoch als kurzfristig unbedeutend an, da die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen immer noch sehr niedrig ist und sich zunächst auf elektrische Zweiräder und Hybrid-Pkw ohne externe Stromversorgung konzentriert. Zweiräder könnten leicht zuhause ohne öffentliche Infrastruktur aufgeladen werden. Die wenigen Besitzer von Plug-in-Hybriden und reinen Elektrofahrzeugen werden voraussichtlich private Lademöglichkeiten in heimischen Garagen oder am Arbeitsplatz verwenden.

Nach derzeitigem Stand haben nur zwei Städte im Land Initiativen zur Etablierung von Ladeinfrastruktur gestartet: Neben Delhi, das an 50 seiner Umspannstationen in der Stadt Ladestationen errichtete, stattete Bangalore einige Parkplätze von Einkaufszentren und Bürogebäuden mit Ladestationen für Elektroautos aus.

## Forschungsförderung und Institutionen

Im zwölften Fünfjahresplan (2012-2017) werden etwa 7,4 Mrd. INR (88,8 Mio. EUR) als Mittel für die Forschung und Entwicklung von Elektrofahrzeugen und Hybriden bereitgestellt. Der Automotive Mission Plan (2006-2016) benennt konkrete Empfehlungen zur Förderung von Forschung und Entwicklung im Automobilsektor: Die Bereitstellung einer 100 %-Förderung für Grundlagenforschung sowie 75 % für vorwettbewerbliche Technologien und 50 % für Produktentwicklung. Hinzu kommen Steuer- und Abgabebefreiungen.

Im NEMMP 2020 wird eine Strategie für die Forschung und Entwicklung im Bereich Elektromobilität vorgeschlagen. Der NEEMP betont die fehlenden FuE-Ressourcen der indischen Hersteller hinsichtlich Elektrofahrzeugkomponenten. Diese besitzen aktuell noch keine eigenen Patente, wohingegen in Indien ansässige ausländische Autohersteller den größten Teil ihrer FuE in ihren Heimatländern betreiben. Mittels Allianzen, Lizenzvergaben, Akquisitionen und Joint Ventures will die Regierung nun entsprechende FuE-Kapazitäten aufbauen. In fünf Forschungsfeldern soll mit besonders hoher Priorität geforscht werden:

1. Batteriezellen,
2. Batteriemanagementsysteme,
3. Leistungselektronik (insbesondere für Hybrid- und Plug-in-Hybridfahrzeuge),
4. Elektromotoren und Motoren für Hybride sowie
5. Übertragungssysteme für Hybride und die Systemintegration des Antriebsstrangs.

Außerdem wird die Notwendigkeit, die Batteriesysteme an indische Wetter- und Verkehrsbedingungen anzupassen, als besonders wichtig eingestuft.

Es wird erwartet, dass sich Universitäten und nationale Labors auf die Forschung an Batteriezellen und Elektromotoren konzentrieren und zudem Einrichtungen zum Test der entwickelten Komponenten betreiben. Für die verschiedenen Fahrzeugkategorien wurde der Investitionsbedarf durch öffentliche Mittel geschätzt (Tab. 5-18). Fahrzeug- und Komponentenersteller sollen vor allem in den Bereichen Batteriemanagementsysteme, Leistungselektronik, Antriebsstrangintegration und auch Elektromotoren investieren. Die Regierung will die Forschung durch Zuschüsse unterstützen und gemeinsam mit der Industrie eine entsprechende Roadmap entwickeln.

Forschungsfeld	Zweiräder	Pkw	Busse
Unterstützung von Batteriezellen-Allianzen, Technologierwerb	2 Mrd. INR (24 Mio. EUR)	2 Mrd. INR (24 Mio. EUR)	2 Mrd. INR (24 Mio. EUR)
Entwicklung von Elektromotoren	0,5 Mrd. INR (6 Mio. EUR)	0,5 Mrd. INR (6 Mio. EUR)	0,5 Mrd. INR (6 Mio. EUR)
Komponentenvalidierung; Testeinrichtungen	0,5 Mrd. INR (6 Mio. EUR)	0,5 Mrd. INR (6 Mio. EUR)	0,8 Mrd. INR (9,6 Mio. EUR)
Komponentenentwicklung im Bereich Batteriemanagementsysteme, Leistungselektronik, Antriebsstrang	Investitionen durch OEM und Komponentenhersteller		

**Tab. 5-18 Geschätzter Investitionsbedarf im Bereich Elektromobilität in Indien**

Quelle: Regionalstudie Indien nach NEMMP 2020



Der Gesamtinvestitionsbedarf wird auf 16 bis 18 Mrd. INR (192-216 Mio. Euro) innerhalb der nächsten fünf Jahre geschätzt. Hiervon soll die Regierung laut NEMMP 9,3 Mrd. INR (111,6 Mio. Euro) für FuE-Zwecke beisteuern.

In den Experteninterviews wurde als eine wichtige Herausforderung für den FuE Bereich in Indien die lange Zeitspanne bis zur Veröffentlichung und Nutzbarmachung neuester Forschungsergebnisse genannt. Die von den Instituten entwickelten Technologien finden oftmals nicht den Weg bis zu marktreifen Produkten.

Die Regierung plant daher die Einrichtung sogenannter 'Centres of excellence' (COE), welche die Forschungskoordination und den Austausch zwischen Forschungsinstitutionen und Industrie verbessern sollen. Die COEs sind Forschungsinstitute, die exzellente Kenntnisse in einem der folgenden spezifischen Forschungsfelder aufbauen sollen:

- Batterien und Batterieladung
- Motoren und Leistungselektronik und
- Systemintegration einschließlich Leichtbaudesign und Wärmemanagement.

Die COE sollen hierbei die Lücke zwischen Forschung und Produktentwicklung schließen und Forschungsergebnisse für die Industrie anwendbar machen.

Experten sind sich außerdem einig, dass Indien sich in den meisten Bereichen nicht auf die Grundlagenforschung fokussieren sollte, da man dort nicht mit der Erfahrung westlicher Forschungseinrichtungen konkurrieren könne. Stattdessen beabsichtigt man, sich auf angewandte Forschung und die Anpassung bestehender Technologien an indische Anforderungen zu konzentrieren. Die befragten Akteure sehen vor allem in der Weiterentwicklung von Fahrzeugkomponenten hinsichtlich der spezifischen Anforderungen an Robustheit, unkomplizierter Wartung und den klimatischen Bedingungen in Indien die Notwendigkeit weiterer Forschung. Das Wärmemanagement ist hierbei ein zentrales Forschungsthema, um den indischen Klimabedingungen gerecht zu werden. In diesem Bereich gelten die Integration der Batterie- und Motorkühlung als ein Kernthema der Forschung. Große Potenziale werden auch in der Forschung und Entwicklung von Leistungselektronik und der Software-Forschung gesehen.

Das NATRiP (National Automotive Testing And R&D Infrastructure Project) ist ein zentraler Akteur im Bereich der indischen FuE Tätigkeiten im Bereich elektrifizierter Fahrzeuge. Es wurde gegründet, um Forschung und Entwicklung zu fördern, sowie Freigaben und Tests im Automobilsektor durchzuführen. Das Programm wird für einen begrenzten Zeitraum vom Staat finanziell unterstützt und soll langfristig als Koordinierungsstelle für Testaktivitäten und als Datenzentrum dienen, mit dessen Hilfe Forschung betrieben werden kann.

Als bedeutende Institutionen, die in Indien Forschung im Automobilsektor betreiben, wurden das Indian Institute of Technologies (IITs), das Council for Scientific and Industrial Research (CSIR), die Automotive Research Association of India (ARAI) und das Indian Institute of Petroleum, identifiziert. In einer durch die ARAI entworfenen Roadmap ist der Aufbau von FuE-Kapazitäten und Kompetenzen geplant, um kostengünstige und an indische Verhältnisse angepasste Technologielösungen zu entwickeln. Neben Leichtbau-Personenbussen liegt der Fokus der Entwicklung auf Hybridfahrzeugen.

## Wirtschaft und Industrie

Die Automobilindustrie ist ein wichtiger Wirtschaftszweig in Indien, insbesondere seitdem der Automobilsektor 1991 vollständig für Auslandsdirektinvestitionen geöffnet wurde. Die Fahrzeugproduktion stieg von zwei Mio. Einheiten 1991 auf über 20 Mio. im Bilanzierungszeitraum 2011/2012 an (siehe MoHIPE 2006, MoHIPE 2012). 75 % der in Indien hergestellten Fahrzeuge sind Zweiräder, gefolgt von Pkw mit einem Anteil von 17 %, sowie Nutzfahrzeugen und Dreirädern mit jeweils 4 %.

Der Automobilsektor hat heute einen Anteil von ca. 6 % am BIP. In 2010/2011 betrug der Anteil des Sektors an der industriellen Wertschöpfung 22 %. Direkt und indirekt bietet die Branche Beschäftigung für mehr als 13 Mio. Menschen (MoHIPE 2012).

Derzeit existieren in Indien 19 Hersteller von Pkw und Mehrzweckfahrzeugen und 16 Hersteller von Zwei- und Dreirädern. Hierunter sind neben nahezu allen großen globalen Autoherstellern auch indische Unternehmen. Im Pkw-Segment hat die Maruti Udyog Ltd. den höchsten Marktanteil (49 %), gefolgt von Hyundai (18 %) und Tata Motors (13 %). Bei den Zweirädern ist dagegen die Hero MotoCorp Ltd. mit 55 % Marktanteil in 2010/2011 vor der Bajaj Auto Ltd. (27 %), sowie der Honda Motorcycle and Scooter India (Pvt) Ltd. und der TVS Motor Company Ltd. mit jeweils 7 % der führende Hersteller.

Im Segment der elektrifizierten Pkw sind derzeit nur sehr wenige Marktakteure vertreten:

- Mahindra REVA e2o – seit 2013 verfügbar ) als BEV mit einer Reichweite von 100 km und einem Preis ab 700 000 INR (8 400 Euro) (ein Nachfolgemodell des REVA/ G-Wiz, welcher 2001 auf dem Markt gebracht wurde und 2008 vom REVAi / G-Wiz i abgelöst worden war)
- Toyota Prius – seit 2010 auf dem indischen Markt verfügbar, aber aufgrund des hohen Preises von rund 3 Mio. INR kaum Absatz auf dem indischen Markt
- Toyota Camry Hybrid – seit Sommer 2013 für ca. 3 Mio. INR auf dem Markt verfügbar; Fertigung in Indien

Der Civic Hybrid von Honda, der Mitte 2008 auf den indischen Markt gebracht wurde, wurde aufgrund schwacher Verkaufszahlen trotz einer Preissenkung von 2,2 Mio. INR auf 800.000 INR wieder vom Markt genommen. Viele Hersteller haben die Einführung von Fahrzeugen auf dem indischen Markt für die nahe Zukunft angekündigt.

Viele internationale Hersteller, vor allem aus Japan und Südkorea, produzieren aktuell bereits konventionelle Pkw in Indien. Einige befragte Experten erwarten, dass diese Unternehmen Hybrid-Autos für den indischen Markt herausbringen werden. Im Gegensatz dazu werden Premiumhersteller aufgrund des kleinen Marktsegments wahrscheinlich keine Autos speziell für den indischen Markt entwickeln. Ein Produktionsstandort in Indien ist für internationale Hersteller hierbei von hoher Bedeutung, da erwartet wird, dass in den geplanten Anreizsystemen für Elektroautos ein Anteil von 30 % an lokaler Fertigung vorausgesetzt wird.

Ein besonderes Merkmal von Indiens Elektrofahrzeugindustrie ist die Dominanz von Zweirädern. Die befragten Experten sehen Zweiräder als das wichtigste Segment für die Elektrifizierung in den kommenden Jahren. Im Pkw-Bereich wird ein Potenuial für Hybridfahrzeuge (HEV) gesehen.

Auf dem Markt für elektrische Zweiräder ist die Firma Hero Electric Marktführer und stellt eine breite Palette von Elektro-Zweirädern her. Electrotherm (India) Ltd. vermarktet elektrische Zweiräder unter der Marke YObykes in Indien und ist der drittgrößte Zweirad-Hersteller Indiens. Ebenso bietet die TVS Motor Company verschiedene elektrische Zweirad-Modelle an.

Die elektrischen Zweiräder haben in der Regel eine Bleisäure-Batterie und haben eine Reichweite von 40-45 km pro Ladung, wodurch sie geeignet sind für tägliche kurze bis mittellange Wege. Diese Zweiräder werden für 15 000-30 000 INR (180-360 Euro) verkauft und haben mit INR 0.1/km sehr geringe Betriebskosten. Der Batteriewechsel kostet rund 5 000-7 000 INR (60-84 Euro).

Zurzeit gibt es noch keine bewährten Geschäftsmodelle für den Verkauf von Elektroautos in Indien, allerdings haben Mahindra REVA und Hero Electric vor kurzem Batterie-Leasing-Modelle vorgestellt. Der E-Zweirad-Hersteller Hero Electric hat sein Batteriemietmodell bereits für Großkunden eingeführt; ein Batterietauschmodell mit einem Netz an Tauschstationen ist in Planung.

Die Erwartungen an die weitere Entwicklung der E-Auto-Branche in Indien sind stark abhängig von den noch zu verabschiedenden Politikinstrumenten, insbesondere den Kaufanreizen. Nach Ansicht vieler Experten warten die Hersteller angesichts aktueller niedriger Verkaufszahlen auf das Anreizsystem der Regierung. Da es eine zeitliche Lücke zwischen der alten und der bevorstehenden Subventionsregelung gibt, ist die derzeitige Strategie der Elektrofahrzeughersteller nicht auf Wachstum, sondern auf das Überleben ausgerichtet. Aufgrund dieser unsicheren Situation haben die Hersteller herkömmlicher Fahrzeuge in Indien kaum Interesse an Investitionen in Elektromobilität. Darüber verfügen die meisten inländischen Hersteller nicht über die erforderlichen Überschüsse, um in FuE für Elektroautos investieren zu können.

Robustheit und Einfachheit sind die zentralen Merkmale bestehender indischer Elektrofahrzeuge. Anstelle von technologischer Neu- und Weiterentwicklung werden bestehende und bewährte Komponenten verwendet und funktionell kombiniert. Dies ermöglicht Automobilherstellern und Lieferanten den relativ leichten Eintritt in den Markt der Elektromobilität. Für die Zukunft erwarten Experten viele technische Weiterentwicklungen, wie z.B. den Einsatz von dauermagneterregten Elektromotoren. Außerdem gehen Experten davon aus, dass die elektrische Spannung der indischen Elektroautos, aufgrund geringerer Kosten und höherer Sicherheit, niedriger als in anderen Märkten sein wird. Die niedrigere Spannung ermöglicht auch eine einfachere Wartung in den für Indien typischen relativ simplen Werkstätten.

Eine Anpassung der Komponenten an die lokalen Klimabedingungen und Nutzungsmuster ist laut Experten nötig. Problematisch sei jedoch, dass der indische Markt sehr begrenzt ist, so dass nicht immer eine ausreichend große Menge dieser Technologien nachgefragt wird.

Die momentane Batterietechnologie in Indien beschränkt sich auf herkömmliche Bleisäurebatterien, Obwohl Mahindra REVA bereits eine eigene Lithium-Ionen Batterie für den e2o entwickelt hat, wird erwartet, dass fortschrittlichere Li-Ion-Akkus aufgrund der relativ hohen Kosten keine relevante Rolle im indischen Markt der näheren Zukunft spielen werden.

## Verbraucher und Marktentwicklung

Indien ist derzeit zweitgrößter Zweirad-Markt und siebtgrößter Pkw-Markt der Welt (ICRA 2011). Weiteres starkes Wachstum wird für die Zukunft erwartet.

Neben den dominierenden Zweirädern sind Pkw das zweite wichtige Segment auf dem indischen Markt. Innerhalb dieses Segments sind Kompakt- und Kleinwagen der Kategorien A2 (3401-4000 mm) und A1 (bis 3400 mm) die meistverkauften Modelle. Es gibt eine starke Präferenz indischer Kunden für kleine, günstige und verbrauchsarme Autos. Allerdings erlebte auch die Nachfrage nach Luxusautos ausgehend von einem sehr niedrigen Niveau seit 2005/2006 ein beispielloses Wachstum.

In Indien werden jährlich ca. 2.5 Millionen Neuwagen (inkl. Pkw und Mehrzweckfahrzeugen) abgesetzt. Die indischen Konsumenten fragen überwiegend Fahrzeuge mit Benzinmotor nach (Marktanteil von 77 %). Vollständige Daten für den Marktanteil von Elektrofahrzeugen sind für Indien nicht verfügbar. Aus Verkaufszahlen einzelner Hersteller oder Modelle lässt sich jedoch ableiten, dass Elektrofahrzeuge nur einen sehr geringen Anteil der verkauften Fahrzeuge auf dem indischen Markt ausmachen. Beispielsweise wurden vom REVA, Indiens einzigem reinen Elektro-Auto, im Januar 2011 nur rund 50 Einheiten verkauft, was bei 184 332 abgesetzten Neuwagen in diesem Monat nur einen Anteil von 0,027 % darstellt. Auf dem Markt für Zweiräder waren von etwa 13 Millionen verkauften Einheiten in 2010/2011 rund 85 000 bzw. 0,65 % mit Elektroantrieb ausgestattet (Deloitte 2011). Die Entscheidung der indischen Verbraucher für ein Fahrzeug beruht generell auf den Faktoren Anschaffungs-, Betriebs- und Wartungskosten, Leistung, sowie der Eignung für die eigenen Bedürfnisse und die Verkehrsbedingungen. In Indien spielt der Kaufpreis eine wichtige Rolle, während die Gesamtbetriebskosten (TCO) von den Verbrauchern weniger stark berücksichtigt werden. Auch wenn Elektroautos zum Teil niedrigere TCO als herkömmliche Fahrzeuge haben, bevorzugen die meisten Verbraucher herkömmliche Fahrzeuge aufgrund ihres geringeren Kaufpreises. Elektroautos gelten als untermotorisiert und zu teuer. Die sehr preissensiblen indischen Verbraucher sind außerdem nicht bereit, für technologische Innovation einen Preisaufschlag zu bezahlen. Laut der Verbraucherbefragung im NEMMP 2020 waren die Verbraucher bereit, eine Prämie von bis zu 10 bis 20 % für Hybridfahrzeuge zu zahlen, wenn sie von niedrigeren Betriebskosten innerhalb von 2-3 Jahren ausgeglichen würden.

Die Umweltfreundlichkeit ist hingegen für viele Kunden kein entscheidendes Kriterium, wie auch eine Verbraucherbefragung im Rahmen des NEMMP 2020 bestätigt. Dennoch ermittelte die Verbraucherbefragung eine hohe latente Nachfrage nach Elektroautos: Etwa 25 bis 30 % der befragten Verbraucher äußerten eine starke Präferenz für Elektroautos, allerdings unter der Voraussetzung, dass Preis- und Leistungserwartungen angemessen erfüllt werden. Hybridfahrzeuge werden von 14 bis 15 % der Befragten bevorzugt, gefolgt von Plug-Ins (9-10 %), wohingegen nur 5 % sich für reine batteriebetriebene Fahrzeuge entscheiden würden. Aufgrund wirtschaftlicher Vorteile haben im Zweirad-Segment sogar 55 bis 60 % der Befragten eine hohe Präferenz für batteriebetriebene Zweiräder.

In der Folge ist die momentane Kundenbasis für Elektrofahrzeuge sehr klein. Elektro-Pkw werden vor allem von gehobenen Kunden genutzt. Darüber hinaus werden Elektrofahrzeuge oft lediglich als Zweit- oder Drittwagen der Familie verwendet, da sie aufgrund eines Mangels an Vertrauen in die neue Technologie nicht als Erstwagen infrage kommen (Finpro 2013).

Ähnlich ist es im Segment der Zweiräder, allerdings wurde in Folge der Anreizsetzung zur Nachfragegenerierung durch die MNRE-Regelungen ein Anstieg der Verkäufe insbesondere von Elektrozweirädern beobachtet. Diese profitieren von einem relativ großen Angebot durch regionale Hersteller und davon, dass Fahrzeuge mit Motorleistung von weniger als 250 W und Spitzengeschwindigkeit von 25 km/h von der Registrierung und Kfz-Steuer befreit sind und ohne Führerschein gefahren werden können.

Der NEMMP rechnet, basierend auf Verbraucherbefragungen, Expertendiskussionen und einem TCO-Modell, mit einer Marktdurchdringung von 14 bis 16 % von Elektro- und Hybridfahrzeugen bis 2020. Die projizierte Marktdurchdringungsrate basiert auf der Annahme einer Implementierung von starken Nachfrageschaffungsmaßnahmen, wie sie im NEMMP vorgesehen sind.

Die meisten Experten sehen die hohen Kosten als die größte Herausforderung für die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen in Indien. Die befragten Experten bestätigen die Annahme, dass die indischen Verbraucher viel sensibler als europäische Kunden auf Preisunterschiede reagieren. Experten aus der Industrie erwähnten, dass die Verbraucher erhebliche Preisnachlässe auf Elektromobile mittels staatlicher Subventionen erwarten. In der Vergangenheit hatten bereits geringe Anreize große Auswirkungen auf die Marktdurchdringung von Elektromobilen im Zweirad-Segment. Die befragten Experten gehen davon aus, dass in Indien – insbesondere in Ballungsräumen - ein erhebliches Potenzial für leichte, einfache und kleine Fahrzeuge besteht, die für kurze Strecken geeignet sind. Ein Regierungsexperte plädierte dafür, Elektrofahrzeuge in Indien insbesondere im öffentlichen Verkehr als Busse, Transporter oder Taxis einzusetzen, da das Potenzial für privat gehaltene Elektrofahrzeuge begrenzt sei.

Im Vierrad-Segment sehen die befragten Stakeholder nur für Hybrid-Fahrzeuge ein erhebliches Potenzial. Da die Kosten für Mild-Hybride vergleichsweise niedrig sind, gehen die Experten davon aus, dass diese in drei bis vier Jahren sehr häufig in Indien zu finden sein werden. Künftige Kraftstoffeffizienznormen für Pkw könnten die Verbreitung der Hybride steigern. Hinsichtlich der Entwicklung bei Fahrzeugen mit einem höheren Grad an Elektrifizierung unterscheiden sich die Expertenmeinungen: Einige sehen eine Schritt-für-Schritt-Elektrifizierung von Hybriden über Plug-Ins zu reinen Elektromobilen, andere erwarten eine parallele Verbreitung, wobei reine Elektromobile hauptsächlich für Nischenanwendungen eingesetzt werden. In der Regel wird relativ wenig Potenzial für rein batterieelektrische Pkw in Indien gesehen, während das Potential für rein elektrische Zweiräder deutlich höher eingeschätzt wird. Laut Expertenmeinung werden 75 bis 80 % der elektrifizierten Fahrzeugen im Jahr 2020 batteriebetriebene Zweiräder sein.

### **Fazit - Gesamtbetrachtung des Status quo der Elektromobilität in Indien**

Indien verfügt über einen stark wachsenden Kraftfahrzeugmarkt, gleichzeitig leiden viele indische Städte unter massiver Luftverschmutzung. Die Entwicklung der Elektromobilität befindet sich in Indien jedoch noch im Anfangsstadium. Dies betrifft sowohl die derzeitige Verfügbarkeit elektrifizierter Fahrzeugen und das Technologielevel heimischer Produkte als auch die politischen Rahmenbedingungen und die Reife des Marktes. Auch im Bereich der Forschung und Entwicklung von elektrifizierten Fahrzeugen liegt Indien weit hinter etablierten

Herstellernationen zurück und leidet an einer fehlenden Integration zwischen Forschung und Industrie.

Die Regierung zeigt jedoch Ambitionen, Elektromobilität in Indien voranzutreiben, insbesondere durch die Entwicklung des ‚National Electric Mobility Mission Plan 2020‘. Die darin formulierte Strategie beruht insbesondere auf der Entwicklung des Marktes durch monetäre Kaufanreize sowie der Stärkung heimischer Industrie und der Forschung und Entwicklung. Auch wenn einige der im NEMMP genannten Maßnahmen bereits implementiert worden sind, wurden zentrale Elemente wie beispielsweise Kaufanreize noch nicht verabschiedet. Aktuell ist noch unklar, inwieweit die Regierung den im Plan ausgearbeiteten Vorstellungen folgt.

Indische Verbraucher reagieren sehr sensibel auf den Kaufpreis angebotener Fahrzeuge. Dass Kaufanreize das Potential haben, den indischen Markt für Elektrofahrzeuge signifikant zu beeinflussen, hat sich in der Vergangenheit durch das mittlerweile ausgelaufene Subventionsprogramm des MNRE gezeigt. Um den Ansprüchen der Nutzer gerecht zu werden, konzentrieren sich die indischen FuE-Aktivitäten und die Produktentwicklung der heimischen Industrie auf simple, kostengünstige und robuste elektrifizierte Fahrzeuge, die den lokalen Ansprüchen entsprechen.

Es ist zu erwarten, dass auch unter positiven Voraussetzungen, d.h. Implementierung von Kaufanreizen, Indien kurzfristig in erster Linie einen signifikanten Markt für elektrische Zweiräder darstellt. Diese sind im Betrieb und hinsichtlich der ökonomischen Rahmenbedingungen für die Nutzer attraktiver als elektrifizierte Pkw. Während Hybrid-Pkw mittelfristig Absatz bei der aufstrebenden indischen Mittelschicht finden könnten, wird der Einsatz von Plug-in-Hybriden und rein elektrischen Pkw auch durch eine fehlende Infrastruktur eingeschränkt. Ein signifikanter Ausbau der Ladeinfrastruktur ist durch fehlende finanzielle öffentliche Mittel und Anreize für Investoren sowie ein überlastetes Stromnetz mittelfristig kaum zu erwarten.

Die Situation der Elektromobilität in Indien unterscheidet sich stark von der in Europa, USA oder Japan und steht in einigen Punkten exemplarisch für weitere Schwellen- und Entwicklungsländer. Produkte, die den speziellen Ansprüchen des indischen Marktes entsprechen, könnten auch in anderen Schwellenländern Absatz finden.

### 5.2.7 Entwicklungen außerhalb der Fokusbänder

H. Hüging (WI), J. Tenbergen (WI)

#### Südkorea

In Südkorea liegen die wesentlichen Gründe zur Förderung der Elektromobilität in der Reduktion von Treibhausgasemissionen und in der Förderung der heimischen Automobilindustrie. Der Regierungsbeschluss zur Implementierung umweltfreundlicher Fahrzeuge erfolgte in Südkorea bereits im Jahr 2004. Zudem weisen die staatlichen Ziele und Programme zum Teil sehr ehrgeizige Ziele auf:

- Green Car Roadmap: Green Cars umfassen in dieser Roadmap sowohl BEV, (P)HEV, FCEV als auch saubere Dieselfahrzeuge. Dabei benennt die Roadmap unter anderem die folgenden Ziele: Südkorea soll bis zum Jahr 2017 weltweit die viertstärkste xEV-Nation werden, der globale xEV-Anteil am Kleinwagenmarkt soll im Jahr 2015 12 % betragen und bis 2020 sollen durch die Verbreitung von xEV 1,2 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden.
- Automotive Policy Master Plan: Dieser Plan wurde im Jahr 2012 durch das Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs (MLTM) verabschiedet und beinhaltet Leitlinien zum systematischen Ausbau der Elektromobilität. Ein Schwerpunkt liegt beispielsweise in der Verbesserung der Fahrzeugsicherheit (Cho et al. 2012).

Die Entwicklung und Produktion von Elektrofahrzeugen ist in Südkorea durch einen sehr hohen Stand der Technik geprägt. Die wichtigsten Forschungs-Akteure sind das Korean Transport Institute (KOTI), das Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), das Korea Automobile Testing and Research Institute (KARTI), das Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST) und das Korea Automotive Technology Institute (KATECH).

Obwohl Südkorea über keine eigenen Lithiumvorkommen verfügt, ist das Land mit den Unternehmen LG Chem, Samsung SDI, SB Limotive und SK Energy einer der wichtigsten Hersteller für Lithium-Ionen-Batterien. Auch im Bereich der Elektrofahrzeugproduktion ist Südkorea gut aufgestellt, obwohl nur einer (Hyundai Kia Automotive Group) von vier angesiedelten Konzernen koreanischen Ursprungs ist. Die Produktion des Hyundai BlueOn startete bereits im Jahr 2010, wobei sich die Verkäufe stark auf den heimischen Markt konzentrieren. Wie in den meisten Ländern, gestaltet sich die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen auch in Südkorea eher verhalten. Ende 2012 waren insgesamt 860 BEV in Korea zugelassen, was bei 2 500 geplant zugelassenen BEV einem Zielerreichungsgrad von 35 % entspricht. Die Gründe dafür liegen vor allem in den hohen Anschaffungskosten der Fahrzeuge.

#### Kanada

Im Jahr 2010 wurde die nationale „Electric Vehicle Technologie Roadmap“ (evTRM) verabschiedet. Diese wird von der kanadischen Regierung koordiniert, die Federführung liegt jedoch bei der Industrie. Angekündigt wird darin das Ziel von 500 000 PHEV bis zum Jahr 2018, jedoch bisher ohne offizielle Bestätigung.

Die Elektromobilität wird in Kanada meist als Konzept der urbanen Mobilität gesehen. Die großen Distanzen in Kanada sind für den Einsatz von Elektrofahrzeugen auf Langstrecken eher ungeeignet. Der Aufbau eines Netzes aus Ladestationen zwischen einzelnen Ballungsräumen ist bislang nicht vorgesehen. Für kanadische Großstädte geht man davon aus, dass der Fahrzeugbesitz stark abnehmen wird, da die öffentlichen Nahverkehrsnetze gut ausgebaut sind und die Kosten für das Abstellen des Autos in der Stadt hoch sind. Car-Sharing wächst zurzeit sehr stark in Städten wie Vancouver oder Toronto (STROM-Arbeitspapier Nordamerika).

Die Provinzen zeigen wiederum eine unterschiedliche Bereitschaft zur Einführung der Elektromobilität. Besonders Ontario, Quebec und British Columbia bemühen sich um die starke Förderung der Elektromobilität und vergeben Kaufanreize, die sich meistens auf Basis der Batteriekapazität errechnen, sowie Leasingrabatte auf Basis der Leasingdauer. Zu den regionalen Programmen für Elektrofahrzeuge zählen:

- Ontario Electric Vehicle Incentives Program: Das Incentive Program in Ontario richtet sich an PHEV und BEV, die im oder nach Juli 2010 gekauft wurden und zudem für die Highways in Kanada zugelassen sind und bietet Kaufsubventionen und Leasingrabatte (Ministry of Transportation Ontario 2013).
- Québec's Drive Electric Program: Dieses Programm gestattet Kauf- sowie Leasing-Rabatte für zugelassene Fahrzeuge von Privatpersonen, Unternehmen und Organisationen (Québec EV 2013).
- The Clean Energy Vehicle (CEV) Program in British Columbia: Neben Kaufanreizen und Leasingrabatten ist zudem die Installation von Ladeinfrastruktur in Mehrfamilienhäusern förderfähig. Das landesweite Netz öffentlicher Ladeinfrastruktur wird durch die „Community Charging Infrastructure (CCI) Fund“ mit 2.74 Mio. CAD (1,96 Mio. Euro) gefördert (British Columbia 2013).

In Kanada ist die Automobilindustrie mit einem Anteil von zehn Prozent der größte Produktionssektor. Auch die Branche der Elektromobilität wächst stetig und beinhaltet sowohl die Bereiche Batterieentwicklung und -produktion, Entwicklung des Antriebsstrangs und Systemintegration als auch die Produktion von sauberer Energie. Als Produktions- und Entwicklungsstandort spielt Kanada auch für US-Firmen eine wesentliche Rolle. Rund 75 % aller kanadischen Exporte gehen in die USA. Viele in Kanada gefertigten Fahrzeuge, darunter auch Elektrofahrzeuge, sind ausschließlich für den US Markt vorgesehen und werden in Kanada nicht geführt. General Motors und Ford betreiben in Kanada eigene Forschungsstandorte und kooperieren vor Ort mit Forschungsinstituten und Universitäten. Unter den gemeinsamen Forschungsbereichen spielt insbesondere der Leichtbau eine wichtige Rolle. Die nationale Regierung in Kanada hat sich zum Ziel gesetzt, insbesondere Forschungsaktivitäten in den Bereichen Leichtbau und Antriebssysteme zu investieren (STROM Arbeitspapier Nordamerika).

Laut den Experten aus Kanada ist man bislang mit der Einführung von Elektrofahrzeugen nicht zufrieden; die Anzahl der verkauften Fahrzeuge ist sehr gering (STROM Arbeitspapier Nordamerika). Ende 2012 waren in Kanada 875 BEV und 1 716 PHEV registriert, wobei ein Großteil der Flotte im selben Jahr verkauft wurden (621 BEV in und 1 399 PHEV) (IA-HEV 2013). Viele Käufer schreckt die geringe Reichweite ab. Experten gehen davon aus, dass sich in Kanada Plug-In Hybride als Elektrofahrzeugkonzept durchsetzen. Allerdings muss



dazu die Ladeinfrastruktur noch weiter ausgebaut werden. Im April 2013 gab es in Canada nur 746 Ladestationen (IA-HEV 2013).

## **Südafrika**

Südafrikas Automobilmarkt unterliegt einer schnellen Entwicklung mit großer Bedeutung für den gesamten Kontinent. Obwohl die Entwicklungen Südafrikas im Bereich der Elektromobilität nicht mit denen der untersuchten Fokusregionen vergleichbar sind, können auch hier einige Anstrengungen zur Verbreitung elektrischer Fahrzeuge verzeichnet werden: Die Südafrikanische Innovationsagentur (South Africa's Technology Innovation Agency (TIA)) startete zu Beginn des Jahres 2013 ein Elektromobilitätsprogramm, und das Department of Environmental Affairs initiierte ein Green Cars - Programm (Zero Emissions xEV) (Dane 2013). Das Department of Trade and Industry entwickelte zur Zeit der Recherche eine „Electric Vehicle Industry Roadmap“. Diese soll Anreize sowohl für Hersteller als auch steuerliche Vergünstigungen für Verbraucher beinhalten (Southafrica.info 2013). Die Anreize für die Hersteller dienen dazu, das *Automotive Development Program (APDP)* zu realisieren und treten in Kraft, sobald diese mehr als 5 000 xEV pro Jahr produzieren. Ab dieser Produktionszahl werden durch die Regierung 35 % der Produktionskosten der letzten drei Jahren erstattet. Der Toyota Prius Hybrid ist das einzige Hybridfahrzeug, das in Südafrika gebaut und verkauft wird, wobei die Verkaufszahlen sehr niedrig sind.

## **Brasilien**

Bisher verfolgte die brasilianische Regierung die Einführung der Elektromobilität nicht strategisch, da der Fokus auf Flex-Fuel-Fahrzeugen lag. Im Jahr 2011 wurde jedoch die Errichtung eines Produktionswerkes für Automobile in der Nähe von Rio de Janeiro angekündigt. Ab dem Jahr 2014 sollen hier bis zu 200 000 Fahrzeuge, unter anderem auch der Nissan Leaf, produziert werden. Damit fände die erste Produktion von Elektrofahrzeugen Südamerikas in Brasilien statt. Ziel ist nun die strategische Ausrichtung zum Aufbau eines signifikanten E-Fahrzeugmarktes in Brasilien. Daher wurden bereits einige Pläne zur Förderung der Elektromobilität erarbeitet, wie beispielsweise die Pläne zu Steuersenkung für reine BEV von Senator Eduardo Amorim (Costa 2013). In einigen Regionen Brasiliens erhalten Fahrzeughalter von E-Fahrzeugen bereits Steuervergünstigungen.

## **Israel:**

In Israel wurde das Konzept des Batteriewechsels erstmals für den privaten Pkw in größerem Maßstab umgesetzt. Die Firma Better Place hat 2011 in Kooperation mit Renault-Nissan ein Batteriewechselsystem in Israel aufgebaut. Das Projekt profitierte unter anderem von Kaufanreizen für Elektrofahrzeuge in Israel: Seit 2008 wurde die Verkaufssteuer für Elektrofahrzeuge auf 10 % reduziert – gegenüber 80 % für konventionelle Fahrzeuge. Better Place installierte Batteriewechselstationen in Israel, die den Wechsel von Batterien für das Model Renault Fluence Z.E. anboten. Kunden erwarben das Fahrzeug ohne Traktionsbatterie. Die Batterie wird vom Anbieter Better Place gestellt und über die Fahrleistung abgerechnet. 2013 musste das Unternehmen Insolvenz anmelden. Von den ursprünglich geplanten 100 000 Fahrzeugen bis 2016, wurden nur ca. 1 000 Fahrzeuge abgesetzt und nutzen das System.

### 5.3 Vergleichende Globalstudie

Nachfolgend werden die Erkenntnisse aus den einzelnen Regionen entlang der vier Untersuchungsfelder verglichen. Es werden zum Teil weitere Nationen in die Analyse mit einbezogen, wenn es in diesen Regionen wichtige Entwicklungen hinsichtlich eines Themenfeldes gibt.

#### 5.3.1 Regierung/Politik/Öffentliche Infrastruktur

*T. Koska (WI)*

##### Ziele und Strategien

Weltweit ist die Förderung von Elektromobilität in den letzten zehn Jahren ein relevantes Thema für die Politik geworden – auf nationaler sowie zum Teil auch auf regionaler Ebene.

Vorreiter der Förderung von Elektromobilität war unter anderem Norwegen, wo für Elektrofahrzeuge bereits seit Mitte der 1990er Jahre Ausnahmen von den in Norwegen üblicherweise sehr hohen Kraftfahrzeugsteuern gelten.

Auch im US-Bundesstaat Kalifornien gab es bereits seit 1990 gesetzliche Regelungen zur Markteinführung von Nullemissionsfahrzeugen: die Hersteller wurden verpflichtet, dass Nullemissionsfahrzeuge bis 2003 einen Marktanteil von zehn Prozent der zugelassenen Personenkraftwagen erreichen.

Die **Motivationen** der Förderung von Elektromobilität sind dabei vielfältig. Zum einen streben nahezu alle Regierungsprogramme die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen des Autoverkehrs durch die Einführung von Elektromobilität an. Tatsächlich ist der Straßenverkehr mit 17 % des weltweiten energiebedingten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes ein wesentlicher Faktor bei dem Bestreben, selbstgesetzte oder im Rahmen von internationalen Abkommen beschlossene Klimaziele zu erreichen. Jedoch hängt die tatsächliche CO<sub>2</sub>-Reduktion stark vom jeweiligen Strommix ab, so dass Elektromobilität nur bei einem großen Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung einen Beitrag zum Klimaschutz leisten kann – was etwa in Indien und China aufgrund des hohen Kohlestromanteils auch mittelfristig nicht zu erwarten ist. Ein weiterer Faktor, der die Förderung der Elektromobilität in den USA, aber auch in China besonders motiviert, ist die Reduktion von Luftschadstoffen. Als Reaktion auf den Smog in Megacities bietet Elektromobilität durch lokal emissionsfreies Fahren eine Aussicht auf eine Lösung der Gesundheitsproblematik durch Schadstoffemissionen.

Eine z.T. weniger öffentlichkeitswirksam dargestellte, dafür umso relevantere Motivation ist die Förderung der nationalen Forschung, Technologie und Industrie, insbesondere der Automobilindustrie und deren Zulieferer. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen Ländern mit einer relevanten Automobilindustrie, wie etwa Deutschland, Frankreich, den USA, Japan und China, und Ländern ohne eine bedeutende Automobilproduktion wie etwa Norwegen oder die Niederlande, die bei ihrer Förderung von Elektromobilität weniger Rücksicht auf die Bedingungen von Automobilherstellern nehmen. Da die zukünftige Bedeutung von Elektromobilität als neues Marktsegment schwer zu prognostizieren ist, der Automobilmarkt insgesamt aber von hoher wirtschaftlicher Relevanz ist, wollen die nationalen Regierungen nach Ein-

schätzung von Experten durch ihre Förderung verhindern, dass die heimische Industrie den Anschluss in einer künftigen Schlüsseltechnologie verliert.

Viele nationale Regierungen haben konkrete **Ziele** für die Marktdurchdringung benannt, die sie durch die Förderung von Elektromobilität erreichen wollen. Noch ambitionierter als die in Deutschland anvisierten 1 Mio. Elektrofahrzeuge bis 2020 will etwa Frankreich die doppelte Zahl zum gleichen Zeitpunkt erreichen. Japan strebt einen Marktanteil von 15-20 % an; die USA wollen bereits bis zum kommenden Jahr 1,5 Mio. Elektrofahrzeuge auf die Straße gebracht haben. Gemeinsam ist den Zielen, dass sie aus Sicht von Marktbeobachtern weitgehend als schwer erreichbar, zum Teil als unrealistisch betrachtet werden (vgl. Kap 5.3.4). Darauf weist auch der Vergleich der Ziele mit dem aktuellen Stand zugelassener Elektrofahrzeuge in den einzelnen Ländern hin.

Ziele xEV Flotte	USA	Japan	China	Frankreich	GB	Norwegen	Indien	Deutschland
Ziel	1 Mio. bis 2015	15-20 % Marktanteil bis 2020	0,5 Mio. bis 2015 [5 Mio. bis 2020]	2 Mio. bis 2020	-	-	6-7 Mio. bis 2020	1 Mio. bis 2020
EV-Bestand (2012)	71 000	45 000	12 000	20 000	8 000	10 000	1 400	6 000
Anmerkung	PHEV/BEV /FCEV; ca. 2,4 Mio. auf 2020 hochgerechnet	BEV/PH EV ca. 850 000 Fzg.	„New Energy Vehicles“ v.a. BEV/PHEV	BEV/PH EV	(Empfehlung 1,5 Mio. bis 2020)	inoffiziell (Grønn Bil) 200 000 bis 2020	HEV, PHEV, BEV, v.a. Krafträder	BEV/PH EV

**Tab. 5-19 Regierungsziele zur Verbreitung von xEVs im Vergleich**

Quelle: eigene Darstellung (nach STROM Regionalstudien; für EV-Bestand: nach EVI 2013)

Die **Strategien** der einzelnen Länder sind häufig in zentralen Regierungsprogrammen niedergelegt, die die Regierungsziele darstellen und Maßnahmen und Instrumente zu deren Erreichung auführen. Ähnlich wie Deutschland mit dem 2009 veröffentlichten „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ verfügt Frankreich über einen „Electric Vehicle Plan“, Norwegen verabschiedete 2012 ein „Commitment to a Change in Vehicle Technology“, Japan legte 2010 die „Next Generation Vehicle Strategy“ vor, und auch China hat 2010 mit dem „Development of New Energy Vehicle Industry“ einen Plan vorgestellt, der sich primär auf die Förderung von Plug-In-Hybrids und batterieelektrischen Fahrzeugen konzentriert. In Indien wurde mit dem „National Electric Mobility Mission Plan“, der im Frühjahr 2013 vorgestellt wurde, ein erster Schritt zu einer nationalen Elektromobilitätsstrategie getätigt.

Gemeinsam haben diese Pläne die Integration verschiedener Maßnahmentypen zur Förderung von Elektromobilität: Angekündigt oder implementiert werden in diesen Dokumenten regulatorische Rahmenbedingungen, monetäre sowie nicht-monetäre Anreize zum Kauf von Elektrofahrzeugen, die Förderung von Forschung und Entwicklung und von Demonstrationsprojekten sowie Maßnahmen zum Aufbau von Ladeinfrastruktur.

## Regulatorischer Rahmen

Ein wichtiger Treiber für die Entwicklung und Markteinführung von Elektromobilität, der direkt die Automobilhersteller adressiert, sind gesetzliche Vorgaben zu Emissionen von Neuwagenflotten oder zu Marktanteilen von Nullemissionsfahrzeugen. Erstere bestehen in der EU in Form der CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte für Pkw, die aktuell bei 130 g CO<sub>2</sub>/km, ab 2020 bei 95 g CO<sub>2</sub>/km liegen. Zwar ist es den Herstellern freigestellt, durch welche Antriebstechnik sie die Reduktion erreichen. Insbesondere mit Blick auf den Zielwert für 2020 ist es jedoch für Hersteller von großen und verbrauchsintensiven Fahrzeugen attraktiv, die eigenen Durchschnittsemissionswerte durch Elektrofahrzeuge zu senken, da diese für eine Übergangszeit doppelt als Nullemissionsfahrzeuge angerechnet werden. Ähnlich verfasste, wenn auch deutlich mildere Flottenemissionslimits bestehen auch in den USA, wo erst ab 2020 ein Durchschnittswert von 140 g CO<sub>2</sub>/km zu erreichen ist. In Japan werden die Flottengrenzwerte, die über die Kraftstoffverbrauchseffizienz in km/l ausgedrückt werden, im Rahmen eines „Top-Runner“-Ansatzes dynamisch weiterentwickelt; Der Grenzwert orientiert sich dabei an den Verbrauchswerten, die von den jeweils effizientesten Modellen im jeweiligen Marktsegment erreicht werden.

Quoten für die Markteinführung von Nullemissionsfahrzeugen gibt es mit der ZEV-Gesetzgebung in Kalifornien, die mittlerweile von mehreren US-Bundesstaaten adaptiert wurde.

## Finanzielle Förderung und Anreize

Neben den begrenzten Reichweiten von Elektrofahrzeugen und den damit verbundenen Herausforderung für die Ladeinfrastruktur stellt der hohe Preis nach wie vor ein wesentliches Hindernis für eine größere Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen dar (vgl. Kapitel 5.3.4, Abschnitt „Nutzerakzeptanz“). Dieses Hemmnis zu verringern ist das Ziel von Kaufanreizen, die – abgesehen von Deutschland – nahezu alle betrachteten Länder als Instrument zur Förderung von Elektromobilität einsetzen. Die Förderung variiert dabei zwischen den Ländern sowohl in ihrer Höhe wie in der Struktur, wie Tab. 5-20 zeigt.

Land	Einmalige Kaufanreize*	regelmäßige fiskalische Anreize*	Sonstige Anreize**
<b>Deutschland</b>	-	Befreiung von Kfz-Steuer für 10 Jahre (danach 50 % Ermäßigung)	Bessere Anrechnungsmöglichkeit für Dienstwagen
<b>USA</b>	max. 5 400 Euro [abh. von Batteriekapazität]	-	Nutzung HOV-Lanes, teilw. Befreiung von Parkgebühren, vergünstigte Stromtarife
<b>Japan</b>	max. 6 300 Euro [2/3 der Preisdifferenz zu konv. Pkw]	Reduktion Kfz-Steuer um 50 %	Teilw. Befreiung von Parkgebühren und Erstattung von Mautgebühren
<b>China</b>	max. 7 200 Euro für BEV (abh. von Reichweite) PHEV: 4 200 Euro	befreit von Kfz-Steuern, Befreiung von der MwSt bei chinesischen Modellen	Befreiung von „Nummernschild-Lotterie“ für Neuzulassungen (z.B. Peking, Shanghai)

<b>Frankreich</b>	max. 6 300 Euro [abh. von CO <sub>2</sub> -Emissionen]	Vergünstigte CO <sub>2</sub> -Steuer für Firmenwagen	Vergünstigte Raten für Maut- und Parkgebühren
<b>Großbritannien</b>	max. 6 300 Euro [25 % des Fzg.-Preises]	bis zu 600 Euro	Befreiung von Londoner City-Maut, teilw. Befreiung von Parkgebühren
<b>Norwegen</b>	Wegfall der gewichtsabh. Importsteuer u. MwSt [Ø 15 000 – 20 000 Euro pro Fahrzeug, beim. Tesla S ca. 100 000 Euro]	bis zu 3 800 Euro	Nutzung von Busspuren, Befreiung von Park- und Mautgebühren

\*Bezug auf nationale Anreize, zusätzlich kann es auf untergeordneten Ebenen zusätzliche Anreize geben (e.g. durch Länder, Präfekturen)

\*\* exemplarisch

Anmerkung: zur Zeit keine Kaufanreize auf nationaler Ebene in Indien implementiert

**Tab. 5-20 Struktur der Subventionen in ausgewählten Ländern im Vergleich**

Quelle: eigene Darstellung (nach STROM Regionalstudien)

Ein Bestandteil der Förderung sind direkte Subventionen, die im Rahmen von Regierungsprogrammen an den Käufer eines Elektrofahrzeugs ausgezahlt werden, sowie Nachlässe auf einmalig fällige Steuern, etwa der Mehrwertsteuer beim Fahrzeugkauf oder Zulassungssteuern, die in vielen Staaten bestehen. Weitere Vergünstigungen basieren auf einer Reduktion oder dem Wegfall der jährlichen Kfz-Steuer, bei denen aber in der Regel vergleichsweise kleine Summen erreicht werden.

Die Höhe der Förderung wird in den einzelnen Programmen unterschiedlich bestimmt: In Japan beträgt die nationale Förderung bis zu zwei Dritteln der Kaufpreisdifferenz zwischen dem „Next Generation Vehicle“ (rein batterieelektrische, Plug-In-Hybrid oder Clean-Diesel-Fahrzeuge) einerseits und dem vergleichbaren konventionellen Fahrzeugmodell andererseits; in den USA gibt es einen Steuernachlass, der in Abhängigkeit von der Batteriegröße zwischen 2 500 und 7 500 USD beträgt; in Kalifornien wird ein einmaliger fester Bonus ausgezahlt, der nur zwischen den Fahrzeugtypen (BEV, PHEV) variiert. Frankreich zahlt im Rahmen seines aufkommensneutralen Bonus-Malus-Systems der Fahrzeugbesteuerung einen einmaligen Bonus von 7 000 Euro für Fahrzeuge, die weniger als 20 g CO<sub>2</sub>/km emittieren (i.d.R. rein batterieelektrische Fahrzeuge); für Fahrzeuge bis zu 50 g CO<sub>2</sub>/km (d.h. PHEVs) werden 5 000 Euro gezahlt. In Deutschland bestehen dagegen keine Kaufsubventionen; die Vergünstigungen durch die zehnjährige Befreiung von der Kfz-Steuer hat für niedrig motorisierte Elektrofahrzeuge nur sehr geringe Auswirkungen; bei Fahrzeugen mit höherer Motorisierung können jährlich Steuern in der Größenordnung von 100 bis 250 Euro gespart werden.

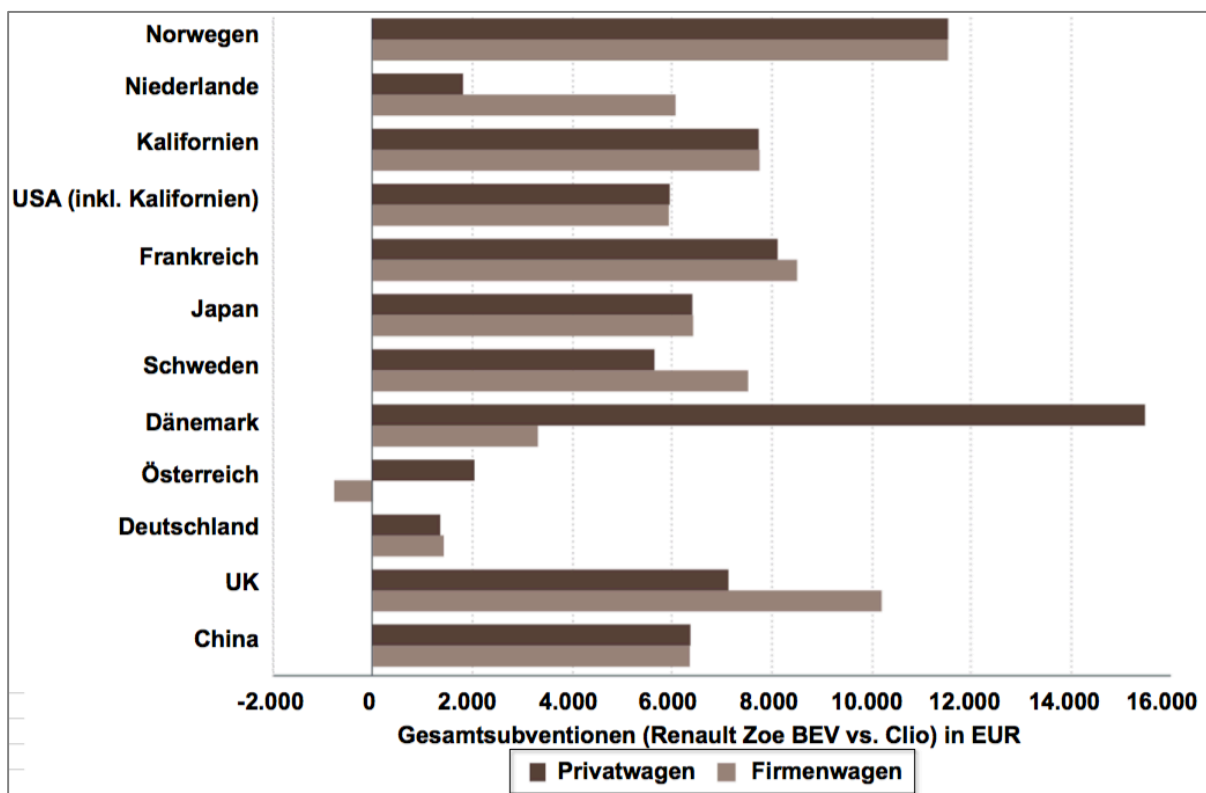
Sehr hohe Subventionen je Fahrzeug werden in Norwegen gewährt, wo eine im internationalen Vergleich extrem hohe Zulassungssteuer auf Kfz besteht, die sich unter anderem auf Basis der CO<sub>2</sub>-Emissionen bestimmt. Die Reduktionen für Elektrofahrzeuge machen bereits bei Kleinwagen wie dem Renault Zoe über 11 000 Euro aus; hochmotorisierte größere Fahrzeuge profitieren in noch höherem Maße, so dass rein batterieelektrische Fahrzeuge in der Regel günstigere Gesamtkosten (TCO) aufweisen als vergleichbare konventionelle Fahrzeuge.

Eine solche Überkompensation der Mehrkosten gelingt ansonsten nur in Dänemark, wo noch höhere Steuernachlässe gewährt werden als in Norwegen, sowie in den Niederlanden im Bereich der PHEV-Fahrzeuge, die durch eine Befreiung von der Registrierungssteuer für Fahrzeuge mit weniger als 95 (Benziner) bzw. 88 g CO<sub>2</sub>/km (Diesel) und der jährlichen Kfz-Steuer vor allem Plug-In-Hybride günstiger stellen.

In den anderen betrachteten Ländern wird dagegen die Kostendifferenz zwischen Fahrzeugen mit elektrischen und konventionellen Antrieben nur mehr oder weniger stark verringert, aber nicht aufgehoben.

Ein Anreiz, Elektrofahrzeuge nicht nur für private, sondern auch für gewerbliche Halter zu attraktiveren, wird in einigen Ländern durch Vergünstigungen bei der Dienstwagensteuer erreicht.

Um die Gesamthöhe der Subventionen international vergleichen zu können, ist der Bezug auf ein ausgewähltes Fahrzeugmodell sinnvoll, da die Förderung häufig von den Spezifika des Elektrofahrzeugs abhängig sowie – im Falle von Steuernachlässen – von der Höhe der Steuer für das zu vergleichende konventionelle Fahrzeug. Abb. 5-19 zeigt die Höhe der Anreize für einen Renault Zoe im Vergleich mit dem konventionellen Modell Clio ähnlicher Größe und Motorisierungsstärke.



**Abb. 5-19** Gesamthöhe der Subventionen in verschiedenen Ländern für einen Renault Zoe (BEV, 65 kW) im Vergleich zu einem Renault Clio (Benzin, 66 kW)

Quelle: (ICCT 2014)

Eine Aufgliederung der Kostenbestandteile Kaufpreis, Steuern bzw. Steuernachlässe und Treibstoff- bzw. Stromkosten über vier Jahre zeigt, dass es durch diese Subventionen nur in Norwegen und Dänemark gelingt, günstigere Gesamtkosten (TCO) eines Renault Zoe im Vergleich zum Clio zu erreichen. Eine Annäherung des Kostenniveaus erreichen immerhin Frankreich, Kalifornien, Großbritannien oder China, während hier in den Niederlanden, Deutschland oder Österreich eine deutliche Lücke erhalten bleibt (vgl. Abb. 5-20).

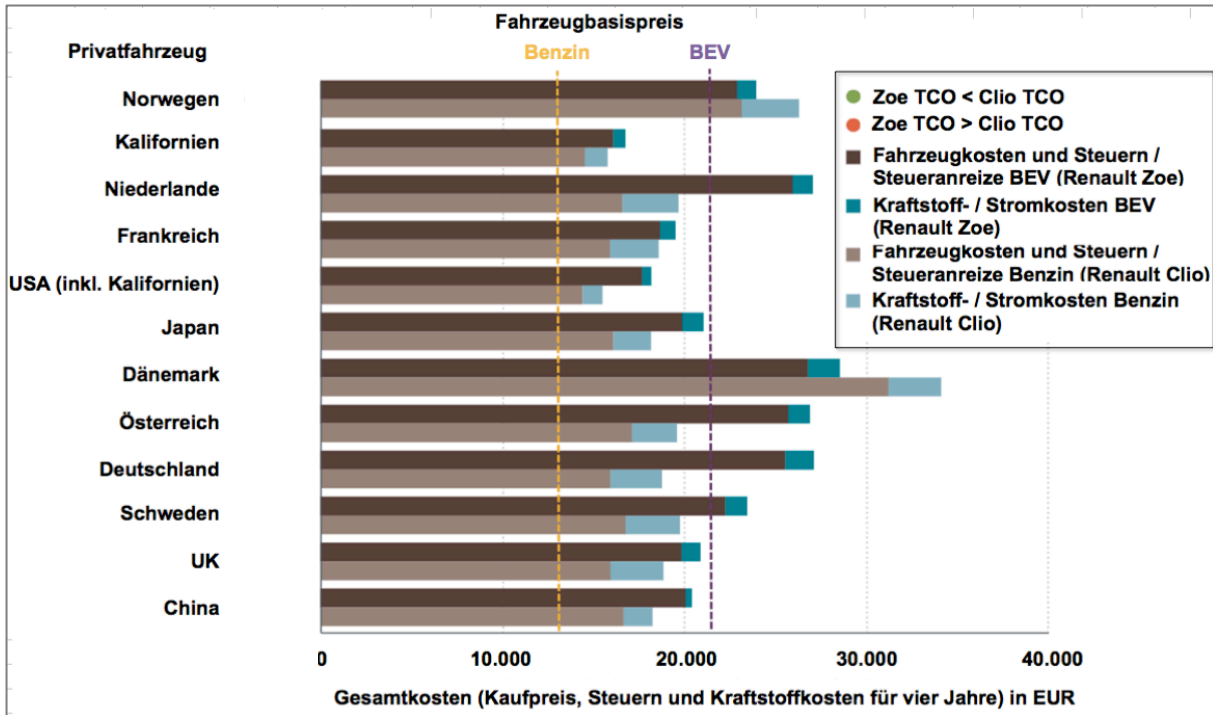


Abb. 5-20 Gesamtkosten (TCO) über vier Jahre in ausgewählten Ländern für einen Renault Zoe (BEV, 65 kW) im Vergleich zu einem Renault Clio (Benzin, 66 kW)

Quelle: (ICCT 2014)

### Nicht-monetäre Anreize

Neben den Subventionen und Steuervergünstigungen werden in verschiedenen Ländern, Regionen und Städten Vorteile für die Nutzung von Elektrofahrzeugen gewährt.

Diese bestehen zum Einen in der Möglichkeit, ansonsten für Busse und Taxis oder für Fahrzeuge mit hohem Besetzungsgrad reservierte Fahrspuren zu nutzen (z.B. Norwegen oder Kalifornien), wodurch den Fahrern insbesondere im Berufsverkehr und zu anderen Stauzeiten erhebliche Zeitvorteile entstehen können. Zum anderen kann durch Ausweisung von öffentlichen Parkplätzen speziell für Elektrofahrzeuge die Parkplatzsuche für Nutzer von Elektromobilität deutlich verkürzt werden; die Parkplätze sind dabei in der Regel mit einer Ladestation ausgestattet.

### Bereitstellung von Infrastruktur

Ein großer Teil der betrachteten Länder hat sich Ziele für den Ausbau der Ladeinfrastruktur gesetzt. Die ambitioniertesten Ziele verfolgen dabei Frankreich (mit 1 Mio. regulären und

150 000 Schnellladepunkten) und Japan (mit 2 Mio. regulären und 5 000 Schnellladepunkten).

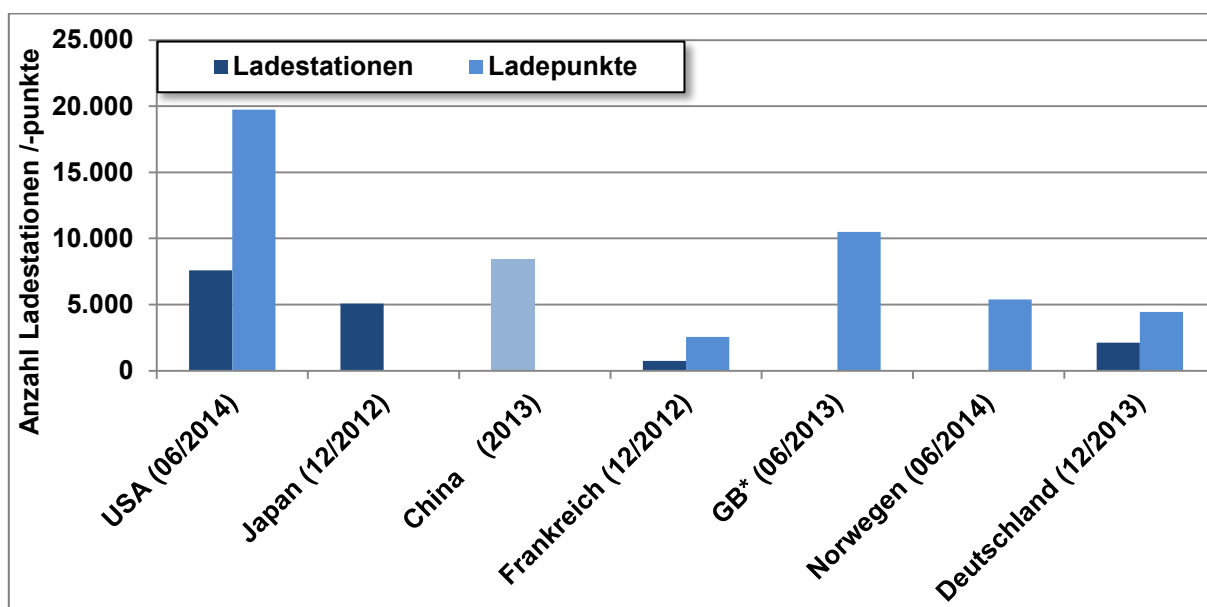
	USA	Japan	China	Frankreich	GB	Norwegen
Ausbauziele	-	2 Mio. Langsam-ladestationen 5 000 Schnell-ladestationen, (2020)	220 000 Ladepunkte, 2 350 Batteriewechsel-stationen (2015)	1 Mio. öffentliche Ladepunkte davon 150 000 Schnellladung	-	-

**Tab. 5-21 Ausbauziele für Ladeinfrastruktur im Vergleich**

Quelle: eigene Darstellung (nach STROM Regionalstudien)

Die Entwicklung des tatsächlichen Aufbaus der Ladeinfrastruktur weicht jedoch von diesen Zielen ab. Während in den USA – ohne dass dort Ausbauziele bestehen – mit 7 600 Stationen und 19 700 Ladepunkten aktuell die meisten Lademöglichkeiten weltweit bestehen, lag etwa Frankreich bis Ende 2012 mit 750 Stationen und 2 500 Ladepunkten weit hinter den Zielen zurück.

Die Entwicklung des tatsächlichen Aufbaus der Ladeinfrastruktur weicht jedoch von diesen Zielen ab. Während in den USA – ohne dass dort Ausbauziele bestehen – mit 7 600 Stationen und 19 700 Ladepunkten aktuell die meisten Lademöglichkeiten weltweit bestehen, lag etwa Frankreich bis Ende 2012 mit 750 Stationen und 2 500 Ladepunkten weit hinter den Zielen zurück.



**Abb. 5-21 Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur in verschiedenen Regionen<sup>17</sup>**

Quelle: eigene Darstellung (nach STROM Regionalstudien)

<sup>17</sup> Bei China handelt es sich bei den in der Abbildung dargestellten Kennzahlen um Ladesäulen



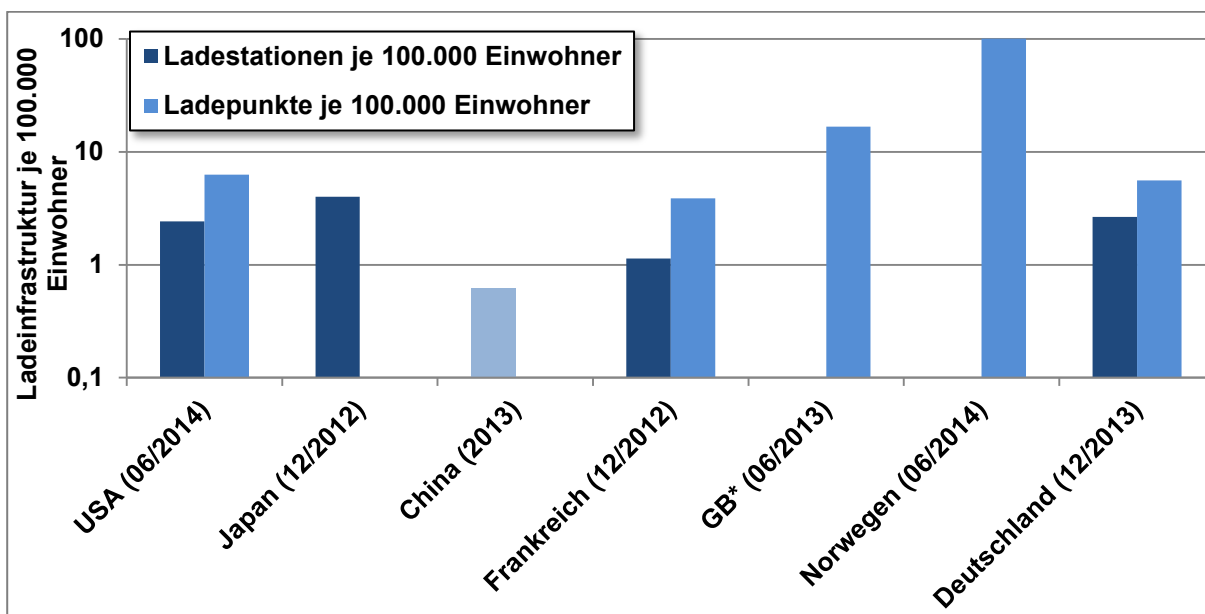


Abb. 5-22 Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur in verschiedenen Regionen je 100 000 Einwohner<sup>18</sup>

Quelle: eigene Darstellung (nach STROM Regionalstudien)

Zum Aufbau eines Ladestationsnetzes verfolgen die verschiedenen betrachteten Länder unterschiedliche Strategien. Weltweit wird die Ladeinfrastruktur aktuell noch überwiegend dezentral geplant und umgesetzt.

Dabei wird der Aufbau von Stationen zum einen in räumlich begrenzten Gebieten im Rahmen von Modellprojekten oder Demonstrationsvorhaben gefördert, insbesondere in Deutschland, Japan, China oder Großbritannien. Zum anderen werden Subventionen für den Aufbau öffentlicher, zum Teil auch privater Infrastruktur vergeben, etwa in den USA, Japan, Großbritannien oder Norwegen. Die US-Regierung vergibt beispielsweise Subventionen für den gezielten Aufbau von Ladeinfrastruktur. Das „EV project“ des DOE sieht 230 Mio. USD (ca. 205 Mio. Euro) öffentlicher und privater Gelder (50/50) vor zum Aufbau von 14 000 Ladestationen in z.Z. 21 Städten und Ballungsräumen in neun US-Bundesstaaten. Einen Schwerpunkt auf Schnellladestationen setzt insbesondere Japan; in den USA besteht bereits ein Schnellladenetz des Elektrofahrzeugherstellers Tesla, in Deutschland wird der Aufbau eines Schnellladenetzes vorbereitet. In Japan sowie in den USA sind Angebote von Ladestationen durch Hotels, Restaurants oder Einkaufszentren weit verbreitet – die oftmals kostenfrei zu nutzenden Ladestationen sollen als Alleinstellungsmerkmal Kunden anlocken. Eine Verpflichtung zur Installation von Lademöglichkeiten in Neubauten wurde in Frankreich künftig auch verpflichtend für Betriebsparkplätze.

Für die Ladeinfrastrukturen bestehen inzwischen Standardisierungen, die innerhalb der Weltregionen weitgehend durchgesetzt sind (etwa in Nordamerika, Europa und Japan). In China bestehen dagegen weiterhin Hemmnisse bei der Standardisierung der Ladeinfrastruktur. Der Hersteller Tesla verfolgt mit seinem Hochgeschwindigkeitsladenetz, das sukzessive in den

<sup>18</sup> Bei China handelt es sich bei den in der Abbildung dargestellten Kennzahlen um Ladesäulen

USA, Europa, Japan und China aufgebaut wird, einen firmenspezifischen Ansatz – die Ladestationen sind bislang nur mit den eigenen Fahrzeugen kompatibel.

### 5.3.2 Forschungsförderung und Institutionen

*P. Hillebrand (WI), H. Hüging (WI)*

#### **Fördermittel im Bereich Forschung, Entwicklung und Demonstration von Elektromobilität**

In allen untersuchten Ländern findet eine staatliche Förderung der Forschung und Entwicklung im Bereich Elektromobilität statt. Förderung wird dabei sowohl für institutionelle Grundlagenforschung, für anwendungsorientierte Forschung als auch für Produktentwicklung bereitgestellt. Zudem werden in einigen Ländern Darlehen und Zuschüsse für die Gründung von Technologieunternehmen oder den Aufbau von Produktionskapazitäten gewährt.

Neben der Entwicklung neuer Technologien und Materialien wird auch die Erprobung, Verbesserung und das Heranführen von Nutzern an neue Produkte in Form von Demonstrationsprojekten gefördert.

Im Folgenden werden die nationalen Investitionen in die Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration der Untersuchungsregionen gegenübergestellt. Dabei muss berücksichtigt werden, dass eine Vergleichbarkeit der zur Verfügung stehenden Daten, durch variierende Ausgestaltung der Förderung sowie durch unterschiedliche Bezugszeiträume und Unterschieden in der Datengrundlage (z.B. ungenaue Abgrenzung der angekündigten, der zur Verfügung gestellten oder der abgerufenen Fördermittel) nur bedingt hergestellt werden kann.

In der Vergangenheit haben die untersuchten Staaten stark in die Forschung, Entwicklung und Demonstration der Elektromobilität investiert (Abb. 5-23). Über den Zeitraum 2008 bis 2012 wurden laut der Abfragen durch die IEA im Rahmen des EV-Outlook die größten Ausgaben von den USA und China getätigt (EVI 2013). In den USA gab es insbesondere 2009 erhebliche Ausgaben zur Förderung von Elektromobilität. In diesem Jahr wurde der „American Recovery and Reinvestment Act“ verabschiedet, unter dem auch das US Department of Energy erhebliche Mittel zur Förderung der Elektromobilität erhielt. Die meisten der dargestellten Länder investierten bereits 2008 und 2009 stark in die Entwicklung der Elektromobilität, wohingegen die Ausgaben Deutschlands zu diesem Zeitpunkt relativ gering waren. 2010 waren die Investitionen in Deutschland, Japan und den USA auf ähnlichem Niveau. Sowohl Japan als auch Deutschland zeigen eine kontinuierliche Steigerung ihrer Ausgaben im Zeitraum 2008 bis 2012.

Indiens Ausgaben zur Förderung der Elektromobilität in den Jahren 2011 und 2012 liegen in einer ähnlichen Größenordnung, wie im Nationalen Entwicklungsplan zur Elektromobilität (NEMMP) als Gesamtinvestitionsbedarf für die nächsten fünf Jahre veranschlagt wurde. Im NEMMP wurde ein Gesamtinvestitionsbedarf in die Forschung und Entwicklung zur Elektromobilität von 16-18 Mrd. INR (192-216 Mio. EUR) ermittelt. Hiervon soll die Regierung laut NEMMP 9,3 Mrd. INR (111,6 Mio. EUR) für FuE-Zwecke beisteuern (Department of Heavy Industries 2012).

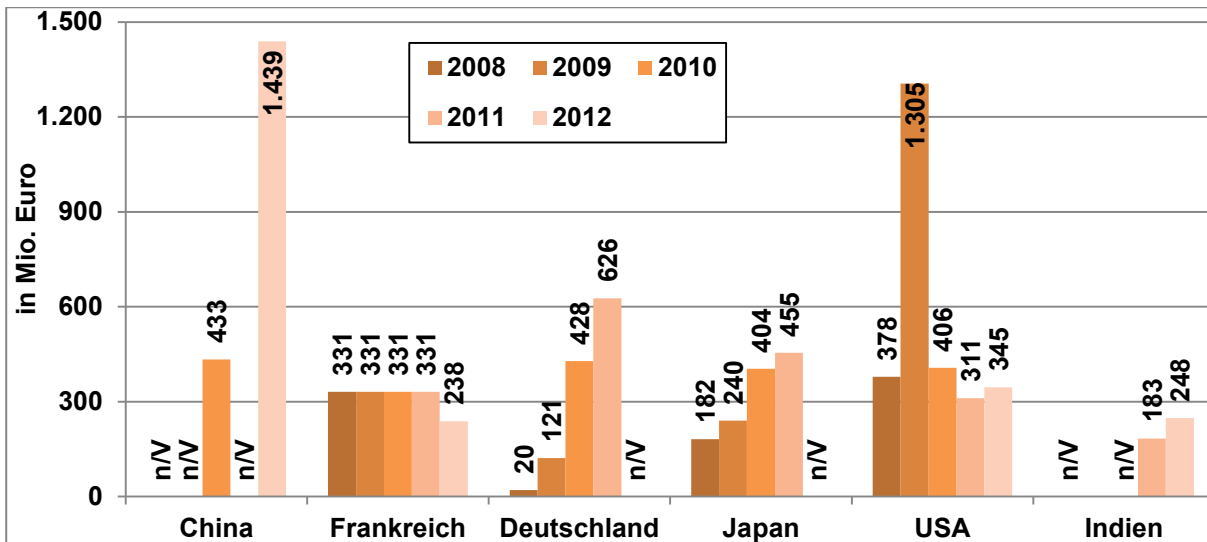


Abb. 5-23 Öffentliche Ausgaben zur Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration von Elektromobilität (inkl. Brennstoffzellenfahrzeuge) (2008-2012)

Quelle: eigene Darstellung nach (EVI, 2013) und ergänzender Datenbereitstellung durch die IEA (Umrechnungskurs: 1 USD = 1,28 Euro)

Betrachtet man die im Zeitraum 2008 bis 2012 getätigten Investitionen differenziert nach FuE-Förderung und der Förderung von Demonstrationsprojekten (vgl. Abb. 5-23), so zeigt sich, dass in diesem Zeitraum in den Untersuchungsregionen – mit Ausnahme von China – die Investitionen in FuE gegenüber den Demonstrationsprojekten überwiegen, was darauf schließen lässt, dass noch großes Potential in der Weiterentwicklung und Verbesserung der Technologien gesehen wurde. Dennoch wurde in den meisten Untersuchungsregionen der Ermittlung der Alltagstauglichkeit und der Erfahrbarmachung der Elektromobilität durch signifikante Förderung von Demonstrationsprojekten Rechnung getragen.

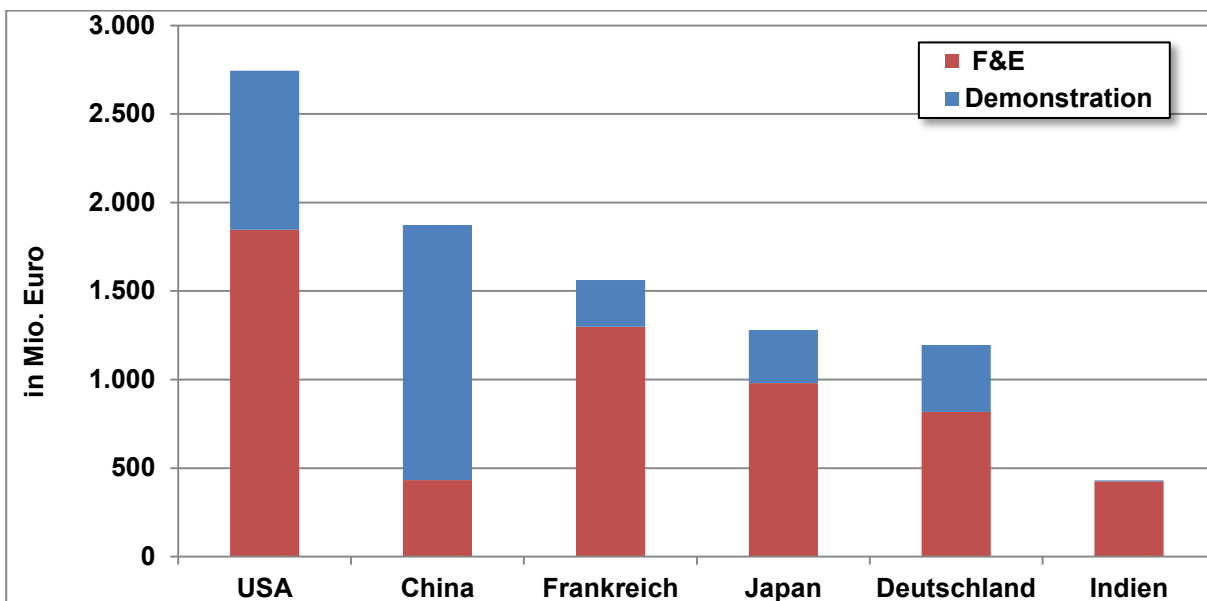


Abb. 5-24 Öffentliche Ausgaben zur Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration kumulativ über 2008 - 2012

Quelle: eigene Darstellung nach (EVI, 2013). (Umrechnungskurs: 1 US-\$ = 1,28 Euro) – nicht für alle Jahre Daten verfügbar

Bezüglich der aktuell laufenden Förderprogramme investiert China derzeit am stärksten in die Forschung und Entwicklung zur Elektromobilität (vgl. Abb. 5-24). Wie in Kapitel 5.2.5 darstellt, hat China in den letzten Jahren seine Investitionen in Forschung und Entwicklung stark erhöht (vgl. Abb. 5-16). Zudem hat China bereits angekündigt, die Investitionen in die Elektromobilität weiter stark zu steigern. Für den 13. Fünf-Jahres-Plan (2016-2020) ist ein Budget von 1,2 Milliarden Euro vorgesehen, was eine Verdreifachung gegenüber dem 12. Fünf-Jahres-Plan darstellt (CATARC 2013). Die USA und Deutschland sind derzeit mit ca. 2 Milliarden Euro Förderbudget auf ähnlichem Niveau, trotz der höheren Gesamtwirtschaftsleistung der USA. Unter den traditionellen Pkw-Herstellernationen hat Deutschland ein vergleichsweise hohes Budget für FuE zur Elektromobilität. Zusätzlich investiert Deutschland im Rahmen der NPE auch stark in verwandte Themenfelder wie Leichtbau oder Recycling.

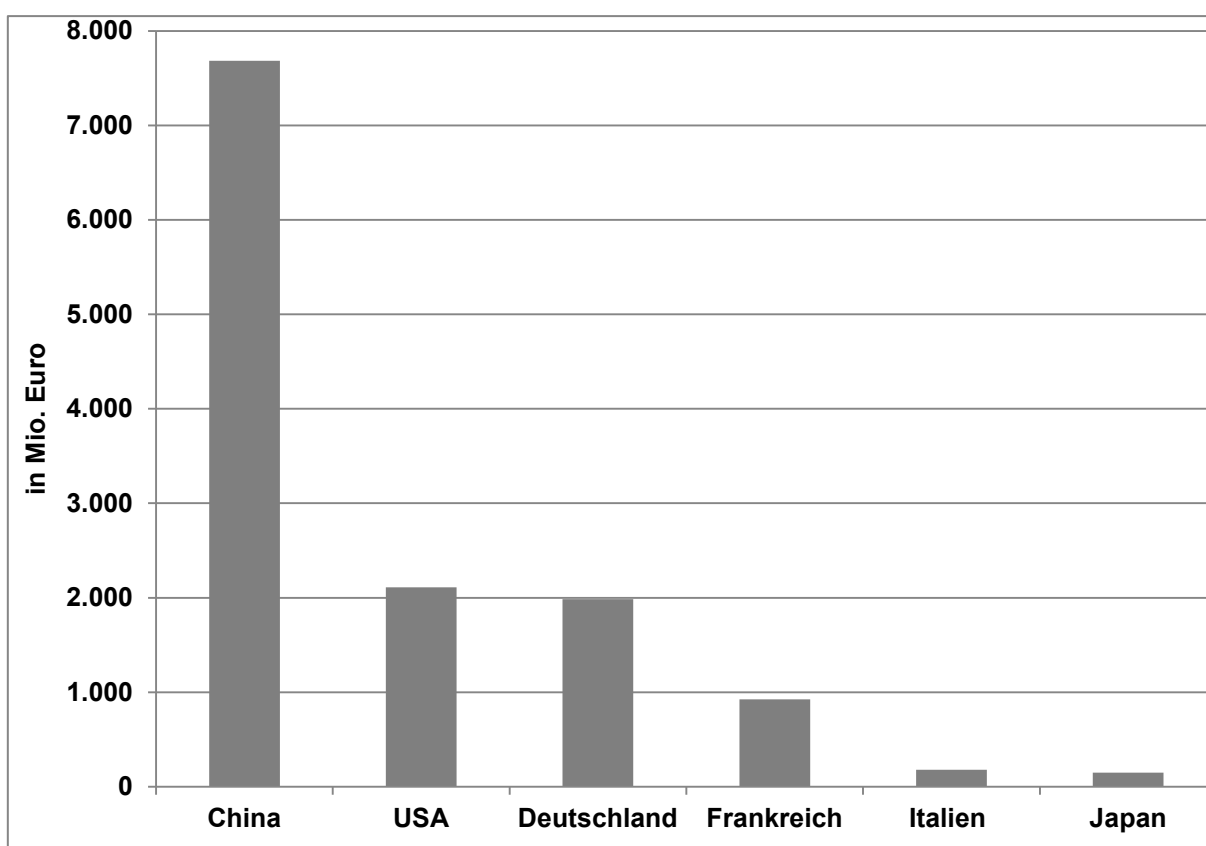


Abb. 5-25 Laufende FuE Förderung zur Elektromobilität in 2014 (bis 2016)

Quelle: eigene Darstellung nach (Roland Berger & fka 2014)

Unterschiede bestehen zwischen den betrachteten Ländern auch in der Ausgestaltung und Abwicklung der Förderung. Deutschland unterstützt Forschung und Entwicklung vor allem durch direkte Projektförderung (vgl. 5.2.1). In den USA spielen neben der Projektförderung vergünstigte Industriekredite eine große Rolle, die im Rahmen des „American Recovery and Reinvestment Act“ bereitgestellt wurden (vgl. 5.2.3).

In China ordnet die Zentralregierung die Errichtung von FuE- und Produktionseinrichtungen direkt an. Zusätzlich gewährt sie für jedes in China produzierte Elektrofahrzeug Produktionszuschüsse.

## Inhalte der Forschungsförderung

Bei der Betrachtung der inhaltlichen Ausrichtung der Forschungsförderung ist zu berücksichtigen, dass die Staaten ihre Forschungsausgaben in unterschiedliche Themenblöcke gliedern und zudem thematisch übergreifende Projekte einen direkten Vergleich erschweren.

Nachfolgend werden die Schwerpunkte der nationalen Förderung genauer betrachtet.

In den USA ist das Department of Energy (DOE) der wichtigste öffentliche Fördergeber im Bereich Elektromobilität. Die Fördermittel werden in drei Schwerpunkten vergeben: Energiespeicher, Leistungselektronik sowie Fahrzeugsimulation und Test. Wie in Abb. 5-25 dargestellt, fließen über die Hälfte der Fördermittel in die Forschung und Entwicklung zu Energiespeichern für Elektrofahrzeuge. In der „EV Everywhere Grand Challenge“ wurde das Ziel gesetzt, bis 2022 die Kosten um ca. 75 % auf 125 USD/kWh (110 Euro/kWh) zu senken und die Energiedichte auf 400 Wh/l zu erhöhen. Ein zweiter Förderschwerpunkt ist die Leistungselektronik. Auch für 2015 ist mit 135 Mio. USD (ca. 118 Mio. Euro) ein hohes Budget für die Forschung und Entwicklung im Bereich Energiespeicher und Elektroantrieb vorgesehen (vgl. Regionalstudie USA). Der dritte Förderschwerpunkt Fahrzeugsimulation und Test hat seit 2008 an Bedeutung gewonnen. Auch 2015 soll dieser Bereich mit ca. 40 Mio. USD (ca. 35 Mio. Euro) gefördert werden. Als weiterer Forschungsschwerpunkt, der indirekt zur Weiterentwicklung der Elektrofahrzeuge beiträgt, werden im Bereich Leichtbau durch das „Vehicle Technology Program“ Fördermittel von ca. 40 Mio. USD (35 Mio. Euro) pro Jahr für FuE bereitgestellt.

Jüngst wurden weitere 55 Mio. USD (48 Mio. Euro) des DOE für 31 Forschungsprojekte u.a. in den Bereichen „Beyond Lithium-Ion Technologies, Integrated Computational Materials Engineering (ICME) Development of Carbon Fiber Composites for Lightweight Vehicles sowie Development of Lowcost, High Strength Automotive Aluminum Sheet“ in Aussicht gestellt (Green Car Congress 2014).

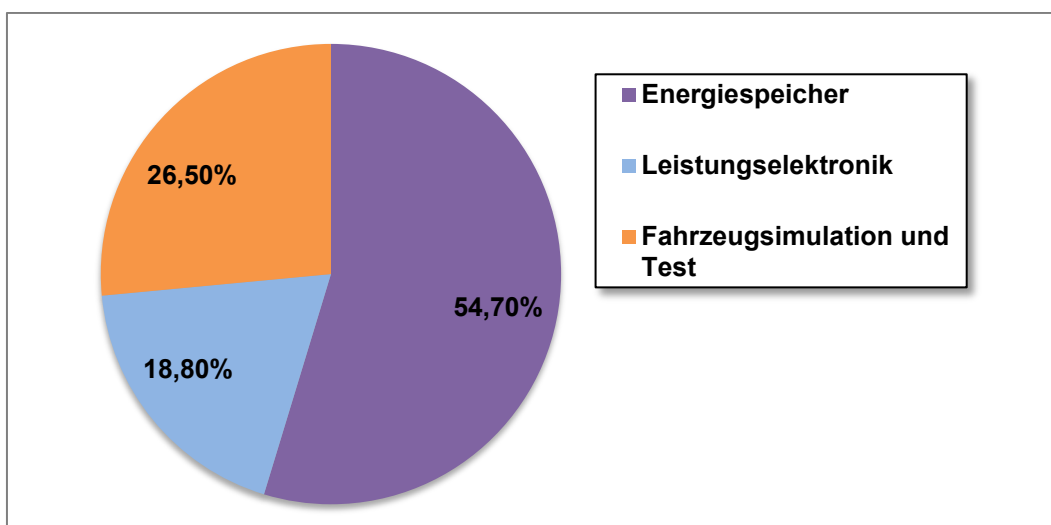


Abb. 5-26 Verteilung der Forschungsfördermittel den USA (laut DOE)

Quelle: eigene Darstellung (nach STROM Regionalstudien USA)

In der FuE-Förderung Japans dominiert mit über 50 % der Fördermittel deutlich die Weiterentwicklung der Energiespeicher (Abb. 5-27). Zum einen wird die Weiterentwicklung bestehender Batterietechnologien (insbesondere Lithium-Ionen-Batterien) gefördert, zum anderen die Entwicklung neuer Batteriematerialien. Diese Förderschwerpunkte wurden auch im Rahmen der „Next Generation Vehicle Strategy“ in einer Batteriestrategie definiert. Ähnlich wie die USA hat sich Japan in dieser Strategie hohe Ziele zur Weiterentwicklung der Batterietechnologie gesetzt. Die Weiterentwicklung der bestehenden Batterietechnologie soll bis 2015 zu einer signifikanten Kostensenkung (auf 1/7 der Kosten) und Leistungserhöhung führen. Sogenannte „revolutionary batteries“, basierend auf neuen Materialien, sollen bis 2030 entwickelt werden und eine siebenfach höhere Leistungsfähigkeit aufweisen (METI 2010). Die Kyoto Universität leitet zur Zeit das zentrale Förderprojekt in diesem Bereich und testet verschiedene Materialien wie Zink-Luft Batteriekonzepte. Neben der Batterieforschung wird im Rahmen der Grundlagenforschung und Produktentwicklung insbesondere zu Leistungselektronik, Thermomanagement und Leichtbau gearbeitet. Im Bereich der Leistungselektronik werden beispielsweise Siliziumkarbid und Galliumnitrid als Halbleitermaterialien getestet. Im Rahmen der Teilstrategie zu Ressourcen im Rahmen der „Next Generation Vehicle Strategy“ wurden auch die Bereiche Batterierecycling und Reduktion bzw. Substitution von Seltenen Erden als Forschungsschwerpunkt definiert. Derzeit findet in diesen Bereichen in Japan jedoch vergleichsweise wenig Forschung statt.

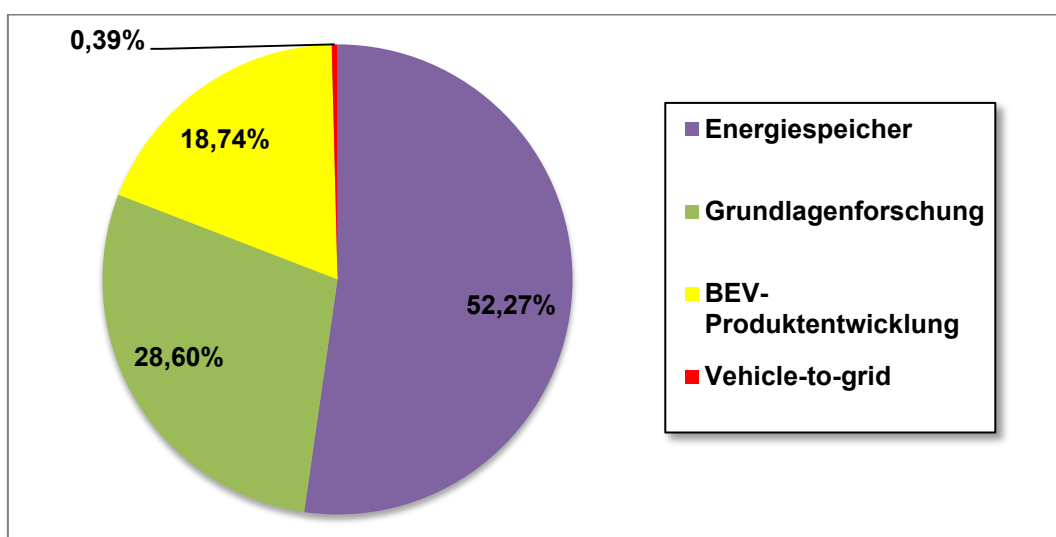


Abb. 5-27 Verteilung der Forschungsfördermittel in Japan (laut METI, MLIT, NEDO. MEXT-Daten nicht beinhaltet)

Quelle: eigene Darstellung (nach STROM Regionalstudie Japan)

Indien befindet sich derzeit erst im Status des Aufbaus einer entsprechenden Förderlandschaft für Elektromobilität. Im NEMMP 2020 wird von der Regierung eine Strategie für die Forschung und Entwicklung im Bereich Elektromobilität vorgeschlagen. In den folgenden Forschungsfeldern (gelistet in abnehmender Priorität) soll verstärkt geforscht werden: 1) Batteriezellen 2) Batteriemanagementsysteme, 3) Leistungselektronik, 4) Getriebesystem für Hybride. Neben diesen prioritären Forschungsfeldern soll in den Bereichen Leichtbau, Leichtlaufreifen und Downsizing geforscht und entwickelt werden. Der Gesamtinvestitionsbedarf wird auf 16 bis 18 Mrd. INR (192 – 216 Mio. Euro) innerhalb der nächsten

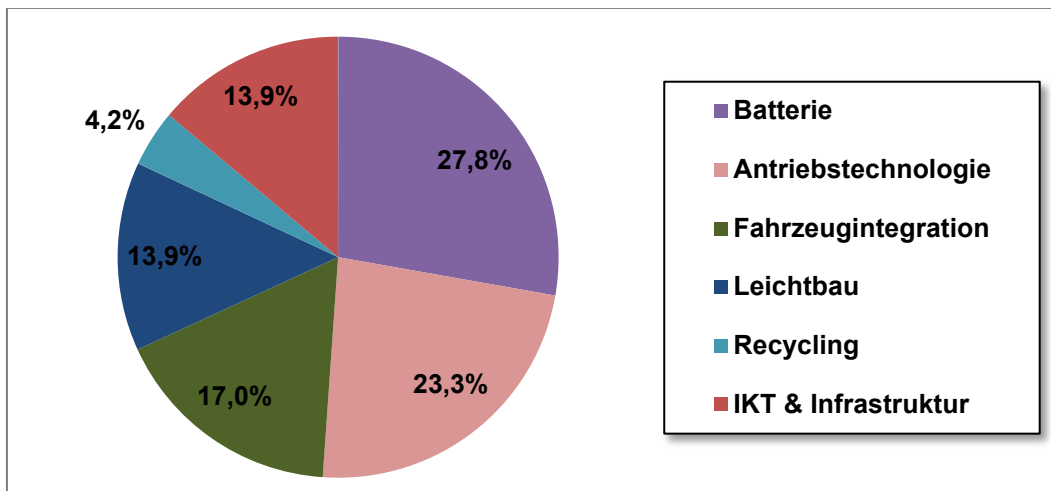
fünf Jahre geschätzt. Hiervon soll die Regierung laut NEMMP 9,3 Mrd. INR (111,6 Mio. Euro) für FuE-Zwecke beisteuern.

Forschungsfelder	Zweiräder	Pkw	Busse
Unterstützung von Batteriezellen-Allianzen, Technologieerwerb	2 Mrd. INR (24 Mio. EUR)	2 Mrd. INR (24 Mio. EUR)	2 Mrd. INR (24 Mio. EUR)
Entwicklung von Elektromotoren	0,5 Mrd. INR (6 Mio. EUR)	0,5 Mrd. INR (6 Mio. EUR)	0,5 Mrd. INR (6 Mio. EUR)
Komponentenvalidierung; Testeinrichtungen	0,5 Mrd. INR (6 Mio. EUR)	0,5 Mrd. INR (6 Mio. EUR)	0,8 Mrd. INR (9,6 Mio. EUR)
Gesamtinvestitionsbedarf: 16-18 Mrd. INR (192-216 Mio. EUR)			

**Tab. 5-22** Verteilung der nötigen Investitionssummen auf die verschiedenen Forschungsfelder

Quelle: eigene Darstellung nach NEMMP 2020

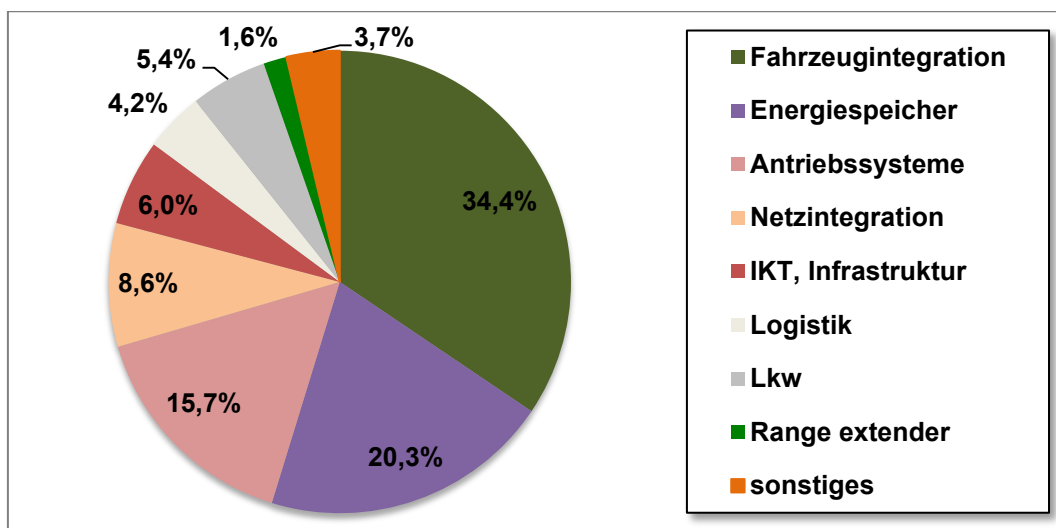
In Deutschland wurden im Regierungsprogramm Elektromobilität sechs Themenfelder als Forschungsschwerpunkte bzw. Leuchttürme definiert (vgl. 5.2.1), die insgesamt mit einer Milliarde Euro gefördert werden sollen. Die Verteilung der Projektbudgets auf die einzelnen Forschungsbereiche ist in Abbildung 5-25 auf Basis des Dritten Fortschrittsberichts der NPE dargestellt. Ähnlich wie in den USA und Japan liegt auch in Deutschland ein Schwerpunkt auf der Energiespeicherforschung. Antriebstechnologie (inklusive Leistungselektronik) ist ein weiterer deutlicher Schwerpunkt der FuE-Förderung. Wie auch in Japan wurde Recycling als Forschungsschwerpunkt definiert, hat jedoch zur Zeit ein vergleichsweise geringes Budget.



**Abb. 5-28** Verteilung der Forschungsbudgets in Deutschland in den Leuchttürmen der NPE

Quelle: eigene Darstellung (nach STROM Regionalstudie Deutschland) nach NPE 2013

Auf EU-Ebene findet die Förderung von FuE im Bereich Elektromobilität insbesondere im Rahmen der „Green Cars Initiative“ statt (vgl. 5.2.2). Auch auf europäischer Ebene zählen Energiespeicher zu den wichtigsten Forschungsbereichen. Die meiste Förderung fließt jedoch in den Bereich Fahrzeugintegration, welcher hier Klimatisierung, Leichtbau, Recycling, Leistungselektronik und Optimierung von existierenden Komponenten umfasst.



**Abb. 5-29** Verteilung der Forschungsfördermittel der Europäischen Kommission im Rahmen der European Green Cars Initiative

Quelle: eigene Darstellung (nach STROM Regionalstudie Europa). European Green Cars Initiative (EGCI) (65 von 109 Projekten zu Elektrifizierung)

### Demonstrationsprojekte im internationalen Vergleich

Demonstrationsprojekte werden in verschiedenen Ländern genutzt, um die Anwendung von Elektrofahrzeugen zu testen und Nutzer mit der Elektromobilität vertraut zu machen. Insbesondere China mit dem „10/25 Cities – 1 000/25 000 Vehicles“ Programm (vgl. 5.2.5), Japan mit dem „EV/PHEV Towns Concept“ (vgl. 5.2.4) und Deutschland mit den „Modellregionen“ und „Schaufenstern Elektromobilität“ (vgl. 5.2.1) setzen das Instrument gezielt ein, um Elektromobilität zu fördern. Das britische Programm „Ultra Low Carbon Vehicle Demonstrators“ hat einen wesentlich geringeren Umfang. Den Pilotprojekten ist gemein, dass sie meist in Zusammenarbeit zwischen öffentlicher Hand, Industrie, Serviceunternehmen und Forschungseinrichtungen durchgeführt werden.

Das deutsche Demonstrationsprogramm „Schaufenster Elektromobilität“ hat die Erprobung und begleitende Untersuchung von Elektrofahrzeugen im Realbetrieb zum Ziel. Die Alltagstauglichkeit der Fahrzeuge, Infrastrukturtechnologien und Rahmenbedingungen soll in den Schaufenstern erprobt werden und der Nutzen von Elektromobilität soll sichtbar und erfahrbar gemacht werden (BMW I et al. 2011). Das Schaufensterprogramm beinhaltet neben der Demonstration auch Aspekte der Forschung und Entwicklung.

Das japanische „EV/PHEV Towns Concept“ ist vergleichbar mit den Modellregionen und Schaufenstern Elektromobilität in Deutschland. 18 Präfekturen nehmen an dem Programm zur Schaffung von erster Nachfrage sowie zur Entwicklung der Infrastruktur teil. Auch Bildung und die Sensibilisierung der Öffentlichkeit ebenso wie die Evaluierung der Entwicklungen im Bereich Elektromobilität zählen zu den Motiven des Aufbaus der EV/PHEV Towns. Ein weiteres Entwicklungsziel ist der forcierte Aufbau von Ladeinfrastruktur. Die Präfekturen setzen dabei die verschiedenen Initiativen um, wie z.B. den Einsatz von Elektrofahrzeugen als Dienstwagen, Mietwagen, Taxis oder Bussen. Dementsprechend werden spezifische Subventionen zur Verfügung gestellt. Lokalregierungen tragen mithilfe von Ausstellungen, Testfahr-Events, der Verbreitung von Informationen über Websites usw.



aktiv zur Sensibilisierung der Öffentlichkeit bei. Das „EV/PHEV Town Concept“ hat somit einen klaren Fokus auf die Erzeugung von Nachfrage nach Elektrofahrzeugen sowie auf Erhöhung der Bekanntheit und Schaffung von Bewusstsein. Ein explizites Forschungsinteresse wie beispielsweise in den deutschen Schaufensterregionen besteht kaum.

Die Volksrepublik China konzentriert sich bei der Förderung von Elektromobilität auf Demonstrationsprogramme mit Fahrzeugflotten, was sich auch in dem Demonstrationsprogramm „10/25 Cities – 1 000/ 25 000 Vehicles“ niederschlägt. Die beteiligten Städte sollen jeweils 1 000 „New Energy Vehicles“ als Pilotvorhaben in Busflotten, Taxiflotten, Postflotten oder Flotten der Stadtverwaltung einsetzen. Wenn auch andere Technologien hier adressiert sind, liegt ein deutlicher Schwerpunkt der Aktivitäten auf Elektrofahrzeugen. Nur sechs der 25 Städte des chinesischen Demonstrationsprogramms adressieren private Nutzer. Im Rahmen der Demonstrationsprojekte werden die eingesetzten Fahrzeuge subventioniert. Die genaue Ausgestaltung der Demonstrationsvorhaben obliegt den einzelnen Städten. Beispielsweise kooperieren einige Städte stark mit regional ansässigen Fahrzeugherstellern und fördern Industrieallianzen und Erfahrungsaustausch.

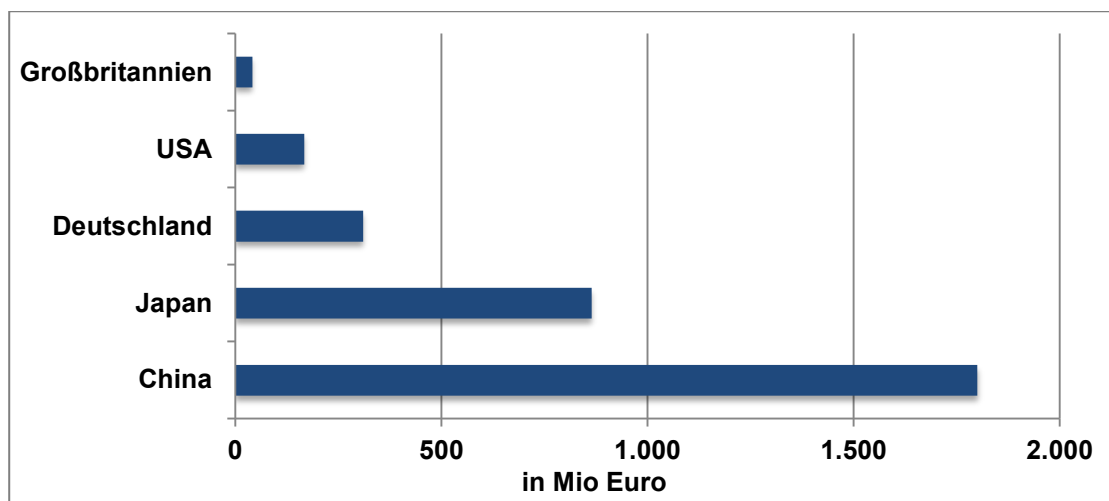
Ähnlich wie in einigen der deutschen Schaufensterprojekte hat Großbritannien in seinem „Low Carbon Vehicle Demonstrator Programme“ den Einsatz von Elektrofahrzeugen im Alltagsbetrieb erprobt und begleitet um Erkenntnisse zur Alltagstauglichkeit und dem Nutzerverhalten zu erlangen.

Im Rahmen des „EV Project“ in den USA wurden in neuen Regionen in den USA gezielt Ladeinfrastruktur aufgebaut und BEV sowie PHEV eingesetzt, um den Prozess des Infrastrukturaufbaus, das Nutzerverhalten und Einflüsse auf das Stromnetz zu untersuchen sowie eine Basis für regulatorische Rahmenbedingungen und Standards zu schaffen (vgl. Regionalstudie USA).

In Abb. 5-30 sind die Förderbudgets zentraler Demonstrationsprojekte in der öffentlichen Förderung in verschiedenen Ländern gegenübergestellt.

China und Japan weisen hier die höchsten Fördermittel aus. Es ist zu beachten, dass in den Budgets der öffentlich geförderten Demonstrationsprogramme auch die in diesen Programmen verankerten Kaufsubventionen für Fahrzeuge enthalten sind. In China stehen die nationalen Kaufsubventionen für Elektrofahrzeuge nur in den Städten des „10/25 Cities – 1000 Vehicles“ Programms zur Verfügung. Dadurch erreicht China eine Spitzenposition in der öffentlichen finanziellen Förderung von Demonstrationsaktivitäten.

Auch Japan investiert deutlich in sein zentrales Demonstrationsprojekt „EV/PHEV Town“. Deutschland und insbesondere Großbritannien investieren in diesem Benchmark im Vergleich zu China und Japan geringere Beträge. In den verschiedenen Staaten existieren darüber hinaus auch z.T. lokal geförderte Demonstrationsprojekte.



**Abb. 5-30 Gesamtförderbudget zentraler Demonstrationsprojekte in der öffentlichen Förderung im Vergleich**

Quelle: eigene Darstellung (nach STROM Regionalstudien)

Land	Programm	Förderbudget
China	10/25 Cities – 1 000 Vehicles (Start 2009)	1,8 Mrd. Euro (geplant 2009-2011)
Japan	EV/ PHEV Towns Concept (2009-2014)	864 Mio. Euro (nur Infrastrukturausgaben)
Deutschland	Modellregionen Elektromobilität Phase I (2009-2011)	130 Mio. Euro
	Schaufenster Elektromobilität (2012-2016)	180 Mio. Euro
USA	DOE EV Project	167 Mio. Euro
GB	Ultra Low Carbon Vehicle Demonstrators (Start 2009)	31 Mio. Euro

**Tab. 5-23 Gesamtförderbudget zentraler Demonstrationsprojekte in der öffentlichen Förderung im Vergleich**

Quelle: eigene Darstellung (nach STROM Regionalstudien)

### Aufbau von Forschungskapazitäten und Strukturen in Indien und China

Wie in den Regionalstudien (siehe Anlage zu diesem Bericht) dargestellt, sehen verschiedene Experten noch einen erheblichen Rückstand Indiens und Chinas in der Entwicklung von Elektrofahrzeugen und in der Komponentenforschung. China beabsichtigt mittels Allianzen, Lizenzvergaben, Akquisitionen und Joint Ventures die Entwicklung von FuE-Kapazitäten voranzutreiben. Von strategischen Joint Ventures und Technologiekooperationen mit ausländischen OEM verspricht sich China Innovationssprünge. Indien beabsichtigt, gezielt FuE Kapazitäten aufzubauen und diese in „Exzellenzzentren“ zu den Themenfeldern „Batterien und Ladeinfrastruktur“ „Motoren und Leistungselektronik“ sowie „Systemintegration“ zu bündeln. Dabei soll eine anwendungsorientierte Strategie verfolgt werden. Das bedeutet, dass bestehende Technologien an die speziellen Erfordernisse beispielsweise hinsichtlich klimatischer Bedingungen auf dem indischen Subkontinent angepasst werden sollen. Im Bereich der Batterieforschung bedeutet dies, dass bewährte Materialien wie Lithium-Ionen-Batterien

eingesetzt und hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit unter indischen Klimabedingungen verbessert werden sollen. In der Grundlagenforschung sehen die Experten Indien auch mittelfristig nicht konkurrenzfähig.

### 5.3.3 Wirtschaft und Industrie

*J. Tenbergen (WI), H. Hüging (WI)*

Wie in Kapitel 5.3.1 dargestellt, sind die Gründe zur Förderung und Implementierung der Elektromobilität vielfältig und reichen in den untersuchten Ländern von überwiegend wirtschaftlichen zu ökologischen Interessen der einzelnen Länder. Deutschland, die USA und Japan haben mit ihrer ausgeprägten heimischen Automobilindustrie ein besonderes Interesse, auch auf dem Gebiet der Elektromobilität konkurrenzfähig zu bleiben. China als derzeit größter Pkw-Produzent (Abb. 5-31) sieht durch die Elektromobilität ebenfalls eine Möglichkeit, die heimische Automobilindustrie zu stärken.

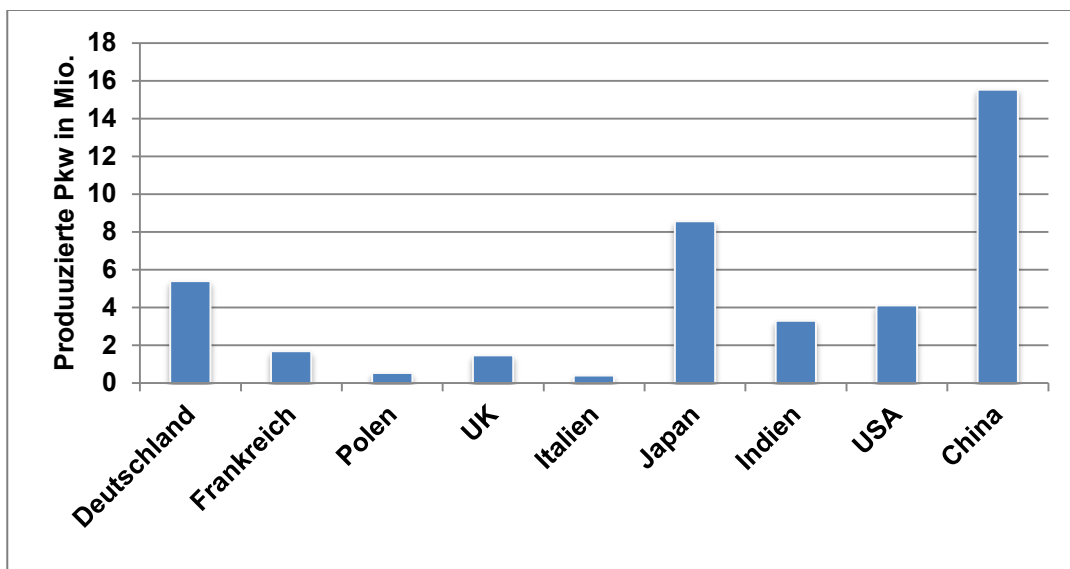


Abb. 5-31 Anzahl produzierter Pkw in 2012 in den Untersuchungsregionen

Quelle: (OICA 2012)

Die Automobilindustrie in China konnte in den letzten Jahren ein sehr starkes Wachstum verzeichnen, wobei sich bei der Betrachtung des technologischen Stands elektrischer Fahrzeuge ein deutliches Defizit gegenüber westlichen, japanischen und anderen globalen Wettbewerbern abzeichnet. Auch in Indien ist die Automobilindustrie ein wichtiger Wirtschaftszweig, obwohl erwartet wird, dass die Dominanz von Zweirädern auch in Zukunft weiter bestehen bleibt. In Europa hat die Automobilindustrie dagegen eine sehr unterschiedliche Bedeutung in den einzelnen Ländern. Während Deutschland, Frankreich und Italien eine lange Tradition in der Automobilproduktion haben, findet in Norwegen keine eigene Automobilproduktion statt. In Deutschland ist die Automobilindustrie gemessen an ihrem Umsatz von 360 Mrd. Euro der mit Abstand wichtigste Industriezweig. Auch in den USA gehört die Automobilindustrie zu den dominierenden Wirtschaftssektoren.

## Fahrzeugkonzepte

Wie bereits in Kapitel 4.1 dargestellt, lassen sich auf dem derzeitigen Neuwagenmarkt eine Vielzahl unterschiedlicher Fahrzeugkonzepte mit elektrifizierten Antriebssträngen finden. Dabei zeigt sich die deutliche Zunahme der Aktivitäten zu allen elektrifizierten Fahrzeugkonzepten seit 2006 (vgl.4.1). Nachdem viele Fahrzeughersteller erste Serienmodelle auf den Markt gebracht haben, flachen die Aktivitäten seit 2011 leicht ab. Die folgende Abb. 5-32 zeigt die deutliche Zunahme der zwischen 2006 und 2013 vorgestellten PEV-Serienfahrzeuge nach Herkunftsland des Herstellers. Insgesamt wurden in diesem Zeitraum 87 neue Modelle (Serienfahrzeuge) vorgestellt. Ab dem Jahr 2008 ist in allen Ländern ein deutlicher Zuwachs zu verzeichnen. Experten sehen in der Vielfalt von Modellen und Aktivitäten verschiedener Hersteller wichtige Faktoren für die Marktentwicklung – zum einen, um potentielle Nutzer ein breites Angebot verschiedener Fahrzeuge zu bieten und zum anderen, um deutlich zu machen, dass es sich hierbei nicht um eine Strategie einzelner Hersteller handelt. US-amerikanische, deutsche und chinesische OEMs tragen hierbei wesentlich zur Modellvielfalt bei.

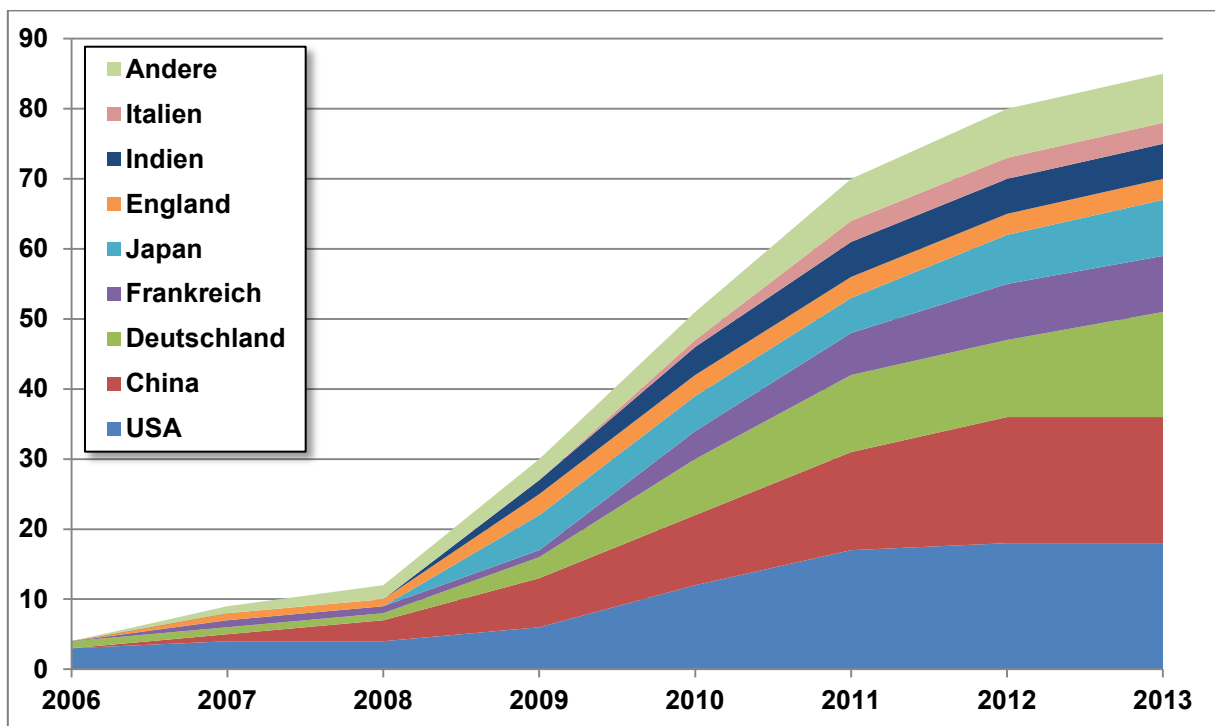


Abb. 5-32 PEV-Serienmodelle nach Herstellerländern die zwischen 2006 und 2013 vorgestellt wurden (kumulativ)

Quelle: eigene Darstellung nach STROM-Fahrzeugdatenbank des DLR

Abb. 5-33 stellt die Anzahl der Konzeptfahrzeuge, Prototypen und der angekündigten sowie eingeführten Serienmodelle nach Herstellern und Elektrifizierungsgrad dar. Deutlich werden hier die unterschiedlichen Strategien der Automobilhersteller zur Elektrifizierung des Antriebs. Beispielsweise setzt der japanische Automobilhersteller Toyota bei der Elektrifizierung des Fahrzeugsantriebs hauptsächlich auf das Konzept des Voll-Hybrids, was bedeutet, dass das Fahrzeug über kurze Strecken rein elektrisch betrieben werden kann. Auffällig ist, dass der französische Hersteller Renault und der japanische Hersteller Lexus ihre Elektrifizie-

rungsstrategien bislang jeweils ausschließlich auf eine Form des Antriebs fokussieren (Renault: BEV, Lexus: Voll-Hybrid). Dagegen setzten die übrigen Automobilhersteller auf ein breiteres Portfolio des elektrischen Antriebs. Die Antriebsform des Range-Extenders wird derzeit (Stand April 2014) nur von knapp einem Drittel der aufgeführten Automobilhersteller in ihren Fahrzeugen entwickelt bzw. eingesetzt.

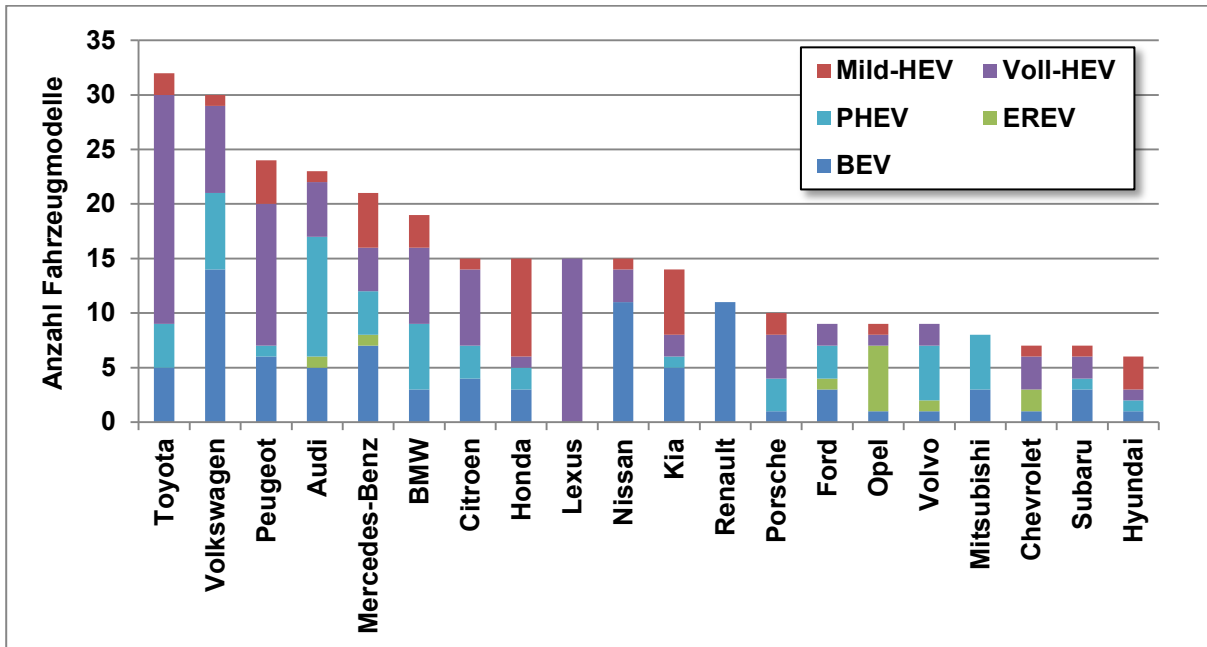


Abb. 5-33 Anzahl der Konzeptfahrzeuge, Prototypen und der angekündigten und eingeführten elektrischen Fahrzeuge nach Herstellern und Elektrifizierungsgrad, Stand April 2014

Quelle: STROM-Fahrzeugdatenbank des DLR (siehe Abschnitt 4.1.3)

Neben den unterschiedlichen Antriebskonzepten setzten die Automobilkonzerne bei der Entwicklung der Elektrofahrzeuge zum Teil auf unterschiedliche Konzepte bei der Neuentwicklung (Purpose Design) bzw. Anpassung ihrer Fahrzeugmodelle (Conversion Design) (Abb. 5-34). Dabei stellt der Conversion Design-Ansatz insbesondere für die etablierten Hersteller eine kostengünstige Möglichkeit dar, die bestehenden Strukturen verbrennungsmotorisch angetriebener Serienfahrzeuge hinsichtlich des elektrischen Antriebsstranges zu modifizieren. Beispielhaft genannt werden können hier die Hersteller Volkswagen (e-Golf) oder auch Daimler (Smart fortwo electric drive). Dagegen folgt BMW mit dem BMW i3 dem Ansatz des Purpose Designs.

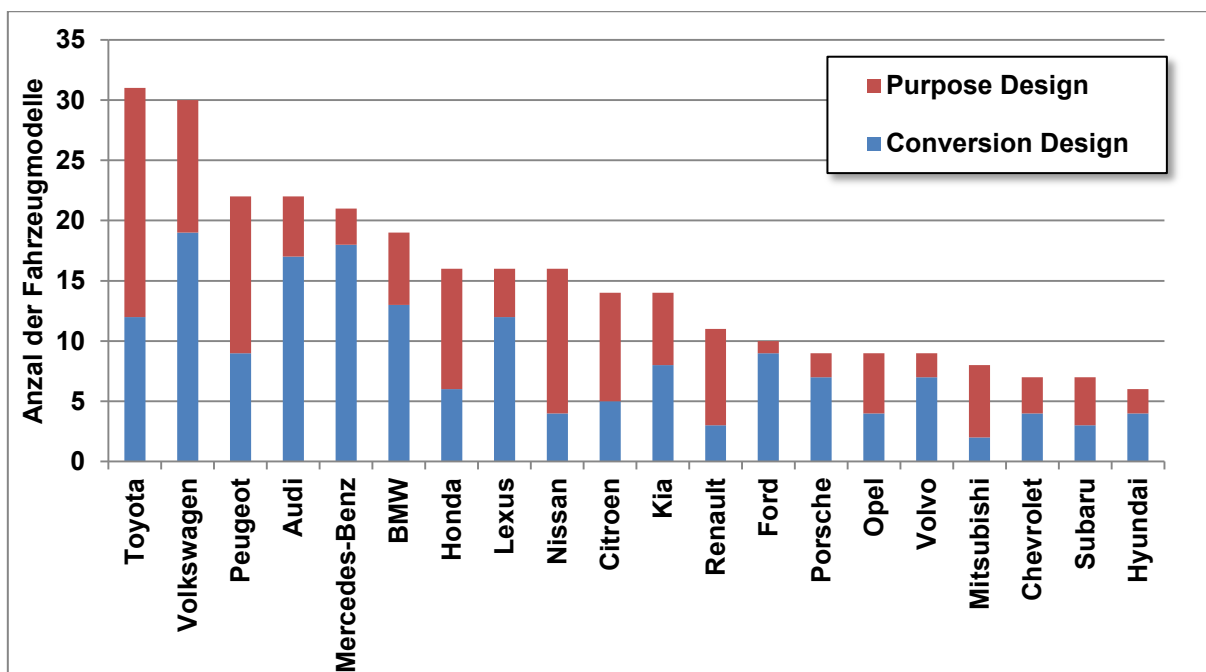


Abb. 5-34 Anzahl der Konzeptfahrzeuge, Prototypen und der angekündigten sowie eingeführten elektrischen Fahrzeuge nach Herstellern und Designansatz

Quelle: STROM-Fahrzeugdatenbank des DLR (siehe Abschnitt 4.1.3)

### Produktion elektrifizierter Pkw

Die Produktion elektrischer Pkw in den untersuchten Weltregionen stellt sich sehr unterschiedlich dar. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die Produktionszahlen der verschiedenen elektrisch angetriebenen Fahrzeuge in den ausgewählten Ländern Japan und Deutschland. In Japan ist die Produktion von BEV zwischen 2009 und 2011 von rund 1 700 Fahrzeugen auf 42 000 Fahrzeugen stark gestiegen (Abb. 5-35). Dies ist auf die internationale Einführung mehrerer BEV-Modelle in dieser Zeit, vor allem dem Mitsubishi i-MiEV im Jahr 2009, dem Nissan Leaf 2010 und dem Minicab MiEV im Jahr 2011, zurückzuführen. 2012 ging die BEV-Produktion in Japan gegenüber dem Vorjahr mit ca. 30 000 Fahrzeugen leicht zurück. Dafür stieg die Produktion von PHEV zwischen 2011 und 2012 deutlich von ca. 8 000 PHEV auf 35 000 PHEV. Nach einigen BEV-Modellen wurden seit 2012 vermehrt PHEV-Modelle auf den Markt gebracht. So wurden beispielsweise mit dem Toyota Prius Plug-in Hybrid und dem Mitsubishi Outlander PHEV verstärkt Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge in Produktion gebracht. Auch im Bereich der HEV ist Japan ein wichtiger Fertigungsstandort und konnte die Produktion im Zeitraum von 2009 bis 2013 von ca. 800 000 auf 1,2 Mio. Fahrzeuge steigern.

Deutschland spielt im Vergleich eine wesentlich geringere Rolle. Mit ca. 20 000 produzierten elektrifizierten Fahrzeugen (BEV/PHEV/HEV) im Jahr 2012 liegt Deutschland deutlich hinter den 1,3 Mio. in Japan produzierten elektrifizierten Fahrzeugen zurück. 2013 wurden in Deutschland nur ca. 3 000 BEV gefertigt. Dies liegt unter anderem darin begründet, dass Fahrzeuge deutscher Hersteller zum Teil im Ausland produziert werden – wie beispielsweise der smart fortwo electric drive in Frankreich und der Opel Ampera in den USA.

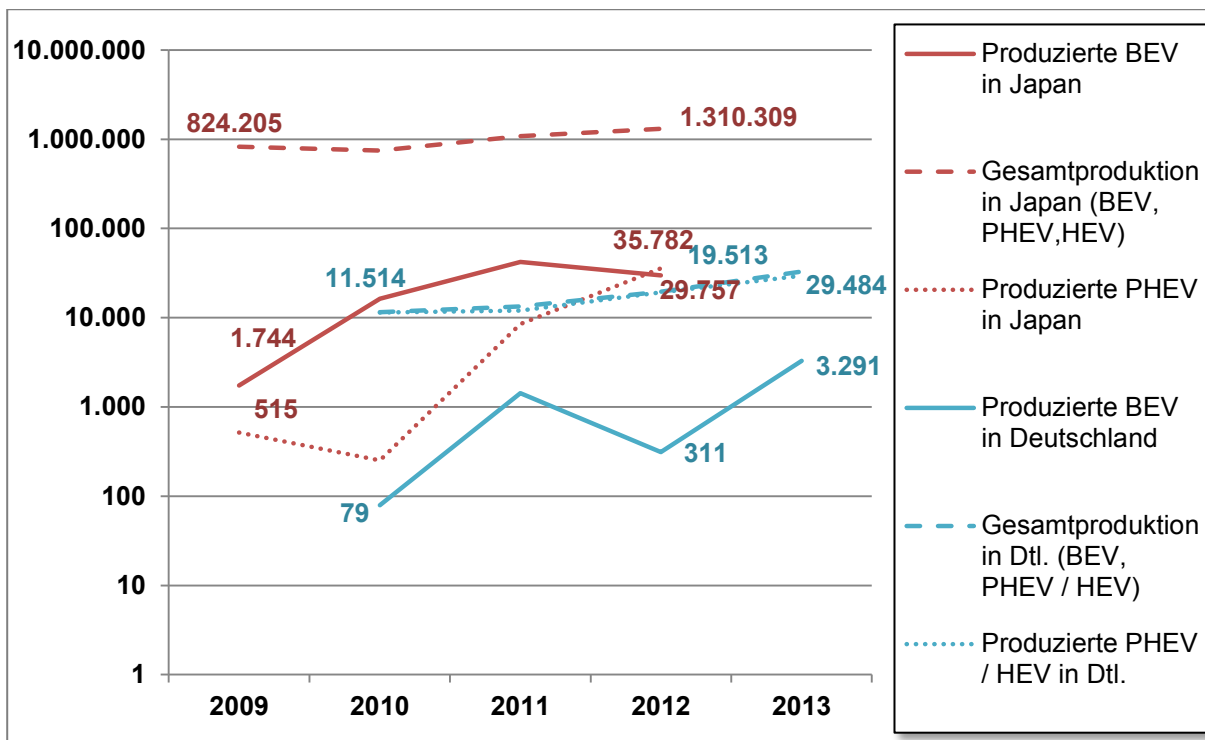


Abb. 5-35 Jährliche Produktion von elektrischen Pkw in Japan und Deutschland

Quelle: eigene Darstellung nach Regionalstudien, Daten NEV (2013) (Japan) und VDA 2014 (Deutschland)

Chinesische Hersteller haben bis 2014 noch kein heimisches EV-Modell auf den internationalen Markt gebracht. Dennoch produziert China Elektrofahrzeuge für den nationalen Markt. (Abb. 5-41). Dagegen sind in Indien trotz der zahlreichen Hersteller, unter denen auch nahezu alle großen globalen OEMs vertreten sind, nur sehr wenige Akteure im Bereich elektrifizierter Pkw aktiv: Mahindra REVA ist Indiens einziger Hersteller, der BEV produziert. In den USA produzieren viele große Automobilhersteller bereits PEVs oder planen dies zu tun. Dabei sind insbesondere die etablierten Hersteller in einer guten Position, um den Übergang zu PEVs zu ermöglichen, da sie bestehende Produktionsmaßstäbe, Markenbekanntheit, Supply-Chain-Beziehungen sowie Kundendienstkanäle nutzen können und über ausreichendes Kapital verfügen. In Europa gestaltet sich die Produktion von elektrischen Fahrzeugen in den einzelnen Ländern sehr unterschiedlich. Beispielsweise bietet die französische Automobilindustrie seit 2011 BEVs zum Verkauf an, die wichtigsten Hersteller sind hier PSA Peugeot Citroën und Renault-Nissan. Diese haben sich verpflichtet, bis zum Jahr 2015 70 000 PEVs zu produzieren. In Großbritannien wird dagegen seit 2013 der japanische Nissan Leaf mit jährlich 25 000 Einheiten in einem Werk in Sunderland produziert.

Ein Vergleich der Marktanteile der Fahrzeugneuzulassungen zeigt, dass heimische Modelle in den meisten Fällen die heimischen Märkte dominieren. Im folgenden werden die Marktanteile der erfolgreichsten Modelle am PEV-Gesamtabsatz in den ausgewählten Ländern Deutschland, Frankreich, Norwegen, USA, Japan und China dargestellt.

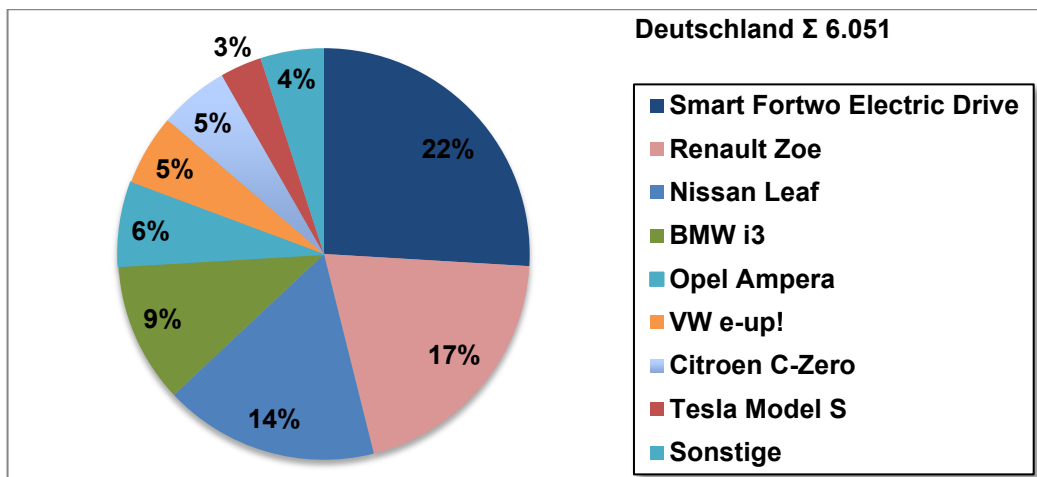


Abb. 5-36 Marktanteile der erfolgreichsten Modelle am PEV-Gesamtabsatz in Deutschland 2013

Quelle: eigene Darstellung nach (KBA 2014c)

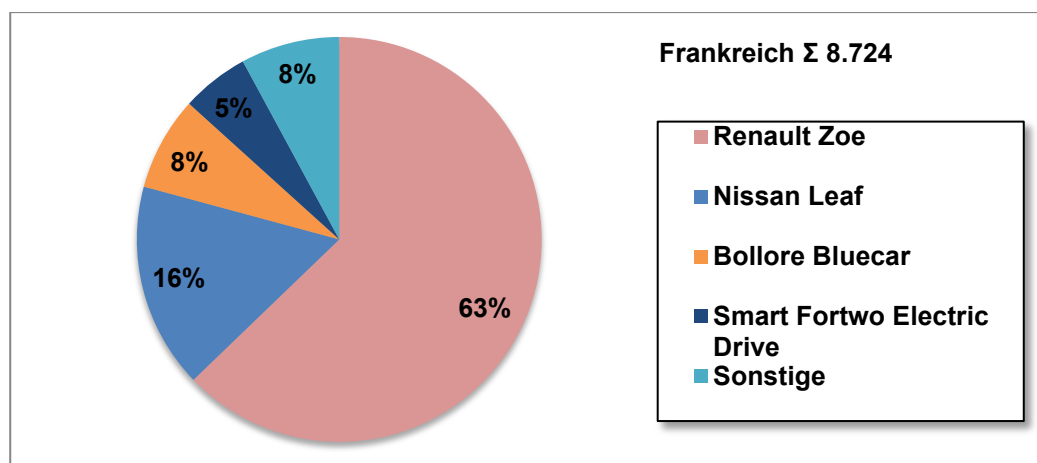


Abb. 5-37 Marktanteile der erfolgreichsten Modelle am PEV-Gesamtabsatz in Frankreich 2013

Quelle: eigene Darstellung nach (Avere-France 2014)

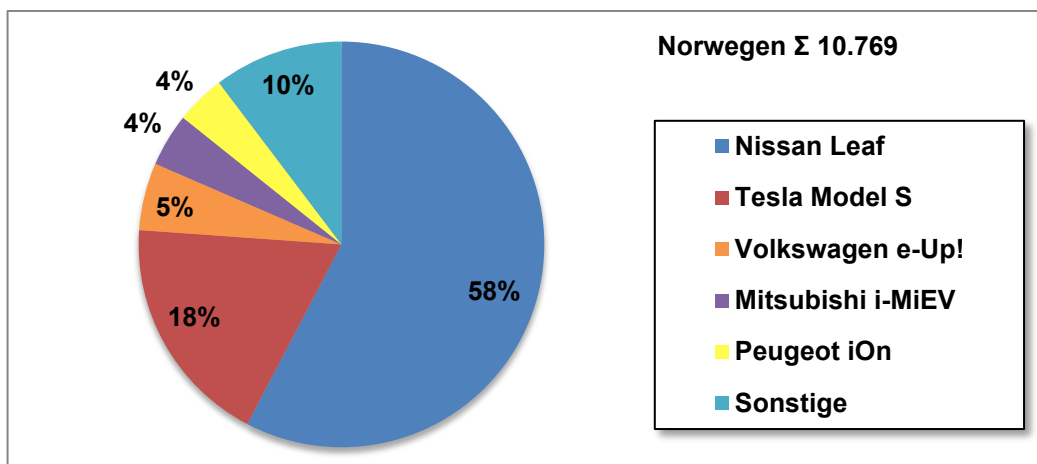


Abb. 5-38 Marktanteile der erfolgreichsten Modelle am PEV-Gesamtabsatz in Norwegen 2013

Quelle: eigene Darstellung nach (Grønn Bil 2014)



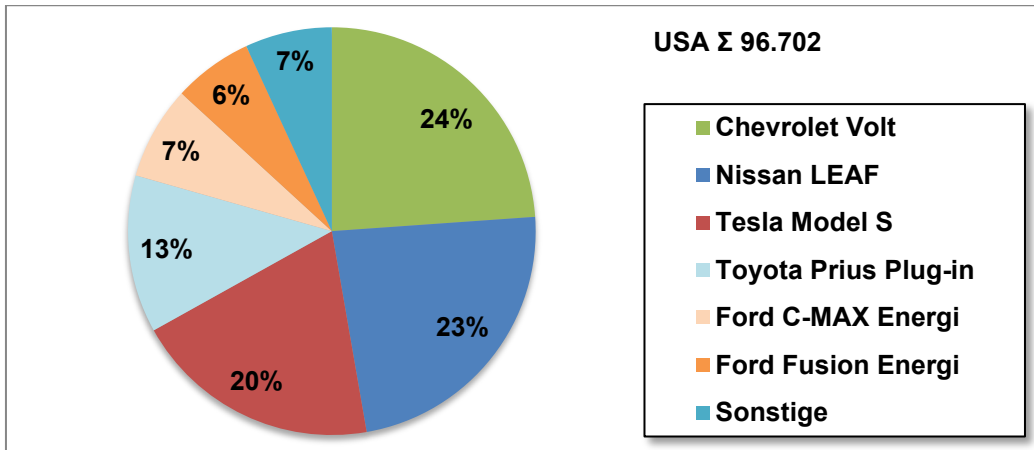


Abb. 5-39 Marktanteile der erfolgreichsten Modelle am PEV-Gesamtabsatz in den USA 2013

Quelle: eigene Darstellung nach (InsideEVs 2014)

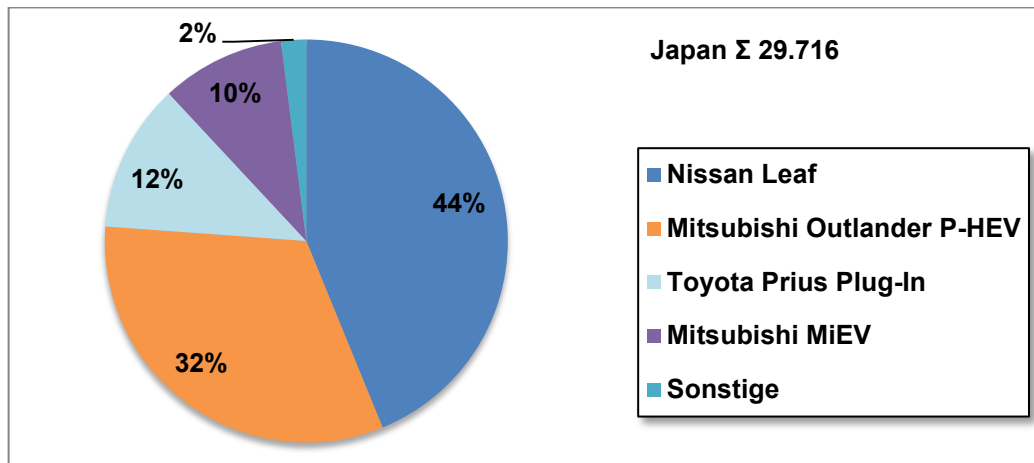


Abb. 5-40 Marktanteile der erfolgreichsten PEV-Modelle am PEV-Gesamtabsatz in Japan 2013

Quelle: eigene Darstellung nach (EV Sales 2014)

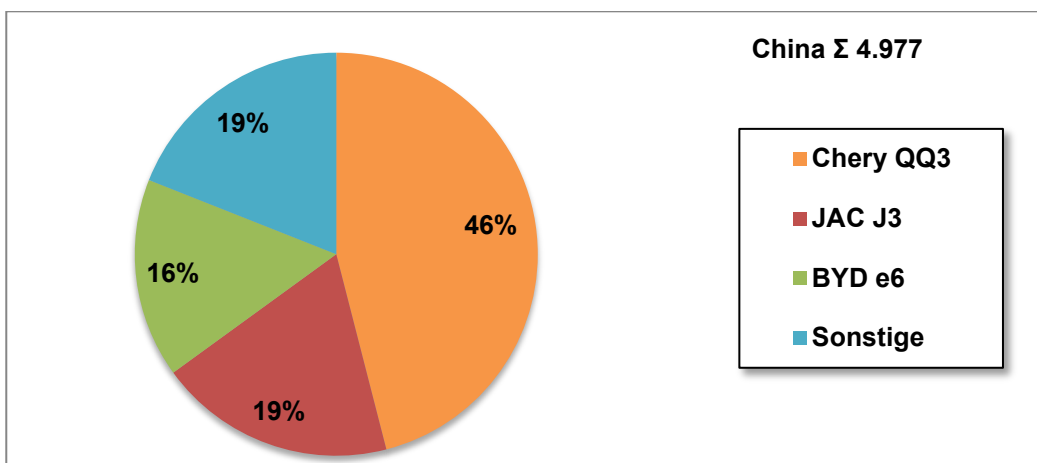


Abb. 5-41 Marktanteile der erfolgreichsten PEV-Modelle am PEV-Gesamtabsatz in China 2011

Quelle: eigene Darstellung nach (China Association of Automobile Manufacturers 2013)

## Fahrzeugtechnologie und Komponenten

In Bezug auf die Fahrzeugtechnologie und Fahrzeugkomponenten für Elektrofahrzeuge ist die chinesische Automobilindustrie noch nicht in der Lage, die hohen Produktionsanforderungen konkurrierender internationaler Automobilkonzerne zu bedienen. Daher sind für den chinesischen EV-Markt internationale Joint Ventures von Bedeutung. Auch in Japan sehen die meisten Fahrzeughersteller insbesondere in Bezug auf die Leistungselektronik die Notwendigkeit starker technischer Fortschritte. Hier bestehen zwischen OEMs und Herstellern von Komponenten jedoch vor allem im Bereich der Batterieentwicklung bereits weitreichende Kooperationen. In Indien besteht bei der Weiterentwicklung und Herstellung von EV-Komponenten die Notwendigkeit einer Anpassung an die klimatischen Bedingungen. Problematisch ist hier jedoch die geringe Nachfrage nach Elektrofahrzeugen. Zudem erwarten Experten, dass die elektrische Spannung der Elektroautos in Indien aufgrund geringerer Kosten und Sicherheitsanforderungen niedriger als in anderen Märkten sein wird.

Die europäischen Automobilhersteller verfolgen bei der Produktion von xEV-Komponenten unterschiedliche Strategien: Während einige Hersteller wie BMW und Volkswagen dazu übergegangen sind, eine eigene Produktion der wichtigsten Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs (z.B. Elektromotoren, Batteriemontage) aufzubauen, haben sich andere Hersteller dazu entschieden, diese Komponenten, meist außerhalb von Europa, zu erwerben (Proff & Kilian 2012).

Neben der Batterie ist die Ladetechnologie und -infrastruktur eine der wichtigsten Komponenten der Elektromobilität. Hierbei setzen alle untersuchten Staaten auf den verstärkten Ausbau der Stromtankstelleninfrastruktur im öffentlichen sowie im privaten Raum (vgl. Kapitel 5.3.1). Sowohl China als auch Indien setzen zudem auf die Lademethode des „battery swapping“, bei dem leere Batterien an Ladestationen gegen volle getauscht werden. Verbunden damit ist ein spezifisches Geschäftsmodell: die Kunden kaufen die Elektrofahrzeuge ohne Batterie – diese bleibt über ein Leasing-Modell im Besitz und in der Wartungsverantwortlichkeit der Hersteller oder eines Serviceunternehmens. Hinsichtlich der Standardisierung und Normierung der Ladeinfrastruktur besteht vor allem in China noch weiterer Handlungsbedarf. Chinas nationale Standards für AC und DC Charging sind derzeit nicht kompatibel mit den international standardisierten Aufladesystemen. Aber auch in den USA wird das Ladenetz von Experten hinsichtlich teilweise unzureichender Verfügbarkeit in den einzelnen Bundesstaaten, verschiedener Anbieter und Ladeprotokollen als unzuverlässig eingestuft.

Im Bereich der Geschäftsmodelle und Mobilitätskonzepte sind in einigen der untersuchten Staaten bereits verschiedene Anbieter von Car-Sharing-Konzepten aktiv. Diese sind bisher jedoch räumlich nicht weit verbreitet – der Fokus liegt weltweit auf Metropolen und Großstädten. Nur wenige Anbieter betreiben dabei reine E-Fahrzeugflotten, häufig ergänzen EVs konventionelle Flotten. Einige japanische Stadtverwaltungen gewähren Taxibetreibern einen Zuschuss zu den Anschaffungskosten von xEV-Taxis, kooperieren dabei auch mit nahegelegenen touristischen Regionen und stellen spezielle Flächen für Taxistände mit xEVs vor Bahnstationen und Kaufhäusern zur Verfügung.

### 5.3.4 Verbraucher und Marktentwicklung

H. Hüging (WI)

#### Marktentwicklung elektrischer Fahrzeuge

Die weltweiten Verkäufe von Plug-in elektrischen Fahrzeugen zeigen ein deutliches Wachstum in den letzten fünf Jahren (Abb. 5-42). Im Jahr 2009 wurden noch unter 10 000 Plug-in-Pkw verkauft. Ein besonders starkes Wachstum kann seit 2011 beobachtet werden. In den Jahren 2011 bis 2013 verdoppelte sich die Zahl der Verkäufe jeweils im Vergleich zum Vorjahr. Im Jahr 2013 wurden insgesamt 210 000 PEV verkauft (ICCT 2014), wobei BEV gegenüber PHEV mit ca. 53 % der Plug-in-Pkw-Verkäufe leicht überwiegen (EVObsession 2014).

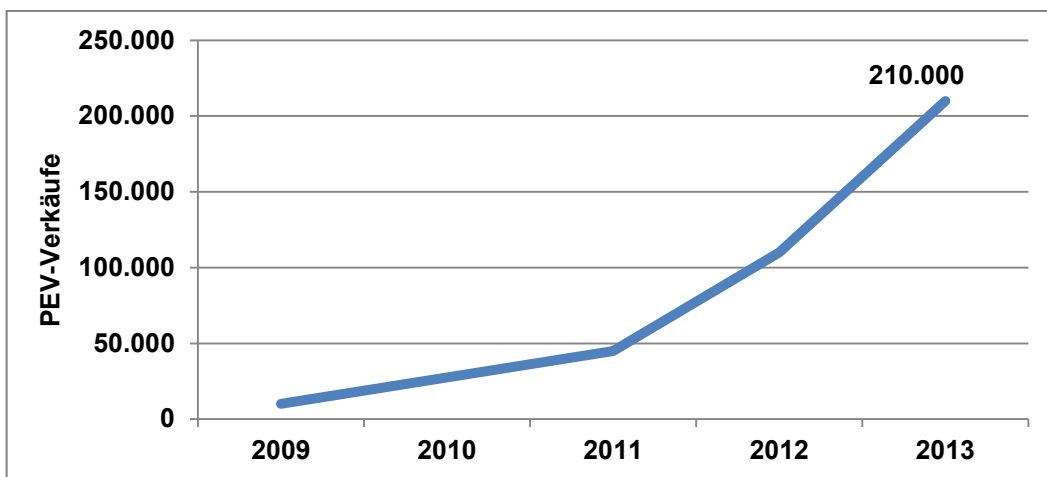


Abb. 5-42 Weltweite jährliche Verkäufe von PEV (Pkw) von 2009 bis 2013

Quelle: eigene Darstellung nach (ICCT 2014)

Mit ca. 97 000 Fahrzeugen wurde ungefähr die Hälfte der genannten 210 000 weltweit verkauften PEV-Pkw in den USA abgesetzt (Abb. 5-44). Die EU ist mit ca. 55 000 Fahrzeugen der zweitwichtigste Markt, gefolgt von Japan mit ca. 29 000 Fahrzeugen und China mit ca. 18 000 Fahrzeugen. Indien stellt mit 2,5 Millionen Neuwagenverkäufen im Jahr 2013 mittlerweile einen wichtigen Automobilmarkt dar. Vollständige Daten für den Absatz an Elektrofahrzeugen in Indien sind nicht verfügbar. Auf Basis der geringen Anzahl der auf dem indischen Markt verfügbaren PEV-Modelle und der Verkaufszahlen einzelner Modelle lässt sich jedoch ableiten, dass die Verkäufe von PEV in Indien sehr gering sind und das Land im Bereich der elektrifizierten Pkw heute noch keinen relevanten Markt darstellt (vgl. Regionalstudie Indien).

In Europa waren 2013 die Niederlande der größte Abnehmer von PEV. Daneben ist Norwegen trotz seines relativ kleinen Gesamtmarktes einer der wichtigsten Abnehmer von PEV in Europa. Deutschland hat zwar in Europa den größten Markt für Neuwagen, spielt jedoch bei den Verkäufen von PEV eine geringere Rolle als Frankreich, Norwegen und die Niederlande.

Hinsichtlich der Elektrifizierungskonzepte zeigen die USA, die EU-27 und Japan im Jahr 2013 ein nahezu ausgewogenes Verhältnis zwischen BEV und PHEV Verkäufen, während in China BEV deutlich dominieren. Norwegen und die Niederlande, die beiden führenden Län-

der in Europa, unterscheiden sich deutlich in der Rolle von Plug-in-Hybriden und rein batterieelektrischen Fahrzeugen. In Norwegen waren deutlich über 90 % der verkauften Fahrzeuge BEV, während es sich in den Niederlanden bei fast 90 % der Fahrzeuge um PHEV handelte. Die unterschiedliche Bedeutung der Fahrzeugkonzepte in den genannten Ländern lässt sich auf die jeweiligen Anreizsysteme für elektrifizierte Fahrzeuge zurückführen, die maßgeblich die Kosten der Fahrzeuge beeinflussen. Auch in China fällt der Zuschuss für BEV mit maximal 7 200 Euro deutlich größer aus als der Zuschuss für PHEV von maximal 4 200 Euro (vgl. 5.3.1). In Norwegen sind lediglich BEV völlig von der Import- und Mehrwertsteuer befreit, während PHEV mehrwertsteuerpflichtig sind und eine reduzierte Importsteuer anfällt (vgl. 5.3.1). In den Niederlanden wirken sich die CO<sub>2</sub>-basierten Steuervorteile bei größeren Fahrzeugen deutlich stärker aus. Plug-in-Hybridtechnologie, die insbesondere bei Mittelklasse- und Oberklasse-Pkw eingesetzt wird, überwiegt aus diesem Grund deutlich gegenüber den in der Kompaktklasse eingesetzten BEV (vgl. 5.3.1). Auch in Deutschland überwiegen mit ca. 80 % der Verkäufe BEV Fahrzeuge deutlich. Durch die insgesamt niedrigen finanziellen Anreize für elektrifizierte Fahrzeuge in Deutschland lässt sich vermuten, dass Unterschiede im Anreizsystem nur einen geringen Einfluss auf die Präferenz für BEV hat. BEV genießen gegenüber PHEV leichte Vorteile bei der Dienstwagenbesteuerung, welche die Batteriekapazität der Fahrzeuge berücksichtigt. Gründe für den höheren Marktanteil sind vermutlich die größere Modellvielfalt bei BEV (vgl. 5.3.3) sowie der Einsatz von BEV in geförderten Modellprojekten und im Carsharing.

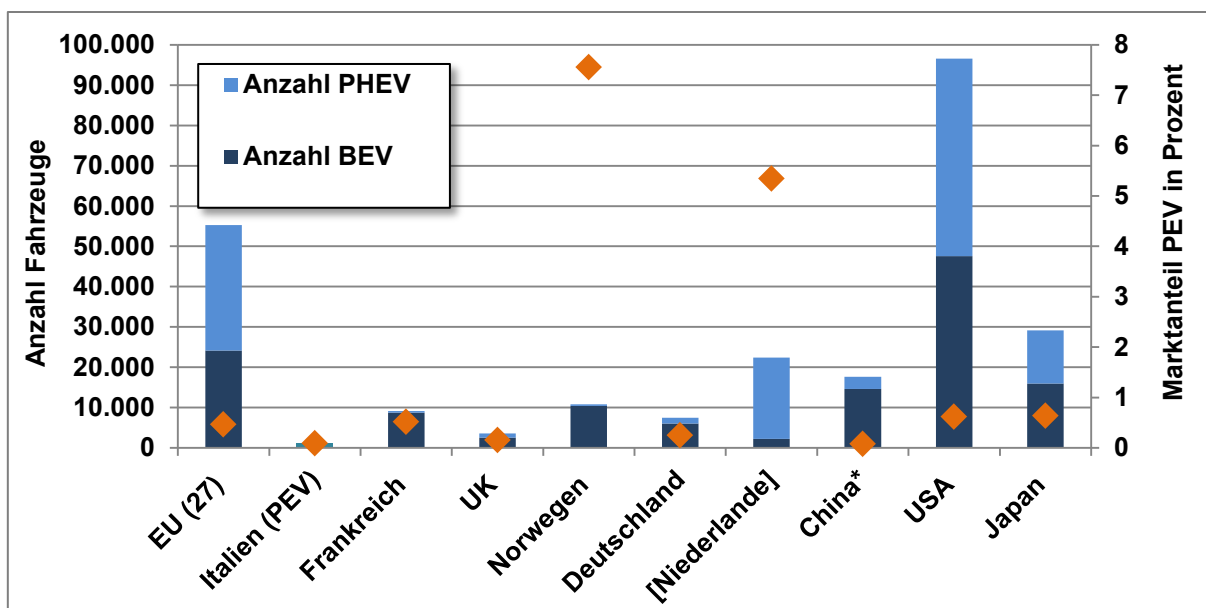


Abb. 5-43 Jährliche Registrierungen/Verkäufe Marktanteile (Neuwagen) von PEV in den untersuchten Ländern (+ Niederlande, ohne Indien) im Jahr 2013 im internationalen Vergleich<sup>19</sup>

Quelle: eigene Darstellung nach (KBA 2014a, CCFA 2014, Grønn Bil 2014, IA-HEV 2013, ICCT 2014, OICA 2014, EEA 2014, Green car reports 2014, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland 2013, Hybridcars.com 2013)

<sup>19</sup> \* die Daten für China enthalten neben Pkw auch weitere Fahrzeuge

Neben der Anzahl der verkauften Plug-in-Fahrzeuge ist insbesondere ihr Anteil bezogen auf die Gesamtzahl der verkauften Neufahrzeuge für die Beurteilung der Reife der nationalen Märkte relevant. Den weltweit höchsten Marktanteil von PEV weist Norwegen mit ca. 7,6 % im Jahr 2013 auf (Abb. 5-44). Die Niederlande haben mit ca. 5,3 % ebenfalls einen deutlich höheren Marktanteil als die übrigen Länder. Bei den übrigen Ländern liegt der Marktanteil durchgehend unter einem Prozent. Unter diesen Ländern weisen die USA und Japan mit über 0,6 % den höchsten Marktanteil auf. Deutschland liegt mit ca. 0,3 % hinter den USA, Japan und Frankreich zurück, weist jedoch einen höheren Marktanteil als China und Großbritannien auf. Deutschland ist derzeit sowohl als absoluter Markt als auch hinsichtlich des Anteils der PEV-Verkäufe noch deutlich vom Ziel des globalen Leitmarktes für Elektromobilität entfernt.

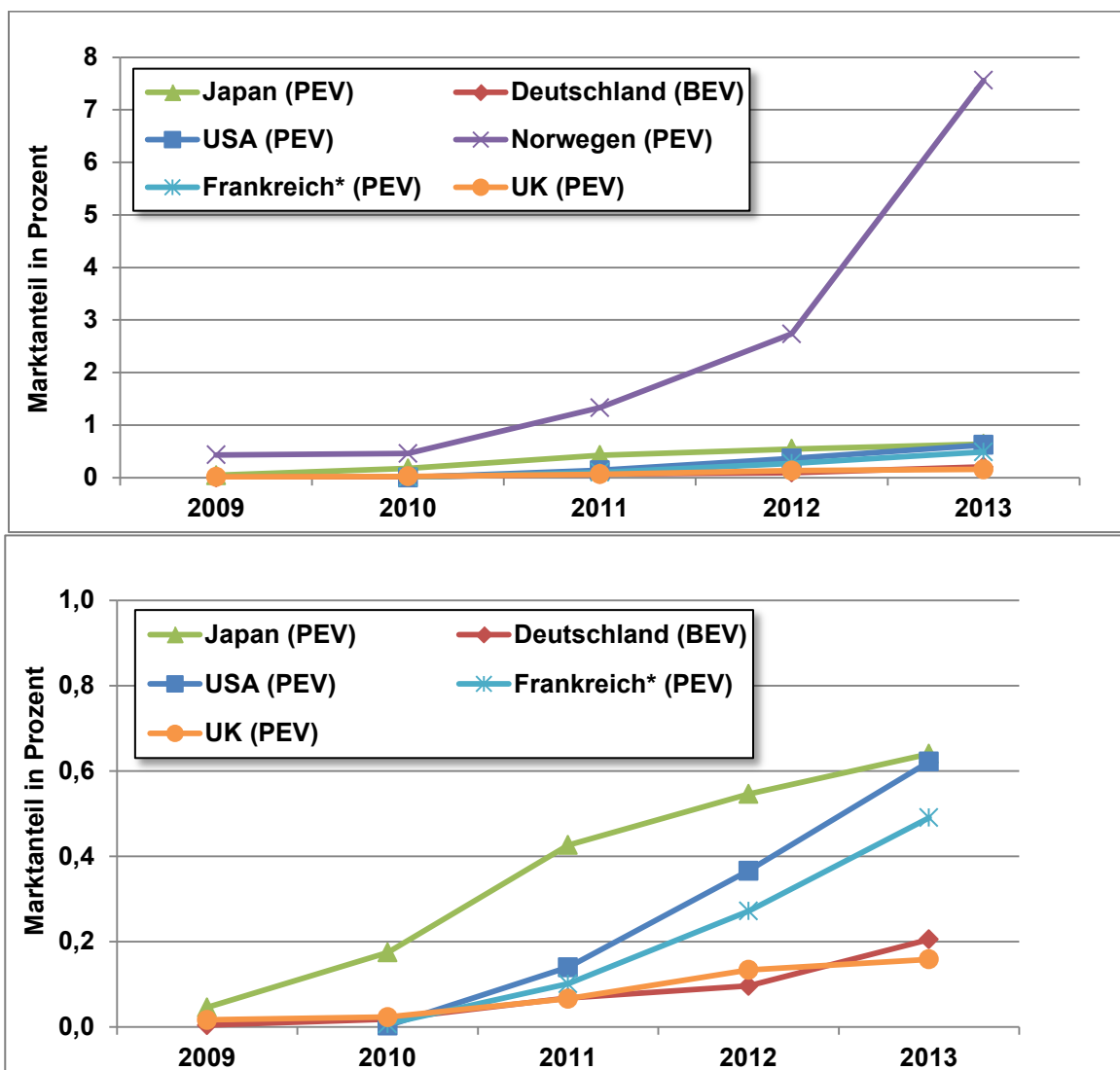


Abb. 5-44 Zeitlicher Verlauf der Marktentwicklung von PEV in ausgewählten Ländern, unten: Verlauf im Detail ohne Norwegen

Quelle: eigene Darstellung nach (KBA 2014, Grønn Bil 2014, IA-HEV 2012, IA-HEV 2013, OICA 2014, UNECE 2014, Hybridcars.com 2014, Regionalstudie Japan, Proff & Kilian 2012)

Bei Betrachtung der Entwicklung des Marktanteils in den letzten fünf Jahren in ausgewählten Ländern (vgl. Abb. 5-44) lässt sich eine deutlich positive Entwicklung feststellen, wobei Norwegen über den gesamten Zeitraum den höchsten Marktanteil und insbesondere seit 2011 ein starkes Wachstum aufweist. Seit 2011 sind Mitsubishi i-MiEV / Peugeot iOn / Citroën C-Zero und Nissan Leaf auf dem norwegischen Markt verfügbar, was wesentlich zum starken Wachstum des Marktanteils beigetragen hat. Auch die anderen betrachteten Märkte zeigen seit 2011 ein starkes Wachstum des Marktanteils von PEV (vgl. Abb. 5-44 – unten). Deutschland, Frankreich und Großbritannien lagen im Jahr 2010 mit 0,01 bis 0,02 % auf ähnlichem Niveau. Seit 2011 zeigt Frankreich eine deutlich positivere Entwicklung als Deutschland und Großbritannien. Das für PEV besonders vorteilhafte französische Bonus-Malus-System wurde bereits 2008 eingeführt (vgl. 5.3.1). Während Großbritannien 2012 noch einen leicht höheren Marktanteil von PEV als Deutschland erreichte (Einführung der Plug-in Car Grant Anfang 2011), war der Anteil von PEV an den Gesamtverkäufen im Jahr 2013 in Deutschland höher als in Großbritannien.

Japan weist bereits zwischen 2009 und 2010 ein deutliches Wachstum des PEV-Marktanteils auf. Japans Kaufanreize für PEV wurden 2009 eingeführt (vgl. 5.3.1). Außerdem war der Mitsubishi-iMiEV in Japan bereits im Sommer 2009 auf dem Markt verfügbar und der Nissan Leaf wurde im Herbst 2010 auf eingeführt (vgl. Regionalstudie Japan).

### Nutzerakzeptanz

Die Akzeptanz und die Erwartungen gegenüber Elektrofahrzeugen wurde in den meisten betrachteten Ländern in verschiedenen Studien durch Nutzerbefragungen erhoben (vgl. Bozem et al. 2013, Paternoga et al. 2013, Deloitte 2012, TRL 2013). Für eine überregionale Betrachtung der Nutzerakzeptanz sind quantitative Ergebnisse aus regionalen Untersuchungen durch ihr unterschiedliches Design und unterschiedliche Fragestellungen nur bedingt vergleichbar. Aus diesem Grund werden die Unterschiede in der Nutzerakzeptanz in erster Linie qualitativ auf Basis der Regionalstudien sowie der im Rahmen des Projekts durchgeführten Experteninterviews dargestellt.

Die Hemmnisse für den Kauf eines elektrifizierten Fahrzeugs sind in allen untersuchten Ländern ähnlich. Als primäre Faktoren sind hier **Mehrpreis**, **begrenzte Reichweite** und **Infrastrukturverfügbarkeit** zu nennen. Wie Umfragen unter japanischen und deutschen Nutzern bestätigen, ist der Mehrpreis der bedeutendste Hemmnisfaktor – vor begrenzter Reichweite und fehlender Infrastruktur (vgl. Regionalstudie Deutschland, Regionalstudie Japan). Gemäß der Untersuchung von Paternoga et al. (2013) für Deutschland wären 25 % potenzieller Käufer bereit, einen Mehrpreis für ein Elektrofahrzeug zu zahlen, welcher jedoch bei den meisten dieser potenziellen Käufer unter 3 000 Euro liegen müsste. Die japanischen Konsumenten würden bei einem Kaufpreis von unter 2.5 Millionen JYP (21 500 Euro) den Kauf eines BEV in Betracht ziehen (Deloitte 2012). Die indischen Nutzer werden als besonders preissensitiv betrachtet, wobei sie in erster Linie den Kaufpreis berücksichtigen, während das Konzept der Total Costs of Ownership (TCO) weniger verbreitet ist. Indische Käufer erwarten, dass der Kaufpreis für ein vierrädriges elektrifiziertes Fahrzeug unter umgerechnet 4 800 Euro liegt, was einem konventionellen Klein- bis Kompaktwagen in Indien entspricht. Die hohen Anschaffungskosten für Elektrofahrzeuge werden als besonderes Hemmnis für den Einsatz von xEVs in gewerblichen Flotten in Norwegen eingeschätzt. Klein- und Mittelständische Flottenbetreiber ziehen Elektrofahrzeuge häufig nicht in Betracht, da für sie durch Unsicherheiten

hinsichtlich der Lebensdauer und des Wiederverkaufswertes ein hohes Risiko besteht, in xEVs zu investieren (Regionalstudie Europa).

Im Bereich der **Ladeinfrastruktur** spielen Heimplademöglichkeiten eine besondere Rolle. In der Studie von Bozem et al. (2013) für Deutschland schätzten 90 % der Befragten Heimplademöglichkeiten als wichtig bis sehr wichtig ein. Laden am Arbeitsplatz oder Schnellademöglichkeiten an Tankstellen wurden von der Hälfte der Befragten als wichtig eingeschätzt. In Norwegen wurde insbesondere zu Beginn der Entwicklung des BEV-Marktes konventionelle Haushaltsanschlüsse zum Laden genutzt. Die meisten BEV-Besitzer in Norwegen wohnen in den Vororten größerer Städte. Auch wenn sich die Nutzer in Norwegen mehr Schnellademöglichkeiten wünschen, werden Schnellademöglichkeiten heute nur von 8 % der Besitzer wöchentlich genutzt (Grønn Bil 2013). Auch in Japan laden die meisten Besitzer ihr Elektrofahrzeug zu Hause. Jedoch wünschen sie viele Schnellademöglichkeiten im Umkreis von weniger als 3 km von ihrer Wohnung (Deloitte 2012). Insgesamt sind die Möglichkeiten zur Heimpladung in den Großstädten eingeschränkter. Dies stellt auch eine besondere Herausforderung für China dar, wo große Apartmenthochhäuser dominieren. Selbst falls genügend Platz zur Verfügung stände, würde die Ausstattung von bestehenden Apartment- oder Parkhäusern hohe Kosten verursachen (Regionalstudie China).

In vielen Ländern (z.B. Frankreich, Norwegen und den USA) werden Elektrofahrzeuge im privaten Bereich in erster Linie als Zweit- oder Drittwagen genutzt (Regionalstudie Europa, Regionalstudie USA). Auch in Indien kommen elektrifizierte Fahrzeuge meist nur als Zweit- oder Drittfahrzeug in Betracht (Regionalstudie Indien). Durch die Verfügbarkeit eines weiteren konventionellen Fahrzeugs sind die Reichweitenbegrenzung und die Infrastrukturverfügbarkeit ein geringeres Hemmnis.

Fehlendes **Bewusstsein und Wissen** über Elektrofahrzeuge wurde insbesondere in Indien und China als wichtiger Hemmnisfaktor identifiziert (Regionalstudie Indien, Regionalstudie China). In China werden Elektrofahrzeuge kaum beworben, und das Wissen über die Technologie ist auch bei Fahrzeugverkäufern sehr begrenzt. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass sich die bisherigen Aktivitäten der Regierung im Bereich Elektromobilität insbesondere auf staatliche Flotten konzentrierten, so dass die Bevölkerung kaum mit Elektromobilität in Berührung kommt (vgl. Regionalstudie China). In Indien fehlt häufig das Verständnis für die Technologie, zudem kursieren laut NEMMP 2020 Fehlinformationen zu Elektrofahrzeugen. Die Kaufbereitschaft für elektrische Zweiräder liegt in Indien wesentlich höher als für elektrische Pkw.

Auch in Europa ist das Wissen über Elektrofahrzeuge eingeschränkt. Beispielsweise wurde von Experten geäußert, dass Reichweitenangst zum Teil auch bei der Akzeptanz von PHEV eine Rolle spielt, da die potentiellen Nutzer nicht mit dem Konzept vertraut sind (vgl. Regionalstudie Europa). Auch in Frankreich werden wichtige Aspekte wie TCO-Vorteile unzureichend kommuniziert. In Japan stieg die Angabe eigener Kenntnisse über Elektrofahrzeuge zwischen 2011 und 2012 deutlich von 20 % auf 80 % der Befragten, jedoch ging dies nicht mit einer entsprechenden Steigerung der Kaufbereitschaft einher (Deloitte 2012). In verschiedenen Ländern wurde Bewusstseinsbildung von potentiellen Nutzern sowie Ausbildung von Verkäufer als wichtiges Handlungsfeld für die nahe Zukunft genannt (vgl. z.B. Regionalstudie Europa, Regionalstudie China). In vielen der betrachteten Länder wurde festgestellt, dass Testfahrten oder -nutzung die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen deutlich steigern können.

Wenn auch als weniger wichtig eingestuft, wurde auch die **begrenzte Produktpalette** von Elektrofahrzeugen als Hemmnisfaktor für die Verbreitung der Fahrzeuge gesehen (Regionalstudie Japan, Regionalstudie China). In China sind weniger als 10 Modelle auf dem Markt, wobei es sich bei den meisten um Kleinwagenmodelle handelt. Private Konsumenten legen jedoch besonderen Wert auf große, luxuriöse Autos, da Pkw in China einen besonderen Stellenwert als Statussymbol haben. In Norwegen hinderte die begrenzte Produktpalette sowie begrenzte Lieferbarkeit von Fahrzeugen das Marktwachstum.

**Umweltfreundlichkeit** ist in Japan, Deutschland und Großbritannien ein wichtiges Kaufkriterium, wobei es meist an zweiter Stelle hinter den reduzierten **Betriebskosten** steht (siehe Bozem et al. 2013, Deloitte 2012, TRL 2013). In Norwegen waren laut einer Untersuchung von Haugneland und Kvisle (2013) für 41 % der Befragten xEV Besitzer finanzielle Vorteile der Grund für den Kauf, und für 29 % war die Umweltfreundlichkeit das entscheidende Kaufkriterium. In Indien und China ist die Umweltfreundlichkeit ein eher nachrangiges Kaufkriterium. Für japanische Kunden ist zudem die **Innovativität** der Technologie ein wichtiger Einflussfaktor. Auch in Großbritannien war das mit Elektrofahrzeugen verbundene Image der innovative, neue, spaßbringenden Technologie ein wichtiges Kaufkriterium, noch vor monetären Anreizen wie der ‚Plug-in Car Grant‘ (TRL 2013). In Japan waren die **Subventionen und Steuerreduktionen** für die Hälfte der Befragten ein wichtiger Grund, ein BEV zu kaufen (Deloitte 2012). Als wichtigen Vorteil, den potentielle Nutzer mit Elektrofahrzeugen verbinden, wird in Japan auch die Möglichkeit der Nutzung von EVs zur Notstromversorgung gesehen, was eine regionale Besonderheit darstellt. Sogenannte Vehicle-to-home-Konzepte werden von der Regierung und verschiedenen Automobilherstellern verfolgt und beworben (vgl. 5.2.4).

**Nicht-monetäre Vorteile** wie die Nutzung von HOV-Lanes (High occupancy vehicle lane, d.h. Sonderspuren für Fahrzeuge mit hohem Besetzungsgrad) spielen laut Experten in den USA eine wesentliche Rolle bei der Kaufentscheidung und können sogar einen größeren Einfluss haben als rein finanzielle Aspekte (STROM-Arbeitspapier USA). Der Zugang zu Busspuren wird auch von vielen xEV-Nutzern in Norwegen als ein wichtiger Anreiz für die Nutzung eines Elektrofahrzeuges genannt (gemeinsam mit niedrigen Treibstoffkosten, Mautbefreiung und Steuerbefreiung) (Haugneland & Kvisle 2013).

Hinsichtlich der verschiedenen **Elektrifizierungsgrade** gibt es in Indien und Japan eine Präferenz für HEV, gefolgt von PHEV; BEV werden weniger präferiert (Regionalstudie Japan, Regionalstudie Indien). Im Gegensatz dazu gibt es laut der Untersuchung von Bozem et al. (2013) in Deutschland eine leichte Nutzerpräferenz für PHEV vor HEV und BEV, die sich bislang jedoch nicht am Fahrzeugmarkt widerspiegelt. In den USA besteht im Allgemeinen eine vergleichsweise hohe Präferenz gegenüber großen Fahrzeugen wie SUVs oder Pickups. Hersteller wollen diese Präferenz mit (Plug-in)Hybridmodellen in den Klassen adressieren (Arbeitspapier USA). Durch klare die steuerliche Bevorteilung von BEV gegenüber PHEV in Norwegen und den höheren Kosten von PHEV gegenüber konventionellen Fahrzeugen, werden PHEV als nicht wirtschaftlich eingeschätzt (Regionalstudie Europa).

## Marktperspektiven

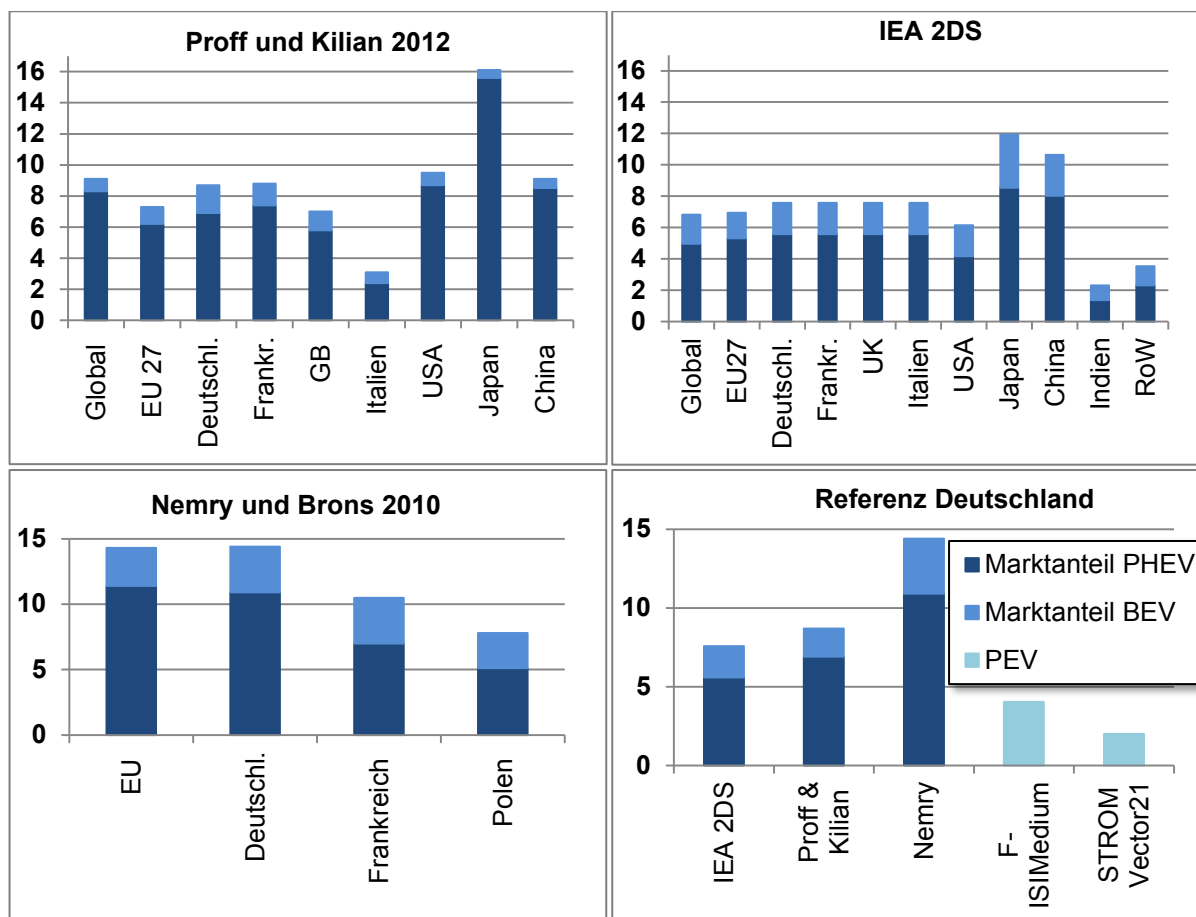
Um die Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen zu untersuchen, werden zum einen Einschätzungen der Experten, die im Rahmen der Regionalstudien interviewt wurden, einbezo-



gen und zum anderen Studien berücksichtigt, welche die perspektivische Entwicklung elektrifizierte Fahrzeuge untersuchen. Dazu wurden Studien ausgewählt, welche die Marktentwicklung für mehrere der untersuchten Länder modellieren (d.h. Proff und Kilian 2012, IEA 2 Grad Szenario aus Fulton 2014, Nemry und Brons 2010). Die Studien variieren in ihrer Methodik, Ausrichtung und Annahmen, sowie in den betrachteten Einflussfaktoren, wodurch die Ergebnisse nur begrenzt vergleichbar sind. Proff und Kilian (2012) haben die globale Marktdurchdringung von elektrifizierten Fahrzeugen mit Hilfe eines Marktmodells untersucht, welches neben ökonomischen und fahrzeugspezifischen Faktoren auch nutzerspezifische Faktoren und politische Rahmensetzung berücksichtigt. In Abb. 5-45 wird das Basis-Szenario dargestellt, welches den Referenzfall ohne zusätzliche Politikinitiativen beschreibt. Das IEA 2DS-Szenario hingegen basiert auf einer Reihe von zusätzlichen Maßnahmen im Verkehrssektor, die sicherstellen sollen, dass das eine CO<sub>2</sub>-Reduktion erreicht wird die mit dem 2°C-Ziel konsistent ist (Fulton et al. 2013). Effizienten Fahrzeugen wie Elektrofahrzeugen wird hier eine entscheidende Rolle zugeschrieben. Nemry und Brons (2010) analysiert die mögliche Entwicklung des E-Fahrzeugmarktes mit Hilfe des REMOVE Modells auf Basis verschiedener Annahmen zur Entwicklung der Batteriekosten und der Infrastrukturverfügbarkeit. In Abb. 5-45 wird das optimistischste Szenario (Batt2\_Inf2) dargestellt.

Wie man anhand der projizierten Marktdurchdringung von PEV in Europa, sowie dem Vergleichsfall Deutschland sehen kann, projizieren Nemry und Brons (2010) für das Jahr 2020 die stärkste Marktdurchdringung mit ca. 14 % PEV Anteil gegenüber ca. 7 % im IEA 2DS Szenario und im Basis Szenario von Proff und Kilian (2012) (vgl. Abb. 5-45). Einige Hersteller gehen von einem geringeren Marktanteil von PEVs in 2020 aus. So wurde im Rahmen der STROM-Experteninterviews von einem Vertreter eines Automobilherstellers ein erwarteter Marktanteil von 2 bis 8 % bis 2020 genannt, wobei damit gerechnet wird, dass die tatsächliche Marktentwicklung eher im unteren Bereich liegen wird (vgl. Regionalstudie Europa). In allen in Abb. 5-45 dargestellten Studien überwiegen PHEV gegenüber BEV deutlich. Auch die im Rahmen des Projekts interviewten Experten sehen in naher Zukunft ein höheres Potential für PHEV als für BEV (vgl. Regionalstudie Japan)

Das IEA-2DS-Szenario sowie Proff und Kilian (2012) gehen davon aus, dass der höchste Marktanteil für PEV in Japan erreicht wird, wobei Proff und Kilian (2012) von einem deutlich stärkeren Vorsprung von Japan vor den anderen betrachteten Ländern ausgehen und einen Marktanteil von ca. 16 % projizieren. Dies stimmt weitestgehend mit einer nationalen japanischen Studie des METI überein, die von einem Marktanteil von ca. 17 % ausgeht. Dabei überwiegen im Gegensatz zu Proff und Kilian in der Studie des japanischen METI jedoch deutlich BEV (METI 2010). Insbesondere die USA werden in beiden Prognosen recht unterschiedlich bewertet: Bei IEA 2DS Szenario erreichen PEV in den USA einen deutlich geringeren Marktanteil als in der EU, Japan oder China, während die USA in der Studie von Proff und Kilian den zweithöchsten Marktanteil aufweisen.



**Abb. 5-45** Prognostizierter Marktanteil von BEV und PHEV (inkl. REEV) in 2020 in verschiedenen Studien in Prozent

Quelle: eigene Darstellung nach (Proff & Kilian 2012 – Base Case Scenario, Fulton, Scenarios for the IEA Energy Technology Perspectives 2012 unpublished data 2014–IEA 2DS Scenario, Nemry & Brons 2010 – Batt2\_Inf2, Plötz et al. 2013 – Fraunhofer ISI Medium Szenario.)

Innerhalb Europas sehen Nemry und Brons (2010) deutlich höhere Marktanteile von PEV in Deutschland mit 14,4 % als in Frankreich mit 10,5 %. Bei Proff und Kilian (2012) erreichen PEVs in beiden Länder einen Marktanteil von ca. 9 %, damit führen sie deutlich vor anderen wichtigen europäischen Märkten wie Großbritannien und Italien. IEA 2DS nimmt an, dass die Marktanteile in den dargestellten EU-Ländern ein gleiches Level erreichen. Die in den dargestellten Studien projizierte Marktdurchdringung von PEV in Großbritannien liegt mit ca. 7 % am oberen Ende des in einer nationalen Studie ermittelten Marktanteils von 3 bis 7 % (OLEV 2013).

Indien wird nur im IEA 2DS Szenario separat betrachtet und erreicht darin einen PEV-Marktanteil von ca. 2 %. In der nationalen Studie, die im Rahmen des indischen NEMMP 2020 durchgeführt wurde wird ein Marktanteil von xEV von 18 bis 19 % unter den vierrädri- gen Fahrzeugen erwarten, wobei es sich überwiegend um HEV handeln soll (NEMMP 2020). Auch die interviewten Experten in Indien sehen Potential für BEV in naher Zukunft nur in Nischenanwendungen (Regionalstudie Indien).

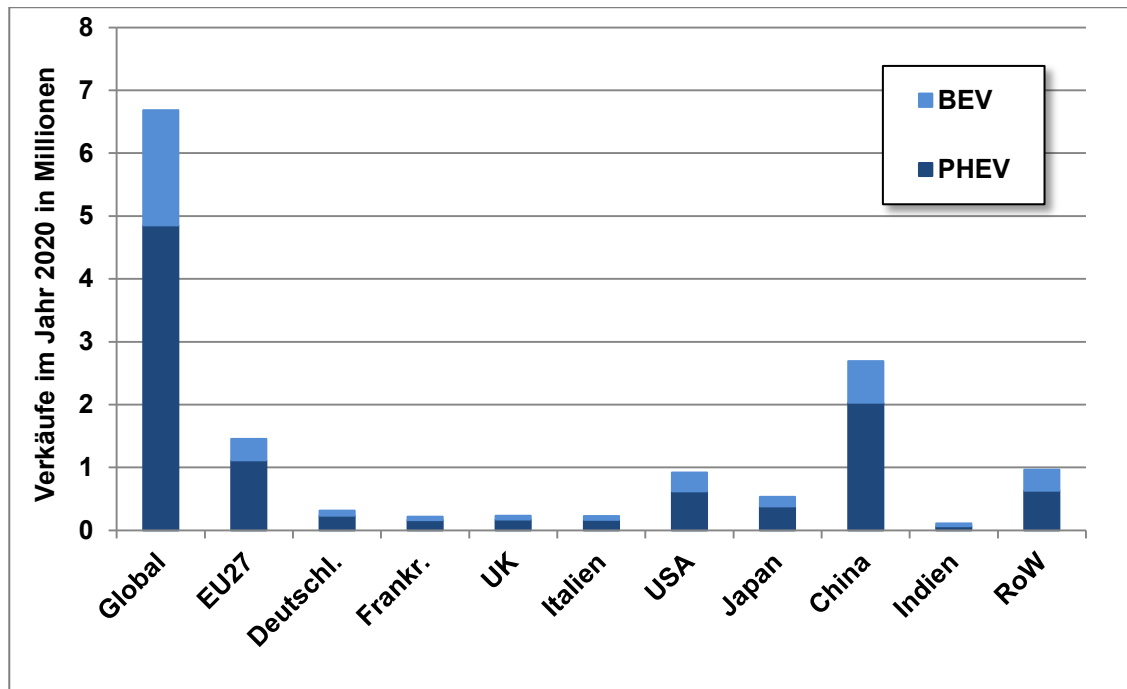


Abb. 5-46 Prognostizierte Verkäufe von BEV und PHEV (inkl. REEV) in 2020 im IEA 2DS Szenario

Quelle: eigene Darstellung nach (Fulton 2014) – IEA 2DS Szenario

Neben der Marktdurchdringung von PEV hat die absolute Größe des Fahrzeugmarktes einen wesentlichen Einfluss auf die Anzahl der PEV-Verkäufe in den jeweiligen Ländern. Abb. 5-46 stellt die projizierten PEV-Verkäufe exemplarisch für das IEA 2DS Szenario dar. Durch das starke Wachstum des Fahrzeugmarktes in China und einen hohen Marktanteil von PEV stellt China hier den größten zukünftigen Absatzmarkt für PEV dar, gefolgt von der EU und den USA. Japan ist wegen des kleineren Pkw-Marktes trotz einer hohen Marktdurchdringung von PEV nur ein vergleichsweise kleiner Absatzmarkt für Plug-in-elektrische Fahrzeuge im Jahr 2020.

Alle berücksichtigten Projektionen gehen von einem relativ langsamen Wachstum des PEV-Marktes bis 2020 aus, während deutliche Marktzuwächse bis 2030 erwartet werden (vgl. Abb. 5-46). Außerdem nimmt in allen Studien der Anteil von BEV gegenüber PHEV bis 2030 deutlich zu. Bei Proff und Kilian (2012) und im IEA 2DS erreichen Plug-in-elektrische Fahrzeuge in 2030 weltweit einen Marktanteil von ca. 30 %. Nemry und Brons (2010) projizieren für Europa sogar einen PEV-Marktanteil von 60 %. Proff und Kilian sehen hingegen auch für Europa ähnlich dem globalen Marktanteile eine PEV-Marktdurchdringung von 30 %.

Die im Rahmen des Projekts interviewten Experten erwarten, dass neue Batterietechnologie erst ab 2020 verfügbar ist und dann den Erfolg von PEV maßgeblich beeinflusst. Es wird damit gerechnet, dass PHEV und BEV ohne monetäre Anreizsysteme erst in 10 bis 15 Jahren gegenüber konventionellen Fahrzeugen wettbewerbsfähig sind (Regionalstudie Japan).

### 5.3.5 Zentrale Erkenntnisse – Deutschland im internationalen Vergleich

Die Untersuchungen zu den globalen Perspektiven der Elektromobilität haben gezeigt, dass Elektromobilität weltweit als wichtiger Baustein zukünftiger Mobilität betrachtet wird. Durch die Elektromobilität soll die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern reduziert werden, Schadstoff-, CO<sub>2</sub>- und Lärmemissionen verringert werden, und langfristig auch ökonomisch effizientere Mobilität ermöglicht werden. Diese Einschätzung hat Wissenschaft, Unternehmen und Regierungen dazu bewegt, Elektromobilität als innovative Technologie zu erforschen, zu entwickeln und zu fördern.

Dabei hat die Entwicklung der Elektromobilität global betrachtet unterschiedliche Ausprägungen. Während in den OECD-Ländern (z.B. Japan, USA, Europa) mit hohem Anteil von privatem Pkw-Verkehr ein Schwerpunkt auf der Entwicklung und dem Einsatz von elektrifizierten Pkw besteht, spielt in Asien die Elektrifizierung von Bussen im ÖPNV und von motorisierter Zweiradverkehr eine größere Rolle.

Die Automobilindustrie in Japan (und z.T. in den USA) hat bei der Entwicklung marktreifer Fahrzeugmodelle zunächst eine Vorreiterrolle übernommen. Der Entwicklungsrückstand wurde von der europäischen Automobilindustrie in den vergangenen Jahren weitgehend aufgeholt; insbesondere bei Herstellern in Frankreich und Deutschland gab es starke Entwicklungen bei den verfügbaren Fahrzeugmodellen, wobei die französischen Hersteller stark von Kooperationen mit japanischen OEMs profitierten. Deutsche Produzenten haben damit in Bezug auf Fahrzeugtechnologien und -modelle im globalen Wettbewerb aufgeschlossen. Dazu konnte auch die systematische und umfassende Förderung von Forschung und Entwicklung einen Beitrag leisten. Im globalen Absatz sind aber japanische Hersteller weiterhin deutlich führend.

Bei der Forschungsförderung zeigt ein Vergleich der Budgets, dass Deutschland unter den europäischen Staaten am stärksten in die Forschung und Entwicklung im Bereich Elektromobilität investiert und international bislang auch im Vergleich zu China und Japan gut aufgestellt ist. In absoluten Summen steht Deutschland hinter der FuE-Förderung der USA zurück, unter Berücksichtigung der Wirtschaftskraft investiert Deutschland jedoch deutlich stärker in die Forschungsförderung zu Elektromobilität. Zudem ist die Beteiligung deutscher Institutionen an europäischen Forschungsprojekten, beispielsweise im Rahmen der Green Cars Initiative, sehr hoch.

Zu den zentralen Forschungsthemen gehört in allen untersuchten Ländern die Batterieforschung. Batterien stellen aktuell den größten Kostenfaktor für Elektrofahrzeuge dar, Energiedichte, Belastbarkeit und Lebensdauer sind weitere Herausforderungen.

Dabei wird häufig sowohl Forschung zur Lithium-Ionen-Technologie betrieben, als auch an der Entwicklung von Post-Lithium-Ionen Batterien gearbeitet. Deutschland konzentriert sich hinsichtlich der Lithium-Ionen Technologie eher auf FuE zur Batterieproduktion sowie zu Sicherheitsaspekten. Da Japan in dieser Batterietechnologie als führend gilt, konzentrieren sich andere Nationen vermehrt auf die FuE von Post-Lithium-Ionen-Batterien. Die Marktreife dieser Batterien ist jedoch erst nach 2020 zu erwarten. In den kommenden Jahren sind daher durch Verbesserung der Batterietechnologie kaum Reichweitensteigerungen abzusehen. Größere Steigerungen können erst mit Post-Lithium-Batterien realisiert werden. Jedoch bieten Effizienzsteigerungen bei verschiedenen Komponenten und im Fahrzeugdesign Potentiale für graduelle Steigerungen in der Reichweite.

Neben der Batterie sind aus diesem Grund Leistungselektronik, Thermomanagement und Leichtbau zentrale Forschungsthemen, zu denen in allen untersuchten Ländern geforscht wird. Die Entwicklung und Markteinführung neuer E-Fahrzeuge durch die deutsche Automobilindustrie führt nicht zwangsläufig zur Stärkung deutscher Produktionsstandorte, da die Modelle häufig im Ausland produziert werden. Auch ist der wachsende chinesische Markt grundsätzlich vielversprechend für deutsche Hersteller, jedoch durch regulative Rahmenbedingungen beschränkt – etwa durch Bindung der Subventionen an lokale Produktion. Heimische Märkte haben in dieser frühen, oftmals durch Subventionen oder Demonstrationsprojekte unterstützten Marktphase noch eine hohe Bedeutung für die Fahrzeughersteller – so dominieren in den meisten Ländern Modelle heimischer Hersteller.

Auch der globale Markt für Elektrofahrzeuge hat sich in den letzten Jahren stark entwickelt. 2009 wurden weltweit erst 50 000 PEVs abgesetzt; 2013 waren es bereits über 200 000.

Deutschland hat hinsichtlich des Marktanteils jedoch einen Aufholbedarf. Mit einem Anteil der PEVs von 0,25 % an den Neuzulassungen liegt Deutschland hinsichtlich der Marktdurchdringung deutlich hinter den USA, Japan und Frankreich – gleichwohl gab es trotz fehlender Kaufanreize eine deutliche Steigerung gegenüber den Vorjahren. Weltweit führende Positionen nehmen Norwegen, Dänemark und die Niederlande ein, die den Kauf von PEVs stark subventionieren und weitere monetäre und nicht-monetäre Anreize geschaffen haben.

Wichtige Hemmnisfaktoren für die Anschaffung von Elektrofahrzeugen sind nach wie vor der Mehrpreis, die begrenzte Reichweite sowie limitierte Infrastrukturverfügbarkeit. Aufgrund dieser Restriktionen liegen häufige Einsatzbereiche von Elektrofahrzeuge aktuell vor allem bei privat genutzten Zweitwagen sowie in Flotten, wodurch hohe Kilometerleistung niedrigere TCO erreicht werden. Aufgrund des hohen Mehrpreises wird beim privaten Einsatz von Elektrofahrzeugen von den Herstellern eher das Premiumsegment adressiert. Neuere Plug-In-Hybride deutscher Modelle der Oberklasse stehen für diese Tendenz. Die US-Marke Tesla zeigt, welche Leistungen und Reichweiten mit rein batterieelektrischen Fahrzeugen heute möglich sind, wenn der Preis keine Rolle spielt. Insgesamt wird eine Erhöhung der Palette an angebotenen Fahrzeugmodellen als wichtiger Faktor für die Marktentwicklung gesehen. Kunden sollten die Wahl zwischen verschiedenen Fahrzeugen und Marken haben, so dass Elektrofahrzeuge nicht mehr als Nischenprodukt, sondern als echte Alternative zum konventionell angetriebenen Auto angesehen wird. Dadurch wird auch das Vertrauen in die Zukunft der Elektromobilität bei den Kunden gestärkt.

Finanzielle Kaufanreize in Form von Subventionen oder Steuernachlässen haben einen großen Einfluss auf Marktdurchdringung, sind aber mit hohem Aufwand öffentlicher Mittel verbunden. Um effektiv zu sein, muss diese Förderung von guten Rahmenbedingungen – hinsichtlich Ladeinfrastruktur, Verbraucherinformation, und flankierender nichtmonetärer Anreize – verbunden sein.

Die stärksten Kaufanreize (in Norwegen, den Niederlanden und Dänemark) werden in Ländern ohne eine relevante Automobilindustrie gewährt, jedoch bestehen Kaufanreize auch in Ländern mit bedeutender Automobilindustrie wie Japan, Frankreich oder den USA. Deutschland bildet hier mit dem Verzicht auf deutliche finanzielle Anreize eine Ausnahme.

Aus Perspektive der Nutzer ist die Zuverlässigkeit des Systems Elektromobilität wichtig. Ein bedeutender Faktor hierfür ist eine verfügbare und zugängliche Ladeinfrastruktur mit standardisierten Ladesystemen. Hinsichtlich der Steckerverbindungen und der Ladespannungen

sind diese Standardisierungen für reguläres Laden inzwischen weitgehend erreicht, wogegen die Harmonisierung von Schnellladesystemen und unterschiedlichen Abrechnungssysteme noch eine Herausforderung darstellt.

Um zuverlässige Lademöglichkeiten zu haben, halten Nutzer sowie potenzielle Nutzer in allen betrachteten Ländern eine dichtere Ladeinfrastruktur für wichtig – auch in Ländern wie Norwegen, wo das Netz bereits heute vergleichsweise dicht ausgebaut ist. Deutschland befindet sich in Bezug auf den Infrastrukturausbau im weltweiten Mittelfeld.

Dabei erfüllt die öffentliche Ladeinfrastruktur meist nur eine Reservefunktion, da sie im Vergleich zum Laden am privaten Stellplatz oder am Arbeitsplatz kaum genutzt werden. Eine wichtigere Bedeutung als ein flächendeckendes Ladenetz könnte daher ein strategisches Netz von Schnellladestationen, etwa an Autobahnraststätten, und die Förderung semi-öffentlicher Stationen (etwa an Einkaufszentren) haben.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die deutsche Strategie zur Elektromobilitätsförderung hinsichtlich von Forschung und Entwicklung sowie zur Erreichung einer Leitanieterschaft im internationalen Vergleich erfolgreich ist, hinsichtlich der Entwicklung eines Leitmarktes aber noch vor großen Herausforderungen steht



## 6 Materialintensitätsanalysen

*O. Soukup (WI), M. Ritthoff (WI), K. Bienge (WI), D. Kreyenberg (DLR), E. Alexopoulou (WI), J. Monscheidt (WI)*

### 6.1 Hintergrund

*O. Soukup (WI)*

Im Jahr 2009 hat die Bundesregierung im Rahmen ihres nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität die Elektrifizierung des Straßenverkehrs als Thema von hoher strategischer Bedeutung benannt. Sie betont die Potenziale elektrischer Antriebe zur Verringerung der Abhängigkeit von Erdöl sowie zur lokalen Reduktion von CO<sub>2</sub>- und Schadstoffemissionen. Der Entwicklungsplan strebt daher bis zum Jahr 2020 das Ziel von einer Million Elektrofahrzeugen auf Deutschlands Straßen an und hält einen Zuwachs auf über fünf Millionen Fahrzeuge bis 2030 für möglich (Bundesregierung 2009).

Dem Risiko einer bloßen räumlichen Verlagerung von Emissionen soll dadurch Rechnung getragen werden, dass die Förderung der Elektromobilität in Kombination mit einer Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen im integrierten Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung (IEKP) verankert wurde (Bundesregierung 2007). Verschiedene Studien haben sich bereits mit der Fragestellung beschäftigt, unter welchen Voraussetzungen elektrische Antriebe im Straßenverkehr unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus von der Herstellung über die Nutzung bis zur Entsorgung der Fahrzeuge hinsichtlich der Treibhausgasbilanz Vorteile gegenüber klassischen verbrennungsmotorischen Fahrzeugen bieten (Notter et al. 2010, Renault 2011).

Für die Umsetzung der Elektromobilitätsstrategien in Deutschland (und weltweit) sind bislang insbesondere Klimaschutz-Kriterien und Abhängigkeiten von Treibstoffimporten politisch maßgeblich. Im Rahmen einer umfassenden Nachhaltigkeitsbewertung der einzelnen Technologien und möglicher Ausbaupfade bedarf es aber darüber hinaus der Berücksichtigung zusätzlicher Kriterien. Wichtige Aspekte sind hierbei z. B. weitere Umweltwirkungen auf Grund von Schadstoffemissionen oder Auswirkungen der Entwicklung von Verkehrssystemen auf die Lebensqualität und den Flächenbedarf in Ballungsräumen. Auch der Ressourcenbedarf, der im Fokus dieser Arbeit steht, ist hier als weiteres relevantes Kriterium zu nennen.

Umfassende Analysen zu den zuvor genannten Aspekten der Ressourceninanspruchnahme, die sowohl verschiedene Antriebstechnologien als auch mögliche langfristige Ausbauszenarien einbeziehen, liegen jedoch bislang nicht vor. Die Auswertung vorliegender Studien hat gezeigt, dass bislang keine Ökobilanzen vollständiger Entwicklungspfade der Elektromobilität – unter Einbeziehung möglicher Fahrzeug- und Batteriekonzepte sowie des zukünftigen Ausbaus der Stromerzeugung und -übertragung – durchgeführt wurden. Ressourcenaspekte werden erwähnt, aber nicht vertiefend im Hinblick auf makroökonomische Knappheitseffekte und Konkurrenzsituationen oder nur unter dem Gesichtspunkt der Ökotoxizität behandelt. Auch stellen Materialintensitätsanalysen, die neben dem direkten auch den indirekten Materialverbrauch eines Produkts ermitteln, keinen Schwerpunkt der bisherigen Untersuchungen dar. Die mögliche dynamische Entwicklung von Ökobilanzen, etwa aufgrund des Einsatzes



anderer Rohstoffquellen, wird bisher ebenfalls nicht systematisch betrachtet, obwohl dieser Aspekt möglicherweise einen erheblichen Einfluss auf die Ökobilanz der Elektromobilität haben kann.

Die vorliegende Studie reduziert die bisherige Bewertungslücke und leistet damit einen Beitrag zur ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbewertung des elektrischen Pkw-Verkehrs. Die gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen es, im Rahmen der angestrebten Entwicklung Deutschlands zum „Leitmarkt für Elektromobilität“ (Bundesregierung 2009) unterschiedlich nachteilige Auswirkungen einer Transformation des Pkw-Verkehrs gleichermaßen zu berücksichtigen.

## 6.2 Methodischer Aufbau

*O. Soukup (WI), M. Ritthoff (WI), K. Bienge (WI)*

### 6.2.1 Ziel und Untersuchungsrahmen

Ziel der Analyse ist es, den Bedarf an stofflichen und energetischen Ressourcen sowie die Emissionen von Treibhausgasen (THG) unterschiedlicher Elektromobilitätsstrategien im Bereich des Pkw-Verkehrs bis 2050 abzuschätzen und in Relation zu einer Referenzentwicklung zu betrachten. In diesem Kapitel werden deshalb wesentliche Technologiepfade und Systemkomponenten im Rahmen einer Lebenszyklusanalyse betrachtet.

Daneben werden auch Versorgungsrisiken (u.a. geologische Verfügbarkeit, Substituierbarkeit und Liefersituation) untersucht und „kritische“ Materialien identifiziert, bei denen es entweder durch begrenztes Vorkommen zu Ressourcenengpässen kommen kann oder bei denen die Umweltbelastung der Gewinnung<sup>20</sup> die gesetzten Ausbauziele gefährden könnte. Der Einfluss unterschiedlicher Technologien auf den Bedarf kritischer Ressourcen und erkennbare Optionen zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs und von Umweltwirkungen werden zusammenfassend diskutiert.

Der Begriff „Elektromobilität“ bezieht sich im Rahmen der hier vorgenommenen Untersuchungen auf die Elektrifizierung des motorisierten Individualverkehrs (MIV) und beschränkt sich dabei auf vierrädrige Pkw. Weil es Ziel der Studie ist, elektrifizierte und konventionelle Fahrzeuge sowie Pkw-Verkehrsszenarien vergleichend gegenüberzustellen, werden trotz der Schwerpunktsetzung auf elektrifizierte Antriebsstränge auch solche Fahrzeugtypen mit verbrennungsmotorischen Antrieben berücksichtigt, die zur Abbildung heutiger und zukünftiger Flotten relevant sind.

Es bleibt festzuhalten, dass auch andere Fahrzeugsegmente des öffentlichen (z. B. Schienenbahnen) oder Individualverkehrs (z. B. Pedelecs, Leichtfahrzeuge) bereits heute über einen hohen Anteil elektrischer Antriebe verfügen oder entsprechend hohe Potenziale zur Elektrifizierung aufweisen. So hat beispielsweise das E-Bike als bislang einziges (teil)elektrisches Straßenfahrzeug den Übergang in den Massenmarkt bereits bewältigt und weist weiter steigende Verkaufszahlen auf (ZIV 2013). Gegenstand dieser Studie ist jedoch

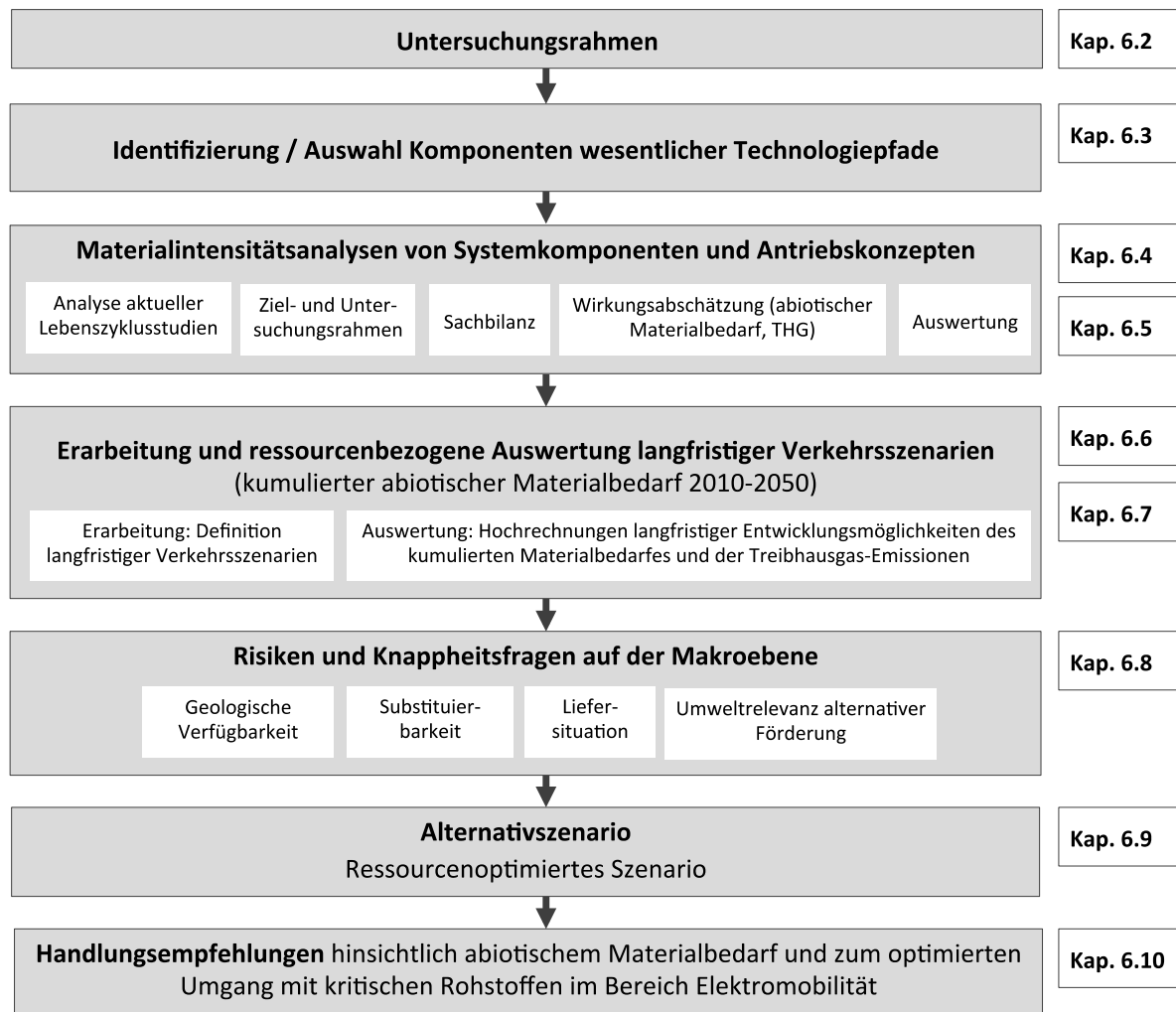
---

<sup>20</sup> Die Umweltbelastung der Gewinnung wird in diesem Projekt anhand der Ressourceninanspruchnahme abgeschätzt, die je nach Eigenschaften der Rohstoffquelle hinsichtlich Mineralogie, Abraum, Metallgehalt und notwendiger Aufbereitungsverfahren unterschiedlich hoch sein kann.

die automobilen Anwendung der Elektromobilität. Weitere etablierte oder zukünftige Nutzungsmöglichkeiten bleiben deshalb hier unberücksichtigt.

## 6.2.2 Analyseschritte

Die verschiedenen Teilschritte der Analyse sind zum Überblick in Abb. 6-1 dargestellt und werden im Folgenden beschrieben.



**Abb. 6-1 Überblick über die Arbeitsschritte der Materialintensitätsanalyse**

- Zunächst wird der Untersuchungsrahmen der vorliegenden Analyse definiert. Zudem werden die verschiedenen berücksichtigten methodischen Ansätze zur Bewertung der Technologien und Verkehrsszenarien voneinander abgegrenzt (Unterkapitel 6.2).
- Anschließend werden die Technologiepfade identifiziert, die für die Entwicklung des Pkw-Verkehrs relevant sind (Unterkapitel 6.3).
- Basierend auf der Literaturanalyse vorhandener Lebenszyklusdaten werden der Stand der Forschung im Themenbereich Umweltwirkungen der Elektromobilität sowie vorhandene ressourcenspezifische Analysen dargestellt. Dies dient auch der Identifizierung zentraler Studien, die als Datengrundlage v.a. für die Modellierung der elektrifi-

zierten Fahrzeugtypen genutzt werden können (Unterkapitel 6.4). Diese werden durch weitere Quellen für Systemkomponenten und Antriebskonzepte ergänzt und fließen in die Materialintensitätsanalyse ein. Die Sachbilanz (Materialinventare) der Systemkomponenten sowie grundlegende Annahmen (z. B. Energiebedarf der Nutzung) werden hergeleitet. Die Berechnungsergebnisse der Materialintensitätsanalyse bezüglich des abiotischen Materialbedarfs und die ermittelten THG-Emissionen werden auf Ebene der einzelnen Antriebskonzepte zusammengefasst (Unterkapitel 6.5).

- Für die Szenariobetrachtungen verschiedener Elektromobilitätspfade werden langfristige Verkehrsszenarien für Deutschland und die Welt definiert, welche die Änderung von Flottenzusammensetzungen nach Antriebskonzepten bei unterschiedlicher Marktdurchdringung elektrischer Antriebe beschreiben (Unterkapitel 6.6). Die Verkehrsszenarien dienen zusammen mit Ergebnissen der Materialintensitätsanalyse auf Fahrzeugebene (Antriebskonzept) dann den Hochrechnungen verschiedener langfristiger Entwicklungsmöglichkeiten von kumulierten Ressourcenverbräuchen und Treibhausgas-Emissionen. Diese werden für jeweils vier nationale und weltweite Pkw-Verkehrsszenarien dargestellt (Unterkapitel 6.7).
- Die in den vorherigen Schritten identifizierten wichtigsten Rohstoffe für Elektromobilität werden in Hinblick auf zu erwartende Versorgungsrisiken untersucht und hinsichtlich ihrer Kritikalität bewertet (Unterkapitel 6.8).
- Auf Grundlage der Ergebnisse der letzten Schritte wird zudem ein Alternativszenario beschrieben, welches auf die Reduktion von Zielkonflikten zwischen THG-Emissionen und Ressourcenbedarf der Elektromobilität abzielt (Unterkapitel 6.9).
- In einem Fazit werden abschließend die Ergebnisse der Materialintensitätsanalyse zusammengefasst und Handlungsempfehlungen für die weitere Förderung der Pkw-Elektromobilität formuliert (Unterkapitel 6.10).

### 6.2.3 Bewertungsansätze

Zentrale Aspekte der Analyse sind die Identifikation von lebenszyklusweiten Ressourcenverbräuchen und THG-Emissionen von Pkw-Fahrzeugtypen sowie die Hochrechnung dieser Größen entlang von langfristigen Verkehrsszenarien. Es wird bei der Bewertung der Fahrzeuge und Szenarien auf drei unterschiedliche methodische Ansätze zurückgegriffen:

- **MIPS-Methode („Material-Input pro Service-Einheit“) zur Systembewertung:** MIPS ist ein ökologischer Indikator der Ressourcennutzung über den Lebenszyklus und ist definiert als die Summe der Massen aller natürlichen Rohmaterialien von der Wiege bis zur Bahre, also von der Rohstoffbereitstellung über die Verarbeitung, Nutzung bis zum Recycling oder der Entsorgung, gemessen in der Einheit Tonnen oder Kilogramm. Mittels der Materialintensitätsanalyse (MAIA) kann der Rohstoffbedarf von Produktsystemen berechnet werden. Dazu werden die Materialinputs nach dem MIPS-Konzept getrennt nach fünf verschiedenen Inputkategorien erfasst. Diese fünf Kategorien sind: abiotische Rohstoffe (z.B. Öl, Gas, Metalle), biotische Rohstoffe (z.B. Holz), Bodenbewegung in der Land- und Forstwirtschaft (mechanische Bodenbearbeitung oder Erosion), Wasser und Luft. MIPS berechnet die Ressourcenverbräuche an der Grenze ihrer Entnahme aus der Natur: alle Angaben entsprechen den in der Natur bewegten Mas-

sen, also den genannten Inputkategorien. Alle Materialverbräuche während Herstellung, Nutzung und Entsorgung/Recycling werden auf Ressourcenverbräuche zurückgerechnet (Rohstoffe, Energie, Transporte). Über eine Erfassung dieser Inputs ermöglicht das MIPS-Konzept eine Abschätzung des gesamten Umweltbelastungspotenzials (Schmidt-Bleek et al. 1998, Liedtke et al. 2014).

- **Ermittlung des Treibhauspotenzials zur Systembewertung:** Treibhausgas-Emissionen dienen hierbei als ökologischer Indikator der Klimawirkung über den Lebenszyklus.
- **Identifikation „kritischer“ Materialien:** Gegenstand der Analyse sind diejenigen Materialien, bei denen die Verfügbarkeit oder die Umweltgefährlichkeit der Gewinnung die gesetzten Ausbauziele gefährden könnten. Neben der geologischen Verfügbarkeit wird auch der Zugang zu diesen Rohstoffen bewertet, bestimmt durch die globale Verteilung der Rohstoffe, die Zahl und politische Stabilität der Lieferländer, Nachfrage und Nachfragewachstum nach den Rohstoffen sowie die Recycling- und Substitutionsfähigkeit.

#### 6.2.4 Begriffsdefinitionen

Die in der Materialintensitätsanalyse verwendeten Begriffe werden im Folgenden definiert:

Begriff	Bedeutung
Material-Input (MI)	Im MIPS-Konzept umfasst der MI eines Gutes alle systemweit zu dessen Erschaffung aktiv aus dem natürlichen Zustand entnommenen bzw. dort bewegten abiotischen und biotischen Rohstoffe sowie Wasser und Luft. Sämtliche in einem Produkt oder Prozess enthaltenen Materialien werden bis auf ihren „Ursprung“, d.h. bis an die Grenze des Überganges von der Ökosphäre in die Technosphäre zurückverfolgt.
Material-Input pro Serviceeinheit (MIPS)	MIPS bemisst die Umweltbelastungsintensität von Produkten im Hinblick auf ihren spezifischen Ressourcenverbrauch in allen Lebensphasen. Die Berechnung von MIPS erfolgt durch Bezug des Rohstoffbedarfs, Material-Input (MI) genannt, auf einen bestimmten Nutzen, die Serviceeinheit.
Materialbedarf (abiotisch)	Da die vorliegende Studie den materiellen Ressourcenbedarf thematisiert, beschränkt sich die Analyse auf die Ermittlung des MI für die abiotischen Rohstoffe. Die Ergebnisse der abiotischen Materialintensitätsanalyse werden durch den Indikator abiotischer Materialbedarf ausgedrückt.
Materialzusammensetzung, kumuliert	Die kumulierte Materialzusammensetzung fasst den MI der Herstellungsphase zusammen.
Kumulierter Materialbedarf (abiotisch)	Der kumulierte Materialbedarf fasst den gesamten abiotischen Materialbedarf der Jahre 2011-2050 zusammen.

**Tab. 6-1 Begriffsdefinitionen der Materialintensitätsanalyse**

## 6.3 Technologieauswahl

O. Soukup (WI)

### 6.3.1 Vorgehensweise

Zur Bewertung der Materialintensität und der Treibhauswirkung eines langfristigen Ausbaus der Elektromobilität im Bereich des MIV ist es zunächst erforderlich, die relevanten Komponenten eines zukünftig elektrischen oder teilelektrischen Straßenverkehrs zu ermitteln. Hierfür werden im Rahmen dieses Kapitels diejenigen Technologien identifiziert, die bereits heute wesentlich zur Bereitstellung von Transportdienstleistungen mittels Pkw beitragen oder sich langfristig bis 2050 etablieren könnten. Ziel der Technologieauswahl ist es demnach, die konkreten Untersuchungsgegenstände für die nachfolgenden Analyseschritte dieses Kapitels herzuleiten.

Zu einer ersten Eingrenzung der Fahrzeugtypen, die im Rahmen der ökologischen Bewertung der Elektromobilität in die Untersuchungen einbezogen werden sollen, werden die zu berücksichtigenden Fahrzeugsegmente und Antriebskonzepte bestimmt. Anschließend werden die technischen Eigenschaften, die jeweiligen Komponenten dieser Fahrzeuge sowie relevante Bereitstellungspfade der Antriebsenergie identifiziert.

Die Gesamtheit der berücksichtigten Fahrzeugkomponenten und Varianten der Energiebereitstellung wird zusammenfassend als Technologie- und Prozessmatrix abgebildet, deren Elemente sich zu Typfahrzeugen mit definierter Versorgungsstruktur und bestimmten technischen Eigenschaften (z. B. Fahrzeuggewicht und -effizienz) kombinieren lassen.

### 6.3.2 Auswahl der Fahrzeugsegmente

Die Gliederung von Fahrzeugmodellen in verschiedene Segmente an Hand optischer, technischer und marktorientierter Merkmale wird beispielsweise durch das Kraftfahrtbundesamt (KBA) zur besseren statistischen Vergleichbarkeit von Fahrzeugdaten durchgeführt. Daneben existieren weltweit je nach Region oder Trägerorganisation weitere Klassifikationssysteme mit hohem Verbreitungsgrad, deren Eingruppierungen sich aber von denen des KBA deutlich unterscheiden können. Hierzu gehören beispielsweise die Klassifizierungen des Euro NCAP (Euro NCAP 2014) oder der Europäischen Kommission (European Commission 1999). Dieser Umstand spiegelt sich auch in vorhandenen Studien zu Szenarien und Marktpotenzialen der Elektromobilität wider, die überwiegend keine einheitlichen Klassifizierungen von Fahrzeugen vornehmen, vgl. z. B. (Hacker et al. 2009) und (Helms et al. 2011).

Auch in dieser Studie ist es demnach erforderlich, eine eigene Auswahl zu berücksichtigender Klassen von Fahrzeugen zu treffen. Zur vereinfachten Darstellung der Entwicklung von Fahrzeugflotten ist hierbei die Anzahl der zu berücksichtigenden Segmente zu begrenzen, wobei auf der oben bereits erwähnten Segmentierung des KBA aufgebaut wird: Abb. 6-2 zeigt, dass 45 % des Pkw-Bestandes im Jahr 2012 auf die beiden Segmente Kompaktwagen (z. B. VW Golf, Mercedes-Benz A-Klasse) und Mittelklasse (z. B. Audi A4, BMW 3er) entfielen.

## Anteile der Fahrzeugsegmente am Pkw-Bestand

in %

2012



2008



Minis

Kleinwagen

Kompaktwagen

Mittelklasse

Obere  
Mittelklasse

Geländewagen

Sonstige

Ein Quadrat entspricht einem Prozent

**Abb. 6-2** Anteile der Fahrzeugsegmente am Pkw-Bestand

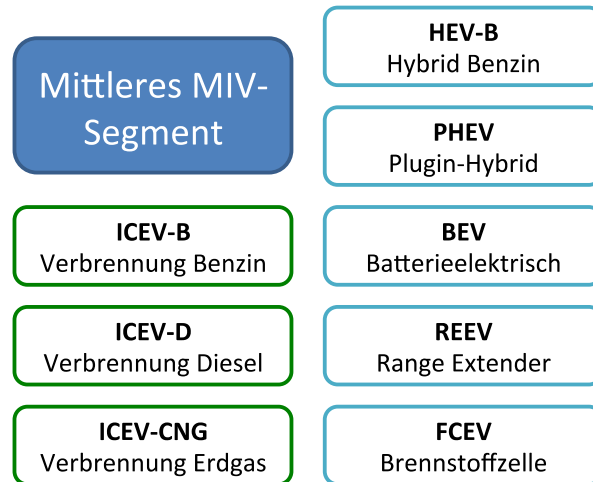
Quelle: (Statistisches Bundesamt 2013)

Auch hinsichtlich der Neuzulassungen in Deutschland im Jahr 2013 können 38 % der Pkw der Kompakt- und Mittelklasse zugeordnet werden, wobei insbesondere die Bedeutung der Kompaktklasse mit 25,6 % als zulassungsstärkstes Segment hervorzuheben ist (KBA 2014d).

Die Segmente Kompaktwagen und Mittelklasse gewährleisten demnach eine relativ gute Abdeckung des heutigen und zukünftigen Pkw-Bestandes. Sie werden deshalb für diese Studie zu einem „mittleren Segment“ zusammengefasst, welches im Weiteren als repräsentatives Segment für die Gesamtflotte verwendet wird. Es wird hier also vereinfachend angenommen, dass die betrachteten Flotten ausschließlich aus Fahrzeugen dieses Segments bestehen.

### 6.3.3 Auswahl von Antriebskonzepten

Im Anschluss an die zuvor beschriebene Auswahl eines repräsentativen Fahrzeugsegments werden die zu berücksichtigenden Antriebskonzepte definiert. Im Pkw-Bereich wird die Unterscheidung dieser Konzepte in verfügbaren Szenario-, Marktpotenzial- und Life-Cycle-Assessment (LCA)-Studien überwiegend einheitlich gehandhabt (vgl. z. B. DIW 2010 und Huss et al. 2013). Die gängige Differenzierung konventioneller und elektrischer Antriebe wird daher auch hier übernommen und ist in Abb. 6-3 dargestellt. Die Kombinationen aus Fahrzeugsegment und Antriebskonzept werden im Rahmen dieser Untersuchung als „Fahrzeugtypen“ bezeichnet - also bilden z. B. batterieelektrische Fahrzeuge des mittleren Segments einen Fahrzeugtyp.



**Abb. 6-3** Im Rahmen dieser Studie berücksichtigte Antriebskonzepte des mittleren Pkw-Segments

Die folgende Auflistung beschreibt die im Rahmen dieser Untersuchung berücksichtigten Konzepte. Sie ordnet diese zudem grob hinsichtlich ihrer heutigen und zukünftigen Marktbedeutung ein, die z. B. an Hand von Kriterien wie Marktpotenzial, Neuzulassungen und Entwicklung des Fahrzeugbestandes abgeschätzt werden kann. Verschiedene Potenzialstudien, die eine Quantifizierung dieser Größen vorgenommen haben, sind zusammenfassend im Anhang aufgeführt (siehe Anhang 10). Als Vergleichsgröße sei hier der zum 1. Januar 2012 in Deutschland zugelassene Gesamtbestand an Personenkraftwagen in Höhe von ca. 43 Mio. Fahrzeugen genannt (KBA 2012). Die Anzahl der Pkw-Neuzulassungen in Deutschland wird für das Jahr 2010 auf ca. 2,9 Mio. Fahrzeuge beziffert (KBA 2011).

**Internal Combustion Engine Vehicles (ICEV)** sind Fahrzeuge mit konventionellem Verbrennungsmotor. Sie werden weiter unterschieden nach ICEV-B (Benzin), ICEV-D (Diesel) und ICEV-CNG (Compressed Natural Gas/Erdgas).

Der Verbrennungsmotor stellt in allen Pkw-Segmenten heute eine etablierte Technologie dar. Vorhandene Marktszenarien zur Elektromobilität gehen von Effizienzsteigerungen und damit einer zukünftig weiterhin hohen Marktdurchdringung solcher Antriebe aus (Buchert et al. 2011). Es wird deshalb hier in den zuvor genannten Segmenten eine hohe Relevanz auch mit Hinblick auf zukünftige Entwicklungen ausgegangen. Allerdings beschreiben einige Quellen (Konietzko & Gernuks 2011, DLR 2012) unter gewissen Rahmenbedingungen langfristig betrachtet einen erheblichen Bedeutungsverlust von ICEV ohne elektrische Unterstützung. Diese Möglichkeit wird auch in den Verkehrsszenarien in Unterkapitel 6.6 berücksichtigt.

**Hybrid Electric Vehicles (HEV)** umfassen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor als Hauptantrieb und unterstützendem Elektroantrieb, der durch Bremsenergieerückgewinnung gespeist wird (Mild-Hybrid ohne und Full-Hybrid mit rein elektrischem Betrieb auf Kurzstrecken).

Nach (Helms et al. 2011) sind Hybrid-Pkw mit kleinen Hochleistungsbatterien bereits am Markt verfügbar, der Übergang zum Massenmarkt wird kurzfristig erwartet. (Konietzko & Gernuks 2011) rechnen insbesondere in einem moderaten Szenario neben Antrieben mit Verbrennungsmotor mit einer Dominanz von HEV mit 20 Mio. (Welt) und 3,5 Mio. (Europa) Neuzulassungen in 2025 sowie 60 Mio. (Welt) und 6 Mio. (Europa) Neuzulassungen in 2050. Auch Berechnungen des DLR mit Hilfe des Fahrzeugtechnik-Szenariomodells VECTOR21 haben für kleine, mittlere und große HEV eine hohe Relevanz hinsichtlich der Neufahrzeuge im deutschen Markt ab ca. 2020 ergeben (DLR 2012). Deren Verbleib im Markt bis 2040 ist

jedoch in diesen Rechnungen stark von Rahmenbedingungen wie Ölpreisfad und Kaufanreizen für stärker elektrifizierte Fahrzeuge (BEV, PHEV) abhängig.

**Plug-in-Hybrid Electric Vehicles (PHEV)** sind Fahrzeuge mit Verbrennungs- und Elektromotor, die auf Kurzstrecken einen rein elektrischen Betrieb ermöglichen (größere Entfernungen als HEV) und deren Batterie sowohl über Rekuperation als auch über das Stromnetz geladen werden können.

Nach (Hacker et al. 2009) dominieren insbesondere mittlere und große, aber auch kleine PHEV den Markt und Bestand der Elektrofahrzeuge in Deutschland schon mittelfristig (mit je etwa 200 000 Neuzulassungen in 2025 und steigender Bedeutung bis 2030). Im Bereich teillektrischer Pkw mit mittlerer Kapazität von 5-25 kWh (PHEV) sind nach (Helms et al. 2011) erste Serienfahrzeuge auf dem Markt verfügbar, Massenverfügbarkeit wird nach 2015 erwartet. Dies wird auch in den Szenariorechnungen von (DLR 2012) angenommen, die in beiden berechneten Varianten relevante Potenziale für PHEV in allen Pkw-Größenklassen im Zeitraum 2025-2040 zeigen.

**Battery Electric Vehicles (BEV)** sind Fahrzeuge mit rein elektrischem Antrieb, deren Akkumulatoren über das Stromnetz und zusätzlich per Rekuperation geladen werden.

Gemäß (Helms et al. 2011) sind vollelektrische Pkw mit mittlerer Kapazität (5-25 kWh) bereits in Form erster Serienfahrzeuge verfügbar, wobei eine Massenverfügbarkeit nach 2015 erwartet wird. Aus Berechnungen von (DLR 2012) ergeben sich ab 2025 hohe Markt- und Bestandsanteile für BEV aller Pkw-Größenklassen, die bis 2040 insbesondere im Szenario mit Kaufanreizen und hohem Ölpreis auf ca. 70 % Markt- und 30 % Bestandsanteil ausgebaut werden können.

**Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)** verfügen wie batterieelektrische Fahrzeuge über einen rein elektrischen Antrieb, der seine Traktionsenergie jedoch mit Hilfe von Brennstoffzellen aus Wasserstoff gewinnt.

Die Potenziale von Brennstoffzellenantrieben werden in vielen aktuellen Studien nicht als separate Kategorie ausgewiesen oder im Vergleich zu anderen elektrischen Antriebssystemen als gering eingeschätzt (vgl. Buchert et al. 2011, Hacker et al. 2009, DLR 2012). Auch im Pkw-Bereich existieren bislang nur einige wenige Kleinserienfahrzeuge (z. B. die B-Klasse F-CELL von Mercedes Benz). Nach DCTI (2010) stellen hohe Anschaffungspreise, fehlende Treibstoffinfrastruktur sowie die energieintensive Wasserstoffherstellung wesentliche Hindernisse dar. Die fehlende Infrastruktur beschreibt auch ESMT (2010) als relevantes Markthemmnis. Weil der Brennstoffzellenantrieb helfen kann, bestehende Reichweitenprobleme batterieelektrischer Antriebe zu lösen, wird hier eine größere Relevanz für schwere Fahrzeuge angenommen, die tendenziell eher auf Langstrecken eingesetzt werden.

**Range Extender Electric Vehicle (REEV)** sind Fahrzeuge mit elektrischem Hauptantrieb und Verbrennungsmotor und Generator zum Nachladen der Akkumulatoren.

Range Extender sind nach eigener Einschätzung relevant für solche Fahrzeuge, die auch auf eine hohe Reichweite angewiesen sind. Mit dem Opel Ampera existiert in der Kompaktklasse seit 2012 ein erstes entsprechendes Serienfahrzeug auf dem deutschen Markt. Nach (DLR 2012) ist die Bedeutung von REEV in beiden berechneten Szenarien geringer im Vergleich zu BEV und PHEV.



### 6.3.4 Technische Eigenschaften und Komponenten der Typfahrzeuge

Es wurde zuvor bereits dargestellt, welche Fahrzeugtypen in den Untersuchungen der weiteren Arbeitsschritte dieses Kapitels berücksichtigt werden sollen. Um diese Fahrzeuge über ihren Lebenszyklus hinweg bewerten zu können, ist zudem eine weitere Präzisierung dieser Festlegung erforderlich. Hierzu gehört einerseits eine Festlegung von technischen Basisparametern der betrachteten Fahrzeuge, andererseits auch eine Aufschlüsselung der Fahrzeuge nach zentralen Komponenten. Dies wird im Folgenden beschrieben.

Die für die Durchführung der MAIA erforderlichen technischen Parameter der Fahrzeuge beruhen auf (Huss et al. 2013). Hierbei handelt es sich insbesondere um das Gewicht des Gesamtfahrzeugs und einzelner Komponenten sowie um den jeweiligen Bedarf an Traktionsenergie. (Huss et al. 2013) weist hier zunächst für die verschiedenen Antriebskonzepte entsprechende Daten für ein Basisjahr 2010 aus. Diese werden zudem auf Grundlage eigener Expertenschätzungen hinsichtlich zukünftiger technologischer Entwicklungen für einen Zeitraum „2020+“ fortgeschrieben.

Für die langfristige Entwicklung nach 2020, zu der (Huss et al. 2013) keine weiteren Abschätzungen vornimmt, werden hier die folgenden eigenen Annahmen getroffen: Gegebenenfalls in (Huss et al. 2013) im Zeitraum 2010-2020 ausgewiesene prozentuale Gewichtsreduktionen werden gleichermaßen auch für 2020-2030 angenommen (vgl. Unterkapitel 10 im Anhang). Die Gewichtsangaben für 2040 und 2050 bleiben dann gegenüber 2030 konstant, es werden also keine weiteren Gewichtsreduktionen erwartet. In Hinblick auf die weiteren technischen Parameter (insbesondere den Bedarf an Antriebsenergie) werden dagegen keine weiteren Veränderungen angenommen. Die entsprechenden Parameter bleiben demnach gegenüber den Annahmen für 2020 unverändert.

Auch die Aufschlüsselung der Fahrzeuge in zentrale Komponenten basiert überwiegend auf der Struktur der in (Huss et al. 2013) ausgewiesenen Massenbilanzen der Fahrzeuge sowie auf Angaben aus (Notter et al. 2010). Es wird hier zwischen folgenden Komponenten unterschieden (für weitere Erläuterungen s. Unterkapitel 6.5):

- Glider (Masse des Fahrzeugs ohne Antriebsstrang und Energiespeicher)
- Verbrennungsmotor (Diesel, Benzin, Erdgas)
- Restantriebsstrang
- Energiespeicher (Kraftstofftank, Traktionsbatterie)<sup>21</sup>
- Elektromotor
- Leistungselektronik
- Leitungssatz
- Generator des REEV

---

<sup>21</sup> Das Themenfeld Energiespeicher ist der STROM Begleitforschung EMOTOR des Fraunhofer ISI zugeordnet und damit nicht originärer Bestandteil der STROMbegleitung durch DLR und WI. Dennoch ist es mit Hinblick auf die ökobilanziellen Betrachtungen dieses Kapitels erforderlich, Energiespeicher in den Analysen zu berücksichtigen. Hierzu hat auch eine Auswertung der Ergebnisse der EMOTOR Begleitforschung stattgefunden.

## – Brennstoffzelle

Die Massen und technischen Parameter dieser Komponenten stellen die spätere Basis für die Herleitung der Materialinventare der Fahrzeugtypen dar (s. hierzu Unterkapitel 6.4).

Für einige der Komponenten bestehen derzeit grundlegend unterschiedliche technologische Ausprägungen oder es ist zu erwarten, dass derzeit etablierte Technologien langfristig durch konkurrierende Konzepte verdrängt oder maßgeblich weiterentwickelt werden. Hinweise auf entsprechend relevante Technologien liefert hier auch die Trendanalyse zu Fahrzeugtechnik und -konzepten in Unterkapitel 4.2, die technologische und marktliche Trends für verschiedene Komponenten untersucht. Für die im Folgenden genannten Komponenten werden entsprechende Festlegungen der zu berücksichtigenden Ausprägungen in der Herleitung von Materialinventaren berücksichtigt. Hier nicht aufgeführte Technologien werden auf Basis generischer Materialinventare berücksichtigt. Weitere Erläuterungen zu diesen Technologien finden sich in Unterkapitel 6.5.

## **Elektromotor**

Die Trendanalyse Fahrzeugtechnik und -konzepte in Kapitel 4.1.3 hat bereits gezeigt, dass permanenterregte elektrische Synchronmaschinen (PSM) bei heutigen xEVs klar dominieren. Demnach verfügen etwa 95 % aller Fahrzeugneuvorstellungen im Zeitraum 2003-2013 über PSM. Asynchronmaschinen (ASM) haben dagegen nur in wenigen Fahrzeugen Einzug gehalten - werden aber mit zunehmendem Elektrifizierungsgrad etwas häufiger berücksichtigt. So verfügen ca. 12 % der im oben genannten Zeitraum neu vorgestellten BEV über ASM. Bei Hybriden spielt die höhere Leistungsdichte von PSM eine wichtige Rolle, da auf Grund der Vielzahl von verwendeten Komponenten hohe Anforderungen an die Kompaktheit der Elektromotoren gestellt werden. Der Anteil an ASM bei diesen Fahrzeugen ist daher zur Zeit vernachlässigbar gering. Auch die Untersuchung der Forschungsaktivitäten in Abschnitt 4.2.2 legen den Schluss nahe, dass die Dominanz von PSM in den kommenden Jahren Bestand haben wird. Die Patentanalysen, welche ein Indiz für die Aktivitäten der Industrie und somit für die Technologien der nächsten und übernächsten Generation sein können, zeigen, dass im Zeitraum 2002-2012 84 % der weltweiten Patente zu Motorbauformen im Bereich elektrifizierter Pkw Synchronmaschinen zum Gegenstand haben. Eine leichte Abkehr von dieser Entwicklung ist erst bei den Publikationsanalysen zu erkennen. Hier können verstärkte Aktivitäten in Richtung alternativer Bauweisen identifiziert werden.

In Anlehnung an die Ergebnisse der Trendanalyse sowie der Patent- und Publikationsanalyse wird im Rahmen der MAIA davon ausgegangen, dass es sich bei den Elektromotoren aller xEV zunächst ausschließlich um PSM handelt. Allerdings wird weiterhin auch berücksichtigt, dass im Rahmen früherer Forschungsprojekte (vgl. z. B. Wuppertal Institut 2014, Angerer et al. 2009, European Parliament 2011, Moss et al. 2013) Magnetwerkstoffe bereits als kritische Materialien identifiziert wurden und die Substitution auf Komponentenebene durch ASM zumindest eine technisch geeignete Möglichkeit darstellt, strategische Nachteile durch entsprechende Preisanstiege oder Lieferengpässe langfristig zu umgehen. Es wird deshalb hier angenommen, dass ASM ab 2030 neben PSM zusätzlich eine zunehmende Rolle als Motor-technologie spielen wird (vgl. Unterkapitel 6.3).

Weiterführende Informationen zu Aufbau und Funktionsweise verschiedener Ausführungen von Elektromotoren finden sich in Abschnitt 4.2.2.

## Energiespeicher (Batterien)

In Unterkapitel 4.1 wurde bereits die eingesetzten Energiespeicher in elektrifizierten Fahrzeugen analysiert. Dort wird deutlich, dass ab 2007 Batterien mit Li-Ionen-Technologie (Li-Ion) deutlich dominieren und insbesondere bei Fahrzeugen mit externer Lademöglichkeit fast ausschließlich eingesetzt werden. Lediglich Fahrzeuge mit eher geringem Elektrifizierungsgrad (Mild- und Voll-Hybride) nutzen dagegen auch andere Technologien (insbesondere Nickel-Metall-Hydrid, NiMH) in signifikantem Umfang.

Auch die STROM-Begleitforschung EMOTOR des Fraunhofer ISI (Hettesheimer, et al., 2013) kommt zu diesem Schluss. Dort wird auch festgestellt, dass hohe Anforderungen an die Batteriekapazität in PHEV und BEV derzeit nur durch Li-Ion-Batterien mit ihrer hohen Energiedichte erfüllbar sind. Als State-of-the-art bei Li-Ion wird dabei NCM (Nickel-Cobalt-Mangan) und LFP (Lithium-Eisen-Phosphat) bezeichnet. Zudem wird als Folge ausgereizter Technologieentwicklung bei NiMH ein deutlicher Anstieg der Nutzung von Li-Ion auch bei HEV erwartet.

Zur Einschätzung zukünftiger Entwicklungen von Batteriespeichern für die Elektromobilität greift die STROM-Begleitforschung EMOTOR auf die Ergebnisse eines Expertenpanels, einer Publikationsanalyse sowie einer Auswertung der in einschlägigen Studien berücksichtigten Zukunftstechnologien zurück. Demnach besteht die Möglichkeit, dass aktuelle Li-Ion-Batterien langfristig durch konkurrierende (disruptive) Technologien verdrängt werden. Entsprechende Potenziale werden vor allem Li-Schwefel-Batterien (LiS), aber auch Li-Luft-Batterien zugeschrieben. Diese Konzepte, die sich durch einen deutlichen Technologiesprung hinsichtlich der Energiedichte von heutigen Batterien abgrenzen, sind derzeit aber noch Gegenstand der Grundlagenforschung, so dass eine Markteinführung nicht vor 2030 zu erwarten ist. (Fan et al. 2013, Sauer & Thielmann 2013).

Weil Li-Ion-Batterien demnach für alle elektrischen Antriebskonzepte voraussichtlich noch lange marktbeherrschend sein werden und im Fall von HEV noch weiter an Bedeutung gewinnen werden, wird für die Analysen im Rahmen dieser Studie die folgende Annahme getroffen: Alle berücksichtigten batterieelektrischen Antriebskonzepte nutzen über den gesamten Betrachtungszeitraum Lithium-Ionen-Batterien. Hierbei wird auf Batterien vom Typ Lithium-Mangan-Oxid (LMO) zurückgegriffen, die beispielsweise im Nissan Leaf genutzt werden und für die eine gute Datenbasis besteht (s. Abschnitt 6.5.2). Weitere aktuelle Fahrzeugbatterie-Technologien werden hier nicht berücksichtigt: Zwar bezeichnet etwa (Sauer & Thielmann 2013) Li-Ion-Batterien vom Typ NCM (Nickel-Cobalt-Mangan) und LFP (Lithium-Eisen-Phosphat) als State-of-the-Art heutiger Li-Ion-Batterien. Jedoch wird auch in (Notter et al. 2010) der Ökobilanzierung batterieelektrischer Fahrzeuge eine LMO-Batterie zugrunde gelegt. Es wird dort davon ausgegangen, dass Nickel und Cobalt heutiger Batterien bereits in naher Zukunft aus Kosten- und Verfügbarkeitsgründen durch Mangan ersetzt werden. Die Sensitivitätsanalyse verschiedener Li-basierter Kathodenmaterialien wie Nickel, Kobalt oder Eisenphosphat zeigt zudem nur geringfügige Änderungen verschiedener Umweltwirkungen. Im Rahmen einer generischen Abschätzung wird deshalb als vertretbar eingeschätzt, die Vielfalt heutiger Materialkombinationen unberücksichtigt zu lassen, um die Komplexität der Bewertung von Batterien zu reduzieren. Post-Li-Ion-Batterien werden ebenfalls nicht berücksichtigt, weil Unsicherheiten hinsichtlich der Markteinführung bestehen und laut (Hettesheimer et al. 2013) zu Batterien der vierten Generation (LiS, Li-Luft) noch keine LCA-Daten vorliegen.

## **Energiespeicher (Kraftstofftanks)**

Für den gesamten Betrachtungszeitraum wird davon ausgegangen, dass Tanks für Flüssigkraftstoffe aus gehärtetem Kunststoff bestehen. Wasserstoff wird im Automobilsektor hauptsächlich bei 350 oder 700 bar gespeichert (U.S. Department of Transportation 2010). In diesem Druckbereich kommen ausschließlich Kohlefaserverbundwerkstoffe (CFK) zum Einsatz. Analog zu (Huss et al. 2013) wird angenommen, dass der Tank für Erdgasfahrzeuge zunächst aus Stahl besteht und ab 2020 ebenfalls ein Tank aus Verbundwerkstoffen eingesetzt wird.

## **Brennstoffzelle**

(Sauer & Thielmann 2013) kommt zu der Einschätzung, dass Protonenaustauschmembran-Brennstoffzellen (Proton-Exchange-Membrane Fuel Cell, PEM-FC) mit Wasserstoff-Drucktank heute und in Zukunft eine relevante Technologie für Energiespeicher der Elektromobilität darstellen. Diese Technologie wird deshalb auch für die Ableitung von Materialinventaren der FCEV verwendet.

### **6.3.5 Prozessketten und Technologiepfade**

Um eine lebenszyklusweite Betrachtung von Fahrzeugen und Szenarien zu ermöglichen, werden nicht nur die Fahrzeuge selbst, sondern alle für ihre Herstellung und ihren Betrieb erforderlichen Aufwendungen berücksichtigt und als Pfade dargestellt. Hierzu gehören neben verschiedenen Fahrzeugkonzepten, Antriebsarten und Energiespeichern auch die Bereitstellung der Traktionsenergie z. B. durch einen Kraftwerkspark oder durch Raffinerien sowie die Förderung und Verarbeitung stofflicher und energetischer Ressourcen.

## **Flüssigkraftstoffe und Biokraftstoff-Anteile**

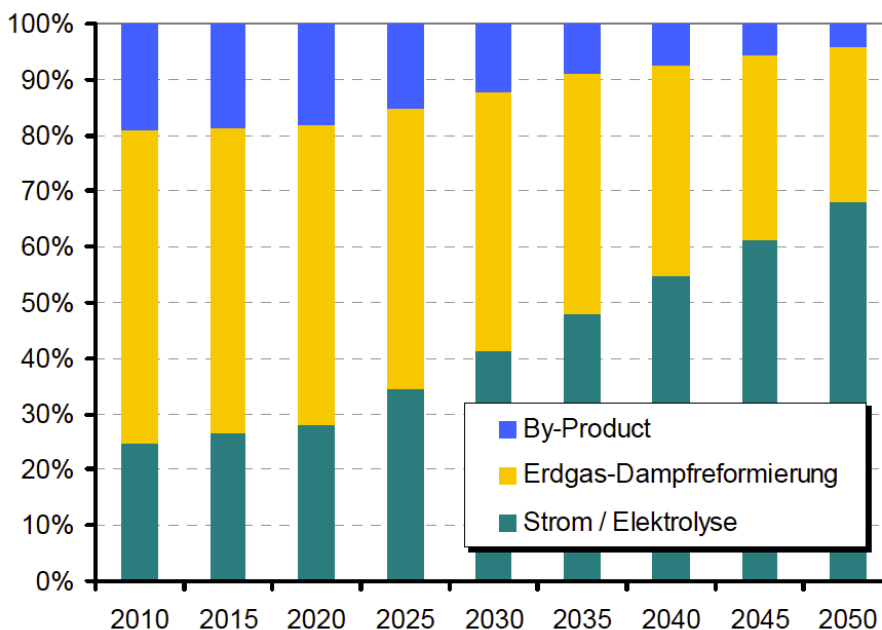
Hinsichtlich der zukünftigen Zusammensetzung der Flüssigkraftstoffe Benzin und Diesel sind insbesondere die zu erwartenden Beimischungsquoten für Biokraftstoffe zu definieren. Hier bestehen jedoch erhebliche Unsicherheiten: Neben technischen Problemen mit E10 (DAT 2013) haben auch Diskussionen über ein begrenztes Kraftstoff-Potenzial aus nachhaltiger Biomasse (vgl. z. B. Nitsch et al. 2012) zu einer Relativierung von ursprünglichen Vorgaben zur Steigerung der entsprechenden Kraftstoff-Anteile geführt.

Hier wird deshalb für den gesamten Betrachtungszeitraum von einer Betankung mit heute üblichen Kraftstoffmischungen ausgegangen. Hierbei handelt es sich um den Diesel-Regelkraftstoff D7 (7 Vol% Biodiesel) sowie den Otto-Kraftstoff E5 (5 Vol.-% Ethanol aus Biomasse). Die Wahl des Ottokraftstoffs weicht dabei vom aktuellen Regelkraftstoff E10 ab. Dies ist damit zu begründen, dass die Marktanteile von E10 in Deutschland weit hinter den Erwartungen geblieben sind, während E5 in 2013 mit einem Marktanteil von ca. 80 % weiterhin den Ottokraftstoff-Markt dominiert (BAFA 2014).

## **Wasserstoff**

Gemäß der Studie „Energiezukunft 2050“ (FfE 2009) wird die Herstellung von Wasserstoff derzeit durch die katalytische Umsetzung von leichten Kohlenwasserstoffen mit Wasserdampf (Dampfreformierung von Erdgas) dominiert. Allerdings erwartet die Studie, dass dieser Bereitstellungspfad zukünftig an Bedeutung verliert, während gleichzeitig die Anteile der Elektrolyse an der gesamten H<sub>2</sub>-Erzeugung steigen – von ca. 25 % in 2010 auf etwa 68 %

im Jahr 2050 (vgl. Abb. 6-4) (Teske et al. 2012, IEA 2012, Nitsch et al. 2012) gehen davon aus, dass die elektrolytische H<sub>2</sub>-Erzeugung zukünftig durch Umwandlung erneuerbarer (Überschuss-)Strommengen erfolgen wird.



**Abb. 6-4** Angenommene Entwicklung der Anteile verschiedener Wasserstoffbereitstellungspfade an der Wasserstofferzeugung

Quelle: (FfE 2009)

Auf dieser Grundlage wird hier angenommen, dass die Herstellung von Wasserstoff bis zum Stützjahr 2020 ausschließlich auf der Dampfreformierung von Erdgas beruht. Ab 2030 wird von einem deutlichen Anstieg des Herstellungsanteils durch alkalische Elektrolyse mittels Windstrom ausgegangen. Dabei wird für 2030 ein Anteil von 50 % und für 2040 eine vollständige Abdeckung des Wasserstoffbedarfs durch die alkalische Elektrolyse angesetzt.

### Erdgas

Eine alternative Einsatzmöglichkeit für regenerativen Wasserstoff ist die Aufbereitung zu synthetischem Erdgas zur Nutzung bestehender Infrastrukturen. Die Wirtschaftlichkeit dieses Konversionsschrittes ist aber von vielen Aspekten abhängig, wie z. B. zukünftiger Speicherkosten für Wasserstoff gegenüber zusätzlichen energetischen Verlusten der Methanisierung oder auch der Technologieentwicklung im Bereich der FCEV (vgl. z. B. (Teske et al. 2012).

Es wird hier deshalb davon ausgegangen, dass Wasserstoff aus erneuerbarem Überschussstrom im Verkehrssektor ausschließlich in FCEV genutzt wird, während für die Erdgas-Bereitstellung über den gesamten Betrachtungszeitraum der heutige Erdgas-Produktionsmix ab Tankstelle berücksichtigt wird. Zukünftige Veränderungen der Erdgas-Prozessketten (z. B. durch Veränderung der Lieferstruktur, weitere Transportentfernungen oder den Einsatz von verflüssigtem Erdgas, siehe (Arnold et al. 2010) werden vereinfachend nicht berücksichtigt.

## Elektrizität

Steigende Anteile erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung in Deutschland und weltweit sind mit relevanten Auswirkungen auf die Materialintensität und die THG-Emissionen insbesondere der Nutzung von Elektrofahrzeugen verbunden.

Als Grundlage für die Modellierung des Strombezugs der Herstellung und der Nutzungsphase von Fahrzeugen werden deshalb Annahmen zur langfristigen Entwicklung der Stromerzeugung in den betrachteten Ländern aus der verfügbaren Fachliteratur übernommen. Bei der Auswahl geeigneter Szenarien wurde darauf geachtet, dass diese bestimmte Anforderungen erfüllen. Hierzu gehören die Aktualität der Studie, die Abdeckung eines Betrachtungszeitraums bis 2050, die detaillierte Ausweisung der Anteile verschiedener konventioneller und erneuerbarer Technologien an der Bruttostromerzeugung für alle benötigten 10-Jahres-Schritte sowie hohe Anteile erneuerbarer Stromerzeugung im Zieljahr 2050. Bei der Auswahl eines geeigneten Energieszenarios für Deutschland wurde auch die im Rahmen des Projekts KRESSE (Wuppertal Institut 2014) durchgeführte Szenarioanalyse berücksichtigt.

Für Deutschland treffen diese Kriterien auf die Studie „Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global“ zu, die von DLR, Fraunhofer IWES und IfnE für das BMU erstellt wurde und Anfang 2012 erschienen ist (Nitsch et al. 2012). Die hier angenommene Langfristentwicklung der Stromerzeugung basiert dabei auf dem zentralen „Szenario 2011 A“ dieser Studie, aus dem sich die erforderlichen Angaben zum Erzeugungsmix sowohl für konventionelle als auch für erneuerbare Technologien für die benötigten Zehnjahresschritte ableiten lassen.

Für den globalen Stromerzeugungsmix bis 2050 wird dagegen auf die Studie energy [r]evolution von Greenpeace und EREC aus dem Jahr 2012 zurückgegriffen (Teske et al. 2012). Für die Modellierung werden dabei die Daten aus dem „energy revolution scenario“ verwendet.

Neben den zuvor genannten Annahmen zum Erzeugungsmix wird in einer Sensitivitätsrechnung auch die hypothetische Möglichkeit berücksichtigt, dass der Strombedarf von Elektrofahrzeugen vom Basisjahr an vollständig durch zusätzlich in das Stromnetz eingespeiste Windstrom-Mengen abgedeckt wird („Strommix 100 % REG“).

### 6.3.6 Fazit der Technologieauswahl

Im Rahmen dieses Kapitels wurde bislang festgelegt, dass sich die nachfolgenden Analysen auf Pkw des mittleren Fahrzeugsegments beziehen und dabei drei konventionelle sowie fünf elektrifizierte Antriebskonzepte berücksichtigen. Zudem wurde konkretisiert, welche technischen Eigenschaften die entsprechenden Typfahrzeuge aufweisen, aus welchen wesentlichen Komponenten sie aufgebaut sind und welche Bereitstellungspfade für die benötigte Antriebsenergie zu berücksichtigen sind.

Die Gesamtheit der identifizierten Fahrzeugkomponenten und Varianten der Energiebereitstellung wird zusammenfassend in der nachfolgenden Tab. 6-1 als Technologie- und Prozessmatrix abgebildet, deren Elemente sich wie dargestellt zu allen Typfahrzeugen dieser Analyse mit jeweils definierter Versorgungsstruktur und technischen Eigenschaften (z. B.

Fahrzeuggewicht und -effizienz) kombinieren lassen. Dabei wird unterschieden zwischen solchen Elementen, die bereits heute oder voraussichtlich zukünftig zur Verfügung stehen.

	Antriebskonzept für Fahrzeuge des mittleren Segments							
	Verbrennung			Elektromobilität				
	ICEV-B	ICEV-D	ICEV-CNG	HEV	PHEV	REEV	BEV	FCEV
<b>Systemkomponente</b>								
Glider	x	x	x	x	x	x	x	x
Verbrennungsmotor	x	x	x	x	x	x		
Restantriebsstrang	x	x	x	x	x	x	x	x
Tank (Kunststoff)	x	x		x	x	x		
Tank (Stahl)			x					
Tank (CFK)			o					x
Elektromotor (PSM)				x	x	x	x	x
Elektromotor (ASM)				(o)	(o)	(o)	(o)	(o)
Leistungselektronik				x	x	x	x	x
Leitungssatz				x	x	x	x	x
Batterie Li-Ion (LMO)				x	x	x	x	x
Generator						x		
Brennstoffzelle (PEMFC)								x
<b>Energiebereitstellung</b>								
Benzin E5	x							
Diesel D7		x						
Erdgas			x					
H2 Dampfref. Erdgas								x
H2 reg. Elektrolyse								(o)
Strommix Deutschland				x	x	x	x	
Strommix Welt				x	x	x	x	
Strommix 100% REG				(x)	(x)	(x)	(x)	
<b>Entsorgung</b>	x	x	x	x	x	x	x	x

Tab. 6-2 Antriebskonzepte und deren Zusammensetzung aus Systemkomponenten

Bedeutung der Symbole: **x**: berücksichtigt ab heute, **(x)**: berücksichtigt ab heute als alternative Option, **o**: ab 2030 bisherige Technologie ersetzend, **(o)** ab 2030 als zusätzliche Option

Die Elemente der Matrix in Tab. 6-2 konkretisieren die Untersuchungsgegenstände der nachfolgenden Arbeitsschritte der THG- und Materialintensitätsanalyse. Ihre Hinterlegung mit Lebenszyklus-Inventardaten (LCI-Daten) wird in den beiden folgenden Unterkapiteln 6.4 und 6.5 beschrieben.

## 6.4 Analyse bestehender Lebenszyklusstudien

K. Bienge (WI), J. Monscheidt (WI)

### 6.4.1 Vorgehensweise und Zielsetzung

Lebenszyklusanalysen sind etablierte Instrumente zur Analyse und Bewertung sowie zum Vergleich von Umweltwirkungen von Produkten, Technologien, aber auch ganzen Unternehmen. Abhängig von der Fragestellung und Betrachtungstiefe können unterschiedliche Analyse Kriterien und Umweltwirkungskategorien im Rahmen einer Lebenszyklusanalyse eingesetzt werden. So kann beispielsweise neben dem kumulierten Energieaufwand (KEA), das Treibhauspotential (THG; *global warming potential*, GWP) oder der Ressourcenbedarf im Fokus einer LCA stehen. Häufig werden dabei die Umweltwirkungen und der Bedarf an stofflichen und energetischen Ressourcen unterschiedlicher Technologiestrategien in Relation zu einer Referenzentwicklung betrachtet und bewertet.

Im Rahmen dieser Studie wurde eine Analyse über den gesamten Lebensweg durchgeführt, d.h. neben der Herstellung der Fahrzeuge wurde die Nutzungsphase inklusive der Energiebereitstellung als auch die Entsorgung der Materialien untersucht. Die untersuchten Antriebskonzepte und deren technische Parameter (z. B. Gewicht der Systemkomponenten) orientieren sich dabei an der Studie „*Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context*“ der Gemeinsamen Forschungsstelle (Joint Research Centre) der Europäischen Kommission (Huss et al. 2013) (siehe Unterkapitel 6.3).

Zur Bilanzierung der Umweltwirkungen unterschiedlicher Technologien werden Daten zum Material- und Energiebedarf aller Lebenszyklusphasen benötigt (Sachbilanz). Dieser Einsatz an Rohstoffen bildet die Datenbasis einer umfassenden Bilanzierung der Umweltwirkungen. Die Untersuchung im Rahmen der STROM-Begleitforschung stützt sich auf eine umfangreiche Auswertung von Studien und Forschungsergebnissen aus dem Bereich der ökobilanziellen Bewertung der Pkw-Mobilität. Diese wird im Folgenden erläutert.

### 6.4.2 Berücksichtigte Studien

Für die Literaturrecherche- und -auswertung wurden einschlägige Studien bis zu einem Publikationsdatum Dezember 2013 ausgewertet. Die Identifizierung und Analyse bereits bestehender Forschungsergebnisse ökobilanzieller Betrachtungen der Elektromobilität zur Bestimmung der Materialzusammensetzung als Datenbasis für die Lebenszyklusanalyse lief in drei Schritten ab:

#### (1) Quellensichtung

Zunächst wurde eine umfassende Literaturrecherche deutsch- und englischsprachiger Quellen durchgeführt. Dabei wurden insbesondere folgende Pfade verfolgt:

- Auswertung abgeschlossener und laufender einschlägiger Forschungsprojekte
- Internet- und Literaturdatenbankrecherche (inkl. Journals, Konferenzveröffentlichungen etc.)
- Berücksichtigung eigener Vorarbeiten des Wuppertal Instituts



In diesem ersten Schritt wurden existierende ökobilanzielle Betrachtungen der Elektromobilität und konventioneller Antriebskonzepte analysiert. Die hierbei erfassten Quellen wurden in einer Datenbank zusammengefasst. Insgesamt wurden ca. 100 Studien, Projektberichte, Journals und weitere Quellen identifiziert.

## (2) Selektionsprozess

Als zweiter Schritt wurden im Rahmen einer Grobanalyse aus den in Schritt 1 identifizierten Quellen diejenigen Studien für eine vertiefende Analyse ausgewählt, die für die STROM-Begleitforschung und die Ökobilanzierung der Elektromobilität relevant erschienen. Es wurden vor allem der Themenbereich der Studie, der Forschungsansatz, die Aktualität und die mögliche Datenverfügbarkeit betrachtet und ein Abgleich mit den Fragestellungen des Arbeitspakets vorgenommen. Fokussiert wurden die untersuchten Ressourcenaspekte und dargestellten Annahmen und Sachbilanzen der Elektromobilität und konventioneller Antriebskonzepte. Darauf aufbauend wurden vor allem Quellen mit Angaben zur Materialzusammensetzung und zu möglichen kritischen Rohstoffen vertieft ausgewertet. Gleichzeitig bildeten die Technologie- und Parametervorgaben nach (Huss et al. 2013) das analytische Grundgerüst, an dem sich im Rahmen der Auswertung orientiert wurde. Anhand eines Kriterienrasters zur Einstufung der Relevanz der gesichteten Quellen wurden 25 Studien vertiefend im Hinblick auf genannte, verfügbare und nutzbare Materialzusammensetzungen ausgewertet, um eine abschließende Eignungsprüfung für die Modellierung vorzunehmen. Einige Quellen waren aufgrund von Datenlücken für eine Lebenszyklusanalyse im Rahmen der STROM-Begleitforschung ungeeignet, die technischen Parameter der jeweiligen Systemkomponenten wichen zu stark vom Best-Case-Grundgerüst ab oder andere umfassten eine im Rahmen dieses Berichts nicht betrachtete/s Technologie/Antriebskonzept. Vor diesem Hintergrund wurden beispielsweise Quellen mit Sachbilanzen nicht-relevanter Zukunftstechnologien (z. B. Nickel-Metallhydrid-Akkumulator) im Rahmen der hier durchgeführten Materialintensitätsanalyse nicht berücksichtigt (siehe Anhang 10).

## (3) Finale Zuordnung

Im dritten und letzten Schritt der Literaturanalyse erfolgte die endgültige Auswahl der Quellen für die Modellierung der Antriebskonzepte im Rahmen der Materialintensitätsanalyse in Bezug auf Datenqualität und -verfügbarkeit. Die Modellierung wurde mittels einer Ökobilanzsoftware und der Nutzung der Ecoinvent-Datenbank durchgeführt. Daher wurde die Möglichkeit der Zuordnung der Materialinventare zu vorhandenen Ecoinvent-Prozessen geprüft.

Im Folgenden werden die zentralen Studien, die als Datengrundlage verwendet und anhand derer die Systemkomponenten modelliert wurden, vorgestellt (Notter et al. 2010, Schweimer & Levin 2000, Renault 2011, Buchert et al. 2011, POLITO et al. 2008). Weitere ausgewählte Studien, die nicht für die Modellierung genutzt wurden, aber als relevant im Forschungsumfeld erscheinen, werden im Anhang dargestellt. Dabei wird erläutert, warum sie im Rahmen dieser Modellierung nicht nutzbar waren (vgl. Helms et al. 2011, Angerer et al. 2009, (Burnham et al. 2006, Burnham et al. 2012)). Darüber hinaus wurden weitere Studien herangezogen, um weitere Systemkomponenten abzubilden oder Einzelaspekte zu untersuchen (siehe unten Weitere verwendete Quellen und Vorarbeiten des Wuppertal Instituts und im Abschnitt 6.5.2 zur Herleitung der Materialinventare).

### **Studie „Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles“**

Notter et al. (2010) bilanzieren und bewerten in ihrer Studie *Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles* ein batterieelektrisches Fahrzeug im Vergleich zu einem konventionellen Antriebskonzept, um die Umweltwirkung einer Batterie in der Herstellung, der Nutzung und der Verwertung zu ermitteln. Zur Abschätzung der ökologischen Auswirkungen werden sechs Indikatoren herangezogen, u.a. der Kumulierte Energieaufwand, das GWP 100 und der abiotische Ressourcenverbrauch (abiotic depletion potential, ADP). In der Studie werden detaillierte Materialinventare sowohl des Elektrofahrzeugs als auch des Fahrzeugs mit konventionellem Antrieb aufgeführt. Dabei entstammt das Materialinventar für das Fahrzeug mit Verbrennungsmotor der Ecoinvent-Datenbank 2.2 und basiert auf (Schweimer & Levin 2000). Auf Basis dieser Materialaufteilung wurden die Komponenten, die den Antriebsstrang bilden extrahiert, woraus ein Inventar für einen Glider resultiert. Der Glider wird im Anschluss als Basis für den Aufbau eines Elektrofahrzeug (BEV) verwendet, der um einen elektrischen Antriebsstrang sowie eine Batterie erweitert wurde. Zu den weiteren Komponenten sind ebenfalls Materialinventare angegeben.

Die Studie gibt eine umfassende und detaillierte Auflistung der Materialzusammensetzung für ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor als auch ein Fahrzeug mit Elektromotor (inkl. Energiebedarf für die Herstellung). Auf Grund der Datenverfügbarkeit und -qualität wurde diese Studie als hoch relevant für die STROM-Modellierung eingestuft und dient als Quelle für mehrere Systemkomponenten.

### **Studie „Fluence and Fluence Z.E. : Life Cycle Assessment“**

Die Studie *Fluence and Fluence Z.E.: Life Cycle Assessment* (Renault 2011) umfasst eine Lebenszyklusanalyse nach ISO 14040/44 des Renault Fluence-Modells mit den drei verschiedenen Antriebssystemen batterieelektrisch, Benzin und Diesel. Die Ergebnisse werden anhand von sechs Einflussgrößen (u.a. Kumulierter Energieaufwand, GWP 100 und Versauerungspotential) dargestellt. Die Analyse wird für die gesamten Fahrzeuge durchgeführt, es finden sich jedoch nur Materialzusammensetzungen zu den drei Motoren in der Studie wieder. Während beim Elektromotor das Materialinventar kumuliert als Motor inklusive weiterer Komponenten der Leistungselektronik (Laderegler, Konverter u.Ä.) angegeben ist, umfasst der Verbrennungsmotor keine weiteren Komponenten.

Das Materialinventar der Verbrennungsmotoren wird für die Analyse im Rahmen der STROM-Modellierung als hoch relevant eingestuft und als Datenbasis verwendet.

### **Studie „OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotentiale von Elektrofahrzeugen“**

In der Studie *Ressourceneffizienz und Ressourcenpolitische Aspekte des Systems Elektromobilität - Arbeitspaket 7* des Forschungsvorhabens „Optimierung der Umweltentlastungspotentiale von Elektrofahrzeugen“ (OPTUM) (Buchert et al. 2011) wurden die für die Elektromobilität relevanten Metalle identifiziert und der Rohstoffbedarf und die Umweltbelastung für einige davon untersucht. Dabei wurden mehrere Marktdurchdringungsszenarien für die Jahre 2020 und 2050 erstellt, um den künftigen Rohstoffbedarf abzuschätzen. Das Basisszenario I beruht auf der Studie (McKinsey & Company 2010). Die Autoren entwickelten Varianten mit Einfluss auf den globalen Bedarf an Primärmetallen, aus denen ein Innovationsszenario II mit zusätzlichen Annahmen zur stärkeren Materialeffizienz getroffen wurden, ein darauf auf-

bauendes Recyclingszenario III, das zudem Annahmen zu einem verstärkten Recycling berücksichtigt sowie ein Substitutionsszenario IV, das zusätzlich eine partielle Substitution von Elektromotoren mit Permanentmagneten durch alternative Motoren vorsieht. Die Umweltwirkungen des durch die Elektromobilität induzierten Rohstoffverbrauchs wurden basierend auf Ecoinvent-Daten berechnet. Es wurde eine Ökobilanzierung der Materialien (Umweltwirkungen der Primärproduktion) durchgeführt, die für die Elektromobilität relevant sind. Die Ergebnisse wurden in verschiedenen Wirkungskategorien dargestellt, u.a. als Kumulierter Energieaufwand (KEA), Ressourcenverbrauch (ADP) und Treibhauspotential (GWP). Abschließend wurden Handlungsempfehlungen hinsichtlich des künftig höheren Rohstoffbedarfs, u.a. eine intensive Betrachtung der Recyclingpotentiale der relevanten Metalle, gegeben.

In der Studie werden benötigte Mengen an Seltenen Erden und Edelmetallen für standardisierte Komponenten der Elektromobilität (u.a. Leistungselektronik und Motor) angegeben. Im Rahmen dieser Studie werden die Daten der Leistungselektronik für die Modellierung der Elektromobilität herangezogen.

#### **Studie „Sachbilanz des Golf A4“**

Die *Sachbilanz des Golf A4* von (Schweimer & Levin 2000) wurde in der Abteilung Forschung, Umwelt und Verkehr von der Volkswagen AG angefertigt und basiert auf der Entwicklungsstückliste eines Golf A4. Es wird eine lebenszyklusweite (Produktion, Nutzung, Verwertung) Ökobilanz nach den internationalen Standards ISO 14040/41 durchgeführt, beschränkt sich dabei auf Grund der Datenverfügbarkeit auf eine Sachbilanz, ohne eine ökologische Wirkungsabschätzung vorzunehmen. Die Materialinventare sind sehr detailliert angegeben, weshalb diese Studie häufig als Datengrundlagen bei der Ökobilanzierung von Fahrzeugen genutzt wird.

Die Materialinventare werden im Rahmen der Berücksichtigung von (Notter et al. 2010) für die STROM-Modellierung genutzt.

#### **Studie „New Energy Externalities Developments for Sustainability“**

(POLITO et al. 2008) haben im Rahmen des *New Energy Externalities Developments for Sustainability*-Projekts aktuelle Brennstoffzellentechnologien hinsichtlich ihrer technischen Eigenschaften, Kosten und ihrer Sachbilanz untersucht. Neben der Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle (PEMFC) und der Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle (MCFC) ist die Festoxid-Brennstoffzelle (SOFC) Teil der Untersuchung.

In ihrer Analyse berücksichtigen sie drei unterschiedliche Szenarien bei der zukünftigen Entwicklung der Brennstoffzellentechnologien, die auf fünf verschiedenen Faktoren basieren. Abhängig von den umweltpolitischen Zielen, der energetischen Versorgungssicherheit, dem technologischen Fortschritt, den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und möglicher konkurrierender Alternativen werden die drei Szenarien sehr optimistisch, optimistisch realistisch und pessimistisch zur Bewertung genutzt.

Die Studie umfasst sowohl für die PEMFC als auch die SOFC detaillierte Materialinventare und wird im Rahmen der STROM-Modellierung verwendet.

## Weitere verwendete Quellen und Vorarbeiten des Wuppertal Instituts

Neben der vorgestellten Literatur wurden darüber hinaus noch der Verbrauch von Wasser und Reifen über die Nutzungsphase berücksichtigt (Pusenius et al. 2005) und Materialinventare aus der Ecoinvent-Datenbank Version 2.2<sup>22</sup> (Frischknecht et al. 2005) beispielsweise für die Kraftstoffbereitstellung genutzt. Die Energiebereitstellung für die Elektrofahrzeuge beruht auf (Nitsch et al. 2012, Teske et al. 2012).

Darüber hinaus sind auch eigene Vorarbeiten des Wuppertal Instituts durch (Wiesen 2010, Samus et al. 2013) und den Ergebnissen des Forschungsprojekts KRESSE (Wuppertal Institut 2014) eingeflossen. Für detaillierte Erläuterungen zu den genutzten Daten aus den beschriebenen Quellen wird auf die Herleitung der Materialinventare (Abschnitt 6.5.2) verwiesen.

### 6.4.3 Ergebnis der Auswertung

Tab. 6-3 gibt einen Überblick über die schließlich verwendeten Quellen, die für die Modellierung der Antriebskonzepte und ihrer Systemkomponenten genutzt wurden. Die Herleitung der Systemkomponenten und die Modellierungsschritte werden im folgenden Abschnitt erläutert.

---

<sup>22</sup> Mit dem Stand des Projektendes 09/2014 lag die aktualisierte Version der Ecoinvent Datenbank vor. Diese v3.0 wurde im April 2014 zur Verfügung gestellt, lag aber nicht mit cut-off Kriterien vor, wie sie für die Modellierung nach dem MIPS-Konzept notwendig sind. Das erfolgte teilweise mit v3.01 (im Mai), vollständig wurde die Version mit cut-off Kriterien mit der Version 3.1 bereitgestellt (Juli 2014). Die Nutzung der Datenbank in LCA Software (openLCA) wird erst mit Zeitverzug ermöglicht, sodass für die MAIA im STROM-Projekt keine Nutzung der v3 möglich war.

	Notter et al. 2010	Renault 2011	Buchert et al. 2011	POLITO et al. 2008	Wiesen 2010	Frischknecht et al. 2005	Nitsch et al. 2012	Teske et al. 2012	Eigene Modellierung	Pusenius et al. 2005
<b>Komponente ICEV</b>										
Verbrennungsmotor		x								
Getriebe	x									
Tank	x									
Glider	x									
<b>Systemkomponente x-EV</b>										
Verbrennungsmotor		x								
Restantriebsstrang	x									
E-Motor (PSM)	x									
E-Motor (ASM)					x					
Leistungselektronik	x		x							
Generator (REEV)	x									
Leitungssatz	x									
Tank	x									
Batterie						x				
Brennstoffzelle				x						
<b>Nutzungsphase</b>										
Benzin						x				
Diesel						x				
Erdgas						x				
Wasserstoff									x	
Strommix (Dt.)							x			
Strommix (Welt)								x		
Strommix 100 % REG									x	
Wasserverbrauch										x
Reifenabrieb										x
<b>Entsorgung</b>							x			

Tab. 6-3 Übersicht der verwendeten Quellen zur Bestimmung der Materialinventare der jeweiligen Systemkomponenten und der Energiebereitstellung

## 6.5 Erstellung von Materialintensitätsanalysen

*K. Bienge (WI), J. Monscheidt (WI)*

### 6.5.1 Beschreibung der Materialintensitätsanalyse nach der MIPS-Methodik

Die Analyse des Materialbedarfs verschiedener Fahrzeugtypen wurde in der vorliegenden Studie mittels der Materialintensitätsanalyse (MAIA) basierend auf dem MIPS-Konzept „Material-Input pro Service-Einheit“ (MIPS) durchgeführt (Schmidt-Bleek et al. 1998, Liedtke et al. 2014).

Durch die MIPS-Analyse soll der gesamte Ressourcenverbrauch ermittelt werden, der durch das betrachtete Produkt bzw. dessen Nutzung verursacht wird. Im MIPS-Konzept umfasst der Materialinput (MI) eines Produktes alle systemweit zu dessen Erschaffung aktiv aus dem natürlichen Zustand entnommenen bzw. dort bewegten abiotischen und biotischen Rohstoffe sowie Wasser und Luft. Es werden alle zur Produktion, zum Gebrauch, zur Rezyklierung bzw. zur Entsorgung definierter Produkte eingesetzten Materialien einschließlich ihrer ökologischen Rucksäcke berücksichtigt. Der MI umfasst damit grundsätzlich auch alle aktiven Erdbewegungen, die während einer Wachstumsperiode für die Produktion landwirtschaftlicher Produkte notwendig sind. MI wird in Gewichtseinheiten (Tonnen oder Kilogramm) bemessen.

MIPS nimmt anders als die Ökobilanz nach ISO 14 044:2006 keine Abstraktion von Wirkungen auf bestimmte Wirkungsendpunkte vor (z. B. in Form von Charakterisierungsmodellen), kann aber auf potenzielle Umweltwirkungen hinweisen oder eine Ökobilanz ergänzen.

Im Unterschied zur Ökobilanz werden materielle Rohstoffe umfassender berücksichtigt, indem auch die wirtschaftlich ungenutzte Rohstoffextraktion betrachtet wird. Beispiele für ungenutzte Rohstoffextraktion sind der Abraum in Minen, der Erdaushub im Bau, Ernterückstände in Land- und Forstwirtschaft und Landverluste durch Erosion. Die Berücksichtigung solcher Stoffströme in MIPS geschieht vor dem Hintergrund, dass Umweltbelastungen nicht immer auf die chemischen Eigenschaften von Stoffen zurückzuführen sind. Probleme wie dauerhafte Entfernung fruchtbarer Erde (Translokation), das Absinken des Grundwasserspiegels oder die dauerhafte Veränderung des Landschaftsbildes werden eher durch die absolute Menge der extrahierten Rohstoffe verursacht (Bringezu et al. 2003, Mudd 2009) zeigt in einer Studie zur Nachhaltigkeit australischer Minen etwa, dass die kontinuierlich wachsenden Abraumengen dort und weltweit zu großen Umweltproblemen führen, die (bisher) weitestgehend unterschätzt worden sind.

Die Berechnung von MIPS erfolgt durch Bezug des Rohstoffbedarfs, Material-Input (MI) genannt, auf einen bestimmten Nutzen, die Serviceeinheit:

$$MIPS = \frac{MI [kg]}{Serviceeinheit}$$

Der MI umfasst alle natürlichen Ressourcen, d.h. sämtliche in einem Produkt oder Prozess enthaltenen Materialien werden bis auf ihren „Ursprung“, bis an die Grenze des Überganges von der Ökosphäre in die Technosphäre zurückverfolgt. Die Ressourcen werden in fünf Ressourcenkategorien eingeteilt:

- Abiotische Rohstoffe: Mineralische Rohstoffe, fossile Energieträger, nicht verwertete Rohförderung und bewegte Erde
- Biotische Rohstoffe: Pflanzliche Biomasse aus bewirtschafteten und Biomasse aus nicht bewirtschafteten Bereichen
- Wasser: Oberflächen-, Grund- und Tiefwasser (unterschieden nach Prozess- und Kühlwasser)
- Luft: Gebundene Moleküle (Verbrennung, chemische Umwandlung, physikalische Veränderung)
- Land- und forstwirtschaftliche Bodenbewegungen: Mechanische Bodenbewegung (Pflügen) oder Erosion

Alle Angaben entsprechen den in der Natur bewegten Massen, also den fünf genannten Kategorien. Die Herstellung, Nutzung und Entsorgung/Recycling werden auf ihren Materialbedarf zurückgerechnet.

Da die vorliegende Studie den materiellen Ressourcenbedarf thematisiert, beschränkt sich die Analyse auf die Ermittlung des MI für die abiotischen Rohstoffe. Die Ergebnisse der abiotischen Materialintensitätsanalyse werden im Indikator abiotischer Materialbedarf ausgedrückt. Damit ist nicht ausgeschlossen, dass eines der untersuchten Systeme, trotz relativ geringem abiotischem Materialbedarf in anderen Kategorien (z. B. Wasserbedarf), ressourcenintensiver ist. Für biotische Rohstoffe wird angenommen, dass ihr Anteil am gesamten Materialbedarf der jeweiligen Energiesysteme nicht signifikant ist. Dennoch ist gerade vor dem Hintergrund der steigenden Anteile regenerativer Energien, eine Zunahme des biotischen Materialbedarfs zu erwarten, sodass es zu einem gegenläufigen Effekt kommen könnte. Dieser Aspekt konnte im Rahmen dieser Studie jedoch nicht berücksichtigt werden und erfordert weiteren Forschungsbedarf.

Die für die Analyse zu Grunde gelegten Lebenszyklusanalysen basieren auf der Ecoinvent-Datenbank (Version 2.2<sup>22</sup>). Die betreffenden Ecoinvent-Prozesse wurden nach dem MIPS-Konzept auf der Inputseite (um die ungenutzte Ressourcenextraktion) ergänzt. Dies wurde mit Hilfe einer im Ecospond-Format erstellten Methode der Wirkungsabschätzung umgesetzt, die sich in LCA-Software importieren lässt (MIPS-Bewertungsschema). Als Datenbasis für die ungenutzte Ressourcenextraktion wurden Daten aus (Wuppertal Institute et al. 2008) genutzt. Die genaue Vorgehensweise ist in (Wiesen et al. 2014) (Saurat & Ritthoff, 2013) beschrieben.

### 6.5.2 Herleitung der Materialinventare von Systemkomponenten

Basierend auf den ausgewählten Technologiepfaden (siehe Unterkapitel 6.3) wurden die identifizierten Materialinventare der berücksichtigten Studien (siehe Abschnitt 6.4.2) geprüft. Dabei wurde die Datenqualität und die Möglichkeit der Zuweisung der Materialinventare zu den Systemkomponenten hinsichtlich konsistenter und vergleichbarer Technologiekennelemente nach (Huss et al. 2013) berücksichtigt. Dennoch sind Abweichungen der Fahrzeug- und Komponenteneigenschaften der gesichteten Quellen von den technischen Parametern aus (Huss et al. 2013) wahrscheinlich. Aus diesem Grund ist eine Skalierung der gesichteten Materialinventare auf das festgesetzte Fahrzeugsegment notwendig. Dazu wurde die Masse

der Systemkomponenten aus der Literatur auf die Komponentenmasse nach (Huss et al. 2013) angepasst. Tab. 6-4 stellt dazu beispielhaft die jeweiligen Systemkomponenten für ein Hybridfahrzeug mit den Massenangaben aus der Literatur und (Huss et al. 2013) gegenüber.

Für den Verbrennungsmotor ergibt sich beispielsweise ein Skalierungsfaktor von 1,02: bei einer Masse von 145 kg (Huss et al. 2013) und einer Masse von 142 kg, für die ein Materialinventar identifiziert wurde (Renault 2011). Für andere Systemkomponenten fallen die Skalierungsfaktoren entsprechend größer oder kleiner aus. Es ist anzumerken, dass eine lineare Skalierung auf Basis der Komponentenmasse eine Vereinfachung darstellt und nur eine grobe Abschätzung der tatsächlichen Materialinventare erlaubt. Das liegt daran, dass eine lineare Skalierung der Masse bei einigen Systemkomponenten nur bedingt möglich ist (beispielsweise liegt bei den Elektromotoren kein direkter Zusammenhang zwischen Leistung und Masse vor, da weitere Parameter berücksichtigt werden müssten). Dagegen erweist sich die proportionale Beziehung der Komponentenmasse beispielsweise bei dem Glider und dem Verbrennungsmotor als gute Annäherung.

Bei den Gewichtsangaben in Tab. 6-4 handelt es sich um Werte für 2010. Auf Basis von (Huss et al. 2013) wurden für die Zeiträume 2010, 2020 und 2030 Gewichtsreduzierungen bei einem Großteil der Systemkomponenten angenommen (vgl. Tab. 10 bis Tab. 10-11 im Anhang). Auf Grund dieser Annahmen werden die Materialinventare der einzelnen Systemkomponenten für die Jahre 2010, 2020 und 2030 mit unterschiedlichen Skalierungsfaktoren angepasst. Ab 2030 wird von keiner weiteren Reduzierung ausgegangen, sodass der Materialbedarf bis 2050 konstant bleibt.

	Masse nach Literatur	Masse nach (Huss, Maas, & Hass, 2013)	Skalierungsfaktor
<b>Systemkomponente</b>	kg	kg	-
Verbrennungsmotor	142	145	1,02
Getriebe	19	80	4,21
Elektromotor (PSM)	60	24	0,40
Leistungselektronik	16	8	0,51
Leitungssatz	3	11	3,53
Tank	12	15	1,25
Batterie	300 bzw. 1 <sup>1</sup>	34	34,00
Glider	782	988	1,26

<sup>1</sup> Der Ecoinvent-Output bezieht sich auf 1 kg Batterie

**Tab. 6-4** Gegenüberstellung der Komponentenmasse aus Literatur und der verwendeten Datenbasis für einen HEV für das Jahr 2010 und daraus resultierende Skalierungsfaktoren

Quellen: (Renault 2011, Notter et al. 2010, Frischknecht et al. 2005, Huss et al. 2013)

Die Energie für die Herstellung der Systemkomponenten wird kumuliert für den Glider, die Batterie, die Brennstoffzelle und die als Antriebsstrang zusammengefassten restlichen Systemkomponenten berücksichtigt. Benötigte Energie aus vorherigen Prozessschritten wird über die vorgelagerten Ecoinvent-Prozesse abgebildet, sodass nur der Energiebedarf für die Endmontage der Komponenten ergänzt werden muss. Weiterhin wird davon ausgegangen,



dass der benötigte Energiebedarf für die Produktion der Systemkomponenten über die Jahre konstant bleibt und nur im Rahmen der Gewichtsreduzierung abnimmt. Hierbei handelt es sich um eine konservative Abschätzung, da die Herstellungsprozesse noch weitere Effizienzpotentiale aufweisen können. Der Transportaufwand wird für die Vorketten über Ecoinvent abgebildet, der Transportaufwand der zwischen dem Zusammenbau der Systemkomponenten und der Endmontage des fertigen Fahrzeug anfällt, kann an dieser Stelle auf Grund mangelnder Datenverfügbarkeit hinsichtlich der Produktionsstätten nicht berücksichtigt werden.

In einigen Fällen enthalten die Materialinventare der Systemkomponenten weitere Baugruppen als Unterkomponenten, z. B. Leiterplatten oder Kabel. Diese werden bis auf Materialebene aufgeschlüsselt dargestellt. Die aufgeschlüsselte Berücksichtigung der Unterkomponenten ist weniger für den abiotischen Materialbedarf, als für die Betrachtung kritischer Ressourcen relevant. Gerade in elektronischen Bauteilen finden sich häufig Halbleiterelemente oder andere seltene Rohstoffe, die im Rahmen von Kritikalitätsbewertungen von Bedeutung sein können.

Bei der Verarbeitung der Materialien und dem Herstellungsprozess der Systemkomponenten fallen Verluste an. Diese sind vom jeweiligen Material und der Fertigungsweise abhängig. Die im Rahmen dieser Studie angesetzten Verluste basieren auf den Annahmen von (Notter et al. 2010). Tab. 6-5 zeigt eine Übersicht der wichtigsten Materialien mit den zugehörigen Verlustfaktoren, die entsprechend für alle Materialinventare angesetzt wurden. Die Verlustfaktoren beziehen sich auf die Fertigung der finalen Komponenten und berücksichtigen beispielsweise Verluste durch Zerspanen. Vorgelagerte Herstellungsschritte sind über die Vorketten mit berücksichtigt. Bei abweichenden einfließenden Materialien erfolgte eine Zuordnung der Faktoren hinsichtlich ähnlicher Materialien beziehungsweise Herstellungsverfahren.

Material	Verlustfaktor
Aluminium	1,25
Gussstahl	1,5
Kupfer	1
Niedrig legierter Stahl, Kaltfeinblech	1,25
Permanentmagnet (Neodym, Eisen, Bor)	1,25
Synthetische Materialien	1,1

**Tab. 6-5 Übersicht der Verlustfaktoren ausgewählter Materialien**

Quelle: (Notter et al. 2010)

## Herstellungsphase

Im Folgenden wird das Vorgehen der Herleitung der Materialinventare für die einzelnen Systemkomponenten separat erläutert. Für die Materialinventare wird auf die verwendeten Quellen verwiesen. Bei Abweichungen von den in den Quellen angegebenen Angaben als auch bei einer eigenen Modellierung, werden die Annahmen sowie die Materialinventare und Prozesse aufgeführt und erläutert.

**Systemkomponente Glider:** Die Materialzusammensetzung des Gliders basiert auf (Notter et al. 2010) und umfasst unter anderem die Karosserie, das Fahrgestell und die Innenaus-

stattung der Fahrzeuge. Das Materialinventar ist für alle Antriebskonzepte identisch. Die Massen der Glider der jeweiligen Antriebskonzepte und die resultierenden Skalierungsfaktoren bei einem Literaturgewicht von 782 kg sind in Tab. 10 im Anhang aufgeführt.

**Systemkomponente Verbrennungsmotor:** Die Materialzusammensetzung für die Verbrennungsmotoren (Benzin und Diesel) stammt aus (Renault 2011). Die Zuordnung der Materialien zu den Prozessen im Rahmen der Modellierung ist in Tab. 6-6 dargestellt. Der Stahlanteil im Motor wird als Guss angesetzt und über den Prozess „*reinforcing steel*“ modelliert. Hierbei handelt es sich um einen Mix aus unlegiertem und niedrig legiertem Stahl. Für den Erdgasmotor liegt kein Materialinventar vor. Als Annäherung wird daher die Materialzusammensetzung eines Benzinmotors angesetzt. Diese Annahme scheint vor dem Hintergrund von Fahrzeugen mit bivalenter Betriebsweise realistisch: Diese Fahrzeuge können ihre Kraftstoffbereitstellung zwischen Benzin und Erdgas wechseln, wobei die notwendigen Umrüstungsmaßnahmen hauptsächlich die Einspritztechnik und den Tank betreffen.

Material nach (Renault 2011)	Ecoinvent-Prozess
Aluminium	aluminium, production mix, cast alloy, at plant
Elastomer Mix	tube insulation, elastomere, at plant
EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk)	synthetic rubber, at plant
Glasfaserverstärkter Kunststoff	glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant
Kupfer	copper, at regional storage
Material Mix	Mischung aus lubricating oil, at plant und polyphenylene sulfide, at plant
Nachwachsender Material Mix	thermo-mechanical pulp, at plant
Polymer Mix (PET)	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant
Polypropylen	polypropylene, granulate, at plant
Rostfreier Stahl	chromium steel 18/8, at plant
Stahl	reinforcing steel, at plant

**Tab. 6-6** Materialzusammensetzung und zugeordnete Ecoinventprozesse für den Verbrennungsmotor

Quelle: (Renault 2011), eigene Annahme

Bei den Elektrofahrzeugen HEV, PHEV und REEV, die neben dem Elektromotor auch einen Verbrennungsmotor besitzen, werden ausschließlich Ottomotoren angesetzt, da die Diesel-Hybridvariante wie in Unterkapitel 6.3 erläutert nur eine geringe Bedeutung zukommt. Die einzelnen Massen der Verbrennungsmotoren von 2010 bis 2030 und die daraus resultierenden Skalierungsfaktoren sind in Tab. 10-2 im Anhang dargestellt.

**Systemkomponente Restantriebsstrang:** Über den Restantriebsstrang werden Komponenten eines motorlosen Antriebsstrangs berücksichtigt. Bei den ICE-Fahrzeugen sind dies unter anderem das Abgas-, Kühl- und Starter-System. Bei den batterieelektrischen Fahrzeugen mit zusätzlichem Verbrennungsmotor wird über den restlichen Antriebsstrang hauptsächlich das deutlich schwerere Getriebe abgebildet. Bei reinen Elektrofahrzeugen fällt das Getriebe entsprechend kleiner aus. Das Kühlsystem wird bei den Elektrofahrzeugen dem Elektromotor zugerechnet. Das Materialinventar basiert auf dem Antriebsstrang von (Notter

et al. 2010). Davon abweichend wurde statt eines Aluminium-Produktionsmixes mit einem Hauptanteil an Primärmaterial ein Aluminiumguss mit einem Hauptanteil Sekundäraluminium („*aluminium, production mix, cast alloy, at plant*“) verwendet, um beispielsweise das Gehäuse des Getriebes abzubilden. Der Restantriebsstrang unterliegt keiner Gewichtsreduzierung und hat somit gleichbleibende Skalierungsfaktoren (vgl. Tab. 10-3 im Anhang).

**Systemkomponente Tank:** Der Tank ist sowohl bei den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren (inklusive HEV, PHEV und REEV,) als auch bei dem Brennstoffzellenfahrzeug Teil des Materialinventars. Für flüssige Kraftstoffe (Benzin und Diesel) wird ein Tank aus gehärtetem Kunststoff angenommen und der Materialbedarf über (hochdichtes) Polyethylen (HDPE) ermittelt (Notter et al. 2010). Wasserstoff wird im Automobilsektor hauptsächlich bei 350 bar oder 700 bar gespeichert (Flamberg et al. 2010). In diesem Druckbereich kommen ausschließlich Kohlefaserverbundwerkstoffe (CFK) zum Einsatz. Der Tank für Erdgasfahrzeuge besteht bis 2020 aus Stahl (Huss et al. 2013) und wird über ein Kaltfeinblech modelliert. Ab 2020 wird ebenfalls ein Tank aus Verbundwerkstoffen eingesetzt. Der abiotische Materialbedarf von CFK liegt nach (Stahl im Vergleich) bei 35,594 kg/kg.

Der Wasserstofftank weist auf Grund eines mit der Zeit abnehmenden spezifischen Gewichts im Gegensatz zu den übrigen Tanksystemen eine absolute Gewichtsreduzierung auf (siehe Tab. 10-4 im Anhang). Bei dem Erdgastank resultiert die Gewichtsabnahme aus der Substitution des Materials und der verminderten Anzahl eingesetzter Gaszylinder (Huss et al. 2013).

**Systemkomponente Elektromotor:** Der Elektromotor wird ab 2010 zunächst als Technologie mit permanenterregtem Synchronmotor (PSM) betrieben. Das Materialinventar (vgl. Tab. 10-5 im Anhang) inklusive des Kühlsystems wurde aus (Notter et al. 2010) entnommen. Wie bei dem Restantriebsstrang wurde abweichend der Anteil an Sekundäraluminium erhöht, indem wieder eine Gusslegierung eingesetzt wurde („*aluminium, production mix, cast alloy, at plant*“).

Das Materialinventar des eingesetzten PSM umfasst einen Neodym-Eisen-Bor-Magnet, der Ferrite auf Neodymbasis aufweist. Auf Grund der Betriebstemperaturen des Elektromotors wird zur Steigerung der Temperaturstabilität in der Regel Dysprosium beigemischt. Vor dem Hintergrund der Kritikalitätsbewertung, wird die in Tab. 6-7 dargestellte Materialaufteilung für einen Permanentmagneten basierend auf (Wuppertal Institut 2014 nach Du & Graedel, 2011) angesetzt und der Anteil an Dysprosium zu der ursprünglichen Materialzusammensetzung hinzugefügt und die neuen Massenanteile bestimmt.

Der abiotische Materialbedarf von Dysprosium wurde unter der Annahme vergesellschafteter Metalle und ähnlicher Abbaumethoden über den Bedarf von Neodym angenähert.

Wie in der Technologieauswahl (Unterkapitel 6.3) dargestellt, wird davon ausgegangen, dass ab 2030 neben dem PSM zusätzlich der Asynchronmotor (ASM) eine zunehmende Rolle als Motortechnologie spielen könnte. Der Materialbedarf eines ASM wurde auf Grund mangelnder Daten näherungsweise anhand der Materialzusammensetzung eines Asynchrongenerators einer Windkraftanlage ermittelt und entsprechend skaliert. Das Materialinventar basiert auf einer Expertenbefragung (Wuppertal Institut 2014)

Material	Anteil
	%
Neodym	20
Dysprosium	5
Ferrite	74
Bor	1

**Tab. 6-7 Materialzusammensetzung des Permanentmagneten**

Quelle: (Wuppertal Institut 2014 nach Du & Graedel 2011)

Über den Betrachtungszeitraum wird ein zunehmender Anteil an Fahrzeugen mit ASM erwartet, sodass der Anteil der Fahrzeuge mit PSM entsprechend abfällt. In dem Standardszenario wird ab 2030 der ASM-Anteil auf 15 % festgesetzt und steigt im weiteren Verlauf auf 25 % nach 2040. Die Verteilung der Materialzusammensetzung wurde für diese Jahre entsprechend der Anteile von ASM und PSM ermittelt. In einem Alternativszenario zum optimierten Umgang mit kritischen Ressourcen (vgl. Unterkapitel 6.9) wird von einem deutlich schnelleren Anstieg des ASM-Anteils ausgegangen.

**Systemkomponente Leistungselektronik:** Die Leistungselektronik ist Bestandteil der batterieelektrischen Antriebskonzepte und beinhaltet u.a. die Lade- und Regeleinheit. Zur Bestimmung des abiotischen Materialbedarfs wird ein leicht abgewandeltes Materialinventar aus (Notter et al. 2010) verwendet. Die Leistungselektronik setzt sich unter anderem aus einer Leiterplatte (printed wiring board, PWB) als Model der elektronischen Bauteile zusammen. Zur Abschätzung der einfließenden Materialien wird das PWB in seine Materialbestandteile aufgeschlüsselt. Diese Materialbestandteile berücksichtigen bereits anfallende Verluste, weshalb diese Materialien nicht mit Verlustfaktoren verknüpft wurden. Die Leistungselektronik weist nach (Huss et al. 2013) für alle batterieelektrischen Antriebskonzepte die gleiche Masse von 8 kg auf und unterliegt keiner Gewichtsreduzierung über die Zeit.

Zur Abschätzung der Anteile kritischer Rohstoffe wurden ergänzende Annahmen basierend auf spezifischen Quellen vorgenommen. Der Anteil kritischer Rohstoffe aus (Notter et al. 2010) ist im Vergleich mit anderen Literaturangaben sehr gering, sodass der Bedarf in der Leistungselektronik anhand weiterer Quellen berücksichtigt wurde. In (Buchert et al. 2011) ist der Bedarf kritischer Rohstoffe für die Leistungselektronik für Elektromotoren mit kleiner und großer Leistung angegeben. Nach eigener Annahme wurden entsprechend der Leistungsklasse der Elektromotoren für die Antriebskonzepte HEV und PHEV das Inventar für kleine Leistungen und für REEV, BEV und FCEV das Inventar für große Leistungen angesetzt. Tab. 6-8 zeigt die zu Grunde gelegten Prozesse aus Ecoinvent und den zugewiesenen Anteil an kritischen Rohstoffen je Antriebskonzept.

Material	Ecoinvent-Prozess	Menge nach (Buchert et al. 2011) in g pro Fahrzeug	
		HEV / PHEV	REEV / BEV / FCEV
Gallium	gallium, semiconductor-grade, at regional storage	0,030	0,05
Germanium	gallium, semi-conductor-grade, at regional storage	0,030	0,05
Gold	gold, at regional storage	0,016	0,20
Indium	indium, at regional storage	0,030	0,05
Palladium	palladium, at regional storage	0,064	0,08
Silber	silver, at regional storage	4	6

**Tab. 6-8 Materialbedarf an kritischen Rohstoffen für die Leistungselektronik je Antriebskonzept**

Quelle: (Buchert et al. 2011), eigene Annahmen

Für die Berechnung des abiotischen Materialbedarfs von Germanium liegen keine Daten vor. Stattdessen wurde der Bedarf über eine Annäherung von Zinksulfid (Sphalerit) getroffen, da nach (UKERC 2013) Germanium durch den Abbau von Zinkerzen gewonnen wird, wobei der Anteil bei bis zu 0,3 % liegen kann.

**Systemkomponente Generator:** Der Generator ist Bestandteil des REEV und dient zur Reichweitenunterstützung durch die Erzeugung elektrischer Energie mittels des Kraftstoffs (Benzin). Im Standardszenario wird der Generator vollständig als permanenterregter Synchronmotor modelliert. Analog zum Motor wurde Aluminiumguss statt dem Produktionsmix verwendet und der Magnet um den Dysprosiumanteil ergänzt. Die Masse und die Skalierungsfaktoren sind in Tab. 10-7 im Anhang aufgeführt. Ein zunehmender Anteil an Asynchronmotoren wird in einem Alternativszenario zum optimierten Umgang mit kritischen Ressourcen berücksichtigt (vgl. Unterkapitel 6.8).

**Systemkomponente Leitungssatz:** Der Leitungssatz ist Bestandteil der batterieelektrischen Antriebskonzepte und bildet die Verkabelung ab. Wie in Tab. 10-8 dargestellt, ist keine Abnahme der Materialmenge vorgesehen. Der abiotische Materialbedarf wird über den Herstellungsprozess eines Kabels auf Basis von (Notter et al. 2010) modelliert. Um die Zusammensetzung abzuschätzen, wird der Leitungssatz wie die Leiterplatte in die einzelnen Materialbestandteile aufgeschlüsselt.

**Systemkomponente Batterie:** Die Batterie basiert auf der Lithium-Ionen-Technologie auf Lithium-Mangan-Oxid-Basis. Die Batterie wurde über einen Ecoinvent-Prozess (Frischknecht et al. 2005) modelliert und auf das jeweilige Referenzgewicht nach Tab. 10-9 im Anhang skaliert. Die in der Materialzusammensetzung befindlichen Sub-Komponenten Leiterplatte und Kabel wurden ebenfalls bis auf die Materialebene aufgeschlüsselt.

Die Herstellungsenergie für die Batterie bezieht sich auf den letzten Fertigungsschritt (Zusammenbau der einzelnen Batteriekomponenten), und wird mit dem UCTE-Strommix (Mittelspannung) modelliert. Der spezifische Energiebedarf der Batterie beträgt dabei 0,11 kWh/kg, woraus für die jeweiligen Antriebskonzepte entsprechend der Batteriemasse die benötigte Energiemenge je Batterie resultiert.

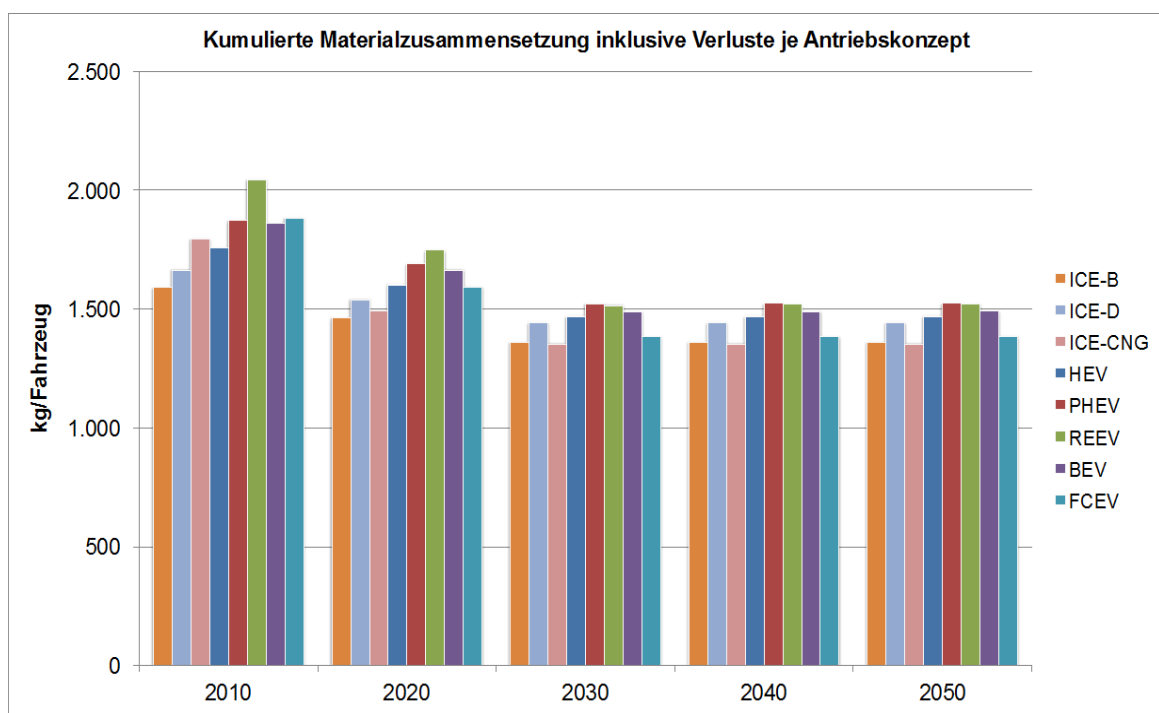
Die vorgelagerten Herstellungsschritte berücksichtigten sowohl den dafür notwendigen Energiebedarf als auch die anfallenden Verluste. Die Batterielebensdauer beträgt nach (Helms et al. 2011) ca. 8 Jahre. Da die Nutzungsphase der Fahrzeuge auf 10 Jahre festge-

setzt wird, wird für die Bilanzierung vereinfacht davon ausgegangen, dass während der Lebensdauer des Fahrzeugs kein Austausch der Batterie notwendig wird.

**Systemkomponente Brennstoffzelle:** Die Brennstoffzelle des FCEV basiert auf der Protonenaustauschmembran-Technologie (PEM-Brennstoffzelle), dabei wurde das Materialinventar auf Basis von (POLITO et al. 2008) genutzt und entsprechend der Gewichtsvorgabe skaliert (vgl. Tab. 10-10 im Anhang). In Tab. 10-11 sind die angesetzten Ecoinvent-Prozesse und die jeweilige Materialmenge für die Jahre 2010 bis 2030 ohne Berücksichtigung von Verlusten dargestellt. Die Herstellungsenergie für die gesamte Brennstoffzelle beträgt für das Jahr 2010 ca. 51 kWh pro Brennstoffzelle.

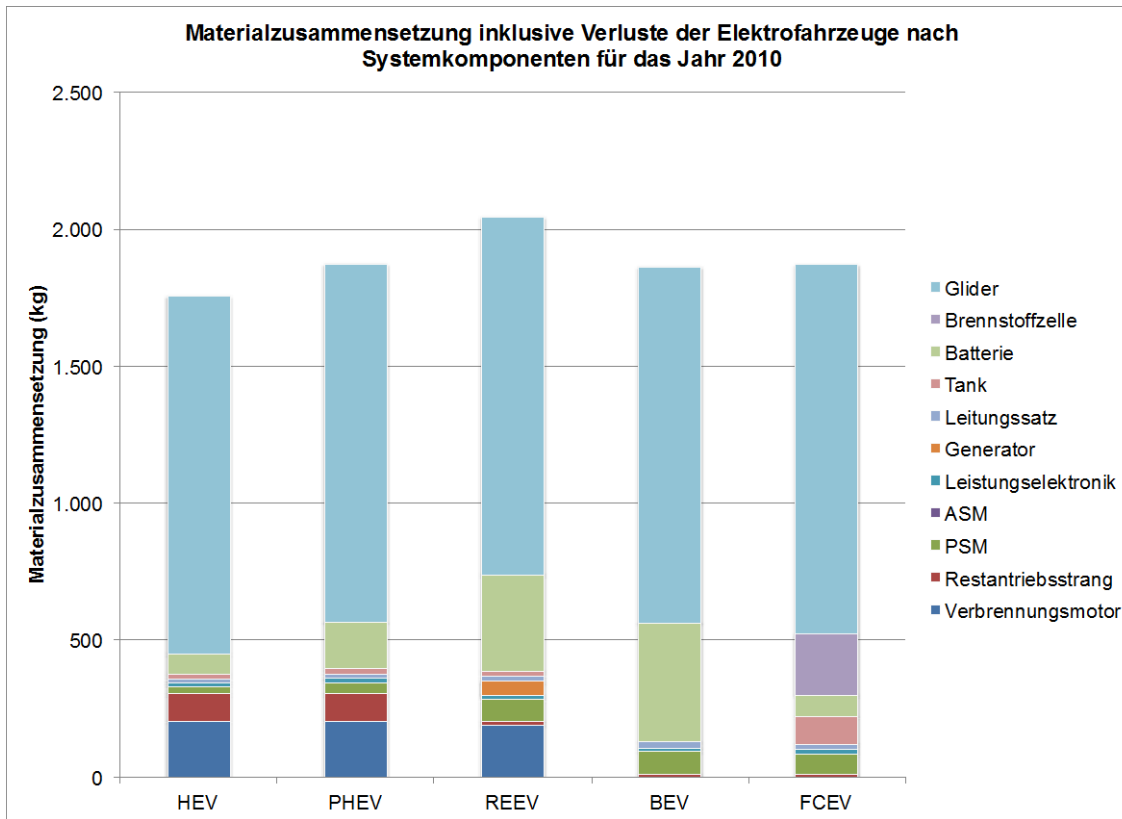
### Zwischenfazit

In Abb. 6-5 ist die kumulierte Materialzusammensetzung der Herstellungsphase für die acht Antriebskonzepte für die Zeiträume 2010 bis 2050 inklusive anfallender Verluste dargestellt. Der Vergleich zeigt, dass in Folge der größeren Fahrzeugmassen die Elektrofahrzeuge und dabei vor allem das REEV-Konzept mit 2 045 kg pro Fahrzeug im Jahr 2010 deutlich mehr Material als die konventionellen Antriebskonzepte benötigen. Gleichzeitig werden die Unterschiede auf Grund der Gewichtsreduktion mit der Zeit geringer, da sich bei den batterieelektrischen Antriebskonzepten noch deutlich mehr Einsparpotentiale ergeben.

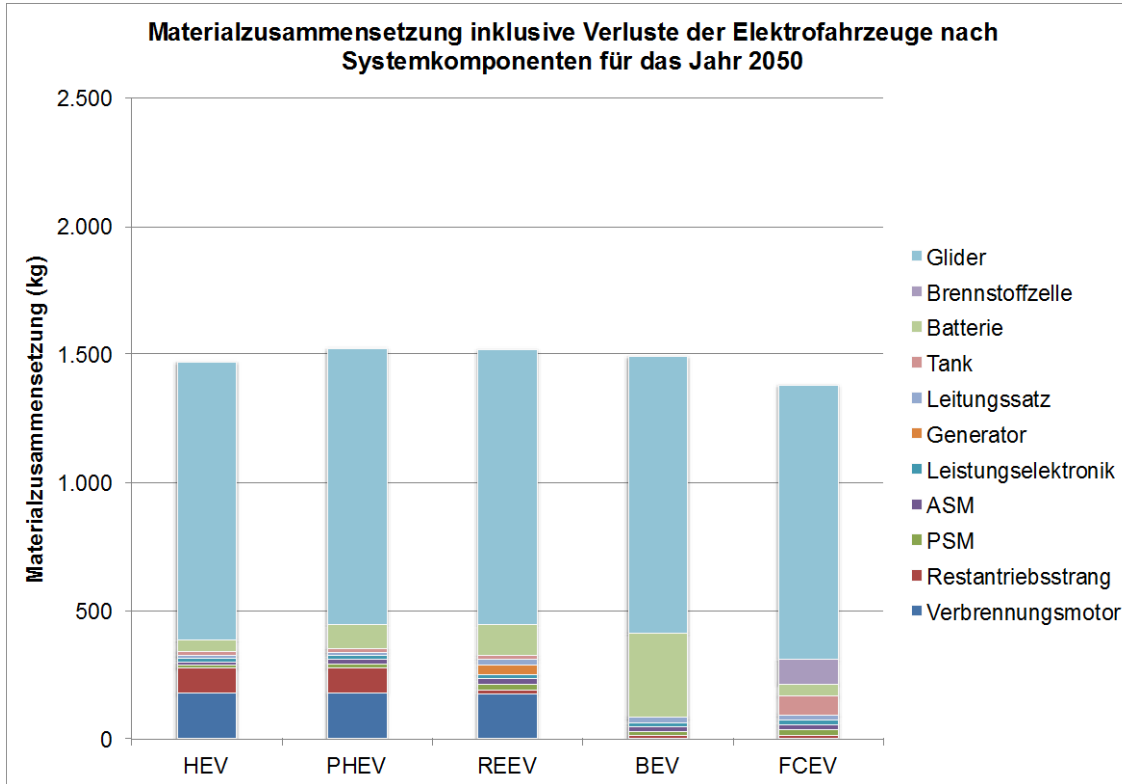


**Abb. 6-5** Kumulierte Materialzusammensetzung der Herstellungsphase inklusive Verluste je Antriebskonzept

Ergänzend stellen die Abb. 6-6 und Abb. 6-7 die Materialzusammensetzung der batterieelektrischen Antriebskonzepte dar. Die Anteile der Systemkomponenten werden im Vergleich der Jahre 2010 und 2050 für die Herstellungsphase aufgezeigt.



**Abb. 6-6** Herstellungsphase: Kumulierte Materialzusammensetzung der batterieelektrischen Antriebskonzepte inklusive Verluste je Systemkomponente in 2010



**Abb. 6-7** Herstellungsphase: Kumulierte Materialzusammensetzung der batterieelektrischen Antriebskonzepte inklusive Verluste je Systemkomponente in 2050

## Nutzungsphase

Die Nutzungsphase der Fahrzeuge wird auf 10 Jahre angesetzt und beinhaltet die Traktionsenergie in Form von Kraftstoff und elektrischer Energie sowie den Wasserverbrauch und den Reifenabrieb. Es wird von keinem Austausch oder Wechsel der Systemkomponenten während der Nutzungsphase ausgegangen.

Der Energieverbrauch der Fahrzeuge basiert nach (Huss et al. 2013) auf dem neuen europäischen Fahrzyklus (NEFZ), berücksichtigt jedoch einen 25%-Aufschlag für eine realistischere Abschätzung des Kraftstoffverbrauchs (Mock et al. 2013). Für die Jahre 2010 und 2020 wird eine technische Entwicklung mit einem abnehmendem Energieverbrauch unterstellt. Ab 2030 wird von einem konstanten Verbrauch ausgegangen (siehe Unterkapitel 6.3). Für das Benzinsegment wird ein Otto-Kraftstoff mit einem Anteil von 5 Vol.-% Ethanol aus Biomasse angesetzt (E5), wohingegen der Diesel eine Beimischung von 7 Vol.-% Biodiesel enthält (B7). Das Erdgas wird auf Grund der Datenverfügbarkeit über einen Mix unterschiedlicher Auslieferungsdrücke für die Schweiz modelliert („*natural gas, production mix, at service station*“). Die Annahmen bezüglich der Kraftstoffbereitstellung der Verbrennungsmotoren bleiben über den gesamten Betrachtungszeitraum unverändert.

Die Brennstoffzellen benötigen für die Energiebereitstellung reinen Wasserstoff zur Reaktion mit Sauerstoff. Der Wasserstoff wird in den Jahren 2010 und 2020 durch die katalytische Umsetzung von leichten Kohlenwasserstoffen mit Wasserdampf (Dampfreformierung von Erdgas) hergestellt. Nach (Eichlseder & Klell 2012) werden 0,45 Nm<sup>3</sup> Methan für 1 Nm<sup>3</sup> Wasserstoff bei einem Wirkungsgrad von 75 % bis 80 % benötigt. Unter der Annahme, dass Methan Hauptbestandteil von Erdgas ist, wird von einem Bedarf von 0,6 Nm<sup>3</sup> je 1 Nm<sup>3</sup> Wasserstoff ausgegangen. (Spath & Mann 2001) geben für den Prozess der Dampfreformierung einen Energiebedarf von 6,56 kWh/kg H<sub>2</sub> an. Anhand des Methan- und Energiebedarfs wird über den abiotischen Materialbedarf von Erdgas und des Strommixes der Materialbedarf pro kg Wasserstoff ermittelt. Tab. 6-9 fasst die getroffenen Annahmen bei der Energiebereitstellung und den angesetzten Ecoinvent-Prozessen zusammen.

Antriebskonzept	Energiebereitstellung	Ecoinvent-Prozess
ICEV-B, HEV, PHEV, REEV	Otto-Kraftstoff mit 5 Vol.% Ethanol aus Biomasse	Petrol, 5% vol. ethanol, from biomass, at service station (CH)
ICEV-D	Diesel-Kraftstoff mit 7 Vol.% Biodiesel	Diesel, at regional storage (RER) (93 %) und rape methyl ester, production RER, at service station (CH) (7%)
ICEV-CNG	Erdgas	Natural gas, production mix, at service station (CH)
HEV, PHEV, REEV, BEV	Elektrische Energie	Electricity, production mix
FCEV	Wasserstoff	Auf Basis von natural gas, production mix, at service station (CH); ab 2030 alkalische Elektrolyse

Tab. 6-9 Annahmen bezüglich der Kraftstoff- bzw. Energiebereitstellung für die Nutzungsphase



Input nach (Pehnt, 2001)	Ecoinvent-Prozess	Einheit	Menge
Elektrischer Energiebedarf	electricity production mix DE	kWh/kg H <sub>2</sub>	47,7
Wasser vollentsalzt	water, ultrapure, at plant	l/kg H <sub>2</sub>	10,1
Kühlwasser	tap water, at user	l/kg H <sub>2</sub>	951,2
Kalilauge	potassium hydroxide, at regional storage	kg/kg H <sub>2</sub>	0,003
Stahl	steel, low-alloyed, at plant	kg/kg H <sub>2</sub>	0,006
Aluminium	aluminium, production mix, at plant	kg/kg H <sub>2</sub>	0,00006
Nickel	nickel, 99.5%, at plant	kg/kg H <sub>2</sub>	0,00064
Chrom	chromium, at regional storage (RER)	kg/kg H <sub>2</sub>	0,00019
Polyethylen	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant	kg/kg H <sub>2</sub>	0,00005
Beton	concrete, normal, at plant	kg/kg H <sub>2</sub>	0,0003
Transport, Lkw	transport, lorry >16t, fleet average	km/kg H <sub>2</sub>	300

**Tab. 6-10 Material- und Energiebedarf für die Produktion von 1 kg H<sub>2</sub> durch alkalische Elektrolyse**

Quelle: eigene Berechnung auf Basis von (Pehnt 2001)

Ab 2030 wird von einem Wasserstoff-Szenario mit einem deutlichen Anstieg des Herstellungsanteils durch alkalische Elektrolyse mittels überschüssigem regenerativen Strom (100 % Windkraft) ausgegangen. Dabei wird für 2030 ein Anteil von 50 % und ab 2040 eine vollständige Abdeckung des Wasserstoffbedarfs durch die alkalische Elektrolyse angesetzt. Basierend auf (Pehnt 2001), wird der abiotische Materialbedarf mittels des angegebenen Material- und Energiebedarfs für die alkalische Elektrolyse zur Gewinnung von Wasserstoff bestimmt (vgl. Tab. 6-10).

Die Stromerzeugung stellt neben den Kraftstoffen Wasserstoff und Benzin das dritte Standbein der Energiebereitstellung der Elektromobilität dar. In dieser Studie wird die Umweltwirkung für folgende drei Varianten der Strombereitstellungs-Szenarien untersucht:

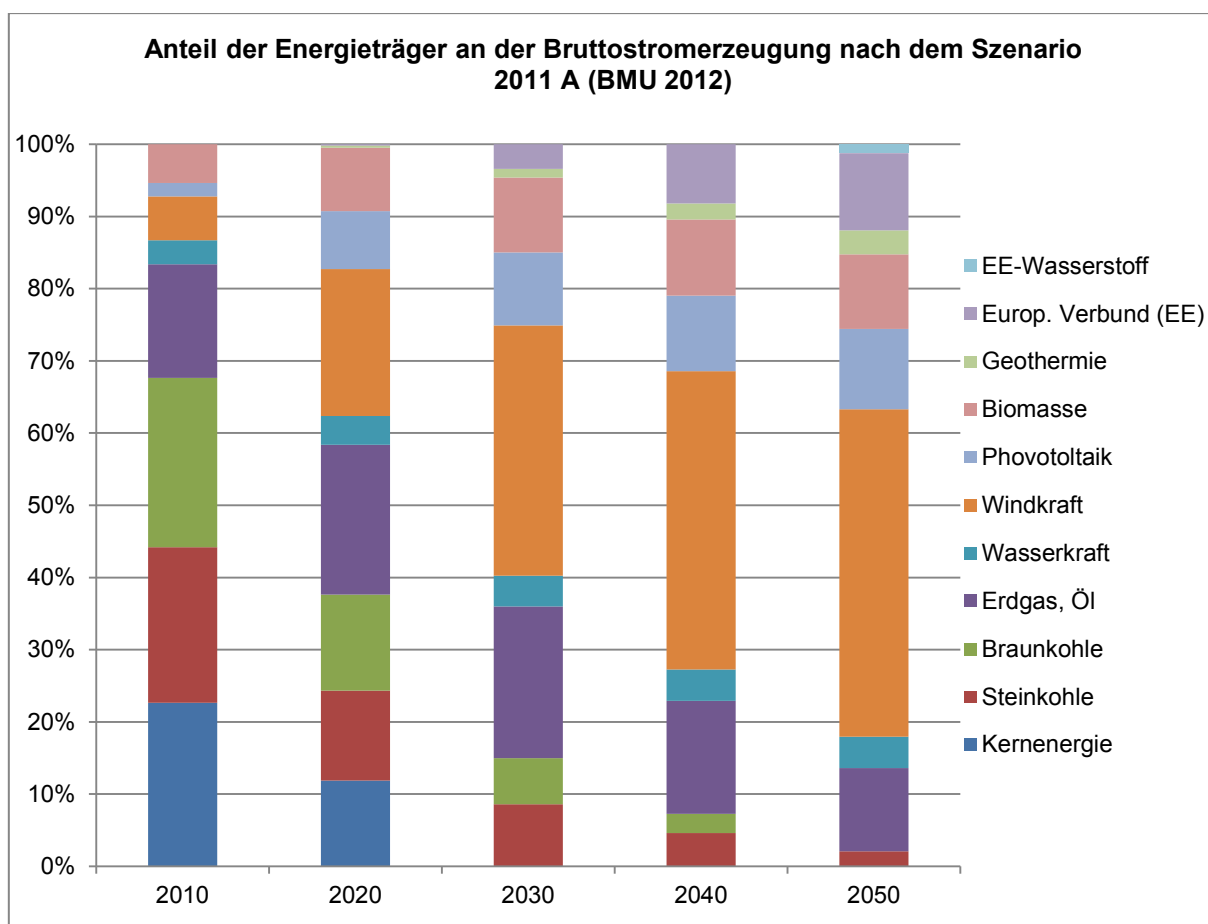
- Deutschland-Szenario (Szenario 2011A in (Nitsch et al. 2012))
- Welt-Szenario (energy revolution scenario in (Teske et al. 2012))
- 100 %-REG-STROM (Deutschland, Welt)

Die drei Szenarien unterscheiden sich dabei jeweils in ihrer, von dem Zeitpunkt abhängigen, Bruttostromerzeugung, die durch eine variable Anpassung des Produktionsmixes (siehe Tab. 9-11), in ihrer Umweltwirkung berücksichtigt werden. Im Rahmen einer konservativen Abschätzung wird von daher von einem konstanten Materialbedarf für die Stromerzeugung ausgegangen.

Das Deutschland-Szenario orientiert sich bei der Stromerzeugung für den Betrachtungszeitraum an dem Szenario 2011 A (Nitsch et al. 2012), das von einem Anteil regenerativer Stromerzeugung in 2050 von ca. 80 % ausgeht (vgl. Abb. 6-8).

In der Leitstudie sind die Angaben für den Anteil der Öl- und Gaserzeugung summiert dargestellt, daher werden die Anteile für das Jahr 2010 gemäß der (AGEB 2014) verwendet. Ab 2020 wird der Anteil der Stromerzeugung durch Öl als 0 % angenommen, sodass in der Modellierung die Stromerzeugung mit Gas den gesamten Anteil der Öl- und Gaserzeugung deckt. Für die Wasserkraft wird von einem konstanten Verhältnis aus Lauf- und Speicherwasserkraftwerken ab dem Jahr 2010 ausgegangen.

Ab dem Jahr 2030 spielen in der Leitstudie die Importe von regenerativem Strom aus dem EU-Stromverbund eine Rolle. In 2050 werden diese mit einem Anteil von 68 % durch solarthermische Kraftwerke (concentrated solar power, CSP) erzeugt, der Rest stammt aus Windkraft und anderen erneuerbaren Energieträgern (Nitsch et al. 2012). Es wird angenommen, dass der Rest durch 22 % Windkraft und 10 % durch Photovoltaik gedeckt wird. Dabei wird für die Photovoltaik ein Mix für Spanien angesetzt und der CSP-Strom über eine Maximalabschätzung durch Parabolrinnenkraftwerke auf Basis von (Samus et al. 2013) angenommen. Der Anteil der Stromerzeugung durch Geothermie und biogene Abfälle bleibt unberücksichtigt, wodurch sich eine Abdeckung der Bruttostromerzeugung von 99 % in 2010, 98,6 % in 2020, 97,6 % in 2030, 96,9 % in 2040 und 94,4 % in 2050 ergibt.



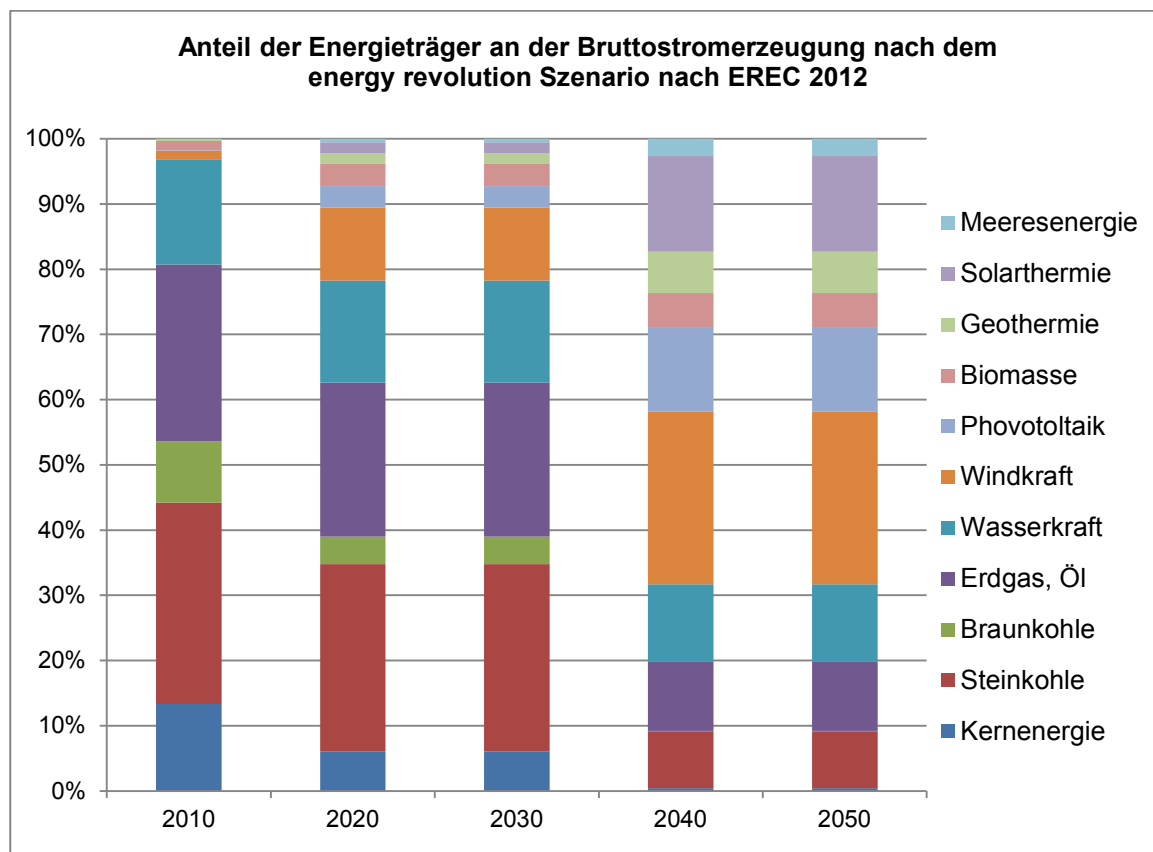
**Abb. 6-8** Anteile der Energieträger an der Bruttostromerzeugung für Deutschland von 2010 bis 2050 nach dem BMU Szenario 2011 A

Quelle: basierend auf (Nitsch et al. 2012)

Für die Modellierung des Welt-Szenarios werden die Daten aus dem energy revolution scenario (Teske et al. 2012) verwendet, mit denen wiederum über den Produktionsmix von Strom aus Ecoinvent der abiotische Materialbedarf berechnet wird. Für den Wasserkraftprozess wird als Maximalabschätzung der Landesmix für Kroatien angesetzt, der eine Verteilung von Lauf- und Speicherkraftwerken mit dem größten Materialbedarf aufweist (2 % zu 98 %). Der Anteil der Solarthermie wird wiederum über den CSP-Wert auf Basis von (Samus et al. 2013) berücksichtigt und die Meeresenergie wird vereinfacht ebenfalls über den Wasserkraftprozess modelliert. Der Anteil der Geothermie bleibt auf Grund mangelnder Daten

wie im Deutschland-Szenario unberücksichtigt. Die abgedeckte Stromerzeugung liegt beim Welt-Szenario für 2010 bei 99,7 % und in 2050 noch bei 91,4 %.

Die Anteile der einzelnen Energieträger an der Bruttostromerzeugung nach dem energy revolution-Szenario nach (Teske et al. 2012) sind in Abb. 6-9 dargestellt, weltweit tragen die regenerativen Energien im Jahr 2050 ebenfalls ca. 80 % zur Stromerzeugung bei.



**Abb. 6-9** Anteile der Energieträger an der Bruttostromerzeugung für die Welt von 2010 bis 2050 nach dem EREC revolution-Szenario

Quelle: (Teske et al. 2012)

Neben dem Deutschland-Szenario mit sukzessiv ansteigendem Anteil regenerativer Energien an der Stromerzeugung, wird für Deutschland zusätzlich ein Szenario mit einer vollständigen regenerativen Stromversorgung ab 2010 modelliert. Es stellt eine fiktive Annahme dar und soll als Optimalszenario für Vergleichszwecke dienen. Es wird von einer 100 %-igen Deckung mittels Windkraft ausgegangen. Die Berechnung des abiotischen Materialbedarfs dieses Szenarios basiert auf (Wuppertal Institut 2014), wo ein abiotischer Materialbedarf von 142 kg/MWh ermittelt wurde.

Neben den Umweltwirkungen der Stromproduktion wurde im Rahmen dieser Studie auch die dabei anfallende Menge der kritischen Rohstoffe untersucht. Nach (Wuppertal Institut 2014) sind für die Windkraft vor allem Neodym und Dysprosium relevant, wohingegen bei der Photovoltaik hauptsächlich Indium, Cadmium, Gallium, Selen und Tellur von Bedeutung sind. Für die Umrechnung der Mengen der kritischen Ressourcen von den durchschnittlichen Verbräuchen je nach Zeitpunkt neu zugebauter Technologie (kg/kW) in eine energiespezifische Menge (kg/kWh) wurde für die Photovoltaik eine Lebensdauer von 20 Jahren und 850 Voll-

laststunden und für die Windkraft eine Lebensdauer von 25 Jahren (on- & offshore) und 2 000 Volllaststunden für Onshore-Anlagen bzw. 3 500 Stunden für Offshore-Anlagen angenommen (Kunz 2013). Diese Werte beziehen sich auf Deutschland, werden aber vereinfachend auch für das Welt-Szenario verwendet. Tab. 6-11 zeigt den Bedarf kritischer Ressourcen je erzeugter kWh für die drei untersuchten Szenarien für das Jahr 2010.

Material	Materialbedarf kritischer Rohstoffe für 2010		
	Deutschland-Szenario	100 %-REG-Strom	Welt-Szenario
kg/kWh			
Neodym	6,05E-09	5,00E-08	1,36E-09
Dysprosium	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Indium	3,84E-10	-	2,04E-11
Cadmium	1,24E-09	-	6,60E-11
Gallium	5,81E-11	-	3,09E-12
Selen	3,16E-10	-	1,68E-11
Tellur	1,05E-09	-	5,58E-11

**Tab. 6-11 Materialbedarf kritischer Rohstoffe für die Strombereitstellung**

Quelle: (Wuppertal Institut 2014), eigene Berechnungen

Der Reifen- und Wasserverbrauch basiert auf (Pusenius et al. 2005) und wird auf die Nutzungsdauer von 10 Jahren skaliert und deren abiotischer Materialbedarf mit Synthetikgummi und Leitungswasser ermittelt. Der Verbrauch bzw. Abrieb wird für alle Fahrzeuge und Jahre als konstant angenommen. Weitere mögliche anfallende Materialien während der Nutzungsphase beispielsweise durch Wartung wurden nicht berücksichtigt.

### End-of-Life

Die Entsorgung der Fahrzeuge wird über den Ecoinventprozess „disposal, passenger car“ (Frischknecht et al. 2005) modelliert, der auf die jeweilige Fahrzeugmasse des betrachteten Antriebskonzepts skaliert wird. Es wird davon ausgegangen, dass ein Großteil des Materialbedarfs der Fahrzeuge recycelt wird und dem Herstellungsprozess wieder zugeführt werden kann. Der Anteil der Materialien, die verbrannt und über die Deponierung entsorgt werden, ist demnach vergleichsweise gering. Diese Annahme deckt sich mit der EU-Direktive über Altfahrzeuge von 2000, die die Wiederverwertungs- und Recyclingrate für 2015 auf 95 % des Fahrzeuggewichts festlegt (EU 2000). Bei den Elektrofahrzeugen wird zusätzlich die Batterie im Entsorgungsprozess berücksichtigt, wobei jedoch ein Großteil der Materialien ebenfalls recycelt wird. Bei der Herstellung der Batterie wird jedoch von keiner Gutschrift durch Sekundärmaterialien ausgegangen, da die Produktion noch rein auf Primärmaterialien beruht.

## 6.5.3 Ergebnisse der MAIA auf Fahrzeugebene

### Herstellungsphase

Ein Vergleich des abiotischen Materialbedarfs für die Herstellungsphase unter den acht Antriebskonzepten zeigt, dass die Referenzfahrzeuge mit Verbrennungsmotor einen deutlich geringeren abiotischen Materialbedarf als die Fahrzeuge mit Elektroantrieb haben. So weist der ICEV-B im Jahr 2010 mit einem Materialbedarf von 35 110 kg pro Fahrzeug nur knapp

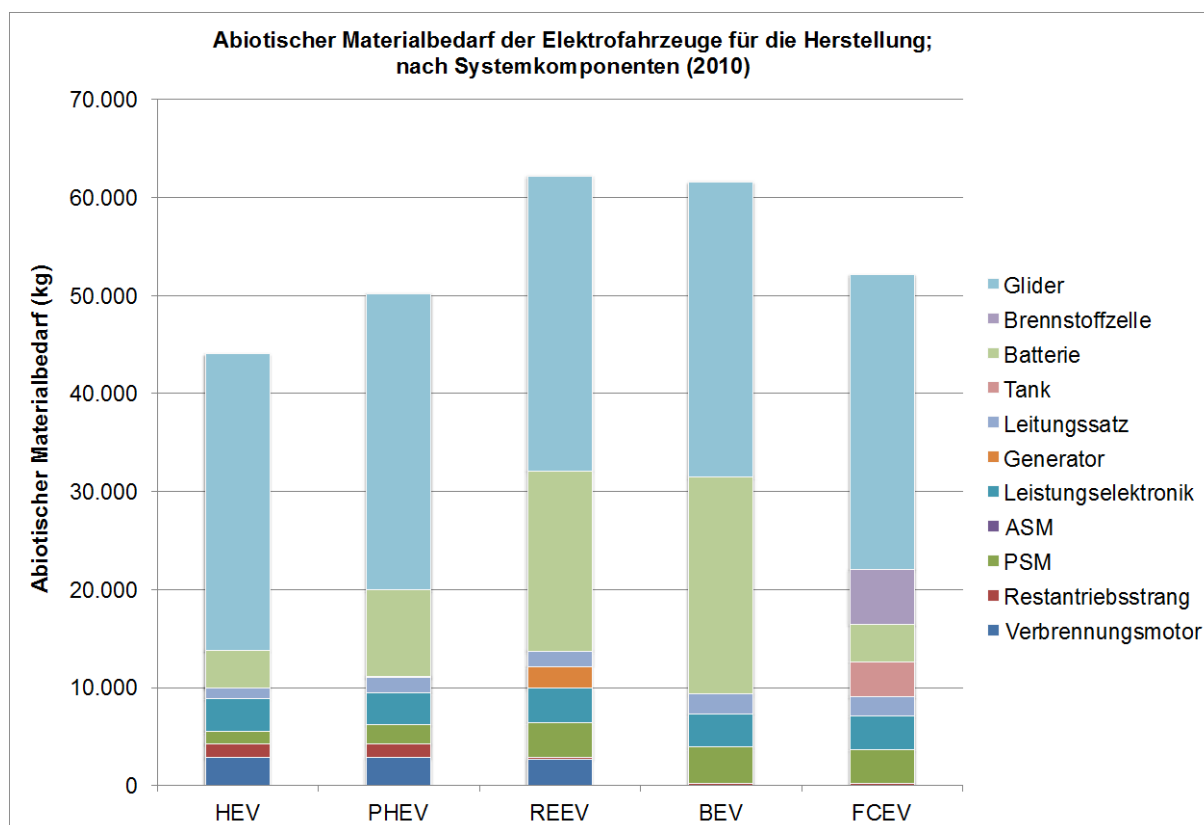
67 % des Bedarfs eines PHEVs und nur knapp 56 % eines REEVs auf. Dagegen ist der Unterschied unter den konventionellen Antriebskonzepten eher gering, nur der ICEV-CNG weist auf Grund des schweren Tanks in 2010 einen um 12 % höheren abiotischen Materialbedarf auf und hat wegen der rohstoffintensiven Kohlefaser auch im weiteren Verlauf einen im Vergleich zu ICEV-B und ICEV-D einen relativ hohen Bedarf.

Innerhalb der batterieelektrischen Antriebskonzepte weist im Jahr 2010 der HEV mit 44 612 kg/Fahrzeug den geringsten abiotischen Materialbedarf auf, gefolgt vom PHEV, FCEV und dem BEV. Der REEV hat mit einem Materialbedarf von 63 114 kg/Fahrzeug in diesem Zeitraum den höchsten Bedarf und liegt um knapp 30 % oberhalb des HEVs.

Die Rangfolge in Bezug auf den Materialbedarf ändert sich in den folgenden Jahren, da unterschiedliche Systemkomponenten und eine Gewichtsreduktion berücksichtigt wurden. Generell lässt sich bei allen Fahrzeugtypen in der zeitlichen Entwicklung die erwartete Abnahme des abiotischen Materialbedarfs feststellen. Nur der ICEV-CNG weist auf Grund der Materialsubstitution des Tanks von Stahl auf Verbundwerkstoffe einen ansteigenden Bedarf auf. Jedoch sind die individuellen Abnahmeraten sehr unterschiedlich. Während beim BEV der Materialbedarf für die gesamte Herstellung sowohl im Zeitraum von 2011 auf 2020 als auch von 2021 bis 2030 um ca. 11 % abnimmt, sinkt dieser für den REEV im selben Zeitraum um 20 % und 16 %. Da höhere Potentiale bei der Gewichtsreduktion bei den Elektrofahrzeugen als bei den Referenzfahrzeugen identifiziert werden konnten, diese Weise eine Reduktion um 9 % auf, kann eine Annäherung des abiotischen Materialbedarfs unter den Antriebskonzepten beobachtet werden.

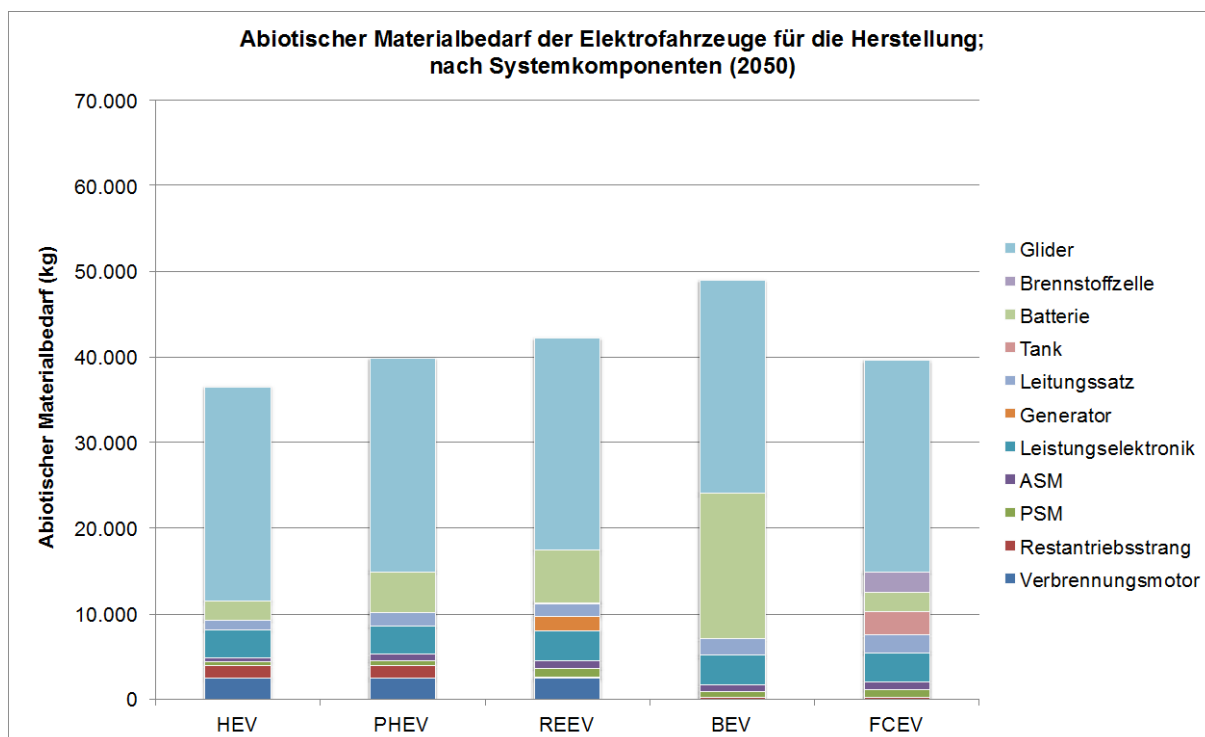
### **Anteil der Systemkomponenten**

Generell lässt sich über alle Antriebskonzepte dem Glider der größte Anteil am abiotischen Materialbedarf zuweisen. Bei dem ICEV-B trägt der Glider beispielsweise 86 % zu dem gesamten Herstellungsaufwand bei. Dahingegen sind es beim BEV lediglich 48 %. Der (anfänglich sehr deutliche) Unterschied zwischen den einzelnen Antriebskonzepten resultiert demnach aus den zusätzlichen Systemkomponenten im Bereich der Elektromobilität, die zudem noch einen hohen spezifischen abiotischen Materialbedarf aufweisen. Abb. 6-10 weist den abiotischen Materialbedarf der Herstellungsphase der elektrisch betriebenen Fahrzeuge separat nach den Systemkomponenten für das Jahr 2010 aus. So tragen beispielsweise die Leistungselektronik und die Batterie des REEV im Jahr 2010 ca. 34 % zum Materialbedarf des gesamten Fahrzeuges bei. Das BEV-Konzept hat trotz fehlendem Tank und Verbrennungsmotor auf Grund der rohstoffintensiven Batterie einen höheren Bedarf als beispielsweise das HEV-oder PHEV-Konzept.



**Abb. 6-10 Abiotischer Materialbedarf der Herstellungsphase der batterieelektrischen Antriebskonzepte nach Systemkomponenten für das Jahr 2010**

Die Anteile der einzelnen Systemkomponenten ändern sich im Zeitverlauf trotz teilweiser unterschiedlicher Gewichtsreduktion nur unwesentlich (vgl. Abb. 6-11). Leichte Abweichungen resultieren aus den sich ändernden Anteilen der Elektromotoren ab dem Jahr 2030. Dies liegt an dem leicht geringeren abiotischen Materialbedarf der ASM im Vergleich zur PSM. Weist erstgenannter Motortyp in 2030 einen Bedarf von 38,3 kg/kg auf, liegt dieser für den PSM bei 44,8 kg/kg.



**Abb. 6-11 Abiotischer Materialbedarf der Herstellungsphase der batterieelektrischen Antriebskonzepte nach Systemkomponenten für das Jahr 2050**

### Betrachtung auf Materialebene

Die Analyse des abiotischen Materialbedarfs auf Materialebene erlaubt es, materialintensive Rohstoffe zu identifizieren. Dadurch können vor einer Kritikalitätsbetrachtung (siehe Unterkapitel 6.8) erste Hinweise abgeleitet werden, an welchen Stellen die Substitution von Materialien mit großem Rohstoffbedarf relevante Beiträge zur Entwicklung eines ressourcenschonenderen E-Mobilitätsszenarios leisten könnte. Tab. 6-12 zeigt dazu die zwölf Materialien mit dem höchstem abiotischen Materialbedarf für den BEV und den ICEV-B im Jahr 2010. Dabei sind die verschiedenen Materialformen und die regionalen Spezifikationen zur leichteren Interpretation zusammengefasst.

Der Hauptanteil des verwendeten Stahls fällt sowohl bei dem ICEV-B als auch dem BEV bei der Karosserie (Glider) an, weitere Anteile entfallen auf den Verbrennungsmotor beziehungsweise den Elektromotor. Bei der Batterie hingegen ist der Anteil der Metalle am abiotischen Materialbedarf eher vernachlässigbar. Stattdessen hat hier Kupfer, Lithium und Gold einen großen Anteil am Materialbedarf. Weiterer Kupferbedarf bei dem BEV entfallen auf den Elektromotor und den Leitungssatz. Während Gold beim ICEV-B ausschließlich in der Elektronik im Glider anfällt, ist der Bedarf beim BEV heterogener: neben Glider wird es zudem in der Batterie als auch in der Leistungselektronik eingesetzt. Silber wird ebenfalls hauptsächlich für die Leistungselektronik benötigt, geringe Mengen fallen wiederum im Glider an.

Die Verteilung des Rohstoffbedarfs je Material in Bezug zur eingesetzten Systemkomponente ist im Wesentlichen vom BEV auf die weiteren batterieelektrischen Fahrzeuge übertragbar und auch relativ konstant über die Zeit. Ähnlich verhält es sich bei den konventionellen Antriebskonzepten, wobei jeweils der CFK-Tank des CNG- wie auch FCEV-Fahrzeuges als rohstoffintensive Komponente berücksichtigt werden muss. Auch bei der Brennstoffzelle

zeigt sich der größte abiotische Materialbedarf beim Stahl. Eingesetzte kritischere Stoffe wie Platin sind im Vergleich dazu vernachlässigbar.

Material	Abiotischer Materialbedarf (kg/Fahrzeug)	
	BEV	ICEV-B
Kupfer (Regionallager, primär)	17 361	2 773
Stahl (Kaltfeinblech, Bewehrungsstahl, Chromstahl)	15 090	16 749
Gold (Regionallager, primär)	10 074	5 042
Lithiumsole (konzentriert)	4 132	0
Aluminium (Gusslegierung, Produktionsmix)	2 224	1 145
Kunststoffe	1 703	1 660
Silber	1 181	533
Graphit (Batteriequalität)	774	0
Mangankonzentrat	703	0
Synthetischer Kautschuk	540	350
Zink (Regionallager, primär)	340	337
Neodym-Oxid	325	0
Rest	2 863	1 388

Tab. 6-12 Übersicht der Materialien mit anteilig höchstem abiotischem Materialbedarf für den BEV und ICEV-B in 2010

### Nutzungsphase

Ein Vergleich unter den verschiedenen Antriebskonzepten zeigt deutliche Schwankungen des abiotischen Materialbedarfs sowohl zwischen konventionellen und batterieelektrischen Antriebskonzepten als auch innerhalb der Elektromobilität.

Bei den Antriebskonzepten, die nur Kraftstoff zur Traktion nutzen (ICEV-B, ICEV-D, ICEV-CNG, HEV) ist der Anteil der Nutzungsphase am Lebenszyklus im Vergleich zur Herstellungsphase geringer. So entfallen knapp 35 % des abiotischen Materialbedarfs des ICEV-B auf die Nutzungsphase (vgl. Tab. 6-13). Je größer der Anteil der elektrischen Energie an der Traktion wird, desto bedeutender der Anteil der Nutzungsphase. Beim BEV steigt der Einfluss der Nutzungsphase auf knapp 64 %. Durch den vergleichsweise hohen Strombedarf von REEV und BEV sowie die zunächst noch hohen Anteile konventioneller Erzeugung im Strommix, liegt der abiotische Materialbedarf beispielsweise beim BEV im Jahr 2010 bei 11 348 kg/Jahr. Bezogen auf das BEV beträgt der Materialbedarf für die Kraftstoffbereitstellung für das Hybridfahrzeug mit 1 383 kg pro Jahr zum selben Zeitpunkt nur 12 %. Während der Materialbedarf bei der Herstellung des Wasserstoffs mittels Dampfreformierung im Mittelfeld (4 140 kg/Jahr) liegt, sind die Umweltwirkungen der konventionellen Antriebskonzepte nur geringfügig größer als die des HEV.

Die großen Unterschiede zwischen den Antriebskonzepten nehmen im Lauf der Zeit ab. Sind die Senkungspotentiale im Hinblick auf den Materialbedarf bei den konventionellen Antrieben so gut wie ausgeschöpft, kann durch den zunehmenden Anteil regenerativer Erzeugung an der Stromproduktion von knapp 17 % im Jahr 2010 auf ca. 85 % im Jahr 2050 (gemäß Deutschland-Szenario) der Materialbedarf der Elektromobilität noch deutlich gesenkt werden: Im Jahr



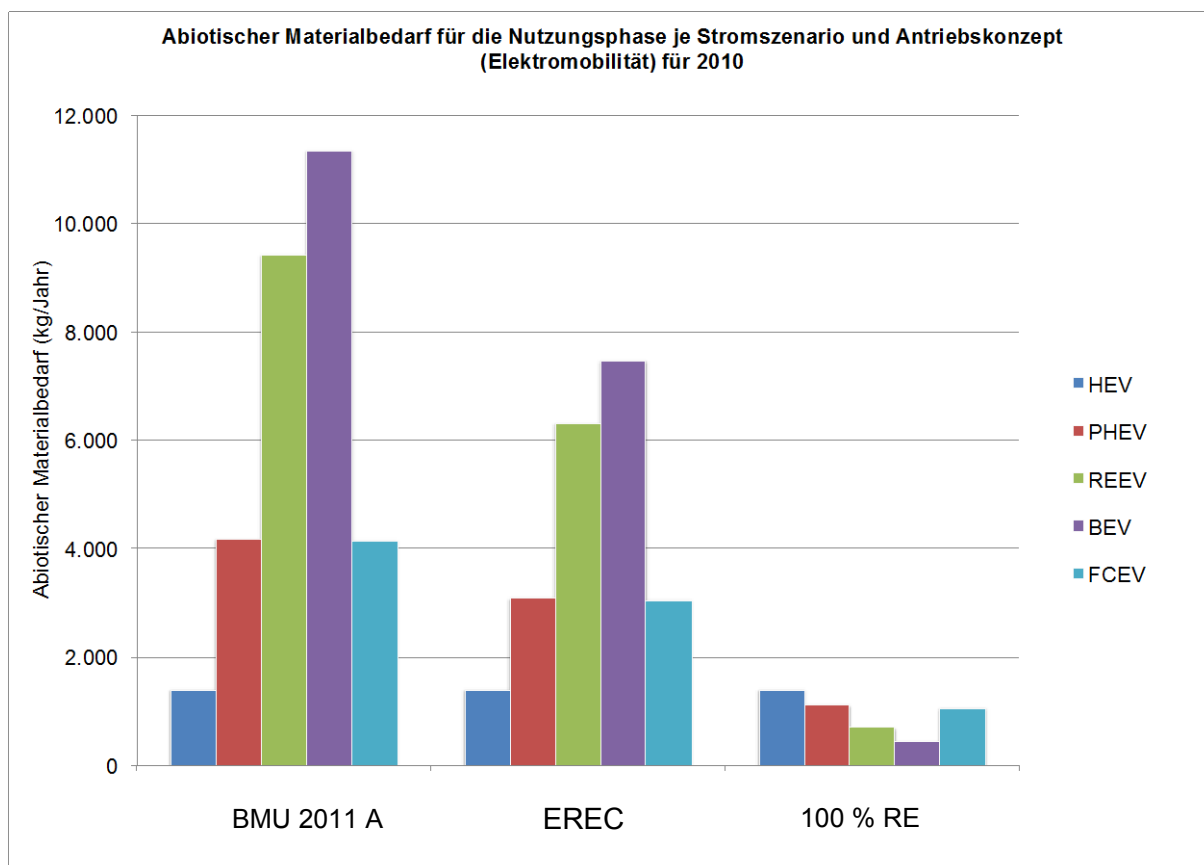
2050 liegt der abiotische Materialbedarf eines BEV bei 533 kg pro Jahr, wodurch der Wert von 2010 um gut 95 % reduziert werden würde.

Anteile des abiotischen Materialbedarfs...	Antriebskonzepte 2010							
	Verbrennung			Elektromobilität				
	ICEV-B	ICEV-D	ICEV-CNG	HEV	PHEV	REEV	BEV	FCEV
<b>...der Systemkomponenten in der Herstellung</b>								
Glider	86,2	85,4	75,8	67,8	59,4	47,9	48,4	56,8
Verbrennungsmotor	9,4	10,2	7,9	6,6	5,8	4,4		
Rest-Antriebsstrang	4,4	4,3	4,0	3,5	3,2	0,5	0,5	0,6
Tank	0,1	0,1	12,4	0,1	0,1	0,1		7,1
Elektromotor				3,2	4,1	6,1	6,0	6,8
Leistungselektronik				7,7	6,8	5,7	5,8	6,8
Leitungssatz				2,7	3,2	2,6	3,4	4,0
Batterie				8,5	17,5	29,1	35,7	7,1
Generator						3,9		
Brennstoffzelle								10,8
Gesamt (Herstellung)	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>...der Lebenszyklusphasen am gesamten Materialbedarf</b>								
Herstellung	63,7	69,7	70,8	75,6	54,5	39,9	35,2	55,8
Nutzung	35,6	29,8	28,4	23,5	44,7	59,5	64,2	43,6
End-of-Life	0,7	0,8	0,8	0,9	0,7	0,6	0,6	0,6
Gesamt	100	100	100	100	100	100	100	100

**Tab. 6-13** Anteile des abiotischen Materialbedarfs der Systemkomponenten an der Herstellung und der Lebenszyklusphasen an dem gesamten Materialbedarf für das Jahr 2010 [in %]  
(Nutzungsphase = 10 Jahre mit dem Deutschland-Szenario)

Obwohl das FCEV ab 2030 Wasserstoff aus der relativ energieintensiven alkalischen Elektrolyse verwendet, wirkt sich auch hier der sinkende Materialbedarf der Stromproduktion (in kg/kWh) auf den Gesamtbedarf aus. Im Jahr 2050 liegt dieser für den FCEV mit 468 kg/Jahr noch unterhalb des BEV.

Wie relevant die Art der Energiebereitstellung für die Nutzungsphase ist, zeigt sich in einem Vergleich der drei betrachteten Stromszenarien für die Elektrofahrzeuge im Jahr 2010 (siehe Abb. 6-12). Bei dem Weltszenario liegt der Ressourcenbedarf des BEV-Segments bei 7 468 kg/Jahr, was sich auf den geringeren spezifischen abiotischen Materialbedarf je kWh zurückführen lässt. Im Rahmen einer Sensitivität mit einer 100 %-igen Deckung durch Windkraft im Jahr 2010 würde sich nur noch ein abiotischer Materialbedarf von 433 kg/Jahr für den BEV ergeben.



**Abb. 6-12 Vergleich des abiotischen Materialbedarfs für die Nutzungsphase mit den Szenarien BMU 2011 A, EREC und 100 % RE je Antriebskonzept (Elektromobilität) für das Jahr 2010**

In der Folge der effizienteren Stromproduktion, weisen die Elektrofahrzeuge einen sukzessiv sinkenden abiotischen Materialbedarf auf. Im Jahr 2050 sind alle batterieelektrischen Antriebskonzepte hinsichtlich des Materialbedarfs während der Nutzungsphase umweltschonender als die konventionellen Antriebskonzepte.

Gleichzeitig zeigt sich im zeitlichen Verlauf eine deutliche Verschiebung der jeweiligen Anteile am gesamten abiotischen Materialbedarf. Während der Anteil der Herstellung bei den konventionellen Antriebskonzepten nur geringfügig ansteigt, stellt sie bei den batterieelektrischen Konzepten im Jahr 2050 (vgl. Tab. 6-14) mit 89,4 % am gesamten Materialbedarf beim BEV den Hauptanteil dar.

Anteile des abiotischen Materialbedarfs...	Antriebskonzepte 2050							
	Verbrennung			Elektromobilität				
	ICEV-B	ICEV-D	ICEV-CNG	HEV	PHEV	REEV	BEV	FCEV
<b>...der Systemkomponenten in der Herstellung</b>								
Glider	85,2	82,9	82,2	67,6	61,5	58,0	50,5	61,6
Verbrennungsmotor	9,7	11,9	7,2	6,9	6,4	5,9		
Rest-Antriebsstrang	5,0	5,0	3,7	4,2	3,9	0,7	0,6	0,7
Tank	0,1	0,1	7,0	0,1	0,1	0,1		7,0
Elektromotor				2,7	3,6	4,9	3,1	4,8
Leistungselektronik				9,2	8,5	8,3	7,2	8,8
Leitungssatz				3,2	4,0	3,7	4,2	5,2
Batterie				6,0	12,1	14,4	34,4	5,2
Generator						4,1		
Brennstoffzelle								6,4
Gesamt	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>...der Lebenszyklusphasen am gesamten Materialbedarf</b>								
Herstellung	69,4	73,9	78,4	80,5	83,4	85,0	89,0	82,4
Nutzung	29,9	25,3	20,9	18,6	15,6	13,9	9,6	16,7
End-of-Life	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	1,0	1,4	0,8
Gesamt	100	100	100	100	100	100	100	100

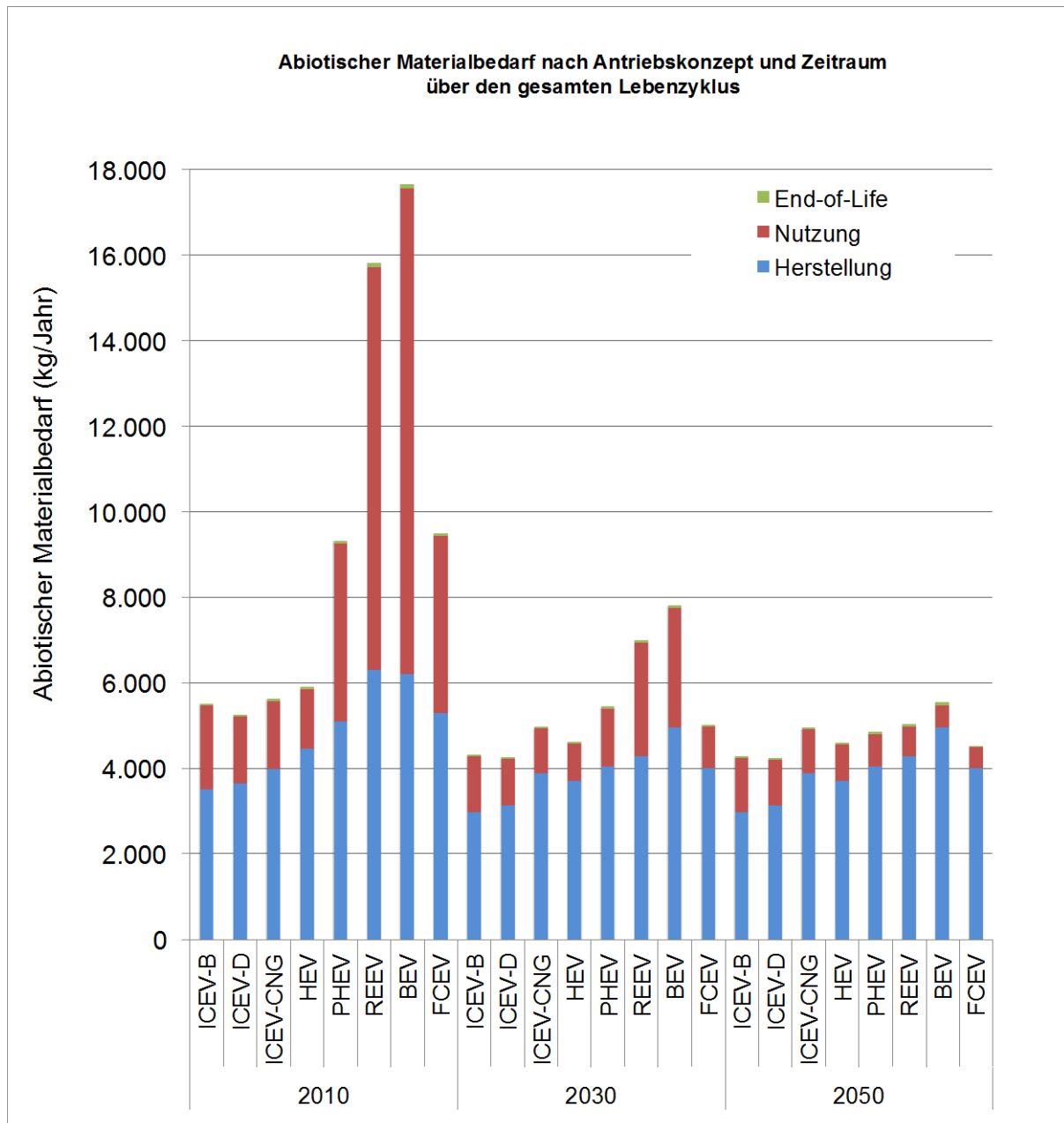
**Tab. 6-14** Anteile des abiotischen Materialbedarfs der Systemkomponenten an der Herstellung sowie Anteile der Lebenszyklusphasen an dem gesamten Materialbedarf für das Jahr 2050 [in %] (Nutzungsphase = 10 Jahre mit dem Deutschland-Szenario)

### End-of-Life

Die Entsorgung ist die Lebenszyklusphase mit dem geringsten abiotischen Materialbedarf und im Verhältnis zur Herstellung und Nutzungsphase vernachlässigbar. Dies liegt daran, dass angenommen wurde, dass ein Großteil der Komponenten bzw. Materialien recycelt wird und wiederverwertet werden. Dies ist dann besonders sinnvoll, wenn neben den ökologischen Vorteilen auch der Aufwand des Recycling geringer ausfällt als beispielsweise der Abbau von Primärmaterialien. Die wenigen nicht-recyclebaren Materialien werden verbrannt und deponiert. Die Deponierung ist im Gegensatz zum Recycling sehr ressourcenintensiv, sodass bei einem höheren Anteil der Deponierung am Entsorgungsprozesses ein höherer abiotischer Materialbedarf für die Entsorgung resultieren würde.

Ein Vergleich unter den Antriebskonzepten zeigt, dass die batterieelektrischen Konzepte einen teilweise doppelt so hohen abiotischen Materialbedarf bei der Entsorgung gegenüber den konventionellen Konzepten aufweisen. Dieser Unterschied resultiert aus dem aufwändigen Recyclingverfahren der Batterie, das zur Zeit angewendet wird (Buchert et al. 2011), wobei vor allem die Trennung der Materialien und der dabei benötigte Energieaufwand ins Gewicht fällt. Durch ein effizienteres Recyclingverfahren, wie es beispielsweise in (Buchert et al. 2011) entwickelt wurde, ist es möglich auch den Materialbedarf der Entsorgung der batterieelektrischen Antriebskonzepte zu senken. Vor dem Hintergrund eines Systemwandels zu einem steigenden Anteil der Elektromobilität am Straßenverkehr, ermöglichen neue Recyclingverfahren den Anteil der Nutzung recycelter Materialien bei der Batterieherstellung zu steigern und so möglicherweise durch den Einsatz von Sekundärmaterial auch die Herstellungsphase in ihrer Umweltwirkung zu optimieren.

Die geschilderten Ergebnisse der Auswertung des abiotischen Materialbedarfs der einzelnen Lebenszyklusphasen werden in Abb. 6-13 kumuliert in kg pro Jahr zusammengefasst. Die hinterlegte Nutzungsphase basiert dabei auf dem Deutschland-Szenario.



**Abb. 6-13** Lebenszyklusübergreifender Vergleich (Herstellung, Nutzung, End of Life) des abiotischen Materialbedarfs aller Antriebskonzepte und für den gesamten Betrachtungszeitraum (Angaben bezogen auf ein Jahr); Deutschland-Szenario als Grundlage

#### 6.5.4 Treibhauspotential

Der Fokus der MAIA liegt auf der Analyse des abiotischen Materialbedarfs. Im Rahmen der Studie wurde ergänzend dazu die Abschätzung des Treibhauspotentials (global warming potential, GWP) vorgenommen. Das GWP wird in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben und beschreibt den Beitrag zur globalen Erwärmung über einen festgelegten Zeitraum. Vorliegende Studie betrachtet, wie im Allgemeinen üblich, den Beitrag für den Zeitraum von 100 Jahren.

Das Vorgehen zur Bestimmung des GWP 100 folgt in Grundzügen dem der Berechnung des abiotischen Materialbedarfs: Auf Basis der ermittelten Materialzusammensetzungen und der Energiebereitstellung wird das Treibhauspotential mit der IPCC 2007-Methode berechnet. Bei der Nutzungsphase wird die Verbrennung der Kraftstoffe (Benzin, Diesel und Erdgas) über den Ecoinvent-Prozess „operation, passenger car“ modelliert. Die Strombereitstellung wird über die Erzeugung nach dem jeweiligen Szenario (Deutschland, Welt und 100 %-REG-Strom) berücksichtigt, ebenso wie die Nutzung von Wasserstoff beim FCEV. Da bei der umgekehrten Reaktion der H<sub>2</sub>O-Elektrolyse mit den Edukten Wasser- und Sauerstoff nur reines Wasser als Produkt entsteht, kann das GWP bei der Umsetzung des Wasserstoffs beim FCEV vernachlässigt werden. Allein die Bereitstellung des Wasserstoffs fällt ins Gewicht. Das Treibhauspotential des Energiebedarfs bei der Herstellung der Systemkomponenten wird über das jeweilige Treibhauspotential der Strom- und Wärmebereitstellung berücksichtigt. Die im Rahmen der Entsorgung der Fahrzeuge anfallenden Emissionen durch die Verbrennung werden weiterhin über den Ecoinvent-Prozess „disposal, passenger car“ abgedeckt. Bei den Elektrofahrzeugen wird zusätzlich die Entsorgung der Batterie berücksichtigt.

Die Ergebnisse der lebenszyklusweiten Treibhauspotentialanalyse sind analog zu Abb. 6-13 in Abb. 6-14 nach Antriebskonzept und Zeitpunkt pro Jahr dargestellt und zeigen deutlich abweichende Ergebnisse von denen des ermittelten abiotischen Materialbedarfs. So kehrt sich die Verteilung der ökologischen Auswirkungen auf die Lebenszyklusphasen im Vergleich zum Materialbedarf um. War bei der Betrachtung des abiotischen Materialbedarfs bei den konventionellen Antriebskonzepten die Herstellung die Lebenszyklusphase mit dem größten Beitrag, stellt nun die Nutzungsphase die Haupteinflussgröße dar. Und auch bei den batterieelektrischen Fahrzeugen ist der Anteil der Nutzungsphase am gesamten Lebenszyklus gegenüber dem Materialbedarf gestiegen. Lediglich beim FCEV hat die Herstellung, analog zum Materialbedarf, einen ähnlichen Anteil.

Darüber hinaus hat sich die Reihenfolge der Antriebskonzepte mit den höchsten Umweltwirkungen bei der Betrachtung des GWP geändert. Die batterieelektrischen Fahrzeuge weisen nun im Vergleich zu den konventionellen Antrieben schon im Jahr 2010 ein geringeres Treibhauspotential in der Nutzungsphase auf. Der Unterschied in der Herstellungsphase ist zudem kleiner geworden. So beträgt das GWP des BEV über alle Lebenszyklusphasen im Jahr 2010 nur gut 62 % des GWP eines ICE-B-Fahrzeuges.

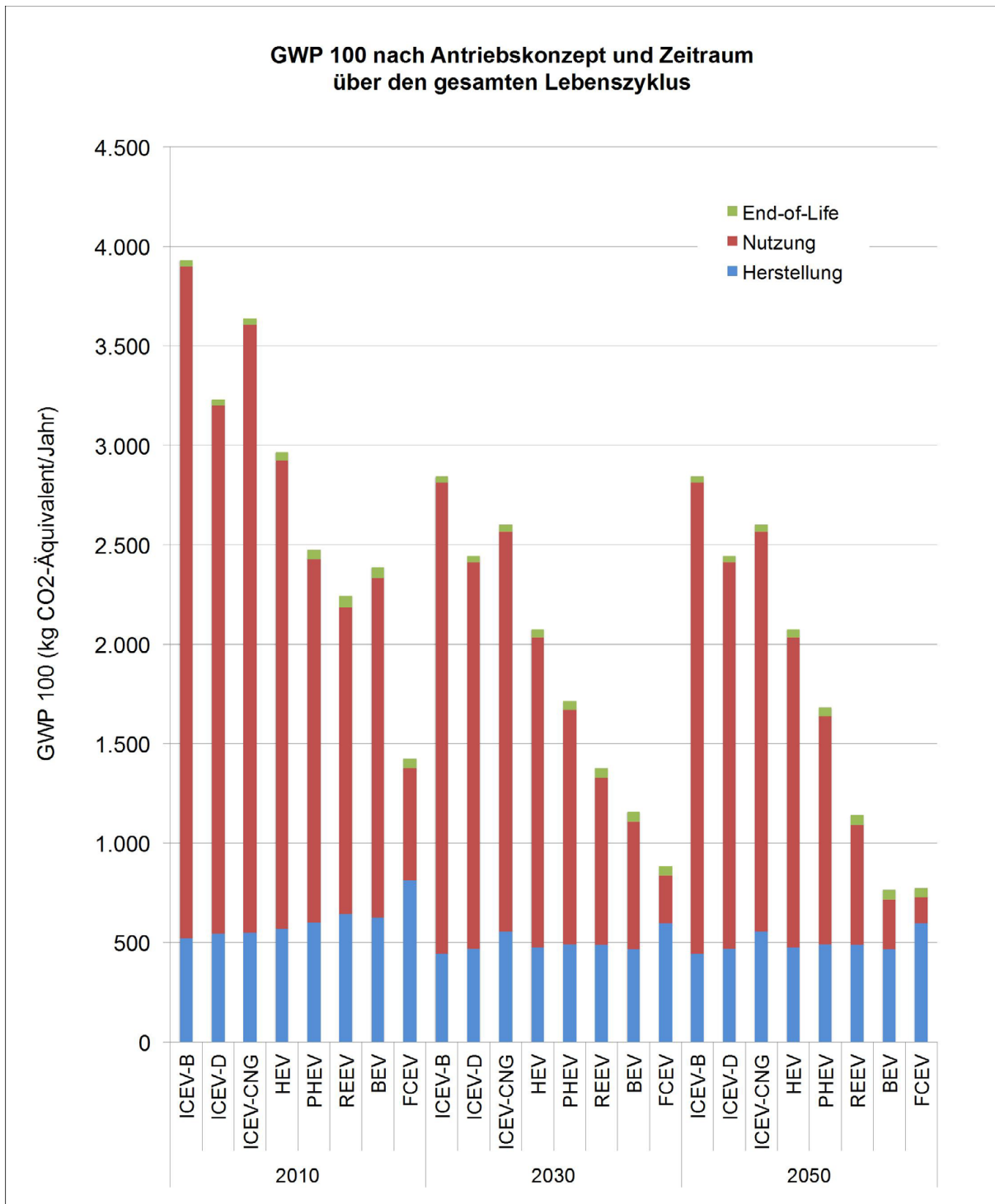
Das gute Abschneiden der Elektrofahrzeuge gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor bei aktuellem Strommix liegt vor allem an dem angesetzten Stromverbrauch. Analog zu den konventionellen Antriebskonzepten wurde der Energieverbrauch während der Nutzungsphase über den NEFZ mit einem Aufschlag von 25 % angesetzt. Diese 25 %-ige Steigerung hat sich in der Praxis vor allem bei den Verbrennungsmotoren als realistisch erwiesen, wohingegen es für Elektrofahrzeuge nur wenige praxisnahe Verbrauchswerte existieren. Für ein batterieelektrisches Fahrzeug resultiert ein Energieverbrauch von 18,11 kWh/100 km im Jahr 2010. Dieser Wert liegt im Vergleich zu anderen wissenschaftlichen Studien der Elektromobilität am unteren Rand der Verbrauchswerte, so wird in (Helms et al. 2011) ein Energieverbrauch von 21 kWh/100 km angesetzt. Unter Berücksichtigung dieses Verbrauchs für den BEV in 2010, würde sich ein um 200 kg/CO<sub>2</sub>-Äquivalent größerer GWP-Wert ergeben.

Die Herstellungsphase der batterieelektrischen Antriebskonzepte ist, im Vergleich zu den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor, etwas höher ausgefallen. Für die Herstellung eines

BEV werden in 2010 ca. 6,2 t an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten erzeugt (Helms et al. 2011); Für die Herstellung eines ICEV-B werden dabei ca. 5,2 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente erzeugt)

Die Entsorgung bzw. die Verwertung der Fahrzeuge weist bei dem Treibhauspotential zwar einen höheren Anteil an dem gesamte Lebenszyklus auf, als dies bei dem abiotischen Materialbedarf der Fall war, ist jedoch im Vergleich zu der Herstellungs- und Nutzungsphase weiterhin vernachlässigbar.

Generell lassen sich jedoch auch im Rahmen dieser Studie vergleichbare Schlussfolgerungen bezüglich der lebenszyklusweiten Klimabilanz von konventionellen Antriebskonzepten gegenüber batterieelektrischen Konzepten wie dies bei (Helms et al. 2011) der Fall war zu. So weist die Nutzung elektrifizierter Antriebe im Vergleich zu konventionellen Antrieben bei alleiniger Betrachtung des Treibhauspotentials schon in 2010 einen ökologischen Vorteil auf.



**Abb. 6-14 Lebenszyklusübergreifender Vergleich (Herstellung, Nutzung, End of Life) des Treibhauspotentials (GWP 100) aller Antriebskonzepte und für den gesamten Betrachtungszeitraum. (Angaben bezogen auf ein Jahr), Deutschland-Szenario als Grundlage**

### 6.5.5 Daten- und Forschungsbedarf

Bei der Modellierung der Antriebskonzepte und der Energiebereitstellung für die Nutzungsphase wurden teilweise auf Grund von mangelnder Datenverfügbarkeit eigene Annahmen getroffen, die nur eine erste Abschätzung der Ökobilanzierung der betrachteten Fahrzeugkonzepte erlaubt.

Weiterer Forschungsbedarf besteht noch bei der Ressourcenkategorie „biotischer Materialbedarf“. Die bisherigen Abschätzungen mit dem MIPS-Bewertungsschema (siehe Abschnitt 6.5.1 zur Anwendung der MIPS-Methodik mit LCA-Datenbanken) liefern bislang fundierte Aussagen zum abiotischen Materialbedarf. Aktuell ist diese Einschränkung bei einem grundlegenden Teil der Material- und Energiebereitstellungspfade akzeptabel. Vor dem Hintergrund der Zunahme der regenerativen Stromerzeugung und des daraus resultierenden steigenden Bedarfs pflanzlicher Rohstoffe für die Bereitstellung von Energie aus Biomasse scheint eine umfassende Einbeziehung des biotischen Materialbedarfs allerdings als notwendig.

Bei der Batterietechnologie konnten im Rahmen dieser Studie nur Lithium-Ionen-Batterien auf Lithium-Mangan-Oxid-Basis modelliert werden. Weitere im Rahmen der Technologieauswahl als relevant eingestufte Technologien (Lithium-Luft-Batterie) konnten auf Grund mangelnder Daten beziehungsweise Materialinventare nicht berücksichtigt werden und erfordern zusätzlichen Daten- und Forschungsbedarf.

Die elektrischen Maschinen bilden neben der Leistungselektronik die Hauptkomponenten mit hohem Bedarf an Seltenen Erden. Durch den vermehrten Einsatz elektrisch erregter Asynchronmotoren ohne Permanentmagnete lässt sich dieser Bedarf senken. Die Transversalflussmaschine bietet sich als weitere Alternative an, die jedoch im Rahmen dieser Studie auf Grund fehlender Materialinventare nicht berücksichtigt wurde.

Die Mobilitätskonzepte der Zukunft werden immer deutlicher mit in die Energieversorgung integriert und so beispielsweise als große Speichereinheit über die Kraftstoffe Erdgas und Wasserstoff genutzt, indem Überschussstrom aus regenerativen Energieerzeugungsanlagen zur Erzeugung dieser speicherbaren Kraftstoffe verwendet wird. Dabei wurde im Rahmen dieser Studie die elektrolytische Herstellung von Wasserstoff in der Nutzungsphase der Brennstoffzellenfahrzeuge berücksichtigt. Bei der Kraftstoffbereitstellung von Erdgas bildet die Methanisierung von Wasserstoff eine alternative Herstellungsform, die jedoch auf Grund fehlender Daten nicht in die Modellierung der Nutzungsphase eingehen konnte.

Darüber hinaus weisen sowohl die Energiesysteme als auch die Herstellungsprozesse deutliche Effizienzpotentiale auf, die im Rahmen der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt werden konnten. Bei zukünftigen Forschungsarbeiten sind daher Lernkurven einzelner Technologien zu integrieren.

## **6.6 Definition langfristiger Verkehrsszenarien**

*D. Kreyenberg (DLR)*

### **6.6.1 Ziel und Vorgehensweise**

In diesem Kapitel werden die Rahmendaten zur Verkehrsnachfrage in Deutschland und der Welt dargestellt. Ihre Verwertbarkeit wird für die Ziele dieses Kapitels diskutiert, eine Grundlage für die Hochrechnungen verschiedener langfristiger Entwicklungsmöglichkeiten von Ressourcenverbräuchen und Treibhausgas-Emissionen des Pkw-Verkehrs zu schaffen. Dabei liegt ein besonderer Fokus auf dem bis zum Jahr 2050 erwarteten Pkw-Bestand in Deutschland und der Welt. Der deutsche Pkw-Bestand wird aus Gründen des Projektfokus



und der Datenverfügbarkeit genauer analysiert als der weltweite Pkw-Bestand. Ferner wird im Weiteren die Pkw-Laufleistung und -Lebensdauer kritisch analysiert und diskutiert.

### 6.6.2 Verkehrsleistung in Deutschland und der Welt

Der Personenverkehr unterlag in Deutschland in den letzten 200 Jahren gravierenden Veränderungen. Ende des 19. Jahrhunderts bis Mitte des 20. Jahrhunderts war die Eisenbahn das mit Abstand meist genutzte Verkehrsmittel. Mit der Entwicklung des Automobils, vor mehr als 125 Jahren, wurde ein individuelles und flexibles Verkehrsmittel geschaffen, welches den Personenverkehr seit Mitte des letzten Jahrhunderts dominiert (Braess & Seiffert 2011). Die genaue Analyse der Verkehrsleistung im motorisierten Personenverkehr der letzten Jahre zeigt, dass der prozentuale Anteil des motorisierten Individualverkehrs (MIV) an der Verkehrsleistung seit den 1970er Jahren auf sehr hohem Niveau nahezu stagniert<sup>23</sup>. Der Anteil des öffentlichen Straßenpersonenverkehrs (ÖSPV) am Gesamtverkehr war in diesem Zeitraum stark rückläufig. Dafür konnte sich der Eisenbahnverkehr stabilisieren und der Luftverkehr nahezu verfünffachen (BMVBS 2000, BMVBS 2013).

In absoluten Zahlen hat sich die Verkehrsleistung im motorisierten Personenverkehr (ÖV + MIV) von 556,4 Mrd. pkm im Jahr 1975 auf 1 117 Mrd. pkm im Jahr 2010 erhöht<sup>24</sup>. Bei einer Bevölkerungsgröße von 61,8 Mio. Einwohnern im Jahr 1975 entspricht das einer jährlich zurückgelegten Strecke von rund 9 000 km pro Einwohner im motorisierten Personenverkehr. Für die 81,8 Mio. im vereinigten Deutschland lebenden Menschen im Jahr 2010 hat sich diese Strecke auf rund 13 700 km/a pro Einwohner erhöht (Tab. 6-15). Außerdem ist in Tab. 6-15 der bisher unberücksichtigte nicht motorisierte Verkehr von Fußgängern und Fahrradfahrern zu sehen. Im Jahr 1975 hat jeder Bürger in der BRD durchschnittlich 421 km/a zu Fuß zurückgelegt. Dieser Wert lag im Jahr 2010 nahezu unverändert bei 423 km/a. Die mit dem Fahrrad zurückgelegte Strecke hat sich von 1975 bis 2010 jedoch von 220 km/a auf 396 km/a signifikant erhöht<sup>25</sup>.

<sup>23</sup> Als MIV wird der Verkehr von Pkw und motorisierten Zweirädern bezeichnet, wobei heute in Deutschland nahezu die gesamte Verkehrsleistung des MIV auf den Pkw-Verkehr entfällt.

<sup>24</sup> 1975 ohne die Bevölkerung der DDR. Die Einheit Personenkilometer (pkm) steht für das Produkt der transportierten Personen mit der von ihnen zurückgelegten Strecke.

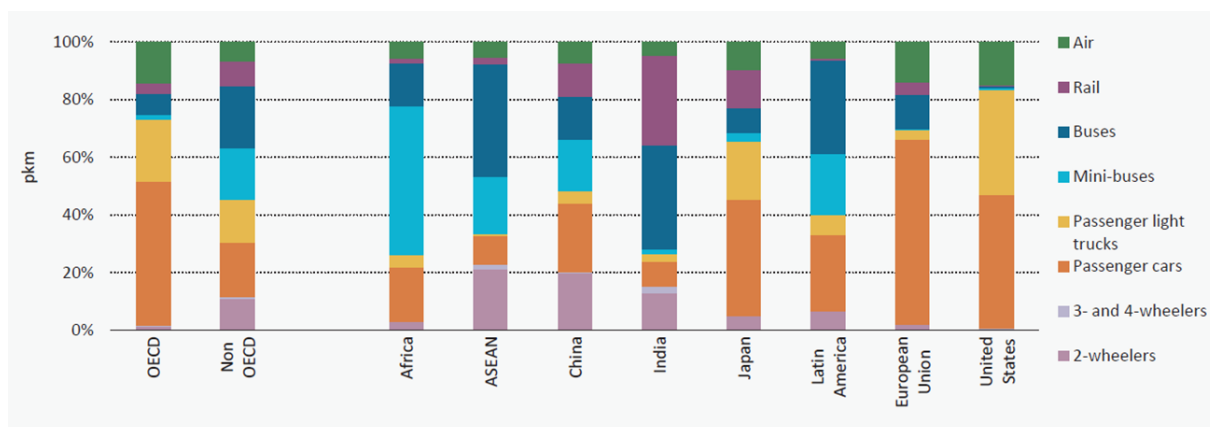
<sup>25</sup> Eigene Auswertung aus (BMVBS, Verkehr in Zahlen 2000, 2000) und (BMVBS, Verkehr in Zahlen 2012/2013, 2013)

Jahr	Verkehrsleistung gesamt <sup>a</sup>					Verkehrsleistung pro Einwohner <sup>a</sup>				
	ÖV	MIV	Fuß- wege	Fahrrad	Bevöl- kerung	ÖV	MIV	Fuß- wege	Fahrrad	Summe
	[Mrd.pkm]	[Mrd.pkm]	[Mrd.pkm]	[Mrd.pkm]	[Mio.]	[km/a]	[km/a]	[km/a]	[km/a]	[km/a]
1975	115,3	441,1	26	13,6	61,8	1 865	7 134	421	220	9 639
2000	195,5	849,6	30	23,9	82,3	2 377	10 328	365	291	13 360
2010	214,9	902,4	34,6	32,4	81,8	2 629	11 038	423	396	14 486

<sup>a</sup> Eigene Auswertung aus (BMVBS Verkehr in Zahlen 2000, S. 105 und S. 216; BMVBS Verkehr in Zahlen 2012/2013, S. 96, S. 219 und S. 224). Öffentlicher Verkehr (ÖV) = ÖSPV + Eisenbahnverkehr + Luftverkehr

**Tab. 6-15 Entwicklung der Verkehrsleistung im Personenverkehr in Deutschland von 1975 - 2010**

Der zuvor geschilderten Verteilung der (motorisierten) Verkehrsleistung in Deutschland kann auch die entsprechende Situation in anderen Ländern gegenübergestellt werden. Abb. 6-15 zeigt die prozentuale Aufteilung der Verkehrsleistung ausgewählter Länder und Regionen des Jahres 2009 im motorisierten Personenverkehr. Dabei ist auffällig, dass in China und Indien bisher nur ein kleiner Teil der Personenverkehrsleistung auf Pkw entfällt. In Europa und den USA dominiert der Pkw und SUV den Personenverkehr.



**Abb. 6-15 Verkehrsleistung im motorisierten Personenverkehr 2009**

Quelle: (IEA 2012, S. 426)

Vor dem Hintergrund einer wachsenden Mittelschicht in China und Indien, dem demographischen Wandel, steigender Kraftstoffpreise und einem durch technologische Möglichkeiten breiteren Angebot unterschiedlicher Mobilitätsoptionen ist davon auszugehen, dass sich der in Abb. 6-15 dargestellte Mix bis zum Jahr 2050 signifikant verändern wird. Es ist jedoch schwer vorherzusehen, wie sich die Verkehrsleistung im motorisierten Personenverkehr in Deutschland und weltweit bis zum Jahr 2050 auf die verschiedenen Verkehrsträger verteilen wird. Entsprechende Prognosen sind daher nicht Gegenstand dieser Arbeit.

### 6.6.3 Pkw Bestandsentwicklung in Deutschland und der Welt

Der deutsche Pkw-Markt erreichte mit 42 Mio. zugelassenen Pkw im Jahr 2010 nach den USA, Japan und China den viertgrößten Pkw-Landesbestand in der Welt. Am weltweiten Bestand von 842 Mio. Pkw im Jahr 2010 entspricht dies jedoch für die Bundesrepublik Deutschland nur einem Anteil von 5 % (IEA 2012).

Der Fahrzeugbestand ist in den letzten Jahren in Deutschland stetig gewachsen und hat bis zum 01.01.2012 eine Größe von 42,9 Mio. Pkw erreicht. Im Vergleich dazu waren im Jahr 2000 nur 39 Mio. Pkw in Deutschland zugelassen. Das entspricht einer Steigerung von 10 % im Vergleich zur Jahrtausendwende (Statistisches Bundesamt 2013). Tab. 6-16 gibt einen Überblick über den Pkw-Bestand und die Anzahl der Neuzulassungen im Jahr 2012. Dabei ist auffällig, dass der Anteil von neu zugelassenen Diesel-Pkw mit 48,2 % deutlich über dem Bestand von 27,7 % liegt - ein Trend, der schon über mehrere Jahre anhält und langfristig auch den Flottenbestand signifikant verändern wird. Hingegen liegt der Anteil von neu zugelassenen Hybrid- und Elektro-Pkw nur bei 0,8 %.

	Pkw-Bestand 2012 <sup>a</sup>		Neuzulassungen 2012	
	Anzahl	Anteil [in %]	Anzahl	Anteil [in %]
Insgesamt	42 927 647	100	3 082 504	100
Benzin	30 452 019	70,9	1 555 241	50,5
Diesel	11 891 375	27,7	1 486 119	48,2
Flüssiggas (LPG)	456 252	1,1	11 465	0,4
Erdgas (CNG)	74 853	0,2	5 215	0,2
Hybrid	47 642	0,1	21 438	0,7
Elektro	4 541	0,0	2 956	0,1

<sup>a</sup> Bestand am 01.01.2012

**Tab. 6-16 Pkw-Bestand und Neuzulassungen in Deutschland nach Kraftstoffart (Statistisches Bundesamt 2013)**

Tab. 6-17 zeigt die Verteilung des Pkw-Bestands nach dem Segment<sup>26</sup> in den Jahren 2012 und 2008. In diesem Zeitraum hat vor allem der Bestand an kleinen Fahrzeugen und Geländewagen zugenommen. Bei den kleinen Fahrzeugsegmenten Minis (z. B. smart) und Kleinwagen (z. B. VW Polo) ist der Bestand von 9,8 Mio. auf 11,7 Mio. Fahrzeuge um knapp 20 % gestiegen. Ein Effekt, der sicherlich mit der in der Bundesrepublik in den Jahren 2009 und 2010 gezahlten Umweltprämie in Verbindung steht (BAFA 2009). Das mittlere Fahrzeugsegment, bestehend aus den Kompaktwagen (z. B. VW Golf) und der Mittelklasse (z. B. Mercedes-Benz C-Klasse) macht in 2012 45 % des Pkw-Bestands aus. Damit hat sich dieses Segment, im Vergleich zu den 49 % aus dem Jahr 2008, um 4 % verkleinert. Hingegen ist der Geländewagen-Bestand um 74 % zwischen 2008 und 2012 auf 2,1 Mio. Pkw gestie-

<sup>26</sup> Das KBA teilt die zugelassenen Personenkraftwagen in 13 Fahrzeugsegmente. Die Segmentierung erfolgte in Absprache mit der deutschen Automobilindustrie anhand optischer, technischer und marktorientierter Merkmale (KBA 2013a, S.39).

gen. Hier ist von einer Abwanderungsbewegung von Kunden der Mittelklasse bzw. Oberen Mittelklasse auszugehen.

	Pkw-Bestand 2012		Pkw-Bestand 2008	
	Anzahl [in Mio.]	Anteil [in %]	Anzahl [in Mio.]	Anteil [in %]
Insgesamt	42,9	100	41,2	100
Minis	2,6	6	1,6	4
Kleinwagen	9,1	21	8,2	20
Kompaktwagen	11,6	27	11,5	28
Mittelklasse	7,7	18	8,6	21
Obere Mittelklasse	2,1	5	2,5	6
Geländewagen	2,1	5	1,2	3
sonstige <sup>a</sup>	7,7	18	7,5	18

<sup>a</sup> Oberklasse, Sportwagen, SUVs, Mini-Vans, Großraum-Vans, Wohnmobile, Nutzfahrzeuge

**Tab. 6-17 Pkw-Bestand in Deutschland nach Segment in 2012 und 2008 (Statistisches Bundesamt 2013)**

Weit über die Hälfte der deutschen Pkw-Zulassungen (62 %) im Jahr 2012 wurde nicht von privaten Käufern, sondern von Unternehmen, öffentlichen Einrichtungen und sogenannten freien Berufen als Firmenwagen durchgeführt. Somit wurden nur 38 % der Fahrzeuge von Privatkäufern zugelassen (KBA 2013b). Die Privatkäufer halten aber wiederum knapp 90 % der zugelassenen Fahrzeuge im gesamten Pkw-Bestand. Das erklärt sich durch die kürzere Haltedauer der Firmenwagen, die nach ihrer Nutzung wieder dem Gebrauchtwagenmarkt und damit größtenteils den Privatkunden zur Verfügung stehen (Gnann et al. 2012). Der Gebrauchtwagenmarkt ist mit einer durchschnittlichen Größe von 6,5 Mio. Fahrzeugen etwa doppelt so groß wie der Neuwagenmarkt von 3,3 Mio. neu zugelassenen Pkw pro Jahr (DAT 2013)<sup>27</sup>. Die Addition von Neuzulassungen und Besitzumschreibungen gebrauchter Fahrzeuge der letzten 10 Jahre in Deutschland ergibt einen Durchschnitt von 9,8 Mio. Pkw-Zulassungen pro Jahr.

### Prognose Pkw-Bestand Deutschland

Der zukünftige Pkw-Bestand in Deutschland ist eng verknüpft mit der Nachfrage nach zukünftig zur Verfügung stehenden Verkehrsmitteln. Die zukünftige Verkehrsentwicklung ist in den letzten Jahren in einer Vielzahl von Studien analysiert worden. (Dünnebeil et al. 2013) geben in ihrer Veröffentlichung „Analyse aktueller Szenarien zur Entwicklung des Verkehrs in Deutschland und dessen Umweltwirkungen“ einen ausführlichen Überblick über diese Studien (Abb. 6-16). Zwischen den Studien gibt es große Unterschiede hinsichtlich der verkehrlichen Entwicklung, dem technischen Fortschritt und den sozialen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (Dünnebeil et al. 2013).

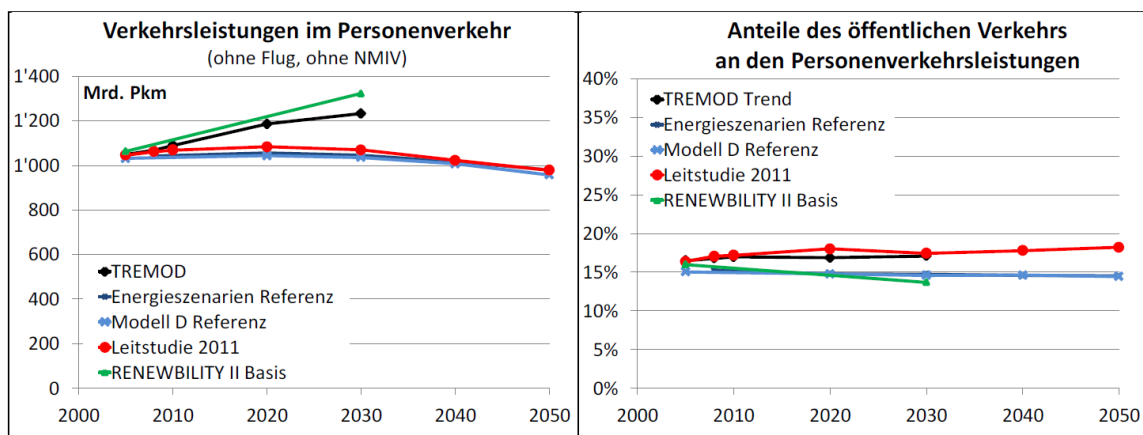
<sup>27</sup> Mittelwert der Pkw -Neuzulassungen u. Besitzumschreibungen von 2003-2012.

	Modell Deutschland	Energie-szenarien	Leitstudie 2011	Renewability	TREMOD
<b>Erscheinungsjahr</b>	2009	2010	2012	2009, 2012	2012*
<b>Auftraggeber</b>	WWF Deutschland	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi	Bundesumweltministerium BMU	Bundesumweltministerium BMU	Umweltbundesamt (UBA), Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) u.a.
<b>Auftragnehmer</b>	Prognos, Öko-Institut	EWI, GWS, Prognos	DLR, IWES, IfNE	Öko-Institut, DLR; in Renewability II auch Fraunhofer ISI	IFEU Heidelberg
<b>Bezugszeitraum</b>	2005-2050	2008-2050	2005-2050	2005-2030	1960-2030/2050
<b>Auswahlgründe für die Studie</b>	Erste umfassende Gesamt-schau bis 2050	Aktuelle Szenarien der Bundesregierung	Aktuelle BMU-Szenarien	Stakeholder-Konzept bei Szenarien	Nationale Berichterstattung, Szenarien für NEC, NKI u.a.

**Abb. 6-16 Übersicht Studien zur Verkehrsentwicklung in Deutschland**

Quelle: (Dünnebeil et al. 2013, S.9)

Im Personenverkehr treffen die Studien keine übereinstimmenden Annahmen hinsichtlich der Verkehrsleistungen: Renewability und TREMOD erwarten ein weiteres Wachstum bis 2030. Die anderen Studien gehen dagegen durch den Bevölkerungsrückgang von einem Rückgang der Verkehrsleistung aus. Die Verkehrsleistung des öffentlichen Personenverkehrs ändert sich laut den Studien nur wenig (Abb. 6-17).



**Abb. 6-17 Referenzentwicklung der Verkehrsleistungen im motorisierten Personenverkehr**

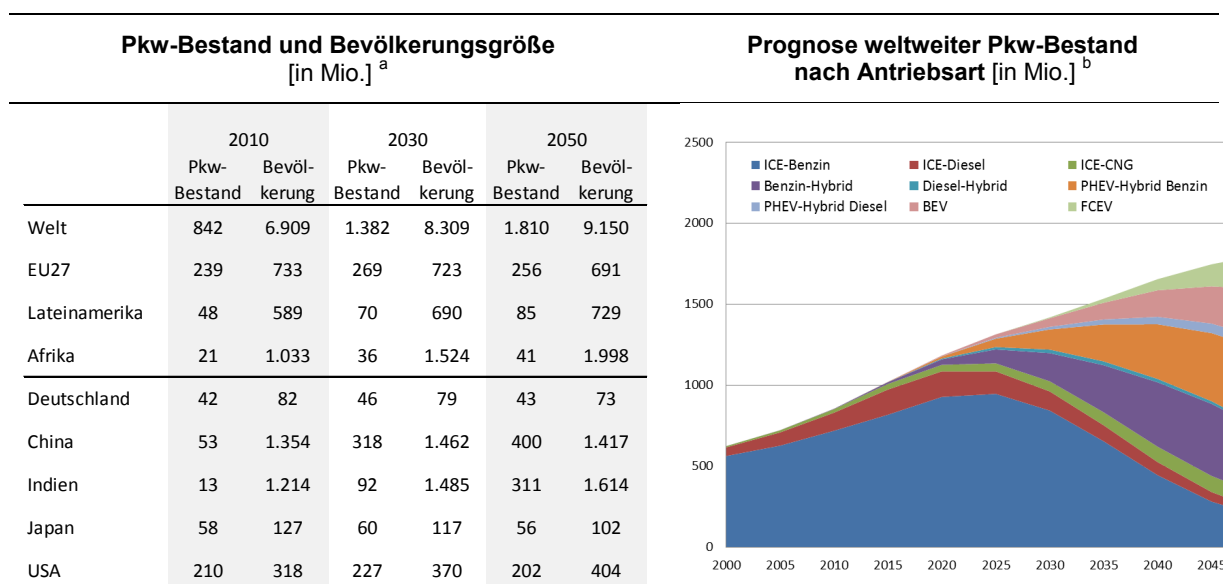
Quelle: (Dünnebeil et al. 2013, S. 19)

In dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass sich die Verkehrsleistung im MIV von 2010 bis zum Jahr 2050 nicht verändert. Diese Annahme bewegt sich innerhalb der Bandbreite der zuvor abgebildeten Studien. So wird der Pkw-Bestand in Deutschland bis zum Jahr 2050 auf dem Niveau vom Jahr 2010 bei 42 Mio. Pkw belassen (unter den weiteren Annahmen: gleiche Fahrleistung und gleicher Pkw-Besetzungsgrad). Ferner wird vereinfachend davon ausgegangen, dass sich die gesamte deutsche Pkw-Flotte aus dem in 6.2 beschriebenen

mittleren Pkw-Segment zusammensetzt. Die Zusammensetzung dieser Flotten nach Antriebskonzepten wird in vier Szenarien verändert.

### Prognose Pkw-Bestand Welt

Das weltweite Verkehrsaufkommen und der Motorisierungsgrad werden aller Voraussicht nach auch zukünftig rasant zunehmen. Diese Entwicklung wird vor allem ausgelöst durch das Bevölkerungswachstum in Kombination mit steigenden Einkommen in zahlreichen Regionen der Welt (Abb. 6-18). Abb. 6-18 (links) zeigt den prognostizierten Pkw-Bestand im Vergleich zur Prognose der weltweiten Bevölkerung bis zum Jahr 2050. Demnach wird der Pkw-Bestand in den nächsten Jahren vor allem in Indien und China wachsen, Europa und die USA bleiben auf nahezu konstantem Niveau. Abb. 6-18 (rechts) zeigt eine IEA-Prognose des weltweiten Pkw-Bestandes nach der Antriebsart. Das hier dargestellte Szenario stellt den optimistischen Fall eines sehr hohen Flottendurchsatzes alternativer Antriebe dar. Es beruht auf der Annahme einer Verdoppelung des weltweiten Pkw-Bestandes im Vergleich zu heute. Bei einer durchschnittlichen Pkw-Lebensdauer von 10 Jahren wäre eine solche Bestandsentwicklung in der Zukunft mit einer erheblichen Produktionssteigerung von Pkw verbunden.



<sup>a</sup> Pkw-Bestand aus (IEA 2012) Basisdaten, Bevölkerungsprognose aus (Eurostat 2010)

<sup>b</sup> (IEA 2012), S. 443 Improved Case bzw. 2°C Szenario: Im Jahr 2050 beträgt der weltweite Pkw-Bestand 1,8 Mrd. Pkw. Im weniger optimistischen 4°C Szenario werden 2,3 Mrd. Pkw für 2050 prognostiziert.

### Abb. 6-18 Entwicklung Bevölkerungsgröße und Pkw-Bestand

Die gleichzeitig voranschreitende Urbanisierung wird die Umweltwirkungen des Verkehrs noch weiter verschärfen, sodass für ein zukünftig breiteres Angebot an alternativen Antrieben früher oder später auch Absatzmärkte entstehen werden (HWWI 2009). Wie schnell sich welche Antriebe an welchen Märkten durchsetzen werden, ist derzeit bis zum Jahr 2050 nur schwierig vorherzusehen. In dieser Arbeit werden deshalb die zwei Pkw-Bestandsszenarien aus der IEA Technology Perspectives 2012 (IEA 2012) um zwei weitere Szenarien ergänzt, um eine breitere Sicht auf die möglichen Folgen der verschiedenen Motorisierungsoptionen zu bekommen (Vgl. Abschnitt 6.6.6)

## 6.6.4 Pkw-Fahrleistung und Pkw-Lebensdauer in Deutschland und der Welt

### Pkw-Fahrleistung

In Deutschland gibt es keine zentrale Stelle, die reale Fahrleistungen der einzelnen Pkw-Antriebe dokumentiert und für wissenschaftliche Untersuchungen nutzbar macht. Verkehrsmodelle und Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von alternativen und konventionellen Antrieben unterliegen deshalb oft Annahmen über die tatsächliche Fahrleistung der zu untersuchenden Fahrzeuge. Denkbare Institutionen, um die reale Fahrleistung der Fahrzeuge zu erfassen, wären der TÜV oder die DEKRA, die bei ihren regelmäßigen Hauptuntersuchungen der Fahrzeuge auch den Kilometerstand dokumentieren müssen (BGBl 2012).

Um dennoch gesicherte Daten für Verkehrspolitik und Verkehrsplanung zu erhalten, bedient man sich der Methode der Verkehrsbefragung. In Deutschland existieren derzeit mehrere größer angelegte Verkehrsbefragungen<sup>28</sup>. Die wohl umfangreichste wurde von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) letztmalig im Jahr 2002 durchgeführt. Dort wurde auf Basis unterschiedlicher Erhebungen (Halterbefragung nach dem Tachostand, Erhebung zum grenzüberschreitenden Verkehr) die Kfz-Fahrleistung empirisch ermittelt. Die Erhebung stützt sich auf eine Befragung von 127 000 Fahrzeughaltern mit einer Rücklaufquote von etwa 70 % (BASt 2002). Da die Fahrleistungserhebung schon älter als 10 Jahre ist, werden hier im weiteren auch neuere Erhebungen betrachtet und mit den Ergebnissen der BASt verglichen.

Nobis und Luley geben in ihrer Veröffentlichung „Bedeutung und gegenwärtiger Stand von Verkehrsdaten in Deutschland“ einen ausführlichen Überblick über die verschiedenen Verkehrserhebungen (Nobis & Luley, 2005). Tab. 6-18 gibt einen Überblick über Art und Umfang der für diese Arbeit näher untersuchten Verkehrsbefragungen. Beim Mobilitätspanel (MOP) werden Personen in Haushalten über insgesamt drei Jahre einmal im Jahr über ihr Mobilitätsverhalten befragt. Die befragten Personen müssen dabei Auskunft über die Fahrleistung und den Benzinverbrauch der im Haushalt vorhandenen Pkw geben. Eine weitere Spezifikation der Pkw nach Typ oder Segment findet in der Erhebung nicht statt. Die Studie Mobilität in Deutschland (MiD) wurde bisher in den Jahren 2002 und 2008 durchgeführt. Sie basiert auf einer komplexen Kombination aus schriftlicher, telefonischer und Online-Erhebung. Im Ergebnis werden die Weghäufigkeit und die Verteilung der Verkehrsmittelnutzung der befragten Personen ausgegeben. Dabei können die berichteten Wege und deren Weglänge direkt einem Pkw zugeordnet werden. In der Studie Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland (KiD) wird eine statistisch relevante Menge an Fahrzeugen und Haltern zufällig aus dem zentralen Fahrzeugregister des KBA gezogen und den Fahrer gebeten an einem Tag ein Wegtagebuch zu führen. Die Wegtagebücher verteilen sich über alle Wochentage. Die Ergebnisse der letzten Erhebung wurden erst im Frühjahr 2012 vorgestellt. Fahrleistungsdaten verschiedener Antriebsarten sind in der öffentlichen Version nicht gedruckt. In der weiteren Analyse wird daher nur auf die Daten der Erhebung Mobilität in Deutschland (MiD 2008) und der Fahrleistungserhebung (BASt 2002) zurückgegriffen.

<sup>28</sup> MiD – Mobilität in Deutschland, MOP – Deutsches Mobilitätspanel, SrV – System repräsentativer Verkehrsbefragungen, KiD – Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland, Fahrleistungserhebung der BASt.

	<b>Mobilitätspanel (MOP)<sup>a</sup></b>	<b>Mobilität in Deutschland (MiD)<sup>b</sup></b>	<b>Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland (KiD)<sup>c</sup></b>
Durchführung	1994-2011	2002, 2008	2002, 2010
Erhebungszeitraum	3 x in 3 Jahren	1 Jahr	1 Jahr
Auftraggeber	BMVBS	BMVBS	BMVBS
Auftragnehmer	KIT	Infas, DLR	WVI, IVT, DLR, KBA
Umfang	1 000 HH	50 000 HH	100 000 Fzge.
Berichtsperiode	7 Tage	1 Tag	1 Tag

<sup>a</sup> (KIT 2012)  
<sup>b</sup> (infas & DLR 2008)  
<sup>c</sup> (WVI, IVT, DLR, & KBA, 2012)

**Tab. 6-18 Verschiedene Verkehrserhebungen im Vergleich**

Die Datensätze der MiD lassen sich auch nach Fahrzeugsegmenten auswerten, da die Fahrzeuge in der Erhebung eindeutig den Fahrzeugsegmenten des KBA zugeordnet werden können (Tab. 6-19). In der Analyse fällt auf, dass Fahrzeuge mit einem Diesel- und Gasmotor (CNG/LPG) signifikant mehr fahren als Benzinfahrzeuge. Diese Erkenntnis deckt sich auch mit den Ergebnissen der Fahrleistungserhebung der BAST aus dem Jahr 2002. Dort liegt die durchschnittliche Fahrleistung von Benzin-Pkw bei 11 934 km/a und von Diesel-Pkw bei 20 925 km/a (IVT 2004) im Vergleich zu den 11 793 bzw. 21 104 km/a aus der MiD 2008 (Tab. 6-19). Im Vergleich zu den eben genannten Zahlen geht das DIW in seiner alljährlich erscheinenden Veröffentlichung „Verkehr in Zahlen“ für das BMVBS von einer durchschnittlichen Laufleistung von 11 900 km/a für Benzinfahrzeuge und 21 100 km/a für Dieselfahrzeuge aus dem Jahr 2008 aus (BMVBS 2013). Für alternative Antriebe lagen die Fallzahlen in der MiD 2008 bei nur 30 Fahrzeugen, welche hier aufgrund der geringen Stichprobengröße nicht dargestellt werden (Redelbach 2012). Zur Laufleistung von alternativen Antrieben liegen noch keine belastbaren Zahlen zur Fahrleistung vor.



	MiD 2008 <sup>a</sup>				BASt 2002 <sup>b</sup>
	Benzin [km/a]	Diesel [km/a]	CNG/LPG [km/a]	Gesamt [km/a]	Gesamt [km/a]
Minis	10 428	19 257	19 800	10 985	11 325
Kleinwagen	10 904	19 135	15 789	11 534	11 238
Kompaktklasse	11 964	20 843	23 530	13 720	13 298
Mittelklasse	12 847	23 591	23 746	16 065	15 468
Obere Mittelklasse	12 551	24 251	20 538	17 422	16 730
Oberklasse	14 785	22 114	15 000	16 407	18 664
Geländewagen	11 721	19 813	16 700	16 171	16 010
Sportwagen	9 774	13 036	15 000	9 880	-
Mini-Vans	11 847	19 321	21 380	13 853	-
Großraum-Vans	13 588	20 401	20 839	17 075	-
Utilities	12 060	18 445	18 190	16 690	18 320
Wohnmobile	15 000	11 452	-	11 461	-
nicht zuzuordnen	11 193	19 784	16 533	13 323	-
<b>Gesamtergebnis</b>	<b>11 793</b>	<b>21 104</b>	<b>20 452</b>	<b>14 111</b>	<b>13 397</b>

<sup>a</sup> (Redelbach 2012 aus infas & DLR 2008)

<sup>b</sup> (BASt 2002 aus IVT 2004 Tabelle 9, S. 187)

**Tab. 6-19 Vergleich Pkw-Fahrleistung [in km pro Pkw und Jahr] nach Fahrzeugsegment und Kraftstoffart von MiD 2008 und Fahrleistungserhebung BASt 2002**

Für die weltweite Pkw-Laufleistung wurde ebenfalls keine belastbare Datenquelle identifiziert. Eine für diese Arbeit durchgeführte Analyse der Pkw-Laufleistung der in STROM betrachteten Länder in den Basisdaten der IEA Technology Perspectives 2012 (IEA 2012) ergab z.T. sehr heterogene Ergebnisse. Im Jahr 2010 betrug laut Basisdaten der Studie die durchschnittliche Pkw-Laufleistung in den USA 24 400 km/a, in Japan 14 800 km/a, in Deutschland 15 000 km/a, in Indien 29 300 km/a und in China 24 800 km/a. Für das Jahr 2000 wurden für Indien und China sogar doppelt so hohe Laufleistungen angenommen. Es ist davon auszugehen, dass diese Daten nicht belastbar sind bzw. für einen anderen Zweck extrahiert wurden. Im Weiteren werden daher Annahmen über die weltweite Pkw-Laufleistung getroffen.

### Pkw-Lebensdauer

In der Realität wechseln Pkw im Laufe ihres Lebens mehrfach den Halter. Weil zudem nicht alle Komponenten ein Fahrzeugleben lang halten, werden diese ausgetauscht, um den weiteren Betrieb des Pkw zu gewährleisten. Mit der Außerbetriebsetzung beim KBA muss ein Fahrzeugleben allerdings noch nicht enden. Der Pkw kann dann entweder vorübergehend stillgelegt, ins Ausland gebracht oder verschrottet worden sein. Unter dieser Einschränkung lag das Durchschnittsalter des deutschen Pkw-Bestands im Jahr 2011 bei 8,3 Jahren (ACEA 2013). Es ist aber davon auszugehen, dass das reale Fahrzeugalter, vor allem durch die Weiternutzung im Ausland, wesentlich höher ist.

## Prognose der Pkw Fahrleistung und Lebensdauer in Deutschland und der Welt

Aus Gründen der Vergleichbarkeit von Szenarioergebnissen für Deutschland und die Welt wird hier eine einheitliche Pkw-Lebensdauer und Fahrleistung für beide Regionen gewählt. Als jährliche Fahrleistung aller Fahrzeuge werden hier 15 000 km/a angenommen. Damit ist die gewählte durchschnittliche Fahrleistung in etwa so hoch wie in Deutschland (Tab. 6-19). Hinsichtlich der Pkw-Lebensdauer wird von 10 Jahren ausgegangen. Die dadurch entstehende Lebensfahrleistung von 150 000 km pro Pkw entspricht dabei auch der gängigen Praxis relevanter LCA-Studien von Elektrofahrzeugen (Helms et al. 2011, Helms et al. 2013, Renault, 2011).

### 6.6.5 Verkehrsszenarien dieser Arbeit (Deutschland)

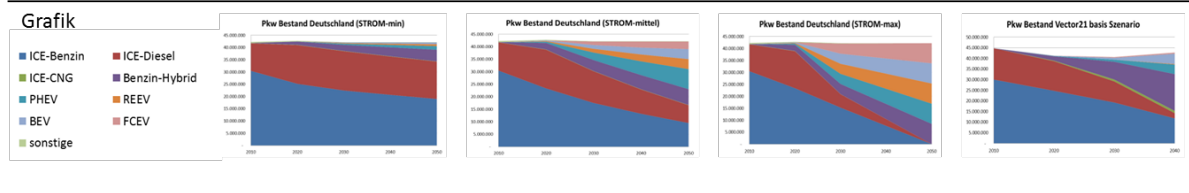
Wie bereits oben beschrieben wird hier davon ausgegangen, dass der Pkw-Bestand in Deutschland bis zum Jahr 2050 auf dem Niveau des Jahres 2010 bei 42 Mio. Pkw verbleibt. Die Flottenzusammensetzung (KBA Bestand 2010) wird bis zum Jahr 2050 in den Szenarien wie folgt verändert:

- **Referenz:** Keine alternativen Antriebe. Flotte besteht von 2020 bis 2050 zu 60 % ICE-Benzin und 40 % ICE-Diesel.
- **STROM-Min:** Lineare Umschichtung der Pkw-Flotte (KBA Bestand 2010) auf einen Anteil von insgesamt 3 Mio. PHEV, REEV und BEV in 2050. FCEV werden nicht berücksichtigt.
- **STROM-Mittel:** Dieses Szenario berücksichtigt das Ziel der NPE, bis zum Jahr 2020 1 Mio. und bis zum Jahr 2030 6 Mio. PHEV, REEV und BEV im Bestand zu haben. Bis zum Jahr 2050 wird der Bestand dann um das Wachstum von 2020 zu 2030 vergrößert. FCEV erreichen in diesem Szenario einen Bestand von 1,4 Mio. Pkw in 2020 und 3 Mio. Pkw in 2050.
- **STROM-Max:** Hier wird davon ausgegangen, dass bis zum Jahr 2050 die gesamte Pkw-Flotte in Deutschland aus jeweils gleichen Teilen (8,4 Mio.) HEV, PHEV, REEV, BEV und FCEV besteht. Herkömmliche Verbrenner sind bis dahin komplett aus dem Bestand verschwunden.

Das zusätzlich in Tab. 6-20 dargestellte Vector21-Basisszenario dient der späteren Einordnung der Vector21-Szenarien aus Unterkapitel 4.4 in die Ergebnisse dieses Kapitels. Es liegt von seiner Bestandsentwicklung etwa zwischen den Szenarien STROM-Min und STROM-Mittel (Tab. 6-20).

Für den Zu- und Abbau an Pkw wird hier vereinfachend davon ausgegangen, dass immer genau so viele Pkw zugebaut werden, wie im Jahr zuvor abgebaut wurden bei der weiter oben beschriebenen Nutzungszeit von 10 Jahren.

	STROM-min	STROM-mittel (NPE)	Strom-max	Vector 21 Basis Szenario
Pkw Bestand (aus Tremod 2012 basis)	42 Mio. (2010-2050)	42 Mio. (2010-2050)	42 Mio. (2010-2050) keine ICE- Benzin, ICE- Diesel bis 2050	42 Mio. (2010, 2020) 41 Mio. (2030) 42 Mio. (2040)
E-Fzg. Bestand (PHEV20, REEV80, BEV)	0,1 Mio. (2020) 1 Mio. (2030) 2 Mio. (2040) 3 Mio. (2050)	1 Mio. (2020) 6 Mio. (2030) 11 Mio. (2040) 16 Mio. (2050)	1 Mio. (2020) 12,6 Mio. (2030) 19 Mio. (2040) 25,3 Mio. (2050)	0,3 Mio. (2020) 2,3 Mio. (2030) 10 Mio. (2040)
FCEV Bestand	0 (2020) 0 (2030) 0 (2040) 0 (2050)	0 (2020) 1,4 Mio. (2030) 2,4 Mio. (2040) 3,1Mio. (2050)	0 (2020) 4,2 Mio. (2030) 6,3 Mio. (2040) 8,4 Mio. (2050)	0,06 (2020) 0,35 (2030) 0,6 (2040)



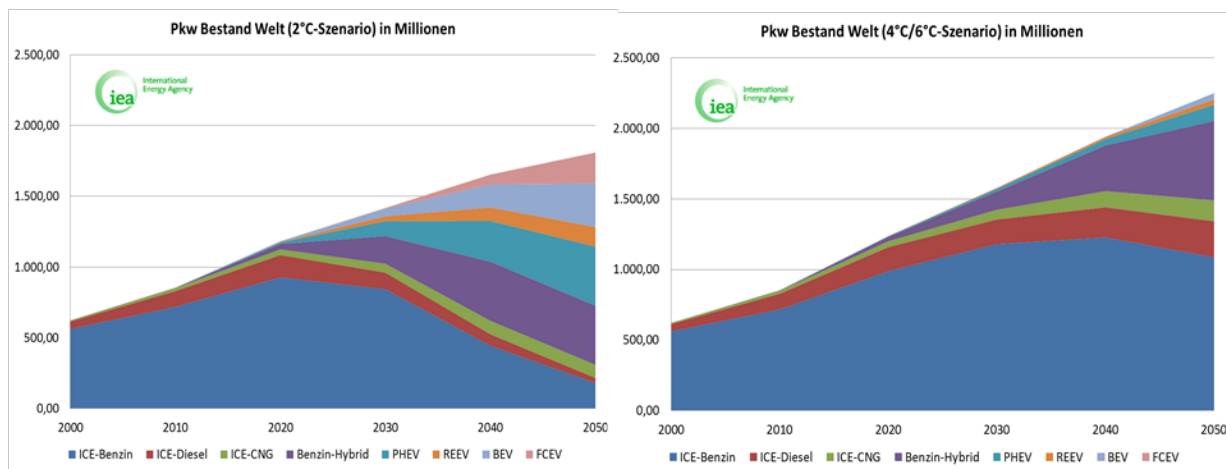
**Tab. 6-20 Pkw Bestand Deutschland in Szenarien 2010 – 2050**

**6.6.6 Verkehrsszenarien dieser Arbeit (Welt)**

Entgegen dem stagnierenden Pkw-Bestand in Deutschland ist weltweit von einem massiven Zubau des Pkw-Bestands auszugehen. Die IEA geht in ihren IEA Technology Perspectives 2012 (IEA 2012) in zwei unterschiedlichen Szenarien von einem Pkw-Bestand von 1,8 bzw. 2,3 Milliarden Pkw in 2050 aus. Im Jahr 2010 befanden sich dabei nur 850 Mio. Pkw im weltweiten Bestand. Die Flottendurchdringung mit alternativen Antrieben ist bei dem Szenario mit dem Bestand von 1,8 Milliarden Pkw auch deutlich höher als in dem Anderen (Abb. 6-19).

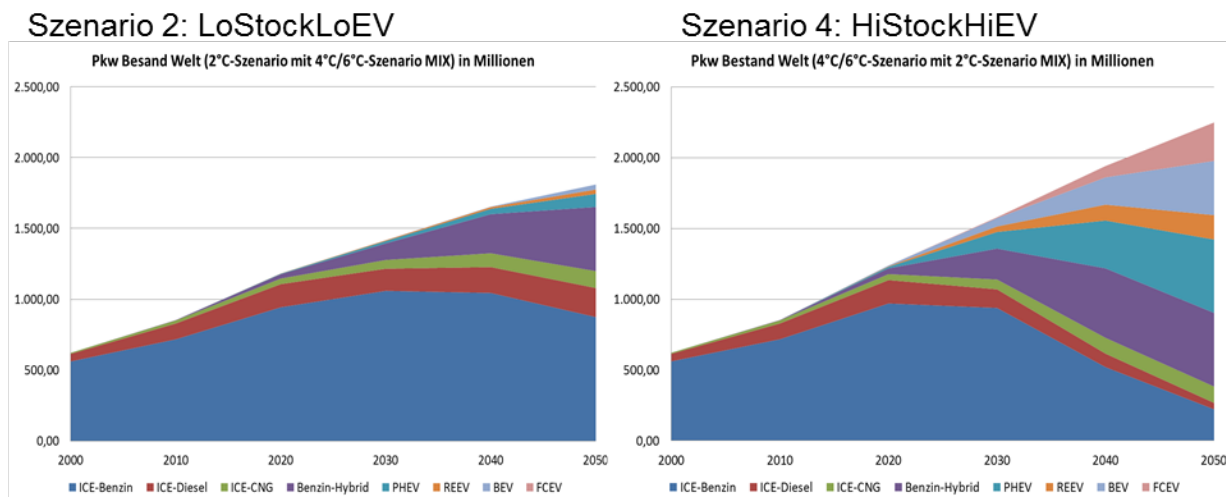
**Szenario 1: LoStockHiEV**

**Szenario 3: HiStockLoEV**



**Abb. 6-19 IEA-Szenarien (Eigene Darstellung aus IEA 2012, S. 443)**

Da zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht absehbar ist, welches dieser beiden IEA-Szenarien der Realität mehr entspricht, wurden diese im Folgenden um zwei weitere Szenarien erweitert. Diese zusätzlichen Szenarien stellen Varianten der zuvor beschriebenen IEA-Szenarien mit vertauschter Flottendurchdringung der Antriebe dar (Abb. 6-20).



**Abb. 6-20** Erweiterte IEA Szenarien

Die Lebensdauer pro Pkw entspricht dabei wieder den vorher festgelegten 10 Jahren. Der Zu- und Abbau an Pkw wurde so gewählt, dass die in Abb. 6-19 und Abb. 6-20 dargestellten Bestandszahlen erreicht werden können.

In den weiteren Analysen dieses Kapitels werden demnach zur Beschreibung der weltweiten Entwicklung des Pkw-Verkehrs die im Folgenden aufgelisteten Verkehrsszenarien berücksichtigt. Alle vier Szenarien wurden dabei nach einem einheitlichen Schema benannt, welches mit dem Bestand (Stock) und den Anteilen elektrifizierter Fahrzeuge (Electric Vehicles, EV) die zentralen Unterscheidungsmerkmale der Szenarien aufgreift:

- **LoStockHiEV** (2°C-Szenario IEA): 1,8 Mrd. Pkw in 2050 (83 % EV)
- **HiStockLoEV** (4°C-Szenario IEA): 2,3 Mrd. Pkw in 2050 (34 % EV)
- **LoStockLoEV**: 1,8 Mrd. Pkw in 2050 (34 % EV)
- **HiStockHiEV**: 2,3 Mrd. Pkw in 2050 (83 % EV)

### 6.6.7 Daten- und Forschungsbedarf

Wie sich die Laufleistung der alternativen Antriebe, insbesondere die Aufteilung von verbrennungsmotorisch und elektrisch gefahrener Wegstrecke bei PHEV und REEV entwickeln wird, dürfte für weitere Forschungen von besonderem Interesse sein.

In dieser Arbeit wurde vereinfachend eine Lebensdauer von 10 Jahren für alle Pkw angenommen. Hier sollten weiterführende Forschungen differenzieren, da z. B. deutsche Pkw schon heute nach ihrer Nutzung im Inland (8,3 Jahre in 2011) weitaus länger im Ausland (bspw. Osteuropa oder Afrika) genutzt werden. Für alternative Antriebe gibt es noch keine Langzeiterfahrungen mit den verbauten Komponenten in einem Massenmarkt. Die Frage nach der Zweit-Nutzung in einem anderen Markt kann somit noch schwieriger beantwortet

werden. Hier wird die Ersatzteil-Verfügbarkeit oder das Werkstatt-Knowhow in den Zweit-Nutzungsländern sicherlich lebensdauerlimitierend wirken.

Um die eben beschriebenen Forschungsfelder genauer zu bearbeiten, sollte mit Hilfe eines Flottenmodells die unterschiedliche Pkw-Laufleistung und die damit einhergehende Flottenumschichtung differenzierter betrachtet werden. Das Flottenmodell hilft dabei, genauere Zu- und Abbauzahlen von Pkw zu bestimmen, sofern die richtigen Überlebenskurven der Pkw hinterlegt worden sind.

Ferner ist die Untersuchung des Mobilitätsverhaltens der Menschen von besonderem Interesse. Unter dem Stichwort „Nutzen statt Besitzen“ könnte sich der Besetzungs- und Nutzungsgrad der Pkw zukünftig signifikant erhöhen und damit den Pkw-Bestand bei gleicher Beförderungsleistung verringern. Die weitere Verbreitung des mobilen Internets in Smartphones und die genaue Positionsbestimmung von multimodalen Mobilitätsoptionen (Fahrrad, ÖPNV, Pkw) bilden dabei die technologische Grundlage.

## 6.7 Kumulierter Materialbedarf und THG-Emissionen der Verkehrsszenarien

### *O. Soukup (WI)*

Neben der vergleichenden Bewertung verschiedener Fahrzeuge ist es auch Ziel dieser Analyse, die Auswirkungen verschiedener Entwicklungen der Pkw-Flotten in Deutschland und weltweit in Hinblick auf Ressourcenbedarf und THG-Emissionen zu vergleichen. Die Vorgehensweise bei der Berechnung sowie die Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt.

### 6.7.1 Vorgehensweise

Die Materialinventare der Typfahrzeuge aus Kapitel 6.5 und die Verkehrsszenarien aus Kapitel 6.6 stellen die Grundlage der vorgenommenen Hochrechnungen verschiedener langfristiger Entwicklungsmöglichkeiten von Ressourcenverbräuchen und THG-Emissionen dar.

Die Materialinventare der Typfahrzeuge umfassen neben den direkten Materialinputs der einzelnen Lebenszyklusphasen und Komponenten auch deren abiotischen Materialbedarf sowie die spezifischen THG-Emissionen (auch als Wirkungskategorien bezeichnet). Die konkreten Werte dieser Kategorien werden in der Darstellung der Methodik vereinfachend mit der Bezeichnung „*Inventardaten*“ zusammengefasst. Die Verkehrsszenarien weisen dagegen Zubau, Bestand und Abbau der jeweiligen Fahrzeugflotten aus, was in der folgenden Beschreibung als „*Flottenentwicklung*“ bezeichnet wird.

Ziel der Analyse ist es, die kumulierten Beiträge der Szenarien zu den zuvor genannten Wirkungskategorien zu ermitteln. Diese Berechnungen werden hier als „*Ermittlung der Wirkungsbeiträge*“ bezeichnet.

Für den Vergleich der Szenarien werden zunächst die Wirkungsbeiträge für die Fahrzeugflotten jedes Szenarios in jedem Zehn-Jahres-Schritt bestimmt und anschließend summiert, um Gesamtergebnisse über den vollständigen Betrachtungszeitraum 2011-2050 zu erhalten.

Die Inventardaten der einzelnen Fahrzeuge werden dabei wie folgt mit den Flottenentwicklungen der Verkehrsszenarien verrechnet:

- Multiplikation der Inventardaten der Herstellungsphase mit dem kumulierten Zubau eines Jahrzehnts zur Bestimmung des Wirkungsbeitrags der Herstellung. Der Herstellungsaufwand wird demnach vollständig dem Jahrzehnt der Herstellung zugeordnet.
- Multiplikation der Inventardaten der Nutzungsphase mit dem jährlichen (interpolierten) Fahrzeugbestand von 2011 bis 2050 zur Bestimmung des Wirkungsbeitrags der Nutzungsphase. Die Fahrzeugnutzung nach 2050 bleibt hierbei unberücksichtigt.
- Multiplikation der Inventardaten der Entsorgungsphase mit dem kumulierten Rückbau eines Jahrzehnts zur Bestimmung des Wirkungsbeitrags der Entsorgung.

Im Fokus der Auswertung dieses Kapitels stehen die Darstellung der Wirkungsbeiträge der Szenarien zum abiotischen Materialbedarf und zu den THG-Emissionen (GWP). Hierzu wird eine Aggregation nach Lebenszyklus-Phasen vorgenommen, so dass unterschieden werden kann, ob die jeweiligen Wirkungsbeiträge durch die Herstellung, die Nutzung (getrennt nach konventionellen und elektrifizierten Fahrzeugen) oder durch die Entsorgung verursacht werden. Die Nutzungsphase wird dabei getrennt nach konventionellen und elektrifizierten Fahrzeugen ausgewiesen, wobei die Angaben zu elektrifizierten Fahrzeugen neben elektrischer Antriebsenergie auch die Bereitstellung von Kraftstoffen für Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeuge einbeziehen.

Der Vergleich der berücksichtigten Szenarien beruht hauptsächlich auf einer kumulativen Darstellung der Wirkungsbeiträge des gesamten Betrachtungszeitraums 2011-2050. Es kann so gezeigt werden, welche Ressourcen- bzw. Klimawirkung die Umsetzung eines Verkehrsszenarios innerhalb des betrachteten Zeitraums insgesamt verursacht - und wie die Wirkung des Szenarios im Vergleich mit anderen möglichen Entwicklungspfaden insgesamt einzuschätzen ist.

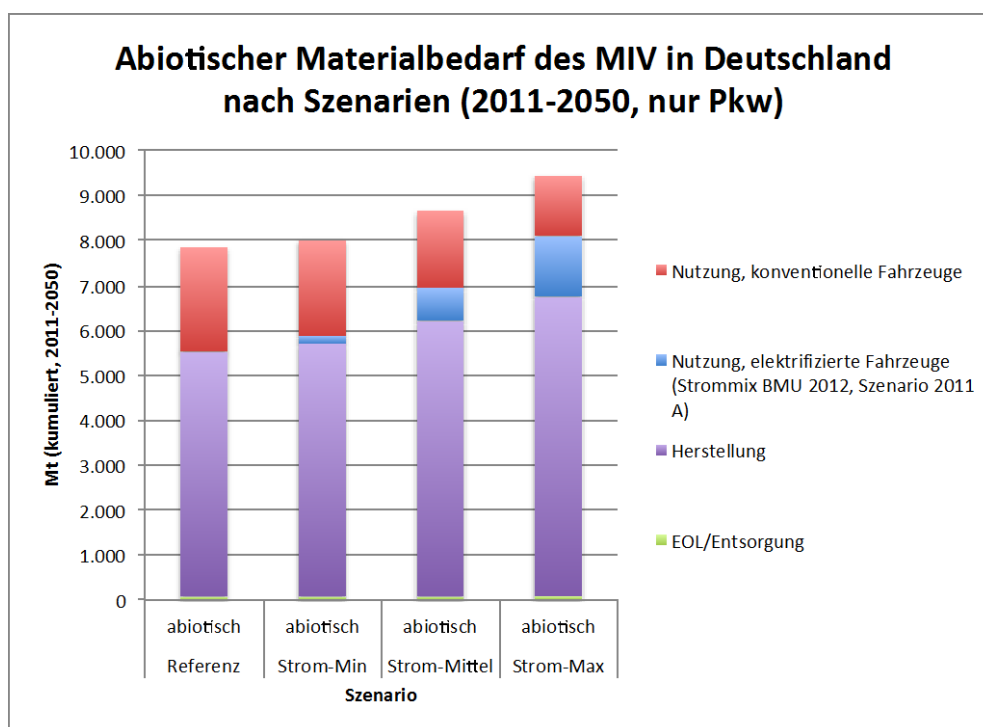
Ergänzend hierzu wird auch dargestellt, wie sich die Wirkungsbeiträge der Szenarien vom ersten (2011-2020) bis zum letzten betrachteten Zehnjahreszeitraum (2041-2050) entwickeln. Es wird so erkennbar, wie sich die Ressourcen- bzw. Klimawirkung der einzelnen Szenarien im Laufe des Betrachtungszeitraums verändert, ob also die Veränderungen von Fahrzeugflotten von 2011 bis 2050 zu weiter ansteigenden oder rückläufigen Umweltauswirkungen führt.

Wie bereits zuvor erwähnt, beinhaltet die Hochrechnung der Materialinventare auf Szenarioebene auch die Ermittlung des Bedarfs an direkten Materialinputs (inklusive Verlusten in der Verarbeitung). Diese Mengen werden zunächst für die Szenarien differenziert nach Komponenten ausgewiesen. Anschließend wird eine konsolidierte Materialliste erstellt, welche alle Inputs jedes Materials zu einer Gesamtnachfrage des Szenarios aggregiert. So wird z. B. ausgewiesen, wieviel Neodym, Silber oder Nickel im Zeitraum 2011-2050 in einem Szenario insgesamt benötigt wird. Diese Auflistung der ca. 180 erfassten Rohstoffinputs für jedes Szenario dient als Vorarbeit zur Identifikation kritischer Materialien in Kapitel 6.8.

Für eine kompakte Darstellung der vergleichenden Ergebnisse in diesem Kapitel wurde die kumulierte Ausweisung nach Szenarien gewählt. Prinzipiell sind die errechneten Wirkungsbeiträge der Szenarien aber auch differenziert ausweisbar nach Szenario, Zeitraum, Fahrzeugtyp und Komponenten. So ließe sich beispielsweise der berechnete Bedarf an Primäraluminium für den Zubau von BEV-Glidern in 2021-2030 im Szenario Strom-Max bei Bedarf gesondert ausweisen.

## 6.7.2 Abiotischer Materialbedarf Deutschland

Für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung aller Fahrzeuge im Zeitraum 2011-2050 ergibt sich aus den Berechnungen für Deutschland der in Abb. 6-21 dargestellte abiotische Materialbedarf. Den Ergebnissen liegt dabei die Annahme zu Grunde, dass die erforderliche elektrische Antriebsenergie aus einem Mix verschiedener Erzeugungsformen mit im Zeitverlauf steigenden Anteilen erneuerbarer Energien bereitgestellt wird. Der angenommene Strommix wurde bereits in Abschnitt 6.5.2 dargestellt und bildet das „Szenario 2011 A“ nach (Teske et al. 2012) ab. Grundlegende Erläuterungen zur Bedeutung des Indikators „Abiotischer Materialbedarf“ finden sich in Abschnitt 6.2.4.



**Abb. 6-21 Abiotischer Materialbedarf des Pkw-Verkehrs in Deutschland nach Verkehrsszenarien**

Der berechnete kumulierte abiotische Materialbedarf für Deutschland liegt je nach Szenario zwischen 7,8 und 9,4 Gt. Die auf der x-Achse aufgetragenen Szenarien sind von links nach rechts nach zunehmendem Anteil elektrifizierter Antriebe an der Fahrzeugflotte sortiert. Es ist demnach erkennbar, dass alle Elektromobilitätsszenarien gegenüber einer Referenzentwicklung ohne Elektromobilität über den gesamten Betrachtungszeitraum einen erhöhten abiotischen Materialbedarf aufweisen – und zudem mit steigender Elektrifizierung der Flotte auch der kumulierte abiotische Materialbedarf ansteigt. Während für das Szenario STROM-Min gegenüber der Referenz lediglich ein geringfügig um 2 % erhöhter Bedarf errechnet wurde, zeigt sich für STROM-Max bereits ein Anstieg um 20 % gegenüber der Referenz.

Aus ressourcenpolitischer Sicht und den in Unterkapitel 6.1 genannten Gründen sollte aber die Senkung des abiotischen Materialbedarfs Ziel einer zukünftigen Entwicklung des MIV sein. Vor dem Hintergrund politischer Ausbauziele für Elektrofahrzeuge in Deutschland sind daher die Ursachen des erhöhten Materialbedarfs von Elektromobilitätsszenarien von Bedeutung. Da die Größe des Fahrzeugparks in allen Szenarien als konstant angenommen wird, sind die höheren kumulierten Ergebnisse der STROM-Szenarien ausschließlich auf den

höheren Materialbedarf der elektrifizierten Fahrzeuge zurückzuführen, der bereits in Abschnitt 6.5.3 dargestellt wurde.

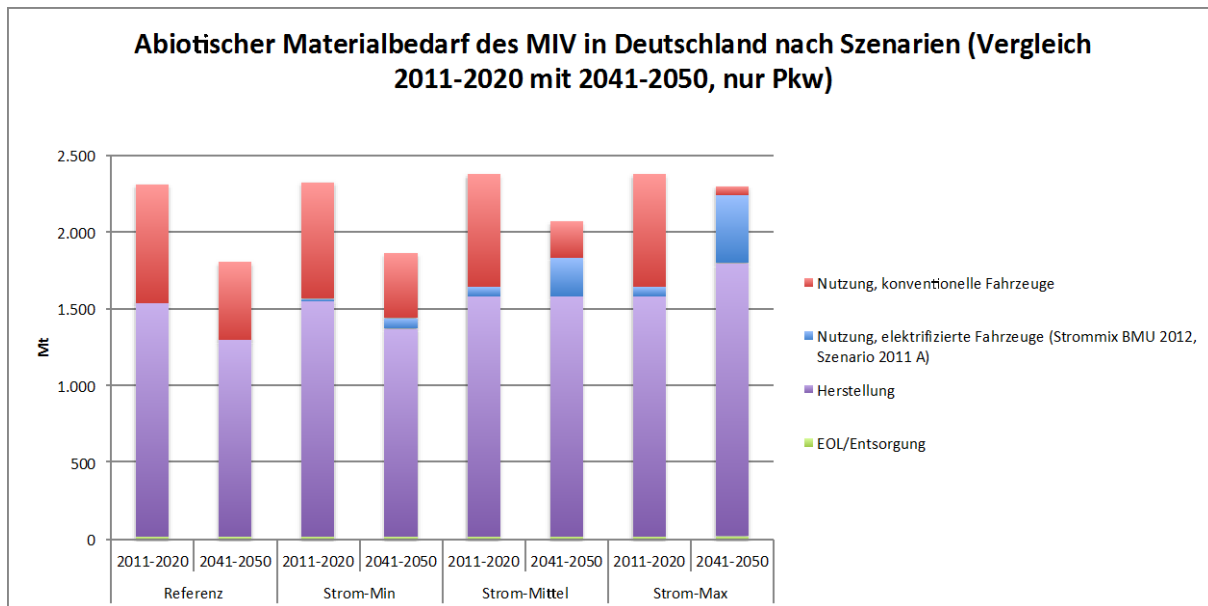
Aus einer differenzierten Betrachtung der Ergebnisse nach Lebenszyklusphasen wird deutlich, dass die Fahrzeugherstellung von zentraler Bedeutung für den abiotischen Materialbedarf der Szenarien ist. Auf sie entfällt in allen Szenarien ein Anteil von gut 70 %. Die Herstellung stellt daher auch den wichtigsten Ansatzpunkt zur Optimierung des Materialbedarfs dar. Zugleich ist erkennbar, dass die bereits in Abschnitt 6.5.3 thematisierte Herstellung zusätzlicher Komponenten für Elektrofahrzeuge (z. B. Batterien, elektrische Maschine, Leistungselektronik) mit zunehmendem E-Fahrzeug-Anteil zu steigendem Materialbedarf führt.

Auch die Nutzungsphase verzeichnet bei steigendem Anteil elektrischer Antriebe einen steigenden kumulierten abiotischen Materialbedarf. Sinkende Beiträge der Nutzung konventioneller Fahrzeuge werden hier durch zunehmende Beiträge der Nutzung elektrischer Antriebe leicht überkompensiert. Dies ist zumindest dann der Fall, wenn (wie hier angenommen) die elektrische Antriebsenergie aus einem Strommix mit zunächst noch hohen und erst im Zeitverlauf sinkenden Anteilen fossiler Erzeugung bereitgestellt wird. Zum erhöhten Materialbedarf der Nutzungsphase trägt also in diesem Fall unter anderem bei, dass über den gesamten Zeitraum ein (abnehmender) Teil der elektrischen Antriebsenergie aus Quellen mit hohem spezifischem Materialbedarf bezogen wird (z. B. Braun- und Steinkohle, vgl. Viebahn & Wiesen 2014).

Bereits die Bewertung des Materialbedarfs auf Fahrzeugebene hat gezeigt, dass die Entsorgung gegenüber Herstellung und Nutzung nur einen vernachlässigbar geringen Anteil aufweist (siehe hierzu auch Abschnitt 6.5.3). Dies spiegelt sich auch in den Szenariovergleichen wider.

Die zuvor dargestellten kumulierten Ergebnisse über den Betrachtungszeitraum dienen dem Vergleich der Szenarien untereinander hinsichtlich des abiotischen Materialbedarfs. Sie ermöglichen aber keine Aussagen dazu, wie sich der Materialbedarf innerhalb eines Szenarios im Zeitverlauf entwickelt – ob also in einem Szenario während des Betrachtungszeitraums davon auszugehen ist, dass der Materialaufwand im Vergleich zur gegenwärtigen Situation weiter ansteigt oder zurückgeht. Um diese Tendenz innerhalb der Szenarien abzubilden, wurden für jedes Szenario der kumulierte abiotische Materialbedarf des ersten und des letzten betrachteten Zehnjahreszeitraums gegenübergestellt (siehe Abb. 6-22). Hierfür wird ebenfalls die Bereitstellung von elektrischer Antriebsenergie nach „Szenario 2011 A“ gemäß (Teske et al. 2012) angenommen.





**Abb. 6-22 Abiotischer Materialbedarf des Pkw-Verkehrs in Deutschland nach Verkehrsszenarien, Gegenüberstellung der Zeiträume 2011-2020 und 2041-2050)**

Die Gegenüberstellung macht deutlich, dass in allen Szenarien eine Reduktion des Materialbedarfs einzelner Dekaden innerhalb des Betrachtungszeitraums erreicht wird. Dies ist auf die angenommene zeitliche Entwicklung des MIV (z. B. veränderte Fahrzeugeigenschaften, veränderte Zusammensetzung der Flotten) zurückzuführen.

Mit zunehmendem Anteil elektrifizierter Fahrzeuge fällt diese Reduktion des Materialbedarfs der letzten im Vergleich zur ersten Dekade jedoch zunehmend schwächer aus. Während für das Szenario Referenz ein Rückgang um 22 % berechnet wurde, kann der Materialbedarf im Szenario STROM-Max nur geringfügig um 3 % reduziert werden.

Die Unterteilung des Materialbedarfs in Lebenszyklusphasen zeigt, dass der Rückgang des Materialbedarfs der Nutzungsphase in allen Szenarien ähnlich stark ausfällt - wenn auch aus unterschiedlichen Gründen. Hinsichtlich der Herstellung ist eine Reduktion des Materialbedarfs dagegen nur in den Szenarien Referenz und STROM-Min zu beobachten, während die hohen Anteile elektrifizierter Fahrzeuge in den weiteren Szenarien zu stagnierendem Bedarf dieser Lebenszyklusphase (STROM-Mittel) oder sogar zu einer Steigerung im Zeitverlauf führen (STROM-Max).

Die Elektrifizierung der Pkw-Flotten allein ist demnach nicht geeignet, den Materialbedarf des Pkw-Verkehrs in Deutschland gegenüber einer Flotte ohne elektrische Antriebe weiter zu senken. Um dieses Ziel zu erreichen, sind weitere Maßnahmen notwendig. Hier sind technische Maßnahmen denkbar, die primär auf die materialintensive Herstellung der Fahrzeuge abzielen: Die Ergebnisse der MAIA auf Fahrzeugebene könnten genutzt werden, um verwendete Materialien mit besonders großem Materialbedarf zu identifizieren und in der Herstellung zu substituieren. Mit stärkeren Auswirkungen auf den Materialbedarf aller Lebenszyklusphasen wären dagegen strukturelle Ansätze verbunden, die auf eine intelligentere Nutzung mit besserer Auslastung des Pkw-Verkehrs sowie auf verlängerte Nutzungsdauern der Fahrzeuge abzielen.

### 6.7.3 Abiotischer Materialbedarf Welt

Analog zur zuvor beschriebenen Einordnung des abiotischen Materialbedarfs der Deutschland-Szenarien wurde auch eine entsprechende Berechnung für die vier berücksichtigten Welt-Szenarien durchgeführt. Auch hier wird für die Bereitstellung der elektrischen Antriebsenergie von einem Mix mit steigenden erneuerbaren Anteilen ausgegangen. Dieser entspricht dem Szenario ER der Studie (Teske et al. 2012) (vgl. Abschnitt 6.5.2).

Für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung aller Fahrzeuge im Zeitraum 2011-2050 ergibt sich der in Abb. 6-23 dargestellte weltweite abiotische Materialbedarf.

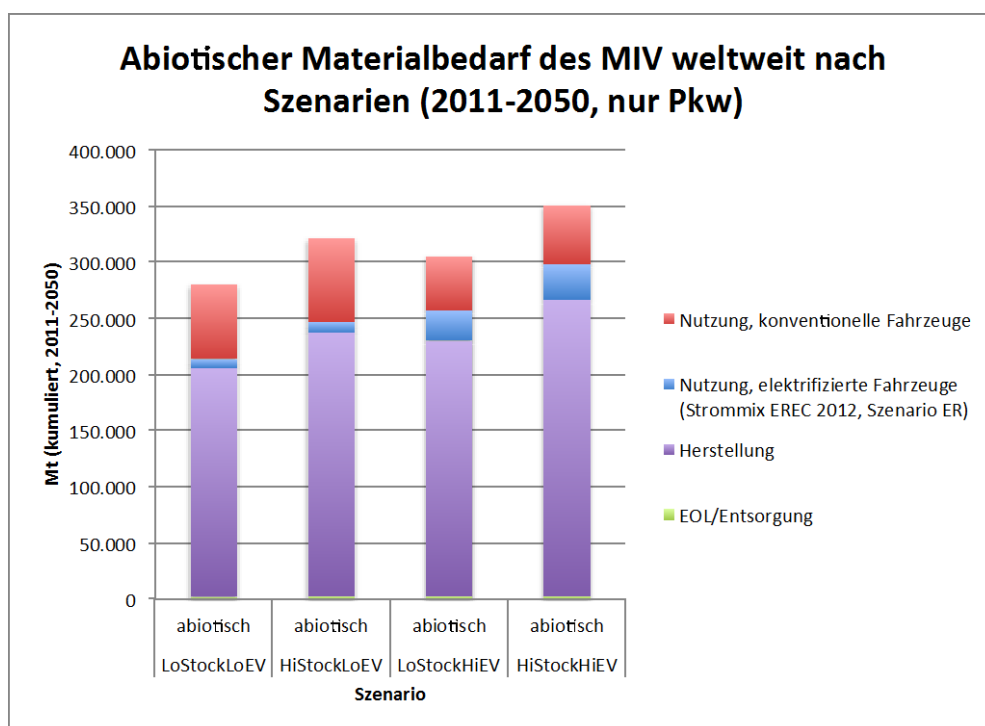


Abb. 6-23 Abiotischer Materialbedarf des Pkw-Verkehrs weltweit nach Verkehrsszenarien

Der berechnete kumulierte abiotische Materialbedarf liegt weltweit je nach Szenario zwischen 281 und 351 Gt. Im Gegensatz zu den Deutschland-Szenarien ist bei der Interpretation des weltweiten Materialbedarfs zu berücksichtigen, dass die verglichenen Szenarien von einem Wachstum der weltweiten Pkw-Flotten bis 2050 ausgehen, welches unterschiedlich stark ausfällt. Dabei wird in den mit „LoStock“ bezeichneten Szenarien ein geringeres Flottenwachstum angenommen als in den „HiStock“-Szenarien (vgl. Unterkapitel 6.6). Dies hat entsprechende Auswirkungen auf den Materialbedarf: Die beiden Szenarien mit kleineren Fahrzeugflotten weisen im Vergleich zu den beiden Szenarien mit großen Fahrzeugflotten einen geringeren kumulierten Materialbedarf auf. Die Gegenüberstellung der Szenarien mit identischer Bestandsentwicklung zeigt, dass sich jeweils für das Szenario mit höherem Anteil elektrifizierter Antriebe auch der höhere kumulierte Materialbedarf ergibt.

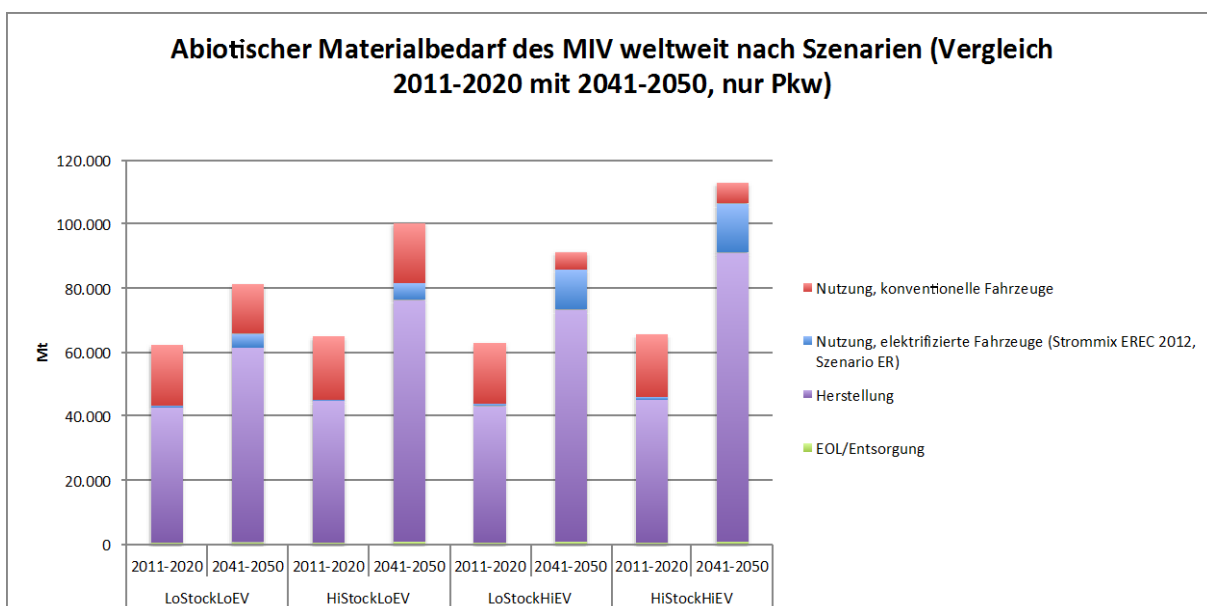
Der im Vergleich zu LoStockLoEV erhöhte abiotische Materialbedarf der weiteren Szenarien kann demnach einerseits auf ein stärkeres Flottenwachstum in den „HiStock“-Szenarien, andererseits auf den höheren Materialbedarf der elektrifizierten Fahrzeuge in den „HiEV-Szenarien“ zurückgeführt werden.

Der Vergleich zeigt auch, dass auch bei erhöhter Marktdurchdringung elektrischer Antriebe (LoStockHiEV) eine Senkung des kumulierten abiotischen Materialbedarfs gegenüber einer vorrangig auf Verbrennungsmotoren basierenden Entwicklung (HiStockLoEV) erreicht werden kann, wenn zugleich eine Begrenzung des Wachstums weltweiter Fahrzeugflotten angenommen wird.

Für die Differenzierung der Wirkungsbeiträge einzelner Lebenszyklusphasen zum kumulierten Materialbedarf der Szenarien gelten die bereits zu den Deutschland-Szenarien getroffenen Aussagen:

Die Fahrzeugherstellung ist von zentraler Bedeutung für den abiotischen Materialbedarf der Szenarien, zusätzliche Komponenten für Elektrofahrzeuge (z. B. Batterien, elektrische Maschine, Leistungselektronik) führen mit zunehmendem E-Fahrzeug-Anteil zu steigendem Materialbedarf. Der verbleibende Materialbedarf entfällt fast vollständig auf die Nutzungsphase, wobei sich die absoluten Beiträge bei gleichem Fahrzeugbestand kaum unterscheiden, sondern vorrangig eine Verlagerung von der Nutzung konventioneller zur Nutzung elektrifizierter Fahrzeuge stattfindet. Die Entsorgung weist gegenüber Herstellung und Nutzung nur einen vernachlässigbar geringen Anteil auf.

Die zuvor dargestellten Ergebnisse über den Betrachtungszeitraum ermöglichen eine Einordnung der Szenarien nach ihrem kumulierten abiotischen Materialbedarf. Weil aber in allen Szenarien ein deutliches Wachstum der Flotten angenommen wird, ist für die Berechnung der Welt Szenarien von besonderem Interesse, wie sich der Materialbedarf des Pkw-Verkehrs im Zeitverlauf darstellt. Ergänzend wird deshalb auch für die Welt-Szenarien der kumulierte abiotische Materialbedarf der ersten und der letzten betrachteten Dekade gegenübergestellt (siehe Abb. 6-24). Hierfür wird ebenfalls die Bereitstellung von elektrischer Antriebsenergie nach Szenario ER der Studie (Teske et al. 2012) angenommen.



**Abb. 6-24 Abiotischer Materialbedarf des Pkw-Verkehrs in Deutschland nach Verkehrsszenarien, Gegenüberstellung der Zeiträume 2011-2020 und 2041-2050)**

Im Gegensatz zu den Deutschland-Szenarien führt die Entwicklung des Pkw-Verkehrs weltweit in keinem der Szenarien zu einer Reduktion des Materialbedarfs einzelner Dekaden im

Zeitverlauf. Dies kann insbesondere darauf zurückgeführt werden, dass alle Welt-Szenarien von einem deutlichen Anstieg der weltweiten Fahrzeugflotten ausgehen. Angenommene zukünftige Verbesserungen von Fahrzeugeigenschaften werden so durch zusätzliche Fahrzeuge deutlich überkompensiert.

Ein deutlicher Anstieg des Materialbedarfs ist insbesondere in den Szenarien mit starkem Flottenwachstum zu erkennen. Ein erhöhter Anteil elektrifizierter Fahrzeuge hat zusätzlich einen weiteren Anstieg des Materialbedarfs von der ersten bis zu letzten betrachteten Dekade zur Folge. Demzufolge wurde die höchste Steigerung von 72 % für das Szenario HiStockHiEv berechnet, während das Szenario LoStockLoEv die geringste Steigerung aufweist (+30 %).

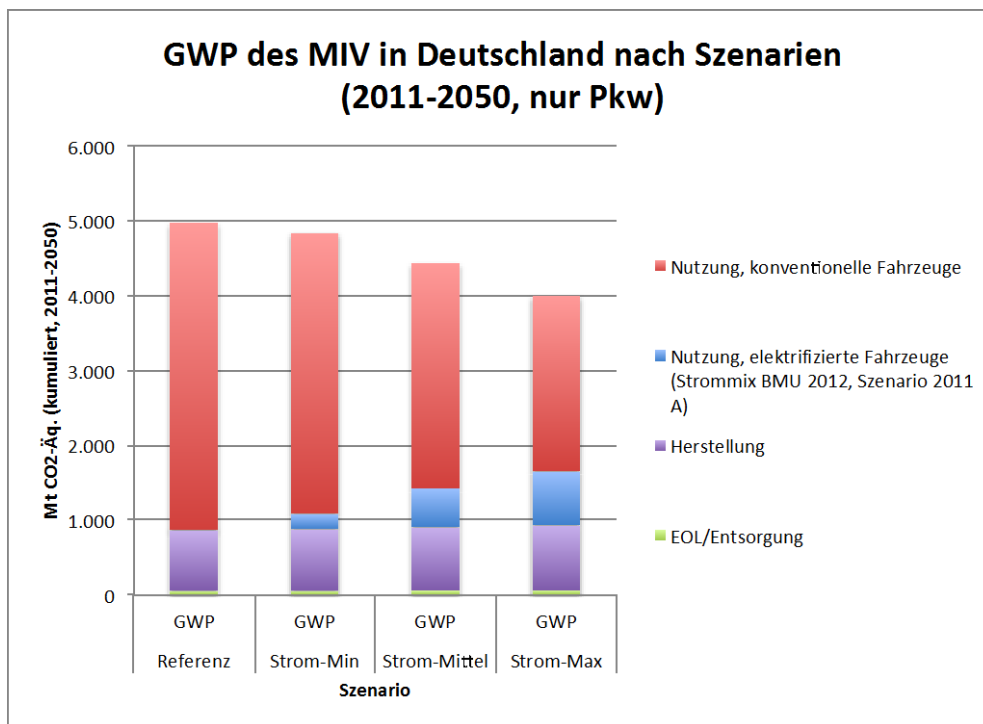
Die Unterteilung des Materialbedarfs in Lebenszyklusphasen zeigt, dass der Materialbedarf der Nutzungsphase in den meisten Szenarien stagniert oder geringfügig ansteigt, während nur bei gleichzeitig hohem xEV-Anteil und geringem Flottenwachstum ein leichter Rückgang erkennbar ist. Der absolute Anstieg des Materialbedarfs in allen Szenarien ist dagegen auf die Herstellungsphase zurückzuführen, deren Beitrag sich beispielsweise im Szenario HiStockHiEV in 2041-2050 gegenüber 2011-2020 etwa verdoppelt.

Die Gegenüberstellung der Dekaden zeigt, dass selbst das Szenario LoStockLoEV, welches den geringsten kumulierten abiotischen Materialbedarf im Gesamtzeitraum aufweist, mit einem im Zeitverlauf steigenden Materialbedarf verbunden ist. Keines der betrachteten Szenarien erweist sich damit als geeignet, den absoluten Materialbedarf des weltweiten Pkw-Verkehrs gegenüber der heutigen Situation zukünftig zu reduzieren. Es erscheint auch unwahrscheinlich, dass dieses Ziel durch technische Weiterentwicklungen zur Reduktion des Herstellungsaufwandes (z. B. Substitution von Materialien) erreicht werden kann. Derartige Maßnahmen könnten lediglich einen Beitrag dazu leisten, den Materialbedarf eines stärker elektrifizierten Pkw-Verkehrs weltweit gegenüber einer Flotte mit geringeren Anteilen elektrischer Antriebe zu senken. Die absolute Senkung des Materialbedarfs scheint lediglich durch eine Begrenzung des weltweiten Flottenwachstums gegenüber den in den Szenarien geschilderten Annahmen möglich. Diese könnte erreicht werden durch die intelligentere Nutzung mit besserer Auslastung des Pkw-Verkehrs, verlängerte Nutzungsdauern der Fahrzeuge oder einen veränderten Modal Split.

#### **6.7.4 Treibhausgasemissionen Deutschland**

Es wurde zuvor bereits dargestellt, mit welchen Auswirkungen auf den abiotischen Materialbedarf für die betrachteten Elektromobilitätsszenarien zu rechnen ist. Weil bislang jedoch nicht die Senkung des Materialbedarfs, sondern die Reduktion der THG-Emissionen im Fokus politischer Strategien zur Transformation des Pkw-Verkehrs stehen, wurden analog zur Ermittlung des Materialbedarfs auch das Erderwärmungspotenzial der betrachteten Szenarien berechnet. Die Ergebnisse dieser Berechnungen werden im Folgenden dargestellt.

Für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung aller Fahrzeuge im Zeitraum 2011-2050 ergeben sich aus den Berechnungen für Deutschland die in Abb. 6-25 dargestellten kumulierten THG-Emissionen. Analog zur Berechnung des Materialbedarfs wird ebenfalls die Bereitstellung von elektrischer Antriebsenergie nach „Szenario 2011 A“ gemäß (Nitsch et al. 2012) angenommen.



**Abb. 6-25 Treibhausgaspotenzial des Pkw-Verkehrs in Deutschland nach Verkehrsszenarien**

Der berechneten kumulierten THG-Emissionen für Deutschland liegen je nach Szenario zwischen 4 und 5 Gt CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Im Gegensatz zum abiotischen Materialbedarf zeigt sich, dass alle Elektromobilitätsszenarien gegenüber einer Referenzentwicklung ohne Elektromobilität über den gesamten Betrachtungszeitraum niedrigere THG-Emissionen aufweisen, wobei mit steigendem Anteil elektrifizierter Fahrzeuge jeweils auch ein weiterer Rückgang der Emissionen verbunden ist. Die stärkste Reduktion der THG-Emissionen (um ca. 20 % gegenüber der Referenz) kann demnach im Szenario STROM-Max erreicht werden.

Da die Größe des Fahrzeugbestands in allen Szenarien als konstant angenommen wird, sind die ermittelten THG-Einsparungen der STROM-Szenarien ausschließlich auf die bessere THG-Bilanz der elektrifizierten Fahrzeuge zurückzuführen, die bereits in Abschnitt 6.5.3 dargestellt wurde.

Eine differenzierte Betrachtung der Ergebnisse nach Lebenszyklusphasen zeigt, dass die THG-Emissionen im Gegensatz zum abiotischen Materialbedarf im Wesentlichen nicht von der Herstellung der Fahrzeuge verursacht werden. Sie verursacht im Referenzszenario mit 814 Mt lediglich 16 % der gesamten THG-Emissionen. Demgegenüber ist der (absolute) Beitrag der Herstellung auch in den weiteren Szenarien nur geringfügig erhöht und steigt nicht über 868 Mt im gesamten Zeitraum.

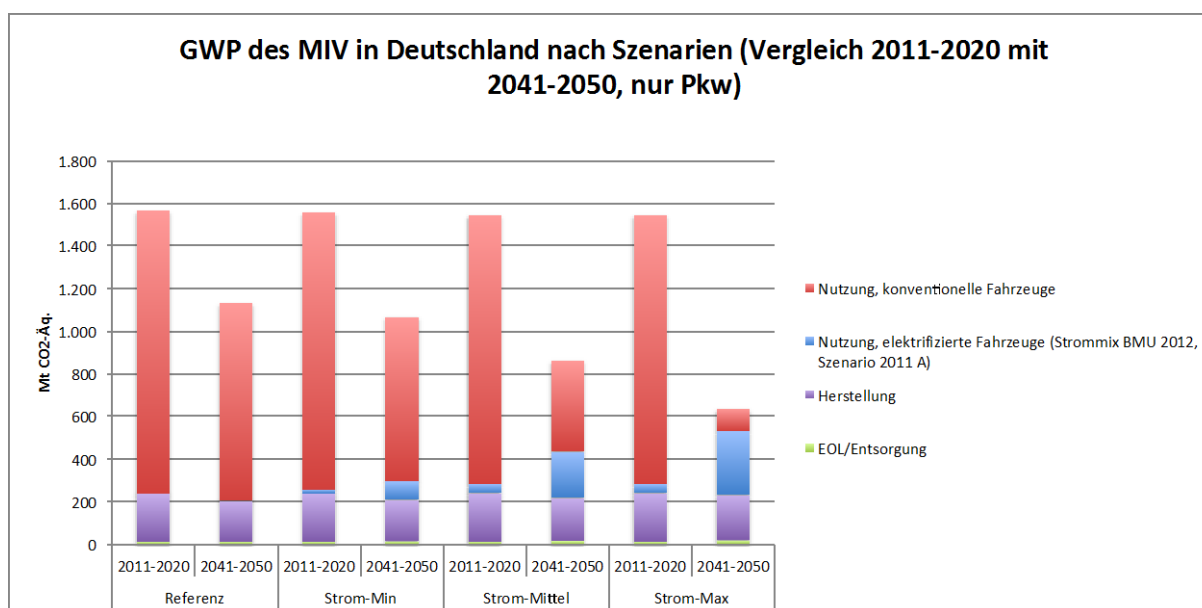
Hauptverursacherin der THG-Emissionen ist dagegen die Nutzung der Fahrzeuge: Auf sie entfällt in den Szenarien ein Anteil von 80-83 %. Die Nutzung stellt daher auch den wichtigsten Ansatzpunkt zur Reduktion der lebenszyklusweiten THG-Emissionen dar. Die niedrigeren Gesamtemissionen der STROM-Szenarien gegenüber der Referenz sind darauf zurückzuführen, dass bei steigendem Anteil elektrifizierter Antriebe die Zusatzemissionen des Betriebs von xEV geringer ausfallen als die eingesparten Emissionen des Betriebs von ICEV. Die Emissionen der Fahrzeugnutzung in STROM-Max (3,1 Gt) können so gegenüber der Referenz (4,1 Gt) um 25 % gesenkt werden. Eine ebenfalls berechnete Variante (ohne Abbildung) zeigt, dass bei ausschließlicher Nutzung (zusätzlich eingespeister) Strommengen

aus Windenergie über den gesamten Zeitraum nur eine geringfügige zusätzliche Reduktion des Beitrags der Nutzungsphase der STROM-Szenarien gegenüber der Referenz möglich wird. Die Gesamtemissionen des Szenarios sinken dann auf 3,8 (statt 4) Gt gegenüber 5 Gt im Referenzszenario. Dass auch in dieser Variante noch 76 % der Nutzungsemissionen auf xEV entfallen, lässt sich damit erklären, dass hier auch die Vorkettenemissionen der Strombereitstellung sowie die Nutzung von fossilen Brennstoffen in Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeugen enthalten sind.

Auffällig ist, dass selbst im Szenario STROM-Max die THG-Emissionen mit einem Anteil von 61 % noch von den Auswirkungen der Nutzung konventioneller Fahrzeuge dominiert werden. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die Abbildung die kumulierte Darstellung des gesamten Zeitraums ab 2011 zeigt, also auch die THG-Emissionen der ersten Dekaden mit noch hohen Anteilen von Verbrennungsmotoren einbezogen werden.

Bereits die Bewertung der THG-Emissionen auf Fahrzeugebene hat gezeigt, dass die Entsorgung gegenüber Herstellung und Nutzung nur einen vernachlässigbar geringen Anteil aufweist. Dies spiegelt sich auch in den Szenariovergleichen wider.

Zusätzlich zum Vergleich der Gesamtwirkungen des Betrachtungszeitraums werden in Abb. 6-26 auch die THG-Emissionen des ersten und des letzten betrachteten Zehnjahreszeitraums gegenübergestellt, um den Trend der Entwicklung von THG-Emissionen des Pkw-Verkehrs im Zeitverlauf abzubilden. Hierfür wird ebenfalls die Bereitstellung von elektrischer Antriebsenergie nach „Szenario 2011 A“ gemäß (Nitsch et al. 2012) angenommen.



**Abb. 6-26 GWP des Pkw-Verkehrs in Deutschland nach Verkehrsszenarien, Gegenüberstellung der Zeiträume 2011-2020 und 2041-2050)**

Die Gegenüberstellung macht deutlich, dass in allen Szenarien eine erhebliche Reduktion der THG-Emissionen einzelner Dekaden innerhalb des Betrachtungszeitraums erreicht wird. Dies ist auf die Weiterentwicklung von Fahrzeugen (verbesserte Effizienz) sowie auf die Entwicklung der Fahrzeugflotten mit deutlich veränderter Bereitstellung der Antriebsenergie zurückzuführen.

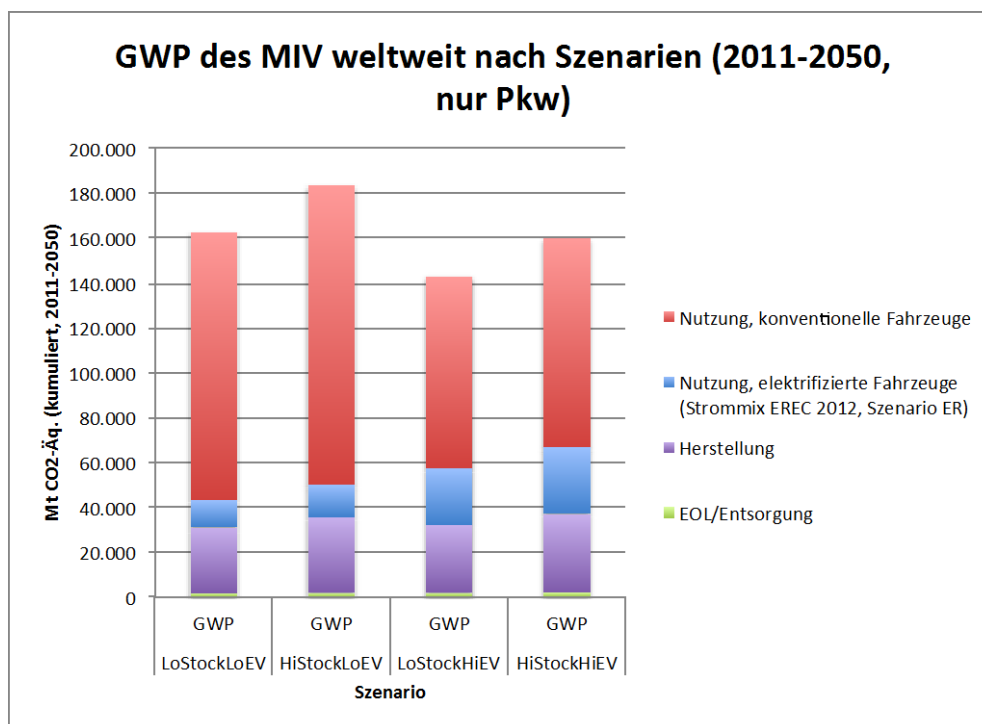
Mit zunehmendem Anteil elektrifizierter Fahrzeuge fällt diese Reduktion der THG-Emissionen der letzten im Vergleich zur ersten Dekade immer stärker aus. Während für das Szenario Referenz ein Rückgang um nur 28 % berechnet wurde, können die THG-Emissionen im Szenario STROM-Max sogar um 59 % reduziert werden.

Die Zuordnung der THG-Emissionen zu Lebenszyklusphasen zeigt, dass Veränderungen der Emissionen von Herstellung und Entsorgung für diesen Rückgang nicht relevant sind. Die verbesserte THG-Bilanz im Zeitverlauf ist dagegen in allen Szenarien fast ausschließlich auf die Reduktion der Emissionen in der Nutzungsphase zurückzuführen. Die besonders ausgeprägte Transformation des Pkw-Verkehrs hin zu elektrischer Antriebsenergie in STROM-Max hat dabei einen besonders starken Rückgang der Nutzungsemissionen zur Folge. Die verbleibenden 407 Mt CO<sub>2</sub>-Äq. der letzten Dekade (gegenüber 1306 Mt in der ersten Dekade) entfallen dabei bereits überwiegend auf den Betrieb elektrifizierter Fahrzeuge.

Die Auswertung der Szenarien hinsichtlich der THG-Emissionen zeigt, dass die Elektrifizierung der Pkw-Flotten eine geeignete Maßnahme darstellt, um die THG-Emissionen des Pkw-Verkehrs in Deutschland zu reduzieren. Es kann dabei sowohl eine absolute Senkung der Emissionen im Zeitverlauf als auch eine Reduktion gegenüber einer Referenzentwicklung ohne Elektrofahrzeuge erreicht werden.

#### **6.7.5 Treibhausgasemissionen Welt**

Ergänzend zur zuvor beschriebenen Einordnung der THG-Emissionen der Deutschland-Szenarien wurde auch eine entsprechende Berechnung für die vier berücksichtigten Welt-Szenarien durchgeführt. Für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung aller Fahrzeuge im Zeitraum 2011-2050 ergeben sich weltweit die in Abb. 6-27 dargestellten kumulierten THG-Emissionen. Analog zur Berechnung des Materialbedarfs wird ebenfalls die Bereitstellung von elektrischer Antriebsenergie nach Szenario ER der Studie (Teske et al. 2012) angenommen.



**Abb. 6-27 Treibhausgaspotenzial des Pkw-Verkehrs weltweit nach Verkehrsszenarien**

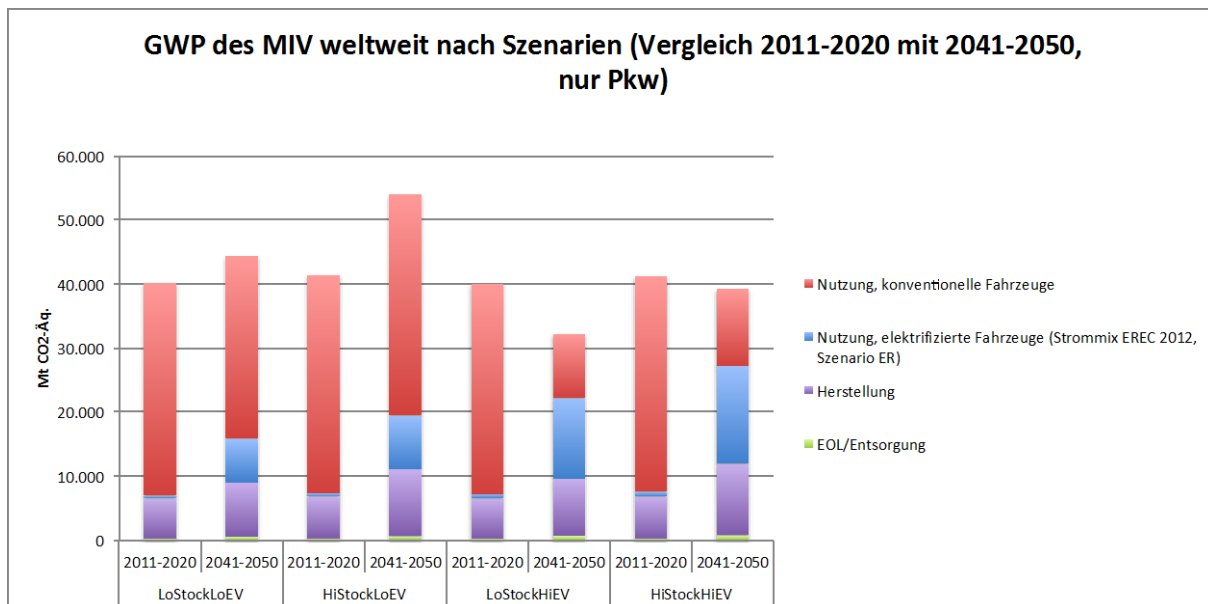
Je nach Szenario ergeben sich aus den weltweiten Berechnungen kumulierte THG-Emissionen in Höhe von 143 bis 183 Gt. Auch hinsichtlich der Aussagen zu Treibhausgasen ist zu beachten: Im Gegensatz zu den Deutschland-Szenarien gehen die weltweiten Szenarien von einem Wachstum der Pkw-Flotten bis 2050 aus, welches unterschiedlich stark ausfällt (vgl. Abschnitt 6.6.6). Dies hat entsprechende Auswirkungen auf die THG-Emissionen: Die beiden Szenarien mit kleineren Fahrzeugflotten („LoStock“) weisen im Vergleich zu den beiden Szenarien mit großen Fahrzeugflotten („HiStock“) geringere kumulierte THG-Emissionen auf. Die Gegenüberstellung der Szenarien mit identischer Bestandsentwicklung zeigt, dass jeweils im Szenario mit höherem Anteil elektrifizierter Antriebe niedrigere THG-Emissionen erreicht werden können.

Die geringsten Emissionen von 143 Gt ergeben sich demnach im Szenario LoStockHiEV mit vergleichsweise geringem Bestand und hohem xEV-Anteil. Die im Vergleich hierzu erhöhten THG-Emissionen der weiteren Szenarien können demnach einerseits auf ein stärkeres Flottenwachstum in den „HiStock“-Szenarien, andererseits auf die höhere THG-Intensität der konventionellen Fahrzeuge in den „LoEV“-Szenarien zurückgeführt werden.

Für die Differenzierung der Wirkungsbeiträge einzelner Lebenszyklusphasen zu den THG-Emissionen der Szenarien gelten die bereits zu den Deutschland-Szenarien getroffenen Aussagen: Die Fahrzeugnutzung ist von zentraler Bedeutung für die kumulierten THG-Emissionen der Szenarien, wobei mit erhöhtem Anteil elektrifizierter Antriebe die Zusatzemissionen des Betriebs von xEV geringer ausfallen als die eingesparten Emissionen des Betriebs von ICEV. Die verbleibenden THG-Emissionen werden fast vollständig durch die Herstellungsphase verursacht, wobei sich die absoluten Beiträge bei gleichem Fahrzeugbestand kaum unterscheiden und mit erhöhtem Anteil von xEV lediglich ein geringer Anstieg festzustellen ist. Die Entsorgung weist gegenüber Herstellung und Nutzung nur einen vernachlässigbar geringen Anteil auf – auch hier gelten jedoch die schon zuvor genannten Einschränkungen hinsichtlich der Datenbasis.



Zusätzlich zum Vergleich der Gesamtwirkungen des Betrachtungszeitraums werden in Abb. 6-28 auch die THG-Emissionen des ersten und des letzten betrachteten Zehnjahreszeitraums gegenübergestellt, um den erwarteten Trend der weltweiten Entwicklung von THG-Emissionen des Pkw-Verkehrs im Zeitverlauf abzubilden. Hierbei wird ebenfalls die Bereitstellung von elektrischer Antriebsenergie nach Szenario ER der Studie (Teske et al. 2012) angenommen.



**Abb. 6-28 GWP des Pkw-Verkehrs weltweit nach Verkehrsszenarien, Gegenüberstellung der Zeiträume 2011-2020 und 2041-2050)**

Im Gegensatz zu den Deutschland-Szenarien führt die Entwicklung des Pkw-Verkehrs weltweit lediglich in den beiden Szenarien mit hohem Anteil elektrifizierter Fahrzeuge zu einer Reduktion der THG-Emissionen innerhalb des Betrachtungszeitraums. Während bei gleichzeitig hohem Flottenwachstum nur ein geringer Minderungseffekt von der ersten bis zur letzten Dekade erkennbar ist (-5 %), können die Emissionen bei reduziertem Wachstum um 19 % gemindert werden. Niedrigere Anteile elektrifizierter Fahrzeuge führen dagegen in beiden Varianten des Flottenwachstums (LoEV-Szenarien) zu steigenden Emissionen im Zeitverlauf. Dieser Anstieg fällt jedoch bei hohem Flottenwachstum besonders stark aus (+30 %). Im Gegensatz zu den Deutschland-Szenarien kann demnach davon ausgegangen werden, dass CO<sub>2</sub>-mindernde Effekte technologischer Weiterentwicklung (Effizienzsteigerung, alternative Antriebe) durch ein deutliches Wachstum der weltweiten Fahrzeugflotten abgeschwächt oder aufgehoben werden.

Die Zuordnung der THG-Emissionen zu Lebenszyklusphasen zeigt, dass Veränderungen der Emissionen von Herstellung und Entsorgung im Vergleich zur Nutzung von untergeordneter Bedeutung sind und zugleich in keinem der Szenarien zu einer Senkung der THG-Emissionen beitragen: Die wachsenden Fahrzeugflotten verursachen in allen betrachteten Varianten zunehmende Herstellungsemissionen. Die stärkste Bedeutung für die zukünftige Entwicklung der THG-Emissionen entfällt erneut auf die Nutzung der Fahrzeuge: So können bei hoher Marktdurchdringung elektrischer Antriebe die Nutzungsemissionen von etwa 34 Gt in 2011-2020 auf ca. 23-27 Gt in 2041-2050 reduziert werden. Auch in der letzten Dekade entfallen in diesen beiden Szenarien jedoch noch etwa 44 % der Nutzungsemissionen auf

konventionell angetriebene Fahrzeuge. Bei geringen xEV-Anteilen wurden dagegen unterschiedlich stark steigende THG-Emissionen der Nutzungsphase berechnet, überwiegend verursacht von verbrennungsmotorischen Antrieben.

Die Auswertung der Szenarien hinsichtlich der weltweiten THG-Emissionen zeigt, dass ein umfassender Technologiewechsel zu alternativen Antrieben erforderlich ist, um trotz stark wachsender Fahrzeugflotten eine Reduktion der THG-Emissionen zu erreichen. Nur durch eine umfassende Umstellung der Bereitstellung von Antriebsenergien von fossilen auf regenerative Quellen kann so einerseits eine absolute Senkung der Emissionen im Zeitverlauf als auch eine Reduktion der kumulierten Emissionen gegenüber einer Referenzentwicklung mit reduziertem Anteil an Elektrofahrzeugen erreicht werden. Dennoch zeigt sich, dass die Emissionsreduktion auf Grund der Szenarioannahmen zum Flottenwachstum deutlich schwächer ausfällt als in den zuvor beschriebenen Deutschland-Szenarien.

## 6.8 Risiken und Knappheitsfragen

### *M. Ritthoff (WI)*

Neben Umweltbelastungen, in diesem Projekt anhand der Ressourceninanspruchnahme abgeschätzt, ist die Verfügbarkeit von Rohstoffen für den Einsatz von Technologien und die Umsetzung von Technologiepfaden von entscheidender Bedeutung. Diese Verfügbarkeit hängt von zahlreichen Aspekten ab, relevant ist zunächst insbesondere die geologische Verfügbarkeit. Daneben spielt aber vor allem auch der Zugang zu diesen Rohstoffen eine große Rolle, der durch die globale Verteilung der Rohstoffe, die Zahl und politische Stabilität der Lieferländer, Nachfrage und Nachfragewachstum nach den Rohstoffen, aber auch die Recycling- und Substitutionsfähigkeit bestimmt wird. Diese Aspekte machen zusammen die Kritikalität eines Rohstoffs aus. Für die relevanten Stoffe soll diese Kritikalität im Folgenden eingeschätzt werden.

In diesem Kapitel wird die Verfügbarkeit der potenziell kritischen Rohstoffe eingeschätzt. Die Menge der für Deutschland ermittelten potenziellen Verbräuche einzelner Rohstoffe, die für die verschiedenen Szenarien des Ausbaus der Elektromobilität benötigt werden, wird hierbei der globalen Jahresförderung sowie den globalen Reserven gegenüber gestellt.

Mit der Berücksichtigung sowohl von Produktionsmengen als auch von Reserven werden Aspekte der kurz- wie langfristigen Verfügbarkeit einbezogen. Für die gesamten Betrachtungen wird dabei berücksichtigt, dass der Bevölkerungsanteil Deutschlands an der Weltbevölkerung derzeit etwas über 1 % liegt und zukünftig voraussichtlich etwas unter 1 % liegen wird. Überträgt man dies auf die vorhandenen Reserven, kann dieser Budgetansatz in eine „1 %-Regel“ für eine erste grobe Einschätzung eines möglichen Anteils Deutschlands an den betrachteten Rohstoffen münden. Hierbei muss natürlich berücksichtigt werden, dass eine Nachfrage nach den betrachteten Stoffen nicht nur aus der Elektromobilität, sondern dass auch andere konkurrierende Nachfragen bestehen. (vgl. hierzu auch (Wuppertal Institut, 2014))

In einer ersten Näherung wird davon ausgegangen, dass eine kumulierte Nachfrage über den gesamten Betrachtungszeitraum (2011 bis 2050) in Höhe von bis zu 10 % der derzeitigen globalen Jahresproduktion sowie in Höhe von bis zu 0,1 % der Reserven problemlos zu decken sind. Dies entspricht – bei konstanter Fördermenge – 0,25 % der Förderung bis

2050. Mit der Differenz zur „1 %-Regel“ wird die konkurrierende Nachfrage außerhalb der Elektromobilität überschlägig berücksichtigt.

Zeigen sich bei der ersten Einschätzung Engpässe, wird diese um zusätzliche Kriterien erweitert. Da die Situation der einzelnen Rohstoffe stets sehr spezifisch ist, erfolgt die Bewertung verbal argumentativ.

Zu den Ausgangsfragen der Studie gehört ebenfalls, ob sich bei steigender Nachfrage die Umweltbelastungen bei der Gewinnung der Rohstoffe, alleine bedingt durch den Rohstoff und die Lagerstätte, deutlich ändern können. Hierzu werden an ausgewählten Beispielen derzeit genutzte und mögliche zukünftig relevante Lagerstätten betrachtet, und es wird versucht, den Aufwand bei der Gewinnung von Rohstoffen abzuschätzen.

### **6.8.1 Untersuchungsrahmen**

Auf der Basis der Materialintensitätsanalyse und der zugrunde liegenden Mengengerüste wurden die potenziell kritischen Rohstoffe identifiziert. Hierbei wurde auf eine Auswertung (Viebahn et al. 2014) vorhandener Studien zu kritischen Rohstoffen zurückgegriffen, die Grundlage für eine erste Einschätzung der möglichen Kritikalität ist. Im Rahmen dieser Auswertung wurden Studien zur Kritikalität von Rohstoffen unabhängig von den in den einzelnen Studien differierenden Kritikalitätsbegriffen berücksichtigt. Die Anzahl der Studien, die ein Element als kritisch eingestuft haben, wurde hierbei als Indikator für die Relevanz der in diesem Projekt betrachteten Materialien und Technologien verwendet. In Abb. 6-29 wird dieser Indikator auf einer Farbskala von weiß bis dunkelrot dargestellt – je stärker eingefärbt ein Element ist, umso mehr Studien haben dieses Element als kritisch eingestuft.

Auf der Grundlage dieser ersten Einschätzung der möglichen Kritikalität und nach Auswertung der hochgerechneten Materialbedarfe aus den Szenarien wurden für die Bewertung der Kritikalität Seltenerdelemente (insbesondere Neodym (Nd), Praseodym (Pr), Dysprosium (Dy), Terbium (Tb)), Lithium (Li), Silber (Ag), Gold (Au), Platin (Pt), Palladium (Pd), Gallium (Ga), Indium (In), Germanium (Ge) und Tantal (Ta) ausgewählt.

1 IA		Gruppe IUPAC										Gruppe CAS						Nennungen als kritisch						18 VIIIA	
1	2	1 IA										2 IIA						3 IIIA						2	
H	He	Ordnungszahl → 1 ← relevant für										← Elementensymbol						← Elementname							
3 Li	4 Be																								
11 Na	12 Mg																								
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr								
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe								
55 Cs	56 Ba	57-71 La-Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn								
87 Fr	88 Ra	89-103 Ac-Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo								
LANTHANIDE		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu									
ACTINIDE		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr									

Abb. 6-29 Kritikalität und Verwendung von Elementen

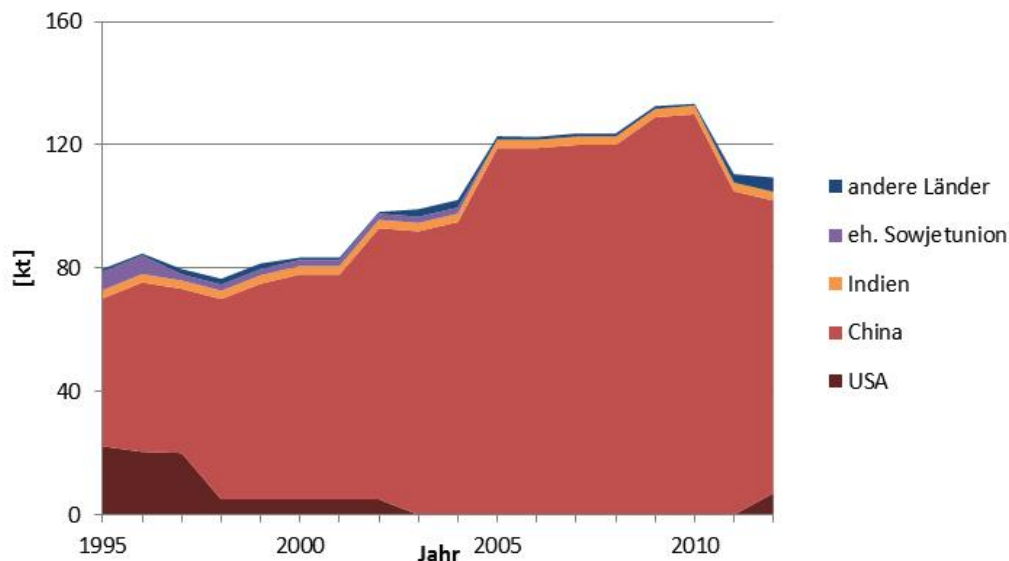
Quelle: (Wuppertal Institut 2014)

### 6.8.2 Seltene Erden

Seltene Erden werden im Rahmen der Elektromobilität insbesondere für Permanentmagneten in Elektromotoren benötigt. Zur Gruppe der Seltenen Erden werden die Lanthanoide Lanthan (La), Cer (Ce), Praseodym (Pr), Neodym (Nd), Promethium (Pm), Samarium (Sm), Europium (Eu), Gadolinium (Gd), Terbium (Tb), Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thulium (Tm), Ytterbium (Yb), Lutetium (Lu) sowie Yttrium (Y) und Scandium (Sc) gezählt. Anders als der Name vermuten lässt sind sie jedoch hinsichtlich ihres Massenanteils an der Erdkruste nicht wirklich selten, sondern vor allem nicht oder kaum lagerstättenbildend. Dementsprechend kommen sie meist in geringen Konzentrationen vor und werden überwiegend als Nebenprodukt gewonnen. Im Rahmen dieser Studie sind insbesondere die Seltenerdmetalle *Pr*, *Nd*, *Tb* und *Dy* relevant. *Pr*, *Nd*, *Tb* und *Dy* werden in Neodym-Eisen-Bor-Permanentmagneten für Elektromotoren verwendet. Diese sogenannten Seltenerdmetalle haben den Vorteil einer hohen magnetischen Energiedichte, so dass geringere Motorgewichte erreicht werden und somit der Energieverbrauch der Fahrzeuge aufgrund geringerer zu beschleunigender Massen verringert werden kann. Mengenmäßig dominieren Neodym und das chemisch wie physikalisch sehr ähnliche Praseodym. In geringeren Mengen werden auch Zusätze von Dysprosium und Terbium eingesetzt, um die Curietemperatur<sup>29</sup> dieser Magnete zu erhöhen. Diese ist andernfalls so niedrig, dass sie bereits im Normalbetrieb erreicht werden kann und so zu einem vorübergehenden Verlust der magnetischen Eigenschaften der Permanentmagneten und damit der Funktionsfähigkeit des Motors insgesamt führt.

<sup>29</sup> Die materialspezifische Curietemperatur bezeichnet die Temperatur, bei deren Erreichen ferromagnetische bzw. ferroelektrische Eigenschaften einer Probe vollständig verschwunden sind. Oberhalb der Curietemperatur verschwindet die Magnetisierung. Materialien sind nur deutlich unterhalb der Curietemperatur als Magnetwerkstoff einsetzbar.

Die Gewinnung von Seltenen Erden steigt, mit einigen Schwankungen, kontinuierlich an (siehe Abb. 6-30). Dabei fällt insbesondere auf, dass China als Produzent zunehmend dominant geworden ist. Gab es in den 1990er Jahren noch relevante andere Produktionsländer, insbesondere die USA, so hatte China zwischenzeitlich praktisch eine Monopolstellung entwickelt. Erst in jüngster Zeit kann wieder eine steigende Förderung Seltener Erden außerhalb Chinas beobachtet werden. Es wird erwartet, dass diese Produktionskapazitäten zwischen 2010 und 2014 mit zwei bis vier neuen Minen deutlich erweitert werden (Okadene Hollins 2010, Wuppertal Institut 2014). Aus den gegenwärtig verfügbaren statistischen Informationen lässt sich noch nicht ableiten, ob diese Entwicklung stattgefunden hat.

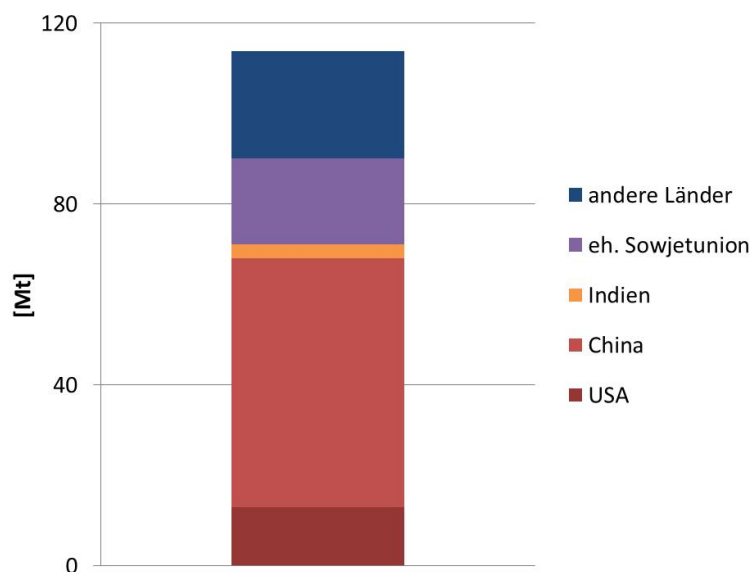


**Abb. 6-30 Entwicklung der Produktion von Seltenen Erden nach Ländern**

Datengrundlage: (U. S. Geological Survey 1996-2013a)

Die meisten Angaben in der einschlägigen Fachliteratur zu Seltenen Erden beziehen sich auf die Gruppe der Seltenen Erden insgesamt und betrachten nicht die Einzelelemente. Aufgrund der chemischen wie physikalischen Unterschiede zwischen den einzelnen Elementen und ihrer sehr unterschiedlichen Verfügbarkeit ist es jedoch notwendig, die Seltenen Erden differenzierter, d. h. auf der Ebene der einzelnen Elemente zu betrachten. Wichtig hierbei ist, dass es erhebliche Unterschiede im Vorkommen von zwei Gruppen Seltener Erden gibt, den sogenannten „leichten“ Seltenen Erden und den „schweren“ Seltenen Erden. Zu den leichten Seltenen Erden gehören Sc, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm und Eu, zu den schweren Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb und Lu.

Seltene Erden werden aus verschiedenen Mineralen gewonnen, die eine unterschiedliche chemische Zusammensetzung aufweisen (Tab. 6-21). Daher ist es nötig, die Lagerstätten hinsichtlich ihres spezifischen Mineralbestandes zu analysieren und zu bewerten. Verglichen mit anderen Rohstoffen sind nur wenige Angaben zu den Seltenerdelement-Lagerstätten verfügbar. Hinzu kommt, dass Seltene Erden vielfach als Nebenprodukt gewonnen werden und damit eine hohe Abhängigkeit von den Hauptprodukten besteht. Dementsprechend schwierig gestaltet sich eine Abschätzung der weltweit vorhandenen Vorkommen. Es zeigt sich jedoch, dass die Vorkommen Seltener Erden deutlich weiter verteilt sind, als es die derzeitige Verteilung der Förderung vermuten lässt. Neben China verfügen vor allem noch die Staaten der ehemaligen Sowjetunion und die USA über größere Reserven (siehe Abb. 6-31).



**Abb. 6-31** Verteilung der Reserven an Seltenen Erden

Datengrundlage: (U. S. Geological Survey 2013)

Mineral	Mineral	Monazite	Bastnäsite	Xenotime	Apatite	
		%	%	%	%	
	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,7	33,2	0,5	25,1	
	CeO <sub>2</sub>	45,6	49,1	5	45	
	Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>	5	4,3	0,7	3,9	leichte Selte- ne Erden
	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,2	12	2,2	14	
	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,5	0,78	1,9	1,6	
	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,11	0,2	0,5	
	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,5	0,17	4	1,5	
	Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	0,04	0,016	1	0,1	
	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,68	0,031	8,7	1	
	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	50 ppm	2,1	0,1	schwere Selte- ne Erden
	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,21	35 ppm	5,4	0,15	
	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	8 ppm	0,9	0,02	
	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,12	13 ppm	6,2	0,08	
	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	1 ppm	0,4	/	
	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,4	0,09	60,8	4,3	

SEO = Seltenerdoxide

**Tab. 6-21** Gehalte an Seltenerdoxiden bei wichtigen Seltenerdmineralen

Quelle: (Neary & Highley 1984)

Hohe Gehalte schwerer Seltener Erden Elemente sind insbesondere im Mineral Xenotime enthalten, das jedoch wenig verbreitet und nur in wenigen Lagerstätten anzutreffen ist. Hingegen enthalten die häufigeren Minerale Monazite und insbesondere Bastnäsite kaum schwere Seltene Erden. Die Konsequenz daraus ist, dass die Vorräte schwerer Seltener Erden im Vergleich zu den leichten Seltenen Erden deutlich geringer sind. Dementsprechend

stark unterscheidet sich die globale Verteilung der Vorkommen der leichten und schweren Seltenen Erden.

Die derzeit weltweit wichtigste Lagerstätte für Seltene Erden ist die Lagerstätte von Bayan Obo in der Inneren Mongolei (British Geological Survey 2011). Die Lagerstätte enthielt ursprünglich 600 bis 800 Mt Erzvorräte mit einem Durchschnittsgehalt von 6 % Seltenen Erden Oxiden (SEO). Von den bisherigen Vorräten sind bereits 250 Mt mit einer geringen Ausbeute von lediglich 10 % abgebaut worden (Liedtke & Elsner 2009). Die Lagerstätte von Bayan Obo enthält Bastnäsit und damit ganz überwiegend leichte Seltene Erden. Der Neodymannteil an den Seltenen Erden von Bayan Obo wird mit 18,5 % angegeben, wohingegen der Dysprosiumanteil nur 0,1 % beträgt (Long et al. 2010). Ähnlich wie die Lagerstätte von Bayan Obo enthalten die Lagerstätten von Sichuan und Gansu Bastnäsit und damit vor allem leichte Seltene Erden. Die nördlichen Förderregionen in China mit den Lagerstätten von Bayan Obo, Sichuan und Gansu haben einen Anteil von ca. 70 % an der gesamten chinesischen Förderung von Seltenen Erden. Die restlichen 30 % werden in den südlichen Regionen in Guangdong, Hunan, Jinagxi, und Jiangsu gefördert. In den südlichen Regionen erfolgt die Gewinnung von Seltenen Erden aus Ionen-absorbierenden Tonen und lateritischen Erzen. Die lateritischen Erze haben sehr unterschiedliche Gehalte schwerer und leichter Seltener Erden (Long et al. 2010, Wuppertal Institut 2014).

Die Lagerstätte von Mountain Pass in den USA war bis in die neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts die weltweit wichtigste genutzte Lagerstätte für Seltene Erden, bevor sie im Jahr 2002 geschlossen wurde. Sie verfügt über Reserven von ca. 1,12 Mt SEO (British Geological Survey 2011) und enthält Bastnäsit und damit kaum schwere aber vor allem leichte Seltene Erden. In ihr wurden die Seltenen Erden als Hauptprodukt mit einer Ausbringung von 70 % gewonnen (Jackson & Christiansen 1993). Die Schließung der Mine erfolgte einerseits aufgrund fallender Preise für Seltene Erden, andererseits aber auch Umweltschutzgründe, da die Lagerstätte mit ca. 100 ppm einen relativ hohen Thoriumgehalt aufweist und die umweltgerechte Entsorgung der Reststoffe mit hohen Kosten verbunden war (Okadene Hollins 2010, Castor & Hedrick, 2006). Die Mine ging ab 2010 wieder in Betrieb. Ihre Kapazität soll bis auf 40 kt SEO/a ausgebaut werden. Hierbei wird durch neue Prozesstechnologie eine Ausbringung von über 90 % angestrebt (Okadene Hollins 2010). Aufgrund der relativ großen Kapazität, sollen gezielt auch die nur in geringen Mengen enthaltenen schweren Seltenen Erden gewonnen werden (Molycorp 2012). Neben Mountain Pass gibt es noch weitere Lagerstätten für Seltene Erden in den USA, die jedoch derzeit für die SEO-Gewinnung nicht genutzt werden und deren Nutzung auch derzeit nicht geplant ist (Wuppertal Institut 2014).

In Australien gibt es ebenfalls mehrere Vorkommen an Seltenen Erden. Die Lagerstätte von Mount Weld enthält Monazit mit einem durchschnittlichen Gehalt an Seltenen Erden von 9,7 % und bezogen auf eine Bauwürdigkeitsgrenze<sup>30</sup> von 2,5 % Seltene Erden einem Vorrat von 1,19 Mt (Okadene Hollins 2010). Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Liedtke & Elsner 2009) geht von 11,9 % SEO und 917 kt SEO aus und liegt damit in einer ähnlichen Größenordnung. Der Abbau von Seltenen Erden begann in 2010, die Produktion von SEO-Konzentrat in 2011. Für den hier angewendeten Prozess wird eine Ausbeute von

<sup>30</sup> Die Bauwürdigkeitsgrenze beschreibt den mittleren Gehalt eines Minerals, der zur Gewinnung von mineralischen Rohstoffen einer Lagerstätte mit wirtschaftlichem Erfolg mindestens erforderlich ist.

ca. 68,7 % erwartet (Long et al. 2010). Die anderen australischen Vorkommen an Seltenen Erden werden derzeit nicht genutzt (Castor & Hedrick 2006).

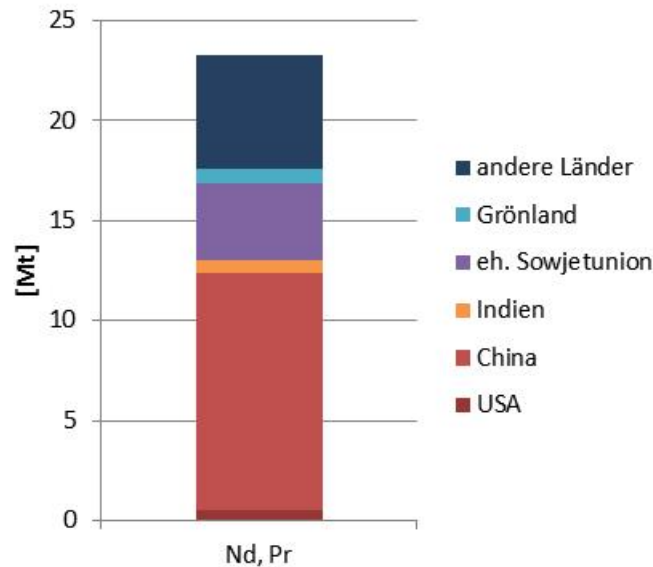
Mit der Lagerstätte von Kvanefjeld verfügt Grönland über eines der größten, bisher ungenutzten, Vorkommen an Seltenen Erden. Bei der Mine handelt es sich um eine Uranlagerstätte mit relevanten Gehalten an Seltenen Erden, Zink, Zirkonium, Lithium, Beryllium und Natriumfluorid. Die Ressourcen liegen bei 457 Mt Erz mit einem Gehalt von 1,07 % SEO, entsprechend ca. 4,91 Mt SEO. Die Lagerstätte zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass sie auch relevante Anteile schwerer Seltener Erden enthält. Es wird ein Gehalt von ca. 0,25 Mt schwere Seltene Erden erwartet (GML 2012). Da die Lagerstätte eine Vielzahl von Rohstoffen enthält, wird davon ausgegangen, dass die Gewinnung von Seltenen Erden durch Koppelproduktion vergleichsweise preisgünstig erfolgen kann. Es war lange unklar, ob es zu einer Nutzung der Lagerstätte von Kvanefjeld kommen würde. Nach der Wahl am 12.03.2013 in Grönland scheint die Umsetzung des Projektes jedoch weiter vorangetrieben zu werden (Braune 2013, Süddeutsche Zeitung 2013).

Neben den zuvor beschriebenen Lagerstätten gibt es weiterer, meist kleinere oder auf absehbare Zeit nicht wirtschaftlicher Lagerstätten Seltener Erden. In einer Reihe von Fällen liegen auch keine oder kaum Informationen vor. Weitere Vorkommen gibt es z. B. in den Staaten der ehemaligen Sowjetunion, Indien, Malaysia oder Brasilien (U. S. Geological Survey 2013). Auch Europa verfügt mit den schwedischen Eisenerzlagerstätten von Kiruna und Gällivare über Vorkommen an leichten Seltenen Erden. Der SEO-Gehalt liegt hier bei 0,2 bis 0,7 %, das Potenzial bei 300 bis 1 400 t SEO/a (Liedtke & Elsner 2009).

Auf der Grundlage der vorhandenen und zuvor beschriebenen Informationen und Daten zu den Vorkommen Seltener Erden, ihrer Größe und der spezifischen Zusammensetzung der wichtigsten Lagerstätten (Long et al. 2010, GML 2012) wurde die Verteilung der Reserven einerseits für Neodym und Praseodym und andererseits für Dysprosium und Terbium berechnet (vgl. Wuppertal Institut 2014).

Für *Neodym und Praseodym* zeigt sich, dass China über die bei Weitem größten Reserven verfügt, es jedoch auch relevante Vorkommen in vielen anderen Ländern gibt (siehe Abb. 6-32).

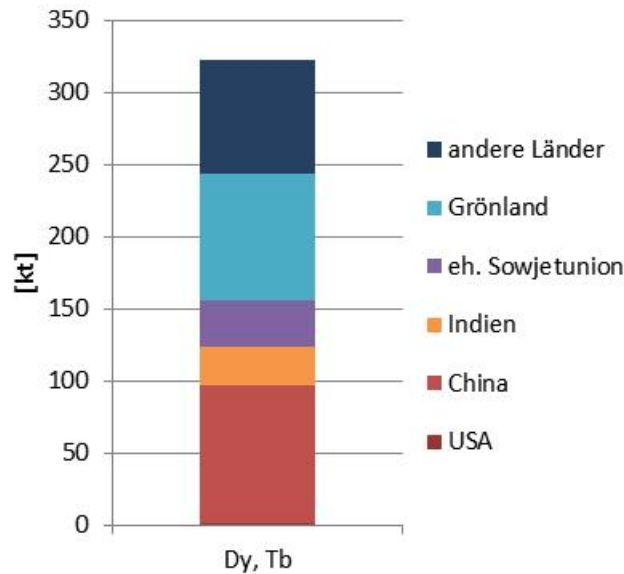




**Abb. 6-32 Verteilung der Reserven von Neodym und Praseodym**

Der Gesamtbedarf an Neodym und Praseodym für die Elektromobilität in Deutschland wurde mit max. ca. 18 kt ermittelt. Der weltweite Bedarf wurde mit max. ca. 493 kt berechnet. Dem stehen globale Reserven von ca. 23 Mt gegenüber. Es werden damit in Deutschland ca. 0,08 % der globalen Reserven von Nd/Pr für die betrachteten Elektromobilitätsszenarien und 2,1 % der globalen Reserven für den berechneten weltweiten Ausbau benötigt. Elektromobilität wird einen großen Teil der Gesamtnachfrage nach Neodym und Praseodym verursachen. In Anbetracht dieses Umstandes erscheint die Gesamtnachfrage nach Neodym und Praseodym bezogen auf die geologische Verfügbarkeit unkritisch.

Die Reserven für Dysprosium und Terbium sind deutlich anders verteilt als Neodym und Praseodym. Auch hier verfügt China über große Reserven, vergleichbar große Vorkommen, die jedoch bisher noch nicht zu den Reserven gezählt werden, sind jedoch auch in Grönland vorhanden (siehe Abb. 6-33). Hierbei muss berücksichtigt werden, dass sich die Vorkommen auf nur wenige Lagerstätten verteilen und gegenüber den Reserven von Neodym und Praseodym deutlich kleiner sind.



**Abb. 6-33** Verteilung der Reserven von Dysprosium und Terbium

Der Gesamtbedarf an Dysprosium und Terbium für die betrachteten Elektromobilitätsszenarien in Deutschland wurde mit max. ca. 5 kt ermittelt, der weltweite Bedarf wurde mit max. ca. 142 kt berechnet. Dem stehen globale Reserven von ca. 320 kt gegenüber. Es werden damit ca. 1,6 % der globalen Reserven von Dysprosium und Terbium für die Elektromobilität in Deutschland und ca. 44 % für den betrachteten weltweiten Ausbau benötigt.

Damit erreicht die erwartete Nachfrage nach Dysprosium und Terbium aus der Elektromobilität sowohl für Deutschland als auch hinsichtlich des weltweiten Bedarfs ein kritisch hohes Maß, dessen Deckung nicht sicher erscheint.

### **Mögliche Entwicklung der Umweltbelastungen bei der Gewinnung von Seltenen Erden**

Bei einer stark wachsender Nachfrage nach Rohstoffen besteht möglicherweise die Notwendigkeit, andere als die bisher genutzten Rohstoffquellen zu erschließen. Viele dieser anderen Rohstoffquellen weisen gegenüber den herkömmlichen Lagerstätten abweichende Eigenschaften hinsichtlich Mineralogie, Abraum, Metallgehalt und notwendiger Aufbereitungsverfahren auf. Auch für Seltene Erden können sich solche veränderten Abbaubedingungen ergeben. Aus diesem Grunde wird versucht, eine erste Abschätzung des möglichen Einflusses veränderter Rohstoffquellen Seltener Erden auf die Umweltbelastungen vorzunehmen.

Für die Seltenen Erden liegen kaum Prozessdaten zur Rohstoffgewinnung vor. Hinzu kommt, dass viele der Lagerstätten schlecht beschrieben sind und wesentliche Informationen, etwa zum Abraum, fehlen. Dennoch ist es möglich, erste Einschätzungen zu treffen, ob sich die Umweltbelastungen bei der Gewinnung von Seltenen Erden bei stark wachsender Nachfrage deutlich verändern würden.

Lagerstätte	Land	Größe t SEO	Gehalt % SEO	In Produktion
Bayan Obo	China	48 000 000	6	x
Araxa	Brasilien	8 100 000	1,8	
Mountain Pass	USA	1 800 000	8,9	x
Mount Weld	Australien	1 700 000	11,2	
Dubbo	Australien	700 000	0,86	
Mrima Hill	Kenia	300 000	5	
Nolan's Bore	Australien	150 000	4	
Xunwu and Longan	China	k. A.	0,05-0,2	x
Lovozero	Russland	k. A.	0,01	x
Maoniuping	China	k. A.	2	x
Weishan	China	k. A.	1,6	x
Aktyus	Kirgisistan	k. A.	0,25	x
Eneabba	Australien	k. A.	0,001	x

SEO = Seltenerdoxide

**Tab. 6-22 Größe und Gehalte verschiedener Seltenerdlagerstätten**

Quelle: (Castor & Hedrick 2006)

Tab. 6-22 zeigt erhebliche Unterschiede in der Konzentration Seltener Erden in den einzelnen Lagerstätten. Zugleich wird deutlich, dass bereits jetzt sehr unterschiedliche Lagerstätten genutzt werden, die zum Teil sehr niedrige Gehalte an Seltenen Erden aufweisen. Bei den derzeit den Weltmarkt dominierenden Lagerstätten, insbesondere Bayan Obo und Mountain Pass, handelt es sich jeweils um reiche und große Lagerstätten, die auch langfristige eine wichtige Rolle bei der Versorgung mit Seltenen Erden spielen werden. Es kann zwar nicht ausgeschlossen werden, dass noch andere Lagerstätten zukünftig genutzt werden. Absehbar ist dies aber allenfalls für die in dieser Auflistung nicht enthaltene Lagerstätte von Kvanefjeld in Grönland. Insofern werden sich die Abbaubedingungen und die durch die Lagerstätten selbst bedingten Umweltbelastungen bei der Gewinnung voraussichtlich auch bei steigender Nachfrage nicht wesentlich ändern. Dies zeigt auch Abb. 6-34, Sie stellt den Total Material Requirement (TMR) (Adriaanse et al. 1997) der Rohstoffförderung (ohne Aufwand für die Aufbereitung) den verfügbaren Vorkommen Seltener Erden gegenüber. Das breite Plateau bis ca. 50 Mt sind die derzeit genutzten chinesischen Seltenerdlagerstätten, die auch längerfristig hinreichend groß sind, um den Bedarf zu decken.

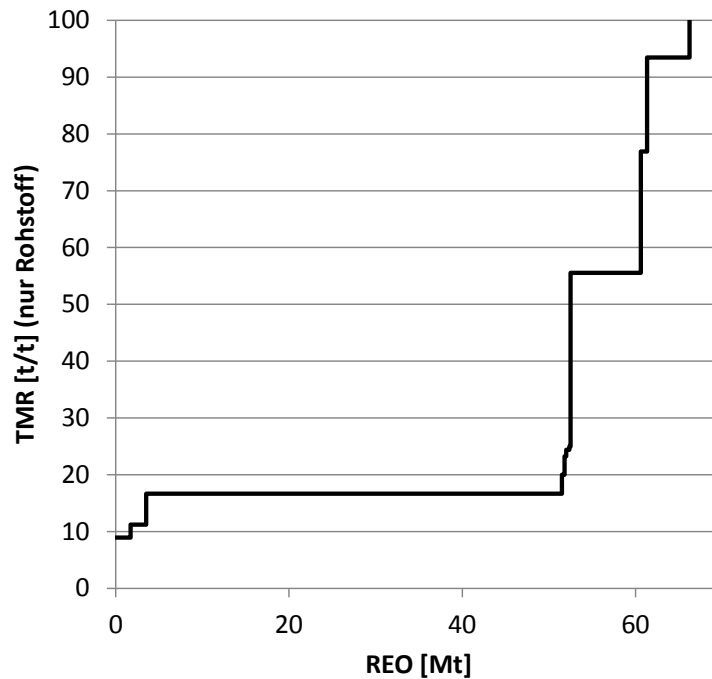


Abb. 6-34 Verfügbare Vorkommen an Seltenen Erden in Abhängigkeit vom TMR

## Recycling

Das Recycling von Neodym und Dysprosium aus Schrotten ist sehr schwierig, da beide SEE sehr stabile Verbindungen mit zahlreichen weiteren Elementen eingehen. Zum Recycling von Seltenerdmaterialien wurden verschiedene Verfahren entwickelt. Sie werden jedoch bisher nicht kommerziell eingesetzt, da die Magnete aus recycelten Seltenen Erden schlechtere Eigenschaften als Magnete aus Primärmaterial aufweisen (British Geological Survey 2011, Okadene Hollins 2010). Sowohl hinsichtlich des Recyclings als auch bei der Herstellung besteht weiterer Forschungsbedarf, da bereits bei der Herstellung der sehr empfindlichen Magnete 20 – 30 % Bruch entstehen (Okadene Hollins 2010) und auch für diese Neuschrotte die genannten Einschränkungen beim Recycling gelten. Bisher liegen auch keine Studien zum Aufwand eines hochwertigen Recyclings von Seltenerdmaterialien im Vergleich zum Aufwand der Gewinnung von Primärmaterial vor.

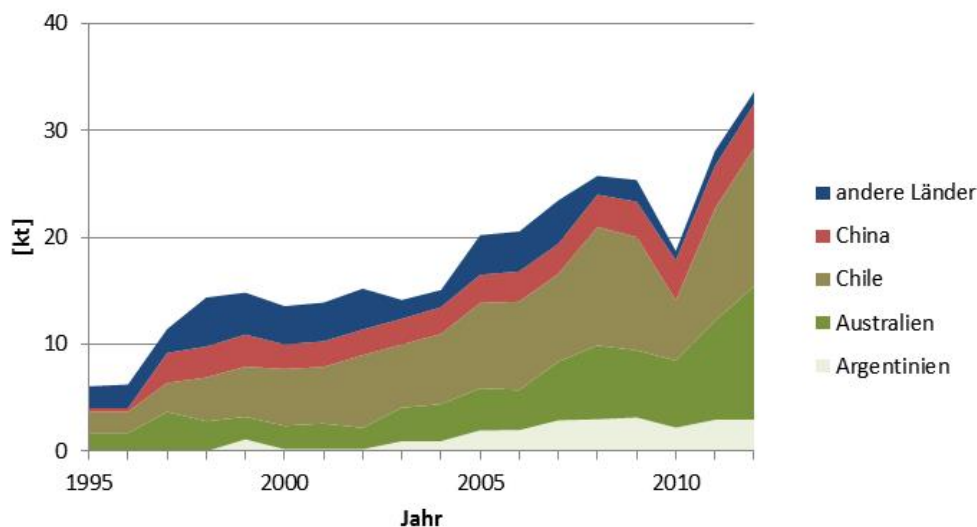
## Fazit

Bei den Seltenen Erden gibt es deutliche Unterschiede hinsichtlich der Verfügbarkeit. Für Neodym und Praseodym erscheint die Verfügbarkeit unkritisch, wohingegen für Dysprosium und Terbium die Nachfrage aus der Elektromobilität bezogen auf die betrachteten Szenarien eine kritische Größe erreicht. Recycling kann kurzfristig kaum zu einer Entspannung der Versorgungslage beitragen. Daneben zeigen sich erhebliche Unterschiede hinsichtlich des TMR der Gewinnung von Seltenen Erden in Abhängigkeit von den Lagerstätten. Kurz- und mittelfristig ist jedoch nicht zu erwarten, dass die hinsichtlich des TMR ungünstigeren Lagerstätten in bedeutendem Maße genutzt werden.

### 6.8.3 Lithium

Lithium ist aufgrund seiner chemischen und physikalischen Eigenschaften (leichtestes Metall und höchstes Normalpotenzial) das am besten geeignete Element für Batterien. Auch nur ansatzweise gleichwertige Substitute existieren nicht. Daher ist Lithium ein wesentliches Element für Batterien in der Elektromobilität. Lithium kann aus unterschiedlichen Rohstoffquellen gewonnen werden. Ursprünglich wurde insbesondere Spodumen, ein Lithiumsilikat und andere verwandte Lithiumsilikaten als Li-Rohstoff verwendet. Spodumene werden auch heute noch oft als Lithiumrohstoff verwendet. Ihre Hauptverwendung finden Sie jedoch als Glas- und Keramikrohstoff, da sie dort in ihrer natürlichen Zusammensetzung eingesetzt werden können und nicht oder nur gering aufbereitet werden müssen. Im geringeren Maße werden sie jedoch auch für die Batterieproduktion eingesetzt. Neben den Pegmatiten können auch einige Tone für die Lithiumgewinnung genutzt werden. Infrage kommen hier vor allem Tone, die Hectorite, ein lithiumhaltiges Tonmineral, enthalten. Dominierend ist gegenwärtig jedoch die Gewinnung von Lithiumrohstoffen aus Salzlaugen. Ausgangsstoff für Li-Ionen-Sekundärbatterien ist Lithiumkarbonat ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ), das vergleichsweise einfach aus einigen natürlich vorkommenden Salzlaugen gewonnen werden kann.

Die Lithiumgewinnung ist, bedingt durch eine steigenden Nachfrage für Li-Ionen-Sekundärbatterien, kontinuierlich gestiegen.



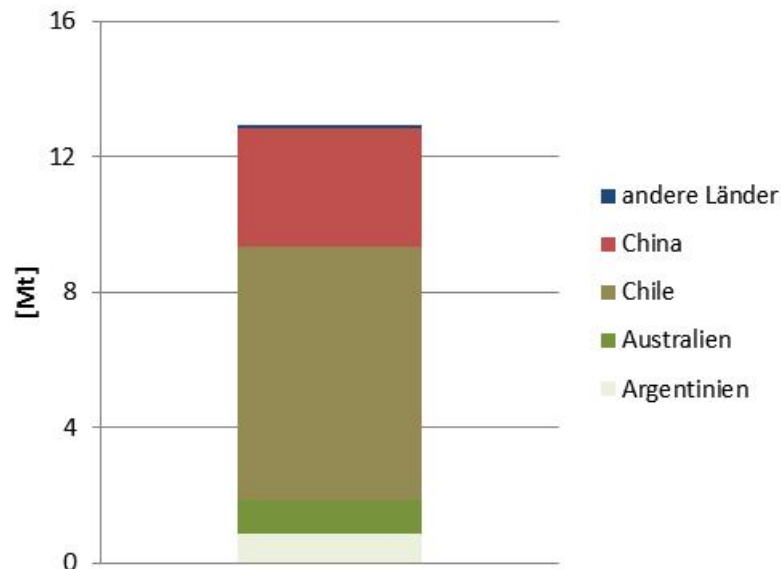
**Abb. 6-35** Entwicklung der Produktion von Lithium

Datengrundlage: (U. S. Geological Survey, 1996-2013b)

Bedarf in Deutschland Referenz ca. 15 t für das Referenzszenario, 18,8 kt (Strom-Min), 81,8 kt (Strom-Mittel) bis 152,3 kt (Strom-Max) jeweils kumuliert bis 2050. Der globale Bedarf wird mit 1 037,9 kt – 4 128,1 kt berechnet. Der entlang der Szenarien berechnete Lithiumbedarf für Elektromobilität in Deutschland entspricht damit bei einer derzeitigen Jahresförderung von ca. 34 kt (siehe Abb. 6-35) ca. 0,55 (Strom-Min), 2,41 (Strom-Mittel) bzw. ca. 4,5 Jahresförderungen (Strom-Max) und weisen damit einen hohen Gesamtbedarf auf.

Die Reserven von Lithiumrohstoffen sind auf dieselben Länder verteilt, die heute zu den Hauptproduzenten gehören. Auch hier ist die Bedeutung von Südamerika mit den Reserven

von Chile und Argentinien hervorzuheben. Die globalen Lithiumreserven werden derzeit mit ca. 13 Mt angegeben (siehe Abb. 6-36). Der berechnete Bedarf allein von Deutschland entspricht damit max. 1,17 % der Lithiumreserven. Die berechnete globale Nachfrage der Elektromobilität von ca. 0,86 Mt bis ca. 4,95 Mt entspricht 8-38 % der Lithiumreserven und erreicht damit hohe Werte, wie sie aber auch von anderer Stelle für die globale Li-Nachfrage aus Batterien insgesamt bis 2050 mit einem Li-Bedarf von ca. 9,3 Mt angesetzt werden (Gaines & Nelson 2010).



**Abb. 6-36 Verteilung der Reserven an Lithium**

Datengrundlage: (U. S. Geological Survey 2013)

Berücksichtigt man diese hohe Nachfrage, so erscheint eine Deckung des Bedarfs aus den gegenwärtigen Reserven grundsätzlich möglich, aber keineswegs gesichert, denn die berechnete Nachfrage in den verschiedenen Verkehrsszenarien in diesem Projekt, wie die prognostizierte Gesamtnachfrage einschließlich anderer Anwendungen, ist nur knapp aus den Reserven zu decken. Es ist jedoch bekannt, dass neben den Lithiumreserven noch weitere Rohstoffe, insbesondere weitere Pegmatitlagerstätten, für die Lithiumgewinnung zur Verfügung stehen, die derzeit noch nicht wirtschaftlich gewonnen werden können, jedoch die Nachfrage nach Lithium decken könnten.

### Mögliche Entwicklung der Umweltbelastungen bei der Gewinnung von Lithium

Wie bei den Seltenerdelementen besteht auch bei Lithium bei stark wachsender Nachfrage nach Rohstoffen möglicherweise die Notwendigkeit, andere als die bisher genutzten Rohstoffquellen zu nutzen. Auch für Lithium bestand die Möglichkeit, Abschätzungen des Einflusses auf die Umweltbelastungen vorzunehmen. Für einige Aufbereitungsprozesse von Lithiumrohstoffen liegen Prozessdaten vor (siehe Tab. 6-23, Tab. 6-24 und Tab. 6-25). Auf dieser Basis werden überschlägig der TMR, das Treibhausgaspotenzial (THG) und die Kosten der Gewinnung von Lithiumkarbonat ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) aus den unterschiedlichen Rohstoffen ermittelt.

Prozessschritt	Prozessschritt	Stoff/Chemikalie	Kosten \$/t Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Entfernung von Mg/SO <sub>4</sub>		Ca(OH) <sub>2</sub>	180 (pro Einheit Mg:Li)
pH Einstellung		HCl	20
Entfernung Restsulfat		CaCl <sub>2</sub>	240
Überführung zu Karbonat		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	760
Anlagen Amortisation			1 067
Summe			2 267 (bei Mg:Li = 1:1)
Variable Kosten			1 200 (bei Mg:Li = 1:1)

**Tab. 6-23 Kosten der Gewinnung von Lithium aus Salzlaugen**

Quelle: (Bryon Capital Markets 2010)

Prozessschritt	Prozessschritt	Stoff/Chemikalie	Kosten \$/t Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Erzabbau			< 1 200
Spodumen Konzentration			500
Kalzination			230
Zerkleinerung/Pulverisierung			100
Laugung		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	585
Waschen		Wasser	0
Überführung zu Karbonat		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	505
Anlagen Amortisation			
Summe			< 6 453
Variable Kosten			< 3 120

**Tab. 6-24 Kosten der Gewinnung von Lithium aus Spodumen**

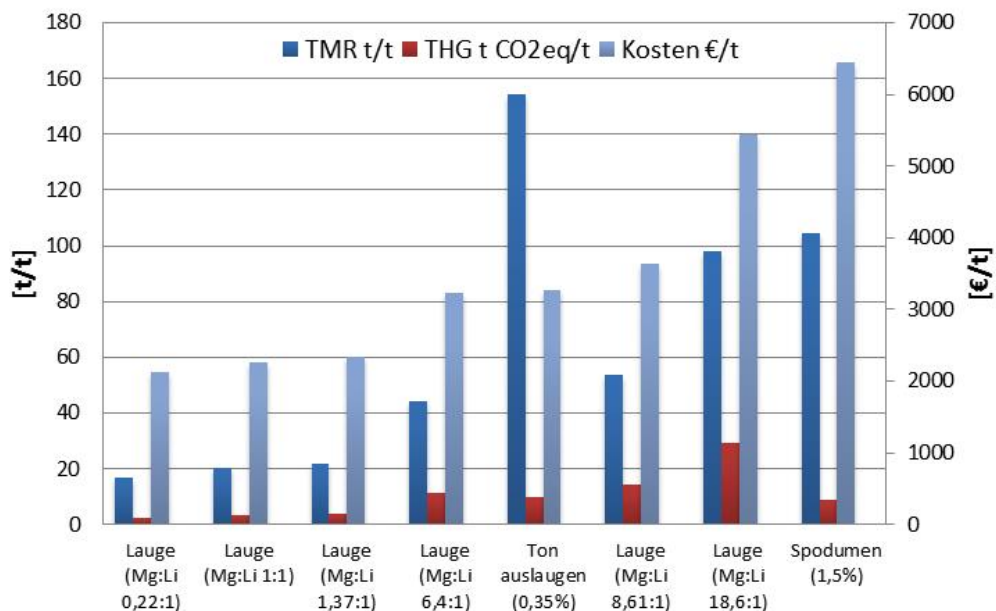
Quelle: (Bryon Capital Markets 2010)

Prozessschritt	Prozessschritt	Stoff/Chemikalie	Kosten \$/t Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Tongewinnung			308
Vermahlung			100
Rösten			400
Karbonatisierung		Gips	1 170
Anlagen Amortisation			480
Summe			1 000
Variable Kosten			3 262
			2 262

**Tab. 6-25 Kosten der Gewinnung von Lithium durch Auslaugung von Ton**

Quelle: (Bryon Capital Markets 2010)

Die natürlich vorkommenden lithiumhaltigen Salzlagen unterscheiden sich sehr wesentlich hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und Eignung für die Lithiumgewinnung. Der wichtigste Aufbereitungsschritt der Salzlauge besteht in der Aufkonzentration der Ausgangslaugen auf die höhere Konzentration des Zielelementes Lithium sowie die Abtrennung der Begleitstoffe. Problematisch ist hierbei, dass Lithium immer mit anderen Stoffen vergesellschaftet in den Salzlagen vorkommt. Wichtig hierbei sind insbesondere NaCl, KCl, Mg, Bo und Sulfat (Bryon Capital Markets 2010). Bor und Sulfat können bei der elektrolytischen Aufbereitung zu hochreichem Lithium zu Kurzschlüssen in der Elektrolysezelle und zu Produktionsunterbrechungen führen. Magnesium, das im Lithiumkarbonat enthalten ist, wird bei der Elektrolyse nicht abgetrennt und verunreinigt das Lithiummetall (Bryon Capital Markets 2010). Für eine wirtschaftliche Produktion muss das Verhältnis zwischen Magnesium und Lithium kleiner als 9:1 bis 10:1 sein. Die Ursache hierfür ist, dass das Magnesium mit Soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ausgefällt werden muss, was mit erheblichen Kosten, aber auch mit einer mit der Sodaherstellung einhergehenden Umweltbelastung.



**Abb. 6-37 TMR, THG und Kosten der Gewinnung und Aufbereitung von Lithiumrohstoffen (Wuppertal Institut 2014)**

Eine überschlägige Berechnung von THG, TMR und Kosten der Lithiumgewinnung (Abb. 6-37) auf der Basis der in Tab. 6-23 bis Tab. 6-25 angegebenen stofflichen und energetischen Inputs sowie zugehöriger THG- und TMR-Werte, die Ecoinvent bzw. der Datenbasis des Wuppertal Instituts entnommen wurden, zeigt sehr deutliche Unterschiede zwischen den betrachteten Lagerstätten. Hierbei fällt auch auf, dass die Gewinnung aus einigen Laugen mit höheren THG-Emissionen verbunden ist als die Gewinnung aus Ton oder Spodumen. Hinsichtlich des TMR ist hingegen die Gewinnung aus Ton, aufgrund der sehr niedrigen Li-Gehalte, am ungünstigsten. Trotz der hohen Kosten und der Umweltbelastung bei der Gewinnung von Lithium aus Spodumen wird in Australien inzwischen Lithium für Batterien aus Spodumen gewonnen. Unberücksichtigt bleiben bei dieser Betrachtung Transporte sowie auch das Vorhandensein von geeigneten Transport- und Versorgungsinfrastrukturen. Hier haben insbesondere die bolivianischen Lagerstätten (Laugen mit Mg:Li 18,6:1) erhebliche Nachteile (Wuppertal Institut 2014).



Auf der Grundlage dieser Information und ergänzt um verfügbare Informationen zur Größe der einzelnen Lagerstätten ist es auch möglich abzuschätzen, welche Mengen Lithium zu welchen Kosten gefördert werden können. Hierzu werden in Abb. 6-38 TMR, THG und die Gewinnungskosten mit der jeweiligen Lagerstättengröße verknüpft.

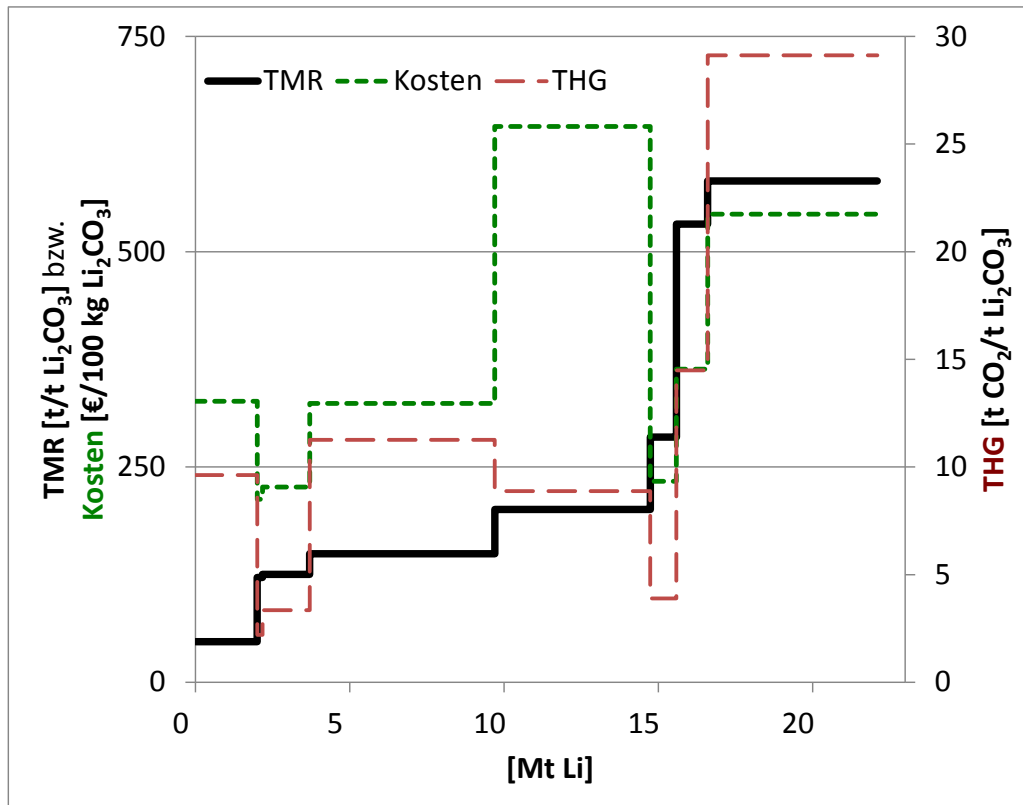


Abb. 6-38 Verfügbare Lithiumreserven und -ressourcen in Abhängigkeit von TMR, THG und Gewinnungskosten

Es ist deutlich sichtbar, dass bei hoher Nachfrage nach Lithium mit erhöhtem TMR, THG und gesteigerten Produktionskosten zu rechnen ist.

## Recycling

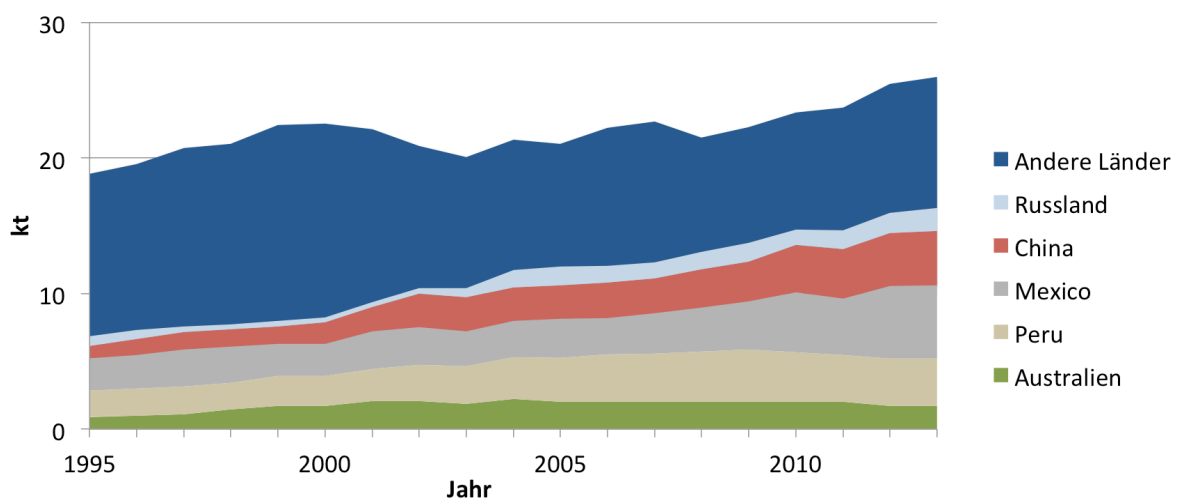
Mit der zunehmenden Verwendung von Lithium in Batterien ist auch das Recycling von Lithium angestiegen, und es werden weitere Recyclingkapazitäten aufgebaut (U. S. Geological Survey 2013). Damit ist davon auszugehen, dass ein großer Teil des in Li-Ionen-Batterien eingesetzten Lithiums zukünftig zurückgewonnen wird und zu einer Verringerung der Nachfrage nach primär gewonnenem Lithium beitragen wird.

## Fazit

Die Nachfrage nach Lithium aus der Elektromobilität erreicht eine kritische Größe, bei der unklar ist, ob sie gedeckt werden kann. Auf Dauer kann jedoch Recycling von Lithium zu einer deutlichen Verringerung des Bedarfs an primär gewonnenem Lithium beitragen. Auch hinsichtlich der Umweltbelastungen und der Gewinnungskosten zeigt sich, dass steigende Umweltbelastungen und Kosten erwartet werden müssen.

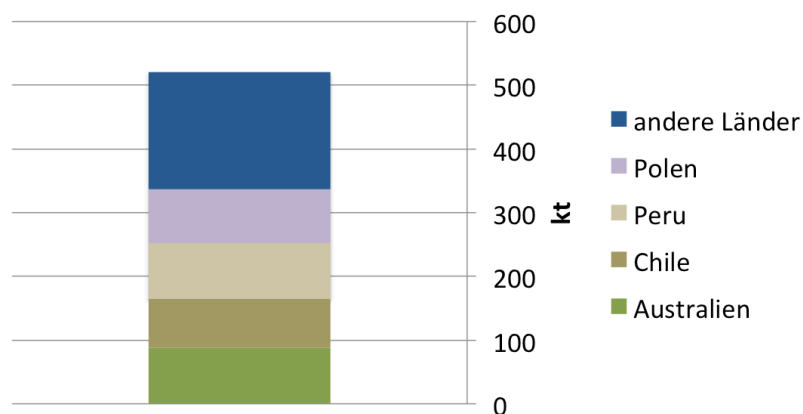
### 6.8.4 Silber

Silber wird innerhalb der Elektromobilität in der Elektronik eingesetzt. Der Silberanteil in der Erdkruste liegt zwischen 0,05 und 0,1 ppm (Ullmann 2007). Silber kommt als gediegenes Silber, gebunden in Silbererzen sowie als Nebenbestandteil anderer Erze vor. Der größte Teil des gewonnenen Silbers wird als Nebenprodukt bei der Aufbereitung anderer Erze gewonnen. Bei einer jährlichen Produktion von 26 kt Silber und Reserven von 521 kt Silber (ohne Russland<sup>31</sup>) erreicht Silber nur eine statische Reichweite von ca. 21 Jahren. Hierbei kann jedoch beobachtet werden, dass die Reserven kontinuierlich steigen. Die Reservenmengen nach USGS enthalten auch die Silbermengen, die aus unedlen Metall-Lagerstätten gewonnen werden (U. S. Geological Survey 2014a).



**Abb. 6-39** Entwicklung der Produktion von Silber nach Ländern

Datengrundlage: (U. S. Geological Survey 1996-2014a)



**Abb. 6-40** Verteilung der Reserven von Silber

Datengrundlage: (U. S. Geological Survey 2014a)

<sup>31</sup> Für Russland werden vom USGS keine Angaben zu den Silberreserven gemacht

Im Rahmen dieser Studie wurde für die Elektromobilität in Deutschland im Zeitraum 2011-2050 ein Bedarf von ca. 2,6-4,5 kt Silber ermittelt. Dieser Bedarf entspricht ca. 10 % bis 17,3 % einer jährlichen Produktion und ca. 0,5 % bis 0,9 % der für 2014 angenommenen Reserven von Silber. Bezüglich des Weltbedarfs im Zeitraum 2011-2050 beträgt der Silberbedarf 119,3 kt bis 171,3 kt. Dies würde ca. 23 % beziehungsweise 33 % der Silberreserven entsprechen. Damit erreicht der Silberbedarf, insbesondere auch angesichts der konkurrierenden Nachfrage, eine kritische Größe. Weitere Sulfidlagerstätten, die Silber als Nebenprodukt führen, werden jedoch zunehmend ökonomisch erschließbar. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die Silberreserven durch Nutzung dieser Vorkommen steigen werden.

## Recycling

Neben der Primärproduktion wird Silber in beträchtlichen Mengen auch recycelt und dem Markt wieder zur Verfügung gestellt. Silberrecycling ist seit langem etabliert, da sich Silber auf einfache Weise wieder einschmelzen lässt. Die Ausbeute beim Recycling von Edelmetallen wird allgemein mit ca. 95 % als hoch eingeschätzt (Hagelüken et al. 2005). Im Jahr 2013 wurde insgesamt 5 437,4 t Silber wiedergewonnen. Der Anteil der Sekundärproduktion an der gesamten Silberproduktion betrug somit ca. 19 % (The Silver Institut et al. 2014) und reduziert damit den Bedarf an primär gewonnenem Silber. Verglichen mit anderen Metallen ist der Anteil an Sekundärmaterial jedoch relativ gering und kann die Kritikalität kaum verringern.

## Substitution

Silber wird zu einem erheblichen Teil für Schmuck, Silberwaren sowie Münzen und Medaillen eingesetzt (zusammen ca. 38 % der Silberverwendung (ABN AMRO et al. 2012)). Für diese Bereiche sind auf den stofflichen Eigenschaften basierende Bedarfsprognosen kaum zu erstellen, wesentliche Änderungen der Nachfrage sind nicht zu erwarten. Im Anwendungsbereich der Elektrik/Elektronik (ca. 25 % der Verwendung (ABN AMRO et al. 2012)) wird Silber vor allem in Loten eingesetzt. Es lässt sich nur eine geringe Steigerung des Bedarfs feststellen. Hier kann Silber i. d. R. gut durch Kupfer substituiert werden. Der Bedarf an Silber in der Fotografie geht mit sinkender Nachfrage nach Filmen und Fotopapieren stetig zurück. Zudem kann Silber aus Fotochemikalien gut zurückgewonnen werden. In der Herstellung von Hartloten (ca. 5 % der Verwendung ABN AMRO et al. 2012) ist Silber nur schwer zu ersetzen (teilweise nur durch andere eher kritische Stoffe, wie z. B. Indium), jedoch ist auch kein wesentlich steigender Bedarf hinsichtlich der letzten 10 Jahre zu erkennen. In der Herstellung von Spiegeln wird Silber insbesondere durch Aluminium zunehmend substituiert.

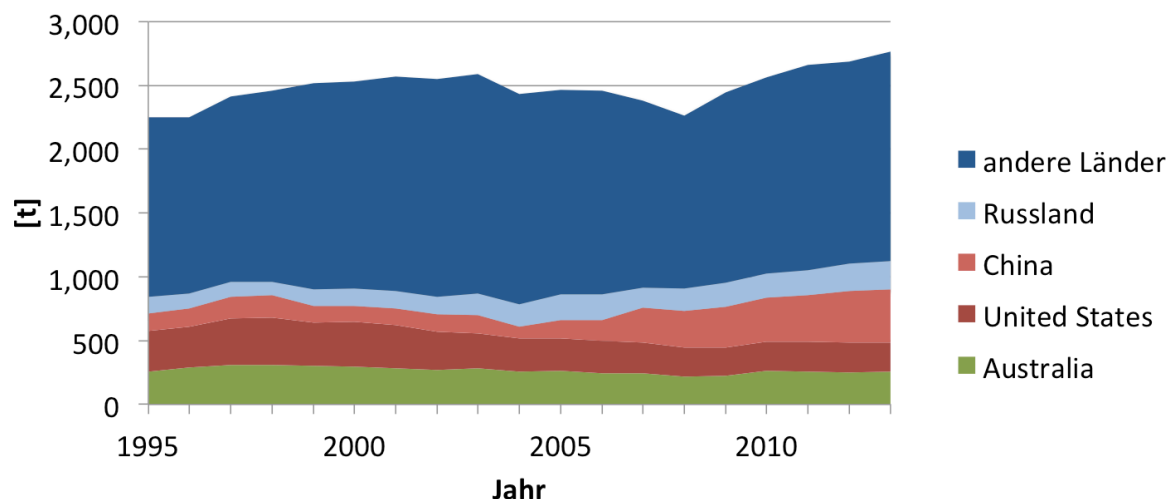
## Fazit

Es ist davon auszugehen, dass aufgrund der relativ guten Substituierbarkeit von Silber in der Elektronik und damit auch in der für Elektromobilität eingesetzten Elektronik, die Verfügbarkeit von Silber nicht kritisch für die Elektromobilität sein wird.

### 6.8.5 Gold

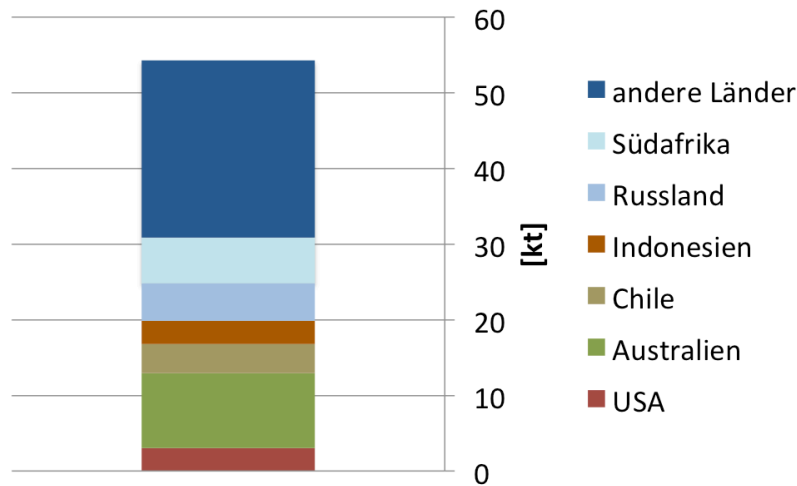
In der Natur kommt Gold meist gediegen in Form von Einschlüssen in Sulfiderzen in sogenannten Primärlagerstätten sowie in Sekundärlagerstätten, den Seifenlagerstätten, vor. Durch die Gewinnung von Gold als Nebenprodukt bei der Nickel- oder Kupferraffination werden manche Erzlagerstätten erst wirtschaftlich. Alle Silberlagerstätten enthalten immer ein wenig Gold, sowie umgekehrt Goldlagerstätten stets Silber enthalten (Ullmann 2007). Gold wird aufgrund seiner Eigenschaften in einer Vielzahl von Produkten eingesetzt. Von größter Bedeutung sind die Schmuckindustrie, Fonds sowie die Elektronik. In der Elektronik findet Gold Anwendung aufgrund seiner Korrosionsbeständigkeit, Kontaktgabe und guter Verarbeitbarkeit.

Die weltweite Primärproduktion von Gold betrug im Jahr 2013 ca. 2,8 kt (siehe Abb. 6-39). Die wichtigsten Produzenten sind Russland, China, die Vereinigten Staaten von Amerika sowie Australien, wobei die Förderung insgesamt weit verteilt ist. Die Reserven werden vom U. S. Geological Survey (USGS) mit 54 kt angegeben (siehe Abb. 2).



**Abb. 6-41** Entwicklung der Produktion von Gold nach Ländern

Datengrundlage: (U. S. Geological Survey, 1997-2014b)



**Abb. 6-42 Verteilung der Reserven nach Ländern**

Datengrundlage: (U. S. Geological Survey, 1997-2014b)

Die berechnete Nachfrage nach Gold liegt im Szenario für Deutschland für den Zeitraum 2011 bis 2050 zwischen 199 und 322 t. Das entspricht ca. 7 bis 11,6 % einer globalen Jahresproduktion bzw. 0,4 bis 0,6 % der weltweiten Gold-Reserven. Der weltweite Bedarf wurde für die betrachteten Szenarien mit ca. 8,3 bis 12,5 kt berechnet. Dies würde 15,4 % bis 23,1 % der globalen Gold-Reserven entsprechen. Der Goldbedarf erscheint somit kritisch hoch.

Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass Gold gut zu recyceln ist und Recyclingkreisläufe bereits etabliert sind. Hier gibt es jedoch erhebliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Anwendungsbereichen. Im Bereich der Elektronik kommt es im Rahmen des Recyclings zu erheblichen Goldverlusten, wohingegen etwa Schmuck ohne größeren Verlust recycelt werden kann. Unter Einberechnung dessen betragen die jährlichen Recyclingraten 36 bis 50 % der jährlichen Produktion (nach Daten von Fortis Bank 2009).

Generell können Palladium, Platin und Silber Substitute für Gold bilden, die jedoch ebenfalls mögliche kritische Stoffe sind.

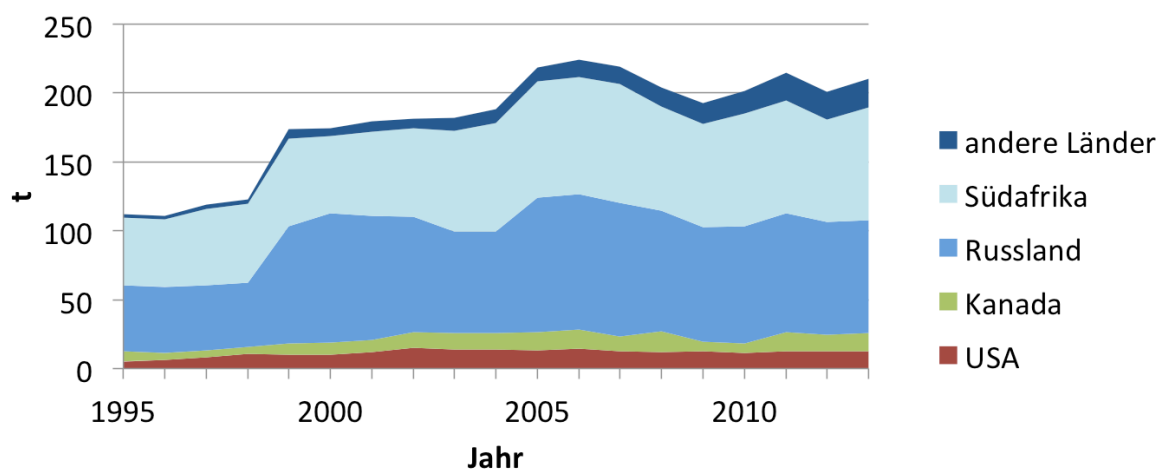
## Fazit

Die berechneten Goldmengen erreichen eine relativ kritische Größenordnung. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass Gold in der Elektronik gut zu substituieren ist und ebenfalls gut recycelt werden kann.

### 6.8.6 Palladium und Platin

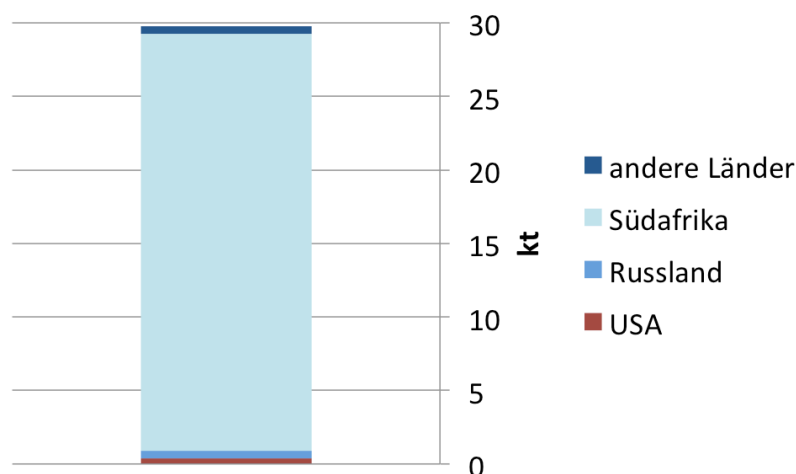
Palladium und Platin werden einerseits im Abgassystem herkömmlicher Kfz in Abgaskatalysatoren und  $\lambda$ -Sonden, andererseits auch in Brennstoffzellen eingesetzt. Palladium und Platin, sind häufig vergesellschaftet und werden aufgrund ähnlicher Eigenschaften und gegenseitiger Substituierbarkeit meist in der Literatur gemeinsam betrachtet. Sie kommen gediegen und gebunden in Sulfidieren vor und werden meist als Nebenprodukt bei der Kupfer- und Nickelproduktion gewonnen. Die Primärproduktion von Palladium betrug 2013 ca. 211 t,

die Reserven an Palladium umfassten im Jahr 2013 30 kt (s. Abb. 3) und sind geografisch auf Südafrika konzentriert.



**Abb. 6-43** Entwicklung der Produktion von Palladium

Datengrundlage: (U. S. Geological Survey 1996-2014b)



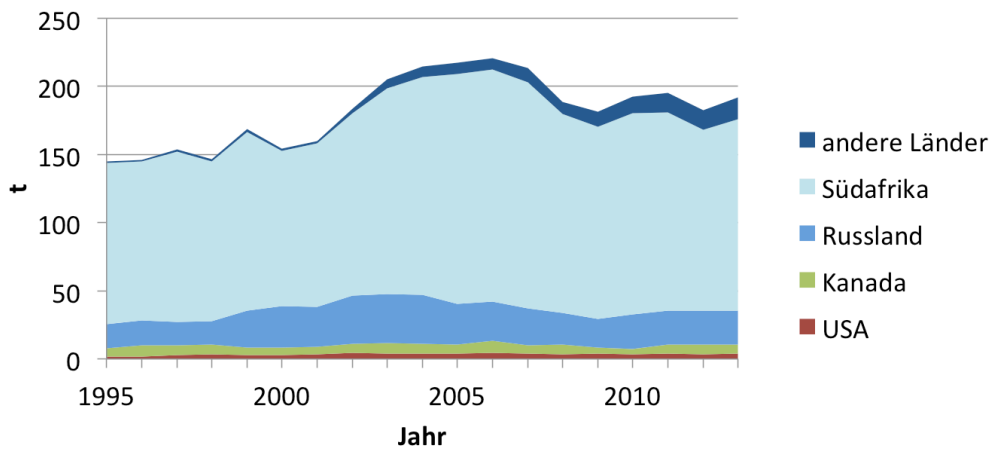
**Abb. 6-44** Verteilung der Reserven von Palladium

Datengrundlage: (U. S. Geological Survey 2014b)

In dieser Studie wurde für die Elektromobilität in Deutschland im Zeitraum 2011-2050 ein minimaler Bedarf an Palladium von 22 t (Strom Max) bis 28 t (Referenz) ermittelt. Dem steht eine globale Jahresproduktion von 211 t Palladium gegenüber (s. Abb. 2). Der angenommene Bedarf an Palladium entspricht somit ca. 13 % einer gegenwärtigen jährlichen Palladiumförderung oder ca. 0,1 % der globalen Reserven. Der ermittelte globale Bedarf aus den Szenarien liegt bei 823 t (LoStockHiEV) bis 1 073 t (HiStockLoEV) und entspricht damit ca. 4-5 Jahresproduktionen oder 2,7 bis 3,5 % der globalen Reserven.

Da der Hauptanwendungsbereich von Palladium in der Herstellung von Autokatalysatoren liegt, kommt es bei einem steigendem Anteil der Elektromobilität zu einem sinkenden Palladiumbedarf.

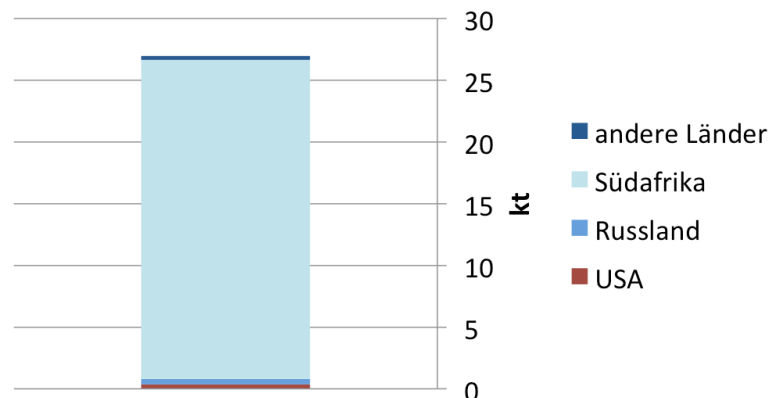
Die gegenwärtige Primärproduktion von Platin beträgt ca. 192 t (Abb. 6-45), die Reserven werden mit knapp 270 kt angegeben (Abb. 6-46).



**Abb. 6-45 Entwicklung der Produktion von Platin nach Ländern**

Datengrundlage: (U. S. Geological Survey 1996-2014b)

Der Bedarf an Platin beträgt für den Pkw-Verkehr in Deutschland 90 t (Strom Max) bis 116 t (Referenz). Dies entspricht 47-60 % einer jährlichen Platinproduktion bzw. 0,03-0,04 % der Reserven. Es ergibt sich ein globaler Platinbedarf in den betrachteten Szenarien von ca. 2,7 kt (LoStockHiEV) bis ca. 3,9 kt (HiStockLoEV), entsprechend ca. 14-20 Jahresproduktionen oder 1-1,4 % der globalen Reserven.



**Abb. 6-46 Verteilung der Reserven von Platin**

Datengrundlage: (USGS 2014)

## Fazit

Der Platin- und Palladiumbedarf in den Szenarien ist insgesamt hoch, hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass durch Elektromobilität der Palladium- und Platinbedarf sinkt und Platin und Palladium daher keine kritischen Elemente für die betrachtete Elektromobilität darstellen. Im Gegenteil, für Platin und Palladium sorgen die betrachteten Szenarien für eine Verringerung der Nachfrage und Kritikalität.

### 6.8.7 Gallium

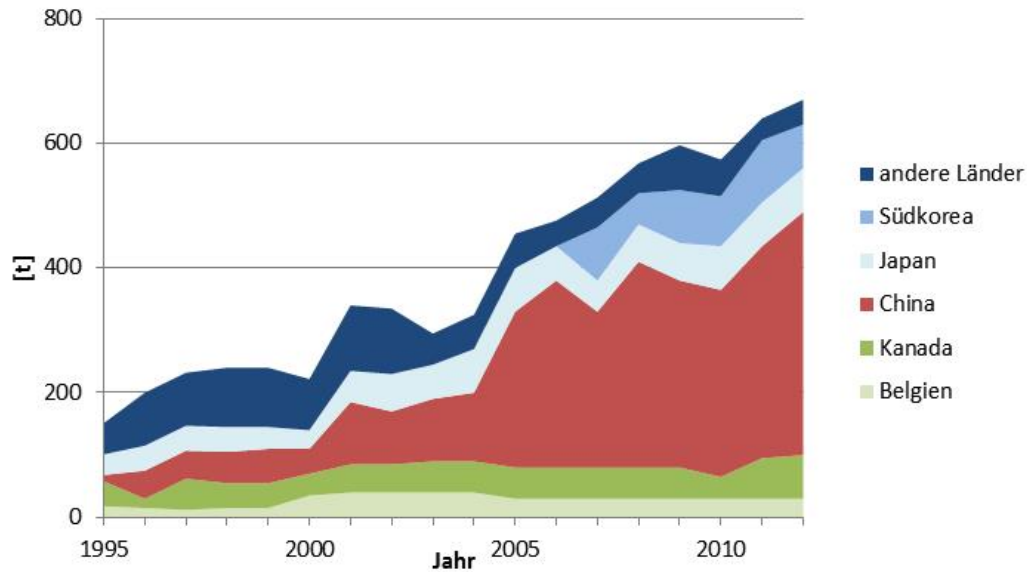
Gallium wird insbesondere in unterschiedlichen Halbleitern eingesetzt. Innerhalb der Elektromobilität kommt es daher insbesondere in der Fahrzeugelektronik vor. Die derzeit einzige ökonomisch verfügbare Rohstoffquelle für Gallium sind die Laugen des Bayer-Verfahrens zur Aluminiumoxidherstellung, in denen in Abhängigkeit vom Mineralbestand des eingesetzten Bauxits und der Prozessbedingungen bei der Gewinnung unterschiedliche Galliumkonzentrationen auftreten. Die Verfügbarkeit von Gallium hängt daher unmittelbar von der Aluminiumoxid- und der Aluminiumproduktion ab (Ritthoff 2011). Die Produktion von primärem Gallium hat in den letzten Jahren erheblich zugenommen. Wurde sie für das Jahr 2000 noch auf ca. 100 t geschätzt, so stieg sie bis zum Jahr 2013 bereits auf 280 t an (U. S. Geological Survey 2001, U. S. Geological Survey 2014c). Diese Steigerung ist vor allem eine Folge des Produktionsausbaus in China wohingegen die anderen Produktionsländer ihre Produktion eher verringert haben. Zu den relevanten Produktionsländern gehören neben China, Deutschland, die Ukraine und Japan. Die Produktionskapazität der meisten Länder wird nicht ausgenutzt (Jaskula 2010). Angaben zu den Reserven von Gallium werden vom USGS nicht gemacht. Rechnet man den Galliumgehalt der Bauxitreserven hoch, so ergibt sich ein gesamter Galliuminhalt von ca. 1,4 Mt und ein jährlich geförderter Galliuminhalt von ca. 13 kt. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass derzeit technologisch bedingte Verluste von ca. 65 % auftreten und damit nicht die gesamte Fördermenge genutzt werden kann (Wuppertal Institut 2014).

In den Szenarien für Deutschland wurde für den Zeitraum 2011 - 2050 ein Galliumbedarf von 552 kg bis 2 982 kg berechnet. Dies entspricht 0,115% bis 0,6 % einer derzeitigen Jahresproduktion bzw. 0,00004 % bis 0,0002 % der weltweiten Reserven. Der Galliumbedarf ist damit niedrig und unkritisch. Für die globalen Szenarien wurde ein Bedarf von ca. 40 bis ca. 134 t Gallium ermittelt, was 8 % bzw. 47,86 % einer Jahresproduktion bzw. 0,003 % bis 0,001 % der weltweiten Reserven entspricht. Die Nachfrage nach Gallium aus der Elektromobilität erscheint daher insgesamt unkritisch.

### 6.8.8 Indium

Indium wird wie Gallium in Fahrzeugen vor allem in Halbleitern eingesetzt und ausschließlich als Nebenprodukt gewonnen. Die wichtigsten Rohstoffe der Indiumgewinnung sind Nebenprodukte der Zinkgewinnung (Noel 1989, Niederschlag & Stelter 2008) sowie untergeordnet Nebenprodukte der Blei- und Zinnengewinnung (nach Classen et al. 2009, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2008, Pohl 2005). Die weltweite Primärproduktion von Indium steigt seit einigen Jahren stark an und betrug im Jahr 2013 670 t (siehe Abb. 6-47); heute ist der wichtigste Produzent China mit knapp 60 % der globalen Produktion. Weitere wichtige Produzenten sind Japan, Kanada und Südkorea. Die Reserven von Indium werden vom USGS nicht angegeben (Tolcin 2014).





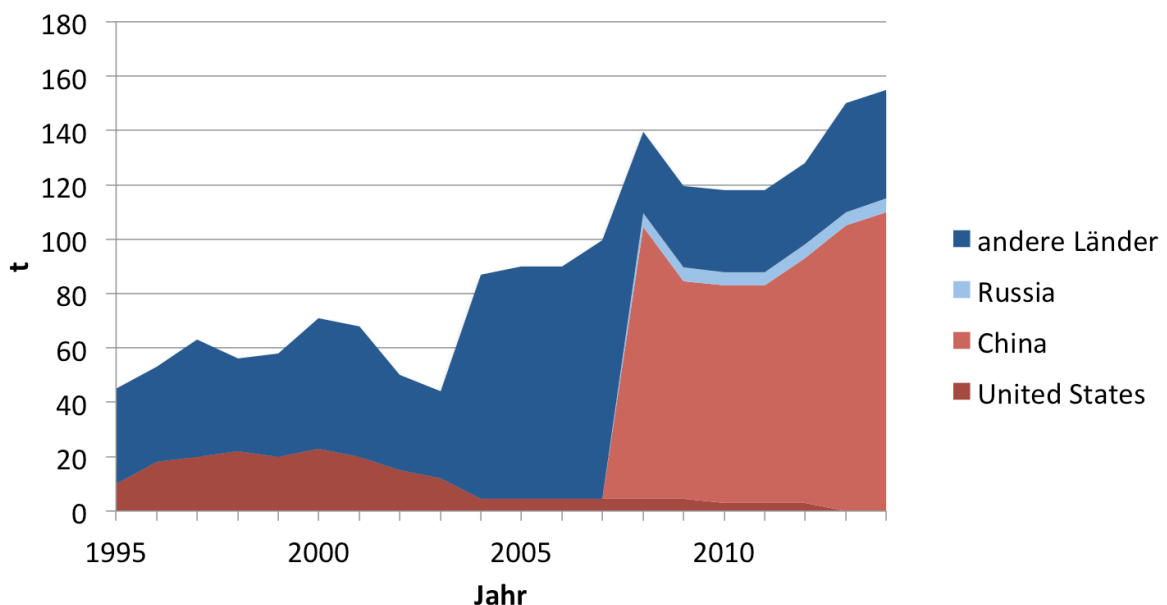
**Abb. 6-47 Entwicklung der Produktion von Indium**

Datengrundlage: (U. S. Geological Survey 1996-2013c)

Die berechnete Nachfrage nach Indium in Deutschland für Elektromobilität bis zum Jahr 2050 liegt zwischen 0 und 3 234 t. Das entspricht max. 0,5 % der globalen Jahresproduktion. Die globale Nachfrage nach Indium für Elektromobilität wurde mit ca. 35 bis 134 t berechnet, entsprechend 5 bis 20 % einer Jahresproduktion. Damit ist die Nachfrage nach Indium aus der Elektromobilität insgesamt gering und insgesamt unkritisch.

### 6.8.9 Germanium

Germanium wird ebenfalls in Halbleitern eingesetzt und wird in Fahrzeugen vor allem in der Elektronik benötigt. Germanium kommt insbesondere als Spurenelement in vielen verbreiteten Mineralen vor. Daher wird Germanium hauptsächlich als Nebenprodukt bei der Zinkproduktion, aber auch bei der Kupfer-, und Bleiproduktion gewonnen. Zusätzlich wird Germanium mit dem organischen Anteil der Kohle, genannt Vitrain, assoziiert, aber ist dort auch nur als Spurenelement vorzufinden. Nach dem Verbrennungsprozess ist Germanium dann höher konzentriert in den Kohleaschen vorzufinden. Die weltweite Germaniumproduktion im Jahr 2013 belief sich auf 150 t (Abb. 6-48). Germanium wird hauptsächlich in Russland, China und den USA produziert, wobei China mit 71 % der Hauptproduzent von Germanium ist. Angaben zu den Germaniumreserven sind nicht verfügbar.



**Abb. 6-48** Entwicklung der Produktion von Germanium nach Ländern

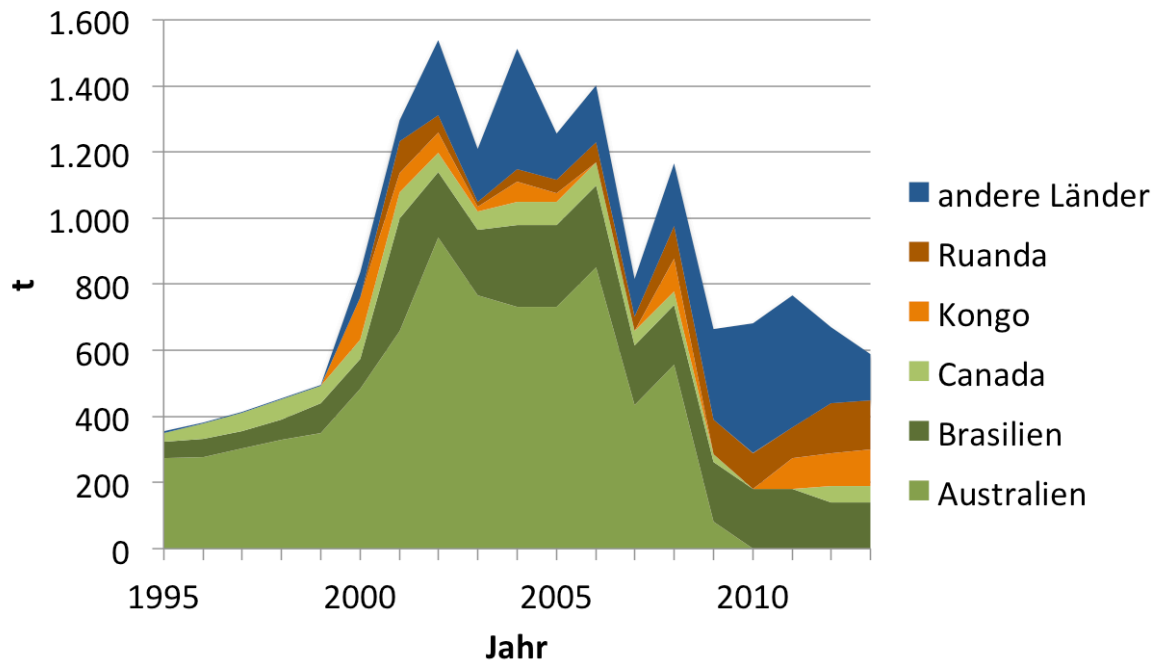
Datengrundlage: (U. S. Geological Survey, 1996-2014a)

Der Germaniumbedarf für Deutschland im Zeitraum 2011 bis 2050 für Elektromobilität wurde mit 0 bis 2 958 kg berechnet. Dies entspricht somit max. 2 % der weltweiten Produktion im Jahr 2013 und erscheint somit sehr gering. Der weltweite Bedarf für den gleichen Zeitraum wurde auf ca. 35 bis 134 t berechnet. Dies würde ca. 23 beziehungsweise 89 % einer jetzigen jährlichen Germaniumproduktion entsprechen. Hierbei handelt es sich ebenfalls um einen niedrigen und unkritischen Wert.

### 6.8.10 Tantal

Tantal kommt nur in Form von Verbindungen in verschiedenen Mineralen vor. Da es sich aufgrund ähnlicher Eigenschaften gern mit Niob vergesellschaftet, enthalten Tantalminerale (Tantalit-Reihe) immer auch Niob und andersherum (z. B. Columbit-Reihe). Mischkristalle dieser Mineral-Reihen sind auch unter dem Namen Coltan bekannt. Tantal wird vorwiegend für leistungsfähige Kondensatoren benötigt. Aufgrund seiner Beständigkeit findet Tantal weiterhin

Anwendung in der Medizin und der chemischen Industrie sowie für Superlegierung für Turbinen und Flugzeugtriebwerke (Ullmann 2007).

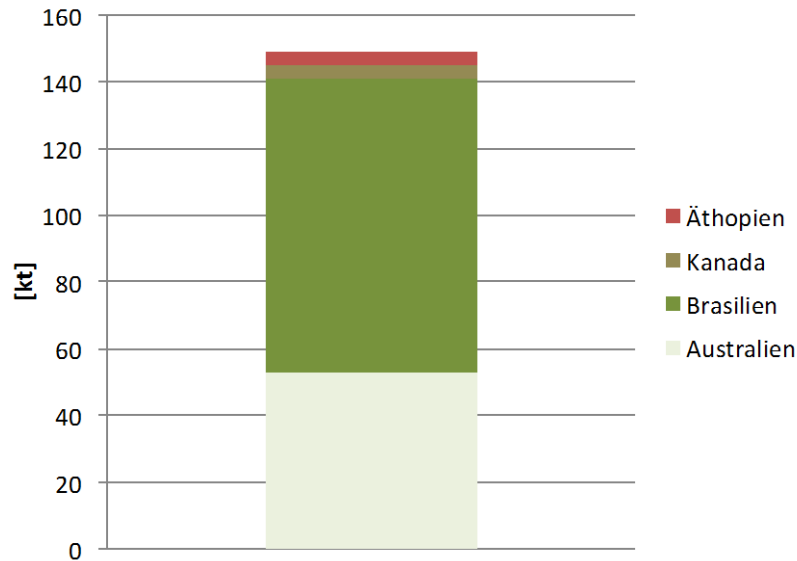


**Abb. 6-49** Entwicklung der Produktionsmengen von Tantal nach Ländern

Datengrundlage: (U. S. Geological Survey 1996-2014c)

Wie in (Abb. 6-49) zu sehen, sind die jährlichen Produktionszahlen stark schwankend und beliefen sich im Jahr 2013 auf 590 t. Die Hauptproduzenten waren bis zum Jahr 2008 Australien und Brasilien. Seitdem gewinnen afrikanische Länder wie Ruanda oder der Kongo immer mehr an Bedeutung in der Tantal-Produktion, während Australien seit 2010 keine relevanten Mengen an Tantal mehr produziert. Die Tantal-Reserven wurde vom U. S. Geological Survey mit >100 kt angegeben. Dieser Wert berücksichtigt jedoch nur die Tantal-Reserven von Australien und Brasilien, nicht aber die Reserven des afrikanischen Kontinents (nach Daten des U. S. Geological Survey 1996-2014).

In den Szenarien wurde für Deutschland ein Bedarf an Tantal für den Zeitraum 2011 bis 2050 von ca. 530 bis ca. 798 t berechnet. Dies würde 90 % bis 135 % der aktuellen Jahresproduktion oder 0,053 % bis 0,08 % der globalen Reserven entsprechen. Für die globalen Szenarien wurde ein Bedarf an Tantal von ca. 22 bzw. 31 kt ermittelt. Dies würde max. 22 % bzw. max. 31 % der globalen Reserven entsprechen und erreicht eine ausgesprochen kritische Größe. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass der Bedarf an Tantal aus Kondensatoren der Elektronikkomponenten herrührt und dort durch andere Kondensatoren substituiert werden kann.



**Abb. 6-50** Verteilung der Reserven von Tantal

Datengrundlage: (U. S. Geological Survey 2014d)

### 6.8.11 Zusammenfassung des Optimierungsbedarfs

Bei der Betrachtung der Kritikalität der untersuchten Elektromobilitätsszenarien und -technologien wurde eine Reihe von kritischen Stoffen identifiziert. Zu einem erheblichen Teil handelt es sich hierbei um Stoffe (insbesondere Silber, Gold, Gallium, Indium, Germanium und Tantal) für die Leistungselektronik und weitere elektronische Bauteile. Hierbei handelt es sich nicht um Stoffe und Anwendungen, die ausschließlich im Bereich der Elektromobilität genutzt werden. Dementsprechend müssen Optimierungsstrategien insgesamt auf den Bereich der Elektronik zielen. Hierbei wird es notwendig sein, einerseits den Einsatz dieser Stoffe insgesamt zu reduzieren und andererseits das Recycling zu verbessern.

Mit Platin und Palladium gibt es auch Elemente, bei denen der Bedarf durch Elektromobilität verringert wird, da sie überwiegend im Abgassystem herkömmlicher Pkw eingesetzt werden.

Daneben gibt es zwei Stoffe, die insbesondere für Elektromobilität kritisch sind. Hierbei handelt es sich einerseits um Lithium für die in der Elektromobilität benötigten Sekundärbatterien und andererseits um Dysprosium für Seltenerdpermanentmagnete in Elektromotoren.

Lithium ist aufgrund seiner chemischen und physikalischen Eigenschaften (leichtestes Metall und höchstes Normalpotenzial) das am besten geeignete Element für Batterien. Optimierungsbedarf beim Lithium besteht daher einerseits bei der Weiterentwicklung von Lithium-Ionen-Batterien, d. h. die weitere Erhöhung der Kapazität und Annäherung an die theoretischen Grenzen, andererseits aber insbesondere bei der Etablierung von Recyclingsystemen für Lithiumbatterien.

Dysprosium und Terbium werden derzeit benötigt, um hochleistungsfähige Permanentmagneten für Elektromotoren herzustellen. Hierbei ist ihr Einsatz bisher notwendig, um eine für den Betrieb hinreichend hohe Curietemperatur zu erreichen. Zwar besteht auch heute schon grundsätzlich die Möglichkeit Elektromotoren ohne derartige Magneten herzustellen, etwa durch den Einsatz von Elektromagneten in fremderregten elektrischen Maschinen, jedoch steigt damit das Gewicht bei gleicher Leistung der Elektromotoren an. Verbunden damit ist

ein erhöhter Energieverbrauch der Fahrzeuge. Hinzu kommt ein geringerer Wirkungsgrad und ein damit verbunden ebenfalls höherer Energieverbrauch. Wesentliche Optimierungsmöglichkeiten bestehen einerseits in der Entwicklung anderer, vergleichbar leistungsfähiger Permanentmagneten ohne kritische Rohstoffe, andererseits in einer deutlichen Verbesserung des Recyclings von Seltenerdpermanentmagneten.

## 6.9 Alternativszenario zum optimierten Umgang mit kritischen Ressourcen

*O. Soukup (WI), M. Ritthoff (WI), K. Bienge (WI)*

Die vorangegangenen Analysen haben bereits verschiedene Schwerpunktbereiche der Ressourcennutzung des Pkw-Verkehrs aufgezeigt. Mit dem ressourcenoptimierten Szenario soll untersucht werden, ob sich durch den Einsatz alternativer Technologien und Stoffe der Ressourcenverbrauch, aber auch die Kritikalität der eingesetzten Rohstoffe verringern lassen. Es wird hierfür nachfolgend aufgeführt, welche Ansatzpunkte für ein ressourcenoptimiertes Szenario sich aus den gewonnenen Erkenntnissen ergeben.

Einige der Ansatzpunkte werden bottom-up in einer Sensitivitätsanalyse der Basisszenarien betrachtet. Dies ist notwendig, weil sie gegenüber den Basisszenarien den Einsatz anderer Technologien bzw. einen veränderten Technologiemarkt vorsehen und somit veränderte Vorketten des Materialbedarfs in der Modellrechnung zu berücksichtigen sind. Dies gilt für die folgenden Aspekte:

- Reduktion der Nutzung von Permanentmagneten,
- Verstärkter Einsatz erneuerbarer Primärenergie für die Fahrzeugnutzung.

Die Auswirkungen weiterer Ansatzpunkte werden überschlägig ermittelt, weil sie im Wesentlichen auf einer reduzierten Nutzung einzelner Materialien oder auf einer pauschalen Reduktion des gesamten Materialeinsatzes der Herstellung beruhen. Auf diese Weise werden berücksichtigt:

- umfangreiches Lithium-Recycling,
- verlängerte Lebensdauer von Fahrzeugen,
- Ersatz von Tantal-Kondensatoren.

Die vorgenommenen Änderungen werden im Folgenden beschrieben und in Hinblick auf ihre Auswirkungen auf Ressourcenbedarf und THG-Emissionen bewertet. Die verschiedenen Ansatzpunkte beeinflussen dabei die im Rahmen dieser Studie betrachteten Ressourcen- und Umweltwirkungen<sup>32</sup> in unterschiedlichem Maße, weshalb in den jeweiligen Unterkapiteln jeweils die besonders relevanten Auswirkungen hervorgehoben werden.

### 6.9.1 Beschleunigter Technologiewechsel von PSM zu ASM

In Anlehnung an die Ergebnisse der Trendanalyse sowie der Patent- und Publikationsanalyse wird im Rahmen der MAIA davon ausgegangen, dass es sich bei den Elektromotoren aller

---

<sup>32</sup> Abiotischer Materialbedarf und THG-Emissionen von Fahrzeugen und Szenarien sowie der Bedarf von Szenarien an kritischen Materialien

xEV zunächst ausschließlich um PSM handelt. Allerdings wurde bereits in den Basisszenarien angenommen, dass ab 2030 neben dem PSM zusätzlich der Asynchronmotor (ASM) eine zunehmende Rolle als Motortechnologie spielen könnte (Marktanteil von ASM: 15 % ab 2030 und 25 % ab 2040).

In Abschnitt 6.8.2 wurde dennoch der berechnete Bedarf an Dysprosium für Seltenerdpermanentmagnete als kritisch eingestuft. Im Rahmen des optimierten Szenarios wird deshalb noch stärker der Tatsache Rechnung getragen, dass die Substitution auf Komponentenebene durch ASM zumindest eine technisch geeignete Möglichkeit darstellt, strategische Nachteile durch entsprechende Preisanstiege oder Lieferengpässe langfristig zu umgehen. Es wird deshalb im Alternativszenario von deutlich schneller ansteigenden Marktanteilen von ASM ausgegangen. Der Marktanteil von ASM wird dabei ab 2030 auf 50% der Neufahrzeuge festgesetzt und steigt im weiteren Verlauf auf 75% nach 2040.

Der beschleunigte Technologiewechsel zeigt bei den Ergebnissen der MAIA auf Fahrzeugebene nur geringe Veränderungen. Im Basisszenario sinkt der abiotische Materialbedarf der Systemkomponente E-Motor im Vergleich der Jahre 2010 - 2050 um ca. 384 kg (HEV) bis zu 2 209 kg (BEV). Im Alternativszenario ergeben sich Einsparungen von 391 kg (HEV) bis zu 2 220 kg (BEV). Die ermittelten Einsparungen im Laufe der Zeit sind auf die Gewichtsreduzierung der Systemkomponente und auch auf den Technologiewechsel zurückzuführen. Wenn auch ein *beschleunigter* Wechsel hin zu ASM sich nicht wesentlich in einer stärkeren Reduzierung des abiotischen Materialbedarfs zeigt. Gleiches gilt für die Reduzierung der THG.

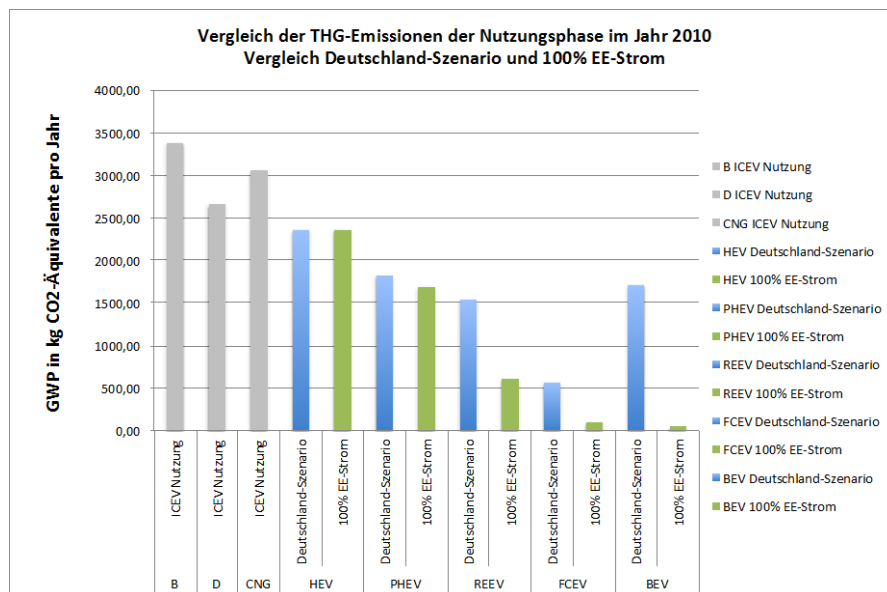
Auch auf die Szenarioergebnisse hat der beschleunigte Technologiewechsel von PSM zu ASM demnach keine nennenswerten Auswirkungen: Abiotischer Materialbedarf und THG-Emissionen bleiben gegenüber den Basisszenarien nahezu unverändert. Dies gilt sowohl für die kumulierten Ergebnisse des gesamten Zeitraums als auch für die Gegenüberstellung von erster und letzter Dekade. Wegen der vernachlässigbar geringen Abweichungen von den Basisszenarien werden die entsprechenden Ergebnisse hier nicht zusätzlich abgebildet. Der beschleunigte Wechsel zu ASM ist aber in den Abbildungen in Abschnitt 6.9.2 mit berücksichtigt.

Hinsichtlich der Kritikalität kommt es bei den in den PSM eingesetzten Seltenerdmetallen zu Veränderungen. Die Einsatzmenge von Dysprosium würde sich für die betrachteten Szenarien auf ca. 3,3 kt für Deutschland (ca. 1 % der Reserven) bzw. 75,9 kt für den weltweiten Bedarf (ca. 24 % der Reserven) reduzieren. Damit liegt der Maximalbedarf zwar deutlich unterhalb der Ursprungsszenarien, die Werte erreichen jedoch noch immer eine kritische Größe.

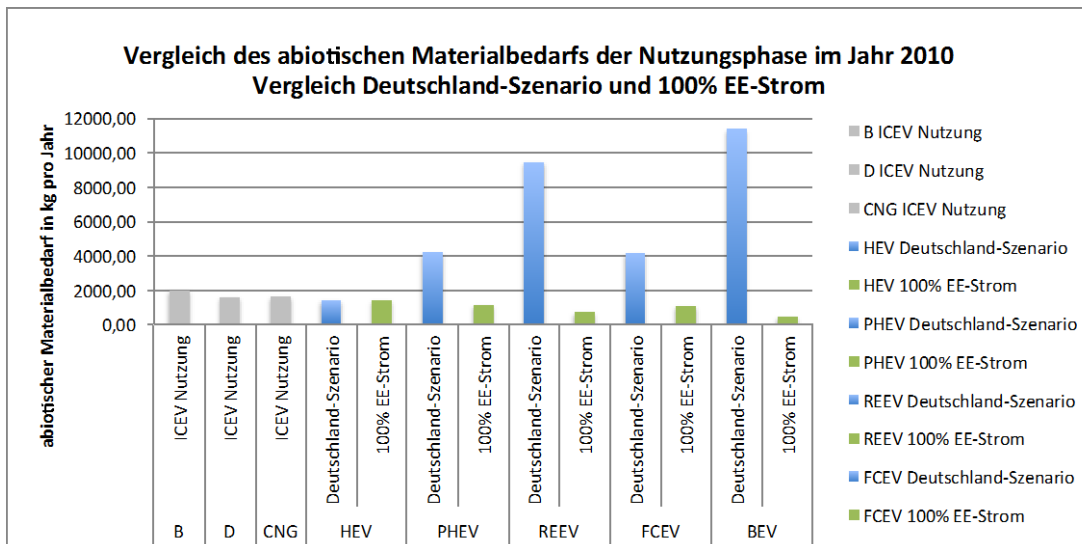
### **6.9.2 Verstärkter Einsatz Erneuerbarer Energien für die Fahrzeugnutzung**

In Unterkapitel 6.5 wurde bereits deutlich, dass der abiotische Materialbedarf und die THG-Emissionen der Nutzungsphase von xEV (und damit die vergleichenden Aussagen auf Fahrzeugebene) in hohem Maße von der Bereitstellung der Antriebsenergie abhängen. Ergänzend zur Berücksichtigung eines Strommixes mit steigenden Anteilen Erneuerbarer Energien wird deshalb hier über den gesamten Zeitraum von einer ausschließlichen Bereitstellung von Antriebsenergie aus (zusätzlich eingespeister) Windenergie ausgegangen.

Auf Ebene der Antriebskonzepte zeigt sich, dass die THG-Emissionen der xEV über alle Zeiträume hinweg z.T. deutlich geringer als die konventioneller Antriebskonzepte sind (siehe Abb. 6-51). Die Unterschiede eines verstärkten Einsatzes erneuerbarer Energien sind vor allem im Jahr 2010 bei den REEV (928 kg), FCEV (470 kg) und BEV (1 660 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente) sichtbar. Im Jahr 2050 wirkt sich der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energien nur gering aus. Beim abiotischen Materialbedarf zeigt sich ein anderes Bild. Hier sind die Unterschiede zwischen xEV und den konventionellen Antriebskonzepten nur gering. Innerhalb der xEV zeigen sich deutliche Einsparpotenziale durch den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien (siehe Abb. 6-52). Im Vergleich der Jahre 2010 und 2050 zwischen dem Deutschland-Szenario und dem 100% EE-Strom-Szenario wird deutlich, dass der abiotische Materialbedarf durch die effizientere Stromproduktion (100% Windenergie) noch leicht, um weitere 1 bis 3 %, gesenkt werden kann. Die höchste zusätzliche Reduzierung des Materialbedarfs liegt beim BEV (3%): Im Jahr 2050 liegt der abiotische Materialbedarf eines BEV bei 330 kg pro Jahr (zum Vergleich: im Deutschland-Szenario sind es 533 kg pro Jahr). Die THG-Emissionen lassen sich um weitere 1 bis 12 % im Jahr 2050 senken, wobei sich auch hier das größte zusätzliche Einsparpotenzial in der Nutzungsphase des BEV zeigt: Zusätzlich können 12 % Senkung auf 41 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr erreicht werden (im Deutschland-Szenario sind es 248 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr in 2050). Im Vergleich der Antriebskonzepte ergeben sich zwar Unterschiede. Diese wirken sich aber eher in der Gegenwart aus und nicht zum Zeitpunkt hoher xEV-Anteile in der Zukunft.



**Abb. 6-51 Vergleich der Antriebskonzepte und THG-Emissionen der Nutzungsphase im Jahr 2010; Vergleich Deutschland-Szenario und 100% EE-Strom**

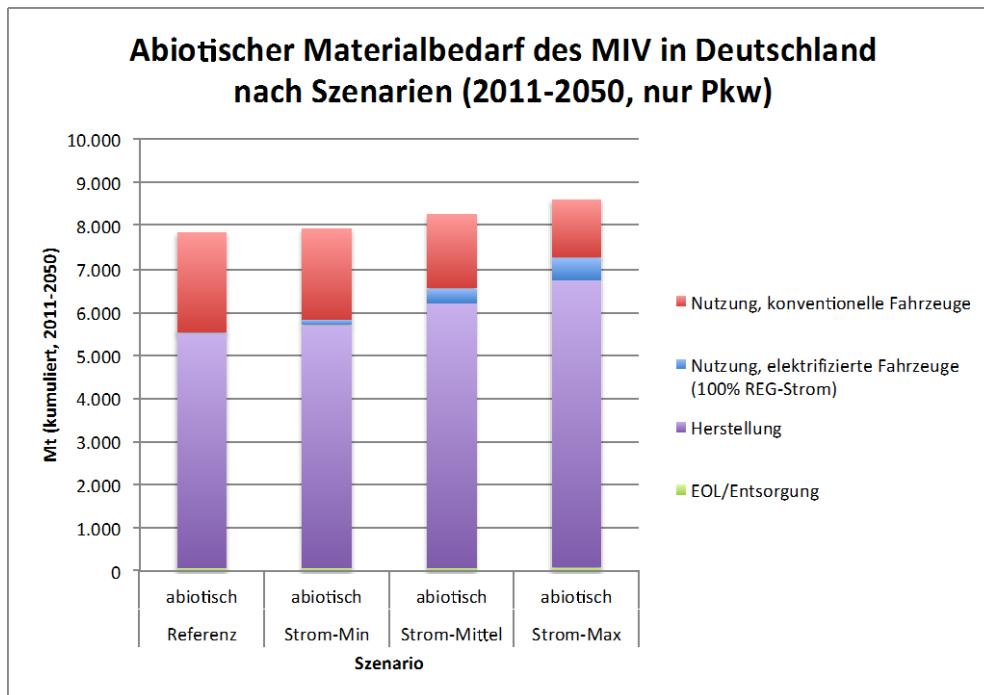


**Abb. 6-52 Vergleich der Antriebskonzepte und des abiotischen Materialbedarfs der Nutzungsphase im Jahr 2010; Vergleich Deutschland-Szenario und 100% EE-Strom**

Hinsichtlich der Verkehrsszenarien zeigt sich ebenso, dass bei ausschließlicher Nutzung von Windenergie über den gesamten Zeitraum nur eine geringfügige Reduktion des Beitrags der gesamten Nutzungsphase der STROM-Szenarien gegenüber der Referenz möglich wird. In dieser Variante kann etwa der kumulierte Materialbedarf der Nutzungsphase in STROM-Max von 2701 Mt auf 1878 Mt verringert werden und liegt damit um 19 % unterhalb des Materialbedarfs der Nutzung im Referenz-Szenario. Eine stärkere Reduktion des Materialbedarfs der Nutzung gegenüber den Szenarien in Unterkapitel 6.7 kann auch unter der Annahme der Bereitstellung von Traktionsenergie aus Windstrom mit besonders geringem spezifischem Materialbedarf (vgl. Wiesen et al. 2013, Wuppertal Institut 2014) nicht erreicht werden. Dies liegt einerseits daran, dass auch der zunächst berücksichtigte Strommix zum Zeitpunkt hoher Flottendurchdringung elektrischer Antriebe (nach 2020) bereits zu einem großen Anteil aus erneuerbaren Energien bereitgestellt wird. Andererseits entfällt z. B. in STROM-Max in Abschnitt 6.7.2 nur die Hälfte des Materialbedarfs der Nutzung auf elektrische Antriebe (1350 Mt), wovon wiederum ein Teil durch die Kraftstoffbereitstellung für Hybridfahrzeuge und nur etwa 826 Mt (61 %) durch den Strombezug verursacht werden. Nur dieser letztgenannte Anteil wird durch eine veränderte Strombereitstellung direkt beeinflusst, weshalb das Potenzial der zusätzlichen Windstrommengen zur weiteren Senkung des Materialbedarfs der Nutzungsphase begrenzt ist.

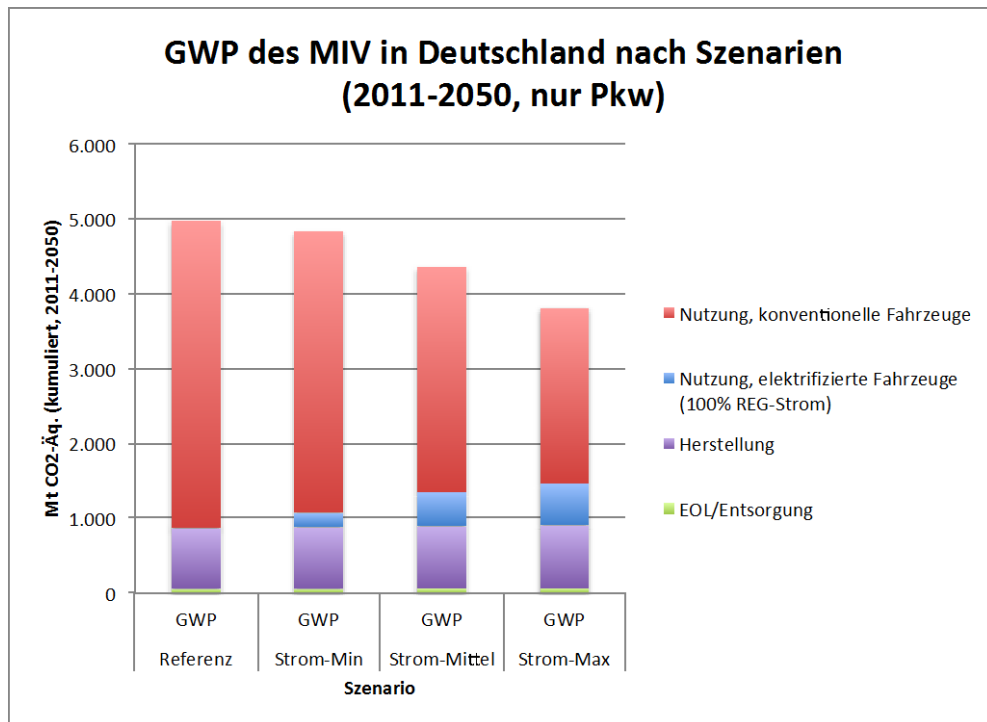
Abb. 6-53 zeigt beispielhaft für Deutschland die Auswirkungen der Strommix-Sensitivität auf den kumulierten abiotischen Materialbedarf der bereits in Unterkapitel 6.7 beschriebenen Szenarien. Auch die Annahmen zum beschleunigten Technologiewechsel von PSM zu ASM sind in der Abbildung berücksichtigt.





**Abb. 6-53 Abiotischer Materialbedarf Deutschland: Sensitivität mit ausschließlich erneuerbarer elektrischer Traktionsenergie und beschleunigtem Technologiewechsel von PSM auf ASM**

Die zuvor getroffenen Aussagen zum abiotischen Materialbedarf gelten in ähnlicher Weise auch für die Auswirkungen der ausschließlichen Nutzung von Windkraft als elektrische Traktionsenergie auf die kumulierten THG-Emissionen der Szenarien: Anfangs noch hohe Anteile fossiler Stromerzeugung in den Basisszenarien beeinflussen die Szenarien wegen der noch geringen Verbreitung elektrischer Antriebe kaum. Mit zunehmender Bedeutung elektrischer Antriebe in den Fahrzeugflotten sind dann auch bereits hohe Anteile Erneuerbarer Energien im Strommix erreicht, so dass sich nur geringfügige weitere Reduktionen der THG-Emissionen der Szenarien unter der Annahme einer 100%-Versorgung aus erneuerbaren Quellen ergeben. So können z. B. die kumulierten Emissionen des deutschen Pkw-Verkehrs im Betrachtungszeitraum in STROM-Max nur leicht von 4 Gt im Basisszenario auf etwa 3,8 Gt bei ausschließlicher Nutzung erneuerbaren Fahrstroms reduziert werden. Analog zur Abbildung des abiotischen Materialbedarfs werden auch für die kumulierten Treibhausgasemissionen der Deutschland-Szenarien aus Unterkapitel 6.7 die Ergebnisse der Sensitivitätsbetrachtung in Abb. 6-54 dargestellt, Die Annahmen zum beschleunigten Technologiewechsel von PSM zu ASM werden auch hier einbezogen.



**Abb. 6-54 Treibhausgaspotenzial Deutschland: Sensitivität mit ausschließlich erneuerbarer elektrischer Traktionsenergie und beschleunigtem Technologiewechsel von PSM auf ASM**

Darüber hinaus wurde geprüft, wie sich die Bereitstellung von Wasserstoff für FCEV aus erneuerbaren Quellen ab 2030 auf die Ergebnisse der Szenarien auswirkt. Hier zeigt sich jedoch, dass der Bereitstellungspfad des Wasserstoffs auf die kumulierten Ergebnisse keine nennenswerten Auswirkungen hat. Dies kann einerseits auf einen eher geringen Anteil von FCEV an den Fahrzeugflotten der Szenarien, andererseits auf den nicht wesentlich geringeren abiotischen Materialbedarf der erneuerbaren im Vergleich zur konventionellen Wasserstoffherzeugung zurückgeführt werden.

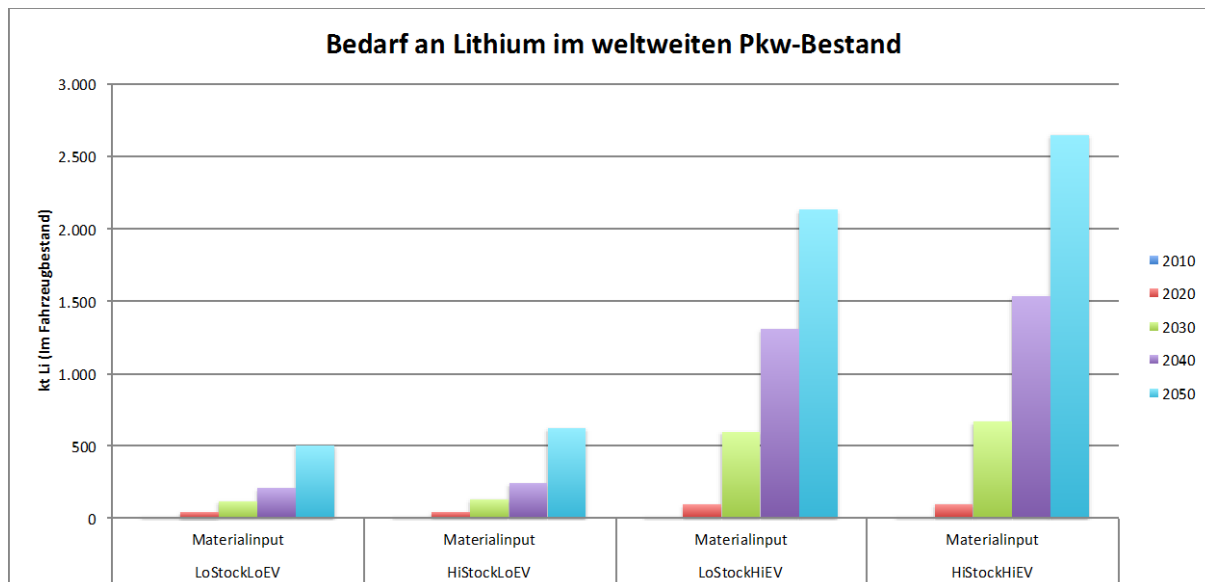
Hinsichtlich der Bewertung der Kritikalität erweist sich der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energien als unkritisch, da die spezifischen Einsatzmengen möglicher kritischer Rohstoffe pro kWh gering sind. Insbesondere muss beachtet werden, dass die Substitutionsmöglichkeiten für Seltenerdpermanentmagneten in Windkraftanlagen deutlich günstiger sind als in Elektromotoren für Kraftfahrzeuge. (vgl. hierzu auch Wuppertal Institut, 2014)

### 6.9.3 Lithium-Recycling

In Abschnitt 6.8.3 wurde die Deckung des Lithium-Bedarfs aus den gegenwärtigen Reserven als grundsätzlich möglich, aber keineswegs gesichert bezeichnet. Es wird dort jedoch auch darauf hingewiesen, dass der Ausbau von Recyclingkapazitäten zukünftig zu einer Verringerung der Nachfrage nach primär gewonnenem Lithium beitragen wird. Mögliche Engpässe der Bereitstellung des kumulierten Bedarfs an Lithium könnten so durch umfassendes Recycling kompensiert werden.

Es wird deshalb überschlägig auch die Minimalnachfrage der hier betrachteten Verkehrsszenarien nach Primärlithium ermittelt, die sich im Fall einer vollständigen Kreislaufführung des Lithiums für Fahrzeugbatterien ergeben würde. Es wird dabei vereinfachend angenommen, dass diese Minimalnachfrage der Lithiummenge im weltweiten Fahrzeugbestand entspricht.

Ein Mehrbedarf durch den Zeitaufwand der Kreislaufführung (vom Ende der Lebensdauer bis zur erneuten Bereitstellung als Sekundärrohstoff) wird nicht separat berücksichtigt. Abb. 6-55 zeigt den Li-Bedarf des Bestandes in allen vier betrachteten Weltszenarien zu verschiedenen Zeitpunkten.



**Abb. 6-55 Bedarf an Lithium im weltweiten Pkw-Bestand nach Szenarien und Jahren**

Der Li-Bedarf der betrachteten Fahrzeugflotte steigt naturgemäß mit dem Ausbau der Elektromobilität im Zeitverlauf an. Im Welt-Szenario mit dem höchsten Anteil elektrifizierter Fahrzeuge (HiStockHiEV) erreicht er im Jahr 2050 ca. 2,6 Mt Li. Dies entspricht ca. 20 % der Lithiumreserven und ist immer noch kritisch hoch.

#### 6.9.4 Fahrzeuglebensdauer

In Unterkapitel 6.6 wurde dargestellt, dass in dieser Studie aus Gründen der Vergleichbarkeit von Szenarioergebnissen für Deutschland und die Welt eine einheitliche Pkw-Lebensdauer von 10 Jahren für beide Regionen angenommen wird. Die Festlegung der Lebensdauer beruht dabei insbesondere auf den vereinfachenden Annahmen der (IEA 2012) zur Berechnung langfristiger weltweiter Fahrzeugverkäufe und -bestände

Bei Bewertung der Szenarioergebnisse zum Ressourcenbedarf ist jedoch Folgendes zu berücksichtigen: Der berechnete Materialaufwand sowie der Bedarf an kritischen Rohstoffen wird in erster Linie durch die Herstellung der Fahrzeuge verursacht. Die Annahme zur Lebensdauer ist demnach entscheidend für den erwarteten jährlichen Fahrzeugzubau und damit für den Materialbedarf. Eine von der hier berücksichtigten abweichende Annahme zur Lebensdauer ist daher aus zwei Gründen von Interesse:

- Die tatsächliche zukünftige Entwicklung der Fahrzeuglebensdauer ist unsicher. Sie ist z. B. abhängig von Wohlstandsentwicklung und -modellen in verschiedenen Weltregionen, von Nutzerpräferenzen, politischen Maßnahmen (z. B. „Umweltpremie“) sowie von der technischen Eignung von Fahrzeugen für Sekundärmärkte im Ausland.

- Neben der Absicherung der Studienergebnisse hinsichtlich bestehender Unsicherheiten der Eingangsparameter kann eine verlängerte Nutzungsdauer von Fahrzeugen auch als bewusste Maßnahme dienen, mögliche Kritikalitäten der für Pkw-Flotten benötigten Rohstoffe zu reduzieren.

Es wird deshalb ergänzend zu den Basisszenarien geprüft, welche Auswirkungen mit einer Fahrzeuglebensdauer von 15 statt 10 Jahren verbunden sind. Die Annahme einer längeren Lebensdauer führt in den Szenarien insbesondere zu einem reduzierten Bedarf an Rohstoffen für die Fahrzeugherstellung. Dies kann eine Neubewertung der genutzten Rohstoffe in Hinblick auf ihre Kritikalität erforderlich machen.<sup>33</sup>

Hierzu wird in einer Überschlagsrechnung angenommen, dass sich der Bedarf an kritischen Materialien der Fahrzeugherstellung um etwa 33 % gegenüber den zuvor dargestellten Szenarien reduziert. Die reduzierten Materialmengen werden dann erneut auf ihre Kritikalität überprüft.

Die reduzierten Materialmengen verringern die Kritikalität der jeweiligen Rohstoffe entsprechend. Dennoch verbleiben insgesamt sehr hohe Dysprosiumverbräuche (ca. 25 % der Reserven) und Lithiumverbräuche (ca. 21 % der Reserven), die immer noch als kritisch anzusehen sind.

#### **6.9.5 Ersatz von Tantal-Kondensatoren**

In Abschnitt 6.8.10 wurde festgestellt, dass der berechnete Bedarf an Tantal aus Kondensatoren der Elektronikkomponenten eine kritische Größenordnung erreicht, hier jedoch eine Substitution durch andere Kondensatormaterialien (z. B. Al, Nb) möglich erscheint.

Es ist keine Quantifizierung der Auswirkungen einer solchen Maßnahme notwendig, weil die Tantalnachfrage durch den Ersatz der Kondensatoren vollständig eliminiert werden könnte und die geeigneten Substitute in dieser Studie nicht als kritisch angesehen werden.

Die Maßnahme wird deshalb ohne weiterführende Analysen als geeignet eingestuft, als Bestandteil eines optimierten Szenarios die Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen zu reduzieren.

#### **6.9.6 Bewertung des optimierten Szenarios**

In der vergleichenden lebenszyklusweiten Bewertung einzelner Fahrzeugtypen wirkt sich gerade in den ersten betrachteten Dekaden die Annahme einer Vollversorgung mit Strom aus erneuerbaren Quellen deutlich zugunsten der elektrischen Fahrzeuge aus. Die Annahme einer elektrischen Maschine basierend auf ASM statt PSM hat dagegen keine nennenswerten Auswirkungen auf die Bewertung der Fahrzeuge – sie spielt demnach auch für die Ergebnisse der Szenariovergleiche keine Rolle.

---

<sup>33</sup> In begrenztem Umfang kann sich die veränderte Lebensdauer auch auf den Vergleich von Szenarien untereinander hinsichtlich ihres abiotischen Materialbedarfs oder der THG-Emissionen auswirken. So sind z. B. Auswirkungen auf die Klimawirkung denkbar, weil effizientere Antriebstechnologien erst mit größerer Verzögerung in die Fahrzeugflotten gelangen. Diese Aspekte werden hier nicht explizit betrachtet.

Für die Szenariovergleiche ist allerdings auch die Variation der Strombereitstellung weniger relevant – sie ermöglicht nur eine leichte Reduktion der Umweltwirkungen im Vergleich zu den Basisszenarien.

Die Auswirkungen einer verlängerten Lebensdauer, des Lithium-Recyclings sowie der Tantal-Substitution auf die Fahrzeug- und Szenariovergleiche (Materialbedarf und THG) wurden als gering eingeschätzt, wurden aber nicht im Detail geprüft. Insbesondere verlängerte Fahrzeuglebensdauern würden die absoluten Ergebnisse der Fahrzeuge und Szenarien reduzieren, hätten vermutlich aber geringen Einfluss auf die (relativen) Vergleiche.

Einige der im Rahmen dieses Kapitels beschriebenen Ansatzpunkte sind geeignet, die Abhängigkeiten von als kritisch eingestuften Materialien zu reduzieren. Sie ermöglichen prinzipiell eine vollständige Substitution des kritischen Tantals sowie eine Reduktion des Bedarfs an Lithium und Dysprosium auf ein weniger kritisches Maß. Es ist jedoch zu bedenken, dass die hierfür erforderlichen Recyclingkreisläufe (für Li) noch zu etablieren sind und insbesondere die Reduktion des Bedarfs an Permanentmagneten durch alternative Technologien in hohem Maße unsicher ist.

Relevante Zielkonflikte zwischen Maßnahmen zur Reduktion von Kritikalitäten einerseits und der Klimawirkung sowie des Materialbedarfs andererseits sind nicht ersichtlich.

## 6.10 Fazit der Materialintensitätsanalyse

*O. Soukup (WI), M. Ritthoff (WI), K. Bienge (WI)*

Im Rahmen der Materialintensitätsanalyse wurde eine vergleichende, lebenszyklusweite Umweltbewertung unterschiedlicher Antriebskonzepte (konventionell und elektrisch) aus dem mittleren Fahrzeugsegment hinsichtlich des abiotischen Materialbedarfs und der Klimawirkung durchgeführt.

Basierend auf einer Technologieauswahl und Auswertung vorhandener Lebenszyklusdaten wurden mittels Materialintensitätsanalyse verschiedene Antriebskonzepte (typisierte Fahrzeuge) auf Fahrzeugebene modelliert. Hierfür wurden Fahrzeuge mit fünf verschiedenen elektrischen und drei konventionellen Antriebssträngen berücksichtigt und mit Hilfe von technischen Parametern sowie Materialinventaren der Fahrzeugkomponenten (z. B. Glider, Elektromotor, Batterie) beschrieben.

Es wurde ein Systemvergleich für die Herstellungs- und Nutzungsphase sowie die Entsorgung der Fahrzeuge vorgenommen. Die Umweltwirkungen - abiotischer Materialbedarf und Treibhauspotenzial - wurden für die Jahre 2011 bis 2050 abgeschätzt.

Diese Ergebnisse wurden anhand von Verkehrsszenarien hochgerechnet, die Entwicklungen von Fahrzeugflotten in Deutschland und weltweit abbilden. Daneben wurden Versorgungsrisiken, wie zum Beispiel geologische Verfügbarkeit, Substituierbarkeit und Liefersituation untersucht und kritische Materialien identifiziert.

Auf Grundlage der Ergebnisse der Materialintensitäts-, THG- und Kritikalitätsanalyse wurden mögliche Ansatzpunkte zur Minderung der identifizierten Impacts untersucht.

### 6.10.1 Ergebnisse der Materialintensitätsanalyse auf Fahrzeugebene

Bei der Betrachtung des abiotischen Materialbedarfs zeigt sich, dass elektrifizierte Konzepte - durch zusätzlich erforderliche Komponenten und deren Materialbedarf (z. B. Batterie, E-Motor) - in der Herstellung in der Regel rohstoffintensiver im Vergleich zu verbrennungsmotorischen / konventionellen Konzepten (ICE-Konzepte) sind. Die konventionellen Antriebskonzepte sind untereinander in ihrer Herstellung vergleichbar. Nur durch den Erdgastank resultiert ein höherer Materialbedarf beim ICE-CNG. Über den betrachteten Zeitraum zeigt sich eine Annäherung des Materialbedarfs in der Herstellungsphase von ICEV und xEV.

Auf Ebene der Systemkomponenten dominiert der Glider bei den ICEV deutlich. Bei den xEV ist die Verteilung heterogener, die Batterie und die Leistungselektronik weisen neben dem Glider einen hohen Einfluss auf. Der hohe Materialbedarf wird hauptsächlich durch nicht-kritische Stoffe wie Stahl und Kupfer verursacht, es folgen mögliche kritische Stoffe wie Gold und Lithium bei BEV an dritter und vierter Stelle der rohstoffintensivsten Materialien.

Die Nutzungsphase entscheidet bei einer lebenszyklusübergreifenden Betrachtung über die Umweltbilanz der xEV: Während in 2010 die Nutzung der xEV deutlich dominiert, zeigt sich für das Jahr 2050 ein großes Reduktionspotenzial. Bei hohem Anteil regenerativer Stromerzeugung (80% in 2050) kann der Materialbedarf der Nutzung elektrifizierter Fahrzeuge deutlich reduziert werden. Die Herstellung eines Elektroautos ist dann in 2050 für den Materialbedarf die ausschlaggebende Lebenszyklusphase.

Über alle Lebenszyklusphasen ist eine deutliche Annäherung aller Antriebskonzepte über den Betrachtungszeitraum erkennbar, vor allem durch den verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energien in der Nutzungsphase.

Beim Treibhauspotential zeigt sich, dass die Nutzungsphase die größte Klimawirkung zeigt. Über die Zeit ist eine deutliche THG-Reduktion erkennbar, die durch den steigenden Anteil erneuerbarer Energien bedingt ist. Die Herstellung aller Antriebskonzepte weist geringere Unterschiede bzgl. des GWP auf als beim Materialbedarf. Im Gegensatz zur Betrachtung des Materialbedarfs weist die Nutzungsphase der xEV beim GWP und damit lebenszyklusweit schon 2010 eine bessere Umweltwirkung als die der ICEV-Konzepte auf. Somit lassen sich generell auch im Rahmen dieser Studie vergleichbare Schlussfolgerungen bezüglich der lebenszyklusweiten Klimabilanz von konventionellen Antriebskonzepten gegenüber batterieelektrischen Konzepten ziehen, wie im Projekt UMBReLA (vgl. Helms et al. 2011). Insgesamt entscheidet die Art der Bereitstellung elektrischer Energie über das Treibhauspotential.

### 6.10.2 Ergebnisse der Materialintensitätsanalyse auf Szenarioebene

Die Analyse ergibt, dass alle Elektromobilitätsszenarien für *Deutschland* gegenüber einer Referenzentwicklung ohne Elektromobilität über den gesamten Betrachtungszeitraum einen erhöhten *abiotischen Materialbedarf* aufweisen – und zudem mit steigender Elektrifizierung der Flotte auch der kumulierte abiotische Materialbedarf ansteigt. Dies ist insbesondere auf die Herstellung zusätzlicher materialintensiver Komponenten für Elektrofahrzeuge zurückzuführen. Der Vergleich absoluter Zahlen zur Entwicklung des Materialbedarfs innerhalb der Szenarien im Zeitverlauf zeigt zwar, dass etwa durch verbesserte Fahrzeugeigenschaften in allen Szenarien eine Reduktion des Materialbedarfs einzelner Dekaden innerhalb des Betrachtungszeitraums erreicht wird. Mit zunehmendem Anteil elektrifizierter Fahrzeuge fällt

diese Reduktion des Materialbedarfs der letzten im Vergleich zur ersten Dekade jedoch zunehmend schwächer aus.

Die Elektrifizierung der Pkw-Flotten allein ist demnach nicht geeignet, den Materialbedarf des Pkw-Verkehrs in Deutschland gegenüber einer Flotte ohne elektrische Antriebe weiter zu senken. Um dieses Ziel zu erreichen, sind weitere Maßnahmen notwendig, wie z. B. Materialsubstitutionen in der Fahrzeugherstellung oder strukturelle Ansätze, die auf eine intelligentere Nutzung mit besserer Auslastung des Pkw-Verkehrs sowie auf verlängerte Nutzungsdauern der Fahrzeuge abzielen.

Bei der Interpretation des *weltweiten abiotischen Materialbedarfs* ist zu berücksichtigen, dass die verglichenen Szenarien abweichend von der konstanten Flottengröße der Deutschland-Szenarien von einem Wachstum der weltweiten Pkw-Flotten bis 2050 ausgehen. Die beiden Szenarien mit kleineren Fahrzeugflotten weisen im Vergleich zu den beiden Szenarien mit großen Fahrzeugflotten einen geringeren kumulierten Materialbedarf auf. Die Gegenüberstellung der Szenarien mit identischer Bestandsentwicklung zeigt, dass sich jeweils für das Szenario mit höherem Anteil elektrifizierter Antriebe auch der höhere kumulierte Materialbedarf ergibt. Im Gegensatz zu den Deutschland-Szenarien führt die Entwicklung des Pkw-Verkehrs weltweit in keinem der Szenarien zu einer Reduktion des Materialbedarfs einzelner Dekaden im Zeitverlauf. Angenommene zukünftige Verbesserungen von Fahrzeugeigenschaften werden durch ein starkes Flottenwachstum deutlich überkompensiert.

Keines der betrachteten Welt-Szenarien erweist sich damit als geeignet, den absoluten Materialbedarf des weltweiten Pkw-Verkehrs gegenüber der heutigen Situation zukünftig zu reduzieren. Es erscheint auch unwahrscheinlich, dass dieses Ziel durch technische Weiterentwicklungen zur Reduktion des Herstellungsaufwandes erreicht werden kann. Die absolute Senkung des Materialbedarfs scheint lediglich durch eine Begrenzung des weltweiten Flottenwachstums gegenüber den in den Szenarien geschilderten Annahmen möglich.

Die berechneten kumulierten *THG-Emissionen* für *Deutschland* liegen je nach Szenario zwischen 4 und 5 Gt CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Im Gegensatz zum abiotischen Materialbedarf zeigt sich, dass alle Elektromobilitätsszenarien gegenüber einer Referenzentwicklung ohne Elektromobilität über den gesamten Betrachtungszeitraum niedrigere THG-Emissionen aufweisen, wobei mit steigendem Anteil elektrifizierter Fahrzeuge jeweils auch ein weiterer Rückgang der Emissionen verbunden ist. Die ermittelten THG-Einsparungen der STROM-Szenarien sind auf die bessere THG-Bilanz der elektrifizierten Fahrzeuge durch die zunehmende CO<sub>2</sub>-arme Bereitstellung von elektrischer Antriebsenergie aus erneuerbaren Quellen zurückzuführen.

Die Auswertung der Deutschland-Szenarien hinsichtlich der THG-Emissionen zeigt, dass die Elektrifizierung der Pkw-Flotten eine geeignete Maßnahme darstellt, um die THG-Emissionen des Pkw-Verkehrs in Deutschland zu reduzieren. Es kann dabei sowohl eine absolute Senkung der Emissionen im Zeitverlauf als auch eine Reduktion gegenüber einer Referenzentwicklung ohne Elektrofahrzeuge erreicht werden.

Die Auswertung der Szenarien hinsichtlich der *weltweiten THG-Emissionen* zeigt, dass ein umfassender Technologiewechsel zu alternativen Antrieben erforderlich ist, um trotz stark wachsender Fahrzeugflotten eine Reduktion der THG-Emissionen zu erreichen. Nur durch eine umfassende Umstellung der Bereitstellung von Antriebsenergien von fossilen auf regenerative Quellen kann so einerseits eine absolute Senkung der Emissionen im Zeitverlauf als

auch eine Reduktion der kumulierten Emissionen gegenüber einer Referenzentwicklung mit reduziertem Anteil an Elektrofahrzeugen erreicht werden. Dennoch zeigt sich, dass die Emissionsreduktion auf Grund der Szenarioannahmen zum Flottenwachstum deutlich schwächer ausfällt als in den zuvor beschriebenen Deutschland-Szenarien.

### **6.10.3 Fazit abiotischer Materialbedarf und Treibhauspotenzial**

Die Modellierung des Materialbedarfs und der Treibhauspotenziale der Elektromobilität zeigt, dass die Förderung der Elektromobilität aus Sicht der Klimawirkung sinnvoll sein kann und einen Beitrag zu den politischen Klimaschutzziele leisten kann, wenn der Ausbau der ressourcenleichteren erneuerbaren Energien damit einhergeht. Denn für das Treibhauspotenzial ist die Art der Energie-Bereitstellung (fossile Kraftstoffe, verschiedene Strommixe) in der Nutzungsphase entscheidender für den Vergleich elektrischer und konventioneller Antriebe als die Emissionen der Herstellung.

Hinsichtlich des induzierten Materialbedarfs (inklusive Energierohstoffe) der Elektromobilität ergibt sich ein deutlich anderes Bild: Die Herstellung eines Elektroautos ist für den Materialbedarf der ausschlaggebendere Faktor im Vergleich zur Nutzung. Durch die zusätzlichen Komponenten (z. B. Batterie, Elektromotor) hat ein Elektroauto einen deutlich höheren Materialbedarf. Möglichkeiten zur Reduktion des Materialbedarfs in der Herstellung bestehen z. B. in der Substitution besonders materialintensiver Werkstoffe, in der Reduktion des Verschnitts (auch aus Eigenantrieb der OEMs zur Kostensenkung), in der Förderung recyclinggerechter Produktion oder in längeren Nutzungsdauern. Der Materialbedarf in der Nutzung (durch Energie-Bereitstellung) kann durch den Ausbau der erneuerbaren Energien reduziert werden. Jedoch ist das Potenzial zur weiteren Senkung des Materialbedarfs der Nutzungsphase durch ausschließlich erneuerbaren Traktionsstrom begrenzt. Der grundsätzlich bestehende Zielkonflikt zwischen Ressourcen- und Klimaschonung lässt sich auf diesem Weg nur abschwächen, aber nicht beheben.

### **6.10.4 Ergebnisse zur Kritikalität/Verfügbarkeit von Rohstoffen für die Elektromobilität**

Bei der Elektromobilität bestehen deutlich größere Abhängigkeiten von kritischen Rohstoffen als bei den Erneuerbaren Energien, wie sie im Forschungsprojekt (Wuppertal Institut 2014) betrachtet wurden.

Die eingesetzten Elektromotoren nutzen häufig Permanentmagneten auf der Basis von Seltenen Erden, da hiermit, aufgrund der hohen Feldstärke, erhebliche Gewichtsvorteile erreicht werden können. Bei den Seltenen Erden gibt es deutliche Unterschiede hinsichtlich der Verfügbarkeit. Für Neodym und Praesodym erscheint die Verfügbarkeit unkritisch, wohingegen für Dysprosium und Terbium, das zur Erhöhung der Curie-Temperatur eingesetzt werden muss, die Nachfrage aus der Elektromobilität bezogen auf die betrachteten Szenarien eine kritische Größe erreicht. Ergänzend muss darauf hingewiesen werden, dass eine hohe Abhängigkeit von wenigen Lieferländern (insbesondere China, nachrangig USA, perspektivisch u. U. auch Grönland) besteht und Lieferbeschränkungen einzelner Länder erhebliche Auswirkungen auf die Versorgungslage haben können. Recycling kann kurzfristig kaum zu einer Entspannung der Versorgungslage beitragen, da einerseits der Anfall an Sekundärmaterial noch zu gering ist und andererseits einem hochwertigen Recycling von Seltenerdpermanentmagneten noch verfahrenstechnische Hürden im Wege stehen. Daneben zeigen sich



auch erhebliche Unterschiede hinsichtlich des TMR der Gewinnung von Seltenen Erden in Abhängigkeit von den Lagerstätten. Kurz- und mittelfristig ist jedoch nicht zu erwarten, dass die hinsichtlich des TMR ungünstigeren Lagerstätten in bedeutendem Maße genutzt werden.

Die meisten Batterien für Elektrofahrzeuge werden auf Lithium basieren. Aufgrund seiner Eigenschaften (leichtestes Metall und zugleich höchstes Normalpotenzial) gibt es kein besseres Element für Batterien. Die Nachfrage nach Lithium aus der Elektromobilität erreicht in den betrachteten Szenarien eine kritische Größe, bei der unklar ist, ob sie gedeckt werden kann. Wichtig ist hierbei, dass bereits ein einmaliger Bestandsaufbau einen erheblichen Teil der Lithiumreserven (ca. 21 %) benötigt. Auch unter der Annahme einer Etablierung von Recyclingsystemen für Lithium verbleibt daher ein kritisch hoher Bedarf nach Lithium aus der Elektromobilität. Daneben zeigt sich, dass bei einer steigenden Nachfrage nach Lithium mit steigenden Umweltbelastungen bei der Gewinnung und steigenden Gewinnungskosten zu rechnen ist. Ursache hierfür ist, dass nach der absehbaren Erschöpfung der geologisch günstigsten Salzlagerstätten andere Lagerstätten genutzt werden müssen, die eine aufwändigere Aufbereitung erfordern. Die derzeitigen Preise für Lithium sind jedoch bereits so hoch, dass auch einige der relativ aufwendig zu gewinnenden und aufzubereitenden Rohstoffe (insbesondere australische Pegmatitgesteine) wirtschaftlich gewonnen und aufbereitet werden können. Die ansonsten aber zu erwartenden Kostensenkungsmöglichkeiten bei steigenden Produktionsmengen werden sich jedoch möglicherweise nicht einstellen.

Der Bedarf der anderen betrachteten potenziell kritischen Stoffe (z. B. Silber, Germanium oder Tantal) erscheint insgesamt unkritisch, da die Verfügbarkeit entweder unkritisch ist oder geeignete unkritische Substitute verfügbar sind.

## 7 Synthese und integrierte Bewertung

*M. Klötzke (DLR), K. Bienge (WI), B. Frieske (DLR), H. Hüging (WI), T. Koska (WI), M. Ritt-hoff (WI), O. Soukup (WI)*

Die im Folgenden dargestellte Synthese dient der Zusammenführung und integrierten Bewertung der im Rahmen der STROM-Begleitforschung mittels unterschiedlicher methodischer Ansätze gewonnenen Erkenntnisse. Die Ergebnisse aus den einzelnen Kapiteln werden diskutiert und in Kombination abschließend beschrieben.

Dies beinhaltet insbesondere eine Analyse der nach dem vorliegenden Erkenntnisstand abzuschätzenden Situation Deutschlands im Bereich der Elektromobilität sowie eine Ableitung von Empfehlungen zum weiteren Umgang mit diesem Gegenstand, insbesondere im Bereich der Forschung.

Hierzu erfolgt zum einen eine quantitative Diskussion zu den Ergebnissen der Trendanalysen und des Technologiemonitorings im Hinblick auf die Forschungseffizienz (FuE-Aufwendungen vs. technologische Ergebnisse), zum anderen eine qualitative Betrachtung im Hinblick auf die Trends in der Verkehrs-, Mobilitäts- und Marktentwicklung.

Weiterhin wird aus Perspektive von Umweltwirkungen und Rohstoffkritikalitäten diskutiert, welche ökologischen Auswirkungen alternative Entwicklungspfade der Elektromobilität in Bezug auf verschiedene Fahrzeugtypen und Fahrzeugflotten haben. Hierbei liegt ein Fokus auf der Identifikation der zentralen kritischen Rohstoffe, ihrer Verfügbarkeit sowie der Entwicklung ihrer Umweltrelevanz.

### 7.1 Forschungseffizienz

*B. Frieske (DLR), H. Hüging (WI), T. Koska (WI)*

Die Forschungseffizienz beschreibt den Zusammenhang der Entwicklung monetärer Investitionen in FuE-Leistungen mit quantitativ messbaren Ergebnissen der eingesetzten Mittel. Diese Ergebnisse werden anhand von Leistungsindikatoren beschrieben und umfassen im Folgenden Anzahl und Qualität wissenschaftlicher Publikationen in den Technologiefeldern „Leistungselektronik“ und „Elektrische Maschinen“ sowie technischer Erfindungen, die deren State of the Art erweitern und im Rahmen von Patentschriften sichern. Des Weiteren besteht ein Zusammenhang von FuE-Investitionen auch zu konkret in den Markt eingeführten Produkten wie beispielsweise neue oder verbesserte Technologien und Komponenten sowie Fahrzeugsysteme und -konzepte. Förderprogramme wie STROM unterstützen dabei durch Bereitstellung öffentlicher Fördergelder in FuE-Projekte die zielorientierte Entwicklung neuer technologischer Lösungen auf nationaler Ebene.

#### 7.1.1 Wissensbasis und technologische Basis im Vergleich

In Unterkapitel 4.2 wird mithilfe dezidierter bibliometrischer Patent- und Publikationsanalysen ein internationales Monitoring von Schlüsseltechnologien der Elektromobilität durchgeführt und dabei insbesondere diejenigen Technologien untersucht, die im Rahmen des STROM-Programms sowie von internationalen Experten als besonders relevant bewertet wurden,

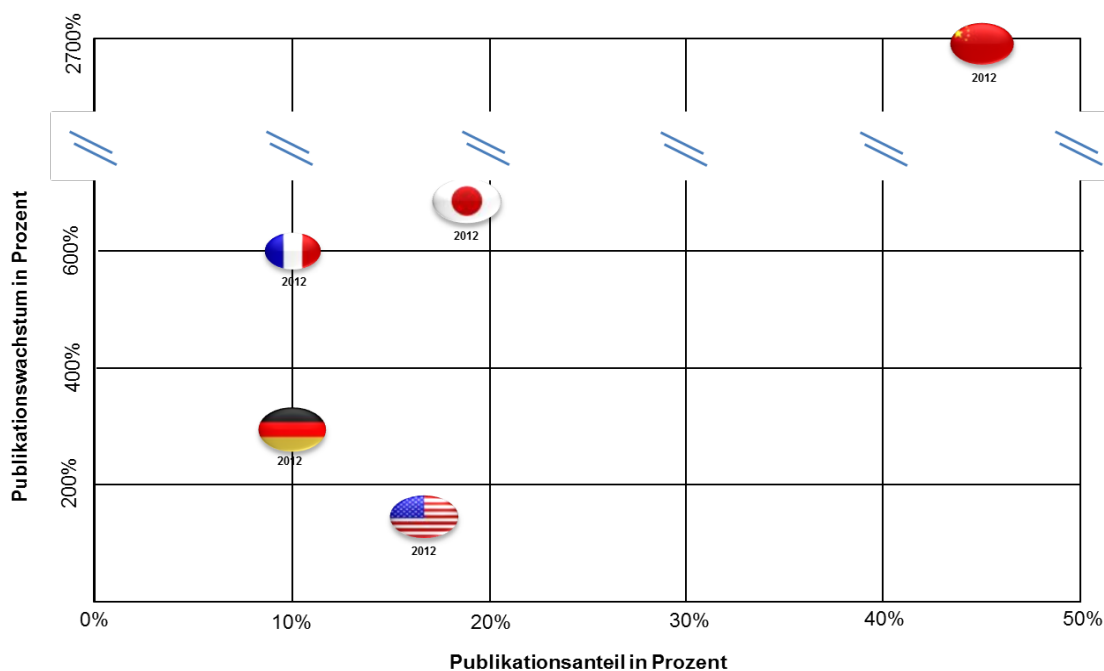
nämlich elektrische Maschinen und die Leistungselektronik jeweils bezogen auf den Antriebsstrang elektrifizierter Fahrzeuge. Hierfür wurden detaillierte Patent- und Publikationsanalysen bis auf Komponenten- und Bauteilebene durchgeführt, um Forschungsschwerpunkte, Trendentwicklungen, Technologieführer sowie Innovationsnetzwerke und -dynamiken im internationalen Vergleich der Weltregionen Japan, USA, China, Indien und Europa mit speziellem Fokus auf Deutschland und Frankreich aufzuzeigen.

Damit Synthese und Integration im Sinne der Darstellung der Forschungseffizienz erfolgen können, sollen im Folgenden die Erkenntnisse zur Position der verschiedenen Weltregionen im Detail erläutert und im nachfolgenden Kapitel mit Aussagen zur Fördersituation kombiniert werden. Hierzu sollen die „Wissensbasis“ und die „Technologische Basis“ der jeweiligen Länder anhand einer Portfoliomatrix vergleichend dargestellt werden.

Die Wissensbasis bezieht sich dabei auf die in der jeweiligen Weltregion vorhandenen Publikationen und analysiert deren Dynamik über einen Zeitraum von ca. zehn Jahren im internationalen Vergleich. Sie kann als Indikator für eher langfristige, grundlagenorientierte und insbesondere von Universitäten und Forschungsinstitutionen betriebene Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten interpretiert werden.

Die Analyse der technologischen Basis folgt der gleichen Argumentation, bezieht sich aber nicht auf wissenschaftliche Publikationen, sondern Patente, die eher ökonomisch getrieben sind und dementsprechend von Industrieunternehmen forciert werden. Sie dient als Indikator für kurz- bis mittelfristig zu erwartende technische Entwicklungen, die möglicherweise in innovativen Produkten Einzug finden.

Bei der Analyse der Wissensbasis der untersuchten Weltregionen werden die Anteile wissenschaftlicher Publikationen eines Landes für das Jahr 2012 (x-Achse) dem Wachstum des Publikationsoutputs über einen Zeitraum von zehn Jahren (y-Achse) gegenübergestellt. Insgesamt konnten in den untersuchten Weltregionen 660 wissenschaftliche Publikationen im genannten Zeitraum identifiziert werden, die sich auf Themen im Bereich „Elektrische Maschine im Antriebsstrang elektrifizierter Fahrzeuge“ beziehen.



**Abb. 7-1 Wissensbasis „Elektrische Maschinen“ im Ländervergleich, 2002–2012 kumuliert**

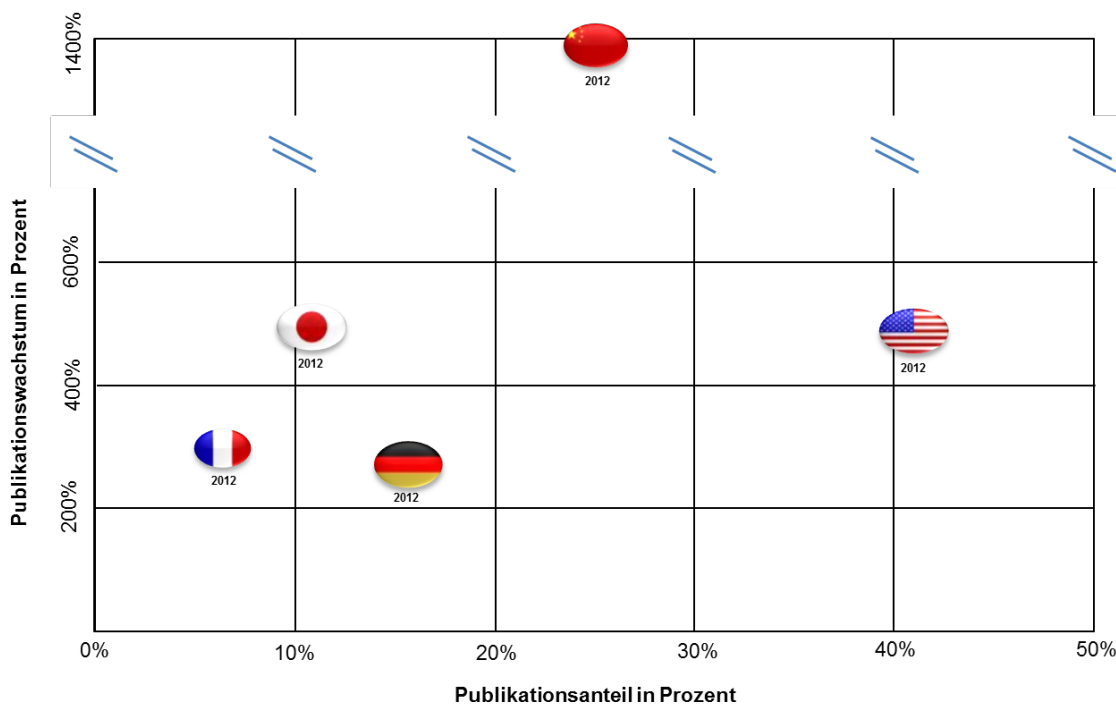
China ist sowohl bei der Dynamik als auch beim Anteil an wissenschaftlich relevanten Publikationen mit Abstand führend (Abb. 7-1). Das Wachstum des Publikationsoutputs betrug dabei über die letzten zehn Jahre mehr als 2700 %, der Publikationsanteil konnte im gleichen Zeitraum von nur 9 % im Jahr 2002 auf über 45 % in 2012 gesteigert werden. Chinesische Forscher nehmen damit 2012 den ersten Rang im Ländervergleich ein und können bei der eher grundlagenorientierten Forschung zu E-Maschinen alle anderen betrachteten Nationen auf die weiteren Ränge verweisen.

Auf dem zweiten Rang folgt Japan, das mit ca. 18 % Publikationsanteil in 2012 und einem 2002–2012 bei 700 % liegenden Wachstum auch eine starke Publikationsrate und -dynamik vorweisen kann, jedoch bei Weitem nicht die Zahlen Chinas erreicht. Die im Vergleich mit den Weltregionen USA, Deutschland und Frankreich relativ hohe Dynamik resultiert dementsprechend auch in einer Steigerung des Publikationsanteils im Vergleich der Jahre 2002 und 2012: Japanische Forscher konnten insgesamt 5 % Publikationsanteil gewinnen und die USA vom zweiten Platz verdrängen.

Die USA folgen auf dem dritten Rang mit ca. 17 % Marktanteil im Jahr 2012. Bemerkenswert ist, dass die klar führende Position amerikanischer Forscher mit 2002 über 50 % aller Publikationen verloren und ihr Publikationsanteil um über 33 % insbesondere zugunsten Chinas zurückging. Dementsprechend weisen die USA mit nur 180 % Steigerung auch die geringste Dynamik des Publikationswachstums im Bereich eher grundlagenorientierter Forschung zu E-Maschinen auf.

Deutsche und französische Forscher liegen mit 11 % bzw. 10 % Publikationsanteil im Jahr 2012 auf einem ähnlichen Niveau und belegen die letzten Plätze des internationalen Vergleichs. Während Frankreich aber über den Zeitraum insgesamt noch ein relativ hohes Wachstum von 600 % zu verzeichnen hat, verliert Deutschland insgesamt und im Ländervergleich an Dynamik und kann hier nur eine Steigerung von ca. 320 % vorweisen.

Zur Analyse der Wissensbasis im Bereich „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter Fahrzeugkonzepte“ wurden 2002–2012 insgesamt 1099 wissenschaftliche Publikationen aus Japan, den USA, China, Deutschland und Frankreich identifiziert und ausgewertet (Abb. 7-2).



**Abb. 7-2 Wissensbasis „Leistungselektronik“ im Ländervergleich, 2002–2012 kumuliert**

China weist wie auch bei der Untersuchung zu elektrischen Maschinen die mit Abstand höchste Dynamik im Publikationswachstum auf, sodass auch in diesem Technologiefeld intensive Aktivitäten chinesischer Forscher zu identifizieren sind. Dementsprechend ist auch ein starker Anstieg des chinesischen Publikationsanteils über die Jahre erkennbar, der ausgehend von nur 9 % im Jahr 2002 über 24 % in 2012 erreicht. China schafft es damit, die eigene Wissensbasis über die Jahre kontinuierlich zu erweitern und sich innerhalb einer Dekade vom letzten auf den zweiten Rang vor Frankreich, Deutschland und Japan zu schieben. Das Wachstum des Publikationsoutputs betrug dabei mehr als 1400 %, während das Gesamtwachstum an Publikationen im Bereich Leistungselektronik über alle Weltregionen hinweg nur bei ca. 530 % lag. Bei gleichbleibenden Wachstumsraten ist zu erwarten, dass chinesische Forscher in Zukunft auch die USA überholen und vom ersten Platz verdrängen werden.

Bei den Publikationsanteilen im Jahr 2012 mit Abstand führend sind jedoch die USA, die für 42 % aller wissenschaftlich relevanten Veröffentlichungen im Bereich Leistungselektronik verantwortlich zeichnen. US-amerikanische Forschungsaktivitäten bleiben dabei über den gesamten Zeitraum auf einem hohen Level, verlieren aber kontinuierlich Anteile (2002: 45 %; 2007: 44 %; 2012: 42 %). Das Wachstum der Publikationsrate beträgt ca. 480 %, sodass der absolute Output von 15 im Jahr 2002 auf 73 in 2012 gesteigert werden konnte. Insgesamt konnten US-amerikanische Forscher 460 (ISI-)referierte wissenschaftliche Paper veröffentlichen.

Deutschland folgt auf dem dritten Rang mit ca. 16 % Marktanteil 2012. Bemerkenswert ist, dass über die untersuchte Zeitspanne mehr als die Hälfte des ursprünglich relativ hohen Anteils (ca. 33 % in 2002) verloren wurde, insbesondere zugunsten Chinas. Die Dynamik bei Publikationsschriften im Bereich der Leistungselektronik liegt dementsprechend im Ländervergleich bei nur ca. 250 % und damit hinter allen anderen betrachteten Weltregionen.

Japanische und französische Forscher liegen mit 11 % bzw. 7 % Publikationsanteil im Jahr 2012 auf den letzten Rängen. Während Japan über die Jahre auf niedrigem Niveau sehr konstante Anteile am Publikationsoutput hält, verliert Frankreich wie auch Deutschland über die Hälfte des eigenen Anteils innerhalb einer Dekade. Die Dynamik des Publikationswachstums befindet sich dementsprechend mit 300 % auf einem niedrigen Niveau, jedoch noch vor Deutschland. Japan dagegen kann ein Wachstum von ca. 500 % im selben Zeitraum vorweisen und befindet sich damit auf einem ähnlichen Niveau wie die USA.

Im nachfolgenden Vergleich der technologischen Basis der untersuchten Weltregionen werden die Anteile und das Wachstum der einzelnen internationalen Patentmärkte für den Bereich „Elektrische Maschinen im Antriebsstrang elektrifizierter Fahrzeuge“ gegenübergestellt.

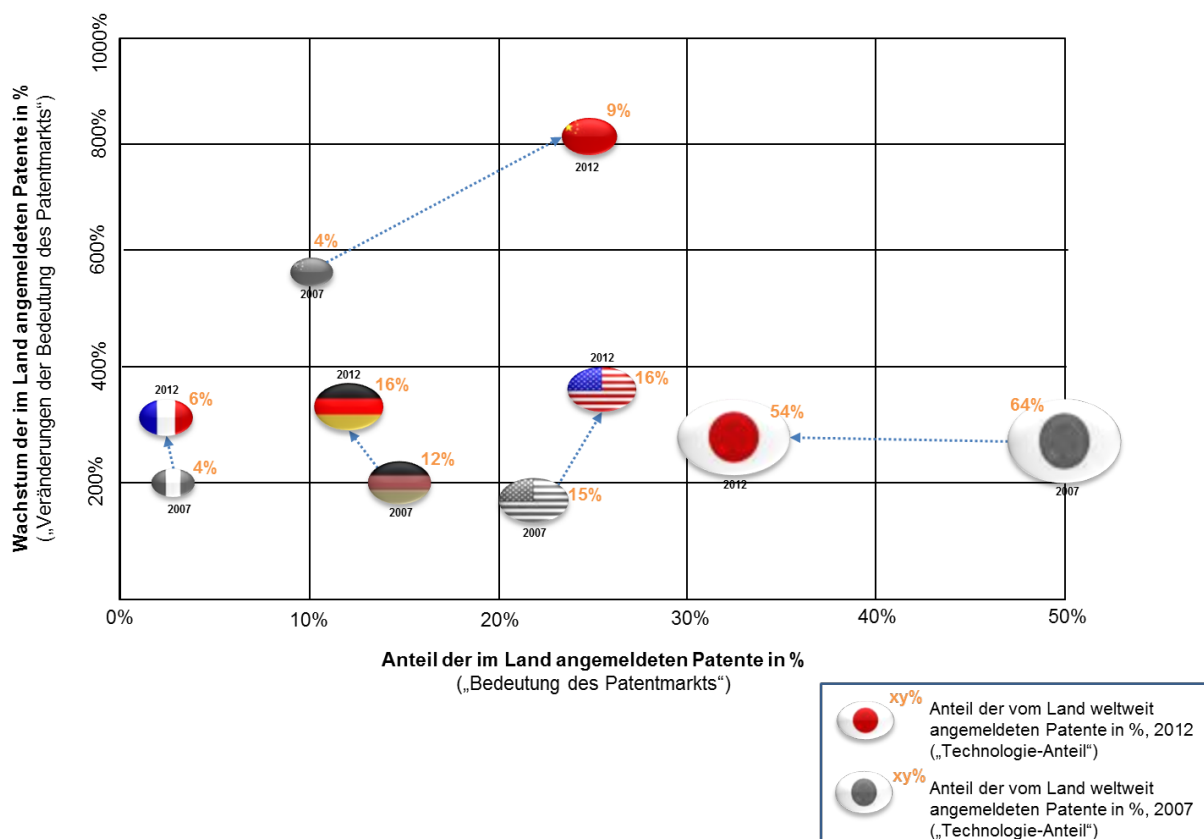


Abb. 7-3 Technologische Basis „Elektrische Maschinen“ im Ländervergleich, 2002–2012 kumuliert

Das „Wachstum des Patentmarkts“ auf der y-Achse zeigt die Steigerung der in Japan, den USA, China, Deutschland und Frankreich angemeldeten Patentschriften über einen Zeitraum von zehn Jahren. Der Fokus der Darstellung liegt auf den Jahren 2007 (mit Basis 2002) und 2012 (mit Basis 2007). Der „Anteil am Patentmarkt“ auf der x-Achse verdeutlicht, wie viel Prozent der Patente im jeweiligen Land angemeldet wurden, um dort das geistige Eigentum zu sichern, und ist dementsprechend ein Indikator für die Bedeutung des jeweiligen Landes

für international tätige Patentanmelder bzw. deren Erfindungen. Die Größe der Landesflaggen veranschaulicht zudem, wie intensiv das jeweilige Land selbst Technologieentwicklung betreibt, gemessen am prozentualen Anteil der in den Jahren 2007 und 2012 von Unternehmen mit dortigem Hauptsitz angemeldeten Patente („Technologie-Anteil“). Die obige Darstellung zeigt also Stand und Dynamik des Markts sowie der Technologie in Kombination.

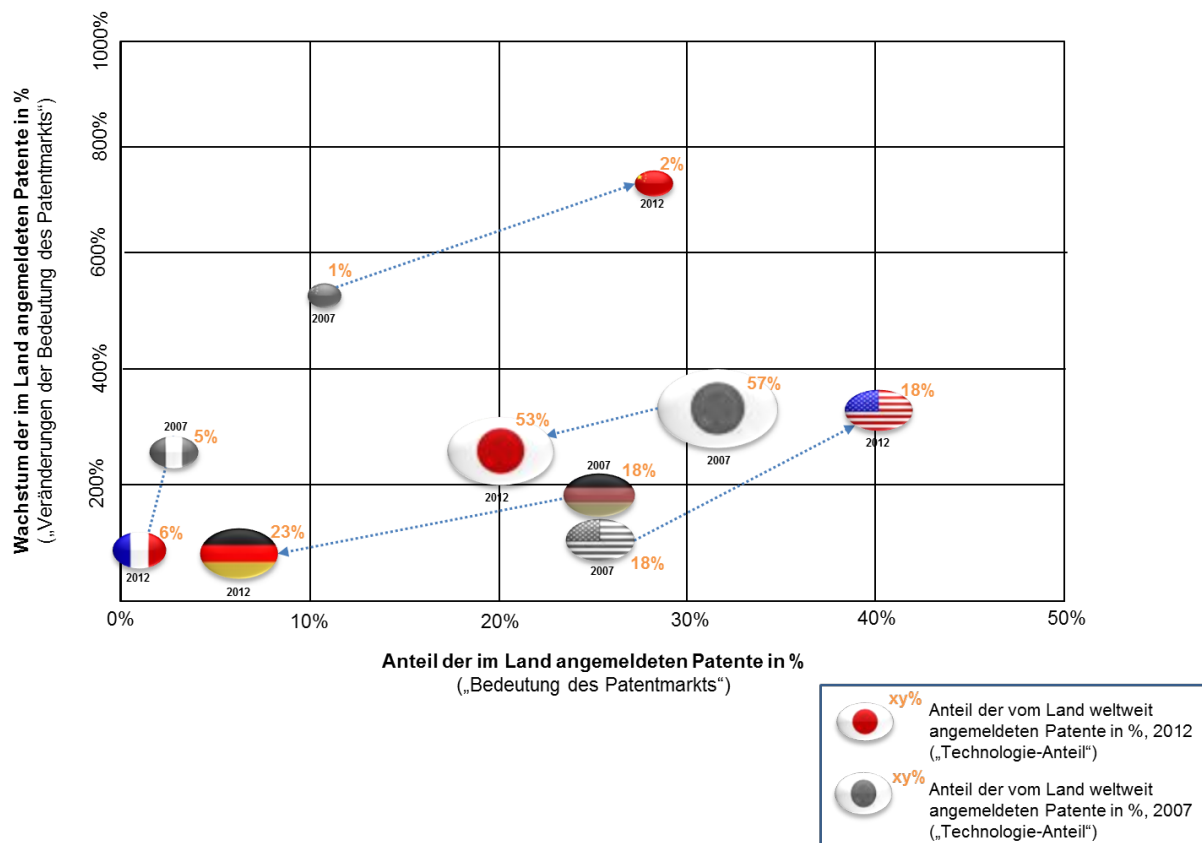
Im Bereich der elektrischen Maschinen ist Japan sowohl bei den Patentmarktanteilen als auch bei der Technologie klar führend (Abb. 7-3), wobei 2007–2012 Verluste sowohl bei Markt- (x-Achse) als auch Technologieanteilen (Größe der Landesflagge) zu verzeichnen waren. Dennoch war Japan mit über 54 % Anteil an der technologischen Entwicklung auch 2012 Haupttreiber im Bereich Technologie über alle E-Maschinenbauformen hinweg, musste aber einen Rückgang um ca. 10 % im Vergleich zum Jahr 2007 verzeichnen. Dramatischer war der Rückgang der Bedeutung des japanischen Markts für internationale Patentanmelder: Während 2007 noch über 50 % aller Patente im Bereich E-Maschinen in Japan angemeldet wurden, waren es 2012 nur noch ca. 37 %. Japan ist dennoch insgesamt sowohl bei der Markt- als auch der Technologieanalyse führend. Das Marktwachstum blieb im Vergleich der letzten fünf bzw. zehn Jahre relativ konstant bei jeweils ca. 220 %.

Die USA konnten den Anteil ihres IP-Markts im Vergleich der Jahre 2007 und 2012 um ca. 5 % auf 27 % steigern, während das Wachstum der auf dem Markt angemeldeten Patente von 160 % auf über 370 % anstieg. Somit ist sowohl eine verstärkte Relevanz als auch Dynamik des US-Markts bei der Sicherung technologischer Entwicklungen im Bereich E-Maschine für elektrifizierte Pkw zu identifizieren. Der Anteil US-amerikanischer Institutionen an der Technologieentwicklung blieb dagegen über die Jahre auf einem relativ konstanten Level und stieg um nur 1 % von 15 % in 2007 auf 16 % in 2012.

Deutsche Unternehmen konnten den Patentanteil an der Technologieentwicklung von 12 % im Jahr 2007 um 4 % bis 2012 steigern, sodass Deutschland mit den USA auf der zweiten Position hinter Japan rangiert. Allerdings hat die Bedeutung des deutschen IP-Markts für Patentanmelder innerhalb dieses Zeitraums abgenommen, sodass nur noch knapp 13 % aller Patente auf dem deutschen Markt angemeldet wurden, ein Rückgang um ca. 3 %. Die Dynamik des Marktwachstums steigerte sich im untersuchten Zeitraum allerdings von ca. 200 % über die Jahre 2002 bis 2007 bis auf ca. 300 % im Zeitraum 2007 bis 2012.

Der französische Markt nimmt im Rahmen dieser Untersuchung und mit Fokus auf elektrischen Maschinen eine eher untergeordnete Rolle ein. Sowohl technologieseitig (4 % Anteil in 2007, 6 % in 2012) als auch bei der Marktrelevanz (konstant ca. 2 %) konnten nur relativ geringe Anteile erreicht werden.

Bemerkenswert ist die Entwicklung in China im Vergleich der Jahre 2007 und 2012: Der chinesische Markt für IP erreichte ausgehend von 10 % Marktanteil im Jahr 2007 über 26 % im Jahr 2012, eine Steigerung von mehr als 16 %. Gleichzeitig nahm die Dynamik im Marktwachstum über diesen Zeitraum weiter zu und erreichte ausgehend von der schon sehr hohen Basis von über 530 % im Jahr 2007 insgesamt 815 % Steigerung im Jahr 2012. Aber nicht nur marktseitig konnte China die Zahlen im Vergleich der Weltregionen steigern, auch technologisch erreichte das Land eine Erhöhung des Outputs der im eigenen Land entwickelten Patente um über 100 % (von 4 % in 2007 auf über 9 % in 2012), sodass China 2012 den dritten Platz hinter Japan, Deutschland und den USA einnahm.



**Abb. 7-4 Technologische Basis „Leistungselektronik“ im Ländervergleich, 2007–2012 kumuliert**

Analog zur aufgezeigten Analyse bei elektrischen Maschinen sollen im Folgenden auch Patentmarktanteil, -wachstum und Technologieanteil im Bereich Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter Fahrzeuge im internationalen Vergleich dargestellt werden.

Im Bereich der Leistungselektronik zeichnet sich ein etwas anderes Bild als bei den elektrischen Maschinen (Abb. 7-4). Japan ist zwar auch hier mit Abstand auf Rang 1 bei der technologischen Entwicklung einzuordnen und für die Entwicklung von über 53 % aller Patente im Jahr 2012 verantwortlich, verlor aber große Marktanteile 2007–2012, sodass nur noch 17 % aller Patente im Jahr 2012 auf dem japanischen Markt für IP angemeldet wurden. Auch die Dynamik des Marktwachstums sank im gleichen Zeitraum und 2012 konnten nur noch ca. 160 % Wachstum (auf Basis 2007) verzeichnet werden, ein Verlust von über 60 %.

Die USA konnten die technologische Basis über den Zeitraum der letzten fünf bzw. zehn Jahre konstant bei 18 % halten und befanden sich damit 2012 hinter Japan und Deutschland auf dem dritten Rang. Der Anteil der auf dem US-Markt angemeldeten Patente stieg dagegen signifikant und erreichte ausgehend von 30 % in 2007 fast 40 % 2012. Die Dynamik im Sinne des Marktwachstums stieg ebenfalls stark an und erreichte knapp 380 % in 2012, eine Erhöhung um insgesamt 210 %. Somit ist in den USA zwar eine stagnierende Situation bei technologischen Entwicklungsaktivitäten im Bereich Leistungselektronik festzustellen, jedoch konnten Bedeutung und Wachstum des US-amerikanischen Patentmarkts – insbesondere im Vergleich zum japanischen Markt – deutlich erhöht werden.

Deutsche Unternehmen konnten ihren Patentanteil von 18 % im Jahr 2007 auf über 23 % im Jahr 2012 steigern und damit die USA als Technologietreiber von Rang 2 verdrängen. Aller-



dings hat die Bedeutung des deutschen IP-Markts für Patentanmelder innerhalb dieses Zeitraums stark abgenommen, sodass nur noch knapp 7 % aller Patente auf dem deutschen Markt angemeldet wurden, ein Rückgang um ca. 17 %. Das Marktwachstum verlor im untersuchten Zeitraum ebenfalls an Dynamik und erreichte 2012 nur noch 73 %, während im Vergleich der Jahre 2002 und 2007 noch ca. 260 % Wachstum erzielt worden waren.

Der französische Markt nimmt im Rahmen dieser Untersuchung bei der Leistungselektronik sowohl markt- als auch technologieeitig eine eher untergeordnete Rolle ein. Während französische Unternehmen den Anteil an technologischen Entwicklungen leicht steigern konnten (5 % Anteil in 2007; 6 % in 2012), sank die Bedeutung des französischen Markts innerhalb desselben Zeitraums von 3 % auf nur noch 1,5 % Marktanteil. Gleichzeitig nahm auch das Wachstum der auf dem französischen IP-Markt angemeldeten Patente ab und erreichte ausgehend von 250 % in 2007 (mit Basis 2002) nur noch 130 % in 2012 (mit Basis 2007).

Bemerkenswert ist wie bei den elektrischen Maschinen die Entwicklung in China auch im Bereich Leistungselektronik im Vergleich der Jahre 2007 und 2012: Der chinesische Patentmarkt erreichte 2012 über 32 % Marktanteil und nahm damit bei der Bedeutung für internationale Patentanmelder den zweiten Rang hinter den USA ein. Im Zeitraum 2007 bis 2012 entspricht dies einer Steigerung um 21 %. Die Dynamik des Marktwachstums nahm dabei über die Jahre konstant zu und erreichte über 750 % Steigerung im Jahr 2012 im Vergleich zum Basisjahr 2007. Der Anteil an der technologischen Entwicklung im Bereich Leistungselektronik war in China dagegen vernachlässigbar, sodass im Jahr 2007 nur 1 % aller Patente von chinesischen Unternehmen angemeldet wurden. 2012 waren es 2 %.

### **7.1.2 Forschungsförderung im Vergleich**

Die Regierungen der meisten betrachteten Länder haben in den vergangenen Jahren Strategiepapiere und Entwicklungspläne zur Förderung der Elektromobilität veröffentlicht. Eines der zentralen Ziele ist meist die technologische Weiterentwicklung der Elektromobilität, welche die heimische Wirtschaft im globalen Wettbewerb stärken soll. Die gezielte öffentliche Förderung von Forschung, Entwicklung und Demonstration soll zu dieser Technologieentwicklung beitragen. Neben der direkten finanziellen Unterstützung zielt die Politik meist auch auf eine Vernetzung der Forschungsaktivitäten zwischen Forschungseinrichtungen und Industrie. Während in einigen Ländern eigene Förderlinien für FuE zur Elektromobilität eingerichtet wurden, werden andernorts innovative bzw. emissionsmindernde Fahrzeugtechnologien insgesamt gefördert – was die Abgrenzung der Fördermittel für Elektromobilität schwierig macht.

Im Rahmen der Studie wurden zum Vergleich der internationalen Forschungsförderung diverse Quellen herangezogen. Differenzen in der thematischen Zuordnung der Förderprojekte, in der Abdeckung der Forschungsthemen sowie hinsichtlich der Zeithorizonte bringen Einschränkungen bei der Vergleichbarkeit mit sich. Studien, die die Forschungsförderung über verschiedene Länder hinweg mittels einheitlichen Methodiken vergleichen, lassen überregionale Vergleich und die Einordnung der Position Deutschlands im internationalen Vergleich zu.

In der Vergangenheit (2008 bis 2012) haben insbesondere die USA und China stark in die Entwicklung der Elektromobilität investiert und tätigten die höchsten öffentlichen Ausgaben in Forschung, Entwicklung und Demonstration (EVI, 2013). Dabei entfällt in China ein Großteil

der Ausgaben auf die Umsetzung des zentralen Demonstrationsprojekts „10 cities/1000 vehicles“. In den anderen Ländern überwog die Förderung von FuE gegenüber der Bezuschussung von Demonstrationsprojekten. Die Gesamtausgaben Japans und Deutschlands waren 2008–2011 ähnlich, wobei Deutschland eine starke Steigerung der Investitionen aufwies, während Japan bereits 2008 eine relativ hohe Summe investierte (siehe Abschnitt 5.3.2).

Bezüglich der derzeit angekündigten bzw. laufenden FuE-Förderung bis 2016 investiert China am stärksten und hat bereits für den Zeitraum 2016 bis 2020 ein Budget von 1,2 Milliarden Euro vorgesehen (siehe Abschnitt 5.2.5).

Nachfolgend werden die Förderbudgets für FuE zu Elektrofahrzeugen und Komponenten der jeweiligen Hauptfördergeber in den Fokusländern gegenübergestellt und zum Teil auf jährliche Daten heruntergebrochen, um Vergleichbarkeit zu gewährleisten:

- In Deutschland standen dem BMBF als Hauptfördergeber im Bereich der technologischen Forschung für 2012 ca. 115 Mio. Euro zur Weiterentwicklung der Elektromobilität zur Verfügung. Neben der Förderung von FuE sind darin auch Ausgaben zur Aus- und Weiterbildung sowie für Demonstrationsvorhaben, wie im Rahmen der Schaufenster Elektromobilität, enthalten. Gleichzeitig wurden Forschung und Demonstration von Elektromobilität von anderen Ministerien (BMU, BMVBS, BMWi) mit ca. 105 Mio. Euro gefördert (BMF 2013).
- In den USA wurden 2012 vom Department of Energy als Hauptförderer der Forschung im Bereich Elektromobilität über 150 Mio. USD (ca. 116 Mio. Euro) für Forschung zu Elektrofahrzeugen ausgegeben (Regionalstudie USA).
- Im chinesischen Fünf-Jahres-Plan (2011 bis 2015) waren 364 Mio. Euro für die Forschung im Bereich Elektromobilität vorgesehen, was einer jährlichen Summe von ca. 73 Mio. Euro entspricht (CATARC 2013).
- In Japan stehen laut NEDO (2013) jährlich ca. 50 bis 60 Mio. Euro Forschungsbudget für Elektromobilität zur Verfügung (Regionalstudie Japan).
- Im indischen Fünf-Jahres-Plan (2012 bis 2017) sind ca. 89 Mio. Euro für die Forschung und Entwicklung von Elektrofahrzeugen und Hybriden vorgesehen, was einem jährlichen Budget von ca. 18 Mio. Euro entspricht (Regionalstudie Indien).
- In Frankreich wurden 2009 120 Mio. Euro über vier Jahre für FuE sowie Demonstrationsprojekte und Ladeinfrastruktur zur Verfügung gestellt (IEA-HEV 2013).
- In Großbritannien stehen 95 Mio. Euro für Forschung und Entwicklung zwischen 2012 und 2015 zur Verfügung (entspricht einem jährlichen Budget von ca. 24 Mio. Euro) (IEA-HEV 2013).

Europaweite Analysen (vgl. European Commission 2013b) zeigen Deutschland als stärksten Investor in FuE im Bereich Elektromobilität unter den europäischen Staaten. Zudem ist die Beteiligung deutscher Institutionen an europäischen Forschungsprojekten beispielsweise im Rahmen der Green-Cars-Initiative sehr umfangreich (siehe Abschnitt 5.2.2).

Insgesamt standen deutsche FuE-Investitionen zur Elektromobilität zunächst hinter den Förderungen in Japan oder den USA zurück, wurden nach der Verabschiedung des „Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität“ (Bundesregierung 2009) aber bedeutend gesteigert. Auf Basis derzeit laufender und angekündigter Förderprogramme steht Deutschland im internati-

onalen Vergleich sehr gut da und weist ein unter anderem auch höheres FuE Budget als Japan auf.

Diese Tendenzen bei der Entwicklung der FuE-Förderung spiegeln sich zum Teil auch in den Ergebnissen zur Patent- und Publikationsanalyse wider. China und die USA haben bereits seit den frühen 2000er Jahren die FuE-Förderung im Bereich Elektromobilität deutlich gesteigert. China konnte den Anteil an FuE-Aktivitäten bei Technologien im Bereich des Antriebsstrangs – insbesondere bei E-Maschinen – über die letzten Jahre signifikant steigern und hatte 2012 bei wissenschaftlichen Publikationen mit Abstand sowohl den größten Anteil als auch das dynamischste Wachstum. Zusätzlich hat China bei E-Maschinen auch in der anwendungsorientierten Forschung deutlich aufgeholt und nimmt nach Japan, Deutschland und den USA auch bei den Patentanteilen mittlerweile den dritten Rang ein, mit weiterhin im Ländervergleich sehr hohem Wachstum. Angesichts kontinuierlicher Steigerung des FuE-Budgets in China und der angekündigten Investitionen für den Zeitraum 2016 bis 2020 ist ein Rückgang des Wachstums der untersuchten FuE-Leistungsindikatoren in naher Zukunft nicht zu erwarten.

Die USA konnten sich bei der Leistungselektronik und bei E-Maschinen auf konstant hohem Level und unter den Top 3 der führenden Weltregionen halten. Bei Leistungselektroniktechnologien besitzen die USA trotz leichter Verluste weiterhin über 40 % Anteil an wissenschaftlichen Publikationen im Jahr 2012 und weisen eine konstant hohe Wachstumsdynamik auf, sind damit insgesamt allen anderen Ländern überlegen. Der Bereich Leistungselektronik ist weiterhin einer der drei Förderschwerpunkte des US Department of Energy (siehe Abschnitt 5.3.2).

Die technologische Basis Deutschlands – gemessen an den im Besitz deutscher Unternehmen befindlicher Patentanteile – ist im internationalen Vergleich bei Entwicklungen im Bereich E-Motoren und Leistungselektronik bereits auf relativ hohem Niveau und konnte 2007–2012 gesteigert werden, sodass Deutschland – jedoch mit großem Abstand – hinter Japan auf dem zweiten Rang und mit den USA auf ähnlichem Niveau eingeordnet werden kann. Die Anteile Deutschlands an wissenschaftlichen Publikationen liegen jedoch auf weit geringerem Niveau, sodass die eher grundlagenorientierte Forschung insbesondere im Bereich E-Maschine im internationalen Vergleich mit nur 10 % Anteil unterrepräsentiert ist. Bei Publikationsaktivitäten im Bereich Leistungselektronik befindet sich Deutschland hinter den USA und China auf dem dritten Rang wieder, weist jedoch das geringste Wachstum über die Jahre auf. Die nationalen Strategien zur Weiterentwicklung der Elektromobilität und die Steigerung der Investitionen in FuE zur Elektromobilität in Deutschland seit Beginn dieses Jahrzehnts schlagen sich somit bislang nur bedingt in der technologischen Basis und den wissenschaftlichen Publikationen nieder. Übliche Zeitspannen zwischen Aufnahme von Forschungstätigkeiten und der wissenschaftlichen Veröffentlichung der Ergebnisse bzw. Patentanmeldung berücksichtigend könnte von derzeitigen oder kürzlich abgeschlossenen Vorhaben eine zusätzliche Dynamik erwartet werden. Auffallend ist die zurückgehende Bedeutung des deutschen Patentmarkts für internationale Patentanmelder bei E-Maschinen und Leistungselektronik im Vergleich der Jahre 2007 und 2012, insbesondere zugunsten des chinesischen Patentmarkts.

In Japan ist das zur Verfügung gestellte Förderbudget seit 2007 auf mittlerem Level konstant geblieben, was sich letztlich in Verlusten bei den Patentanteilen – und damit Aktivitäten zur technologischen Weiterentwicklung – bei E-Maschinen und Leistungselektronik nieder-

schlägt. Trotzdem ist Japan bezüglich Antriebsstrangtechnologien nach wie vor mit Abstand führend.

Zu den zentralen Forschungsthemen gehört in allen Untersuchungsregionen die Batterieforschung, häufig sowohl zur Lithium-Ionen-Technologie als Post-Lithium-Batterien betreffend. Japan, Deutschland und die USA verfolgen beide Forschungsstränge, wobei Deutschland sich hinsichtlich der Lithium-Ionen-Technologie eher auf FuE im Bereich der Batterieproduktion sowie Sicherheitsaspekte konzentriert. Auch die USA versuchen durch Forschungsförderung und Industriekredite eine heimische Batterieproduktion aufzubauen. Experten sehen Japan in der Lithium-Ionen-Technologie führend, jedoch weniger stark aufgestellt in der Grundlagenforschung und Entwicklung innovativer Materialien. Daneben sind weitere Technologien im Bereich Antriebsstrang wie Leistungselektronik, E-Maschinen und Thermomanagement, aber auch der Leichtbau zentrale Forschungsthemen in allen Regionen. Auch zukünftig bedeutsame Themen wie die Reduktion des Seltenerdmetallbedarfs und Batterierecycling oder -wiederverwertung sind z. B. in der japanischen Forschungsstrategie verankert, jedoch findet bislang nur wenig Forschung dazu statt (Regionalstudie Japan). Im Bereich Netzintegration wird in Deutschland sowohl zum netzverträglichen Laden geforscht als auch zur Rückspeisung („Vehicle-to-grid“). In Japan gibt es Regierungs- sowie Industrieaktivitäten insbesondere im Bereich Vehicle-to-grid bzw. zu dessen Vorstufe Vehicle-to-home. Hier steht allerdings nur ein geringes Forschungsförderbudget zur Verfügung (siehe Abschnitt 5.2.4).

Aufstrebende Nationen wie China und Indien sind weniger aktiv in der Grundlagenforschung und Entwicklung neuer Materialien und Technologie, sondern versuchen gezielt Kompetenzen hinsichtlich bestehender Technologien aufzubauen und diese an lokale Bedingungen und Einsatzzwecke anzupassen. Diese auf Anpassung und schrittweise evolutionäre Weiterentwicklung bezogene Technologiestrategie zeigt sich beispielsweise bei den FuE-Aktivitäten im Bereich der elektrischen Maschinen, wo China bereits signifikante Anteile besitzt. Beide Länder beabsichtigen, mittels Allianzen, Lizenzvergaben, Akquisitionen und Joint Ventures die Entwicklung von FuE-Kapazitäten voranzutreiben.

Neben der originären Forschungsförderung vergeben insbesondere die USA, China und Frankreich gezielt vergünstigte Industriekredite bzw. Zuschüsse zum Aufbau von FuE- und Herstellungskapazitäten in den Betrieben.

Anwendungsorientierte Forschung und Tests finden auch in Demonstrationsprojekten statt. Insbesondere China, Japan und Deutschland haben große nationale Programme zur Demonstration von Elektrofahrzeugen implementiert. Auch in Frankreich machen Demonstrationsprojekte einen bedeutenden Anteil der Investitionen in die Weiterentwicklung der Elektromobilität aus.

## 7.2 Fahrzeuge und Technologien

*M. Klötzke (DLR), H. Hüging (WI), O. Soukup (WI)*

Die ersten Elektrofahrzeuge gab es zwar schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts, doch die derzeitige Entwicklung nahm ihren Anfang zum Ende der 1990er Jahre. 1997 brachte Toyota mit dem Prius I das erste Großserienmodell mit hybridem Antriebsstrang heraus. Seitdem entwickeln weitere Hersteller Fahrzeuge mit elektrifizierten Antriebssträngen und bringen sie auf den Markt. Eine deutliche Zunahme vorgestellter Fahrzeuge (Konzept-, Forschungs- und Serienfahrzeuge) ist ab 2002 zu sehen. Neben neuen elektrifizierten Fahrzeugen werden auch dazugehörige Technologien für den automobilen Einsatz (weiter-)entwickelt.

### 7.2.1 Fahrzeuge

Gemessen an der Anzahl der entwickelten Konzeptfahrzeuge, der Prototypen und der angekündigten sowie eingeführten elektrischen Serienfahrzeuge in den Bereichen HEV, PHEV und BEV stammen die im Bereich der Elektromobilität aktivsten Automobilhersteller aus Japan (Toyota, Honda, Lexus, Nissan, Mitsubishi und Subaru), Deutschland (Volkswagen, Audi, Mercedes-Benz, BMW, Porsche), Frankreich (Peugeot, Citroën, Renault), Südkorea (Kia, Hyundai) und den USA (Ford, Opel, Chevrolet) (siehe Unterkapitel 4.1). Die führenden Hersteller kommen insgesamt vor allem aus traditionellen Standorten der Automobilindustrie. Jedoch wurde in diesen Ländern in der Vergangenheit auch stark in die FuE-Förderung im Bereich Elektrofahrzeuge investiert (siehe Abschnitt 5.3.2). Dabei setzen die meisten internationalen Automobilhersteller auf ein breites Portfolio mit unterschiedlichen Elektrifizierungsgraden. Auch chinesische Hersteller sind, häufig in Joint Ventures mit westlichen Herstellern, insbesondere im Bereich BEV aktiv, entwickeln ihre Fahrzeuge aber hauptsächlich für den heimischen Markt (vgl. Kapitel 5). Technologisch zeigen die elektrifizierten Fahrzeuge chinesischer Hersteller ein Defizit gegenüber denen internationaler OEM aus Japan, den USA oder Europa.

Insgesamt wurden zwischen 2006 und 2013 87 äußerst diversifizierte neue Serienfahrzeuge in den Bereichen BEV und PHEV vorgestellt. Aktivitäten verschiedener Hersteller sowie die Modellvielfalt werden von Experten als wichtiger Faktor für die Marktentwicklung eingeschätzt, da potenziellen Nutzern ein breites Fahrzeugangebot präsentiert und verdeutlicht werden kann, dass es sich bei der Elektrifizierung des Antriebsstrangs nicht um die Einzelstrategie weniger Hersteller handelt (Klötzke et al. 2014a).

Der Vergleich der Marktanteile der Fahrzeugneuzulassungen im Jahr 2013 zeigt, dass Modelle heimischer Hersteller in den meisten Fällen auch die heimischen Märkte dominieren. Gemessen am prozentualen Anteil des PEV-Gesamtabsatzes in Deutschland waren 2013 unter den fünf erfolgreichsten Modellen drei Modelle deutscher OEM (Smart Fortwo Electric Drive, BMW i3 und Opel Ampera). Insgesamt machten die Modelle deutscher Hersteller über 40 % der in Deutschland neuzugelassenen PEV aus. Das erfolgreichste PEV-Modell in Deutschland war der Smart Fortwo Electric Drive (22 %), in Frankreich der Renault Zoe (63 %). Gemeinsam mit dem französisch-italienischem Joint Venture Bolloré-Bluecar entfielen ca. 70 % der Verkäufe auf heimische Marken. Auch in den USA dominierten mit ca. 60 % der Verkäufe 2013 heimische Hersteller den PEV-Markt. Dabei war der Chevrolet Volt (24 %) das erfolgreichste Modell vor dem Nissan LEAF (23 %) und dem heimischen Tesla Model S

(20 %). In Japan ist die Dominanz heimischer Marken am deutlichsten: Bei 98 % der im Jahr 2013 verkauften PEV handelt es sich um Modelle von Nissan, Mitsubishi oder Toyota. Dabei ist der Nissan Leaf mit 44 % das erfolgreichste Modell. In Norwegen als Land ohne eigenen Hersteller von Elektroautos dominierte ebenfalls der Nissan Leaf (58 %). Wegen der spezifischen Rahmenbedingungen in China werden dort fast ausschließlich heimische Modelle abgesetzt. 2013 dominierte der günstige Kleinwagen Chery QQ3 (46 %) (siehe Abschnitt 5.3.3). Beim internationalen Vergleich der Marktanteile der Neuzulassungen lässt sich außerdem ermitteln, dass die erfolgreichsten Fahrzeugtypen auf den jeweiligen heimischen Märkten reine batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) sind. Die einzige Ausnahme bildet hier der Chevrolet Volt (REEV) in den USA.

In Europa liegt der Fokus bei der Entwicklung und Konzeption neuer elektrifizierter Fahrzeuge auf den Segmenten A, B und C, auf SUV und Geländewägen sowie insbesondere Sportwagen. In Amerika werden vor allem SUV und Geländewägen elektrifiziert, eine Fahrzeugkategorie, die sich in den USA großer Beliebtheit erfreut. Die übrigen Fahrzeuge verteilen sich recht gleichmäßig auf die kleinen und mittleren Segmente sowie die Sportwagen. In Asien zeigt sich ein ähnliches Bild wie in Europa. Auch hier werden viele Fahrzeuge aus den Segmenten A, B und C elektrifiziert sowie SUV und Geländewägen. Sportwagen machen hier allerdings keinen so großen Anteil aus wie in Europa.

In allen drei Regionen machen, ähnlich wie bei den abgesetzten Fahrzeugen, batterieelektrische Fahrzeuge den größten Anteil elektrifizierter Konzepte aus, gefolgt von Hybridfahrzeugen. In Asien liegen diese, gemessen am Anteil an den Fahrzeugkonzepten, nur knapp hinter den BEV. In Europa kommen dicht dahinter Plug-in-Hybride, die in Asien keinen so großen Anteil haben. In den USA sind die übrigen Fahrzeuge, die nicht rein batterieelektrisch angetrieben werden, gleichmäßig über die verschiedenen hybriden Ausprägungen verteilt.

Auch der Ansatz des Fahrzeugkonzepts variiert international. Während deutsche Hersteller ihren Schwerpunkt auf Fahrzeuge im Conversion Design, sprich bestehende Fahrzeuge mit einem elektrifizierten Antriebsstrang legen, folgen Fahrzeuge aus Frankreich, Japan und Korea deutlich häufiger dem Ansatz des Purpose Design, werden also von Anfang an als elektrifiziert konzipiert.

Japan ist einer der führenden Produktionsstandorte für elektrifizierte Fahrzeuge und zeigt seit 2009 ein starkes Wachstum in der Produktion. 2012 wurden dort insgesamt 1,3 Millionen elektrifizierte Fahrzeuge, überwiegend HEV, produziert, wobei BEV und PHEV mit jeweils 30 000 bzw. 35 000 produzierten Einheiten einen geringeren Teil ausmachen. Im Vergleich dazu ist die Produktion elektrifizierter Fahrzeuge mit 20 000 Fahrzeugen im Jahr 2012 in Deutschland unterentwickelt. Darunter waren nur ca. 300 BEV. Ein positiver Trend ist jedoch zu beobachten, denn 2013 wurden bereits ca. 33 000 elektrifizierte Fahrzeuge produziert, davon ca. 3000 BEV. Die geringen Produktionszahlen in Deutschland sind auch darauf zurückzuführen, dass einige elektrifizierte Modelle deutschen Hersteller im Ausland montiert werden. So wird der Smart fortwo electric drive in Frankreich hergestellt und der Opel Ampera in den USA. Japan hingegen profitiert auch von der Herstellung des Peugeot Ion und des Citroën C-Zero in den japanischen Mitsubishi-Werken. In China, wo nur heimische Elektrofahrzeuge Subventionen erhalten, wurden 2013 ca. 14 000 batterieelektrische Fahrzeuge produziert. In China sowie in den USA wird gezielt der Aufbau von Produktionskapazitäten für Fahrzeuge bzw. Komponenten von der Regierung gefördert.

Neben spezifischen Standortbedingungen, wie der Kopplung der Subventionen an die inländische Fertigung in China, scheint der Produktionsstandort elektrifizierter Modelle aufgrund bislang meist geringer Stückzahlen häufig durch bestehende Strukturen bestimmt zu werden. Wenige weltweit sehr erfolgreiche Modelle werden an verschiedenen Standorten produziert bzw. endmontiert. Beispielsweise wird der Nissan Leaf in Japan, den USA und England hergestellt, um den amerikanischen bzw. den europäischen Markt zu beliefern.

Wie die Auswertung der Fahrzeugdatenbank zeigt, gewinnen PHEV zunehmend an Bedeutung. Von 2008 bis 2012 konnte bei den jährlich neu vorgestellten Fahrzeugkonzepten eine deutliche Dominanz von BEV festgestellt werden. Zwar machen diese bei den einzelnen Antriebsstrangkonzepthen nach wie vor den größten Teil aus, jedoch geht ihre absolute Anzahl deutlich zurück, während Fahrzeuge mit hybriden Antriebssträngen zunehmen (siehe Unterkapitel 4.1). Am Beispiel des aktuell größten Produktionslands Japan lässt sich diese Tendenz verdeutlichen: Während 2009–2011 deutlich mehr BEV als PHEV produziert wurden, ging die BEV-Produktion 2012 gegenüber dem Vorjahr zurück, während sich die PHEV-Produktion vervierfachte (siehe Abschnitt 5.3.3). Die befragten japanischen Experten sehen zukünftig PHEV insbesondere im Bereich der größeren Fahrzeugklassen, während bei den Kleinwagen BEV weiterhin eine größere Rolle spielen werden. Wenn die Kombination aus Elektroantriebsstrangsystem und Verbrennungsmotoren kompakter gebaut würde, könnten Plug-in-Hybride auch eine Option für kleinere Fahrzeugklassen sein. Nutzerbefragungen zeigen heute meist eine Präferenz für PHEV gegenüber BEV. Die heutigen Zulassungszahlen von BEV und PHEV lassen kaum Rückschlüsse über die zukünftige Bedeutung der einzelnen Fahrzeugkonzepte zu. Derzeitige technologiespezifische Subventionen bzw. an Batteriegröße oder CO<sub>2</sub>-Emissionen gebundene Anreize sowie die bislang begrenzte Modellverfügbarkeit können als überlagernde Einflussfaktoren für den derzeitigen Absatz an BEV und PHEV gesehen werden.

Einige der zuvor genannten Erkenntnisse zum Status quo elektrifizierter Fahrzeuge und möglicher zukünftiger Entwicklungen finden sich auch in den Annahmen der Materialintensitätsanalyse wieder:

Analog zum Schwerpunkt der deutschen Hersteller auf Elektrofahrzeuge im Conversion Design wird auch in der Modellierung angenommen, dass die konventionellen und elektrifizierten Fahrzeuge auf einer identischen Plattform aufbauen. Diese Annahme wird vereinfachend auch für die weltweiten Fahrzeugflotten übernommen, die Materialinventare von Fahrzeugen im Purpose Design werden nicht explizit berücksichtigt.

Des Weiteren wurde bereits festgestellt, dass BEV und PHEV zwar die wichtigsten Konzepte elektrifizierter Fahrzeuge der letzten Jahre sind, Rückschlüsse über die zukünftige Bedeutung verschiedener Konzepte können hieraus aber nicht unmittelbar abgeleitet werden. Um dieser Unsicherheit zu begegnen, wurden daher zukünftige Fahrzeugflotten unter Berücksichtigung fünf elektrischer Antriebskonzepte abgebildet.

Auch die Auswahl des mittleren Fahrzeugsegments (C/D) als Referenzsegment der MAIA harmoniert mit den zuvor bzw. in Abschnitt 4.1.3 geschilderten Ergebnissen: Zwar zeigt die Auswertung der DLR-Fahrzeugdatenbank, dass ein Schwerpunkt elektrifizierter Neufahrzeuge in Europa auf noch kleineren Fahrzeugen (A, B, C) liegt. Eine besonders große Diversifizierung der elektrischen Antriebskonzepte zeigt sich jedoch vor allem in den Segmenten C und D (

Abb. 4-4). Ein Großteil der in der MAIA berücksichtigten Antriebskonzepte ist in aktuellen Fahrzeugen dieser Segmente bereits vertreten. Auch die Einordnung in Gewichtsklassen zeigt, dass die meisten aktuellen Neufahrzeuge in die Klasse 1001–1500 kg Leergewicht fallen (Abb. 4-12). Dieser Klasse sind auch die Typfahrzeuge der MAIA mit einem Leergewicht zwischen 1290 und 1450 kg in 2010 zuzuordnen.

Die ebenfalls hinsichtlich elektrifizierter Neufahrzeuge in Europa relevanten Segmente F, J, M und S eignen sich aufgrund extremer Charakteristika (z. B. hinsichtlich Motorisierung und Gewicht) nicht, um gesamte Fahrzeugflotten und ihren Ressourcenbedarf vereinfacht abzubilden. Sie wurden deshalb bei der Definition von Typfahrzeugen im Rahmen der MAIA nicht berücksichtigt.

## 7.2.2 Technologien

Während zu Beginn des Booms bei Elektrofahrzeugen um das Jahr 2005 viele der vorgestellten Fahrzeuge mit Nickel-Metall-Hydrid-Batterien ausgestattet waren, konnten in den Folgejahren Lithium-Ionen-Batterien an Bedeutung gewinnen. Seit 2007 wird die Mehrheit der jährlich neu vorgestellten Fahrzeuge mit dieser Batterietechnologie ausgestattet. Jedoch hielten auch Fahrzeuge mit Nickel-Metall-Hydrid-Batterien lange Zeit einen konstanten Anteil. Seit 2010 geht dieser aber kontinuierlich zurück. Während verschiedene Ausprägungen von Blei-Batterien immer wieder vereinzelt in Fahrzeugkonzepten vorkommen, haben sonstige Energiespeicher, wie Schwungradspeicher, Super Caps oder Redox-Flow-Batterien, bisher einen flächendeckenden Zugang zu neuen Fahrzeugkonzepten, auch in Forschungs- oder Versuchsfahrzeugen, nicht gefunden. Mit steigendem Elektrifizierungsgrad zeigt sich ein noch deutlicheres Bild. Während bei Mild- und Voll-Hybriden noch ein signifikanter Anteil mit anderen Technologien als Lithium-Ionen-Batterien zu finden ist, spielen diese bei PHEV und BEV keine nennenswerte Rolle.

Der bei aktuellen Fahrzeugen zu beobachtende Trend zur Lithium-Ionen-Technologie spiegelt sich auch in den Annahmen der Materialintensitätsanalyse wider. Dort wird davon ausgegangen, dass alle batterieelektrischen Antriebskonzepte Batteriespeicher auf Lithium-Mangan-Oxid-Basis nutzen (siehe Abschnitt 6.3.4). Hinsichtlich der Batteriekapazität der Antriebskonzepte BEV, PHEV und HEV stimmen die Auswertungen der DLR-Fahrzeugdatenbank (Abschnitt 4.1.3) und die der MAIA zugrunde liegenden Annahmen in (Huss et al. 2013) überein. Weitere im Rahmen der Technologieauswahl als relevant eingestufte Batterietechnologien (Lithium-Schwefel und Lithium-Luft gemäß (Fan et al. 2013, Sauer & Thielmann 2013) konnten mangels Daten beziehungsweise Materialinventare nicht berücksichtigt werden. Hier zeigt sich, gerade vor dem Hintergrund der Lithiumverfügbarkeit, zusätzlicher Daten- und Forschungsbedarf.

Eine noch klarere Tendenz zeigt sich bei Technologien für elektrische Maschinen. Hier sind so gut wie alle Fahrzeuge mit elektrischer Maschine mit permanenterregten Synchron-Maschinen (PSM) ausgestattet. Lediglich bei batterieelektrischen Fahrzeugen konnten einige Konzepte gefunden werden, in denen andere elektrische Maschinen zum Einsatz kommen. Dies wird mit zwei Vorteilen der permanenterregten elektrischen Maschine erklärt. Zum einen weist dieser Maschinentyp eine höhere Effizienz als fremderregte Maschinen auf, zum anderen besitzt er in der Regel eine höhere Leistungsdichte. Auch die Untersuchung der Forschungsaktivitäten legt den Schluss nahe, dass sich dieser Trend in den nächsten Jahren



weiter fortsetzen wird. Die Patentanalysen, die ein Indiz für die Aktivitäten der Industrie und somit für die Technologien der nächsten und übernächsten Generation sein können, zeigen, dass ein Großteil der angemeldeten Patente permanent erregte Synchronmaschinen beinhaltet. Eine leichte Abkehr von dieser Entwicklung ist erst bei den Publikationsanalysen zu erkennen. Hier konnten verstärkte Aktivitäten in Richtung alternativer Bauweisen identifiziert werden.

Die zuvor beschriebene Dominanz von PSM, aber auch die Möglichkeit eines zukünftigen Anstiegs von ASM wird ebenfalls im Rahmen der MAIA für die Ermittlung des Ressourcenbedarfs der Szenarien berücksichtigt (siehe Kapitel 0). Dort wird angenommen, dass alle modellierten elektrischen Antriebe zunächst ausschließlich mit permanent erregtem Synchronmotor ausgestattet sind. Basierend auf den Expertenbefragungen in Abschnitt 4.1.3 wird davon ausgegangen, dass ab 2030 neben dem PSM der Asynchronmotor (ASM) eine zunehmende Rolle als Motortechnologie spielen wird. Seine Anteile steigen in den berücksichtigten Basisszenarien auf 25 % nach 2040. In einem Alternativszenario zum optimierten Umgang mit kritischen Ressourcen (siehe Unterkapitel 6.9) wird von einem deutlich schnelleren Anstieg des ASM-Anteils ausgegangen.

Die Skalierung der Systemkomponente elektrische Maschine bei der MAIA erfolgte über das Gewicht basierend auf den EU-Car-Parametern. Der Parameter Leistung der elektrischen Maschine konnte bei der MAIA nur wenig berücksichtigt werden. (Notter et al. 2010) geben für das zugrunde liegende Materialinventar der PSM als Leistung 55 kW an (bei einem Gewicht von 60 kg). Die Bandbreite der Leistungsangaben aus (Huss et al. 2013) (z. B. PSM-Leistung, Peak variiert zwischen 24 und 90 kW) bzw. aus den Auswertungen aus der DLR-Fahrzeugdatenbank (Leistungen der E-Maschinen der Segmente C/D mit einer Fahrzeugmasse von ca. 1000 bis 1500 kg variieren zwischen ca. 25–150 kW) konnte im Rahmen dieser Studie nicht abgebildet werden.

Die elektrischen Maschinen bilden neben der Leistungselektronik die Hauptkomponenten mit hohem Bedarf an Seltenerdmetallen. Das Materialinventar des eingesetzten PSM umfasst einen Neodym-Eisen-Bor-Magnet, der Ferrite auf Neodymbasis aufweist. Aufgrund der Betriebstemperaturen des Elektromotors wird zur Steigerung der Temperaturstabilität in der Regel Dysprosium beigelegt. Durch den vermehrten Einsatz elektrisch erregter Asynchronmotoren ohne Permanentmagnete lässt sich dieser Bedarf senken.

Auswirkungen auf den Bedarf potenziell kritischer Rohstoffe, die sich aus den getroffenen Annahmen zum Einsatz von Li-Ion-Batterien und permanent erregten Maschinen in der MAIA ergeben, werden in Unterkapitel 7.4 zusammengefasst.

Auch im Bereich der Leistungselektronik wurde die Patent- und Publikationsanalyse (neben der Ableitung eines Länderrankings) genutzt, um technologische Schwerpunkte der Forschung und Entwicklung zu identifizieren. Dabei wurden Patentanmeldungen zu alternativen Halbleitermaterialien mit hoher Temperaturbeständigkeit durchgeführt. Mögliche Alternativen zur bisher verbreiteten Nutzung monokristallinen Siliziums stellen beispielsweise Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN) dar. Es konnte gezeigt werden, dass zwischen 2000 und 2012 der Patentoutput im Bereich SiC um den Faktor 7 sowie im Bereich GaN insgesamt um den Faktor 8 gesteigert wurde (Abschnitt 4.2.1).

Dies kann als Indiz dafür gewertet werden, dass SiC und GaN als Halbleitermaterialien in der Leistungselektronik elektrifizierter Fahrzeuge zukünftig an Bedeutung gewinnen. Der Einsatz

beider Materialien wird daher auch in der Materialintensitätsanalyse berücksichtigt (siehe Kapitel 0). Dabei wird angenommen, dass SiC nicht nur in der Leistungselektronik, sondern auch als Teil des Separators der Li-Ionen-Batterien Verwendung findet (Notter et al. 2010). Hinsichtlich der Galliumhalbleiter-Technologie wurde festgestellt, dass die zur Bestimmung von Halbleiter-Materialinventaren hauptsächlich herangezogene Quelle (Notter et al. 2010) im Vergleich zu anderen Literaturangaben einen vergleichsweise geringen Bedarf kritischer Rohstoffe ausweist. Um den zukünftigen Galliumbedarf der Leistungselektronik nicht zu unterschätzen, wurde alternativ ein höherer Ga-Bedarf nach (Buchert et al. 2011) berücksichtigt.

Die Verfügbarkeit von SiC und GaN, die neben der Leistungselektronik auch in LEDs eingesetzt werden, wird hier als gesichert betrachtet: SiC ist eine wichtige technische Keramik, Feuerfestmaterial und Schleifmittel und wird in großen Mengen hergestellt. Die Herstellung des als Halbleiters eingesetzten SiC erfolgt mit anderen Verfahren (CVD-Verfahren) als die des keramischen SiC, die Rohstoffverfügbarkeit ist jedoch grundsätzlich unkritisch. GaN, das zum Teil auf SiC-Substraten eingesetzt wird, ist aufgrund des Ga-Anteils grundsätzlich kritischer zu bewerten, jedoch ist auch der erwartete Ga-Bedarf gut zu decken.

## 7.3 Marktentwicklung

*T. Koska (WI), H. Hüging (WI), D. Kreyenberg (DLR), M. Klötzke (DLR)*

### 7.3.1 Status quo der Marktentwicklung

Der globale Absatz von Elektrofahrzeugen ist in den letzten Jahren stark gestiegen. Während im Jahr 2009 weniger als 50 000 extern aufladbare Elektrofahrzeuge (PEV) verkauft wurden, lag der Absatz 2013 bei über 200 000 Fahrzeugen und hat sich 2011–2013 jährlich verdoppelt (siehe Abschnitt 5.3.4). Der größte Markt für PEV sind derzeit die USA, wo 2013 mit fast 100 000 Fahrzeugen fast jedes zweite PEV abgesetzt wurde. Die EU ist mit ca. 55 000 Fahrzeugen vor Japan (ca. 30 000 PEV) und China (ca. 20 000 PEV) der zweitgrößte Markt. Die einzelnen EU-Staaten stellen vergleichsweise kleine Märkte (unter 10 000 Fahrzeuge in 2013) dar. Die Niederlande mit über 20 000 neu zugelassenen PEV im Jahr 2013 bilden hier eine Ausnahme. Deutschland liegt mit 7500 PEV-Neuzulassungen deutlich hinter den Niederlanden, aber auch hinter Norwegen und Frankreich. Indien hat im Bereich der elektrifizierten Pkw bislang keinen ausgeprägten Markt; nur vereinzelt werden dort PEV abgesetzt.

Hinsichtlich Marktreife, gemessen am Anteil neu zugelassener PEV an den gesamten Pkw-Neuzulassungen, bestehen deutliche regionale Unterschiede. Norwegen und die Niederlande haben mit einem PEV-Marktanteil von über sieben Prozent bzw. über fünf Prozent einen deutlichen Vorsprung vor den anderen Regionen, in denen der Marktanteil im Jahr 2013 ausnahmslos unter einem Prozent lag. Mit einem Marktanteil von 0,25 Prozent liegt Deutschland hinsichtlich der Marktreife hinter den USA, Japan und Frankreich.

### 7.3.2 Marktperspektiven in Deutschland

Die Marktentwicklung für elektrifizierte Pkw in Deutschland wurde im Hinblick auf verschiedene Aspekte im vorliegenden Projekt berücksichtigt. Im Rahmen des Technologiemonitorings (Kapitel 4) wurde der Einfluss verschiedener technologischer Entwicklungen auf die Marktentwicklung mithilfe eines Neuwagenmarktmodells untersucht. Ziel war es, die Auswirkungen technologischer Entwicklungen auf den Fahrzeugabsatz und -bestand realistisch abzuschätzen. Damit trägt das Projekt zu einem erweiterten Verständnis der Einflussfaktoren und möglicher Marktperspektiven für Elektrofahrzeuge in Deutschland bei. Vorherige Studien haben bereits andere Einflussfaktoren, wie ausgeprägte Änderungen in regulatorischen oder wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, untersucht. Ein Überblick über die existierenden Szenarien zur Marktdurchdringung wurde im Rahmen der Regionalstudien in Kapitel 5 gegeben. Für die Materialintensitätsanalyse und die Bewertung von Knappheitsfragen (Kapitel 0) wurden maximale und minimale Elektromobilitätsszenarien genutzt, um darzustellen, welche Auswirkungen eine sehr niedrige oder eine sehr hohe Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen auf die Treibhausgasemissionen, den abiotischen Materialbedarf sowie die Nachfrage nach kritischen Rohstoffen hat.

Unterkapitel 4.4 betrachtete mithilfe eines Neuwagenmarktmodells die Auswirkungen verschiedener Änderungen der Rahmenbedingungen hinsichtlich der Entwicklung der Fahrzeugtechnologie auf den Neuwagenmarkt in Deutschland. Ein besonderer Fokus lag auf dem Absatz von Elektrofahrzeugen. Daraus resultierte mithilfe eines Bestandsmodells die Zahl

zugelassener elektrifizierter Fahrzeuge in Deutschland. Die in Unterkapitel 4.4 dargestellten Untersuchungsergebnisse legen nahe, dass erst deutlich nach 2020 Fahrzeuge mit der Option, die Batterie an der Steckdose aufzuladen, signifikant im Fahrzeugbestand zu finden sein werden. Bis Ende 2020 werden lediglich knapp über 290 000 solcher Fahrzeuge im deutschen Fahrzeugbestand prognostiziert (Abb. 7-5). Hybridfahrzeuge ohne Plug-in machen in den Ergebnissen allerdings schon im Jahr 2020 ca. 5 % des Fahrzeugbestands aus. Nach dem derzeitigen Stand werden diese für die Erreichung des Ziels, eine Millionen Elektrofahrzeuge bis 2020 auf der Straße zu haben, jedoch nicht berücksichtigt. Bis Ende des Jahres 2026 wird das Ziel von 1 Million Fahrzeugen erreicht. Bis 2030 kann diese Zahl dann jedoch deutlich gesteigert werden und es befinden sich schon mehr als zwei Millionen Elektrofahrzeuge im deutschen Pkw-Bestand. Zu diesem Zeitpunkt verfügt jeder vierte Pkw in Deutschland über einen elektrifizierten Antriebsstrang, der es erlaubt, zumindest kurze Strecken rein elektrisch und damit lokal emissionsfrei zu fahren (HEV). Bis 2040 trifft das auf über die Hälfte der Fahrzeuge zu, wobei ein Viertel der Fahrzeuge auch über die Option verfügt, die Batterie an einer Ladestation aufzuladen (PEV).

Alternativszenarien V21	Charakteristika
Alternativszenario 1 (STROM V21 A1)	Weltweit erfährt die Elektromobilität ein erhöhtes Wachstum, wodurch die Komponentenkosten schneller sinken und höhere Produktionskapazitäten für Elektrofahrzeuge zur Verfügung stehen.
Alternativszenario 2 (STROM V21 A2)	Weltweit wächst die Elektromobilität langsamer als im Basis-Szenario unterstellt, wodurch geringere Produktionskapazitäten zur Verfügung stehen und die Kosten für Komponenten - langsamer sinken.
Alternativszenario 3 (STROM V21 A3)	Gegenüber den Annahmen zur technologischen Entwicklung der Fahrzeuge im Basisszenario wird eine verdoppelte Effizienzsteigerung der elektrischen Komponenten des Antriebsstrangs unterstellt.

**Tab. 7-1: Überblick über die STROM V21 Szenarien**

Durch ein beschleunigtes globales Elektromobilitätswachstum – unterstellt wird, dass sich die Produktionskapazitäten für Elektrofahrzeuge schneller erhöhen und die Preise für z. B. Batterien und elektrische Maschinen schneller sinken – können höhere Bestandszahlen erreicht werden. Die Effekte aus dieser Änderung sind in den ersten Jahren kaum spürbar. Zwar kann die Anzahl der elektrifizierten Fahrzeuge bis 2020 um weitere 15 % gegenüber dem Basisszenario gesteigert werden allerdings machen hier Fahrzeuge ohne extern aufladbare Batterie den größten Anteil aus. Die Anzahl von PEV kann lediglich um 6 %, bis 2040 gegenüber dem Basisszenario um gut 12 % gesteigert werden. Unterstellt man hingegen eine langsamere Verbreitung von Elektrofahrzeugen weltweit, geht bis 2020 die Anzahl elektrifizierter Fahrzeuge gegenüber dem Basisszenario um 17 % zurück. Fahrzeuge mit Stecker erfahren einen Rückgang von 11 %.

Eine erhöhte Steigerung der Effizienz des elektrischen Antriebsstrangs gegenüber den Annahmen im Basisszenario kann zu einem größeren Marktanteil von PEV führen. Bis 2020 kann deren Anzahl um 10 % gegenüber dem Basisszenario gesteigert werden. Allerdings geht das auf Kosten der hybridelektrischen Fahrzeuge ohne externe Lademöglichkeit für die Batterie. Wird die Entwicklung auch über 2020 hinaus fortgeführt und die Effizienz der elektrischen Komponenten des Antriebsstrangs auch gegenüber dem Basisszenario weiter erhöht, können bis 2030 16 % mehr Plug-in-Fahrzeuge im Bestand vorhanden sein als zum selben Zeitpunkt im Basisszenario. Insbesondere können auch batterieelektrische Fahrzeuge von dieser Entwicklung profitieren und ihre Anzahl bis 2030 gegenüber dem Basisszenario um mehr als ein Viertel zunehmen, sodass in diesem Jahr mehr als eine Millionen batterieelektrische Fahrzeuge im Bestand zu finden sind. 2020 sind es selbst mit optimistischen Annahmen zur technischen Entwicklung und damit einer beschleunigten Steigerung der Antriebsstrangeffizienz lediglich knapp über 60 000 batterieelektrische Fahrzeuge auf deutschen Straßen.

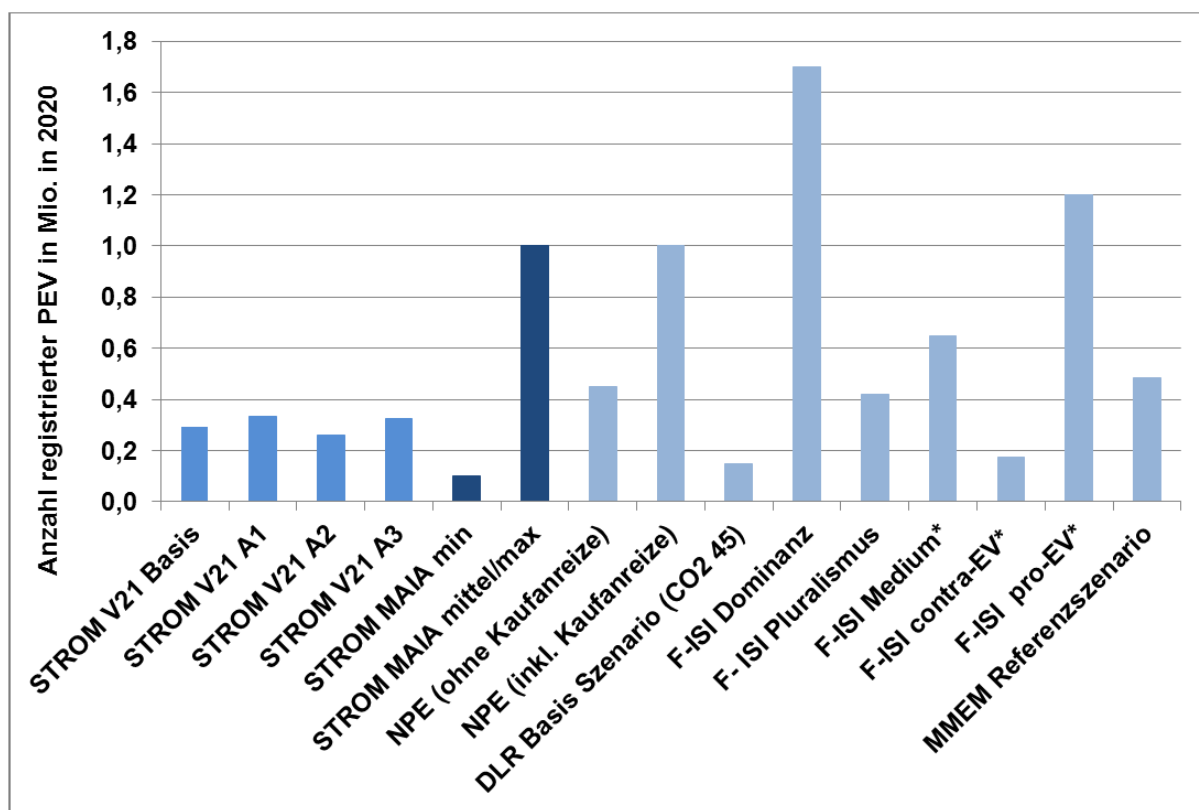


Abb. 7-5 Anzahl registrierter PEV in Deutschland in 2020 nach verschiedenen Studien und Szenarien

Quelle: eigene Darstellung nach Brokate et al. 2013, ESMT 2011, NPE 2011b, Shell 2009, Wietschel und Dalinger 2008, Plötz et al. 2013 (für ergänzende Informationen zu den Szenarien siehe Abschnitt 5.2.1)

Dass in Zukunft der Anteil elektrifizierter Fahrzeugkonzepte sowohl im Neuwagenmarkt wie auch im Fahrzeugbestand stetig steigen wird, prognostizieren alle STROM-Vektor21-Szenarien. Allerdings kann die Geschwindigkeit nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden. Während die verschiedenen Parameter der Fahrzeugtechnologieentwicklung mittel- und langfristig zu deutlichen Unterschieden in der Marktdurchdringung führen, haben sie kurzfristig (d. h. bis 2020) nur einen relativ geringen Einfluss auf den prognostizierten PEV-

Fahrzeugbestand (siehe Abb. 7-5). Studien, die starke Differenzen in ökonomischen und regulatorischen Rahmenbedingungen betrachten, zeigen auch bis 2020 deutliche Unterschiede im Bestand an Elektrofahrzeugen in der deutschen Flotte (siehe Abb. 7-5/Unterkapitel 5.3.4). Die Studien variieren in ihrer Methodik, Ausrichtung, ihren Annahmen und betrachteten Einflussfaktoren, sodass die Vergleichbarkeit der Ergebnisse eingeschränkt ist. Hinsichtlich des PEV-Bestands kommen die meisten Studien zum Ergebnis, dass das Regierungsziel von einer Millionen PEV bis 2020 nicht erreicht wird bzw. nur durch Implementierung starker Anreize zu erreichen ist, wie beispielsweise im NPE-Szenario durch die Einführung zusätzlicher Kaufanreize (NPE 2011). Im F-ISI-pro-EV-Szenario wird das Ziel ohne zusätzliche Anreize, aber unter der Annahme deutlicher Mehrpreisbereitschaft, einer Senkung der Infrastrukturkosten und einer vorteilhaften Preisentwicklung für Batterien, Kraftstoffe und Strom erreicht (Plötz et al. 2013).

In Deutschland werden elektrifizierte Fahrzeuge in Zukunft zunehmend an Bedeutung gewinnen. Ohne zusätzliche Maßnahmen zur Kostensenkung dieser Fahrzeuge wird diese Entwicklung allerdings eine gewisse Zeit in Anspruch nehmen – mit einer signifikanten Anzahl von Plug-in-Fahrzeugen im deutschen Pkw-Bestand ist dann erst nach 2020 zu rechnen.

Die zu erwartenden Auswirkungen einer zunehmenden Bedeutung von Elektrofahrzeugen in Deutschland auf den Ressourcenbedarf sowie die Treibhausgasemissionen werden in Unterkapitel 7.4 zusammengefasst.

### 7.3.3 Marktperspektiven international

In der Rückschau erreichte der deutsche Pkw-Markt mit 42 Mio. zugelassenen Pkw im Jahr 2010 nach den USA, Japan und China den viertgrößten Landesbestand in der Welt. Vom weltweiten Bestand von 842 Mio. Pkw im Jahr 2010 waren in der Bundesrepublik Deutschland jedoch nur 5 % zugelassen. Die Analysen der IEA zur weltweiten Pkw-Bestandsentwicklung bis zum Jahr 2050 ergab ein deutliches Wachstum für Indien und China, vor allem ausgelöst durch Bevölkerungswachstum und steigende Einkommen in diesen Ländern. Die Pkw-Bestände in Europa, den USA und Japan bleiben bis zum Jahr 2050 auf nahezu konstantem Niveau.

Gleichzeitig wird die voranschreitende Urbanisierung verkehrsbedingte Umweltwirkungen weiter verschärfen, sodass mit einem breiteren Angebot an alternativen Antrieben diese früher oder später auch einen Absatzmarkt finden werden (HWWI 2009).

Von der IEA entwickelte Szenarien untersuchen den Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors und wurden für Analysen im Rahmen des Projekts zugrunde gelegt. Das IEA-2DS-Szenario basiert auf einer Reihe zusätzlicher Maßnahmen im Verkehrssektor, die eine mit dem 2-°C-Ziel konsistente CO<sub>2</sub>-Reduktion sicherstellen sollen (Fulton 2014). Effizienten Fahrzeugen wie Elektrofahrzeugen wird dabei eine entscheidende Rolle zugeschrieben. Im IEA-2DS-Szenario erreichen PEV im Jahr 2020 global einen Marktanteil von ca. 6,8 % unter den Neuzulassungen (Abb. 7-6). Höhere Marktanteile (über 10 %) werden für Japan und China erwartet, während die USA und Indien unter dem globalen Durchschnitt liegen. EU-Länder wie Deutschland, Frankreich, UK und Italien liegen mit ca. 7,5 % leicht über dem globalen Durchschnitt. Eine deutliche Steigerung des globalen Absatzes

von Elektrofahrzeugen wird in dem Szenario bis 2030 mit dann ca. 30 % Marktanteil an den Neuzulassungen erreicht.

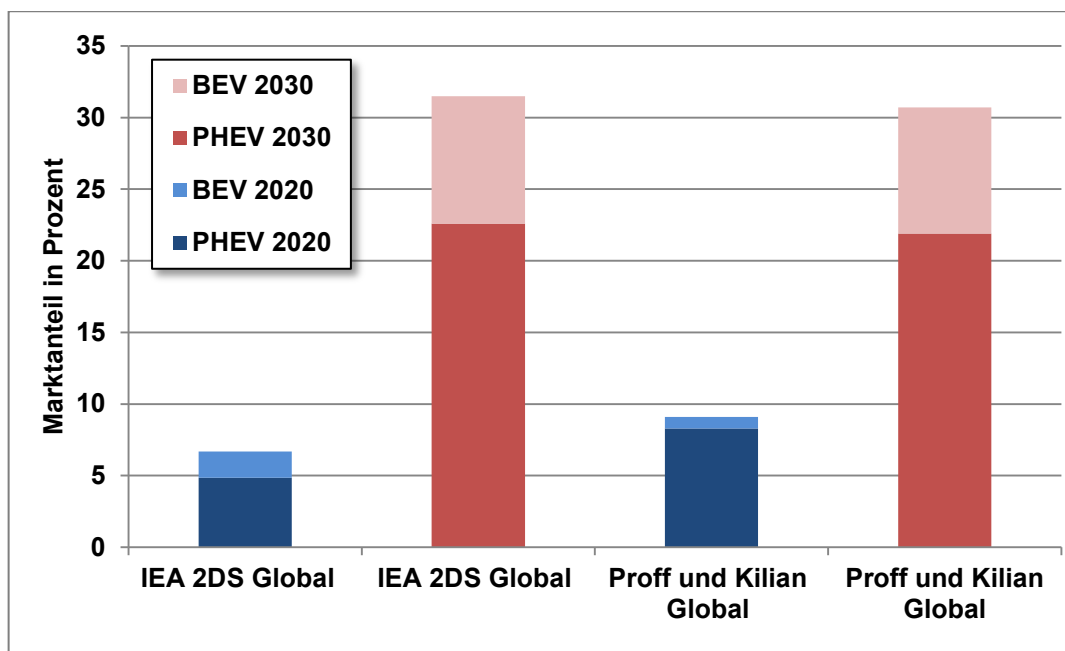


Abb. 7-6 Prognostizierter Marktanteil von BEV und PHEV (inkl. REEV) in 2020 und 2030 verschiedener Studien in Prozent

Quelle: eigene Darstellung nach Proff, Kilian 2012 – Base Case Szenario, Fulton 2014 – IEA-2DS-Szenario

Wie schnell sich welche Antriebe an welchen Märkten durchsetzen werden, ist derzeit bis zum Jahr 2050 nur schwierig vorherzusehen. In dieser Arbeit wurden deshalb die zwei Pkw-Bestandsszenarien aus der IEA Energy Technology Perspectives 2012 (IEA 2012:443) um zwei weitere Szenarien ergänzt, um eine breitere Sicht auf die möglichen Folgen der Motorisierungsoptionen für die Ressourcenverfügbarkeit zu bekommen (siehe Abschnitt 6.5.5). Die vier Szenarien gehen dabei analog der IEA von einem Pkw-Bestand von 1,8 bzw. 2,3 Milliarden Pkw in 2050 aus. Für beide Pkw-Bestände wird dann ein hoher Anteil (60 %) von PHEV, REEV, BEV und FCEV und ein niedriger Anteil (9 %) bis zum Jahr 2050 angenommen.

Unterkapitel 7.4 fasst die zu erwartenden Auswirkungen dieser Verkehrsszenarien auf den verursachten Ressourcenbedarf und die Emissionen von Treibhausgasen zusammen.

### 7.3.4 Einflussfaktoren auf die Marktentwicklung

#### Finanzielle Anreize und Marktentwicklung

Der hohe Preis von Elektrofahrzeugen ist eines der wesentlichen Hemmnisse für eine größere Nutzerakzeptanz und damit eine stärkere Marktentwicklung (Sierzchula et al. 2014). Zugleich verhindert ein ausbleibendes Marktwachstum, dass aufgrund der Massenfertigung die Komponenten- und Fahrzeugpreise sinken. Um die Entwicklung eines Massenmarkts zu fördern, hat die Mehrzahl der betrachteten Länder Steuernachlässe oder direkte Subventionen für den Kauf von Elektrofahrzeugen eingeführt. Deren Höhe wird je nach Land unterschiedlich bemessen: In den USA liegt sie abhängig von der Batteriekapazität bei max. 5400 Euro, in Japan werden zwei Drittel der Preisdifferenz zu konventionellen Pkw, aber maximal

6300 Euro gezahlt. Ein ähnlich hoher Zuschuss wird in Großbritannien (gekoppelt an den Fahrzeugpreis) sowie in Frankreich (gestaffelt nach CO<sub>2</sub>-Emission, de facto nach BEV und PHEV/REEV) gewährt. Sehr hohe Subventionen je Fahrzeug werden in Norwegen gewährt. Der Nachlass auf die extrem hohe Kfz-Zulassungssteuer beträgt bereits bei kleinen BEV mehr als 10 000 €, hochmotorisierte größere BEV profitieren noch deutlicher. Insgesamt weisen BEV in Norwegen günstigere Gesamtkosten (TCO) als vergleichbare konventionelle Fahrzeuge auf. Eine solche Überkompensation der Mehrkosten gelingt ansonsten nur in Dänemark für BEV und in den Niederlanden für PHEV, während in anderen Ländern die Kostendifferenz nur mehr oder weniger stark verringert, aber nicht aufgehoben wird.

Die vergleichende Analyse der Regionalstudien hat ebenso wie andere Untersuchungen (ICCT 2014, Sierzchula et al. 2014) eine deutliche Korrelation zwischen der Höhe von Kaufanreizen und dem Marktanteil von xEV an den gesamten Neuzulassungen eines Landes belegt. Abb. 7-7 zeigt den Zusammenhang zwischen Marktanteil und Höhe der Förderung: Insbesondere in Norwegen und den Niederlanden, wo BEV bzw. PHEV günstiger als konventionelle Vergleichsfahrzeuge sind, entwickelt sich der Markt rapide. Andererseits wird deutlich, dass der Preis nicht der einzige Einflussfaktor ist: Trotz relativ hoher Subventionen in Großbritannien bleibt ein Marktwachstum dort vorerst aus.

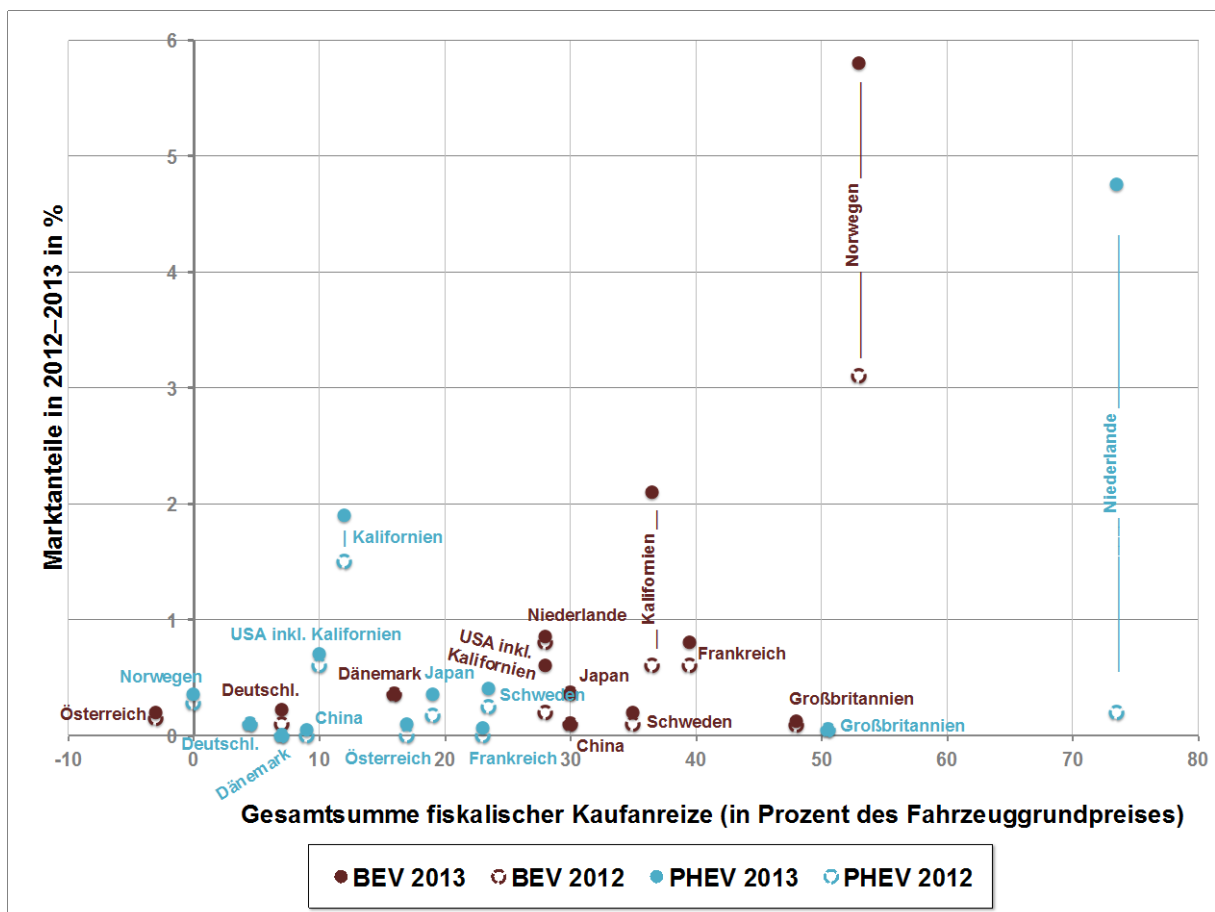


Abb. 7-7 Kaufanreize (als Anteil des Fahrzeuggrundpreises) für BEV und PHEV im Vergleich zu Marktanteilen 2012 und 2013 für ausgewählte Länder

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von ICCT 2014



### Infrastrukturverfügbarkeit

Aufgrund ihrer beschränkten Reichweite sind die Nutzungsmöglichkeiten von Elektrofahrzeugen limitiert. Ein dichtes und verlässlich verfügbares Ladeinfrastrukturnetz kann dazu beitragen, das Problem der begrenzten Reichweite zu kompensieren.

Die öffentlich geförderte Entwicklung der Infrastruktur erfolgte in den meisten betrachteten Ländern parallel zur FuE-Förderung sowie Gewährung von Kaufanreizen für xEV. Dabei wird der Aufbau von Stationen zum einen in räumlich begrenzten Gebieten im Rahmen von Modellprojekten oder Demonstrationsvorhaben gefördert, insbesondere in Deutschland, Japan, China oder Großbritannien. Zum anderen werden Subventionen für den Aufbau öffentlicher, z. T. auch privater Infrastruktur vergeben, etwa in den USA, Japan, Großbritannien oder Norwegen. Betrachtet man den Zusammenhang zwischen der Dichte der Ladeinfrastruktur und dem Marktanteil von Elektrofahrzeugen, fällt Norwegen mit einer (bezogen auf die Einwohner, nicht auf die Fläche) sehr hohen Netzdichte und einem sehr hohen Marktanteil auf. Für die anderen Länder sind allerdings keine klaren Korrelationen erkennbar. Entscheidender als die Dichte der Ladeinfrastruktur dürften Struktur des Infrastrukturnetzes sowie Zugänglichkeit der Stationen verschiedener Anbieter zur Entstehung eines verlässlichen Ladernetzes beitragen.

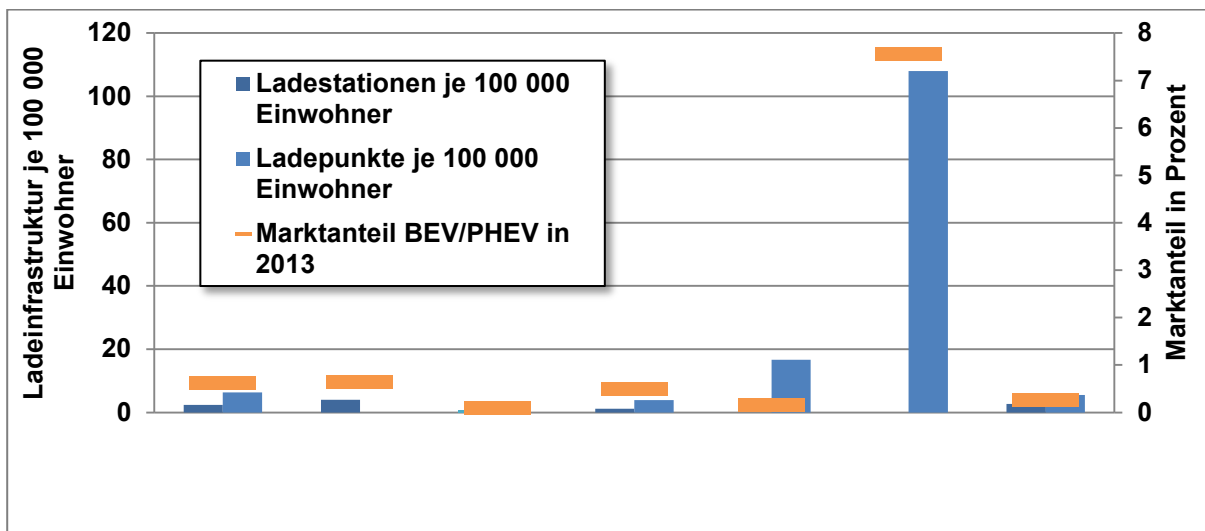


Abb. 7-8 Ladeinfrastruktur und Marktanteile

Quelle: eigene Darstellung nach AFDC 2014, BDEW 2014, IA-HEV 2013, NEV 2014

### Modellvielfalt

Einige im Rahmen der STROM-Begleitforschung interviewte Experten sehen die Modellvielfalt als wichtigen Faktor bei der Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen. Aktivitäten renommierter Hersteller schaffen zum einen größeres Kundenvertrauen in die Zukunftsfähigkeit der Technologie, zum anderen können potenzielle Kunden Fahrzeuge wählen, die hinsichtlich Größe, Preis, Marke und weiterer Faktoren ihren Präferenzen entsprechen.

Stellt man die globalen Verkäufe den verfügbaren Serienmodellen gegenüber (Abb. 7-9), zeigen sich parallele Entwicklungen. Hier liegt eine Interdependenz beider Faktoren nahe: Einerseits begünstigt die größere Modellpalette eine positive Marktentwicklung, andererseits steigt durch den wachsenden Markt der Anreiz, elektrifizierte Modelle zu entwickeln.

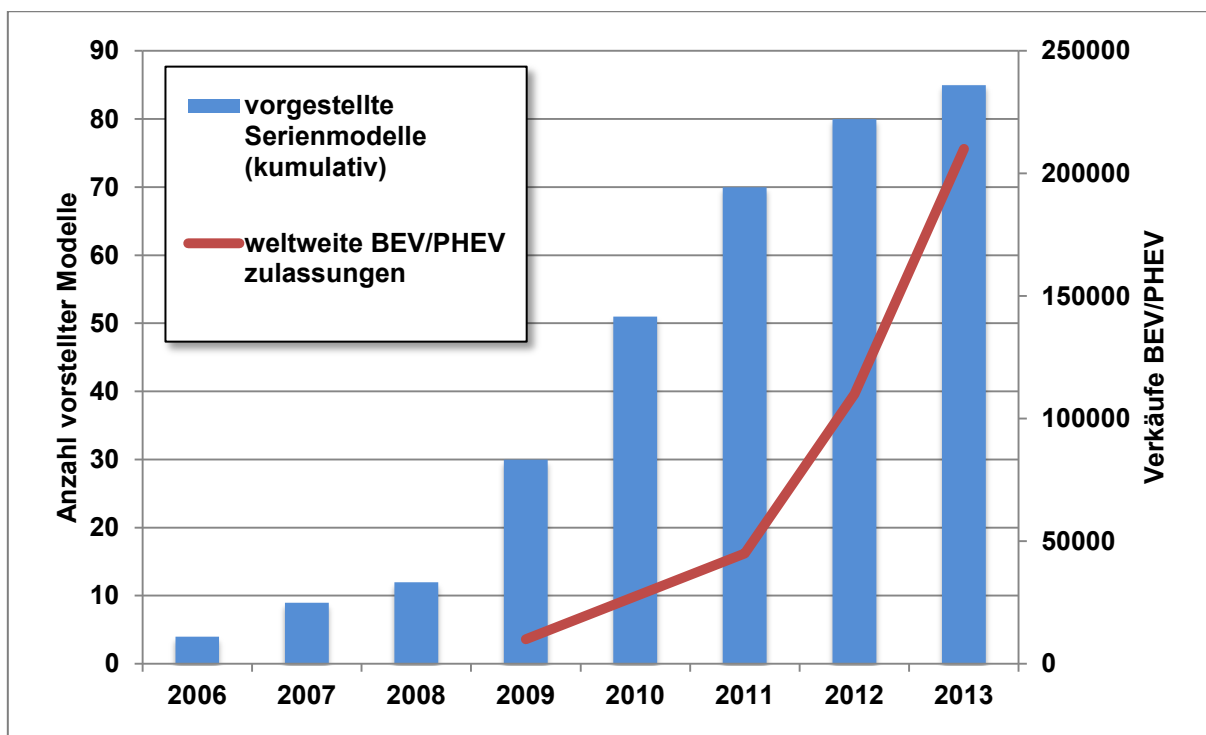


Abb. 7-9 BEV/PHEV-Serienmodelle (kumulativ über die Jahre) und weltweite Verkäufe

Quelle: Fahrzeugdatenbank DLR (Serienmodelle), ICCT 2014 (weltweite Verkäufe)

Kleinräumig ließ sich diese Entwicklung sehr deutlich in Norwegen beobachten, wo trotz vorhandener Anreize ein starkes Marktwachstum zunächst lange ausblieb. Mit der Einführung ausländischer Elektrofahrzeuge auf den norwegischen Markt seit 2010 ging ein starkes Marktwachstum einher, das überwiegend durch Neuzulassungen von Fahrzeugen ausländischer Hersteller getrieben wurde (vgl. Abschnitt 5.2.2)

### Nutzerakzeptanz

Die Marktentwicklung für Elektrofahrzeuge wird aktuell noch deutlich durch die geringe Kundenakzeptanz gehemmt. Wesentliche hemmende Faktoren sind Mehrpreis, begrenzte Reichweite sowie limitierte Infrastrukturverfügbarkeit, wobei diese Faktoren regional zum Teil unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Beispielsweise wird in Norwegen durch die Steuerbegünstigungen für Elektrofahrzeuge der Mehrpreis ausgeglichen und weitere finanzielle Vorteile wie eine Mautbefreiung können zu einem Gesamtkostenvorteil von Elektrofahrzeugen gegenüber konventionell angetriebenen führen. Im Gegensatz dazu ist für preissensitive Käufer der Mehrpreis ein besonders starker Hemmfaktor. Laut den befragten Experten ist zwar eine sukzessive Preisreduktion bei Elektrofahrzeugen, preisliche Wettbewerbsfähigkeit aber erst in zehn bis fünfzehn Jahren zu erwarten. Mittelfristig wird ohne ausgleichende finanzielle Anreize der Mehrpreis ein wichtiger Hemmfaktor bleiben.

Auch hinsichtlich der insbesondere für reine batterieelektrische Fahrzeuge relevanten begrenzten Reichweite ist in naher Zukunft keine technologische Lösung zu erwarten. Zwar können graduelle Verbesserungen bei der Lithium-Ionen-Batterie, aber wesentliche Reichweitenverbesserungen erst mithilfe von Post-Lithium-Ionen-Batterien, laut Experten erst nach 2020, erreicht werden. In Regionen bzw. bei Nutzergruppen mit einer hohen Rate an Zweit- und Drittwagen kann die Reichweitenbegrenzung durch die Kombination mit konventionellen

Fahrzeugen eine geringere Bedeutung haben. Sowohl in Norwegen als auch in Kalifornien stehen den meisten Nutzern von Elektrofahrzeugen auch konventionelle Fahrzeuge zur Verfügung. In Japan hingegen besitzen die meisten Haushalte nur ein Auto.

Die Ladeinfrastruktur ist regional unterschiedlich stark entwickelt (siehe Abschnitt 5.3.1). Unabhängig vom Entwicklungsstand der Infrastruktur bekunden die Nutzer ein ausgeprägtes Interesse an einem weiteren Ausbau: Selbst in Regionen, in denen bereits eine große Anzahl Ladestationen installiert ist (wie beispielsweise in Norwegen oder Japan), wünschen die Nutzer weitere öffentliche Ladestationen und Schnellladestationen. Gleichzeitig wurde in verschiedenen Regionen festgestellt, dass die Fahrzeuge meist an Heimpladestationen oder semiöffentlichen Stationen geladen werden. Weniger dicht besiedelte Regionen profitieren hier von einem höheren Anteil an Heimplademöglichkeiten; oft sind private Abstellflächen oder Garagen mit Zugang zum Stromnetz verfügbar (beispielsweise in Norwegen oder Kalifornien). In den Großstädten Chinas oder Indiens sind Heimpladestationen weitaus schwieriger zu installieren. Auch weitere technologische, finanzielle und institutionelle Faktoren behindern einen Infrastrukturausbau. So wurden als zusätzliche Hemmfaktoren in China und Indien fehlendes Bewusstsein und Kenntnis von Elektrofahrzeugen identifiziert.

Neben Vorteilen durch regulatorische Rahmenbedingungen werden häufig Umweltfreundlichkeit und Innovativität positiv mit Elektrofahrzeugen assoziiert und spielen zum Teil auch als Kaufkriterium eine wichtige Rolle. Auch hier zeigen sich leichte regionale Unterschiede in der Bedeutung dieser Faktoren. Die Überprüfung und Quantifizierung der (empfundener) Umweltfreundlichkeit der Elektromobilität ist Gegenstand des folgenden Unterkapitels.

## 7.4 Umweltwirkung und Rohstoffkritikalität

*O. Soukup (WI), T. Koska (WI)*

Im Rahmen der Beschreibung der nationalen und internationalen Marktperspektiven wurde in Unterkapitel 7.3 bereits festgestellt, dass zukünftig mit steigenden Anteilen elektrifizierter Fahrzeuge am Pkw-Verkehr zu rechnen ist. Im Anschluss an einen Überblick über ökologische Aspekte politischer Förderstrategien wird im Folgenden zusammengefasst, welche Umwelteffekte mit den angenommenen Ausbauszenarien der Elektromobilität verbunden sind. Der Fokus liegt dabei auf der Bewertung von Ressourcenbedarf und Treibhausgasemissionen.

### 7.4.1 Politische Motive und Strategien

In allen betrachteten Regierungsstrategien wird als Ziel der Förderung von Elektromobilität angegeben, die CO<sub>2</sub>-Emissionen (und zum Teil weitere Schadstoffemissionen) senken zu wollen und die Abhängigkeit von fossilen Kraftstoffen zu verringern. In einigen Ländern wird die Zielsetzung der Emissionsminderung besonders stark betont und ist zum Teil namensgebend für Regierungsstrategien und Institutionen, etwa in Großbritannien mit dem „Office of Low Emission Vehicles“ (OLEV), in Norwegen mit der Initiative „Grønn Bil“ (Grünes Auto), in Kalifornien mit dem Gesetz zu „Zero Emission Vehicles“ oder in Japan mit den Förderprogrammen für „Low Emission Vehicles“ und „Clean Energy Vehicles“.

Auch die Senkung des Materialbedarfs durch Substitution Seltener Erden und durch Recycling wurde in verschiedenen Regierungsstrategien zur Elektromobilität thematisiert. Während

China und Indien das Thema nur am Rande adressieren, enthalten etwa die Strategien Deutschlands und Japans detaillierte Ausführungen hierzu. Die Ergebnisse der MAIA dieser Studie zeigen, dass Wechselwirkungen zwischen Maßnahmen zur Klima- und Ressourcenschonung zukünftig im Rahmen integrierter Strategien stärker zu berücksichtigen sind.

#### 7.4.2 Einbindung der Elektromobilität ins Energiesystem

Wenn Elektromobilität nicht nur zur Reduzierung lokaler Schadstoffemissionen, sondern auch zur CO<sub>2</sub>-Minderung beitragen soll, ist die Zusammensetzung des jeweiligen Strommixes und damit die CO<sub>2</sub>-Intensität der Stromerzeugung entscheidend. Hier unterscheiden sich die betrachteten Länder signifikant. China und Indien weisen mit einem hohen Kohlestromanteil sehr hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen je erzeugter kWh Strom auf, wie Abb. 7-10 zeigt. Solange der Strommix sich nicht signifikant ändert, können Elektrofahrzeuge hier keinen Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Reduktion leisten. Dagegen ist die CO<sub>2</sub>-Intensität in Norwegen (aufgrund eines hohen Wasserkraftanteils) und Frankreich (aufgrund der Bedeutung von Atomstrom) besonders niedrig; hier hat der Einsatz von Elektrofahrzeugen ein relativ hohes CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzial.

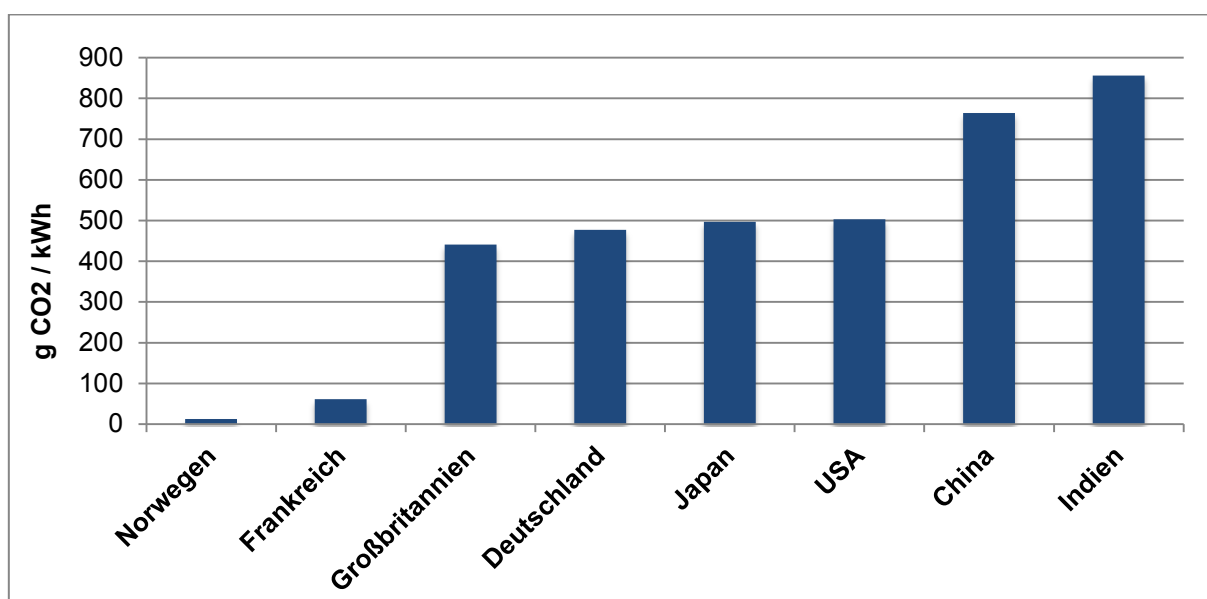


Abb. 7-10 CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung in g/kWh

Quelle: (IEA 2013), Daten von 2011

Alle betrachteten Länder streben, wenngleich mit unterschiedlicher Intensität, den weiteren Ausbau erneuerbarer Energien in den kommenden Jahrzehnten an – mit direkter Auswirkung auf die CO<sub>2</sub>-Einsparung durch Elektrofahrzeuge.

Ein starker Anstieg der Anteile Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung wird daher sowohl in den Szenariovergleichen für Deutschland als auch für die Welt berücksichtigt. Die Berechnungen zu lebenszyklusweiten THG-Emissionen der jeweiligen Fahrzeugflotten zeigen auch, wie sich die zunehmende erneuerbare Erzeugung auf die Emissionen der jeweiligen Szenarien auswirkt.

### 7.4.3 Materialbedarf und Treibhauspotenzial der Elektromobilität

Im Rahmen der Materialintensitätsanalyse (siehe Kapitel 0) wurde eine vergleichende, lebenszyklusweite Umweltbewertung acht unterschiedlicher Antriebskonzepte (konventionell und elektrisch) aus dem mittleren Fahrzeugsegment hinsichtlich des abiotischen Materialbedarfs und der Klimawirkung durchgeführt. Die Ergebnisse der Fahrzeugbewertungen wurden anhand von Verkehrsszenarien hochgerechnet, die Entwicklungen von Fahrzeugflotten in Deutschland und weltweit bis zum Jahr 2050 abbilden. Daneben wurden Versorgungsrisiken, wie zum Beispiel geologische Verfügbarkeit, Substituierbarkeit und Liefersituation untersucht und kritische Materialien identifiziert. Abschließend wurden mögliche Ansatzpunkte zur Minderung der identifizierten Impacts untersucht.

#### Ergebnisse der Materialintensitätsanalyse auf Fahrzeugebene

Bei der Betrachtung des *abiotischen Materialbedarfs* zeigt sich, dass elektrifizierte Konzepte - durch zusätzlich erforderliche Komponenten und deren Materialbedarf (z. B. Batterie, E-Motor) - in der Herstellung in der Regel rohstoffintensiver als verbrennungsmotorische (konventionelle) Konzepte sind. Die konventionellen Antriebskonzepte sind untereinander in ihrer Herstellung weitgehend vergleichbar. Nur durch den Erdgastank resultiert ein etwas höherer Materialbedarf bei Erdgasfahrzeugen. Über den betrachteten Zeitraum (bis 2050) zeigt sich eine Annäherung des Materialbedarfs in der Herstellungsphase von konventionellen und elektrifizierten Fahrzeugen. Der Materialbedarf der Herstellung wird bei allen Fahrzeugtypen zu einem großen Teil durch den Glider verursacht. Bei elektrifizierten Fahrzeugen wird er zudem mit steigender Speicherkapazität auch zunehmend durch die Herstellung der Batterie beeinflusst. Der Materialbedarf aller Fahrzeuge ist hauptsächlich auf nicht-kritische Stoffe wie Stahl und Kupfer zurückzuführen. Auch die Bereitstellungsvorketten möglicherweise kritischer Stoffe können aber einen erheblichen Beitrag zum Materialbedarf leisten: So entfällt z. B. der dritt- und viertgrößte Anteil des Materialbedarfs von batterieelektrischen Fahrzeugen auf den Einsatz von Gold und Lithium.

Die Nutzungsphase ist für den lebenszyklusweiten Materialbedarf konventioneller Fahrzeuge grundsätzlich im Vergleich zur Herstellung von untergeordneter Bedeutung. Für elektrifizierte Fahrzeuge gilt diese Aussage nur dann, wenn die Bereitstellung des Traktionsstroms überwiegend aus erneuerbaren Quellen erfolgt. Bei hohen Anteilen materialintensiver fossiler Brennstoffe am Strommix kann die Nutzungsphase dagegen den Materialbedarf von Elektrofahrzeugen entscheidend beeinflussen und ihn gegenüber konventionellen Fahrzeugen (über den Lebenszyklus betrachtet) mehr als verdoppeln.

Weil im Laufe des Betrachtungszeitraums von veränderten Fahrzeugparametern (Energiebedarf, Fahrzeugmasse) und insbesondere von einem verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien in der Nutzungsphase ausgegangen wird, ist ein Rückgang des gesamten Materialbedarfs aller Fahrzeuge im Zeitverlauf erkennbar - verbunden mit einer Annäherung der Konzepte untereinander. Dennoch verbleibt auch im Zieljahr der Analyse (2050) eine abiotische Rohmaterialmenge von rund 40 t für den Lebenszyklus von Benzin- und Dieselfahrzeugen sowie rund 50 t für Erdgas- und alle untersuchten Elektrofahrzeuge. Pkw bleiben demnach auch langfristig und insbesondere mit elektrifiziertem Antrieb materialintensive Güter, deren Gebrauch ein Vielfaches ihres Eigengewichts in Form von Materialentnahmen aus der natürlichen Umwelt verursacht.

Im Gegensatz zum Materialbedarf entfällt für die meisten Antriebskonzepte ein Großteil der *Klimawirkung* nicht auf die Herstellung, sondern auf die Nutzungsphase. Die (weniger relevanten) Emissionen der Herstellung weisen zwischen den Konzepten eine geringere Bandbreite auf als der zuvor geschilderte Materialbedarf. Sie sind zudem über den Betrachtungszeitraum weitgehend konstant. Die Treibhausgasemissionen der Nutzung unterscheiden sich dagegen je nach Konzept sehr stark: Durch ihre geringeren Nutzungsemissionen weisen hier Elektrofahrzeuge schon im Basisjahr 2010 im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen auch in Hinblick auf den gesamte Lebenszyklus geringere Treibhausgasemissionen auf. Im Zeitverlauf können unter der Annahme steigender Anteile erneuerbarer Energien im Strommix und der Wasserstoff-Bereitstellung weitere Reduktionspotenziale der Treibhausgasemissionen genutzt werden: Während die lebenszyklusweiten Emissionen von batterieelektrischen und Brennstoffzellenfahrzeugen zukünftig auf rund 7,5 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente reduziert werden können, verbleiben für die konventionellen Fahrzeuge Emissionen von etwa 26 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Unter Berücksichtigung des gesamten Lebensweges eines Kraftfahrzeugs von der Herstellung über die Nutzung bis zur Entsorgung zeigt sich demnach, dass elektrifizierte Fahrzeuge (je nach getroffenen Annahmen) bereits bei heutigem deutschem Strommix hinsichtlich der Klimawirkung Vorteile gegenüber konventionellen Antrieben aufweisen, die mit steigendem Anteil Erneuerbarer Energien in der Nutzung weiter ausgebaut werden können.

### **Ergebnisse der Materialintensitätsanalyse auf Szenarioebene**

Die Analyse ergibt, dass alle Elektromobilitätsszenarien für *Deutschland* gegenüber einer Referenzentwicklung ohne Elektromobilität über den gesamten Betrachtungszeitraum einen erhöhten *abiotischen Materialbedarf* aufweisen – und zudem mit steigender Elektrifizierung der Flotte auch der kumulierte abiotische Materialbedarf ansteigt. Dies ist insbesondere auf die Herstellung zusätzlicher materialintensiver Komponenten für Elektrofahrzeuge zurückzuführen. Der Vergleich absoluter Zahlen zur Entwicklung des Materialbedarfs innerhalb der Szenarien im Zeitverlauf zeigt zwar, dass etwa durch verbesserte Fahrzeugeigenschaften in allen Szenarien eine Reduktion des Materialbedarfs einzelner Dekaden innerhalb des Betrachtungszeitraums erreicht wird. Mit zunehmendem Anteil elektrifizierter Fahrzeuge fällt diese Reduktion des Materialbedarfs der letzten im Vergleich zur ersten Dekade jedoch zunehmend schwächer aus.

Die Elektrifizierung der Pkw-Flotten allein ist demnach nicht geeignet, den Materialbedarf des Pkw-Verkehrs in Deutschland gegenüber einer Flotte ohne elektrische Antriebe weiter zu senken. Um dieses Ziel zu erreichen, sind weitere Maßnahmen notwendig, wie z. B. Materialsubstitutionen in der Fahrzeugherstellung oder strukturelle Ansätze, die auf eine intelligentere Nutzung mit besserer Auslastung des Pkw-Verkehrs sowie auf verlängerte Nutzungsdauern der Fahrzeuge abzielen.

Bei der Interpretation des *weltweiten abiotischen Materialbedarfs* ist zu berücksichtigen, dass die verglichenen Szenarien abweichend von der konstanten Flottengröße der Deutschland-Szenarien von einem Wachstum der weltweiten Pkw-Flotten bis 2050 ausgehen. Die beiden Szenarien mit kleineren Fahrzeugflotten weisen im Vergleich zu den beiden Szenarien mit großen Fahrzeugflotten einen geringeren kumulierten Materialbedarf auf. Die Gegenüberstellung der Szenarien mit identischer Bestandsentwicklung zeigt, dass sich jeweils für das Szenario mit höherem Anteil elektrifizierter Antriebe auch der höhere kumulierte Materialbedarf ergibt. Im Gegensatz zu den Deutschland-Szenarien führt die Entwicklung des Pkw-Verkehrs weltweit in keinem der Szenarien zu einer Reduktion des Materialbedarfs einzelner Dekaden

im Zeitverlauf. Angenommene zukünftige Verbesserungen von Fahrzeugeigenschaften werden durch ein starkes Flottenwachstum deutlich überkompensiert.

Keines der betrachteten Welt-Szenarien erweist sich damit als geeignet, den absoluten Materialbedarf des weltweiten Pkw-Verkehrs gegenüber der heutigen Situation zukünftig zu reduzieren. Es erscheint auch unwahrscheinlich, dass dieses Ziel durch technische Weiterentwicklungen zur Reduktion des Herstellungsaufwandes erreicht werden kann. Die absolute Senkung des Materialbedarfs scheint lediglich durch eine Begrenzung des weltweiten Flottenwachstums gegenüber den in den Szenarien geschilderten Annahmen möglich.

Die berechneten kumulierten *THG-Emissionen* für *Deutschland* liegen je nach Szenario zwischen 4 und 5 Gt CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Im Gegensatz zum abiotischen Materialbedarf zeigt sich, dass alle Elektromobilitätsszenarien gegenüber einer Referenzentwicklung ohne Elektromobilität über den gesamten Betrachtungszeitraum niedrigere THG-Emissionen aufweisen, wobei mit steigendem Anteil elektrifizierter Fahrzeuge jeweils auch ein weiterer Rückgang der Emissionen verbunden ist. Die ermittelten THG-Einsparungen der STROM-Szenarien sind auf die bessere THG-Bilanz der elektrifizierten Fahrzeuge durch die zunehmende CO<sub>2</sub>-arme Bereitstellung von elektrischer Antriebsenergie aus erneuerbaren Quellen zurückzuführen.

Die Auswertung der Deutschland-Szenarien hinsichtlich der THG-Emissionen zeigt, dass die Elektrifizierung der Pkw-Flotten eine geeignete Maßnahme darstellt, um die THG-Emissionen des Pkw-Verkehrs in Deutschland zu reduzieren. Es kann dabei sowohl eine absolute Senkung der Emissionen im Zeitverlauf als auch eine Reduktion gegenüber einer Referenzentwicklung ohne Elektrofahrzeuge erreicht werden.

Die Auswertung der Szenarien hinsichtlich der *weltweiten THG-Emissionen* zeigt, dass ein umfassender Technologiewechsel zu alternativen Antrieben erforderlich ist, um trotz stark wachsender Fahrzeugflotten eine Reduktion der THG-Emissionen zu erreichen. Nur durch eine umfassende Umstellung der Bereitstellung von Antriebsenergien von fossilen auf regenerative Quellen kann so einerseits eine absolute Senkung der Emissionen im Zeitverlauf als auch eine Reduktion der kumulierten Emissionen gegenüber einer Referenzentwicklung mit reduziertem Anteil an Elektrofahrzeugen erreicht werden. Dennoch zeigt sich, dass die Emissionsreduktion auf Grund der Szenarioannahmen zum Flottenwachstum deutlich schwächer ausfällt als in den zuvor beschriebenen Deutschland-Szenarien.

### **Fazit abiotischer Materialbedarf und Treibhauspotenzial**

Die Modellierung des Materialbedarfs und der Treibhauspotenziale der Elektromobilität zeigt, dass die Förderung der Elektromobilität aus Sicht der Klimawirkung sinnvoll sein kann und einen Beitrag zu den politischen Klimaschutzziele leisten kann, wenn der Ausbau der ressourcenleichteren erneuerbaren Energien damit einhergeht. Denn für das Treibhauspotenzial ist die Art der Energie-Bereitstellung (fossile Kraftstoffe, verschiedene Strommixe) in der Nutzungsphase entscheidender für den Vergleich elektrischer und konventioneller Antriebe als die Emissionen der Herstellung.

Hinsichtlich des induzierten Materialbedarfs (inklusive Energierohstoffe) der Elektromobilität ergibt sich ein deutlich anderes Bild: Die Herstellung eines Elektroautos ist für den Materialbedarf der ausschlaggebendere Faktor im Vergleich zur Nutzung. Durch die zusätzlichen Komponenten (z. B. Batterie, Elektromotor) hat ein Elektroauto einen deutlich höheren Materialbedarf. Der Materialbedarf in der Nutzung (durch Energie-Bereitstellung) kann durch den

Ausbau der erneuerbaren Energien reduziert werden. Jedoch ist das Potenzial zur weiteren Senkung des Materialbedarfs der Nutzungsphase durch ausschließlich erneuerbaren Traktionsstrom begrenzt. Der grundsätzlich bestehende Zielkonflikt zwischen Ressourcen- und Klimaschutz lässt sich auf diesem Weg nur abschwächen, aber nicht beheben.

### **Kritikalität und Verfügbarkeit von Rohstoffen**

Bei der Elektromobilität bestehen deutlich größere Abhängigkeiten von kritischen Rohstoffen als bei den Erneuerbaren Energien, wie sie im Forschungsprojekt KRESSE (Wuppertal Institut 2014) betrachtet wurden.

Die eingesetzten Elektromotoren nutzen häufig Permanentmagneten auf der Basis von Seltenen Erden, da hiermit, aufgrund der hohen Feldstärke, erhebliche Gewichtsvorteile erreicht werden können. Bei den Seltenen Erden gibt es deutliche Unterschiede hinsichtlich der Verfügbarkeit. Für Neodym und Praesodym erscheint die Verfügbarkeit unkritisch, wohingegen für Dysprosium und Terbium, das zur Erhöhung der Curie-Temperatur eingesetzt werden muss, die Nachfrage aus der Elektromobilität bezogen auf die betrachteten Szenarien eine kritische Größe erreicht. Ergänzend muss darauf hingewiesen werden, dass eine hohe Abhängigkeit von wenigen Lieferländern (insbesondere China, nachrangig USA, perspektivisch u. U. auch Grönland) besteht und Lieferbeschränkungen einzelner Länder erhebliche Auswirkungen auf die Versorgungslage haben können. Recycling kann kurzfristig kaum zu einer Entspannung der Versorgungslage beitragen, da einerseits der Anfall an Sekundärmaterial noch zu gering ist und andererseits einem hochwertigen Recycling von Seltenerdpermanentmagneten noch verfahrenstechnische Hürden im Wege stehen. Daneben zeigen sich auch erhebliche Unterschiede hinsichtlich des TMR der Gewinnung von Seltenen Erden in Abhängigkeit von den Lagerstätten. Kurz- und mittelfristig ist jedoch nicht zu erwarten, dass die hinsichtlich des TMR ungünstigeren Lagerstätten in bedeutendem Maße genutzt werden.

Die meisten Batterien für Elektrofahrzeuge werden auf Lithium basieren. Aufgrund seiner Eigenschaften (leichtestes Metall und zugleich höchstes Normalpotenzial) gibt es kein besseres Element für Batterien. Die Nachfrage nach Lithium aus der Elektromobilität erreicht in den betrachteten Szenarien eine kritische Größe, bei der unklar ist, ob sie gedeckt werden kann. Wichtig ist hierbei, dass bereits ein einmaliger Bestandsaufbau einen erheblichen Teil der Lithiumreserven (ca. 21 %) benötigt. Auch unter der Annahme einer Etablierung von Recyclingsystemen für Lithium verbleibt daher ein kritisch hoher Bedarf nach Lithium aus der Elektromobilität. Daneben zeigt sich, dass bei einer steigenden Nachfrage nach Lithium mit steigenden Umweltbelastungen bei der Gewinnung und steigenden Gewinnungskosten zu rechnen ist. Ursache hierfür ist, dass nach der absehbaren Erschöpfung der geologisch günstigsten Salzlagerstätten andere Lagerstätten genutzt werden müssen, die eine aufwändigere Aufbereitung erfordern. Die derzeitigen Preise für Lithium sind jedoch bereits so hoch, dass auch einige der relativ aufwendig zu gewinnenden und aufzubereitenden Rohstoffe (insbesondere australische Pegmatitgesteine) wirtschaftlich gewonnen und aufbereitet werden können. Die ansonsten aber zu erwartenden Kostensenkungsmöglichkeiten bei steigenden Produktionsmengen werden sich jedoch möglicherweise nicht einstellen.

Der Bedarf der anderen betrachteten potenziell kritischen Stoffe (z. B. Silber, Germanium oder Tantal) erscheint insgesamt unkritisch, da die Verfügbarkeit entweder unkritisch ist oder geeignete unkritische Substitute verfügbar sind.





## 8 Handlungsempfehlungen

Die Untersuchungen im Rahmen der STROMbegleitung haben Forschungs- und Handlungsbedarf identifiziert.

Die weitere Forschungsförderung von Schlüsseltechnologien der Elektromobilität sollte gezielt die zuvor geschilderten umweltpolitischen Synergien und Zielkonflikte einbeziehen und die Erforschung ressourcen- und klimaschonender Mobilität fördern.

Heutige Elektrofahrzeuge verwenden zu einem überwiegenden Anteil elektrische Maschinen mit einer permanenten Erregung. Auch die Analyse der globalen Forschungslandschaft offenbart einen Schwerpunkt bei diesem Maschinentyp, der zum jetzigen Zeitpunkt signifikante Mengen von Seltenerdmetallen benötigt. Unter der Annahme, dass auch in zukünftigen elektrifizierten Fahrzeugen ein ähnlicher Anteil mit permanenterregten elektrischen Maschinen ausgestattet ist und sich der Anteil dieser Fahrzeuge am globalen Fahrzeugmarkt signifikant erhöht, ist mit Engpässen bei der Versorgung mit Seltenerdmetallen, insbesondere bei Dysprosium, zu rechnen.

Dieser Entwicklung kann durch verschiedene Maßnahmen entgegengewirkt werden, die deshalb in der zukünftigen Forschungsausrichtung stärker berücksichtigt werden sollten: vermehrte Nutzung alternativer Maschinentypen wie Asynchronmaschinen und fremderregter Synchronmaschinen, Weiterentwicklung von Substitutionsmaterialien und Entwicklung von Recyclingverfahren, die eine Rückgewinnung von Seltenerdmetallen wie Neodym oder Dysprosium aus Permanentmagneten in großem Maßstab ermöglichen.

Ein sehr hoher Anteil heutiger Elektrofahrzeuge ist zudem mit Lithium-Ionen-Batterien ausgestattet. Ein signifikanter Anstieg des Absatzes von Elektrofahrzeugen kann somit perspektivisch zu sehr hohen Stoffströmen führen, die ohne Intervention kritische Versorgungssituationen hervorrufen können. Mögliche Handlungsoptionen zur Sicherung des Lithiumbedarfs sind die Weiterentwicklung und der großflächige Einsatz gezielter Recyclingverfahren wie auch der Einsatz alternativer Batterietechnologien und Energieträger.

Insgesamt weisen Komponenten elektrifizierter Fahrzeuge wie Elektromotoren und Batterien derzeit einen hohen abiotischen Materialbedarf auf. Damit die angestrebte Reduktion von Treibhausgasen durch die Elektromobilität nicht zu massiven Rohstoffentnahmen aus den natürlichen Lagerstätten führt, sollte bereits in Forschung und Entwicklung auf eine Minimierung des Einsatzes materialintensiver Komponenten geachtet werden.

Während in Deutschland zum Teil ein technologischer Rückstand bei der Erforschung und Entwicklung von Schlüsseltechnologien der Elektromobilität, insbesondere im Bereich der Leistungselektronik auf Bauteil- (Halbleiter) und Materialebene (Halbleitermaterialien) besteht, bescheinigen internationale Experten der deutschen Industrie Stärken bei der Aufbau- und Verbindungstechnik sowie der Systemintegration. Um die Vorteile von Wide-Bandgap-Halbleitermaterialien (WBG) zu nutzen und dem Vorsprung Japans und damit der Abhängigkeit von japanischen Zulieferern entgegenzuwirken, sollten WBG-Materialien eine zentrale Rolle in der deutschen Forschungsförderung einnehmen. Als technologische Enabler der Hochintegration besitzen diese Materialien hohe Relevanz für die Ausgestaltung des Antriebsstrangs zukünftiger elektrifizierter Fahrzeuge. Für die Anforderungen im Automotivebereich sollte die Förderung neben Siliziumcarbid (SiC) insbesondere auf Galliumnitrid

(GaN) fokussiert sein. Weiterhin wird empfohlen, „technologieoffen“ auch Potenziale alternativer WBG-Materialien wie Galliumarsenid (GaAs) zu erforschen und die dadurch zusätzlich veränderten Anforderungen an und Möglichkeiten für die Aufbau- und Verbindungstechnik zu untersuchen.

Forschungsaktivitäten betreffend ist neben den USA vor allem Japan bei der Leistungselektronik Treiber der Technologieentwicklung und kann zusätzlich insbesondere in den letzten fünf Jahren hohe Steigerungsraten im Forschungs- und Entwicklungsoutput verzeichnen. Dennoch wird das deutsche Forschungs- und Fördersystem im internationalen Vergleich als vorbildlich eingestuft. Besonders wertvoll sind die ausgeprägten Kooperationsaktivitäten von Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen mit konkreter Anwendungsorientierung über alle Wertschöpfungsstufen hinweg. Die enge Zusammenarbeit von Forschungsinstitutionen, OEM und KMU sollte deshalb weiter gestärkt und gefördert und zudem geprüft werden, inwiefern strategische Kooperationen im Bereich der Leistungselektronik intensiviert und Vernetzungsmöglichkeiten insbesondere bei Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zu aktiven Bauelementen und bei innovativen Materialien auf europäischer sowie internationaler Ebene zu verstärken sind.

Um den Markt für Elektrofahrzeuge in Deutschland zu stärken, kann auf die Erfahrungen aus verschiedenen Regionen im globalen Umfeld der Elektromobilität zurückgegriffen werden. Einen positiven Effekt auf die Nutzerakzeptanz und somit den Absatz von Elektrofahrzeugen können nicht monetäre Anreize entfalten – etwa der Zugang zu Stellplätzen oder bestimmten Fahrspuren. Diese Maßnahmen müssen jedoch so gesteuert werden, dass andere Nutzer keine Nachteile erfahren. In der Umsetzung von Anreizsystemen hat Deutschland im Vergleich zu den weiterentwickelten Märkten für Elektromobilität noch Ausbaupotenzial.

Als wirkungsvoll wird auch die Förderung des Einsatzes von Elektrofahrzeugen in Flotten eingeschätzt, da sie ihre Vorteile dort durch hohe Laufleistungen und die Nutzung für spezifische Einsatzbereiche besonders gut ausspielen können. Demonstrationsprojekte können einen wichtigen Beitrag zur Erforschung der Alltagstauglichkeit von Fahrzeugen, Ladesystemen und Mobilitätsangeboten liefern. Hierfür ist es notwendig, die Rolle der Forschung im Rahmen von Demonstrationsprojekten zu stärken. Demonstrationsprojekte fördern insofern aber auch die Marktentwicklung, als potenzielle Kunden an Elektrofahrzeuge herangeführt werden, was wiederum positiven Einfluss auf zukünftige Kaufentscheidungen haben kann.

Allgemeine finanzielle Kaufanreize für Elektrofahrzeuge können kurz- und mittelfristig zu einer schnelleren Marktentwicklung beitragen, sofern sie die Preisdifferenz zu konventionellen Fahrzeugen hinreichend ausgleichen. Für einen dauerhaft stabilen und von Subventionen unabhängigen Markt leisten sie jedoch nur einen geringen Beitrag, weshalb ihre Einführung gegenüber längerfristig wirksamen Investitionen abgewogen werden sollte.

Zudem konnte gezeigt werden, dass es aus Kundensicht sinnvoll ist, primär die Kosten elektrischer Komponenten und somit der Fahrzeuge zu reduzieren, um dann auch einen Fokus auf die Verbesserung der Antriebsstrangeffizienz zu legen. Der direkte Einfluss des Fahrzeugkaufpreises auf die für den Nutzer relevanten Gesamtkosten ist bei elektrifizierten Fahrzeugen insgesamt höher als die durch eine erhöhte Effizienz erreichten Einsparungen bei den Betriebskosten. Dennoch ist die Verbesserung kundenrelevanter Leistungseigenschaften von Schlüsseltechnologien der Elektromobilität von essenzieller Bedeutung, um so zum Beispiel ausreichende Reichweiten zu ermöglichen.

Für Fahrzeughersteller ist derzeit zu empfehlen, auf Märkten mit finanziellen Kaufanreizen aktiv zu sein, um auch kurzfristig einen angemessenen Fahrzeugabsatz sicherzustellen. Dabei hat die Steigerung der Vielfalt elektrifizierter Fahrzeugmodelle und -varianten einen positiven Einfluss auf die Akzeptanz und Marktentwicklung auf internationalen Märkten. Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die Nutzererwartungen weltweit immer noch stark an den Eigenschaften konventioneller Fahrzeuge orientieren. Um Geschäftsmodelle und Marketingstrategien entwickeln zu können, die die Akzeptanz und Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen stärken, ist weitere Forschung zu Kundenerwartungen und Potenzialen verschiedener Geschäftsmodelle notwendig.



## 9 Literaturverzeichnis

- ABN AMRO Bank; VM Group. (2012). *The silver book*.
- ACEA. (2013). *The Automobile Industrie Pocket Guide*.
- ACEA. (2014). *Consolidated Registrations by Country*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.acea.be/statistics/tag/category/by-country-registrations>
- Adriaanse, A., Bringezu, S., Hammond, A., Moriguchi, Y., Rodenburg, E., Rogich, D., et al. (1997). *Resource Flows: The material basis of industrial economics*. Washington DC: World Resources Institut.
- AFDC. (2014). *DOE - Alternative fuels data center*. Abgerufen am 12. 09 2014 von <http://www.afdc.energy.gov/data/>
- AGEB. (2014). *Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2013 nach Energieträgern, Stand: 7. Februar 2014*. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen.
- AK Prof. Dr. Martin Winter, WWU Münster. (2011). *LIB2014 BMBF Innovationsallianz*. Abgerufen am 2014 von <http://www.lib2015.de>
- André, M. (2004). *Real-world driving cycles for measuring cars pollutant emissions - Part A: The ARTEMIS European driving cycles*. Institut National de Recherche sur les Transport et leur Securite.
- Angerer, G., Erdmann, L., Marscheider-Weidemann, F., Scharp, M., Lüllmann, A., Handke, V., et al. (2009). *Rohstoffe für Zukunftstechnologien: Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage*. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Karlsruhe: Fraunhofer IRB Verlag.
- Aral. (2011). *Trends beim Autokauf 2011*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [http://www.bp-dateiserver.de/aral/pdf/aral\\_studie\\_trends\\_beim\\_autokauf\\_2011.pdf](http://www.bp-dateiserver.de/aral/pdf/aral_studie_trends_beim_autokauf_2011.pdf)
- Arnold, K., Dienst, C., & Lechtenböhmer, S. (2010). Integrierte Treibhausgasbewertung der Prozessketten von Erdgas und industriellem Biomethan in Deutschland. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung*, 22(2), S. 135–152.
- ATZextra. (2013). *IAA 2013 - Premieren, Innovationen, Visionen*. Springer Automotive Media.
- ATZextra. (14 2014). *Forschungsprojekt VISIO.M*. Springer Automotive Media.
- Avere-France. (2014). *Baromètre Avere-France des ventes de véhicules électriques et hybrides - bilan 2013*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.france-mobilite-electrique.org/les-ventes-de-voitures-electriques-en-france,291.html?lang=fr>
- BAFA. (2009). *Richtlinie zur Förderung des Absatzes von Personenkraftwagen*.
- BAFA. (2014). *Amtliche Mineralöl-daten - ausgewählte Statistiken*. Abgerufen am 02. 02 2015 von [http://www.bafa.de/bafa/de/energie/mineraloel\\_rohoel/ausgewaehlte\\_statistiken/index.html](http://www.bafa.de/bafa/de/energie/mineraloel_rohoel/ausgewaehlte_statistiken/index.html)

- BAST. (2002). *Fahrleistungserhebung*.
- Baumann, U. (16. 09 2014). *Ein-Liter-Auto mit 5 Sitzen*. Abgerufen am 03. 02 2015 von [www.Auto-Motor-Sport.de](http://www.auto-motor-sport.de): <http://www.auto-motor-und-sport.de/news/renault-eolab-auf-dem-autosalon-paris-ein-liter-auto-mit-5-sitzen-8613426.html>
- BDEW. (2014). *Branche treibt den Ausbau von Ladesäulen voran. Pressemitteilung vom 15.04.2014*. Berlin/Brüssel.
- BEM. (2014). *Bundesverband Emobilität (BEM)-Stellungnahme zum Entwurf eines Gesetzes zur Bevorrechtigung der Verwendung von elektrisch betriebenen Fahrzeugen (EmoG)*. Berlin.
- Bernhardt, W. (2014). Lithium-Ion Batteries Advances and Applications. In G. Pistoia, *The Lithium-Ion Battery Value Chain - Status, Trends and Implications*. Elviesier.
- Berylls Strategy Advisors. (2014). *Zulieferstudie*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [http://www.berylls.com/media/wissen/veroeffentlichungen/140926\\_automobil-industrie\\_verlustfrei\\_3rd-global-top-automotive-suppliers-2013.pdf](http://www.berylls.com/media/wissen/veroeffentlichungen/140926_automobil-industrie_verlustfrei_3rd-global-top-automotive-suppliers-2013.pdf).
- BGBl. (2012). *Anlage VIII (§ 29 Absatz 1 bis 4, 7, 9, 11 und 13) Untersuchung der Fahrzeuge*.
- BMBF. (2010). *Bekanntmachung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) von Richtlinien über die Förderung zum Themenfeld "Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM)"*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.bmbf.de/foerderungen/14611.php>
- BMBF. (2012). *Elektromobilität – das Auto neu denken. Handreichung zum Statusseminar Elektromobilität 2012 in Bonn*.
- BMF. (2013). *Bericht des Bundesministeriums der Finanzen über die Tätigkeit des EKF 2012 und über die 2013 zu erwartende Einnahmen- und Ausgabenentwicklung. April 2013*.
- BMVBS. (2000). *Verkehr in Zahlen 2000*. DIW Berlin.
- BMVBS. (2011). Abgerufen am 10. 12 2014 von BMVI (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur): [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/VerkehrUndMobilitaet/elektromobilitaet-deutschland-als-leitmarkt-und-leitanbieter.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/VerkehrUndMobilitaet/elektromobilitaet-deutschland-als-leitmarkt-und-leitanbieter.pdf?__blob=publicationFile)
- BMVBS. (2013). *Verkehr in Zahlen 2012/2013*. DIW Berlin.
- BMVI. (2014a). *BMVI (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur)*. Abgerufen am 10.12 2014 von <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2014/093-dobrindt-elektromobilitaetsgesetz.html>
- BMVI. (2014b). *Kabinett verabschiedet Elektromobilitätsgesetz*. Abgerufen am 02.10. 2014 von [www.BMVI.de](http://www.BMVI.de): <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2014/093-dobrindt-elektromobilitaetsgesetz.html>
- BMVI. (2014). *Modellregionen Elektromobilität. Internetpräsenz*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/modellregionen-elektromobilitaet.html?nn=36210>

- BMW. (2014). *Projekt "SLAM - Schnellladenetz für Achsen und Metropolen" in Hannover gestartet. Internetpräsenz*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Industrie,did=634248.html>
- BMW, BMVBS, BMU, BMBF. (Oktober 2011). Richtlinien zur Förderung von Forschung und Entwicklung „Schaufenster Elektromobilität“.
- Bozem, K., Nagel, A., Rath, V., & Haubrock, A. (2013). *Elektromobilität: Kundensicht, Strategien, Geschäftsmodelle. Ergebnisse der repräsentativen Marktstudie FUTURE MOBILITY*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Braess, H.-H., & Seiffert, U. (2011). *Handbuch Kraftfahrzeugtechnik* (Bd. 6. Auflage). Vieweg+Teubner.
- Braune, G. (2013). *Handelsblatt*. Abgerufen am 13. Mai 2014 von <http://www.handelsblatt.com/politik/international/wahlsiegerin-kuendigt-kurswende-an-groenland-bohrt-gigantischen-rohstoffschatz-an/7921916.html>
- Bringezu, S., Schütz, H., & Moll, S. (2003). Rationale for and Interpretation of Economy-Wide Materials Flow Analysis and Derived Indicators. *Journal of Industrial Ecology* (7), S. 43-63.
- British Columbia. (2013). *Transportation Rebates and Incentives. The Clean Energy Vehicle (CEV) Program - Rebates and Incentives*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.livesmartbc.ca/incentives/transportation/CEV-rebates.html>
- British Geological Survey. (2011). *BGS*. Abgerufen am 13. Mai 2014 von <https://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=1638>
- Brokate, J., Özdemir, E., & Kugler, U. (2013). *Der Pkw-Markt bis 2040: Was das Auto von morgen antreibt*. Stuttgart: DLR.
- Bryon Capital Markets. (2010). *Electric Metals Green Book - Lithium: the next strategic material*.
- Buchert, M., Jenseit, W., Dittrich, S., Hacker, F., Schüler-Hainsch, E., Ruhland, K., et al. (2011). *Ressourceneffizienz und Ressourcenpolitische Aspekte des Systems Elektromobilität - Arbeitspaket 7 des Forschungsvorhabens OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotentiale von Elektrofahrzeugen*. Darmstadt: Öko-Institut.
- Buchert, M., Jenseit, W., Merz, C., & Schüler, D. (2011). *Ökobilanz zum „Recycling von Lithium-Ionen-Batterien“ (LithoRec)*. Öko-Institut, Darmstadt.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. (2008). *BGR*. Abgerufen am 12 2014 von [www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min\\_rohstoffe/Projekte/Lagerstättenforschung-abgeschlossen/Indium.html](http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Projekte/Lagerstättenforschung-abgeschlossen/Indium.html).
- Bundesregierung. (2007). *Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm*. Abgerufen am 28. November 2014 von <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/eckpunkt-fuer-ein-integriertes-energie-und-klimaprogramm,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>
- Bundesregierung. (2009). *Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung*. Berlin.



- Bundesregierung. (2011). *Regierungsprogramm Elektromobilität*. Abgerufen am 01.08. 2014 von <http://www.foerderinfo.bund.de/elektromobilitaet>
- Bundesregierung. (2014). *Elektroautos attraktiver machen*. Abgerufen am 17.06. 2014 von [www.Bundesregierung.de:  
http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2014/03/2014-03-27-elektromobilitaet-hauptstadtkonferenz.html](http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2014/03/2014-03-27-elektromobilitaet-hauptstadtkonferenz.html)
- Burnham, A. (2012). *Updated Vehicle Specifications in the GREET Vehicle-Cycle Model*. Argonne National Laboratory, Center for Transportation Research. Argonne: Argonne National Laboratory.
- Burnham, A., Wang, M., & Wu, Y. (2006). *Development and Applications of GREET 2.7 — The Transportation Vehicle-Cycle Model*. Argonne National Laboratory, Energy Systems Division. Argonne: Argonne National Laboratory.
- Castor, S., & Hedrick, J. (2006). Rare Earth Elements. In *Industrial Minerals* (S. 769-792). Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration.
- CATARC. (2013). *Information on CATARC (China Automotive Technology and Research Centre)*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [http://www.catarc.ac.cn/ac\\_en/index.htm](http://www.catarc.ac.cn/ac_en/index.htm)
- CCFA. (2014). *Tableau de bord automobile – Année 2013 CCFA, Paris*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [http://www.ccfa.fr/IMG/pdf/tdb37\\_annee\\_2013b.pdf](http://www.ccfa.fr/IMG/pdf/tdb37_annee_2013b.pdf)
- Chang, S.-B. (Januar 2012). Using patent analysis to establish technological position: Two different strategic approaches. *Technological Forecasting and Social Change*, S. 3-15.
- China Association of Automobile Manufacturers. (2013). *Sales and production of new energy vehicles*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.caam.org.cn/AutomotivesStatistics/20140113/1065112305.html>
- Cho, S., Eom, S.-B., & Shin, J.-S. (2012). *Korean government status report: The first automotive policy master plans (2012-2016)*. Korean Automobile Testing and Research Institute, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea.
- City, Mobility & Transport Laboratory. (2013). *Information from expert interview*.
- Classen, M., Althaus, H.-J., Blaser, S., Scharnhorst, W., Tuchschnid, M., Jungbluth, N., et al. (2009). *Life Cycle Inventories of Metals*.ecoinvent 2.1, Dübendorf.
- CleanVehicleEurope. (2012). *'Clean Vehicle Portal provided by the European Commission, Info per Member State'*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.cleanvehicle.eu/info-per-country-and-eu-policy/member-states/france/national-level>
- Costa, E. (2013). *Rio de Janeiro takes the first step towards the development of sustainable development. Electric Cars Report*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://electriccarsreport.com/2013/06/rio-de-janeiro-takes-the-first-step-towards-the-development-of-sustainable-mobility/>
- Daimler. (2011). *Nachhaltigkeitsbericht*. Abgerufen am 14. 06 2014 von <http://nachhaltigkeit.daimler.com/reports/daimler/annual/2012/nb/German/3560/volks-wirtschaftliche-bedeutung-der-automobilindustrie.html?printDoc=2>

- Dane, A. (2013). *Electric Avenue: Are South Africa's Cars Going Electric? Think Africa Press*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://thinkafricapress.com/south-africa/shifting-mobility-electric-cars>
- DAT. (2013). *DAT-Report*. Autohaus.
- DAT. (2013). *E10-Verträglichkeit von Kraftfahrzeugen*. Abgerufen am 02. 02 2015 von <http://www.dat.de/e10liste/e10vertraeglichkeit.pdf>
- DDI. (2014). *Schaufenster Elektromobilität*. (D. D. Institut, Produzent) Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://schaufenster-elektromobilitaet.org>
- Deloitte. (2011). *Gaining traction: Will consumers ride the electric vehicle wave? India results, Deloitte, August 2011*.
- Deloitte. (2012). *Deloitte Announces Results of Consumer Attitude Survey on Electric Vehicles and Next Generation Vehicles. Deloitte Tohmatsu Consulting*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [http://www.tohmatsu.com/assets/Dcom-Japan/Local%20Assets/Documents/Press/Release/EN/jp\\_p\\_press120905\\_en\\_090113.pdf](http://www.tohmatsu.com/assets/Dcom-Japan/Local%20Assets/Documents/Press/Release/EN/jp_p_press120905_en_090113.pdf)
- Department of Heavy Industries. (2012). *National Electric Mobility Mission Plan 2020*. New Dehli.
- DIW. (2010). *Elektromobilität: Kurzfristigen Aktionismus vermeiden, langfristige Chancen nutzen*. Abgerufen am 25. 01 2015 von [http://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw\\_01.c.358259.de/10-27-1.pdf](http://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.358259.de/10-27-1.pdf)
- DLR. (2012). *Marktperspektiven zukünftiger Fahrzeugkonzepte: Wettbewerb technischer Lösungen, der Kunde und die Rahmenbedingungen, Präsentation 7. März 2012 DLR Energiespeichersymposium Stuttgart, Dr. Stephan A. Schmid*. Abgerufen am 15. 09 2013
- DLR. (2013). *Der PKW-Markt bis 2040: Was das Auto von morgen antreibt*. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Fahrzeugkonzepte. Berlin: Mineralölwirtschaftsverband.
- DLR, Fraunhofer IWES & IFNE. (2012). *Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland mit Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global*.
- DOE. (2014). *Electric Vehicle Charging Station Locations*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [http://www.afdc.energy.gov/fuels/electricity\\_locations.html](http://www.afdc.energy.gov/fuels/electricity_locations.html)
- Du, X., & Graedel, T. (2011). Global Rare Earth In-Use Stocks in NdFeB Permanent Magnets. *Journal of Industrial Ecology*, 15(6), S. 836–843.
- Dudenhöffer, K. (2013). *Akzeptanz von Elektroautos in Deutschland und China. Eine Untersuchung von Nutzungsintegrationen im Anfangsstadium der Innovationsdiffusion. Dissertation Universität Duisburg-Essen*.
- Dünnebeil, F., Lambrecht, U., Goletz, M., Zittel, W., Schmidt, P., Müller-Langer, F., et al. (2013). *Analyse aktueller Szenarien zur Entwicklung des Verkehrs in Deutschland und dessen Umweltwirkungen*. BMVBS.

- EDTA. (2014). *Electric Drive Sales Dashboard*. Abgerufen am 2014 09 von <http://electricdrive.org/index.php?ht=d%2Fsp%2Fi%2F20952%2Fpid%2F20952>
- EEA. (2014). *Monitoring CO2 emissions from new passenger cars in the EU: summary of data for 2013*, EEA, Kopenhagen.
- EEO. (2014). *European Electro-Mobility Observatory*. Abgerufen am 08. Januar 2015 von <http://ev-observatory.eu/category/resources/>
- EGVI. (2013). *Presentation*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.egvi.eu/about-the-egvi-ppp/presentation>
- Eichlseder, H., & Klell, M. (2012). *Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik: Erzeugung, Speicherung, Anwendung*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- ESMT. (2011). *Marktmodell Elektromobilität* . Abgerufen am 19. 09 2014 von [www.mmem.eu](http://www.mmem.eu)
- ETN. (2015). *Elektromobilität NRW - Kompetenzzentren*. Abgerufen am 15. 01 2015 von <http://www.elektromobilitaet.nrw.de/kompetenzzentren.html>
- EU. (2000). *RICHTLINIE 2000/53/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge* . Brüssel.
- Euro NCAP. (2014). *Results released in 2014*. Abgerufen am 02. 02 2015 von <http://www.euroncap.com/results/2014.aspx>
- Eurocities. (2010). *Case study: Public charging points for electric vehicles, Warsaw*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.eurocities.eu/eurocities/documents/Case-study-Public-charging-points-for-electric-vehicles-Warsaw-WSPO-8PM4ZT>
- Europäische Kommission. (2002). *Kraftfahrzeugvertrieb und -kundendienst in der Europäischen Union. Verordnung (EG) Nr. 1400/2002*.
- European Commission. (1999). *Case No COMP/M.1406 - HYUNDAI / KIA. REGULATION (EEC) No 4064/89 MERGER PROCEDURE*. Abgerufen am 02. 02 2015 von [http://ec.europa.eu/competition/mergers/cases/decisions/m1406\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/competition/mergers/cases/decisions/m1406_en.pdf)
- European Commission. (2013a). *Horizon 2020. Work Programme 2014-2015. Smart, green and integrated transport. European Commission Decision C (2013)8613 of 10 December 2013*.
- European Commission. (2013). *Paving the way to electrified road transport. Publicly funded research, development and demonstration projects on electric and plug-in vehicles in Europe*. JRC, Luxemburg, Publication Office of the European Union.
- European Commission. (2014). *Reducing CO2 emissions from passenger cars*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index_en.htm)
- European Green Cars Initiative. (2014). *Project Portfolio. European Green Cars Initiative PPP. Calls 2010-2013*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [http://www.egvi.eu/uploads/Modules/Publications/project-portfolio-egci-\(june2014\).pdf](http://www.egvi.eu/uploads/Modules/Publications/project-portfolio-egci-(june2014).pdf)
- European Parliament. (2011). *Future Metal Demand from Photovoltaic Cells and Wind Turbines Investigating the Potential Risk of Disabling a Shift to Renewable Energy Systems*. Abgerufen am 13. 05 2014 von

- [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2011/471604/IPOL-JOIN\\_ET%282011%29471604\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2011/471604/IPOL-JOIN_ET%282011%29471604_EN.pdf)
- eurostat. (2010). *Europa in Zahlen*.
- Eurostat. (2014). *EU Vehicles in use*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/transport/data/main\\_tables#](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/transport/data/main_tables#)
- EV Norway. (2014). *Norway's EV future*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.evnorway.no/#/future>
- EV Sales. (2014). *Japan December 2013 - Nissan Edition*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://ev-sales.blogspot.de/2014/01/japan-december-2013.html>
- EVI. (2013). *Global EV Outlook*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [http://www.iea.org/topics/transport/subtopics/electricvehiclesinitiative/EVI\\_GEO\\_2013\\_FullReport.pdf](http://www.iea.org/topics/transport/subtopics/electricvehiclesinitiative/EVI_GEO_2013_FullReport.pdf)
- EVObsession. (2014). *World Electrified Vehicle Sales - 2013 Report*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://evobsession.com/world-electrified-vehicle-sales-2013/>
- Fan, C., Gnann, T., Hettesheimer, T., Marscheider-Weidemann, F., Reiß, T., Sauer, A., et al. (2013). *Elf Thesen zur Entwicklung von Energiespeichern für die Elektromobilität in Deutschland. Strategiebericht im Rahmen des Begleitforschungsprojektes Energiespeicher-Monitoring für die Elektromobilität (EMOTOR)*. Fraunhofer ISI, Karlsruhe.
- Fernholz, G. (11. 03 2014). *Strategien und Maßnahmen der BMBF-Forschungsförderung in der Elektromobilität*. Berlin.
- FfE. (2009). *Energiezukunft 2050: Teil II - Szenarien*. Abgerufen am 27. 01 2015 von [http://www.ffe.de/download/berichte/Endbericht\\_Energiezukunft\\_2050\\_Teil\\_II.pdf](http://www.ffe.de/download/berichte/Endbericht_Energiezukunft_2050_Teil_II.pdf)
- Finpro. (2013). *Electric Mobility in India 2013*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://de.scribd.com/doc/202761422/Finpro-Electric-Mobility-in-India-2013>
- Flamberg, S., Rose, S., & Stephens, D. (2010). *Analysis of Published Hydrogen Vehicle Safety Research*. National Highway Traffic Safety Administration.
- Fortis Bank. (2009). *The Yellow Book*.
- Fraunhofer ISI. (2013). *Energiespeicher-Monitoring für die Elektromobilität EMOTOR*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.isi.fraunhofer.de/isi-de/t/projekte/emotor.php>
- Fraunhofer ISI. (2013). *Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge*. Karlsruhe: Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
- Fraunhofer-Gesellschaft. (2014). *Institute und Einrichtungen*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.fraunhofer.de/>
- Frieske, B., Klötzke, M., Koska, T., & Hüging, H. (2013). *Arbeitspapier der STROMbegleitung - Ergebnisse der Forschungsreise Japan*. DLR & Wuppertal Institut.
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Doka, G., Dones, R., Heck, T., et al. (2005). Theecoinvent database: Overview and methodological framework. *International Journal of Life Cycle Assessment*(10), S. 3-9.

- Fulton, L. (2014). *Scenarios for the IEA Energy Technology Perspectives 2012, unpublished data*.
- Fulton, L., Lah, O., & Cuenot, F. (2013). Transport Pathways for Light Duty Vehicles: Towards a 2 Degree Scenario. *Sustainability*, 2013/5 S. 1863-1874.
- Gaines, L., & Nelson, P. (2010). Lithium Ion Batteries: Examining material demand and recycling issues. *Argonne National Laboratory*.
- GML. (2012). *Greenland Minerals and Energy Ltd*. Abgerufen am 13. Mai 2014 von <http://www.ggg.gl/projects/kvanefjeld-rees-uranium-zinc/history/>
- Gnann, T., P., P., F., Z., & M., W. (2012). *Elektromobilität im Personenwirtschaftsverkehr-eine Potenzialanalyse*. Fraunhofer ISI.
- Green Car Congress. (2014). Abgerufen am 20. Oktober 2014 von <http://www.greencarcongress.com/2014/08/20140814-doe.html>
- Green Car Congress. (2015). *Green Car Congress*. Abgerufen am 16. 01 2015 von Production and sales of plug-ins boomed in China in 2014: <http://www.greencarcongress.com/2015/01/production-and-sales-of-plug-ins-boomed-in-china-in-2014.html>
- Green car reports. (2014). *China Buys More Cars, But U.S. Trounces It In Plug-In Cars*. Abgerufen am 30. 10 2014 von [http://www.greencarreports.com/news/1090439\\_china-buys-more-cars-but-u-s-trounces-it-in-green-cars](http://www.greencarreports.com/news/1090439_china-buys-more-cars-but-u-s-trounces-it-in-green-cars)
- Green Car Reports. (2014). *China Buys More Cars, But U.S. Trounces It In Plug-In Cars* . Abgerufen am 30. 10 2014 von [http://www.greencarreports.com/news/1090439\\_china-buys-more-cars-but-u-s-trounces-it-in-green-cars](http://www.greencarreports.com/news/1090439_china-buys-more-cars-but-u-s-trounces-it-in-green-cars)
- Grønn Bil. (2013). *Informationen aus Experteninterview*.
- Grønn Bil. (2014). *Over 20.000 ladbare biler på norske veier*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.gronnbil.no/nyheter/over-20-000-ladbare-biler-paa-norske-veier-article366-239.html>
- Hacker, F., Harthan, R., Matthes, F., & Zimmer, W. (2009). *Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe*. Abgerufen am 2015. 01 26 von [http://acm.eionet.europa.eu/docs/ETCACC\\_TP\\_2009\\_4\\_electromobility.pdf](http://acm.eionet.europa.eu/docs/ETCACC_TP_2009_4_electromobility.pdf)
- Hannisdahl, O., Malvik, H., & Wensaas, G. (2013). *The future is electric! The EV revolution in Norway – explanations and lessons learned. EVS 27 Conference Proceedings , Barcelona*.
- Haugneland, P., & Kvisle, H. (2013). *Norwegian electric car user experiences. EVS27 Conference Proceedings, Barcelona*.
- Helms, H., Jöhrens, J., Hanusch, J., Höpfner, U., Lambrecht, U., & Pehnt, M. (2011). *UMBReLA - Grundlagenbericht*.
- Helms, H., Lambrecht, U., Jöhrens, J., Pehnt, M., Liebich, A., Weiß, U., et al. (2013). *Ökologische Begleitforschung zum Flottenversuch Elektromobilität "Twin Drive"*.

- Hettesheimer, T., Hummen, T., Marscheider-Weidemann, F., Schröter, M., Lerch, C., Stahlberger, M., et al. (2013). *Energiespeicher Monitoring für die Elektromobilität (EMOTOR) - Bericht zur Produktion und Ökobilanzierung*. Fraunhofer ISI, Karlsruhe.
- Hofmann, P. (2010). *Hybridfahrzeuge*. SpringerWienNewYork.
- Hülsebusch, D., Ungethüm, J., Braig, T., & Dittus, H. (Oktober 2009). Multidisziplinäre Simulation von Fahrzeugen. *Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ)*.
- Huss, A., Maas, H., & Hass, H. (2013). *Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and power trains in the European context: TANK-TO-WHEELS (TTW). Report Version 4*. Joint Research Centre European Commission. Luxembourg: European Commission.
- HWWI. (2009). *Mobilität - Strategie 2030*. Hamburg: Berenberg Bank.
- Hybridcars.com. (2014). *Dashboard – Plug-in Electric Cars Sales Numbers*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.hybridcars.com/december-2013-dashboard/>
- IA-HEV. (2012). *The Implementing Agreement for cooperation on Hybrid and Electric Vehicle Technologies and Programmes (IA-HEV), IA-HEV Member Countries*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.ieahev.org/by-country>
- IA-HEV. (2013). *Hybrid and Electric Vehicles. The electric drive gains traction. The Implementing Agreement for cooperation on Hybrid and Electric Vehicle Technologies and Programmes (IA-HEV)*
- ICCT. (2014). *Driving Electrification. A global comparison of fiscal incentive policy for electric vehicles. ICCT, Washington*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_EV-fiscal-incentives\\_20140506.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EV-fiscal-incentives_20140506.pdf)
- ICCT. (2014). *European Vehicle Market Statistics*. International Council on Clean Transportation. Berlin: ICCT.
- ICRA. (2011). *Indian Passenger Vehicle Industry: Growth Momentum to Continue*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.icra.in/Files/ticker/PV-Industry-201103.pdf>
- IEA. (2012a). *Energy Technology Perspectives 2012*. International Energy Agency
- IEA. (2012b). *World Energy Outlook 2012*. International Energy Agency
- IEA. (2013). *IEA Statistics: CO2 emissions from fuel combustion*. Abgerufen am 01. 09 2014 von <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/co2emissionsfromfuelcombustionhighlights2013.pdf>
- IFA. (2014). *France's sectors of excellence – Automotive industry*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.invest-in-france.org/Medias/Publications/225/AutomotiveIndustry.pdf>
- infas, & DLR. (2008). *Mobilität in Deutschland 2008*.
- InsideEVs. (2014). *Monthly Plug-In Sales Scorecard*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://insideevs.com/monthly-plug-in-sales-scorecard/>
- IVT. (2004). *Anhang Fahrleistungserhebung 2002* (Bd. 1).

- Jackson, W. D., & Christiansen, G. (1993). *International Strategic Minerals Inventory Summary Report - Rare Earth Oxides*. U. S. Geological Survey. USGS.
- Jaskula, B. W. (2010). *Gallium*. U.S. Geological Survey. USGS.
- KBA. (2011). *Neuzulassungen und Besitzumschreibungen von Kraftfahrzeugen nach Segmenten, Modellreihen, CO<sub>2</sub>-Emissionen und Kraftstoffverbrauch*. Kraftfahrt-Bundesamt
- KBA. (2012). *Bestand an Personenkraftwagen am 1. Januar 2012 gegenüber 1. Januar 2011 nach Segmenten und Modellreihen (Zulassungen ab 1990)*. Kraftfahrt-Bundesamt
- KBA. (2013a). *Fahrzeugzulassungen (FZ) Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern Monatsergebnisse*. Kraftfahrt-Bundesamt
- KBA. (2013b). *Neuzulassungen*. Abgerufen am 12. 07 2013 von [http://www.kba.de/nn\\_125398/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/neuzulassung\\_en\\_\\_node.html?\\_\\_nnn=true](http://www.kba.de/nn_125398/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/neuzulassung_en__node.html?__nnn=true)
- KBA. (2014c). *Neuzulassungen von Personenkraftwagen im Dezember 2013 nach Marken und Modellreihen*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [http://www.kba.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ/2013\\_monatlich/FZ10/fz10\\_2013\\_12\\_pdf.pdf;jsessionid=8807B726B7AB1921EF45032CC1D32A1C.live1042?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](http://www.kba.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ/2013_monatlich/FZ10/fz10_2013_12_pdf.pdf;jsessionid=8807B726B7AB1921EF45032CC1D32A1C.live1042?__blob=publicationFile&v=6)
- KBA. (2014d). *Neuzulassungen von Personenkraftwagen in den Jahren 2004 bis 2013 nach Segmenten*. Abgerufen am 26. 08 2014
- KBA. (2014b). *Neuzulassungen von Personenkraftwagen nach Segmenten und Modellreihen im Dezember 2013*. Kraftfahrt-Bundesamt
- KBA. (2014a). *Fahrzeugstatistiken*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [http://www.KBA.de/cln\\_031/nn\\_124584/DE/Statistik/Fahrzeuge/fahrzeuge\\_\\_node.html?\\_\\_nnn=true](http://www.KBA.de/cln_031/nn_124584/DE/Statistik/Fahrzeuge/fahrzeuge__node.html?__nnn=true)
- KIT. (2012). *Deutsches Mobilitätspanel (MOP)*. Bericht 2011/2012, Institut für Verkehrswesen.
- Klink, J. (2012). *Elektromobilität in China – Förderpolitik und Modellregionen*. In: *mobilität morgen 2012(4): 24-27*. Online verfügbar: [http://www.mobilitaet.biz/fileadmin/Dateien/IMG/mobilitaet\\_morgen/Magazin\\_Mobilitaet\\_Morgen\\_2.2012.pdf](http://www.mobilitaet.biz/fileadmin/Dateien/IMG/mobilitaet_morgen/Magazin_Mobilitaet_Morgen_2.2012.pdf).
- Klötzke, M., Hörtl, A., & Trommer, S. (2013a). *Arbeitspapier der STROMbegleitung - Ergebnisse der Forschungsreise Nordamerika*. DLR.
- Klötzke, M., Hüging, H., Koska, T., Trommer, S., Frieske, B., Hörtl, A., et al. (2014a). *Arbeitspapier der STROMbegleitung - Ergebnisse der Forschungsreisen*. DLR & Wuppertal Institut.
- Klötzke, M., Trommer, S., & Hillebrand, P. (2014b). *Arbeitspapier der STROMbegleitung - Ergebnisse der Forschungsreise China*. DLR & Wuppertal Institut.
- Klötzke, M., Veitengruber, J., Hüging, H., & Koska, T. (2013b). *Arbeitspapier der STROMbegleitung - Ergebnisse der Forschungsreise Indien*. DLR & Wuppertal Institut.

- Koch, J., & Meisinger, C. (2011). *E-Mobility-Patentindex. Patentanwälte Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schanhäusser*. München.
- Konietzko, S., & Gernuks, M. (2011). *Ressourcenverfügbarkeit von sekundären Rohstoffen: Potenzialanalyse für Lithium und Kobalt, Abschlussbericht, Oktober 2011, Umbrella-Arbeitsgruppe Ressourcenverfügbarkeit im Rahmen der BMU-geförderten Projekte LithoRec und LiBRI*.
- Korthauer, R. (2014). *Handbuch Elektromobilität*. EW Medien und Kongresse.
- Kreyenberg, D., Lischke, A., Berg, F., Duennebeil, F., C., H., Knörr, W., et al. (2014). *Erneuerbare Energien im Verkehr - Potenziale und Entwicklungsperspektiven verschiedener erneuerbarer Energieträger und Energieverbrauch der Verkehrsträger*. Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI).
- Kunz, C. (2013). *Studienvergleich: Entwicklung der Volllaststunden von Kraftwerken in Deutschland*. Agentur für Erneuerbare Energien.
- Liedtke, C., Bienge, K., Wiesen, K., Teubler, J., Greiff, K., Lettenmeier, M., et al. (24. August 2014). Resource Use in the Production and Consumption System - The MIPS Approach. *Resources*(3), S. 544-574.
- Liedtke, M., & Elsner, H. (2009). Seltene Erden. *Commodity Top News*(31).
- Long, K. R., van Gosen, B. S., Foley, N. K., & Cordier, D. (2010). *The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States - A Summary of Domestic Deposits and Global Perspective*. U. S. Geological Society. USGS.
- MarkLines. (2014). *Plans for Green Vehicles*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [http://www.marklines.com/en/green\\_vehicles/](http://www.marklines.com/en/green_vehicles/)
- McKinsey & Company. (2010). *Beitrag der Elektromobilität zu langfristigen Klimaschutzziele und Implikationen für die Automobilindustrie, Überblick erste Ergebnisse und Überlegungen*. McKinsey & Company im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin.
- McKinsey. (2010). *A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis*. McKinsey & Company, Brussels.
- Meissner, H.-R. (2014). *Die Bedeutung der Automobilindustrie für die deutsche und europäische Wirtschaft*. In: *Blick Log Notizen über Wirtschaft, Finanzen, Management und mehr*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.blicklog.com/2013/10/31/die-bedeutung-der-automobilindustrie-fr-die-deutsche-und-europische-wirtschaft/>
- METI. (2010). *Next Generation Vehicle Strategy*. Abgerufen am 01. 12 2012 von <http://www.env.go.jp/air/report/h21-01/>
- Ministry of Transportation Ontario. (2013). *Electric Vehicle Incentive Program*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.mto.gov.on.ca/english/dandv/vehicle/electric/electric-vehicles.shtml>
- Mock, P. (2010). *Entwicklung eines Szenariomodells zur Simulation der zukünftigen Marktanteile und CO2-Emissionen von Kraftfahrzeugen (VECTOR21)*. Stuttgart: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR).



- Mock, P., German, J., Bandivadekar, A., Riemersma, I., Ligterink, N., & Lambrecht, U. (2013). *From Laboratory to Road: A comparison of official and "real-world" fuel consumption and CO2 values for cars in Europe and the United States*. International Council on Clean Transportation, Washington DC.
- MOEJ, METI, MLIT. (2012). *Low Emission Vehicles Guidebook 2012 (in Japanisch)*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [http://www.env.go.jp/air/car/vehicles2012/LEV\\_chapter3.pdf](http://www.env.go.jp/air/car/vehicles2012/LEV_chapter3.pdf)
- MoHIPE. (2006). *Automotive Mission Plan 2006-2016*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [http://dhi.nic.in/Final\\_AMP\\_Report.pdf](http://dhi.nic.in/Final_AMP_Report.pdf)
- MoHIPE. (2012). *Report of the Working Group on Automotive Sector for the 12th Five Year Plan (2012-2017)*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [http://planningcommission.nic.in/aboutus/committee/wrkgrp12/wg\\_auto1704.pdf](http://planningcommission.nic.in/aboutus/committee/wrkgrp12/wg_auto1704.pdf)
- Molycorp. (2012). *Molycorp*. Abgerufen am 13. Mai 2014 von [www.molycorp.com/about-us/our-facilities/molycorp-mountain-pass](http://www.molycorp.com/about-us/our-facilities/molycorp-mountain-pass)
- Moss, R., Tzimas, E., Willis, P., Arendorf, J., & Espinoza, L. (2013). *Critical Metals in the Path towards the Decarbonisation of the EU Energy Sector. Assessing Rare Metals as Supply-Chain Bottlenecks in Low-Carbon Energy Technologies*. Abgerufen am 2013. 11 29 von <http://setis.ec.europa.eu/system/files/Critical%20Metals%20Decarbonisation.pdf>
- Mudd, G. M. (2009). *The Sustainability of Mining in Australia : Key Production Trends and Their Environmental Implications for the Future. Research Report No. RR5*. Monash University and Mineral Policy Institute, Department of Civil Engineering.
- Müller, S., Vogel, J., & Molter, U. (2013). *Flexible Carsharingsysteme / E-Carsharing Übersicht zu Kommunen, Anbietern und Rahmenbedingungen. Ivm GmbH*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [http://www.ivm-rheinmain.de/wp-content/uploads/2013/11/ivm\\_Carsharing\\_Handreichung\\_Ergaenzung\\_Nov2013.pdf](http://www.ivm-rheinmain.de/wp-content/uploads/2013/11/ivm_Carsharing_Handreichung_Ergaenzung_Nov2013.pdf)
- Neary, C. R., & Highley, D. E. (1984). The economic importance of the rare earth elements. In P. Henderson, *Rare earth element geochemistry*. New Yrk, Amsterdam: Elsevier.
- Nemry, F., & Brons, M. (2010). *Plug-in Hybrid and Battery Electric Vehicles. Market penetration scenarios of electric drive vehicles. JRC Technical Notes, Publication Office of the European Union, Luxembourg*.
- NEV. (2013). *EV & PHV Town Concept Report in Japan 2013, NeV, Tokio*.
- NEV. (2014). *CEV*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://cev-pc.or.jp/tokei/koufu3.html>
- Niederschlag, E., & Stelter, M. (2008). 145 Jahre Indium - Ein Metall mit Zukunft? *Erzmetall*, 62, S. 17-22.
- Nitsch, J., Pregger, T., Naegler, T., Heide, D., Luca de Tena, D., Trieb, F., et al. (2012). *Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global - Schlussbericht*. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Ingenieurbüro für neue Energien (IFNE), Kassel / Stuttgart / Teltow.

- Nobis, C., & Luley, T. (2005). *Bedeutung und gegenwärtiger Stand von Verkehrsdaten in Deutschland*. DLR.
- Noel, F. (1989). Indium and Indium compounds. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim.
- Notter, D. A., Gauch, M., Widmer, R., Wäger, P., Stamp, A., Zah, R., et al. (2010). Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles. *Environmental Science & Technology*, 44(17), S. 6550-6556.
- NPE. (2011). *Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität – Anhang*. Bonn: BMVBS.
- NPE. (2012). *Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (Dritter Bericht)*. Herausgegeben von der gemeinsamen Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung (GGEMO). Berlin.
- OICA. (2012). *2012 production statistics*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.oica.net/category/production-statistics/2012-statistics/>
- OICA. (2014). *OICA Sales Statistics*. Abgerufen am July 2014 von <http://www.oica.net/category/sales-statistics/>
- Okadene Hollins. (2010). *Lanthanide Resources and Alternatives. A report for the Department of Transport and Department for Buisness, innovation and Skills*. Okadene Hollins Research & Consulting.
- OLEV. (2013). *Driving the Future Today – A strategy for ultra low emission vehicles in the UK*. OLEV, London.
- Paternoga, S., Pieper, N., Wisetschläger, D., Beuscher, G., & Wachalsik, T. (2013). *Akzeptanz von Elektrofahrzeugen - Aussichtsloses Unterfangen oder große Chance*. Wolfsburg, Braunschweig.
- Pehnt, M. (2001). *Ganzheitliche Bilanzierung von Brennstoffzellen in der Energie- und Verkehrstechnik*. Institut für Technische Thermodynamik Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieverwendung Universität Stuttgart.
- Peters, A., & Hoffmann, J. (2011). *Nutzerakzeptanz von Elektromobilität. Eine empirische Studie zu attraktiven Nutzungsvarianten, Fahrzeugkonzepten und Geschäftsmodellen aus Sicht potentieller Nutzer*. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Peters, A., Doll, C., Kley, F., Möckel, M., Plötz, M., Sauer, A., et al. (2012). *Konzepte der Elektromobilität und deren Bedeutung für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt*. TAB Büro für Technikfolgenabschätzung beim deutschen Bundestag.
- Pienkos, J. T. (2005). *The Patent Guidebook*. Chicago: American Bar Association.
- Plötz, P., Gnann, T., Kühn, A., & Witschel, M. (2013). *Markthochlaufszzenarien für Elektrofahrzeuge, Studie im Auftrag der acatech – Deutsche Akademie der Technikwis-senschaften und der Arbeitsgruppe 7 der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE)*. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.

- Pohl, W. L. (2005). *Mineralische und Energie-Rohstoffe. Eine Einführung zur Entstehung und nachhaltigen Nutzung von Lagerstätten*. Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- POLITO / IFEU / DLR. (2008). *Final report on technical data, costs and life cycle inventories of fuel cells. Deliverable n° 9.2 - RS 1a. NEEDS New Energy Externalities Developments for Sustainability*. Edited by: Raffaella GERBONI (PEMFC), Martin PEHNT (MCFC), Peter VIEBAHN (SOFC), Evasio LAVAGNO. POLITO / IFEU / DLR.
- Polk. (2011). *Electric Vehicle Demand. Global forecast through 2030*.
- Pötz, P., & Eichhammer, W. (2011). *Zukunftsmarkt effiziente Elektromotoren*. Abgerufen am 16. 01 2015 von [http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/e/de/publikationen/Fallstudie\\_Elektromotoren.pdf](http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/e/de/publikationen/Fallstudie_Elektromotoren.pdf)
- Proff, H., & Kilian, D. (2012). *Competitiveness of the EU Automotive Industry in Electric Vehicles*. Duisburg: Universität Duisburg-Essen.
- Propfe, B., Kreyenberg, D., Wind, J., & Schmid, S. (2013). Market penetration analysis of electric vehicles in the German passenger car market towards 2030. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Pusenius, K., Lettenmeier, M., & Saari, A. (2005). *Luonnonvarojen kulutus Suomen tieliikenteessä (TieMIPS)*. [Natural resource consumption by Finland's road transport (TieMIPS), in Finnish.]. Ministry of Transport and Communications (Finland). Helsinki: Edita Publishing Oy.
- Québec EV. (2013). *Purchase or Lease Rebate*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://vehiculeselectriques.gouv.qc.ca/english/particuliers/rabais-montants.asp>
- Redelbach, M. (2012). *Analyse der Fahrleistung und Flottenzusammensetzung im deutschen PKW-Markt*.
- Renault. (2011). *Fluence and Fluence Z.E. - Life Cycle Assessment*.
- Renault. (2011). *Fluence and Fluence Z.E.: Life Cycle Assessment*. Technical Report, Renault Group; Practicionners: Barat, A; Dang, V; Querini, F; Morel, S.
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2013). *Special:Analyse over 2013*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.rvo.nl/sites/default/files/2014/01/Special%20elektrisch%20vervoer%20analyse%20over%202013.pdf>
- Ritthoff, M. (2011). *Gallium In: MaResS - AS 2.1 Umweltrelevante metallische Rohstoffe*. Wuppertal Institut, Wuppertal.
- Roland Berger & fka. (2014). *E-mobility index for Q1 2014*. München/Aachen: Roland Berger Strategy Consultants - Automotive Competitive Center & Forschungsgesellschaft Kraftfahrzeugwesen mbH.
- Roland Berger und fka. (September 2014). *Index Elektromobilität 3. Quartal 2014*. Roland Berger.
- Ruegg, R., & Jordan, G. (2007). *Overview of Evaluation Methods for R&D Programs*.

- Samus, T., Lang, B., & Rohn, H. (Oktober 2013). Assessing the natural resource use and the resource efficiency potential of the Desertec concept. *Solar Energy*, 87, S. 176-183.
- Sauer, A., & Thielmann, A. (2013). *Energiespeicher-Monitoring für die Elektromobilität (EMOTOR) - Trendbericht*. Fraunhofer ISI, Karlsruhe.
- Saurat, M., & Ritthoff, M. (2013). Calculating MIPS 2.0. *Resources*(2), S. 581-607.
- Schlick, T., Hertel, G., Hagemann, B., Maiser, E., & Kramer, M. (2011). *Zukunftsfeld Elektromobilität. Chancen und Herausforderungen für den deutschen Maschinen und Anlagenbau*. Roland Berger / VDMA.
- Schmidt-Bleek, F., Bringezu, S., Hinterberger, F., Liedtke, C., Spangenberg, J., Stiller, H., et al. (1998). *MAIA: Einführung in die Material-Intensitäts-Analyse nach dem MIPS-Konzept*. Berlin, Deutschland: Birkhäuser.
- Schweimer, G. W., & Levin, M. (2000). *Sachbilanz des Golf A4*. Forschung Umwelt und Verkehr, Volkswagen AG und Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung, Gesamthochschule Kassel, Wolfsburg / Kassel.
- Sévin, D. (2014). *Elektromobilität in Deutschland – Das BMVI-Förderprogramm „Modellregionen Elektromobilität. Präsentation im Rahmen der Veranstaltung „Elektromobilität – Utopie oder Realität?“*.
- Shell. (2009). *Shell Pkw Szenarien bis 2030. Fakten, Trends und Handlungsoptionen für nachhaltige Mobilität*. Shell, Hamburg.
- Shen, S., & Jourdan, A. (2014). *Reuters*. (Reuters, Produzent) Abgerufen am 08. 01 2015 von China plans to extend green vehicle subsidies until 2020: <http://www.reuters.com/article/2014/12/30/us-china-autos-environment-idUSKBN0K806B20141230>
- Sierzchula, W., Bakker, S., Maat, K., & van Wee, B. (2014). The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption. *Energy Policy*, S. 183-194.
- SMMT. (2014). *Motor industry facts 2014*. Society of motor manufacturers and traders. London: SMMT.
- Southafrica.info. (2013). *South Africa's electric vehicle plan. New business development*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.southafrica.info/business/trends/newbusiness/automotive-030513.htm#.UdKANOVvJw%23ixzz2Xs3FMxTQ>
- Spath, P. L., & Mann, M. K. (2001). *Life Cycle Assessment of Hydrogen Production via Natural Gas Steam Reforming*.
- Statistisches Bundesamt. (2013). *Verkehr auf einen Blick*. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt. (2014b). *Umfrage Automobilindustrie*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/30703/umfrage/beschaefigtigkeitszahl-in-der-automobilindustrie/>
- Statistisches Bundesamt. (2014a). *Umfrage Elektromobilität*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/160479/umfrage/umsatz-der-deutschen-automobilindustrie/>

- Süddeutsche Zeitung. (2013). *Süddeutsche Zeitung*. Abgerufen am 13. Mai 2014 von <http://www.sueddeutsche.de/politik/eisenerz-und-uran-groenland-beschliesst-rohstoffausbeutung-1.1804194>
- Tagscherer, U. (2012). *Electric mobility in China – A policy review*. In: *Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis No. 30*, Online verfügbar: [http://isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/p/de/diskpap\\_innosysteme\\_policyanalyse/discussionpaper\\_30\\_2012.pdf](http://isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/p/de/diskpap_innosysteme_policyanalyse/discussionpaper_30_2012.pdf).
- Technology Strategy Board. (2014). *Technology Strategy Board grant funded projects database*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <https://connect.innovateuk.org/publicdata/>
- Teske, S., Pregger, T., Simon, S., Naegler, T., O'Sullivan, M., Schmid, S., et al. (2012). *Energy [R]evolution - a sustainable world energy outlook - 4th edition 2012 world energy scenario*. Greenpeace International, European Renewable Energy Council (EREC), Global Wind Energy Council (GWEC), Amsterdam / Brüssel.
- The Silver Institut; Thomson Reuters GFMS. (2014). *World Silver Survey - A Summary*. Washington.
- Tolcin, A. (2014). *Minerals Yearbook 2012: Indium*. U.S. Geological Survey.
- Transnova. (2013). *Information from expert interview*.
- Transnova. (2014). *About Transnova*. Abgerufen am 19. 09 2014 von <http://www.transnova.no/english/>
- Trechow, P. (2012). *Das Getriebe hat auch in Elektrofahrzeugen Zukunft*. Abgerufen am 14. 05 2014 von [www.ingenieur.de](http://www.ingenieur.de): <http://www.ingenieur.de/Fachbereiche/Antriebstechnik/Das-Getriebe-in-Elektrofahrzeugen-Zukunft>
- TRL. (2013). *Assessing the role of the Plug-in Car Grant and Plugged-in Places scheme in electric vehicle take-up*. Abgerufen am 19. 09 2014 von [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/236749/research-exec-summary.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/236749/research-exec-summary.pdf)
- U. S. Geological Survey. (1996-2013c). *Mineral Commodity Summaries: Indium*. USGS.
- U. S. Geological Survey. (1996-2013b). *Mineral Commodity Summaries: Lithium*. USGS.
- U. S. Geological Survey. (1996-2013a). *Mineral Commodity Summaries: Rare Earths*. USGS.
- U. S. Geological Survey. (1996-2014a). *Mineral Commodity Summaries: Germanium*. USGS.
- U. S. Geological Survey. (1996-2014b). *Mineral Commodity Summaries: Platinum group metals*. USGS.
- U. S. Geological Survey. (1996-2014d). *Mineral Commodity Summaries: Silver*. USGS.
- U. S. Geological Survey. (1996-2014c). *Mineral Commodity Summaries: Tantalum*. USGS.
- U. S. Geological Survey. (1997-2014). *Mineral Commodity Summaries: Gold*. USGS.
- U. S. Geological Survey. (2001). *Mineral Commodity Surveys: Gallium*.
- U. S. Geological Survey. (2013a). *Mineral Commodity Summary: Lithium*. USGS.

- U. S. Geological Survey. (2013b). *Mineral Commodity Summary: Rare Earths*. USGS.
- U. S. Geological Survey. (2014d). *Mineral Commodity Summaries: Tantalum*.
- U. S. Geological Survey. (2014b). *Mineral Commodity Summary: Platinum group metals*. USGS.
- U. S. Geological Survey. (2014a). *Mineral Commodity Summary: Silver*. USGS.
- U. S. Geological Survey. (2014c). *Mineral Commodity Summary: Gallium*.
- U.S. Department of Transportation. (2010). *Analysis of Published Hydrogen Vehicle Safety Research*. Abgerufen am 27. 01 2015 von <http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NVS/Crashworthiness/Alternative%20Energy%20Vehicle%20Systems%20Safety%20Research/811267.pdf>
- UKERC - UK Energy Research Centre. (2013). *Energy Materials Availability Handbook*. Abgerufen am 19. September 2014 von UKERC: <http://www.ukerc.ac.uk/asset/B658BAA0%2DF7DA%2D496B%2DA27896608CBBA65A/>
- Ullmann, F. (2007). *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*. Weinheim: Wiley-VCH.
- UN/ECE. (2010). *Regelung Nr. 101 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE)*.
- UN/ECE. (2014). *New Passenger Car Registrations During the Year by Country, Fuel Type and Time*. Abgerufen am 2014 von [http://w3.unece.org/pxweb/dialog/varval.asp?ma=ZZZ\\_TRRoadNewPasVh\\_r&path=../database/STAT/40-TRTRANS/02-TRRoadFleet/&lang=1&ti=New+Passenger+Car+Registrations+During+the+Year+by+Country%2C+Fuel+Type+and+Time](http://w3.unece.org/pxweb/dialog/varval.asp?ma=ZZZ_TRRoadNewPasVh_r&path=../database/STAT/40-TRTRANS/02-TRRoadFleet/&lang=1&ti=New+Passenger+Car+Registrations+During+the+Year+by+Country%2C+Fuel+Type+and+Time)
- VDA. (2014). *Daten zur Automobilwirtschaft – Ausgabe 2014*. Berlin: Verband der Automobilindustrie (VDA).
- Viebahn, P., & Wiesen, K. (2014). *Resources for the Energiewende – examples on the German level and need for policy action & research*. Berlin.
- Viebahn, P., Arnold, K., Friege, J., Krüger, C., Nebel, A., Samadi, S., et al. (2014). *KRESSE: Kritische mineralische Ressourcen und Stoffströme bei der Transformation des deutschen Energieversorgungssystems, Abschlußbericht*. Wuppertal Insitut. Wuppertal: Wuppertal Institut.
- Wiesen, K. (2010). *Ermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen der regenerativen Stromerzeugung durch Windenergie und Biomasse in Deutschland. Erweiterte Fassung der Masterarbeit*. . HAWK Göttingen.
- Wiesen, K., Saurat, M., & Lettenmeier, M. (2014). Calculating the Material Input per Service Unit using the Ecoinvent database. *Int. J. Perform. Eng.*(10), S. 357-366.
- Wiesen, K., Teubler, J., & Rohn, H. (2013). Resource use of two wind farms in the German North Sea - The examples of Alpha Ventus and Bard Offshore I. *Resources*.
- Wietschel, M., & Dallinger, D. (2008). Quo vadis Elektromobilität? *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 58, 2008, 12, S. 8-15.

Wuppertal Institut. (2014). *KRESSE - Kritische mineralische Ressourcen und Stoffströme bei der Transformation des deutschen Energieversorgungssystems. unter Mitarbeit von Karin Arnold, Jonas Friege, Christine Krüger, Arjuna Nebel, Michael Ritthoff, Sascha Samadi, Ole Soukup, Jens Teubler, Peter Viebahn, Klaus Wiesen.* Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal.

Wuppertal Institute; SERI; gws. (2008). *Comparing coefficient and input-output approach to calculate Total Material Consumption (TMC). Workpackage 1.2.* Wien.

Wurzelmann, S. (2011). *U.S. Department of Energy's Recovery Act - Spending.* PEW Center.

WVI, IVT, DLR, & KBA. (2012). *Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010.*

ZIV. (2013). *Zahlen, Daten, Fakten zum Fahrradmarkt in Deutschland.* Von [http://ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/Marktdaten/PK\\_2013-ZIV\\_Praesentation\\_20-03-2013\\_oT.pdf](http://ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/Marktdaten/PK_2013-ZIV_Praesentation_20-03-2013_oT.pdf) abgerufen

## Anhang A Auflistung der in der Fahrzeugkonzeptdatenbank erfassten Fahrzeuge

Hersteller	Modell
Acura	RLX Sport Hybrid
AEV	Kurrent
Aixam-Mega	e-City
AMP Electric Vehicles	E-Cherokee
Artega	SE
Audi	A1 E-Tron
Audi	A1 Sportsback
Audi	A2
Audi	A3 E-Tron
Audi	A3 e-tron Sportback
Audi	A6 Hybrid
Audi	A6 L E-Tron
Audi	A8 Hybrid
Audi	A8 Hybrid 2010
Audi	Allroad Shooting Brake
Audi	Crosslane
Audi	Duo Hybrid
Audi	E-Tron 2009
Audi	E-Tron 2010
Audi	E-Tron Spyder
Audi	Metroproject Quattro
Audi	Q5
Audi	Q7 Hybrid
Audi	R18 E-Tron Quattro
Audi	R8 E-Tron
Audi	Sport Quattro Concept
Audi	TT Crossover Concept
Audi	Urban Concept
BAIC	C30DB
BAIC	E150 EV
Baoya	BY5000EV-1A
Baoya	BY-E-CAR-02
Baoya	BY-E-CAR-03
Baoya	Yate
batScap	Bluecar
BDNT	Denza

Hersteller	Modell
BDNT Denza	EV
Bentley	Bentley Hybrid Concept
BMW	5er Active Hybrid
BMW	Active Hybrid 3
BMW	Active Hybrid 5
BMW	Active Hybrid 7
BMW	Active Tourer Concept
BMW	ActiveE
BMW	City
BMW	Concept 7 Series Active Hybrid
BMW	Concept X5 eDrive
BMW	i3
BMW	i8
BMW	i8 Concept
BMW	i8 Concept Spyder
BMW	Vision EfficientDynamics
BMW	X3 Efficient Dynamics
BMW	X5 Efficient Dynamics
BMW	X5 Vision Efficient Dynamics
BMW	X6 Active Hybrid
BMW	X6 Active Hybrid Concept
BRABUS	4WD Full Electric
BRABUS	Project Hybrid
BRABUS	ULTIMATE electric drive
BRABUS	Ultimate High Voltage
Brilliance	EV
Brilliance	EV Concept
BYD	e6-Eco
BYD	F3DM
BYD	S6DM
Cadillac	Converj



Hersteller	Modell
Cadillac	ELR
Cadillac	Escalade Hybrid
Cadillac	Provoq
Centric	ThoRR
Changan	Green-i EV
Chery	QQ3 EV
Chery Riich	M1 EV
Chevrolet	Miray
Chevrolet	Silverado Hybrid
Chevrolet	Silverado Hybrid
Chevrolet	Spark EV
Chevrolet	Tahoe Hybrid
Chevrolet	Volt
Chevrolet	Volt Concept
Chrysler	200C EV
Chrysler	Town and Country EV
Citroen	Berlingo Electricque
Citroen	C4 HDI Hybrid
Citroen	C5 Airscape
Citroen	Cactus
Citroen	C-Cactus
Citroen	C-Métisse
Citroen	C-ZERO
Citroen	DS3 Electrum
Citroen	DS5 Hybrid 4
Citroen	DS9
Citroen	Hypnos
Citroen	REVOLTe
Citroen	Survolt
Citroen	Tubik
Citroen	Wild Rubis
Citysax	Citysax
Coda Automotive	Coda
Daihatsu	HVS
Daihatsu	UFE-III
Detroit Electric	SP:01
Dezhou Fuxing	FULAIWO-C1
DFM	EJ 02
Ditroit Electric	e46
Ditroit Electric	e63
Dodge	ZEO Concept
Dok-Ing	XD
Dynasty	Sedan
ElbilNorge AS	Buddy
Electric Car Corporation	C1 ev'ie

Hersteller	Modell
Energetique	evMe
Estrima	Biro
EVC	E36
EVC	F3
EVC	R7
E-Wolf	Alpha-R
E-Wolf	Delta-2
E-Wolf	E1
E-Wolf	E2
Exagon Motors	Andros Car 02
Exagon Motors	Furtive-eGT
FAW	091 F EV
Ferrari	599 Hybrid
Ferrari	LaFerrari
Fiat	500 EV
Fisker	Atlantic
Fisker	Karma
Fisker	Karma Sunset
Fisker	Surf
Flybo	XFD 6000
Flybo	YM-E10
Ford	C-Max
Ford	Edge HySeries
Ford	E-Ka
Ford	Escape
Ford	EVOS Concept
Ford	Fiesta
Ford	Focus Electric
Ford	Fusion Gen.1
Ford	Fusion Gen.2
Ford	Transit Connect Electric
GAC	Trumpchi GS5-BEV
Geely	GE Emgrand
Geely Emgrand	GT
General Motors	EN-V
Genovation	G2
German E Cars	Stromos
German-e-Cars	Cetos
GETRAG	Hybrid Democar
Giugiaro	Namir
GM Saturn	EV1
GMC	Sierra Hybrid
GMC	Yukon Hybrid
Great Wall	Volex C20EV
Hasco	Q-Concept
Heinkel	Kabine RWE-E-

Hersteller	Modell
	Mobil
Hiriko	Hiriko
Honda	Accord Plug-in
Honda	AC-X
Honda	Civic Hybrid
Honda	Civic IMA
Honda	Concept B
Honda	CR-Z
Honda	CR-Z
Honda	EV Concept
Honda	EV-ster
Honda	Insight IMA
Honda	Insight IMA
Honda	Jazz Hybrid
Honda	Micro Commuter
Honda	NSX Concept
Honda	Small Hybrid Sports
Honda	Urban SUV Concept
Hummer	HX
Hyundai	Elantra LPI
Hyundai	i10 Electric
Hyundai	i-Flow
Hyundai	ix35 Hybrid
Hyundai	NHD-4 Blue Will
Hyundai	Sonata Hybrid
IED Abarth	Scorp-Ion
Indikar	Trabant nT
Infiniti	EMERG-E
Infiniti	Essence
Infiniti	LE
Infiniti	M35h
Infiniti	Q50h
Innovative Mobility Automobile GmbH	Colibri
Innovech	My Car
Irmscher	i-Selectra
JAC	J3 iev
Jaguar	C-X16
Jaguar	C-X75
Jaguar	XJ Limo-Green
Jaguar	XJ-e
Jeep	Patriot EV
Jetcar	Jetcar Elektro
Johnson Controls	ie:3
Johnson Controls	re3
KAIST	Armadillo-T
Kamoo	500-220i Elektra

Hersteller	Modell
Kamoo	Smile
Kamoo	Twingo Elektra
Kando	KD 5010
Karabag	500 Electro
Karabag	E Käfer
Karabag	new 500E
Karmann	E3
Kia	Cee'd
Kia	Forte LPI
Kia	Naimo
Kia	Niro
Kia	Optima Hybrid
Kia	POP
Kia	provo
Kia	Ray EV
Kia	Ray PHEV
Kia	Rio Hybrid
Kia	Sorento Hybrid
Kia	Soul EV
Kia	Soul Hybrid
Kia	Venga EV
Königsegg	Quant
Land Rover	ERAD
Land Rover	Land_e
Land Rover	LRX
Land Rover	Range Rover Hybrid
Land Rover	Range Rover Hybrid LWB
Lexus	CT 200h
Lexus	ES 300h
Lexus	GS 300h
Lexus	GS 450h 3.Gen.
Lexus	GS 450h 4.Gen.
Lexus	HS 250h
Lexus	IS 300h
Lexus	LF-Ch
Lexus	LF-Gh
Lexus	LF-LC
Lexus	LF-Xh
Lexus	LS 600h
Lexus	NX 300h
Lexus	RC 300h
Lexus	RX 400h
Lexus	RX 450h
Lifan	620 EV
Ligier	M.GO electric
Li-ion	Flach

Hersteller	Modell
Li-Ion	Inizio
Li-ion	Wave
Li-Ion	Wave 2
Loremo	EV
Lotus	Ethos City Car
Luis	4U green
Luis	4U green
Lumeneo	Neoma
Lumeneo	Smera
Magna Steyr	HySUV
Magna Steyr	Mila Alpin
Magna Steyr	Mila EV
Mahindra	XUV500
Mahindra Reva	E2O
Mahindra Reva	Halo
Mahindra Reva	Maximo EV
Mahindra Reva	Verito Electric
Mazda	Tribute
McLaren	P1
Mercedes-Benz	A-Klasse E-Cell
Mercedes-Benz	BlueZERO E-CELL
Mercedes-Benz	B-Klasse E-CELL Plus
Mercedes-Benz	B-Klasse ElectricDrive
Mercedes-Benz	BlueZERO E-CELL Plus
Mercedes-Benz	C-Klasse T-Modell
Mercedes-Benz	E300 BlueTEC Hybrid
Mercedes-Benz	F500 Mind
Mercedes-Benz	F700 Diesotto
Mercedes-Benz	F800 Style
Mercedes-Benz	GLK Bluetec
Mercedes-Benz	ML 450 Hybrid
Mercedes-Benz	S300 Blue Tec
Mercedes-Benz	S350 Direct Hybrid
Mercedes-Benz	S400 BlueHybrid
Mercedes-Benz	S500 PHEV
Mercedes-Benz	S500 Plug-In Hybrid
Mercedes-Benz	SLS AMG
Mercedes-Benz	SLS AMG E-Cell
Mercedes-Benz	SLS AMG Electric Drive
Mercedes-Benz	Vito E-Cell
Mercury	Milan
Mia Electric	Mia

Hersteller	Modell
Micro-Vett	500E
Mileworks	E-Rod
Mindset	Mindset Range
Mini	E
MINI	Mini Superleggera Vision
Mitsubishi	GC-PHEV
Mitsubishi	i-EV
Mitsubishi	i-MiEV
Mitsubishi	Lancer MIEV
Mitsubishi	Outlander PHEV
Mitsubishi	PX-MiEV
Mitsubishi	PX-MiEV 2
Mitsubishi	XR-PHEV
MK-Group	CARe 500
Movitron	Teener
ngwq	EVL050V
Nissan	Altima Hybrid
Nissan	Bladeglider
Nissan	Esflow
Nissan	EV
Nissan	HEV
Nissan	Hi-Cross Concept
Nissan	Leaf
Nissan	Leaf Nismo RC
Nissan	Mixim
Nissan	Nuvu
Nissan	NV200-EV
Nissan	Pathfinder Hybrid
Nissan	Pivo 3
Nissan	Pivo II
Nissan	Resonance
Nissan	Townpod
Opel	Ampera
Opel	Ampera
Opel	Astra GTC Hybrid
Opel	Corsa Hybrid
Opel	Flextreme
Opel	Flextreme GT/E
Opel	Monza
Opel	RAK-e
Opel	Vivaro eConcept
Optimal Energy	Joule
Peugeot	5
Peugeot	106e
Peugeot	208 Hybrid FE
Peugeot	3008 HYbrid4

Hersteller	Modell
Peugeot	3008 Hybrid4
Peugeot	307 Hdi Hybrid
Peugeot	308 Hybrid Hdi
Peugeot	508 RXH
Peugeot	908 HYbrid4
Peugeot	908 HYmotion2
Peugeot	BB1
Peugeot	DS High Rider
Peugeot	EX1
Peugeot	HR1
Peugeot	HX1
Peugeot	iOn
Peugeot	iOn Cargo
Peugeot	Onyx
Peugeot	Partner Electric
Peugeot	Prologue HYmotion 4
Peugeot	RC Hymotion 4
Peugeot	RCZ HYbrid4
Peugeot	SR1
Peugeot	SxC
PG	Elektrus
Pininfarina	Cambiano
Pininfarina	Nido EV
Pininfarina Bolloré	B0
Porsche	911 GT3 R Hybrid
Porsche	918 RSR
Porsche	918 Spyder
Porsche	918 Spyder Concept
Porsche	Boxster E
Porsche	Cayenne Hybrid
Porsche	Cayenne S Hybrid
Porsche	Panamera Hybrid
Porsche	Panamera S E-Hybrid
Porsche	Panamera S Hybrid
Proton	Emas Hybrid
Protoscar	LAMPO
Protoscar	LAMPO2
Protoscar	LAMPO3
Protoscar	LAMPO3 GT
Quicc!	DiVa
Renault	DeZir Z.E.
Renault	Fluence Z.E.
Renault	Fluence Z.E.
Renault	FRENDZY
Renault	Kangoo BeBop Z.E.

Hersteller	Modell
Renault	Kangoo Maxi Z.E.
Renault	Kangoo Z.E.
Renault	Twizy
Renault	Twizy Z.E.
Renault	ZOE
Renault	Zoe Z.E.
Reva	L-ion
Reva	NXG
Riich	X1 EV
Rimac	Concept One
Rinspeed	Bamboo
Rinspeed	iChange
Rinspeed	microMAX
Rinspeed	sQuba
Rinspeed	UC?
Roewe	E1
Rolls-Royce	102 EX
Ronart	Lightning GT
Ruf	eRuf
Ruf	Greenster
Ruf	Stromster
RWITH Aachen University	Deliver
Saab	9-3 True Electric
Saab	BioPower
Saab	ePower
SAIC Roewe	E50
Saturn	Aura Greenline
Saturn	Vue 2Mode
Saturn	Vue Greenline
Seat	IBE
Seat	IBL Concept
Seat	IBX
Seat	Leon TwinDrive
Shandong Huoyun	HY-B22120
Shanghai-GM	Springo EV
Silex Power	Chreos
Sim-Drive	Sim-Cel
Sim-Drive	Sim-Lei
Sim-Drive	Sim-Will
Skoda	E-Citigo
Skoda	Oktavia Green E Lina
Smart	forspeed
Smart	Fortwo electric drive
Smart	for-us
Smart	forvision

Hersteller	Modell
Smart	Fourjoy
Smiles AG	CityEL
Spark-Renault	SRT_01E
Stevens	Electric Car
Subaru	B5-TPH
Subaru	G4e
Subaru	Hybrid Tourer
Subaru	R1e
Subaru	Stella EV
Subaru	Viziv
Subaru	XV Crossteck Hybrid
Suzuki	Kizashi EcoCharge Concept
Suzuki	Q-Concept
Suzuki	Swift
Suzuki	Twin Hybrid
Tango	T600
Tara	Tiny EV
TATA	eMO
Tata	Indica Vista
Tata	Magic Iris
Tata	Nano
Tazzari	Zero
Tesla	Model S
Tesla	Model X
Tesla	Roadster
Tesla	Roadster S
TGS	Xtreme Buggy EV
Think	City
TommyKaira	ZZ EV
Toyota	1/X
Toyota	A-Bat
Toyota	Aqua G Sports
Toyota	Auris HSD
Toyota	Auris Hybrid
Toyota	Camry
Toyota	Camry Hybrid
Toyota	Crown Hybrid
Toyota	Estima Hybrid
Toyota	FT-Bh Concept
Toyota	FT-CH
Toyota	FT-EV II
Toyota	FT-HS Concept
Toyota	GRMN Sports Hybrid
Toyota	Hybrid X
Toyota	iQ EV

Hersteller	Modell
Toyota	NS4
Toyota	Prius +
Toyota	Prius 1
Toyota	Prius 1
Toyota	Prius 2
Toyota	Prius 3
Toyota	Prius 3
Toyota	Prius C Concept
Toyota	Prius Plug-In
Toyota	RAV4 EV
Toyota	RAV4 EV
Toyota	SAI
Toyota	TMG EV P001
Toyota	TS030
Toyota	Voxy/Noah
Toyota	Yaris Hybrid
Toyota	Yaris Hybrid R
TU Dresden	InEco
TUM	Mute
UNIQUECO	eFroog
Venturi	America
Venturi	Fetish
Venturi	Volage
Via Motors	VTRUX
Volkswagen	Bulli
Volkswagen	Cross Coupé
Volkswagen	Cross-Blue
Volkswagen	E-Bugster
Volkswagen	e-Co-Motion
Volkswagen	e-Golf
Volkswagen	eT!
Volkswagen	E-Up
Volkswagen	e-up!
Volkswagen	Go!
Volkswagen	Golf Blue E-Motion
Volkswagen	Golf Diesel Hybrid
Volkswagen	Golf Eco Power
Volkswagen	Golf Plug-in Hybrid
Volkswagen	Golf TwinDrive
Volkswagen	Jetta Hybrid
Volkswagen	L1
Volkswagen	Lavida Blue-E-Motion
Volkswagen	Load up!
Volkswagen	Milano Taxi
Volkswagen	New Compact Coupe

Hersteller	Modell
Volkswagen	Nils
Volkswagen	Space Up! Blue
Volkswagen	Tex
Volkswagen	Touareg Hybrid
Volkswagen	Touran EcoPower II
Volkswagen	Touran Hybrid
Volkswagen	Twin-up
Volkswagen	Up Lite
Volkswagen	XL1
Volteis	X4 VS2
Volvo	C30
Volvo	Concept Coupé
Volvo	ECC Hybrid
Volvo	ReCharge Concept

Hersteller	Modell
Volvo	S60L Petrol Plug-in
Volvo	V60
Volvo	V60 Plug-in Hybrid
Volvo	V70
Volvo	XC60
Vromos	Kiwi
VW	E-Bugster
Wellboom	Compact E City Car
Wheego	LiFe
Yamaha	MOTIV-e
Zenn	Zenn
Zinoro	1E
Zotye	TD100 EV



## **Anhang B Erläuterung zu nicht berücksichtigten Studien der Materialintensitätsanalyse im Rahmen der Analyse bestehender Lebenszyklusanalysen**

### **Studie „GREET: Greenhouse gases, Regulated Emissions and Energy use in Transportation“**

### **Studie „GREET: Greenhouse gases, Regulated Emissions and Energy use in Transportation“**

(Burnham, Wang, & Wu, Development and Applications of GREET 2.7 — The Transportation Vehicle-Cycle Model, 2006) (Burnham, Updated Vehicle Specifications in the GREET Vehicle-Cycle Model, 2012) haben im Rahmen des *Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation* (GREET)-Modells ein lebenszyklusweites Fahrzeugmodell entwickelt, mit dem der Energieverbrauch und die Emissionen der Fahrzeugherstellung und -verwertung berücksichtigt werden können und so ein ökobilanzieller Vergleich unterschiedlicher Antriebskonzepte ermöglicht wird. In das GREET-Modell von 2006 waren sechs unterschiedliche Fahrzeuge des Mittelklassensegments implementiert, wobei drei verschiedene Motorisierungen (Verbrennungsmotor, Verbrennungsmotor mit Hybridkonfiguration und Brennstoffzelle) mit jeweils zwei Materialkonzepten (konventionell und Leichtbau) kombiniert wurden. In der Version von 2012 wurde das Mittelklassensegment um das SUV- und Pickup-Segment erweitert und es wurden vier Antriebskonzepte (ICE, HEV, BEV und FCEV) verfügbar gemacht.

Die Studie gibt für alle Antriebskonzepte eine detaillierte Aufteilung in Systemkomponenten an. Abgesehen von der Batterie sind die Materialinventare der Komponenten teilweise sehr unspezifisch bzw. undifferenziert. So wurden beispielsweise keine Seltenen Erden aufgeführt. Da dieser Aspekt für die STROM-Modellierung und die anschließende Bewertung kritischer Rohstoffe von entscheidender Bedeutung ist, finden die Materialinventare des Modells keine Anwendung.

### **Studie „UMBRéLA: Umweltbilanzen Elektromobilität“**

(Helms, Jöhrens, Hanusch, Höpfner, Lambrecht, & Pehnt, 2011) bilanzieren und bewerten im *Wissenschaftlichen Grundlagenbericht* des Forschungsprojektes UMBReLA („Umweltbilanzen Elektromobilität“) verschiedene Umweltaspekte der Elektromobilität. Es werden konventionelle Antriebskonzepte (Diesel-, Ottomotor) mit batterieelektrischen Fahrzeugen (auch mit Range Extender) und brennstoffzellenbetriebenen Fahrzeugen nach einem ökobilanziellen Ansatz verglichen. Dabei wird neben dem Stand der Technik (2010) auch die Situation im Jahr 2030 anhand von Szenarien untersucht. Mit Hilfe des entwickelten Ökobilanzmodells eLCAR (Electric Car LCA) konnten dabei die Umweltwirkungen der Lebenswegbereiche Fahrzeugherstellung, Energiebereitstellung (Strom und Kraftstoffe) und Fahrzeugnutzung ermittelt werden. Die Datengrundlage bildete in den meisten Fällen die Ecoinvent-Datenbank-Version 2.2.

Als Umweltwirkungen wurden die Klimawirkung (GWP 100), der Kumulierte Energieaufwand (fossil, nuklear und erneuerbar), die Versauerung, die Eutrophierung (terrestrisch), der Sommersmog (POCP) und die Feinstaubemissionen (PM10) untersucht.



(Helms, Jöhrens, Hanusch, Höpfner, Lambrecht, & Pehnt, 2011) geben grobe Materialzusammensetzungen der Fahrzeuge oder deren Komponenten an, die zudem Geheimhaltungsvereinbarungen unterliegen. Aus diesem Grund konnten im Rahmen der STROM-Modellierung keine Materialinventare verwendet werden.

### **Studie „Rohstoffe für Zukunftstechnologien“**

(Angerer, et al., 2009) untersuchen in der Studie *Rohstoffe für Zukunftstechnologien: Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage* die Impulse verschiedener Zukunftstechnologien und des daraus resultierenden branchenspezifischen Rohstoffbedarfs auf die globale Rohstoffnachfrage. Dabei wird eine umfassende Technologieauswahl analysiert, so u.a. die Informations- und Kommunikationstechnik sowie die Energie- und Umwelttechnik. Im Mobilitätsbereich wird der Rohstoffbedarf folgender Fahrzeugkomponenten untersucht: Elektromotoren, Karosserie auf Leichtbaubasis, Batterien und Brennstoffzellen.

Da die Materialdaten nur einige Metalle der jeweiligen Komponenten enthalten, diente diese Studie als Vergleich und es wurden keine Materialinventare verwendet. Die Studie wird als weniger relevant für die STROM-Begleitforschung eingeschätzt.

## Anhang C Herleitung der Materialinventare von Systemkomponenten (Skalierungsfaktoren, Materialinventare)

Antriebskonzept	Masse Glider			Skalierungsfaktoren		
	2010	2020	2030	2010	2020	2030
	kg	kg	kg	-	-	-
ICE-B	988	902	833	1,26	1,15	1,06
ICE-D	1024	929	854	1,31	1,19	1,09
ICE-CNG	984	889	800	1,26	1,14	1,02
HEV	988	901	819	1,26	1,15	1,05
PHEV	988	899	813	1,26	1,15	1,04
REEV	987	901	814	1,26	1,15	1,04
BEV	984	899	815	1,26	1,15	1,04
FCEV	984	899	808	1,26	1,15	1,03

**Tab. 10-1** Masse des Gliders nach (Huss, Maas, & Hass, 2013) und die resultierenden Skalierungsfaktoren der jeweiligen Antriebskonzepte für den Zeitraum 2010 bis 2030

Quelle: (Huss, Maas, & Hass, 2013), eigene Berechnung

Antriebskonzept	Masse Verbrennungsmotor			Skalierungsfaktor		
	2010	2020	2030	2010	2020	2030
	kg	kg	kg	-	-	-
ICE-B	145	135	126	1,02	0,95	0,89
ICE-D	165	165	165	1,16	1,16	1,16
ICE-CNG	135	135	126	0,95	0,95	0,89
HEV	145	135	126	1,02	0,95	0,89
PHEV	145	135	126	1,02	0,95	0,89
REEV	135	130	125	0,95	0,92	0,88

**Tab. 10-2** Masse des Verbrennungsmotors nach (Huss, Maas, & Hass, 2013) und die resultierenden Skalierungsfaktoren der jeweiligen Antriebskonzepte für den Zeitraum 2010 bis 2030

Quelle: (Huss, Maas, & Hass, 2013), eigene Berechnung

Antriebskonzept	Masse restlicher Antriebsstrang			Skalierungsfaktor
	2010	2020	2030	
	kg	kg	kg	-
ICE-B	50	50	50	0,43
ICE-D	50	50	50	0,43
ICE-CNG	50	50	50	0,43
HEV	80	80	80	4,21
PHEV	80	80	80	4,21
REEV	80	80	80	4,21
BEV	10	10	10	0,53
FCEV	10	10	10	0,53

**Tab. 10-3** Masse des Restantriebsstrangs nach (Huss, Maas, & Hass, 2013) und die resultierenden Skalierungsfaktoren der jeweiligen Antriebskonzepte für den Zeitraum 2010 bis 2030

Quelle: (Huss, Maas, & Hass, 2013), eigene Berechnung

Antriebskonzept	Tankmasse		
	2010	2020	2030
	kg	kg	kg
ICE-B	15	15	15
ICE-D	15	15	15
ICE-CNG (Erdgas)	160	60	60
HEV (Benzin)	15	15	15
PHEV (Benzin)	15	15	15
REEV (Benzin)	15	15	15
FCEV (H <sub>2</sub> )	92	80	70

**Tab. 10-4** Tankmasse der jeweiligen Antriebskonzepte für den Zeitraum 2010 bis 2030

Quelle: (Huss, Maas, & Hass, 2013)

Antriebskonzept	Masse Elektromotor			Skalierungsfaktor		
	2010	2020	2030	2010	2020	2030
	kg	kg	kg	-	-	-
HEV	24	20	17	0,40	0,34	0,28
PHEV	36	30	25	0,60	0,50	0,42
REEV	68	50	37	1,14	0,84	0,62
BEV	68	43	27	1,14	0,72	0,45
FCEV	64	47	35	1,07	0,79	0,59

**Tab. 10-5 Masse des Elektromotors nach (Huss, Maas, & Hass, 2013) und die resultierenden Skalierungsfaktoren der jeweiligen Antriebskonzepte für den Zeitraum 2010 bis 2030**

Quelle: (Huss, Maas, & Hass, 2013), eigene Berechnung

Ecoinvent-Prozess	Ecoinvent-Prozess	Materialzusammensetzung
	2030	
	kg	
<b>PSM</b>	<b>17</b>	
aluminium, production mix, cast alloy, at plant	4,16	
boron carbide, at plant	0,00	
copper, at regional storage	2,85	
(dysprosium) neodymium oxide, at plant	0,02	
ethylene glycol, at plant	0,60	
ferrite, at plant	0,34	
neodymium oxide, at plant	0,09	
polyethylene, HDPE, granulate, at plant	0,17	
polyphenylene sulfide, at plant	0,66	
reinforcing steel, at plant	0,26	
steel, low-alloyed, at plant	7,69	
synthetic rubber, at plant	0,17	
<b>ASM</b>	<b>17</b>	
aluminium, production mix, cast alloy, at plant	0,17	
cast iron, at plant	2,55	
chromium steel 18/8, at plant	1,70	
copper, at regional storage	2,55	
polyvinylchloride, at regional storage	0,68	
steel, low-alloyed, at plant	9,35	

**Tab. 10-6 Materialinventar eines PSM und ASM, skaliert für HEV und den Zeitraum 2030**

Quelle: (Notter, et al., 2010) (Huss, Maas, & Hass, 2013) (Wuppertal Institut, 2014), *Eigene Berechnung*

Antriebskonzept	Masse Generator			Skalierungsfaktor		
	2010	2020	2030	2010	2020	2030
	kg	kg	kg	-	-	-
REEV	42	35	29	0,70	0,59	0,49

**Tab. 10-7 Masse des Generators nach (Huss, Maas, & Hass, 2013) und die resultierenden Skalierungsfaktoren des Antriebskonzeptes für den Zeitraum 2010 bis 2030**

Quelle: (Huss, Maas, & Hass, 2013), *eigene Berechnung*

Antriebskonzept	Masse Leitungssatz			Skalierungsfaktor gesamter Zeitraum
	2010	2020	2030	
	kg	kg	kg	-
HEV	11	11	11	3,53
PHEV	15	15	15	4,81
REEV	20	20	20	6,41
BEV	20	20	20	6,41
FCEV	20	20	20	6,41

**Tab. 10-8 Masse des Leitungssatzes nach (Huss, Maas, & Hass, 2013) und die resultierenden Skalierungsfaktoren der jeweiligen Antriebskonzepte für den Zeitraum 2010 bis 2030**

Quelle: (Huss, Maas, & Hass, 2013), *Eigene Berechnung*

Antriebskonzept	Masse Batterie		
	2010	2020	2030
	kg	kg	kg
HEV	34	26	20
PHEV	80	59	44
REEV	165	95	55
BEV	200	175	153
FCEV	34	26	20

**Tab. 10-9 Masse der Batterie der jeweiligen Antriebskonzepte für den Zeitraum 2010 bis 2030**

Quelle: (Huss, Maas, & Hass, 2013)

Antriebskonzept	Masse Brennstoffzelle			Skalierungsfaktor		
	2010	2020	2030	2010	2020	2030
	kg	kg	kg	-	-	-
FCEV	167	109	71	3,06	2,00	1,30

**Tab. 10-10 Masse der Brennstoffzelle nach (Huss, Maas, & Hass, 2013) und die resultierenden Skalierungsfaktoren des Antriebskonzeptes für den Zeitraum 2010 bis 2030**

Quelle: (Huss, Maas, & Hass, 2013), *eigene Berechnung*

Ecoinvent-Prozess	abiotischer Materialbedarf für FCEV		
	2010	2020	2030
	kg/Brennstoffzelle		
aluminium, primary, at plant	1,132	0,739	0,481
aluminium, secondary, from old scrap, at plant	4,527	2,955	1,925
carbon black, at plant	0,767	0,501	0,326
cast iron, at plant	2,447	1,597	1,040
chromium steel 18/8, at plant	70,970	46,322	30,173
glass fibre, at plant	0,306	0,200	0,130
graphite, at plant	13,766	8,985	5,852
platinum, at regional storage	0,004	0,003	0,002
polyethylene, HDPE, granulate, at plant	7,342	4,792	3,121
polypropylene, granulate, at plant	0,765	0,499	0,325
polystyrene, general purpose, GPPS, at plant	0,918	0,599	0,390
polyvinylidenchloride, granulate, at plant	3,365	2,196	1,431
steel, low-alloyed, at plant	60,263	39,333	25,621
tetrafluoroethylene, at plant	0,214	0,140	0,091
titanium dioxide, production mix, at plant	0,214	0,140	0,091

**Tab. 10-11 Materialzusammensetzung für eine PEM-Brennstoffzelle**

Quelle: (POLITO / IFEU / DLR, 2008), eigene Berechnung

Erzeugungsart	Prozess
Kernkraft	nuclear, at power plant
Braunkohle	lignite, at power plant
Steinkohle	hard coal, at power plant
Gas	natural gas, at power plant
Öl	oil, at power plant
Wasserkraft	hydropower, at power plant
Windkraft	at wind power plant
Photovoltaik	production mix photovoltaic, at plant (DE)
Biogas	at cogen with biogas engine, allocation exergy
Biofeststoffe	at cogen ORC 1400kWth, wood, allocation exergy

**Tab. 10-12 Ecoinventprozesse zur Stromproduktion (electricity, production mix)**

Quelle: (Frischknecht, et al., 2005), eigene Annahmen

# Regional Trends in Electric mobility

Subproject within the research  
project:

Global Perspectives and LCA of  
Electric mobility

– STROM-Assist

Regional study Europe  
(excluding Germany)

Funded by the German Federal Ministry of Educa-  
tion and Research

Funding code 13N11856

# Ernst **Basler + Partner**

Dr. Idir L. Khiar      ++41 44 395 12 54, idir.khiar@ebp.ch

Dr. Peter de Haan    ++41 44 395 11 14, peter.dehaan@ebp.ch

Maya Wolfensberger   ++41 44 395 11 08, maya.wolfensberger@ebp.ch

Ernst Basler + Partner, Zollikerstr. 65, 8702 Zollikon, Schweiz

This study was carried out assigned by and in collaboration with **Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy**. The chapters that have been contributed by Wuppertal Institute are listed below.

Contributing authors from Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy are:

Thorsten Koska    thorsten.koska@wupperinst.org

Hanna Hüging    hanna.hueging@wupperinst.org

Lukas Korella    lukas.korella@wupperinst.org

Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy is responsible for the following chapters:

- Kurzfassung
- 3.1.7 Stakeholder opinions on government activities and policies
- 3.2.3 Stakeholder opinions on the R&D landscape
- 3.3.6 Stakeholder opinions on economy and industry
- 3.4.4 Stakeholder opinions on the EV market



# Contents

<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>19</b>
<b>1 THE PROJECT STROM-ASSIST</b> .....	<b>22</b>
1.1 PROJECT BACKGROUND: STROM AND STROM-ASSIST.....	22
1.2 SCOPE OF THE SUBPROJECT “REGIONAL TRENDS IN ELECTRIC MOBILITY”.....	22
1.3 METHODOLOGY REGIONAL STUDY EUROPE.....	23
1.4 DEFINITIONS.....	24
<b>2 THE STUDY REGION</b> .....	<b>26</b>
2.1 GEOGRAPHIC DEFINITION.....	26
2.2 CHARACTERISTICS OF THE CAR MARKET.....	27
2.3 CLASSIFICATIONS AND STATISTICS IN EUROPE.....	30
2.3.1 <i>Vehicle classification</i> .....	30
2.3.2 <i>Charging infrastructure classification</i> .....	31
2.4 EUROPE’S TRANSPORT SYSTEM IN GENERAL.....	32
<b>3 REGIONAL TRENDS IN ELECTRIC MOBILITY IN EUROPE (EXCLUDING GERMANY)</b> .....	<b>34</b>
3.1 GOVERNMENT / POLICIES / PUBLIC INFRASTRUCTURE.....	34
3.1.1 <i>Actors</i> .....	34
I. <i>EU</i> .....	34
II. <i>France</i> .....	35
III. <i>United Kingdom</i> .....	36
IV. <i>Norway</i> .....	37
V. <i>Italy</i> .....	38
VI. <i>Poland</i> .....	39
3.1.2 <i>Objectives and Strategies</i> .....	39
I. <i>EU</i> .....	39
II. <i>France</i> .....	41
III. <i>United Kingdom</i> .....	42
IV. <i>Norway</i> .....	43
V. <i>Italy</i> .....	43
VI. <i>Poland</i> .....	45
3.1.3 <i>Regulatory Framework</i> .....	45
I. <i>EU</i> .....	45
II. <i>France</i> .....	46
III. <i>United Kingdom</i> .....	47
IV. <i>Norway</i> .....	49
V. <i>Italy</i> .....	50
VI. <i>Poland</i> .....	52
3.1.4 <i>Financial support and incentives</i> .....	53
I. <i>EU</i> .....	53
II. <i>France</i> .....	53
III. <i>United Kingdom</i> .....	58
IV. <i>Norway</i> .....	62
V. <i>Italy</i> .....	68

VI. Poland.....	72
3.1.5 Power generation, supply and storage .....	74
I. France.....	74
II. United Kingdom .....	76
III. Norway.....	78
IV. Italy .....	80
V. Poland.....	81
3.1.6 Provision of infrastructure .....	84
I. France.....	84
II. United Kingdom .....	86
III. Norway.....	87
IV. Italy .....	87
V. Poland.....	88
3.1.7 Stakeholder opinions on government activities and policies .....	88
3.2 RESEARCH FUNDING AND INSTITUTIONS .....	92
3.2.1 Actors.....	92
I. EU.....	92
II. France.....	92
III. United Kingdom .....	94
IV. Norway.....	100
V. Italy .....	101
VI. Poland.....	104
3.2.2 Research Funding .....	106
I. France.....	107
II. United Kingdom .....	109
III. Norway.....	110
IV. Italy .....	110
V. Poland.....	111
3.2.3 Stakeholder opinions on the R&D landscape .....	112
3.3 ECONOMY AND INDUSTRY .....	113
3.3.1 Actors.....	113
I. France.....	113
II. United Kingdom .....	115
III. Norway.....	116
IV. Italy .....	116
V. Poland.....	117
3.3.2 Vehicles, vehicle concepts, powertrain and transportation concepts .....	117
3.3.3 Vehicle technology and vehicle components.....	118
3.3.4 Charging technology and infrastructure.....	118
I. EU perspective .....	118
II. France.....	120
III. United Kingdom .....	121
IV. Norway.....	123
V. Italy .....	123
VI. Poland.....	126
3.3.5 Business models and mobility concepts .....	126
I. France.....	127
II. United Kingdom .....	127
3.3.6 Stakeholder opinions on economy and industry.....	128

3.4	CONSUMER AND MARKET.....	130
3.4.1	<i>Market development of electric vehicles up to now</i> .....	130
I.	<i>France</i> .....	130
II.	<i>United Kingdom</i> .....	131
III.	<i>Norway</i> .....	133
IV.	<i>Italy</i> .....	134
V.	<i>Poland</i> .....	135
3.4.2	<i>User / Consumer attitude and behaviour</i> .....	137
I.	<i>France</i> .....	138
II.	<i>United Kingdom</i> .....	138
III.	<i>Norway</i> .....	139
IV.	<i>Italy</i> .....	140
V.	<i>Poland</i> .....	140
3.4.3	<i>Market perspectives</i> .....	140
I.	<i>France</i> .....	142
II.	<i>United Kingdom</i> .....	142
III.	<i>Norway</i> .....	142
IV.	<i>Italy</i> .....	142
V.	<i>Poland</i> .....	143
3.4.4	<i>Stakeholder opinions on the EV market</i> .....	143
3.5	A BRIEF LOOK AT RELEVANT TRENDS IN OTHER STATES IN EUROPE: SWEDEN, FINLAND, THE NETHERLANDS, SPAIN AND SWITZERLAND .....	144
3.6	CONCLUSION.....	146
	<b>REFERENCES</b> .....	<b>147</b>

## List of tables

Table 1.	European countries (not included: Andorra, San Marino, Vatican City) and the five selected focus countries (in bold typeface) .....	26
Table 2.	Size of the car market (registrations of new passenger cars [category M vehicles] 2012) in EU member states, Iceland, Norway and Switzerland. ....	27
Table 3.	Main road transport indicators for Europe (source: UNECE 2011).....	33
Table 4.	Minimum number of electric vehicle recharging points in each Member State, according to the Impact Assessment accompanying document to the Legislative proposal on Alternative Fuels Infrastructure with some posterior adaptations from AVERE. ....	40
Table 5.	National and local measures that support PHEVs and EVs in the United Kingdom .....	60
Table 6.	Norway, National fuel tax planning for 2010 .....	65
Table 7.	xEVs projects in the France (source: EURELECTRIC 2013) .....	85
Table 8.	xEVs projects in the UK (source: EURELECTRIC 2013).....	86
Table 9.	xEVs projects in Norway (source: EURELECTRIC 2013) .....	87
Table 10.	xEVs projects in Italy (source: EURELECTRIC 2013).....	88
Table 11.	xEVS projects in Poland (source: EURELECTRIC 2013).....	88
Table 12.	Grid characteristics for the case studies on France, UK, Norway, Italy and Poland .....	119
Table 13.	Basic xEV and charging points figures for all the five case studies .....	120
Table 14.	Basic xEV and charging points figures for all the five case studies .....	130
Table 15.	Basic mobility figures for France .....	131
Table 16.	Basic mobility figures for the United Kingdom .....	132
Table 17.	Hybrid and electric vehicle fleet numbers in the UK at the end of 2010 .....	132
Table 18.	Basic mobility figures for Norway .....	133
Table 19.	Basic mobility figures for Italy .....	134
Table 20.	Basic mobility figures for Poland .....	135
Table 21.	Overview about market scenarios about the market share of xEVs among new registrations in Europe .....	141

**List of figures**

Figure 1. Temporal evolution of average engine cubic capacity of new passenger car registrations. Data source: ACEA ([www.acea.be](http://www.acea.be), accessed 8 Dec 2013)..... 30

Figure 2. The growing Plug-in Car and Van Grant uptake (July 2011 to June 2013) ..... 133

Figure 3. EU-27 Electric Vehicle Registrations in Percent up until 2030 (Passenger Cars + LCV),.. 141

## Abbreviations

AEEG	Authority for Electrical Energy and Gas
BEV	Battery Electric Vehicle
BSOG	Bus Service Operators Grant
CEI	Comitato Elettrotecnico Italiano
CEI	Italian Electrotechnical Committee
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Électrotechnique
CNG	Compressed Natural Gas
CT	Carbon Trust
CUNA	Commissione tecnica di Unificazione Nell'Autoveicolo
DCLG	Department for Communities and Local Government
DE	Dipartimento di Energia
DECC	Department of Energy and Climate Change
DFEC	Direction Générale de l'Energie et du Climat
DGMSTT	Direzione Generale della Motorizzazione e della Sicurezza del Trasporto Terrestre
DRIEE-IF	Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie d'Île-de-France
DT	Department of Transport
DTI	Department of Trade and Industry
EC	European Community
ERP	Energy Research Partnership
EST	Energy Saving Trust
EU	European Union
EUR	Euros
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
FCS	Fondo Competitività e Sviluppo – Fund for Competitiveness and Development
GIREVE	Groupement pour l'Itinérance des Recharges Électriques de Véhicules
GPP	Green Public Procurement
GPP-program	Norwegian Green Public Procurement-program
GRAD VED	Graduated Vehicle Excise Duty
HEV	Hybrid Electric Vehicle

IEC	International Electrotechnical Commission
IPT	Car Insurance Premium Tax
KAPE	Krajowa Agencja Poszanowania Energii
LCVPP	Low Carbon Vehicle Public Procurement Programme
LEZ	Low Emission Zones
LPG	Liquefied Petroleum Gas
MATTM	Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
MEDDE	Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie
MEF	Ministry of Economy and Finance
MIDRT	Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej
MPE	Ministry of Petroleum and Energy
MSE	Ministero dello Sviluppo Economico
NPRA	Norwegian Public Roads Administration
NVE	Norwegian Water Resources and Energy Directorate
Ofgem	Office of Gas and Electricity Markets
OLEV	Office for Low Emission Vehicles
PEV	Plug-in Electric Vehicles
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
PON	Programma Operativo Nazionale Ricerca e Competitività
PRA	Pubblico Registro Automobilistico
UGAP	Union des Groupements d'Achats Publics
UKERC	UK Energy Research Centre
UTAC	Union Technique de l'Automobile du motocycle et du Cycle
VCA	Vehicle Certification Agency
WI	Wuppertal Institute
xEV	Electric Vehicles
ZTL	Zone a Traffico Limitato





## Kurzfassung

*Anmerkung: Die hier dargestellte Kurzfassung fasst die Gesamtergebnisse der Regionalstudie Europa, wie im Projektendbericht<sup>1</sup> Kapitel 5.2.2 zusammen. Die Informationen wurden zum Teil gegenüber der beauftragten Regionalstudie Europa auf Basis zusätzlicher Quellen aktualisiert und ergänzt.*

Im Rahmen der Regionalstudie Europa wurden die wichtigsten Trends auf dem Feld der Elektromobilität exemplarisch in fünf Fallstudien die Situation in Frankreich, Großbritannien, Norwegen, Italien und Polen betrachtet. Die fünf ausgewählten Länder reflektieren die regionalen Unterschiede im Hinblick auf sozio-ökonomische Faktoren als auch auf politische Rahmenbedingungen und Maßnahmen innerhalb Europas. Zudem werden die Rolle der EU und die Entwicklung auf gesamteuropäischer Ebene betrachtet. Neben Deutschland sind Großbritannien, Frankreich und Italien die größten Automobilmärkte in Europa (auf Basis der Neuzulassungen in 2012) und spielen damit auch für Elektrofahrzeuge eine wichtige Rolle. Norwegen spielt eine Sonderrolle und ist als vergleichsweise kleiner Automobilmarkt weltweit führend hinsichtlich des Marktanteils von Elektrofahrzeugen. Polen repräsentiert die osteuropäischen Staaten und steht exemplarisch für eine weniger auf Elektromobilität ausgerichtete Politik.

### Regierung / Politik / Öffentliche Infrastruktur

Auf gesamteuropäischer Ebene betreibt die Europäische Union Politik zur Förderung und Regulierung von xEVs auf der Grundlage ihrer Energie- und Verkehrspolitik, die in nationale Energiestrategien und Maßnahmen übersetzt und dadurch in die einzelnen Mitgliedsländer übertragen wird. Ein wichtiges Instrument, das Einfluss auf die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen hat, ist die EU-Verordnung über CO<sub>2</sub>-Flottenemissionslimits für Neuwagen. Der Grenzwert für die durchschnittlichen Fahrzeugemissionen eines Herstellers wurde für 2015 auf 130 g CO<sub>2</sub> pro gefahrenem Kilometer für Neuwagen (Pkw) festgesetzt. Bis zum Jahr 2020 werden die Grenzwerte weiter auf 95 g CO<sub>2</sub> pro Kilometer gesenkt. Elektrofahrzeuge profitieren bei diesem Flottenlimit insbesondere durch die sogenannten „Supercredits“: Jedes Fahrzeug mit Emissionen unter 50 g/km) wurde als 3,5 Fahrzeuge in 2012 und 2013 gewertet und wird jeweils als 2,5 Fahrzeuge im Jahr 2014 und als 1,5 Fahrzeuge im Jahr 2015 angerechnet. Erst ab 2016 wird es als ein Fahrzeug gezählt werden. Die Regulierungsverordnungen geben den Herstellern hierdurch zusätzliche Anreize für die Produktion von Fahrzeugen mit sehr niedrigen Emissionen. „Supercredits“ werden auch in der zweiten Stufe von Emissionsreduktionen von 2020 bis 2023 gelten (European Commission 2014).

Im Folgenden werden die fünf Fallstudienländer Frankreich, Großbritannien, Norwegen, Italien und Polen detaillierter betrachtet. Hierbei werden die drei Dimensionen „Regierungsstrategie“, „Anreizsysteme“ und „Infrastruktur“, die für die zukünftige Entwicklung der Elektromobilität essentiell sind, für jedes der fünf Länder dargestellt.

---

<sup>1</sup> DLR und Wuppertal Institut (2014): Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität (STROM Begleitung). Abschlussbericht des DLR und des Wuppertal Instituts im Rahmen des Themenfeldes „Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM)“ an das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Stuttgart, Wuppertal, Berlin.

## **Frankreich**

### *Regierungsstrategie*

Frankreichs Regierungsstrategie für xEVs basiert auf dem sogenannten „Electric Vehicle Plan“, der im Jahr 2009 verabschiedet wurde. Der französische Umwelt- und Verkehrsminister Jean-Louis Borloo stellte einen 14-Punkte-Plan vor, um die Entwicklung von xEVs zu fördern. Die französische Regierung machte die Einführung des Elektroantriebs daraufhin zu einer der obersten Prioritäten in den folgenden Jahren. Das übergeordnete Ziel der Regierung, bis zum Jahr 2020 zwei Millionen Elektroautos auf der Straße zu haben, wird derzeit als zu ambitioniert eingeschätzt. Bis 2025 sollen laut dem „Electric Vehicle Plan“ sogar 4,5 Millionen Fahrzeuge auf den Straßen sein.

### *Anreizsysteme*

Steuerbefreiungen werden auch für Firmenwagen gewährt: Fahrzeuge, die weniger als 50 g CO<sub>2</sub>/km ausstoßen, wie BEVs und PHEVs, sind von der Steuer ausgenommen. Eine teilweise Steuerbefreiung gilt für Hybridfahrzeuge: HEVs, die weniger als 110 g CO<sub>2</sub>/km emittieren, sind für die ersten beiden Jahre nach dem Kauf befreit (IA-HEV 2013). Außerdem bestehen auch für Gebrauchtwagen auf den CO<sub>2</sub>-Emissionen basierende Steuervergünstigungen.

Als weiteres Instrument zur Verbreitung von Elektrofahrzeugen stellt in Frankreich die Beschaffung von xEVs durch große, oft staatliche Unternehmen dar. Einer Initiative der La Poste folgend, hat eine Gruppe von 20 Großunternehmen und staatlichen Vereinigungen eine gemeinsame öffentliche Ausschreibung für den Aufbau einer Flotte von 100 000 Fahrzeugen bis zum Jahr 2015 auf den Weg gebracht. Im Oktober 2011 wurden die ersten Aufträge an PSA und Renault vergeben. Im Jahr 2012 hat die nationale Regierung außerdem festgelegt, dass 25% der öffentlich beschafften Fahrzeuge ein Hybrid- oder Elektrofahrzeug sein sollen, was 1 500 Fahrzeugen pro Jahr entspricht (IA-HEV 2013).

### *Infrastruktur*

Ein 50 Mio. Euro umfassendes Investitionsprogramm zur Förderung von Elektrofahrzeugen und Ladeinfrastruktur wurde im Herbst 2012 unter der Bezeichnung „Hirtzmann Mission“ ins Leben gerufen. Das Investitionsprogramm fördert in erster Linie die Bereitstellung von Ladestationen. Bis 2025 soll eine Ladeinfrastruktur bestehend aus 9,9 Mio. Ladepunkten in Frankreich eingerichtet werden. Davon sollen 9 Mio. private Ladepunkte sein, 750 000 öffentliche Standardladepunkte und 150 000 öffentliche Schnellladepunkte (City, Mobility & Transport Laboratory 2013). Um die Versorgung mit Ladeinfrastruktur zu gewährleisten, wurden außerdem Gesetze erlassen, gemäß denen bei jedem neue Gebäude seit 2012 eine Stromversorgung bei den Parkplätzen angelegt werden muss. Außerdem müssen bis 2015 Parkplätze an Arbeitsplätzen verpflichtend an die Stromversorgung angeschlossen werden.

Ende 2012 gab es 749 Ladestationen in Frankreich; diese enthielten 2 561 Ladepunkte, von denen 5,6 % (42 Stationen/ 143 Ladepunkte) Schnellladestationen waren (IA-HEV 2013).

## **Großbritannien**

### *Regierungsstrategie*

Die Aktivitäten der britischen Regierung im Bereich der xEVs werden von dem "Four-Year Business Plan 2011-2015: Decarbonization of Road Transport" bestimmt. Anders als andere Länder in Europa hat Großbritannien eine Regierungsbehörde gegründet, die für die Förderung der xEVs verantwortlich ist: Das „Office of Low Emission Vehicles“ (OLEV). OLEV implementiert die landesweite Strategie zur Förderung von xEV-Infrastruktur, unterstützt Pilotprogramme, treibt die Standardisierung, koordiniert und konsolidiert Forschung und Entwicklung und fördert den Kauf von xEVs.

### *Anreizsysteme*

Die britische Regierung hat etwa 400 Mio. GBP (ca. 500 Mio. Euro) zur Förderung des Kaufs, der Nutzung und der Produktion von Niedrigemissionsfahrzeugen („ultra-low emission vehicles“) bereitgestellt. Darunter fällt auch ein Anreizprogramm, genannt Plug-In Car Grant, für den Kauf von emissionsarmen Fahrzeugen. Seit Januar 2011 können Verbraucher im Rahmen des Plug-In-Car Grant-Programms einen Zuschuss von 25 % zu den Kosten des Fahrzeugs bis zu einem Maximum von 5 000 GBP (ca. 5 800 Euro) erhalten. Neben BEVs und PHEVs sind auch FCEVs und andere Technologien förderberechtigt. Im Jahr 2012 wurde der Zuschuss außerdem als sogenannte „Plug-in Van Grant“ auf Transporter erweitert. Beide Zuschüsse gelten für Unternehmen und als auch private Nutzer und können bei Fahrzeugkauf oder Leasing angewendet werden. Zuschüsse für Transporter sind dabei auf 20 % des Preises bis zu einer Obergrenze von 8 000 GBP (ca. 9 250 Euro) beschränkt (IA-HEV 2013). Bis Ende 2012 wurden Zuschüsse für über 3 000 Fahrzeuge über die Plug-in Car Grant beantragt und weitere 215 über die Plug-in Van Grant.

Sonstige finanzielle Anreize auf nationaler Ebene sind unter anderem:

- Befreiung von Fahrzeugsteuer (bei Auspuffemissionen <100 g CO<sub>2</sub>/km);
- Befreiungen bei der Firmenwagensteuer;
- verbesserte Abschreibungsregelungen bis zu 100 % (Unternehmen können die gesamten Anschaffungskosten eines Elektroautos oder Transporters im Jahr der Anschaffung abschreiben).

Weitere lokale Maßnahmen sind eine Befreiung von den Mautgebühren in London („London congestion charge“) sowie Befreiungen oder Reduzierung der Parkgebühren in einigen Kommunen (IA-HEV 2013).

Zur Förderung von xEVs wurde im Juli 2011 außerdem das sogenannte „Low Carbon Vehicle Public Procurement Programme“ (LCVPP) von verschiedenen lokalen Behörden beschlossen und teilweise durch das Ministerium für Wirtschaft finanziert. Das Ziel des LCVPP ist die Förderung der öffentlichen Beschaffung von umweltfreundlichen Fahrzeugen (insbesondere xEVs). Öffentliche Verwaltungen, die solche Fahrzeuge erwerben, erhalten eine Kofinanzierung. Das Gesamtbudget der Initiative liegt bei etwa 20 Millionen GBP (CleanVehicleEurope 2012).

### *Infrastruktur*

Der Ausbau der Infrastruktur wird maßgeblich durch das „Plugged-in Places Programme“ bestimmt. Das Programm ist eine öffentlich finanzierte Initiative der Regierung, angeführt vom OLEV. Im Rahmen des Programms werden von der britischen Regierung Zuschüsse für die Installation von öffentlichen Ladestationen für xEVs an Regionalregierungen vergeben. Bis Dezember 2012 wurden über 2 800 Ladepunkte im Rahmen von acht „Plugged-in Places“-Projekten eingerichtet. Etwa 70 % dieser Ladepunkte sind öffentlich zugänglich. Daten der Hersteller von Ladestationen zeigen, dass auch andere Organisationen vermutlich über 5 000 Ladepunkte landesweit installiert haben (IA-HEV 2013).

Im Februar 2013 kündigte das Verkehrsministerium ein weiteres 37 Mio. GBP (43 Mio. Euro) schweres Maßnahmenpaket an, welches weitere Unterstützung für die Installation und Nutzung von Ladeinfrastruktur bereitstellt. Hierzu zählen Zuschüsse für die Installation von Ladeinfrastruktur für Hausbesitzer, Budgets für lokale Verwaltungen, um Ladeinfrastruktur auf den Straßen zu installieren, sowie Ladeanlagen an Bahnhöfen und auf Regierungsgeländen (IA-HEV 2013).

### **Norwegen**

#### *Regierungsstrategie*

Norwegens Strategie hinsichtlich xEVs basiert auf dem „Commitment to a Change in Vehicle Technology“ der norwegischen Regierung. Die parteienübergreifende Vereinbarung zum Klimaschutz („agreement on climate“) von 2012 setzt einen wichtigen Meilenstein auf dem Weg zu einem klimaneutralen Verkehrssektor: Bis 2020 sollen die durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen neuer Pkw in Norwegen 85 Gramm pro Kilometer betragen und damit 10 g unter den geplanten Grenzwerten in der EU liegen (EV Norway 2014).

Herausragend innerhalb Europas ist die Initiative „Grønn Bil“ von norwegischer Regierung und Industrie. Das Projekt „Grønn Bil“ wurde von der Vereinigung der norwegischen Energieunternehmen gestartet, um die Einführung von 200 000 xEVs auf norwegischen Straßen bis zum Jahr 2020 zu erreichen. Zusätzlich sind Transnova, eine Unterabteilung des norwegischen Ministeriums für Verkehr, sowie der Verband der norwegischen Kommunen im Lenkungsausschuss der Initiative.

#### *Anreizsysteme*

Essentiell für das Verständnis des norwegischen Anreizmodells für xEVs ist die Tatsache, dass herkömmliche Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor in Norwegen sehr stark besteuert werden. Beim Import werden die Fahrzeuge unter anderem nach Gewicht, CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie NO<sub>x</sub>-Emissionen besteuert. Hinzu kommen 25 % Mehrwertsteuer (Hannisdahl, Malvik und Wensaas 2013). Für Elektrofahrzeuge hat die Regierung in Norwegen dagegen ein umfassendes steuerliches Anreizsystem für Kauf und Nutzung eingeführt, von dem insbesondere BEV profitieren. Dies führt zu einer erheblichen Verringerung der Gesamtkosten der Fahrzeuge vor allem dank folgender Regelungen:

- keine Mehrwertsteuer für BEV und FCEV,
- kein Einfuhrzoll für BEV und FCEV,

- Reduktion der jährlichen Kfz-Steuer,
- kostenloses Parken auf öffentlichen Parkplätzen;
- gebührenfreie Nutzung von Mautstraßen und Fähren,
- Erlaubnis zur Nutzung von Busspuren (CleanVehicleEurope 2012).

Seit dem Programm zur Förderung der Elektromobilität von 2011 gilt eine Bevorzugung von BEVs in der Beschaffung bei öffentlichen Stellen wie der Zentralregierung und lokalen Verwaltungen. Hierdurch soll sichergestellt werden, dass alle Fahrzeuge der öffentlichen Verwaltung bis 2020 CO<sub>2</sub>-frei oder CO<sub>2</sub>-neutral angetrieben werden (CleanVehicleEurope 2012).

Nach Auskunft der interviewten Experten kosten die Steuerermäßigungen die öffentliche Hand durchschnittlich 15 000 bis 20 000 Euro pro Fahrzeug. Das Anreizsystem soll bis 2018 bestehen bleiben - oder bis 50 000 Fahrzeuge auf den Straßen sind, was voraussichtlich bereits im Jahr 2015 oder Anfang 2016 erreicht wird (EV Norway 2014). Die Anreize werden hauptsächlich von privaten Fahrzeugbesitzern in Anspruch genommen. Um eine höhere Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen in Unternehmensflotten zu erreichen, wurden die finanziellen Anreize auf das Leasing von xEVs erweitert (Transnova 2013). Seit 2011 genießen xEVs bereits eine ermäßigte MwSt-Einstufung beim Leasing im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen und es gibt auch eine vollständige Befreiung von der Mehrwertsteuer für den Kauf von Traktionsbatterien (d.h. für einen möglichen Austausch der Batterie) (CleanVehicleEurope 2012).

Zusätzlich zu den Anreizen sind die Betriebskosten der BEVs deutlich niedriger als bei einem ähnlichen Verbrennungsfahrzeug. Das Ergebnis ist, dass in Norwegen die Gesamtkosten (TCO) für BEVs im Vergleich zu Verbrennungsfahrzeugen deutlich geringer ausfallen (Hannisdahl, Malvik und Wensaas 2013).

### *Infrastruktur*

Vor 2008 war die xEV-Ladeinfrastruktur nur dürftig ausgebaut. Ab 2009, mit der gleichzeitigen Einführung eines nationalen xEV-Infrastrukturprogramms von Transnova und einem lokalen Programm in Oslo, wurden massiv Ladestationen in ganz Norwegen aufgebaut. Die große Mehrzahl der Ladestationen in Norwegen verfügen über reguläre Schuko-Steckdosen. Wie der Rest Europas wird auch Norwegen zukünftig sukzessive den Typ-2-Standard für neue Ladepunkte übernehmen (EV Norway 2014). Zusätzlich hat Norwegen ein Förderbudget für xEV-Ladestationen von etwa 100 Mio. NOK (ca. 11,9 Mio. Euro) beschlossen. Neue Ladestationen sind insbesondere auf öffentlichen Parkplätzen geplant (CleanVehicleEurope 2012).

## **Italien**

### *Regierungsstrategie*

Italiens Strategie für Elektrofahrzeuge basiert auf dem „Commitment to Support Electric Mobility“ der italienischen Regierung. Im Jahr 2012 wurde eine nationale Politik für die Einführung sauberer Fahrzeuge, darunter Kaufanreize und die Etablierung von Ladeinfra-

struktur, offiziell als Teil eines Gesetzes zur Förderung der wirtschaftlichen Entwicklung des Landes beschlossen. Die Strategie umfasst drei wesentliche Tätigkeitsfelder:

- Aufbau einer nationalen Ladeinfrastruktur für jede Art von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen
- Demonstration und Verbreitung von emissionsarmen Fahrzeugen in öffentlichen und privaten Fuhrparks, vor allem für den Einsatz in städtischen Gebieten
- Finanzielle Kaufanreize für Elektrofahrzeuge jeglicher Art.

Die genehmigten Gesetze beinhalten außerdem Regelungen, gemäß denen die lokalen Behörden die öffentliche und private Installation von xEV-Ladestationen fördern können. Insgesamt werden öffentliche Mittel von 120 Millionen Euro von 2013 bis 2015 zur Verfügung stehen (IA-HEV 2013).

#### *Anreizsysteme*

Italien bietet Kaufanreize für Fahrzeuge mit alternativem Antrieb (Strom, Erdgas, Flüssiggas, Biokraftstoffe oder Wasserstoff): Der Verkaufspreis für Neufahrzeuge mit CO<sub>2</sub>-Emissionen von weniger als 50 g/km wird mit bis zu 20 % (maximal 5 000 Euro) subventioniert. Der Subventionsbetrag sinkt mit steigenden Fahrzeugemissionen bis maximal 120 CO<sub>2</sub> g/km. Der Kaufanreiz wird zum Großteil an Flotten des öffentlichen Dienstes vergeben (70 % des Gesamtfonds). Als weitere Voraussetzungen muss ein altes Fahrzeug der gleichen Kategorie wie das gekaufte Fahrzeug verschrottet werden. Die berechtigten Fahrzeugklassen sind zwei- und dreirädrige Motorräder und Mopeds, sowie Transporter und Pkws (IA-HEV 2013). Für den Erwerb von BEV wird außerdem eine fünf Jahre lange Befreiung von der Kfz-Steuer und ein anschließende Steuerermäßigung von 75 % gewährt. Hinzu kommen verschiedene finanzielle Anreize auf regionaler Ebene. So offerieren beispielsweise die Regionen Lombardei und Piemont eine Reduzierung der Kfz-Versicherung von etwa 50 %.

#### *Infrastruktur*

In Italien gab es 2013 etwa 1 350 Level 2 / Standard-AC-Ladestationen (640 in öffentlichen Bereichen und etwa 710 in privaten Bereichen). Nur wenige DC-Schnellladestationen sind vorhanden, und noch bis 2012 waren diese ausschließlich private Ladepunkte für Demonstrationzwecke (IA-HEV 2013). Der nationale Plan für die Ladeinfrastruktur, soll die Installation von Ladeinfrastruktur weiter voranbringen und auch die Zusammenarbeit mit lokalen Behörden regeln.

### **Polen**

#### *Regierungsstrategie*

Elektromobilität hat für die polnische Regierung keine hohe Priorität. Aufgrund der heimischen Vorkommen von Kohle und Erdgas hat der polnische Strommix eine hohe Emissionsintensität. Polen legt seinen Fokus in Bezug auf erneuerbare Energien im Verkehr eher auf den Bereich der Biokraftstoffe.

### *Anreizsysteme*

Obwohl die polnische Regierung sich verpflichtet hat, xEVs zu unterstützen, wurden bisher keine speziellen Regelungen eingeführt.

### *Infrastruktur*

Bislang wurden nur sehr kleine Projekte realisiert, oft mithilfe von EU-Mitteln, wie z.B. die EU-finanzierten Pilotprojekte für Elektromobilität „Fuel for Warsaw“ und „Cars for Warsaw“. Warschaus erste Ladestation für Elektrofahrzeuge wurde im November 2009 eröffnet. Im Rahmen des Pilotprogramms erhielt das Rathaus von Warschau außerdem fünf Elektroautos (Eurocities 2010).

## **Forschungsförderung und Institutionen**

### **EU-Ebene**

Auf EU-Ebene findet die Förderung von Forschung und Entwicklung insbesondere im Rahmen der „European Green Cars Initiative“ bzw. „European Green Vehicle Initiative“, dem siebten Forschungsrahmenprogramm sowie im Forschungsprogramm „Horizon 2020“ statt.

Als Teil des EU-Konjunkturprogramms wurde die European Green Car Initiative als „Public-Private Partnership“ ins Leben gerufen. Zwischen 2009 und 2013 wurden 80 Forschungsprojekte gefördert (z.T. noch Projektlaufzeiten bis 2015/2016). Auf EU-Ebene wurden dazu 500 Millionen Euro an öffentlichen Mitteln zur Verfügung gestellt, der gleiche Betrag wird von der Industrie aufgebracht (siehe (European Commission 2013), (European Green Cars Initiative 2014)). Das Forschungsbudget wird den beteiligten Industriepartnern mit einer Förderquote von 50 % zur Verfügung gestellt. Die EU-Kommission fördert hierbei vorwettbewerbliche Forschung, die noch nicht marktreif und damit noch nicht wettbewerbsrelevant ist (siehe STROM Regionalstudie Europa). Die Förderung konzentriert sich auf Forschung im Bereich der Elektrifizierung von Fahrzeugen. Daneben wurden auch Projekte zum Langstreckengüterverkehr und zur Logistik gefördert (European Green Cars Initiative 2014). Die Fördermittel wurden durch das siebte Forschungsrahmenprogramm vergeben. Neben direkter Forschungsförderung stehen auch zinsgünstige, zweckgebundene (an die Entwicklung sauberer/effizienter Fahrzeuge gekoppelte) Darlehen zur Verfügung. Ende 2013 waren 109 Projekte unter der European Green Cars Initiative gelistet (laufend und in Verhandlung) (Abb. 0-1). Davon hatten ca. 65 Projekte einen Fokus auf Elektromobilität. Insgesamt umfassen die Projekte ca. 421 Mio. Euro Fördermittel der EU-Kommission. Fortschritt im Bereich der Fahrzeugintegration (inkl. Fahrzeugklimatisierung, Leichtbau, Recycling, Elektronik und weiterer Optimierung von existierenden Komponenten) und Demonstration wird mit ca. einem Drittel der Fördermittel am stärksten gefördert, gefolgt von Forschung zu Energiespeichern und Antriebssystemen. Mit 25 Projekten, die von deutschen Institutionen koordiniert werden, ist Deutschland am stärksten in der Green Cars Initiative vertreten, gefolgt von Spanien und Italien. Großbritannien und Frankreich haben jeweils nur 9 Projekte (Kommunikation Maurizio Maggiore).

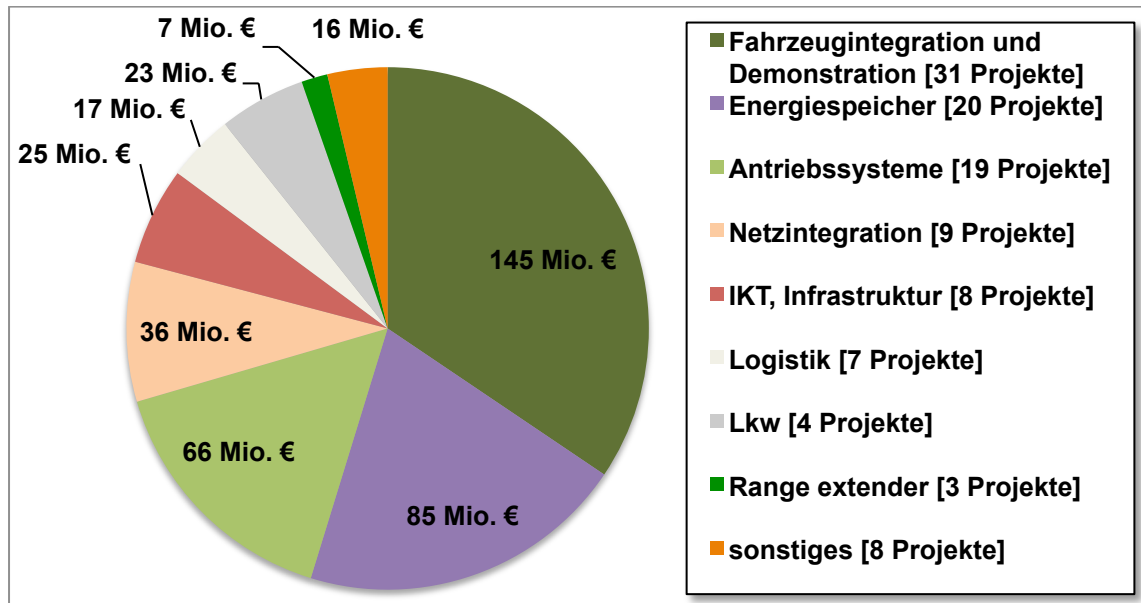


Abb. 0-1 Förderung der Europäischen Kommission unter der "European Green Cars Initiative"

Quelle: persönliche Kommunikation EU-Kommission Maurizio Maggiore

Im Anschluss an die „Green Cars Initiative“ wurde die „European Clean Vehicles Initiative“ 2014 gestartet. Diese fokussiert stärker auf Energieeffizienz von Fahrzeugen und alternative Antriebe und umfasst neben Pkw weitere Fahrzeugtypen. Die erste Ausschreibungsrunde für Fördermittel der „Green Vehicle Initiative“ wurde 2013 im Rahmen der „Horizon 2020“-Ausschreibung veröffentlicht (EGVI 2013). Für diese Ausschreibung stehen für 2014 und 2015 159 Mio. Euro zur Verfügung, unter anderem zur Weiterentwicklung von Lithium-Ionen-Batterien, für Energiemanagement in Elektrofahrzeugen, elektrische zwei- und dreirädrige Fahrzeuge, Hybrid-Nutzfahrzeuge und die Integration von Elektrofahrzeugen in das Verkehrssystem und Stromnetz. Neben den spezifischen Ausschreibungen im Rahmen der „Green Vehicles Initiative“ werden Aspekte der Elektromobilität auch durch Forschungsvorhaben in weiteren verkehrsbezogenen oder in Energie- oder IKT-bezogenen „Horizon 2020“-Ausschreibungen adressiert (European Commission 2013).

### Nationale Förderprogramme

In **Frankreich** hat die Regierung im Jahr 2009 für einen Vierjahreszeitraum 120 Mio. Euro für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsprojekte für kohlenstoffarme Fahrzeuge sowie Ladeinfrastruktur zur Verfügung gestellt. Zusätzlich sind im „Automobile Pact“ Darlehen von 250 Mio. Euro vergeben worden. Der Plan mit einem Gesamtvolumen von bis zu 7 Mrd. Euro wurde beschlossen, um Darlehen an Fahrzeug- und Komponentenhersteller sowie für die Förderung von Innovationen in der xEV-Industrie zu vergeben (IFA 2014).

In **Großbritannien** stellte die Regierung 2012 82 Mio. GBP (95 Mio. Euro) für die Forschungs- und Entwicklungsförderung bis 2015 zur Verfügung, die vor allem durch das „Technology Strategy Board“ verwaltet wird (IA-HEV 2013). Das „Technology Strategy Board“, eine nichtstaatliche Gesellschaft der britischen Regierung, ist eine zentrale Förderinstitution in Großbritannien und koordiniert die „low carbon vehicles innovation platform“. Die Plattform vergibt in Wettbewerbsverfahren Fördermittel für Forschungs- und Entwicklungs-



kooperationen. Alle Projekte müssen durch die Industrie kofinanziert werden. Die Förderthemen und -konditionen werden in Abstimmung zwischen Industrie (repräsentiert durch das „Automotive Council“) und Regierung (über das Technology Strategy Board) formuliert (Technology Strategy Board 2014). Der „Automotive Council“ wurde 2009 gegründet, um eine Technologie-Roadmap für emissionsarme Fahrzeuge und Kraftstoffe zu entwickeln. Darin wurden fünf strategische Bereiche für weitergehende Forschung und Entwicklung identifiziert:

- Verbesserungen an Verbrennungsmotoren
- Energiespeicherung und Energiemanagement für Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeuge
- Leichtbaufahrzeuge und Antriebsstrangstrukturen
- Entwicklung von Leistungselektronik und elektrischen Maschinen
- Entwicklung und Anwendung intelligenter Transportsysteme

In **Norwegen** ist Transnova die zentrale Institution und fördert Forschung und Demonstrationsprojekte im Bereich nachhaltiger, zukunftsorientierter und klimaeffizienter Mobilität. Themenschwerpunkte sind neue Konzepte der Organisation von Verkehr (z.B. Car-Sharing, E-Bikes, E-Taxis) und neue Konzepte zur Batterieaufladung. Transnova unterstützt hierfür Demonstrations- und Pilotprojekte und führt Informationsaktivitäten durch. Transnova ist unter dem Verkehrsministerium tätig und hatte 2013 ein Budget von 87,2 Mio. NOK (11,75 Mio. Euro) (Transnova 2014)

In **Italien** werden die nationalen Forschungsprogramme und Projekte mit einem Schwerpunkt auf xEV- und HEV-Technologien und Anwendungen weitergeführt, während Forschung und Demonstrationsprojekte für Brennstoffzellenfahrzeuge erheblich reduziert wurden. Forschung und Entwicklung im Bereich xEVs und HEVs sind auch Bestandteil einiger weiterer nationaler Programme. So enthalten die Programme INDUSTRYA 2015 and “Research for the Electrical System” einige Forschungsaktivitäten zum Thema Elektromobilität (IA-HEV 2012).

Einen **Überblick** über die öffentlich finanzierte Forschung auf dem Feld der Elektromobilität in Europa gibt eine Untersuchung des Joint Research Center der europäischen Kommission (European Commission 2013). Die Studie betrachtet ca. 320 von EU oder Mitgliedsstaaten finanzierte Projekte zur Elektromobilität, welche sich zu einem Gesamtinvestitionsvolumen von 1,4 Mrd. Euro aufsummieren. Deutsche und EU-Projekte haben, gefolgt von Frankreich, UK und Schweden, das größte Gesamtbudget (Abb. 0-2).

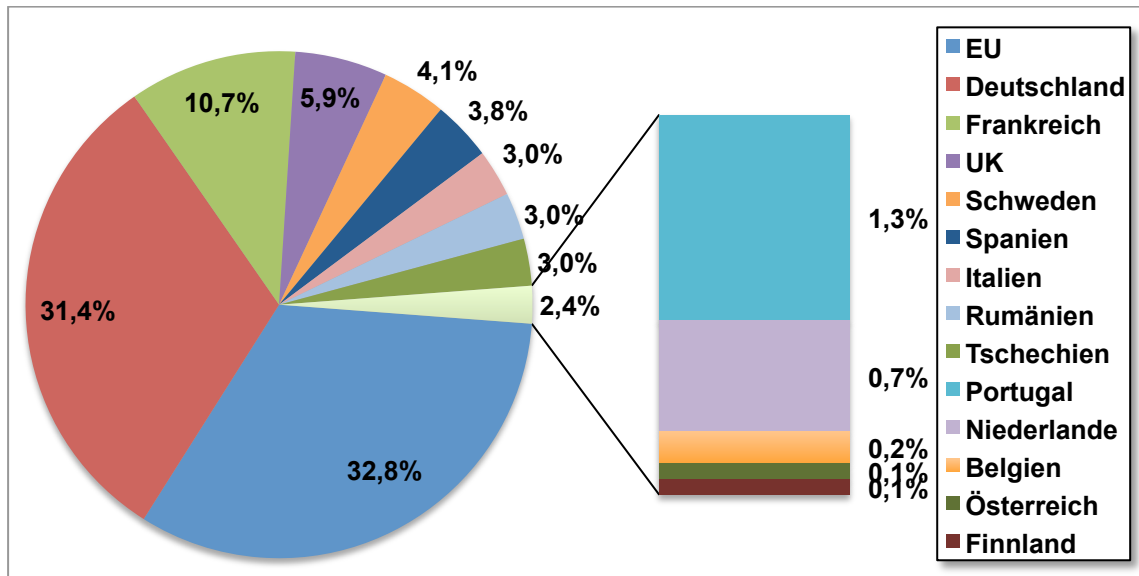


Abb. 0-2 Aufteilung des Förderbudgets auf EU und Mitgliedsstaaten am Gesamtinvestitionsvolumen von 1,4 Mrd Euro

Quelle: (European Commission 2013, 17)

Bei der Verteilung der Budgets auf die verschiedenen Forschungsfelder ergeben sich große regionale Unterschiede: Die von der EU kofinanzierten Projekte konzentrieren sich vor allem auf Forschung an Energiespeichern und Steuerungselementen. Die EU-Programme sowie die nationalen Programme in Deutschland führen mit einem Volumen von ca. 130 Mio. Euro bzw. 118 Mio. Euro im EU-Vergleich die Forschung im Bereich Energiespeicher an. Mit zum Teil unter 20 Mio. Euro investieren Frankreich und UK deutlich weniger in dieses Forschungsthema (Abb. 0-3).

Im Bereich der Steuerung (inkl. Energiemanagement, Batteriemonitoring, Netzintegration) liegen die EU-Förderung und Deutschland ebenfalls mit Volumen von über 120 Mio. Euro deutlich vorne, während andere EU-Länder in diesem Bereich deutlich unter 20 Mio. Euro Forschungsbudget verzeichnen. Hinsichtlich der Forschung an Elektromotoren führt Frankreich im europäischen Vergleich mit über 30 Mio. Euro, gefolgt von Deutschland (ca. 22 Mio. Euro) und der EU-Förderung (ca. 14 Mio. Euro). Frankreich verzeichnet ebenfalls das höchste Budget im Bereich Thermomanagement (ca. 39 Mio. Euro). In Deutschland sind die Projekte zu Thermomanagement meist mit Forschung zu weiteren Komponenten bzw. Gesamtfahrzeugkonzepten verbunden und weisen insgesamt fast ein ähnliches Budget auf wie Frankreich. Im Bereich neuer Fahrzeugkonzepte liegt Deutschland mit über 60 Mio. Euro im europäischen Vergleich an erster Stelle, gefolgt von Schweden, sowie UK und Frankreich mit über 30 Mio. Euro Förderungsvolumen (European Commission 2013).

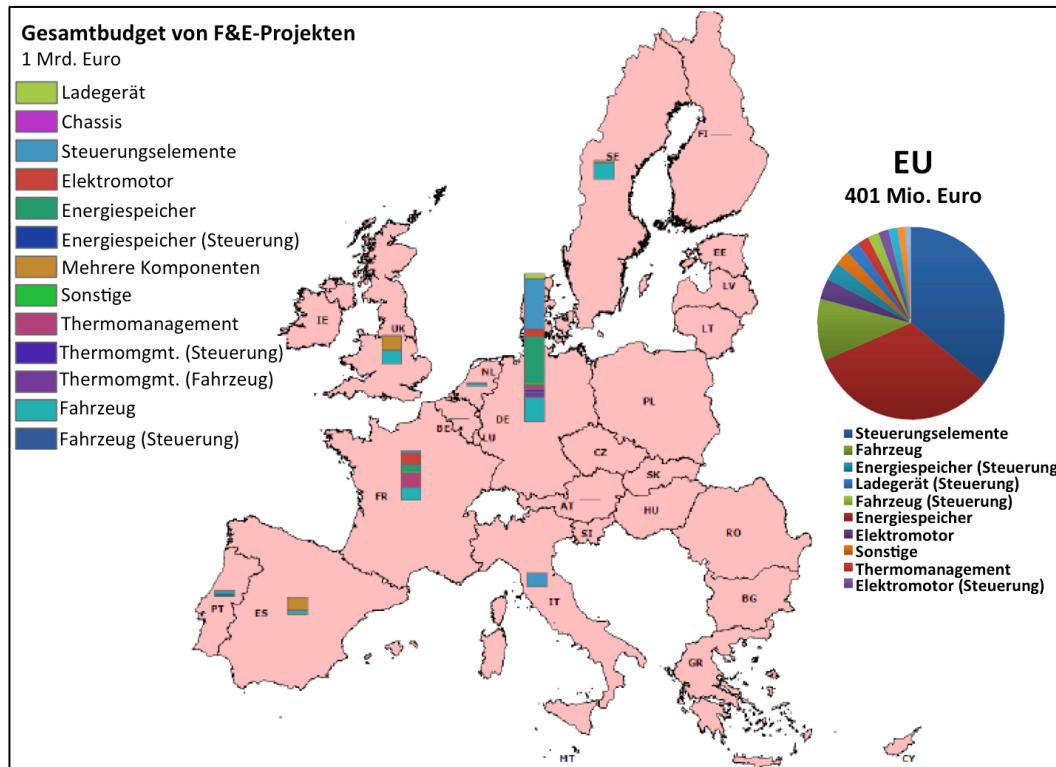


Abb. 0-3 Investitionen in FuE Projekte nach Fahrzeugkomponenten im EU-Vergleich

Quelle: (European Commission 2013, 20)

## Wirtschaft und Industrie

Die Bedeutung der Automobilindustrie für die Gesamtwirtschaft ist in den untersuchten Fällen unterschiedlich hoch: Frankreich, Großbritannien und Italien haben eine lange Tradition in der Automobilproduktion. Die Autoindustrie trägt dort mit 1,7 Mio. bzw. 1,5 Mio. und 0,4 Mio. produzierten Pkw mit bis zu 1,5 % zum BIP bei. Norwegen dagegen weist kaum eigene Autoindustrie auf (Tab. 0-1). In Polen produzieren vor allem ausländische Firmen etwa 540.000 Fahrzeuge von europäischen und asiatischen Marken für den Weltmarkt.

	Gesamtzahl produzierter Pkw (2012)	Anteil der Automobilindustrie an Bruttowertschöpfung (2005)
<b>Frankreich</b>	1,7 Mio.	1,5 %
<b>UK</b>	1,5 Mio.	1,1 %
<b>Norwegen</b>	-	-
<b>Italien</b>	0,4 Mio.	0,8 %
<b>Polen</b>	0,5 Mio.	1,7 %

Tab. 0-1 Gesamtzahl produzierter Pkw und Anteil der Automobilindustrie am BIP in den fünf Fallstudienregionen

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von (OICA 2012) und EU KLEMS Database

Auch die Bedeutung von xEVs innerhalb der Autoindustrie schwankt stark zwischen den einzelnen Ländern:

Die **französischen** Automobilindustrie bietet seit 2011 BEVs zum Verkauf an. Die wichtigsten Hersteller von xEVs sind dort PSA Peugeot Citroën und Renault-Nissan. Diese haben zugesagt, bis 2015 70 000 PEVs zu produzieren und auszuliefern. Auch im Bereich der Batterien sind die französischen Hersteller vertreten. So bauen Renault, die CEA (Französische Atomenergie- und alternative Energien-Kommission) und Nissan derzeit ein Werk in Flins, 45 km außerhalb von Paris, mit einer Produktionskapazität von 100 000 bis 350 000 Batterien pro Jahr. Die französische Firma Saft, ein weltweit führendes Unternehmen in der Produktion von High-Tech-Batterien, produziert diese seit 2009 in seiner Fabrik in Nersac. Hinzu kommt die Bolloré-Gruppe, das Beteiligungsunternehmen hinter dem BEV-Carsharing Autolib. Zu den gänzlich oder in Teilen in Frankreich hergestellten PEV-Modellen zählen: Mia electric, Renault Kangoo ZE, Renault Zoe und der Smart Fortwo Electric Drive (Proff und Kilian 2012).

In **Großbritannien** produzieren mehr als 40 Unternehmen Fahrzeuge. Diese reichen von global tätigen Volumen-Automobilproduzenten und Transporter-, LKW- und Bus-Herstellern bis zu Nischenanbietern (IA-HEV 2012). Die Automobilindustrie stellt 7% der Industrieproduktion und 5,3 % der Beschäftigung im verarbeitenden Gewerbe in Großbritannien. Im Bereich der Elektrofahrzeuge ist das wichtigste in Großbritannien gefertigte Modell der Nissan Leaf, dessen Produktion im Jahr 2013 in Sunderland begann.

Aus **Norwegen** stammen einige der Pioniere in der Entwicklung von Elektrofahrzeugen, insbesondere der Buddy von Buddy Electric (ehemals früher Elbil Norge AS) sowie die Firma Think Global AS. Allerdings ist die Produktion von Elektrofahrzeugen heute kaum noch existent. Think Global AS ist seit 2011 insolvent, vom Buddy Electric wurden Experten zufolge zuletzt nur noch etwa 30 Fahrzeuge pro Jahr verkauft (Experteninterview Transnova).

In **Italien** gibt es etwa 3 500 Unternehmen in der Automobilindustrie, für die direkt und indirekt rund 1,2 Mio. Mitarbeiter beschäftigt sind. Die Automobilindustrie investiert außerdem pro Jahr mehr als 2 Mrd. Euro in Forschung und Entwicklung. Hierzu gehören auch größere Unternehmen, die Elektro- und Brennstoffzellen-Fahrzeuge entwickeln, insbesondere Fiat, Pininfarina und der Batteriehersteller FIAMM. Zu den in Italien gebauten PEV-Modelle zählen der Bolloré – Blue Car und der Tazzari ZERO.

Die europäischen Automobilhersteller verfolgen hinsichtlich der Produktion von **xEV-Komponenten** unterschiedliche Strategien: Während einige Hersteller wie BMW und Volkswagen eine eigene Inhouse-Produktion der wichtigsten Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs (z.B. Elektromotoren, Batteriemontage) aufbauen, haben sich andere Hersteller dazu entschieden, diese Komponenten meist außerhalb von Europa herstellen zu lassen (siehe Proff und Kilian 2012).

Nissan will für sein Modell Leaf eine weltweite Produktionskapazität von 250 000 Fahrzeugen jährlich schaffen, wovon 25 000 Einheiten in Sunderland (Großbritannien) produziert werden sollen. Opel produziert seinen Ampera mit Range Extender, der identisch mit dem Chevrolet Volt ist, in Hamtramck (Michigan). Die Fiat-Chrysler-Gruppe plant, die elektrische Version des Fiat 500 in Toluca (Mexiko) zu fertigen. Der Citroen C-Zero und Peugeot Ion

werden dagegen im Mitsubishi-Werk in Okazaki (Japan) gefertigt, während Renault seine Elektrofahrzeuge in Europa produziert: Der Kangoo Z.E. wird auf der gleichen Fertigungslinie wie der Kangoo mit Verbrennungsmotor in der Produktionsanlage in Maubeuge (Frankreich) hergestellt. 2012 hat Renault außerdem den Twizy Z.E., der in Valladolid (Spanien) produziert wird, sowie die Fluence Z.E. Limousine, die in Bursa (Türkei) hergestellt wird, auf den Markt gebracht. Außerdem baut Renault sein Elektrofahrzeug Zoé in Flins, nahe Paris (Proff und Kilian 2012).

Fast die komplette **Produktion von Lithium-Ionen-Zellen** ist dagegen momentan in Übersee beheimatet. Innerhalb der Europäischen Union gibt es nur einige wenige Produktionsstandorte wie die japanische Allianz von NEC, Nissan und Renault, genannt AESC in Großbritannien und Spanien, die Saft S.A. (Frankreich) oder das deutsche Joint-Venture LiTec der Daimler AG und Evonik. In Frankreich haben außerdem Renault und Nissan in Zusammenarbeit mit der CEA (Französische Kommission für Atomenergie und alternative Energien) eine Fabrik in Flins gebaut, um Batterien in großem Maßstab zu produzieren. Innerhalb der EU hat Frankreich damit momentan eine führende Rolle in der Batterieproduktion (Proff und Kilian 2012).

## Verbraucher und Markt

In der gesamten EU waren 2012 etwa 250 Mio. Pkw zugelassen. Italien, Frankreich und Großbritannien sind hierbei mit 37 Mio., 31 Mio. und 30 Mio. zugelassenen Fahrzeugen wichtige Märkte (Tab. 0-2). Die Gesamtzahl der zugelassenen PEV war Mitte 2014 noch relativ gering. Norwegen hat unter den untersuchten Ländern die größte PEV-Flotte mit fast 34 000 Fahrzeugen, trotz der geringen Größe des Gesamtmarktes. In Frankreich waren ca. 24 000 PEV registriert. In allen Untersuchungsregionen ist die BEV Flotte deutlich größer als die PHEV-Flotte (siehe (EEO 2014) (Eurostat 2014), (IA-HEV 2013)).

	Gesamtzahl registrierter Pkw (Stand 2012)	Gesamtzahl registrierter BEV (Stand Juni 2014)	Gesamtzahl registrierter PHEV (Stand Juni 2014)	Marktanteil PEV 2013 an neuen Registrierungen
<b>Frankreich</b>	31,4 Mio.	21 589	1 967	0,49 %
<b>Großbritannien</b>	29,7 Mio.	7 385	3 578	0,16 %
<b>Norwegen</b>	2,4 Mio.	31 992	1 698	7,6 %
<b>Italien</b>	37,1 Mio.	1 860	366	0,09 %
<b>Polen</b>	16 Mio.	n.v.	n.v.	n.v.

Tab. 0-2 Gesamtzahl, und Marktanteile von BEV und PHEVs im Pkw Bereich in den fünf Fallstudienregionen

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von (EEA 2014), (EEO 2014) (CCFA 2014), (Grønn Bil 2014), (SMMT 2014), (IA-HEV 2013), (ICCT 2014)\*

Somit bleibt Elektrofahrzeugen in allen untersuchten Fallregionen, bis auf Norwegen, aktuell nur eine Nischenrolle. Aufgrund der geringen Anteile an den Neuregistrierungen wird sich dies vermutlich erst mittelfristig ändern: Insgesamt wurden in der EU (EU-27) im Jahr 2013 über 55 000 PEVs neu registriert. Bei einer Gesamtzahl von 11,8 Mio. neu registrierten Fahrzeugen liegt der Marktanteil bei ca. 0,47 %. Mit 0,52 % der Neuregistrierungen liegt Frankreich leicht über dem EU-Durchschnitt, während Italien mit 0,09 % den geringsten Marktanteil der dargestellten Länder aufweist (vgl. Abb. 0-4). Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Marktanteil in Polen wesentlich geringer ist. Großbritannien erreichte einen Marktanteil von 0,16 im Jahr 2013. Der höchste Marktanteil wird mit ca. 7,6 % im Jahr 2013 in Norwegen erreicht. Dadurch stellt Norwegen unter den Vergleichsregionen in 2013 auch den größten absoluten Markt für PEV, was angesichts der vergleichsweise geringen Einwohnerzahl durchaus beachtlich ist.

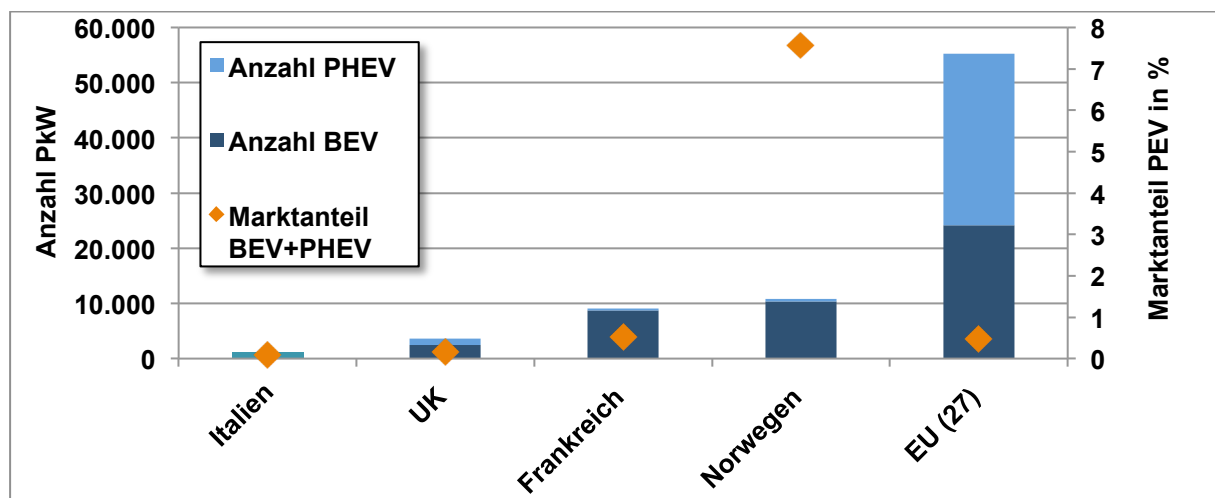


Abb. 0-4 Anzahl von BEV und PHEV an Verkäufen/Registrierungen und Marktanteil im Jahr 2013

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von (EEA 2014), (CCFA 2014), (Grønn Bil 2014), (SMMT 2014) (IA-HEV 2013), (ICCT 2014)

In Großbritannien wird die Förderung von xEVs durch den Kaufzuschuss über die „Plug-in Car Grant“ (s.o.) als wichtiger Treiber für die Marktentwicklung der Elektromobilität gesehen. Dieses im Januar 2011 eingeführte und im Februar 2012 auf Transporter erweiterte Anreizsystem war essentiell in der Kaufentscheidung von 85 % der Käufer eines Niedrigemissionsfahrzeugs, wie in einer aktuellen Studie gezeigt wurde (TRL 2013).

Norwegen erreicht in Europa den ersten Platz hinsichtlich der Anzahl von Elektrofahrzeuge pro Kopf. Dies ist einem starken Anreizsystem für xEVs zu verdanken, das teilweise bereits seit 2000 in Kraft ist. Die Situation wird durch Subventionen und Steuervergünstigungen auf der einen Seite und durch einen hohen Anteil erneuerbarer Energien (Wasserkraft) im Energieerzeugungsmix auf der anderen Seite begünstigt. Obwohl die Anreize überwiegend schon in den späten 1990ern oder zur Jahrtausendwende implementiert wurden, ist der Absatz von Elektrofahrzeugen in Norwegen erst seit 2010 stark gestiegen als der Mitsubishi i-Miev und der Nissan-Leaf in Norwegen auf den Markt kamen. Seitdem dominieren ausländische Marken eindeutig den norwegischen Markt (EV Norway 2014). Experten zufolge werden

xEVs am häufigsten in den Vororten rund um die großen Städte genutzt, während das größte Wachstum in ländlichen Gebieten beobachtet wird. In Norwegen besitzen viele Haushalte zwei Autos, sodass das Elektrofahrzeug insbesondere als Zweitwagen dient (Grønn Bil 2013).

Bedenken hinsichtlich der Reichweite, Kosten und fehlende Infrastruktur sind generell die wichtigsten Hindernisse für eine höhere Verbreitung von xEVs in Europa. Mehrere interviewte Experten waren sich einig, dass es ein mangelndes Bewusstsein für die Eigenschaften von Elektrofahrzeugen nicht nur bei den Kunden gibt – auch für Autohändler seien in dieser Hinsicht Schulungen erforderlich. Toyota die Erfahrung gemacht, dass neben höheren Kosten paradoxerweise auch für PHEV die Sorge um Reichweiten eine Rolle für Verbraucher spielt, da sie die Fahrzeuge mit BEVs gleichsetzen. Auch ein französischer Experte hat hervorgehoben, dass wesentliche Informationen, wie z.B. Vorteile bei den Total Cost of Ownership, nur unzureichend kommuniziert werden – sowohl unter den Akteuren der Versorgungsseite als auch in der Gesellschaft bzw. bei potenziellen Kunden. Im Moment werden die meisten xEVs in den hier betrachteten europäischen Ländern für private Zwecke genutzt. Viele der interviewten Experten sehen allerdings Flotten als Hauptmarkt für xEVs in der nahen Zukunft. Kaufentscheidungen der privaten Verbraucher hängen dagegen vor allem von den Anfangsinvestitionen ab und die Rolle der TCO wird unterschätzt, sodass es xEVs auf dem Privatkundenmarkt schwerer haben. Wie von einem norwegischen Experten erwähnt, sehen kleine und mittlere Unternehmen ein hohes Investitionsrisiko in der Umstellung ihrer Flotten auf xEVs, was die Marktentwicklung in Flotten hemmt. Insbesondere herrscht Unsicherheit über den Wiederverkaufswert der Fahrzeuge.

Zur Analyse der Marktperspektiven entwickelten Proff und Kilian (2012) auf Basis von geschätzter Marktnachfrage, Kosten-Nutzen-Schätzungen sowie Segmentierung und Kaufverhalten der Kunden eine Marktprognose für Europa. Demnach wird für 2020 noch eine deutliche Dominanz von ICE (Internal Combustion Engine)-Fahrzeugen mit einem Marktanteil von 84 % prognostiziert, während HEV und PHEV (einschließlich REEV) etwa 9 % bzw. 6 % und BEV sogar nur 1,1 % der Neuzulassungen in den EU 27 – Ländern ausmachen (Tab. 0-3). Bis 2030 wird für BEVs und PHEVs jedoch ein starker Anstieg der Marktanteile auf 11 % bzw. 20 % prognostiziert, wohingegen HEVs ihren Anteil nur moderat auf 13 % steigern können.

Für die wichtigsten europäischen Märkte haben Proff und Kilian (2012) zusätzlich eine detaillierte Analyse der länderspezifischen Marktentwicklung durchgeführt. So wird erwartet, dass in Frankreich aufgrund der spezifischen Strategien der französischen Automobilhersteller und anderer Akteure (z.B. Car-Sharing- und anderer wichtiger Unternehmen) BEV eine vergleichsweise hohe Bedeutung einnehmen werden. Für das Vereinigte Königreich wird ein PEV-Marktanteil von 7 % projiziert. In der nationalen Studie des OLEVs wurde ebenfalls ermittelt, dass die „ultra low emission vehicles“ im Jahr 2020 zwischen 3 % und 7 % Marktanteil erreichen könnten.

		Frankreich	UK	Italien	Spanien	Deutschland	EU 27
2020	HEV	9	7	10	7	7	9
	PEV	9	7	3	7	9	7
2030	HEV	11	8	23	13	7	13
	PEV	38	18	22	29	19	31

Tab. 0-3 Überblick über projizierte Marktanteile von xEVs an den Pkw-Neuregistrierungen in ausgewählten Ländern

Quelle: eigene Zusammenstellung auf Basis von (Proff und Kilian 2012)

## Fazit

Mit Ausnahme von Polen, wo Elektromobilität derzeit keine hohe Priorität genießt, finden in den untersuchten Fokusländern in Europa starke Aktivitäten in Bezug auf Elektrofahrzeuge statt. In Frankreich, Italien, UK und Norwegen profitieren Elektrofahrzeuge von Kaufanreizen, die jedoch unterschiedlich in ihrer Höhe und hinsichtlich der Förderkriterien ausgestaltet sind. Insbesondere die Systeme in Frankreich und Italien sind mit ihrem Bezug auf CO<sub>2</sub>-Emissionen sehr technologieoffen angelegt. Das norwegische Anreizsystem entfaltet die stärksten Auswirkungen auf die Kosten eines BEV im Vergleich zu einem Verbrennungsfahrzeug. Die betrachteten Länder in Europa investieren zudem in Forschung und Entwicklung sowie in Demonstrationsprojekte. Frankreich wendet in diesen Bereichen die größten Investitionen auf. Mit Ausnahme von Norwegen scheint die Förderung von xEVs in den meisten Fällen auch von nationalen industriepolitischen Interessen geleitet zu sein. Diese liegen zum Teil in einer starken, bereits bestehenden inländischen Automobilindustrie begründet, wie es in Frankreich und Italien der Fall ist, oder in Ambitionen im Bereich FuE, um eine dementsprechende Industrie aufzubauen. So legt die britische Politik für xEVs einen Schwerpunkt auf die FuE-Förderung mit der Perspektive, dass die xEV-Industrie ein wichtiger Motor für die Schaffung von Arbeitsplätzen werden kann. Französische Hersteller haben erfolgreich einige PEV-Modelle auf dem Markt gebracht, die zum Teil auch in Frankreich produziert werden. Großbritannien profitiert mit der Produktion des Nissan Leaf in Sunderland von den Aktivitäten ausländischer Hersteller. Großbritannien und Norwegen weisen spezifische Akteursstrukturen im Bereich Elektromobilität auf: In den meisten Ländern liegen die Zuständigkeiten bei den Ministerien auf Abteilungs- oder Schnittbereichsebene. In Großbritannien wurde mit dem „Office for Low Emission Vehicles“ eine neue Institution gegründet, die für den Ausbau des Anteils der xEVs auf den Straßen sorgen soll. In Norwegen ist die gemeinsame Initiative „Grønn Bil“ von Regierung und Industrie ein zentraler Akteur im Bereich Elektromobilität.

## Literaturverzeichnis Kurzfassung

CCFA. *Tableau de bord automobile – Année 2013* CCFA, Paris. 2014. [http://www.ccfa.fr/IMG/pdf/tdb37\\_annee\\_2013b.pdf](http://www.ccfa.fr/IMG/pdf/tdb37_annee_2013b.pdf) (Zugriff am 19. 09 2014).

City, Mobility & Transport Laboratory. „Information from expert interview.“ 2013.

CleanVehicleEurope. *‘Clean Vehicle Portal provided by the European Commission, Info per Member State’*. 2012. <http://www.cleanvehicle.eu/info-per-country-and-eu-policy/member-states/france/national-level> (Zugriff am 19. 09 2014).



EEA. „Monitoring CO2 emissions from new passenger cars in the EU: summary of data for 2013, EEA, Kopenhagen.“ 2014.

EEO. *European Electro-Mobility Observatory*. Juli 2014. <http://ev-observatory.eu/category/resources/> (Zugriff am 08. Januar 2015).

EGVI. *Presentation*. 2013. <http://www.egvi.eu/about-the-egvi-ppp/presentation> (Zugriff am 19. 09 2014).

Eurocities. *Case study: Public charging points for electric vehicles, Warsaw*. 2010. <http://www.eurocities.eu/eurocities/documents/Case-study-Public-charging-points-for-electric-vehicles-Warsaw-WSPO-8PM4ZT> (Zugriff am 19. 09 2014).

European Commission. „Horizon 2020. Work Programme 2014-2015. Smart, green and integrated transport. European Commission Decision C (2013)8613 of 10 December 2013.“ 2013.

European Commission. „Paving the way to electrified road transport. Publicly funded research, development and demonstration projects on electric and plug-in vehicles in Europe. JRC, Luxemburg, Publication Office of the European Union.“ 2013.

European Commission 2014. *Reducing CO2 emissions from passenger cars*. 2014. [http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index_en.htm) (Zugriff am 19. 09 2014).

European Green Cars Initiative. *Project Portfolio. European Green Cars Initiative PPP. Calls 2010-2013*. 2014. [http://www.egvi.eu/uploads/Modules/Publications/project-portfolio-egci-\(june2014\).pdf](http://www.egvi.eu/uploads/Modules/Publications/project-portfolio-egci-(june2014).pdf) (Zugriff am 19. 09 2014).

Eurostat. *EU Vehicles in use*. 2014. [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/transport/data/main\\_tables#](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/transport/data/main_tables#) (Zugriff am 19. 09 2014).

EV Norway. *Norway's EV future*. 2014. <http://www.evnorway.no/#/future> (Zugriff am 19. 09 2014).

Grønn Bil. „Informationen aus Experteninterview.“ 2013.

Grønn Bil (undatiert) *Over 20.000 ladbare biler på norske veier*. 2014. <http://www.gronnbil.no/nyheter/over-20-000-ladbare-biler-paa-norske-veier-article366-239.html> (Zugriff am 19. 09 2014).

Hannisdahl, Ole Hendrik, Havard Vaggen Malvik, und Guro Bøe Wensaas. „The future is electric! The EV revolution in Norway – explanations and lessons learned. EVS 27 Conference Proceedings , Barcelona.“ 2013.

IA-HEV. „Hybrid and Electric Vehicles. The electric drive gains traction.“ 2013.

IA-HEV 2012. *The Implementing Agreement for cooperation on Hybrid and Electric Vehicle Technologies and Programmes (IA-HEV), IA-HEV Member Countries*. 2012. <http://www.ieahev.org/by-country> (Zugriff am 19. 09 2014).

ICCT. *European Vehicle Market Statistics*. International Council on Clean Transportation, Berlin: ICCT, 2014.

IFA. *France's sectors of excellence – Automotive industry*. 2014. <http://www.invest-in-france.org/Medias/Publications/225/AutomotiveIndustry.pdf> (Zugriff am 19. 09 2014).

OICA. *2012 production statistics*. 2012. <http://www.oica.net/category/production-statistics/2012-statistics/> (Zugriff am 19. 09 2014).

Proff, Heike, und Dominik Kilian. *Competitiveness of the EU Automotive Industry in Electric Vehicles*. Duisburg: Universität Duisburg-Essen, 2012.

SMMT. *Motor industry facts 2014*. Society of motor manufacturers and traders, London: SMMT, 2014.

Technology Strategy Board. *Technology Strategy Board grant funded projects database*. 2014. <https://connect.innovateuk.org/publicdata/> (Zugriff am 19. 09 2014).

Transnova. *About Transnova*. 2014. <http://www.transnova.no/english/> (Zugriff am 19. 09 2014).

Transnova. „Information from expert interview.“ 2013.

TRL. *Assessing the role of the Plug-in Car Grant and Plugged-in Places scheme in electric vehicle take-up*. 2013. [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/236749/research-exec-summary.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/236749/research-exec-summary.pdf) (Zugriff am 19. 09 2014).

## Summary

This study analyses key trends in electric mobility in Europe. Thereby, it takes a closer look at five case studies - France, the United Kingdom (UK), Norway, Italy and Poland. Europe as a region constitutes of a variety of countries, which differ in terms of culture, political system and economic strength. The selected case studies do not only account for those differences. They also reflect regional differences with regard to policy-making and policy approaches.

Despite those regional differences in terms of policy-making, all case studies show considerable governmental support for xEVs. Even Poland, the case displaying the least tangible support for xEVs, is backing the development of innovative technologies in the sphere of lower emission transportation. While the UK established formal institutions in charge of expanding the share of xEVs on its roads, in most countries such responsibilities are located within ministries at departmental or sectional level. It seems that with exception of Norway, the support for xEVs is in most cases framed in the context of national political interests. They are either rooted in a strong domestic car manufacturing industry, as it is the case in France and Italy, or national ambitions in the area of R&D. The UK's national policy for xEVs puts emphasis on R&D and the prospect of the xEV-industry to become a key driver for job creation. In that sense, support for xEV and related R&D is feeding clearly into national industrial policy. Interestingly, as far as it concerns the case studies, differences in R&D could hardly be established between the countries. As national research programs feed into larger European Union (EU) programs, agendas and priorities are set on a transnational level. Thereby the EU not only harmonizes national R&D agendas, it helps to disseminate related results among its Member States. This leads us to another key player in Europe.

The EU is driving xEV policies, within its Member States and beyond, based on its energy and transportation policies, which translate into national energy strategies and measures. For example, it prescribes Member States an increase in renewable energy consumption in the area of transport of 10% and sets a limit for CO<sub>2</sub>-emissions per km on 130g for new cars, (valid since 2012). The limit has been narrowed down to 95g by 2020. Moreover, EU is actively contributing to the expansion of xEVs on its territory through standardization and as already mentioned through research programs.

In retrospect, we can derive four key lessons from the case studies with regard to best practices in fostering the expansion of xEVs on our roads:

- **Follow a broad policy approach:** In all case studies governments articulate a very broad support for xEVs. In general, policies focus on the notion of efficient transportation and not just electric mobility. This applies to the most and least progressive countries alike. Emphasis on electric mobility as such takes place in second step and in an explicit context of national industrial policy formulation, which for practical reasons requires a rather narrow focus.
- **Take a broad approach to R&D:** The R&D activities in the case studies reflect the broad policy approach mentioned before. Energy efficiency in transport is at the centre of support. This contradicts the promotion of a particular technology - maybe, ex-

cept in the case of Poland. Poland spending power on R&D is considerably lower compared with France, the UK or Italy. In that respect, one may argue that Poland's focus on gasification of transportation may be a strategic decision under financial constraints. Norway's funding potential for R&D is exceptional given the country's huge income from oil and gas extraction.

- **Employ a variety of policy measures:** In terms of policy measures directed at the support for xEVs, European countries employ a mixture of measures. Reaching from tax-incentives to bonus programs as well as to amending public procurement principles favouring the purchase of xEVs. Besides those direct measures focused on xEV, most states employ policy measures supporting the expansion of low-emissions vehicle in general, such as permitting the establishment of “Low Emission Zones” (LEZ).
- **Get metropolitan areas to lead progress:** Though, less of a key lesson as such, it is worth taking a closer look at the role that metropolitan areas play in fostering the uptake of xEVs. On the one hand, they are affected by the national policies concerning xEVs as they need to accommodate the expanding share of xEVs in on their roads and infrastructure. On the other hand, they act all over Europe as key players with regard to the promotion of xEVs. While permitting LEZ is an important act at the policy level, the establishment of such areas and, thus, the implementation of legislation lies usually with regional governments or cities. In that regard, it is important to take into account the crucial role that metropolitan areas can and do play in fostering xEVs.

Variance in the market penetration of xEVs among European countries is basically the result of economic power and size of population. In addition, given that the expansion of xEVs is still in its early stage, accessible and reliable data are still lacking.

The following bullets provide a brief summary on the activities taking place at national level in Europe with a focus on the case studies and setting a focal point on government policies and measures.

- **France:** France's governmental strategy for xEVs is based on the so called “Electric Vehicle Plan” adopted in 2009. The strategy is part of the government's industrial policy. France is one of the major car manufacturing countries in Europe and is determined to create a prospering xEVs industry. Furthermore, in 2012 the government adopted an investment program to support electric vehicles and charging infrastructure, referred to as the “Hirtzman Mission”. Besides providing grant aid to any person acquiring a car with CO<sub>2</sub> emissions less than or equal to 60 g/km, the program will also cover deployment of charging stations and other xEVs related infrastructure.
- **United Kingdom:** The UK's activities in the area of xEVs are driven by the government's “Four-Year Business Plan 2011-2015: Decarbonization of Road Transport”. What distinguishes the UK from other countries in Europe is that it has established a governmental agency in charge of the promotion of xEVs – the Office of Low Emission Vehicles (OLEV). OLEV implements the nationwide strategy to promote EV-infrastructure, supports pilot programs, supports standardization (e.g. early adoption of EU standards), coordinates and consolidates R&D and promotes purchase of

xEVs. The UK's support for xEVs is strongly embedded in government support for R&D reflecting the UK's ambition to become a leader in R&D xEVs.

- **Norway:** Norway's strategy towards xEVs is based on the government's "Commitment to a Change in Vehicle Technology". It reflects the strongest position in favour of xEVs among the case studies. In Norway, the notion of "green" or "clean" is banned in car advertisement. Some government representatives still support the idea to ban all gasoline-only cars. The most recent proposal sets 2015 as the target year for such a ban. Outstanding in Europe is the government and industry initiative "Grønn Bil". Supported by Norwegian energy companies, it aims at the introduction of 200'000 xEVs by 2020. The Norwegian Ministry of Transportation and the Association of Norwegian Municipalities are members of the steering committee. In sum, the goal of those measures is to pressure the international car industry to develop new technologies quicker than in the past. Among the case studies, Norway shows the strongest and most tangible support for xEVs. It benefits of a strong and broad support base within society, economy and politics.
- **Italy:** Italy's strategy towards xEVs is based on the government's "Commitment to Support Electric Mobility". The commitment is driven by Italian power suppliers, which show strong interest in the market prospects for xEVs and integration into the current electricity infrastructure. In the past, Italian policy-makers were keen to propose legislation favouring the development of low emission mobility and related infrastructure. In the Italian context, it is important to acknowledge that policy-making and support for xEVs takes place not only at federal level. Of equal importance or even more is the regional level. Given their substantial political autonomy, the regions are important players in sphere of xEV, especially, when it comes to practical steps, such as the establishment of LEZ, or amending public procurement rules favouring the purchase of low-emission vehicles.
- **Poland:** Though the Polish government committed itself to support xEVs, no particular legislation has been adopted so far. However, its commitment reflects the important role the EU plays in driving xEVs policy-making at national level in Europe. The EU has been active in Poland with xEVs related projects, such as "Fuel for Warsaw" and "Cars for Warsaw". However, private initiatives are most likely to contribute to substantial progress in the expansion of xEVs, such as the "Green Stream Project" driven by the Polish Association of Electrical Engineers. However, Poland is not generally absent in technological innovation for transportation. The country substantially supports the development of biofuels and the gasification of public transport, however, reflecting the particular interests of a country endowed with fossil resources.

# 1 The Project STROM-Assist

## 1.1 Project background: STROM and STROM-Assist

The accompanying research project STROM-Assist aims at identifying key technologies for the deployment of electric vehicles in the future. Basis for the accompanying research is the funding program by the German Federal Ministry of Education and Research called STROM, in which 18 electric mobility projects are involved<sup>2</sup>. The total program has a funding sum of around € 180 million. The project consortia include vehicle manufacturers, tier-1 and tier-2 suppliers, universities and research institutes. The program has a strong approach towards applied concepts and practices with a high market potential in the future. The STROM-projects cover the following categories (technology cluster):

- Vehicle Concept
- Lightweight Construction
- Electric Engine
- Thermo Management of Batteries and Motors
- Power Electronics
- Range Extender

The projects in this program will focus on the technical development of such technologies. STROM-Assist accompanies these projects by reflecting national research efforts within the context of developments in electric mobility in different global regions.

## 1.2 Scope of the subproject “Regional Trends in Electric mobility”

The subproject “Regional Trends in Electric mobility” aims at identifying and analysing major trends in the field of electric mobility. The trend analysis will monitor research effort and upcoming technologies, policies, products and market developments in different focus regions around the world continuously to enable a systematic analysis of global trends. The regional trend analysis for electric mobility is a major keystone for the project success and therefore cooperation with renowned international institutions in the field of electric mobility is foreseen.

Objects of analysis in the subproject “Regional Trends in Electric mobility” include various forms of battery-electric, road-based vehicles ranging from e-bikes to electric buses, while the focus is on electric passenger cars. The analysis covers vehicles that have electric assisted drive systems as well as vehicles that derive all power from batteries. The focus is on all-electric passenger cars (BEV) and plug-in hybrid electric vehicles (PHEV). Mild hybrids and full hybrid are only included in the analysis if these vehicle types are of high relevance in the study region. Furthermore, associated technologies, infrastructures, business models and mobility concepts are under investigation. The analysis covers not only well-known vehicle technologies and mobility concepts, but also includes innovative approaches for electric mobility. At some points it may be necessary to include other vehicle technologies

---

<sup>2</sup> Information on programs funded by the Federal Ministry: <http://www.bmbf.de/en/14706.php>

and mobility concepts in the analysis to assess the role of electric mobility. The term “vehicle” subsequently will address road-vehicles only.

### **1.3 Methodology Regional Study Europe**

The results presented in this document are based on desktop research, on a review of scientific literature and grey literature as well as on interviews with local stakeholders. A researcher team consisting of representatives of the Wuppertal Institute conducted the interviews in the end of 2013 until the beginning of 2014 as face to face interviews or telephone interviews. The consultation of local experts served to obtain information that complemented the result of the literature review. The interviews provided additional information especially concerning ongoing developments and related to topics, which are insufficiently covered in public documents. In addition, current experiences and expert assessments and opinions on the further development of electric mobility in Europe were collected.

The interviews within the framework of the regional study Europe focused on four branches:

- Policy framework and strategies (e.g. funding programmes and budgets, standards and regulations, infrastructure and electricity industry, adequacy of the current policy framework)
- Focus areas of research and development (e.g. research topics, organisation of the electric mobility research, cooperation between different actors)
- Economy and industry (e.g. main manufacturers of electric vehicles, strategies and business models in the broader sense)
- Consumer and markets (trends, acceptance of electric vehicles, current users)

Representatives of thirteen different institutions were interviewed. Among these institutions were automobile manufactures, electric mobility projects or project management organisation, research institutes and governmental institutes (Table 1).

Table 1: Overview about the interview partners for the regional study Europe

Institution	Department	Sector
IEA IA-HEV	Secretary General	Policy, research
Transnova		Policy, research (Norway)
Nissan Europe	Corporate planning Nissan International SA	Industry
Grønn Bil		Policy, industry (Norway)
Supélec university (École Supérieure d'Électricité) / Armand Peugeot Chair	Economics	Policy, industry
Toyota	Toyota Motors Europe – Government Affaires	Policy, industry
European Commission	DG Climate Action	Policy
European Commission	DG Research and Innovation	Policy, research
European Commission	DG Mobility and Transport	Policy, research
European Commission	DG Enterprise and Industry	Policy, industry
European Electromobility Observatory		Policy, market
IFSTTAR (French Institute of Science and Technology for Transport)	City, Mobility & Transport Laboratory (LVMT)	Policy, market (France)
Transport Research Laboratory	Low Carbon Vehicle and ITS Technology	Policy, market (UK)

The results were reviewed and structured according to the four fields of investigation. The outcomes of the interviews are used anonymously in the regional study and are summarized at in the end of each thematic field.

#### 1.4 Definitions

The focus is on all electric passenger cars (BEV) and plug-in hybrid electric vehicles (PHEV). Mild hybrids and full hybrid are generally referred to as hybrid electric vehicles (HEV) or plug-in hybrid electric vehicle (PHEV). In those case where given to the source now differentiation was made with regard to hybrid or all electric vehicles, the study employs the notion of electric vehicle (xEV).

To sum up, the definitions provided below are used to differentiate the various electric vehicle car concepts:



- **xEV** (electric vehicles): Please use this term to indicate that you are talking about HEV, PHEV and BEV in total
- **BEV** (battery electric vehicle): The vehicle has only an electric propulsion system and relies exclusively on electricity from the power grid.
- **HEV** (hybrid electric vehicle): The vehicle has an internal combustion engine and an electric drive motor. The battery is only charged on-board by regenerative braking and while driving on engine power.
- **PHEV** (plug-in hybrid electric vehicle): The vehicle has an internal combustion engine and an electric drive motor and can be plugged in to an electrical outlet to be recharged.
- **PEV** (plug-in electric vehicles): You can use this terms if you are talking about vehicles that can be plugged in to an electric outlet for charging (**PHEV** and **BEV**) in total.
- **FCEV** (fuel cell electric vehicle): Vehicles that have a fuel cell using hydrogen to produce electricity, which powers the electric motor. FCEV are not in focus in the regional studies, but sometimes relevant when referring to governmental targets and so on.

## 2 The study region

### 2.1 Geographic definition

We have chosen five target countries (France, UK, Italy, Norway and Poland) to represent the diversity within Europe, and make special notion of the European Union as supranational player where adequate.

Those target countries reflect distinct regional public policy approaches and strategies. Norway represents the Nordic Countries and their preference for innovative policy approaches, UK the pragmatic Anglo-Saxon policy approach with a preference for market mechanisms. France represents a more central state dominated policy approach, while in Italy policy is driven by the regions reflecting their autonomy, in particular, in the area of environmental policy. Finally, we take a look at Poland as a representative for Eastern European states. Poland's public policy approach towards electric mobility reflects the financial constraints that governments of those countries face, contrary to their West European counterparts.

Table 1. European countries (not included: Andorra, San Marino, Vatican City) and the five selected focus countries (in bold typeface).

Country*	Region	EU27	OECD	
<b>Norway</b>	North	non EU	Y	<b>focus country</b>
<b>Sweden</b>	North	EU27	Y	
<b>Finland</b>	North	EU27	Y	
<b>Iceland</b>	North	non EU	Y	
<b>Estonia</b>	North	EU27	Y	
<b>United Kingdom</b>	North-west	EU27	Y	<b>focus country</b>
<b>Denmark</b>	North-west	EU27	Y	
<b>Ireland</b>	North-west	EU27	Y	
<b>Netherlands</b>	North-west	EU27	Y	
<b>Germany</b>	<i>Not subject of this report</i>	<i>EU27</i>	Y	
<b>Belgium</b>	West	EU27	Y	
<b>Luxembourg</b>	West	EU27	Y	
<b>France</b>	West	EU27	Y	<b>focus country</b>
<b>Switzerland</b>	West	non EU	Y	
<b>Liechtenstein</b>	West	non EU	N	
<b>Austria</b>	West	EU27	Y	
<b>Portugal</b>	West	EU27	Y	
<b>Poland</b>	East	EU27	Y	<b>focus country</b>
<b>Lithuania</b>	East	EU27	N	
<b>Latvia</b>	East	EU27	N	
<b>Czech Republic</b>	East	EU27	Y	
<b>Slovak Republic</b>	East	EU27	Y	
<b>Russian Federation</b>	East	non EU	N	
<b>Belarus</b>	East	non EU	N	
<b>Ukraine</b>	East	non EU	N	
<b>Moldova Republic</b>	East	non EU	N	
<b>Hungary</b>	East	EU27	Y	

<b>Roumania</b>	East	EU27	N	
<b>Bulgaria</b>	East	EU27	N	
<b>Italy</b>	South	EU27	Y	<b>focus country</b>
<b>Spain</b>	South	EU27	Y	
<b>Slovenia</b>	South	EU27	Y	
<b>Serbia incl Kosovo</b>	South	non EU	N	
<b>Montenegro</b>	South	non EU	N	
<b>Macedonia FYROM</b>	South	non EU	N	
<b>Albania</b>	South	non EU	N	
<b>Greece</b>	South	EU27	Y	
<b>Turkey</b>	South	non EU	Y	
<b>Cyprus</b>	South	EU27	N	
<b>Malta</b>	South	EU27	N	

## 2.2 Characteristics of the car market

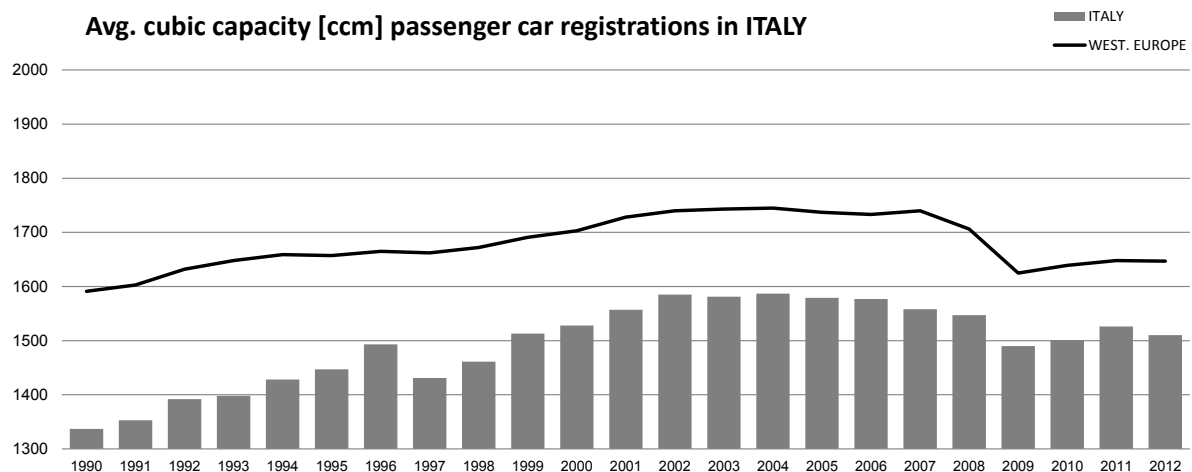
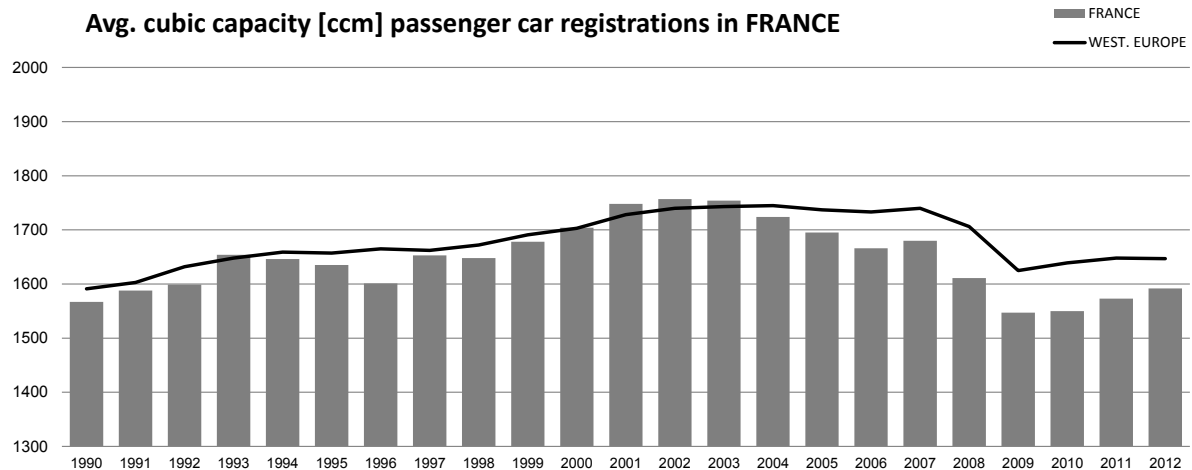
The various countries in the study region differ in size and hence in the size of their car market, as characterized by new passenger car sales in the table below.

Table 2. Size of the car market (registrations of new passenger cars [category M vehicles] 2012) in EU member states, Iceland, Norway and Switzerland.

<b>Country*</b>	<b>Registrations 2012</b>	
<b>Austria</b>	336'010	
<b>Belgium</b>	487'377	
<b>Bulgaria</b>	19'752	
<b>Czech Republic</b>	173'997	
<b>Denmark</b>	170'531	
<b>Estonia</b>	19'424	
<b>Finland</b>	107'166	
<b>France</b>	1'898'760	focus country
<b>Germany</b>	3'082'580	<i>subject of separate report</i>
<b>Greece</b>	58'479	
<b>Hungary</b>	53'008	
<b>Ireland</b>	79'498	
<b>Italy</b>	1'402'089	focus country
<b>Latvia</b>	10'665	
<b>Lithuania</b>	12'165	
<b>Luxembourg</b>	50'398	
<b>Netherlands</b>	502'675	
<b>Poland</b>	271'215	focus country
<b>Portugal</b>	95'290	
<b>Romania<sup>3</sup></b>	72'148	
<b>Slovakia</b>	69'195	
<b>Slovenia</b>	50'091	
<b>Spain</b>	699'589	
<b>Sweden</b>	279'478	
<b>United Kingdom</b>	2'044'609	focus country
<b>Total EU27</b>	12'046'189	
<b>Iceland</b>	7'930	
<b>Norway</b>	137'967	focus country
<b>Switzerland</b>	326'081	

<b>EFTA (3)</b>	471'978
<b>Total EU27+EFTA</b>	12'518'167

The car market within the study region is very diverse. Some countries, for reasons that are a mixture of cultural, historical, domestic industrial and welfare reasons, have a general preference towards smaller cars (as a yardstick for car size, we adopt engine capacity in this chapter), whereas others do not. The figures below show the temporal evolution of average cubic capacity for the focus countries of this report in relation to the Western Europe (i.e., EU15 + EFTA) average.



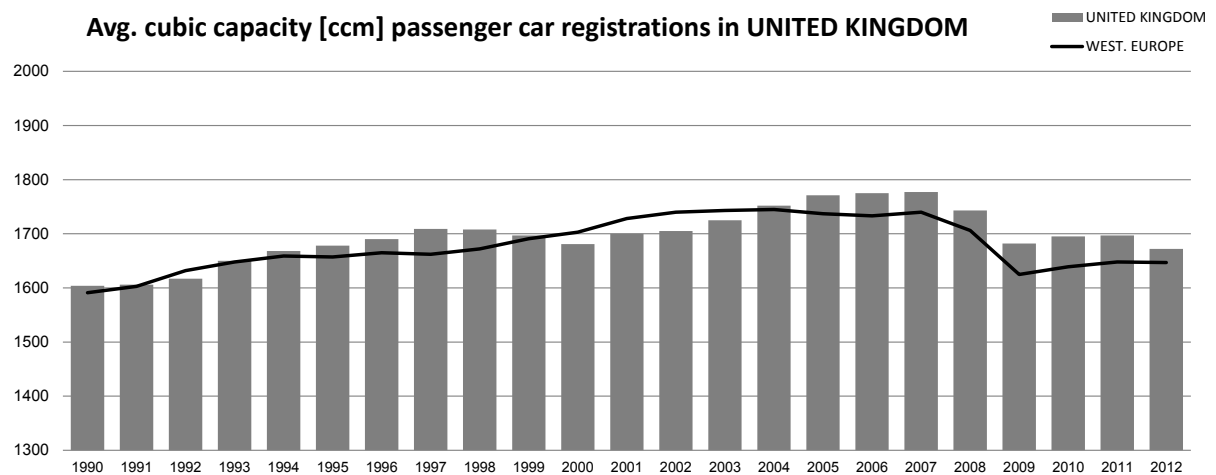
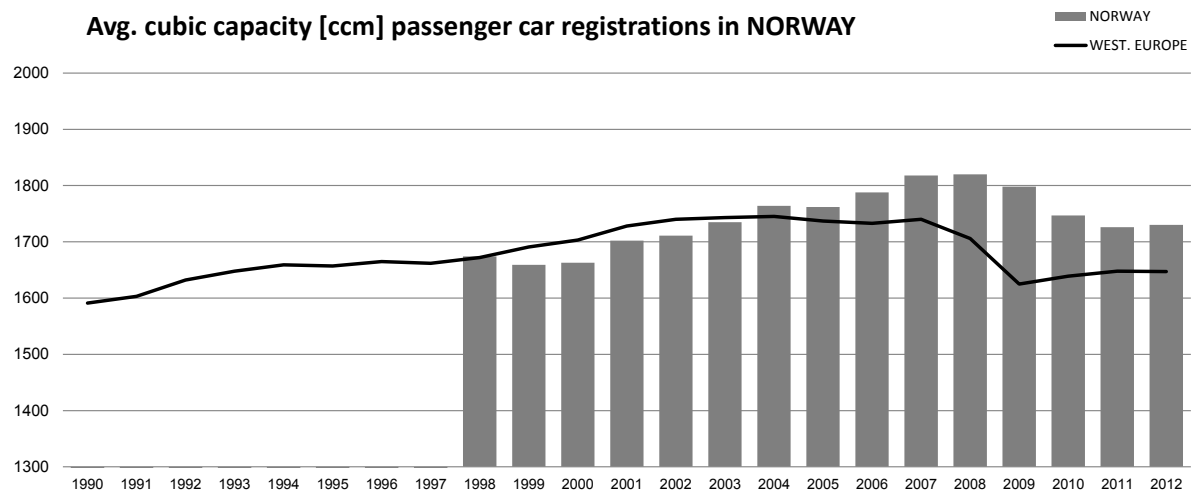
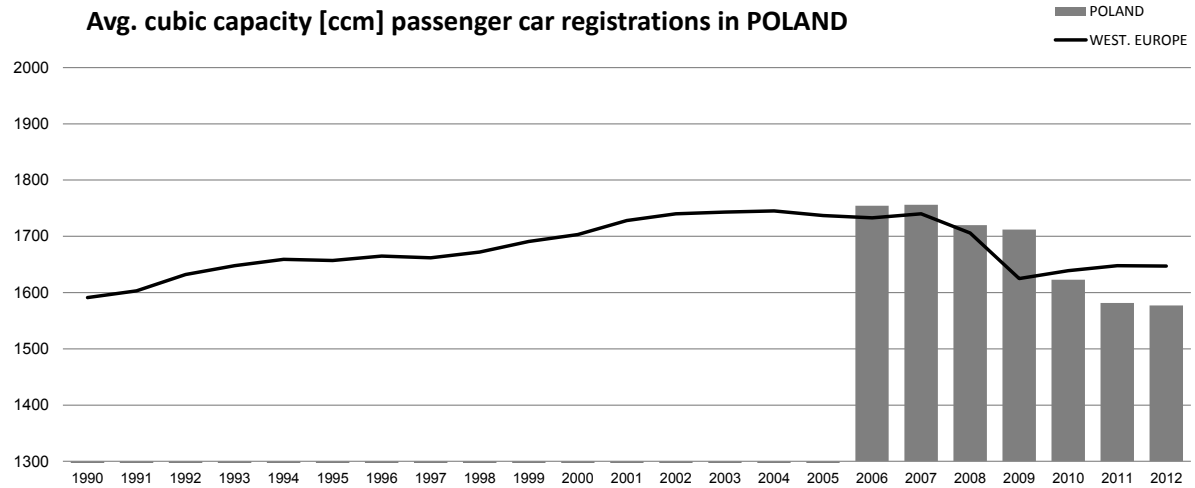


Figure 1. Temporal evolution of average engine cubic capacity of new passenger car registrations. Data source: ACEA ([www.acea.be](http://www.acea.be), accessed 8 Dec 2013).

## 2.3 Classifications and statistics in Europe

### 2.3.1 Vehicle classification

Vehicle classification in Europe (including non EU member states) follows EU legislation as laid down in council directive 2007/46/EC. Vehicle categories M, N and O, which are the relevant ones with respect to electric mobility, are defined according to the following classification ("maximum mass" in the following definitions means "technically permissible maximum laden mass" as specified in item 2.8 of Annex I of 2007/26/EC):

Category M: Motor vehicles with at least four wheels designed and constructed for the carriage of passengers:

- (a) Category M1: Vehicles designed and constructed for the carriage of passengers and comprising no more than eight seats in addition to the driver's seat,
- (b) Category M2: Vehicles designed and constructed for the carriage of passengers, comprising more than eight seats in addition to the driver's seat, and having a maximum mass not exceeding 5 tonnes,
- (c) Category M3: Vehicles designed and constructed for the carriage of passengers, comprising more than eight seats in addition to the driver's seat, and having a maximum mass exceeding 5 tonnes.

Category N: Motor vehicles with at least four wheels designed and constructed for the carriage of goods:

- (a) Category N1: Vehicles designed and constructed for the carriage of goods and having a maximum mass not exceeding 3,5 tonnes;
- (b) Category N2: Vehicles designed and constructed for the carriage of goods and having a maximum mass exceeding 3,5 tonnes but not exceeding 12 tonnes,
- (c) Category N3: Vehicles designed and constructed for the carriage of goods and having a maximum mass exceeding 12 tonnes.

L-category vehicles comprise powered two-, three- and four-wheel vehicles as categorised in Annex I, including powered cycles, two- and three-wheel mopeds, two- and three-wheel motorcycles, motorcycles with side-cars, light and heavy on-road quads, and light and heavy quadri-mobiles:

- (a) category L1e vehicle (light two-wheel powered vehicle),
- (b) category L2e vehicle (three-wheel moped),
- (c) category L3e vehicle (two-wheel motorcycle),
- (d) category L4e vehicle (two-wheel motorcycle with side-car),
- (e) category L5e vehicle (powered tricycle),

(f) category L6e vehicle (light quadricycle),

(g) category L7e vehicle (heavy quadricycles).

### **2.3.2 Charging infrastructure classification**

No European wide accepted infrastructure classification has emerged so far. However, the current debate among the major stakeholders, such as power suppliers and the EU institutions, show a preference for standards elaborated and provided by the International Electrotechnical Commission (IEC standard), in particular, IEC 61851 for conductive charging of EVs. IEC 61851 (series 1) defines the four modes of charging an EV from a power source (EURELECTRIC (2011):

- Mode 1 is defined as connecting the vehicle to the supply network or mains, utilising a standardised socket outlet at the supply side, with single or three-phase, neutral and protective earth conductors.
- Mode 2 is an intermediate solution to charge a Mode 3 vehicle with a dedicated Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE) on a standardised socket outlet not dedicated to EVs. For this to be possible, the charging cable is fitted with an In-Cable Control Box (ICCB) at the cable supply side ending, allowing it to act as an EVSE. From the ICCB a standardised plug is then used to connect to the standardised socket outlet. Finally,
- Mode 3 applies to vehicles with a dedicated EVSE. It relies on a dedicated socket outlet for charging the vehicle and also includes a control-pilot functionality for additional safety.
- Mode 4 is defined as an indirect connection to the mains using an EVSE. An example of this is DC charging where the DC charger is connected to the mains and then feeds the vehicle with DC voltage and current directly to the vehicle battery.

Modes 1 to 3 are estimated to allow an EV to be fully charged in between three and ten hours through direct connection to a mains supply. Mode 4 could fully charge an EV in under ten minutes, but as it uses off-grid batteries, it is the most expensive to implement.

In addition, IEC 61851-1 defines three cable and plug setups which can be used to charge EVs: Case A, where the cable is permanently attached to the EV; Case B, where the cable is not permanently attached to anything; and Case C where the cable is permanently attached to the charging station.

Building upon IEC 61851 is IEC 62196, which basically comprises two International Standards. It defines the plugs and sockets, which can be used to charge an EV.

- IEC 62196-1 contains the general requirements. Those standards apply to all four charging modes outlined above.
- IEC 62196-2 standardizes only three types of the mains connecting systems described above, such as mode 1, 2 and 3.

A third standard, IEC 62196-3, is currently being developed to standardize DC (direct current) charging (mode 4).

Finally, determining which of these charging mode is appropriate for installation and use depends largely upon the electrical infrastructure and regulatory conditions in each country.

## 2.4 Europe's transport system in general

Transport in Europe provides for the movement needs of over 700 million people and associated freight. The political geography of Europe divides the continent into over 50 sovereign states and territories. This fragmentation, along with increased movement of people since the industrial revolution, has led to a high level of cooperation between European countries in developing and maintaining transport networks. Supranational and intergovernmental organisations such as the European Union (EU), Council of Europe and the Organization for Security and Co-operation in Europe have led to the development of international standards and agreements that allow people and freight to cross the borders of Europe, largely with unique levels of freedom and ease.

Road, rail, air and water transportation are all prevalent and important across Europe. Europe was the location of the world's first railways and motorways and is now the location of some of the world's busiest ports and airports. The Schengen Area enables border control-free travel between 25 European countries. Freight transportation has a high level of inter-modal compatibility and the European Economic Area allows the free movement of goods across 30 states.

**Rail transport.** The modern European rail network spans the entire continent and provides passenger and freight movement. There are significant high-speed rail passenger networks in Spain, France, Germany, and Italy. In all European countries, standard gauge is the most important rail gauge except for Russia, Finland, the ex-Soviet states, as well as the Iberian gauge in Spain and Portugal. Rail infrastructure, freight transport and passenger services are provided by a combination of local and national governments and private companies.

**Air transport.** Despite an extensive road and rail network, most long distance travel within Europe is by air. Heathrow Airport, London is the busiest airport in the world by number of international passengers (third busiest overall). The advent of low cost carriers in recent years has led to a large increase in air travel within Europe. Air transportation is now often the cheapest way of travelling between cities. This increase in air travel has led to problems of airspace overcrowding and environmental concerns. The Single European Sky is one initiative aimed at solving these problems.

**Maritime and inland waterway transport.** As well as its role in freight movement, sea transport is an important part of Europe's energy supply. Europe is one of the world's major oil tanker discharge destinations. Energy is also supplied to Europe by sea in the form of LNG. The South Hook LNG terminal at Milford Haven, Wales is Europe's largest LNG terminal.



**Road transport.** The following table provides the main transport indicators for European countries. Regarding market volume, the European car market is only the fourth-most important after North America, China, and Japan.

Table 3. Main road transport indicators for Europe (source: UNECE 2011).

	passenger cars [stock at 31 Dec 2010]	Goods vehicles [stock at 31 Dec 2010]	passenger cars [new registra- tions 2010]	Goods vehicles [new registra- tions 2010]	passenger-km [2010, million]
Albania	325'783	94'110	17'079	4'833	
Austria	4'462'163	1'007'522	329'325	57'770	
Belarus	2'340'000				
Belgium	5'276'000	738'000	551'661	60'202	114'060
Bosnia- Herzegovina	724'787	96'141	34'898	8'560	1'864
Bulgaria	2'602'400	304'436	186'092	23'234	10'613
Croatia	1'521'384	188'326	46'437	6'512	2'748
Cyprus	462'652	144'000	32'680	6'690	
Czech Republic	4'496'000	929'001	168'372	35'857	79'944
Denmark	2'120'326		153'610	19'021	
Estonia	552'684	146'669	28'838	7'575	2'241
Finland	2'877'484	1'299'849	112'418	46'356	72'285
France	31'393'734	5'603'601	2'209'454	462'543	777'247
Germany	42'302'000	9'132'197	2'916'260	470'346	982'700
Greece			152'304	29'213	
Hungary	2'984'063	845'770	61'324	28'304	
Iceland	204'736	13'744	3'095	99	
Ireland	1'937'130	327'090	105'343	9'597	
Italy	36'751'000	3'984'000	1'971'830	171'864	109'153*
Latvia	636'660	127'000	26'656	6'880	14'677
Liechtenstein	27'037	3'000	1'788	154	
Lithuania	1'691'900	178'000	161'266	23'488	32'975
Luxembourg	337'239	60'711	49'726	3'884	
Malta	241'320	40'399	13'603	1'191	
Montenegro	165'494	15'234	8'812	1'002	81
Netherlands	7'736'000	2'075'000	483'168	59'781	183'600
Norway	2'308'000	1'408'000	159'374	69'323	64'700
Poland	17'240'000	3'772'001	873'098	238'153	319'504
Moldova Republic	425'685	131'243	18'041	10'999	2'817
Romania	4'319'701	667'219	309'952	40'686	15'813
Russian Fed.	34'354'004	7'809'999			140'611
Serbia	1'565'550	197'239	28'951	2'275	4'652
Slovakia	1'669'065	522'844	126'663	28'381	5'372
Slovenia	1'061'650	108'000	60'777	6'307	28'819
Spain	22'148'000	5'718'000	1'000'010	19'582	395'332
Sweden	4'335'000		308'374	44'176	108'685
Switzerland	4'076'000	572'600	296'600	41'400	102'232
Macedonia	310'231	23'907	49'291	2'047	140
Turkey	7'544'871	894'000	485'619	45'170	226'913
Ukraine	6'780'516	945'199			52'048
United Kingdom	28'421'000	3'678'000	1'996'324	256'413	708'750

\*Only transport on motorways

## 3 Regional Trends in Electric mobility in Europe (excluding Germany)

### 3.1 Government / Policies / Public Infrastructure

This chapter provides an overview on the role of the government and key public institutions<sup>3</sup> in electric mobility for the previously selected countries in Europe (France, United Kingdom, Norway, Italy, and Poland) (chapter 3.1.1).

It outlines the relevant national strategies and objectives (3.1.2), the regulatory framework (3.1.3) as well as financial support and incentive schemes (3.1.4) fostering electric mobility.

It concludes with a brief overview on the key power supply characteristics of each country and outlines major trends for the coming years (3.1.5). In that regards, it also takes a closer look at the provision of electric mobility specific infrastructure (3.1.6).

#### 3.1.1 Actors

##### I. EU

#### ***Energy policy and strategy, renewable electricity***

---

**Responsible:** Under the political guidance of the **Energy Commissioner**, the **Directorate-General for Energy** is responsible for developing and implementing a European energy policy.

Through the development and implementation of innovative policies, the Directorate-General aims at:

- Contributing to setting up an energy market providing citizens and business with affordable energy, competitive prices and technologically advanced energy services.
- Promoting sustainable energy production, transport and consumption in line with the EU 2020 targets and with a view to the 2050 decarbonisation objective.
- Enhancing the conditions for secure energy supply in a spirit of solidarity between Member States.

In developing a European energy policy, the Directorate-General aims to support the Europe 2020 programme, which, for energy, is captured in the Energy 2020 strategy.

#### ***Public infrastructure for electric mobility***

---

**Responsible:** **European Commission**, in particular, the Directorate-General for Energy. Based on the Directive on the Promotion of Clean and Energy Efficient Road Transport Vehicles (DIRECTIVE 2009/33/EC) the EU aims at a broad market introduction of environmentally-friendly vehicles. Among the tools to promote the establishment of public infrastructure for electric mobility is the Clean Vehicle Portal, It is a web-based tool provided by the

---

<sup>3</sup> Note: In some countries governmental and public institutions change their name and setup frequently, i.e. depending on newly elected governments.

European Commission to facilitate the implementation of the Clean Vehicle Directive in the European Member States. It provides reference data on vehicle life-cycle cost including the cost of environmental side effects in a manufacturer--neutral way (using internationally accepted vehicle test cycles). The vehicle data set covers all relevant vehicle-categories (M1, M2, M3, N1, N2, N3) and technologies/fuels (conventional fuelled engines, hybrid, biodiesel, E85 flexifuel, LPG, CNG, electric, hydrogen) and is supposed to be updated continually. The portal aims at supporting all institutions procuring vehicles in the European Member States as well as legal entities and individuals who are interested in purchasing environmentally friendly vehicles.

Other means by which the EU supports the establishment of public infrastructure are the European Energy Programme for Recovery. As a 4bn EUR programme it was set up in 2009 to co-finance projects, designed to make energy supplies more reliable and help reduce greenhouse emissions, while simultaneously boosting Europe's economic recovery. The projects cover 3 broad fields: 44 gas and electricity infrastructure projects, 9 offshore wind projects and 6 carbon capture and storage projects.

Finally, the EU contributes to the establishment of public infrastructure in the field of transport and infrastructure through the multi-year EU budget for 2014-20. Funding priorities over this period are infrastructure, technology, energy efficiency and renewables, and improving nuclear safety and decommissioning.

## II. France

### ***Energy policy and strategy, renewable electricity***

---

**Responsible: Ministry of Ecology, Sustainable Development and Energy** (*Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie*) (MEDDE)

Since 2009, the Ministry combines separate institutions focusing on transport, urban development, climate change and energy. The combination of formerly separate institutions is expected to allow for a more coherent policy formulation and greater cost-effective implementation of governmental policies and measures (IEA 2009a, 20-22).

Within the Ministry, the **Directorate-General for Energy and Climate** (*la direction générale de l'énergie et du climat*) (DFEC) develops comprehensive policies related to air, climate and energy. Besides developing policies for energy markets, security of supply and nuclear power, DFEC is also responsible for the expansion of renewable energy and in charge of formulating policies for low-carbon transport systems (IEA 2009a, 20-22).<sup>4</sup>

### ***Public infrastructure for electric mobility***

---

**Responsible: Directorate-General for Energy and Climate (DFEC) and regional and local authorities**

The DFEC shares responsibility for the development of low-carbon transport systems with regional and local authorities. With the adoption of the legislation Grenelle II, responsibility

---

<sup>4</sup> The Directorate exists in that particular form since 2008. It also incorporates the Inter-ministerial Mission for the Greenhouse Effect, the National Observatory for Climate Warming Effects and the Office of Air Quality.

for infrastructure construction is assigned to local and regional authorities. Moreover, it requires charging points for xEV at new construction areas (IA-HEV-2012).

For example, by 2012 thirteen municipalities, among them Bordeaux, Nice, Paris, Rouen, Strasbourg, and Nancy, envisioned to deploy public battery recharging infrastructure. The Government also announced an investment plan to support that kind of public infrastructure. An estimated one million public and private battery-charging stations will be built by 2015 under the plan (IA-HEV 2012).

### **III. United Kingdom**

#### ***Energy policy and strategy, renewable electricity***

---

**Responsible: Department of Energy and Climate Change (DECC), Department of Trade and Industry (DTI)**

DECC brings together energy policy previously with Department for Business, Enterprise and Regulatory Reform (BERR) and the Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). DECC has lead responsibility to reduce energy demand in the UK. It develops and implements policy on climate change and energy efficiency. Another key actor is the DTI, which deals with production, generation and supply of energy. It develops and implements energy policy, in particular, on the supply side and thereby feeds into the national energy strategy. Both, DECC and DTI, contribute to the development of renewable electricity (IEA 2006, 32-33). For more details, please refer to IEA (2012).

#### ***Public infrastructure for electric mobility***

---

**Responsible: Department of Transport (DT), Department for Communities and Local Government (DCLG)**

The main actors with regard to public infrastructure are DT and DCLG. DT oversees the operation and development of transport systems and actively develops of transport policies for individual and mass transit. Moreover, it is a key player in the promotion of alternative fuels (IEA 2006, 32-33). The DCLG, successor to the Office of Deputy Prime Minister, promotes community cohesion and equality. It is responsible among others for building regulations and standards and planning for parts of the energy infrastructure at local and community level (IEA 2006, 32-33). For more details, please refer to IEA (2012).

#### ***Research and development on electric mobility***

---

**Responsible: UK Energy Research Centre (UKERC), Energy Research Partnership (ERP)**

One of the main actors in research on sustainable future energy systems is UKERC. Founded in 2004, it functions as the hub of UK energy research and the gateway between the UK and the international energy research communities. It is complemented by another Government supported initiative the ERP. Established in 2006, the ERP aims at providing a strategic direction to UK energy research, development, demonstration and deployment. Its main focus is on increasing the level and impact of national R&D activities (IEA 2012).

### ***Policies for market penetration***

---

**Responsible: Office for Low Emission Vehicles (OLEV), Energy Saving Trust (EST), The Carbon Trust (CT)**

The OLEV is a cross-government effort to facilitate and manage the Government's goal of decarbonizing road transport in the UK. OLEV includes staff and personnel from the Department for Transport (DT), the Department for Business, Innovation, and Skills (BIS), and also the Department of Energy and Climate Change (DECC) (IA-HEV 2012).

The main task of OLEV is to contribute to the market penetration of xEVs by:

- supporting R&D in the area of ultra-low emission vehicles and demonstration efforts
- promoting consumer uptake of such cars (e.g. via the Plug-In Car Grant and the Plug-in Van Grant)
- improving fuel economy of conventional vehicles

OLEV transmits the DT's support for the early market for electric and other ultra-low emission vehicles and implements various measures on strategic and operational level.

The EST is another player fostering market penetration of xEVs. It addresses the general public by encouraging energy efficiency and the integration of renewable energy as well as by promoting cleaner fuels for transport (IEA 2006, 32-33). Finally, the CT another independent governmental body addresses business and industry with advice on savings, promotion of government energy efficiency programs, support of small-scale low-carbon technologies (IEA 2012).

### ***Additional relevant topics***

---

Responsible for market regulation of the electricity (and gas) markets is The Office of Gas and Electricity Markets (IEA 2012).

## **IV. Norway**

### ***Energy policy and strategy, renewable electricity***

---

**Responsible:** The Ministry of Petroleum and Energy (MPE) holds the overall responsibility for the management of petroleum resources, water and hydropower resources and other domestic energy sources. The Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE) is a subordinate agency of the MPE responsible for the management of the energy and water resources on mainland Norway. Its task is to ensure coherent and environmentally sound management of river systems and to promote efficient electricity trading, cost-efficient energy systems and efficient energy use. NVE is the national regulatory authority for electricity. It also heads contingency planning for power supply. It has duties regarding research and development and international co-operation. The Ministry of the Environment is responsible for environmental policy and also has an overall responsibility for climate policy, whereas the Ministry of Transport and Communications has overall responsibility for energy use for transport purposes (IEA 2011a).

### ***Public infrastructure for electric mobility***

---

**Responsible:** As part of the 2009 stimulus package, the Parliament granted around NOK 52 million (EUR 6.3 million)<sup>5</sup> to fund electric vehicle infrastructure development. More than 1'600 charge spots received financial aid from the programme. Most of them will be ready for use by the end of 2010.

#### ***Research and development on electric mobility***

---

**Responsible:** Norway also subsidises RD&D projects on alternative energy sources for transport and green transport technologies. The subsidy programmes are administered by the Research Council of Norway and Transnova (IEA 2011a).

#### ***Policies for market penetration***

---

**Responsible:** Norway provides strong incentives for the uptake of xEVs, including exemptions from vehicle purchase tax, VAT, toll road charges and half of the company car taxes. xEVs also have access to bus lanes and to free public parking and free entrance on state highway ferries. At the end of 2010, there are close to 3'400 BEVs in Norway (IEA 2011a).

#### ***Additional relevant topics: Energy saving promotional agency***

---

**Responsible:** Enova SF is a public enterprise the task of which is to promote energy savings, new renewable sources of energy and environment-friendly use of natural gas. MPE acts as its owner on behalf of the government. MPE also defines Enova's tasks and goals. Quantitative targets have been set for Enova's activities.

## **V. Italy**

#### ***Energy policy and strategy, renewable electricity***

---

**Responsible:** Ministry of Economic Development (*Ministero dello Sviluppo Economico*) (MSE), Department of Energy (*Dipartimento di Energia*) (DE), Ministry for the Environment, Land and Sea (*Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare*) (MATTM)

Within the MES, the Department of Energy (DE) with its three Directorate-General (DG Energy and Mineral Resources, DG Security of Supply and Energy Infrastructure and DG Nuclear and Renewable Energy) is responsible for the formulation of the national energy policy. While climate change policy coordination is in the responsibility of MATTM, MATTM shares together with the MSE responsibility for the promotion of energy efficiency and the development and support of renewable energy.

#### ***Public infrastructure for electric mobility***

---

**Responsible:** DG Security of Supply and Energy Infrastructure, the Regions

The DG Security of Supply and Energy Infrastructure shares the responsibility for the development of public infrastructure for electric mobility with the Italian Regions. The Regions carry responsibility for policy areas not explicitly assigned to the national level (i.e. Parlia-

---

<sup>5</sup> FX rate: 100 NOK equals 12,1 EUR, as of 25.11.2013.

ment). In those matters the Regions can enact legislation, provided that it does not conflict with the framework principles adopted at State level.

The Regions enjoy concurrent legislative with the State among others in the area of energy production, transport, distribution and, thus, also with regard to public infrastructure for electric mobility.

### ***Additional relevant topics***

---

Responsible for the market regulation for the electricity (and gas) markets is the independent Regulatory Authority for Electricity and Gas. For the competition regulation, it is the independent regulatory agency called Competition Authority.

## **VI. Poland**

### ***Energy policy and strategy, renewable electricity***

---

**Responsible:** The Ministry of Economy is in charge of energy policy, including energy security. (IEA 2011b)

### ***Public infrastructure for electric mobility***

---

**Responsible:** The Ministry of Economy is in charge of energy policy, including energy security. The Ministry of Infrastructure is responsible for transport policy, as well as policy in the fields of spatial development, construction and housing. It therefore plays an important role in the design and implementation of energy efficiency measures in these sectors (IEA 2011b).

### ***Research and development on electric mobility***

---

**Responsible:** The Ministry of Environment is responsible for environmental aspects of the energy sector, including CO<sub>2</sub> and other greenhouse gas emissions, and environmental fees (IEA 2011b).

## **3.1.2 Objectives and Strategies**

### **I. EU**

The Commission's Transport 2050 Strategy<sup>6</sup> aims to break EU transport's dependence on oil and proposes a target of 60% greenhouse gas emissions reduction by 2050. It sets goals for the different modes of transport, including CO<sub>2</sub>-free city logistics in major urban centres by 2030, halving the use of conventionally fuelled cars in urban transport by 2030, and phasing them out in cities by 2050. It also envisages 40% CO<sub>2</sub>-low aviation fuels by 2050, and 40% CO<sub>2</sub> emissions reduction from ships.

These goals, according to the Commission, cannot be achieved with conventional fuels but require a big share of alternative fuels. Single-fuel solutions covering all transport modes would be technically possible with liquid biofuels and synthetic fuels (gas-to-liquid and bio-mass-to-liquid). But feedstock availability and sustainability considerations constrain their

---

<sup>6</sup> Transport White Paper 2010: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52011DC0144:EN:NOT>

supply potential. Thus the expected future energy demand in transport can most likely not be met by one single fuel. Fuel demand and greenhouse gas challenges will require the use of a large variety of primary energies. There is widespread agreement that all alternative fuels will be needed to resolve the expected supply–demand tensions. In the short term, alternative fuels will also contribute to the achievement of the 10% transport target established by the Renewable Energy Directive.

However, with the Commission proposal amending the Renewable Energy Directive – from 17 October 2012 – limiting the use of first generation biofuels to 5%, the Member States need to adapt their action plans to meet the 10% target with other renewable fuels such as biomethane, renewable electricity and hydrogen.

The Commission is proposing action to ensure the necessary infrastructure build-up across Europe, with common standards for interoperability. The minimum coverage requirement of recharging/refuelling points for electricity, hydrogen, LNG for maritime waterborne and road transport and CNG shall be implemented before 31 December 2020. The minimum infrastructure coverage requirement for LNG for inland waterway transport shall be implemented by 31 December 2025 at the latest. The relevant technical standards for the same fuels shall be adopted and implemented before 31 December 2015. Member States shall ensure that clear and simple information on the compatibility between fuels and vehicles is available by the date this directive has to be transposed into national law.

Table 4. Minimum number of electric vehicle recharging points in each Member State, according to the Impact Assessment accompanying document to the Legislative proposal on Alternative Fuels Infrastructure with some posterior adaptations from AVERE.<sup>7</sup>

EU Member States	Existing infrastructure (charging points) 2011	Proposed targets of publicly accessible infrastructure by 2020	Member States' plans for nos of xEV for 2020
Austria	489	12'000	250'000
Belgium	188	21'000	-
Bulgaria	1	7'000	-
Cyprus	-	2'000	-
Czech Republic	23	13'000	-
Germany	1'937	150'000	1'000'000
Denmark	280	5'000	200'000
Estonia	2	1'000	-
Greece	3	13'000	-
Finland	1	7'000	-
France	1'600	97'000	2'000'000
Hungary	7	7'000	-
Ireland	640	2'000	350'000
Italy	1'350	125'000	130'000 (by 2015)
Lithuania	-	4'000	-
Luxembourg	7	1'000	40'000
Latvia	1	2'000	-
Malta	-	1'000	-
Netherlands	1'700	32'000	200'000
Poland	27	46'000	-
Portugal	1'350	12'000	200'000
Romania	1	10'000	-

<sup>7</sup> Clean power for transport – Frequently asked questions: European Commission - MEMO/13/24 24/01/2013



<b>Spain</b>	1'356	82'000	2'500'000
<b>Slovakia</b>	3	4'000	-
<b>Slovenia</b>	80	3'000	14'000
<b>Sweden</b>	-	14'000	600'000
<b>UK</b>	703	122'000	1'550'000

## II. France

### ***Government strategy aiming at CO<sub>2</sub> reduction***

The government is formally committed by the European Union targets for CO<sub>2</sub> emission reductions and increased use of alternative fuels.<sup>8</sup> This positively contributes to the promotion and fostering of electric mobility.

### ***Government strategy for individual and mass transport and electric mobility***

**Key strategy: “Electric Vehicles Plan” (14 Points Plan).** The French Government made the introduction of electric propulsion a top priority in the coming years. In 2009, French Ecology and Transport Minister Jean-Louis Borloo unveiled a 14-point plan to promote the development of xEVs. The overall goal of the French government is to place two million electric cars (EVs) on the road by 2020 (IA-HEV 2012).

**Key legislations “Grenelle I” and “Grenelle II”.** The 2007 “Grenelle” Environment Round Table process on climate change encompasses a transport section. This section includes the implementation of dedicated charging infrastructures for rechargeable electric or hybrid vehicles for public authorities and individuals. In addition, the national “Electric Vehicles Plan”, launched by the French Government in October 2009, lists 14 priorities. In order to support the introduction of an xEV fleet, the principle of a specific grant for the purchase of xEV - unless till 2012 - has been confirmed (IA-HEV 2012).

The plan includes notably actions in order to:

- develop the charging points and infrastructures
- encourage the purchase of xEV through grants and other incentives
- reinforce the Research & Development in the batteries sector,
- ensure interoperability of the systems and a standardization of plugs,
- support the Cities in the deployment of the public charging points.

The National Electric Vehicles Plan aims at putting into service at least 100'000 “carbon-free” vehicles by 2010 and the government officially announced the objectives of 450'000 xEV by 2015, 2 million vehicles by 2020 and 4.5 million by 2025.

However, viewing at the actual figures this aims has to be judged as too ambiguous at least for the starting phase 2010–2015. Major impediments are missing infrastructure as well as

<sup>8</sup> The EU targets are known as the “20-20-20” target. It sets three objectives for 2020: 20% reduction in EU greenhouse gas emissions from 1990 levels; 20% share of EU energy consumption from renewable resources; 20% increase in energy efficiency in the EU.

no adequate vehicle models available on the market. At the moment a new figure with a target volume of 100'000 vehicles until 2015 is circulated. One major instrument is the purchase/procurement of large state own utility companies. For the coming five years (including 2011) there is a commitment that about 20 state owned and private companies will purchase about 50'000 xEVs (ADP, Air France, Areva, Bouygues, EDF, Eiffage, France Telecom, GDF Suez, La Poste, RATP, SNCF, SPIE, UGAP, Veolia, Vinci).

The Grenelle II legislation adopted in July 2010 addresses a number of environmental topics, including EV charging (IA-HEV 2012).

### III. United Kingdom

#### ***Government strategy aiming at CO<sub>2</sub> reduction***

---

The government is formally committed by the European Union targets for CO<sub>2</sub> emission reductions and increased use of alternative fuels.<sup>9</sup> This positively contributes to the promotion and fostering of electric mobility.

#### ***Government strategy for individual and mass transport and electric mobility***

---

##### **Key strategy: Decarbonisation of Road Transport, Four-Year Business Plan 2011–2015**

The UK Government's policy framework aims to both stimulate and accommodate the expected substantial growth in plug-in vehicles in the country in the coming years. The UK expects to see tens of thousands of plug-in vehicles on its roads, with manufacturers bringing increasing numbers of models to market (IA-HEV 2012).

The Office for Low Emission Vehicles (OLEV) exemplifies the UK Government's commitment to the decarbonisation of road transport. Relevant for OLEV, in May 2011, the DT updated its four-year Business Plan 2011–2015 that outlines the Government's five structural reform transport priorities, which include a commitment to tackle carbon and roadway congestion. As part of this priority, DT states that it will "support the early market for electric and other ultra-low emission vehicles". The actions specified towards this end are to (IA-HEV 2012):

- develop a nationwide strategy to promote the installation of electric vehicle infrastructure, including a decision on whether to use an energy Regulated Asset Base and/or changes to planning/building regulations
- support the Plugged-In Places pilots program to encourage the establishment of electric vehicle recharging infrastructure across the UK and inform the development of the electric vehicle infrastructure strategy
- push for early European Union (EU) adoption of electric vehicle infrastructure standards
- consolidate existing support mechanisms for low and ultra-low emission vehicle research and development
- promote consumer uptake of ultra-low emission vehicles

---

<sup>9</sup> The EU targets are known as the "20-20-20" target. It sets three objectives for 2020: 20% reduction in EU greenhouse gas emissions from 1990 levels; 20% share of EU energy consumption from renewable resources; 20% increase in energy efficiency in the EU.

#### **IV. Norway**

##### ***Government strategy aiming at CO<sub>2</sub> reduction***

---

Though member of the European Economic Community and not the European Union, the government is formally committed by the European Union targets for CO<sub>2</sub> emission reductions and increased use of alternative fuels.<sup>10</sup> This positively contributes to the promotion and fostering of electric mobility.

##### ***Government strategy for individual and mass transport and electric mobility***

---

**Key strategy “Commitment to a Change in Vehicle Technology”.** Norway is one of the few countries worldwide which foster a change in the vehicle technology during the recent years also by introducing alternative ideas. I.e. in 2007 the government of Norway banned the use of the phrases clean, green, and environmentally friendly from all car ads and commercials. Following the inherent logic of this regulation, cars generally cannot do anything good for the environment except less damage than others. Furthermore, governmental representatives still promote the idea to ban all gasoline-only cars.

Citing Brazil's success with bioethanol as their rationale, Norwegian lawmakers are considering ditching petrol-only machines completely, in favour of biofuel-powered transportation. Again the idea is to pressure the automobile industry into developing technology faster than it otherwise would. A most recent proposal is to ban sales of new gasoline-powered cars in Norway from 2015 (CleanVehicleEurope 2012).

**Key initiative “Grønn Bil” (Green Car).** In 2009 The Norwegian Ministry of Traffic and Transport formulates the aim of reaching a 10% market share of xEV until 2020, which would be around 300'000 units. The project “Grønn Bil” was set up by the association of Norwegian energy companies to facilitate the introduction of 200'000 xEV on Norwegian roads by 2020. Additionally, Transnova, a subdivision of the Norwegian Ministry of Transportation, as well as the association of Norwegian Municipalities are in the steering committee of the project (CleanVehicleEurope 2012).

##### ***Other governmental strategies: Raising Public Awareness***

---

Norway supports the Electric Vehicle Symposium (EVS) Zero Rally (also known as Viking Rally). The annual competition is a road rally from Oslo to Stavanger for zero emission vehicles only, in order to show the technical capabilities and to promote electric mobility.

#### **V. Italy**

##### ***Government strategy aiming at CO<sub>2</sub> reduction***

---

The government is formally committed by the European Union targets for CO<sub>2</sub> emission reductions and increased use of alternative fuels. This positively contributes to the promotion and fostering of electric mobility.

---

<sup>10</sup> The EU targets are known as the “20-20-20” target. It sets three objectives for 2020: 20% reduction in EU greenhouse gas emissions from 1990 levels; 20% share of EU energy consumption from renewable resources; 20% increase in energy efficiency in the EU.

### ***Government strategy for individual and mass transport and electric mobility***

---

**Key strategy “Commitment to support electric mobility”.** In Italy, the introduction of electric mobility is driven by a series of temporary environmental control actions and the increasing share of renewable energy sources within an increasingly diverse energy mix. Different types of initiatives support the introduction of electric mobility in Italy: legislation, regulations, standards, promotions, and demonstrations.

Most of these initiatives are the result of a growing interest by electric utilities in analysing market prospects and the potential impact of electric mobility on the electricity grid (IA-HEV 2012). There have been some on-going and prospective legislative initiatives to support research and the introduction of electric mobility involving several ministries (MSE, MATTM) and the parliament. Some dedicated standards for electric mobility and related components (e.g. rechargeable lithium battery applications and super-capacitors) also have been initiated by the national standard-setting bodies as part of an international effort promoted by the International Organization for Standardization (ISO) and the International Electrochemical Commission (IEC) (IA-HEV 2012).

#### **Key legislation: Key legislation underway**

The central government, regulatory bodies, and local authorities (regional and municipal) are proposing and discussing new legislation, regulations, and supporting measures to significantly reduce the environmental and energy impact of the transport sector, which still accounts for about 27% of the overall end use of energy and about 30% of the overall greenhouse gas (GHG) emissions.

Two **proposed laws** supporting the uptake of electric mobility were prepared in 2009 and 2010 and are currently being examined (IA-HEV 2012): The first **proposed law** (no. 2844: “Measures to favour the development of mobility by using vehicles without CO<sub>2</sub> emissions”) was aimed at subsidizing purchase of these vehicles through installing vehicle battery charging infrastructure and other specific incentives. These incentives included zero property tax on electric mobility, lower taxes on electricity, free circulation in restricted urban areas, and free parking in reserved parking lots. A small tax on plastic bottles is proposed to cover the financial needs for all the initiatives (IA-HEV 2012). The second **proposed law** (no. 3553: “Measure for the realization of infrastructure aimed at assisting the broad introduction of EVs”) is a policy and strategy document stating general rules for integrating charging infrastructure for electric mobility into any governmental and regional strategy addressing the health impact of noxious emissions and diversification of energy sources. This approach would also support pursuing European Union targets for atmospheric emissions and clean vehicle introductions. Furthermore, the possible introduction of electric mobility charging infrastructure must be considered in various types of initiatives: renewal of roads, research and innovation, promotion of industrial sectors, and innovation in buildings. The law proposal also includes the governmental **preparation of a National Electric mobility Infrastructure Plan** that would create the conditions and possible funding schemes for various installations of charging points (IA-HEV 2012).

## **VI. Poland**

### ***Government strategy aiming at CO<sub>2</sub> reduction***

---

Polish energy policy is driven to a very large extent by EU directives and requirements. In particular, Poland has to liberalise its gas and electricity markets in line with the EU directives (see details in Chapter 5 on Electricity and Chapter 7 on Natural Gas). Also, as part of the EU “20-20-20” goals, 8 the following targets have been set for Poland for 2020:

- limit greenhouse gas emissions in the sectors not covered by the EU Emissions Trading Scheme (EU-ETS) to 14% above the 2005 level (binding);
- reduce energy consumption by 20% of the projected 2020 levels (non-binding); and
- increase the share of renewable energy to 15% of gross final energy consumption, including an increase in the use of renewables in transport to 10% (binding).

Another driving force for Poland’s energy policy is high dependence on Russia for energy imports. In 2007, Poland imported 97% of its needs in oil and 68% of its needs in gas. Over two-thirds of gas imports and almost all of its crude oil come from Russia. As a result, energy security is one of the dominant features of the Polish energy policy (IEA 2011b).

### ***Government strategy for individual and mass transport and electric mobility***

---

The key policy document in Poland is Energy Policy of Poland until 2030 (EPP 2030) prepared by the Ministry of Economy and adopted by the government in November 2009. The key directions are, among others (IEA 2011b):

- to diversify the electricity generation structure by introducing nuclear energy;
- to develop the use of renewable energy sources, including biofuels

Poland is dependent on imports for 95% of its crude oil demand, and over 94% of these imports come from Russia through the Druzhba pipeline. Poland is also a net importer of oil products the sources of which are relatively well diversified. The Polish government is conscious about the inherent risks of dependence on only one crude oil supplier, and is trying to diversify import sources and transport routes (IEA 2011b).

In addition, the Polish government has declared its commitment to support electric mobility. Key legislation is underway, but not yet decided upon.

### **3.1.3 Regulatory Framework**

#### **I. EU**

The European Union acts as a leader in standard-setting for its Member States and outside its territory (e.g. Switzerland). With legislation adopted in 2009 the EU sets mandatory emission reduction targets for new cars. This legislation is the cornerstone of the EU's strategy to improve the fuel economy of new cars sold on the European market. The law is similar to that for new vans. Under the Cars Regulation, the fleet average to be achieved by all new cars is 130 grams of CO<sub>2</sub> per kilometre (g/km) by 2015 – with the target phased in from 2012 - and 95g/km by 2020.

The regulation is currently undergoing amendment in order to implement the 2020 target. The 2015 and 2020 targets represent reductions of 18% and 40% respectively compared with the 2007 fleet average of 158.7g/km. In terms of fuel consumption, the 2015 target is approximately equivalent to 5.6 litres per 100 km (l/100 km) of petrol or 4.9 l/100 km of diesel. The 2020 target equates to approximately 4.1 l/100 km of petrol or 3.6 l/100 km of diesel.

The situation for electric charging points varies greatly across the EU. The leading countries are Germany, France, the Netherlands, Spain and the UK. The EU is taking action on three routes, which are (1) standardization of plugs; (2) minimum requirements for the number of charging stations per member state; (3) research funding (see section 0). Under the 2011 proposal,

- A minimum number of recharging points, using a common plug, will be required for each Member State (see
- 
- 
- ). The aim is to put in place a critical mass of charging points so that companies will mass produce the cars at reasonable prices.
- A common EU wide plug is an essential element for the roll out of electric mobility. To end uncertainty in the market, the Commission has announced the use of the "Type 2" plug as the common standard for the whole of Europe.

## II. France

### ***Automotive approval and technical services authority<sup>11</sup>***

---

**Responsible for approval: Centre National de Reception des Vehicules and Direction Technique**

Both institutions are part of La Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie d'Île-de-France (DRIEE-IF) which belongs to the MEDDE.

**Responsible for technical services: Laboratoire de l'UTAC (L'Union Technique de l'Automobile du motocycle et du Cycle)**

UTAC is France's only officially designated Technical Service to the EU and the UN for the approval of vehicles. UTAC participates in the drafting of regulations applying to vehicles and their equipment in the fields of active and passive safety

### ***Specific regulations on registration of electric vehicles***

---

No specific regulation on the registration of xEV could be found (ACEA 2012, 96-104).

### ***Regulatory framework promoting electric mobility***

---

It is difficult to distinguish between non-financial incentives and financial incentives (due to this potential overlap, please also refer to chapter 3.1.4 on Financial Support and Incentives). The main current laws are as follows (CleanVehicleEurope 2012):

---

<sup>11</sup> [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/approval-authorities-technical-services/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/approval-authorities-technical-services/index_en.htm)

- Law n° 2005-781 (Art 4) on the National Energy Policy (**offers a credit of tax for the purchase of clean vehicles, notably EVs; Provides support of the State Administration for the use of EVs/hybrid electric**).
- Law n° 2006-1771 (Art1) **introduces tax exemption on Company Cars** according to CO<sub>2</sub> emission levels.
- Law n° 2009-967 (Article 22) **research in the field of sustainable development**: among the priorities are the research on the capacity of batteries, electric and hybrid traction chains.
- Decree n°2007-1873 (2007): **specifies the amount of the financial support** that can be allocated taking into account the CO<sub>2</sub> emission; grant system for the purchase of clean vehicles (notably HEV whose CO<sub>2</sub> emissions are under 135 g/km ), bonus/malus tax system. The modalities have been revised twice in 2009: Decree n° 2009-66 (January) and Decree n° 2009-1581(December).

#### **Additional relevant topics: “écoprofil”**

---

Since May 2006, the car tag “écoprofil” (Type III environmental labelling, ISO TR 14025) for consumption and CO<sub>2</sub> emission based on a coloured scale is mandatory and must be affixed to each new passenger car or posted near it, so visible in all points of sale in France . The label includes seven classes of different colours (same label appearance as for e.g. electric appliances). The colours range from GREEN for cars with the lowest CO<sub>2</sub> emissions (lowest fuel consumption) through the colours of the spectrum to RED for the highest CO<sub>2</sub> emitters (generally the highest fuel consumption). It allows any potential car buyer to compare the CO<sub>2</sub> emissions of different vehicles in a personal choice set. **The schema is used for vehicle taxing**, within public procurement as well as for **fiscal incentives** (CleanVehicleEurope 2012).

#### **Standards for electric mobility: CO<sub>2</sub>-emissions, energy efficiency, other**

---

The European Community (EC) Whole Vehicle Type-Approval (EC WVTA) system applies to passenger cars and to motorcycles on a mandatory basis for Member States since January 1998 and June 2003, respectively. As a result, these categories of vehicles must comply with all the relevant EC type-approval directives in order to be placed on the market.

### **III. United Kingdom**

#### **Automotive approval and technical services authority<sup>12</sup>**

---

##### **Responsible for approval: Vehicle Certification Agency (VCA)**

The VCA is an executive agency of the DT, and is the UK’s type approval authority. For technical services, a zoo of different companies has been assigned as responsible bodies. All those companies are approved by the United Kingdom as testing laboratories to carry out tests, or as a conformity assessment bodies to carry out the initial assessment and other tests or inspections, on behalf of the approval authority.

##### **Specific regulations on registration of electric vehicles**

---

<sup>12</sup> [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/approval-authorities-technical-services/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/approval-authorities-technical-services/index_en.htm)

No specific regulation on the registration of xEV could be found (ACEA 2012, 200-208).

### ***Regulatory framework promoting electric mobility***

---

It proves difficult to single out a specific regulatory framework directed at promoting electric mobility /Difficult to distinguish between non-financial incentives and financial incentives (overlap with chapter Financial Support and Incentives 3.1.4).

### ***Additional relevant topics: Fuel Economy Label, Low Emission Zone, Advisory Service***

---

**Fuel Economy Label:** UK has introduced a fuel economy label, which helps car buyers easily assess the impact on climate change of different cars based on a coloured scale. The colours range from GREEN for cars with the lowest CO<sub>2</sub> emissions (highest 'mpg') through the colours of the spectrum to RED for the most highly polluting vehicles (generally the lowest 'mpg') (CleanVehicleEurope 2012). The colour-coded label is designed to provide information for each new car covering four interrelated issues:

- Fuel economy (fuel use per mile/km)
- Fuel cost per 12'000 miles
- Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions per km;
- Vehicle Excise Duty (annual 'road tax').

CO<sub>2</sub> emissions are measured over a single standard test-cycle and are quoted on a per kilometre basis. For a given fuel (petrol, diesel, LPG), carbon emissions are directly related to fuel use.

Vehicle Excise Duty (VED or 'road tax') annual rates are shown on the car label according to the new A to M banding system. The annual rates range from GBP 0 for new cars with low CO<sub>2</sub> emissions (<100 g/km) to GBP 405 for new cars with high CO<sub>2</sub> emissions (>255 g/km).

Fuel cost is estimated for a distance of 12'000 miles. This is based on the 'combined' fuel economy figure (and a UK average fuel price. Fuel prices are quoted for petrol, diesel and liquefied petroleum gas (LPG) fuels.

Fuel economy information is measured over three test-cycles: 'urban' (city driving), 'extra-urban' (motorway) and 'combined' (mixed) and is presented in 'mpg' (miles per gallon) and 'litres/100 km' units.

**Low Emission Zones (LEZ):** In several Cities, i.e. London and Norwich, there are implemented specific zoning schemas for vehicle usage to improve air quality in the city by deterring the most polluting vehicles from driving in the area. The vehicles affected by the LEZ are older diesel-engine lorries, buses, coaches, large vans, minibuses and other heavy vehicles that are derived from lorries and vans, such as motor caravans and motorised horse boxes. Cars and motorcycles are not affected by the scheme.

In London the LEZ rules are applicable from 4 February 2008, a standard of Euro III for particulate matter (PM) for lorries over 12 tonnes, from 7 July 2008, a standard of Euro III for particulate matter for lorries between 3.5 and 12 tonnes and buses and coaches over 5 tonnes and from 4 October 2010, a standard of Euro III for particulate matter for larger vans and minibuses. To inform drivers that they are entering the LEZ, there are signs at the side of the road. There are no barriers or tollbooths. Vehicles not meeting the LEZ emissions stand-



ards will need to pay a daily charge if used within the LEZ. The Low Emission Zone (LEZ) operates 24 hours a day, 7 days a week, every day of the year including weekends and public holidays (CleanVehicleEurope 2012).

**Advisory Service:** A nation-wide advice service was already in operation providing domestic energy efficiency advice from 48 advice centres in the UK. After receiving EU funded TREA-TISE training, three of the centres began also to provide cleaner transport advice, in particular by cross-selling transport advice to people that called for energy efficiency advice. The projects have been successful. To date more than 31'000 consumers have received cleaner transport advice and there are now plans to extend the consumer transport advice service nation-wide (CleanVehicleEurope 2012).

---

***Standards for electric mobility: CO<sub>2</sub>-emissions, energy efficiency, other***

---

The European Community (EC) Whole Vehicle Type-Approval (EC WVTA) system applies to passenger cars and to motorcycles on a mandatory basis for Member States since January 1998 and June 2003, respectively. As a result, these categories of vehicles must comply with all the relevant EC type-approval directives in order to be placed on the market.

#### **IV. Norway**

---

***Automotive approval and technical services authority***<sup>13</sup>

---

**Responsible for approval:** Norwegian Public Roads Administration (NPRA) (*Statens vegvesen*)

The NPRA is led by the Norwegian Directorate of Public Roads, subordinated to the Ministry of Transport and Communications. The NPRA is responsible for the planning, construction and operation of the national and county road networks, vehicle inspection and requirements, driver training and licensing.

**Responsible for technical services:** *Risløkka* Driver and Vehicle Licensing Office. The *Risløkka* Driver and Vehicle Licensing Office acts as official inspection site.

---

***Specific regulations on registration of electric vehicles***

---

Norway has specific regulations for energy saving and new energy vehicles in place (ACEA 2012, 218-239).

---

***Regulatory framework promoting electric mobility***

---

It proves difficult to single out a specific regulatory framework directed at promoting electric mobility /Difficult to distinguish between non-financial incentives and financial incentives (overlap with chapter Financial Support and Incentives 3.1.4)

---

***Additional relevant topics: Low Emission Zones (LEZ)***

---

---

<sup>13</sup> [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/approval-authorities-technical-services/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/approval-authorities-technical-services/index_en.htm)

Norway has not yet established any statutory basis for Low Emission Zones (LEZs), but a new section under the Norwegian Road Traffic Law is currently being prepared for a national scheme. Norway has an advanced electronic paying and controlling system for charging toll-road projects in 40 places in Norway, and the Norwegian LEZs will be founded on this.

In 2010, Bergen confirmed its intention to create LEZs. Other cities were expected to start their LEZs in the following years. The LEZ will be affect heavy duty vehicles over 3.5 Tonnes (i.e. buses, coaches and lorries). Introducing of new emission regulation on local level (municipals) in 2011 in favour of xEV (CleanVehicleEurope 2012).

#### ***Standards for electric mobility: CO<sub>2</sub>-emissions, energy efficiency, other***

---

The European Community (EC) Whole Vehicle Type-Approval (EC WVTA) system applies to passenger cars and to motorcycles on a mandatory basis for Member States since January 1998 and June 2003, respectively. As a result, these categories of vehicles must comply with all the relevant EC type-approval directives in order to be placed on the market.

The EC type approval is not only a common approval scheme used in the EU but also in the EEA areas and, as such in Norway. Vehicles that are EC type-approved and have not been modified are regarded as approved in Norway. Vehicles that are not EC type-approved must be approved individually at an NPRA Driver and Vehicle Licensing Office.

## **V. Italy**

### ***Automotive approval and technical services authority<sup>14</sup>***

---

**Responsible for approval:** The Direzione Generale della Motorizzazione e della Sicurezza del Trasporto Terrestre (DGMSTT) is supervised by the Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Dipartimento per i Trasporti Terrestri e per i Sistemi Informativi e Statistici. The DGMSTT is led subordinated to the Ministry of Transport (*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti , Dipartimento per i Trasporti Terrestri e per i Sistemi Informativi e Statistici*). The Ministry and the Directorate are responsible for the planning, construction and operation of the national and county road networks, vehicle inspection and requirements, driver training and licensing.

**Responsible for technical services:** Centro Prove Autoveicoli: Centro Superiore Ricerche e Prove Autoveicoli e Dispositivi – Roma. In addition, all those companies already approved by Italy as testing laboratories to carry out tests, or as a conformity assessment bodies to carry out the initial assessment and other tests or inspections, on behalf of the approval authority.

### ***Specific regulations on registration of electric vehicles***

---

No specific regulation on the registration of xEV could be found (ACEA 2012, 200-208).

However, in 2010, with regard to technical issues, the Italian Authority for Electrical Energy and Gas (AEEG) enacted regulatory simplifications and a general analysis of the problems related to the introduction of EVs and their relation to the electricity grid (IA-HEV 2012).

---

<sup>14</sup> [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/approval-authorities-technical-services/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/approval-authorities-technical-services/index_en.htm)

The first regulatory action has been the removal of restrictions on private sector introductions of dedicated electrical meters for charging EVs.

Furthermore, the early EV market will be helped through new regulations for experimental demonstrations aimed at verifying business models and various EV and infrastructure technologies.

A set of general rules has been defined for the services of transmission, dispatch, distribution, and electrical energy measurement for each EV charging point. These rules were applied in six pilot demonstration projects to run during 2011.

### ***Regulatory framework promoting electric mobility***

---

It proves difficult to single out a specific regulatory framework directed at promoting electric mobility /Difficult to distinguish between non-financial incentives and financial incentives (overlap with chapter Financial Support and Incentives 3.1.4)

### ***Additional relevant topics: Low Emission Zones (LEZ)***

---

There are many LEZs in Italy, with differing standards and time periods, i.e. Napoli (affected all; minimum Euro IV), Rome (affected only motorcycles, minimum Euro 1 standard), Piemonte Region (affected vehicles under 3,5 tonnes, including motorcycles; standards varies from City to City). The majority of cities with LEZ have set a minimum standard of EURO 4 and the use of particulate filters for diesel cars. For more information see [www.lowemissionzones.eu/countries-mainmenu-147/italy-mainmenu-81](http://www.lowemissionzones.eu/countries-mainmenu-147/italy-mainmenu-81) (CleanVehicleEurope 2012).

The law No. 128 of 2005 as adoption of Directive 2003/30/EC Set up national targets for biofuel consumption as a percentage of the total transport fossil fuels, to be measured in terms of energy content: 1% by 2005 and 2.5% by 2010. These values were quite lower than the ones set by biofuels directive and an infringement procedure has been launched against Italy by the European Commission. The Law No. 81 from 2006 defines modified target values, which are compliant with the EU directive: 1% by December 2005; 2.5% by December 2008; 5.75% by December 2010 (CleanVehicleEurope 2012).

### ***Standards for electric mobility: CO<sub>2</sub>-emissions, energy efficiency, other***

---

The European Community (EC) Whole Vehicle Type-Approval (EC WVTA) system applies to passenger cars, and to motorcycles, on a mandatory basis for Member States since January 1998 and June 2003, respectively. As a result, these categories of vehicles must comply with all the relevant EC type-approval directives in order to be placed on the market.

The increasing commitment and interest of the large industrial sector in EVs can be measured in Italy by the growth in standardization activities for various technologies: vehicles, lithium batteries, and charging stations. Different standardization bodies have been active during 2010 in supporting international standard development, such as CUNA (Commissione tecnica di Unificazione Nell'Autoveicolo) for the vehicle and battery module and systems at ISO level, and the Italian Electrotechnical standardization body (*Comitato Elettrotecnico Italiano*) CEI for the battery cell and charging stations at the European Committee for Electro-

technical Standardization (*Comité Européen de Normalisation Électrotechnique*) CENELEC and International Electrotechnical Commission (IEC) level (IA-HEV 2012).

Apart from some international standards in advanced preparation stage (not discussed here), there have also been attempts to propose temporary solutions to the lack of current international standards. In particular, Commissione Italiana Veicoli Elettrici Stradali a Batteria (CIVES) (the Italian EV Association, an internal committee of Italian Electrotechnical Committee (CEI)) has organized workshops and participates in the analysis of infrastructure needs and charging limitations. The experimental standard CEI 312-1 Safety requirements for charging stations for electric road vehicles was introduced in 2010 to support the start of some demonstration projects and to assure adequate safety in using charging stations (IA-HEV 2012).

## VI. Poland

### ***Automotive approval and technical services authority***<sup>15</sup>

---

**Responsible for approval:** Ministry of Infrastructure, Department for Road Transport (MIDRT) (*Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej*)

The Ministry is responsible for the planning, construction and operation of the national and county road networks, vehicle inspection and requirements, driver training and licensing.

**Responsible for technical services** is a range of institutions like the Instytut Technologiczno Przyrodniczy, Politechnika Śląska Wydział Transportu, the Instytut Transportu Samochodowego, the Przemysłowy Instytut Motoryzacji (Automotive Industry Institute), etc. All those companies are approved by Poland as testing laboratories to carry out tests, or as a conformity assessment bodies to carry out the initial assessment and other tests or inspections, on behalf of the approval authority.

### ***Specific regulations on registration of electric vehicles***

---

No specific regulation on the registration of xEV could be found (ACEA 2012, 168-172).

### ***Regulatory framework promoting electric mobility***

---

It proves difficult to single out a specific regulatory framework directed at promoting electric mobility /Difficult to distinguish between non-financial incentives and financial incentives (overlap with chapter Financial Support and Incentives 3.1.4)

### ***Standards for electric mobility: CO<sub>2</sub>-emissions, energy efficiency, other***

---

The European Community (EC) Whole Vehicle Type-Approval (EC WVTA) system applies to passenger cars and to motorcycles on a mandatory basis for Member States since January 1998 and June 2003, respectively. As a result, these categories of vehicles must comply with all the relevant EC type-approval directives in order to be placed on the market.

Poland has, as all other EU member states, adopted the Euro vehicle standard. Since 1996 Euro 2, since 2000 Euro 3, since 2006 Euro 4 and since 2009 Euro 5.

---

<sup>15</sup> [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/approval-authorities-technical-services/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/approval-authorities-technical-services/index_en.htm)

The obligation imposed on Member States by Article 4(1) of Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport was transposed into Polish Law through Art. 32 and Art. 36.3 of the Biocomponents and Liquid Biofuels Act of 25 August 2006 (Dz. U. (Journal of Laws) No 169, Item 1199 and 2007 No 35, Item 217 and No 99, Item 666). In 2006 the Minister of Economic Affairs brought into force Regulation on 8 September 2006 on liquid biofuel quality requirements (Dz.U. No 166, Item 1182), which created the conditions for placing two biofuels on the market:

- fatty acid methyl esters used as direct fuel
- diesel containing 20% of such esters
- To be eligible for reduced taxes, ethanol must be produced within EU. There are no standards for E85/ED95.

Unleaded fuels are banned in Poland since 2002. A maximum of 10 gr/litre sulphur is allowed for diesel and petrol. (CleanVehicleEurope 2012).

### **3.1.4 Financial support and incentives**

#### **I. EU**

The EU supports research (see next section) and sets minimum goals for the number of electric vehicle charging stations per member state (see previous sections), and also sets the standards for the fast charge plug type in Europe (type 2 plug), but does not otherwise financially support the member states. All fuel taxes, car sales taxes, vehicle registration taxes and vehicle ownership taxes are within the legislation of the respective member states only.

#### **II. France**

##### ***Support or public infrastructure for electric mobility***

---

The major policies and laws pertaining to xEV in France relate to tax incentives and building charging infrastructure (IA-HEV 2012).

##### ***Support for market penetration: Fiscal incentives***

---

The French Government designed an annual eco-label for the average CO<sub>2</sub> emissions of passenger cars on new vehicles (see chapter 3.1.3) with a bonus-malus (tax-deduction/tax-penalty) system that favours low-CO<sub>2</sub> emission vehicles.

The national plan (see chapter 3.1.2) establishes tax deductions (bonus) and tax penalties (malus) for new vehicle purchases on the basis of their tank-to-wheel CO<sub>2</sub> emissions (IA-HEV 2012).

The plan applies to new cars sold on the French market since January 2008, and because the tax deductions are balanced by the tax penalties, no government financing is needed. In 2009 the plan set a new bonus of € 5'000 for new cars and light commercial vehicles emitting less than 60g CO<sub>2</sub>/km, which automatically covers all xEV. The bonus applies until 2012 for the first 100'000 low-carbon vehicles purchased (IA-HEV 2012).

A progressive company-car tax is also based on CO<sub>2</sub> emissions. Tax rates vary from €2 for each gram emitted for cars emitting 100 g/km of CO<sub>2</sub> or less and up to €19 for each gram emitted for cars emitting more than 250 g/km of CO<sub>2</sub> (IA-HEV 2012).

Decree n°2007-1873 (2007): specifies the amount of the financial support that can be allocated taking into account the CO<sub>2</sub> emission; grant system for the purchase of clean vehicles (notably HEVs whose CO<sub>2</sub> emissions are under 135 g/km ), bonus/malus tax system (CleanVehicleEurope 2012).

The modalities have been revised twice in 2009: Decree n° 2009-66 (January) and Decree n° 2009-1581(December). According to this, the main fiscal incentives are (CleanVehicleEurope 2012):

- Launch of a “bonus/malus tax system” (BMS): when purchasing a new car, it is taxed (malus) or credited (bonus) if its carbon emissions are above or below certain targets. The existing grant aid of € 5'000 to any person who acquires a car (belonging to the category of registration of passenger cars and vans) with CO<sub>2</sub> emissions are less than or equal to 60 g/km. Hybrids whose CO<sub>2</sub> emissions are less than or equal to 135 g may receive a bonus of € 2'000, as vehicles with LPG or natural gas city. The French President recently extended a bonus/penalty system currently in place to 2009 and to flex-fuel cars running on E-85. Under this system, an additional sales tax is imposed on highly polluting cars while “environmental friendly” cars purchases are eligible for a tax rebate. Surprisingly, flex-fuel vehicles have not benefited from any “bonus” under the 2008 bonus/penalty system, which has significantly limited their development.
- "Cash-for-scrap scheme” (prime à la casse) was also introduced when replacing a vehicle aged over 10-years by a new one.
- Tax exemption on the car registration document for vehicles running with alternative fuels / low-emission vehicles (according to the emission level of CO<sub>2</sub>; applicable for second-hand cars (whereas new cars benefit from the bonus/malus tax system)).
- For companies, an additional incentive applies: tax exemption on Company Cars (TVS) according to CO<sub>2</sub> emission levels. Modalities and rates changes are set according to the type of clean vehicle (GNV, electric, hybrid, E85, LPG) or the type of activity (taxi, car-sharing, demonstration vehicles etc.). Alternatively, fuelled vehicles using premium fuels and liquefied petroleum gas are exempt half of the tax. The total or partial exemption applies for a period of eight quarters, counted from the first day of the current quarter to the date of entry into the vehicle. Companies are subject to an annual tax on vehicles that are used in France, where such vehicles are registered in the category of passenger cars within the meaning of Council Directive 70/156/EEC of 6 February, 1970.

There are furthermore specific incentives towards the purchase and use of xEVs in the French legislation:

- Specific grants proposed by the French Environment and Energy Management Agency (*Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie*) ADEME or the Agency for services and payment (*Agence de Services et de Paiement*) ASP for the purchase of electrical vehicles: light commercial vehicles, individual cars etc.

- Complementary regional incentives provided by the Poitou-Charentes Region (calls of Interest addressed to local authorities and private fleet owners)

"Grenelle II", a law (see chapter 3.1.2) on the national commitment to the environment, adopted June 29, 2010 allows to experiment with congestion charging in cities over 300'000 inhabitants (CleanVehicleEurope 2012). It is expected to contribute positively to market penetration of electric mobility in France.

**The "Hirtzman Mission".**<sup>16</sup> A new 50 million EUR investment program to support electric vehicles and charging infrastructure was launched in autumn 2012 by French transport, environment, energy and finance officials. It is referred to as the "Hirtzman Mission". The support for the purchase of zero- and low-emission vehicles, already in place referred to as the French bonus-malus scheme, whereby purchasing a new car is taxed (malus) or credited (bonus) if its carbon emissions are above or below certain targets. The existing grant aid of € 5'000 to any person who acquires a car (belonging to the category of registration of passenger cars and vans) with CO<sub>2</sub> emissions are less than or equal to 60 g/km. This aid (maximum bonus on electric vehicles) will be increased from 5'000 to 7'000 EUR in 2013 and the bonus for hybrid vehicles will be doubled to 4'000 EUR. By 2013, corporate and public purchasers will also qualify for the bonus. This measure has been guaranteed at least until December 2014 (Expert Interview: Sadeghian).

The investment program will also cover deployment of charging stations on highways, in parks and in public parking lots such those at supermarkets and shopping centres. In addition to the financial aid, xEVs are expected to benefit from a "preferential rate" for road tolls and parking, the officials announced. Moreover, cities or regions of more than 200,000 inhabitants will be eligible for program funding, they said.

The 50 million EUR investment program is part of the automobile plan presented on July 25 by the Minister of Industrial Renewal. It is directed at the French automotive industry, currently in trouble. Since 2005, output is in decline, with the million vehicles produced in France in 2012, as compared with 3.5 million in 2005.

The investment program is supposed to improve competitiveness and increase innovation. A key element is establishing solidarity among major stakeholders: government, local authorities, social partners, manufacturers, suppliers, subcontractors, distributors and service providers, universities and research centres. In that regard, public procurement is a key driver as the French government stated that it will ensure that 25 percent of government vehicles will be made of xEVs.

As part of the overall program, the GIREVE (Groupement pour l'itinérance des Recharges Électriques de Véhicules) project has been established. To create the GIREVE, an agreement to develop a common framework for roaming services for recharging plug-in vehicles was signed by PSA Peugeot-Citroën, Renault, the Caisse des Dépôts investor group; and Électricité Réseau Distribution France (ERDF), which manages electricity distribution to 95 percent of the metropolitan areas in the country.

---

<sup>16</sup> (AMBASSADE de France à Berlin 2012. Online: <http://www.ambafrance-de.org/Start-der-Hirtzman-Mission>)

With the GIREVE, drivers will be able to locate and use existing charging stations, regardless of who owns them. Vehicle and smartphone apps could locate available charge points and book a time to plug in and charge up. The French government will be associated with the GIREVE to ensure its progress, under conditions open to all players, allowing the free creation of services that meet the expectations of users of electric vehicles. At the request of the government, the four signatories of the GIREVE agreement will conduct a wide-ranging consultation with stakeholders to integrate new partners and provide adequate structural skills and resources.

Topping the GIREVE agenda will be the creation of an accurate national map and directory of EV charging equipment. This directory will be made available to operators to expand their services to users. GIREVE will create standards for data exchange based on that directory, also allowing the payment clearing services between operators. And it will represent France vis-à-vis other countries, extending these standards to cross-border trade.

### ***Support for market penetration: Public Procurement of Clean Vehicles***

---

The French law implementing directives 2004/17/CE, 2004/18/CE and Decree No. 2004-15 is named “Code de Marchés publics” (Code of the Public Market). The procurement law includes Joint Procurement regulations (Article 7-9) and regulation concerning the use of environmental criteria for the contract award (Article 14). There are handbooks and guidelines for public contracting authorities for the application of green procurement procedures (CleanVehicleEurope 2012).

Most of the green procurement procedures refer to the application of the environmental vehicle label by defining the requested environmental performance of vehicles (CleanVehicleEurope 2012).

With the Circular of the Prime Minister from September 2005 there were established specific environmental roles for the vehicles fleet purchased and used by governmental institutions. For the purchase or rental of cars it prescribes a limit of no more 140 g CO<sub>2</sub> per kilometres. Exemptions of up to 199 g CO<sub>2</sub> per kilometre are possible limited number of operational vehicles (police, gendarmerie, and customs).

When the entire fleet of state will respond to this new standard, CO<sub>2</sub> emissions have been reduced by at least 20% (over 60'000 tonnes of CO<sub>2</sub> saved) and a fuel economy of about 20'000 TOE has been achieved (with the diesel engine necessitated by the discharge limits). For monitoring reasons contracting authorities must keep a table of annual purchases or rentals of vehicles.

Union of Public Purchasing Groups (*Union des Groupements d'Achats Publics*) UGAP, is the only French public central purchasing organisation in the sense of public market code. Several central and regional state authorities using UGAP services for carrying out their procurements requirements so that UGAP has the factual status of a permanent joint procurement institution. In 2007 the UGAP managed 180'000 procurement cases with an overall value of about 1.1 bill EUR for 1,490 types of products for about 35'000 different clients. Approximately 32% of this amount was for the purchase of various kind vehicles (limousines, ambulances, waste collection, mini-vans, etc.) used by public authorities (in 2009 almost



22'000 vehicles were purchased by UGAP). UGAP calls for tender are European ones. UGAP applies a product based system for so called "eco-responsibility".

A new UGAP internal organization responsible for "**sustainable development**" has been created within the purchasing department, entrusted with a function of expert buyers, managing relationships with public and private officials or interested in sustainable development. For each tender prepared by the institution, the analysis focuses on: the level of environmental requirements and / or social in the specification. It defines the technical specifications required to select a product or service. Any offer that does not comply with these requirements would be eliminated (CleanVehicleEurope 2012).

The weighting of the environmental criteria (and sub-criteria) is commonly 10-20% up to 40%, depending on the purpose of the contract. In its tenders **UGAP foster the market penetration of new environmental standards** i.e. it has anticipated the introduction of EURO V. In partnership with the City of Paris, a tendering procedure was launched for the acquisition of refuse collection vehicles running on CNG (Compressed Natural Gas Vehicle).

The UGAP maintains a specific internet platform for national and regional, local institution which follows public procurement schema. Within the platform there are product catalogues for various products including light vehicles (Véhicules légers), light goods/service vehicles (Véhicules utilitaires légers et aménagés) as well as police and ambulance vehicles which are characterised also concerning their detailed environmental performance. This is done based on the environmental labelling of vehicles. Trucks and busses / coaches are also listed but only highlighting the overall emission standard according to European classification (CleanVehicleEurope 2012).

Following an initiative of the Le Poste, a group of 20 large companies (ADP, Air France, Areva, Bouygues, EDF, Eiffage, ERDF, Orange France Telecom, GDF Suez, Suez Environment, GRT Gaz , GrDF, La Poste, RATP, SAUR, SNCF, SPIE, UGAP, Veolia and Vinci), associations of local and state officials plan to launch a joint public call for tender for building a fleet of 100'000 vehicles until 2015. In October 2011 the first orders of the purchase group have been placed: Renault received an order of 15.637 utility vehicles (Kangoo ZE electric) over the duration of 4 years – mainly to equip the vehicle fleet of La Poste. The French Postal Service, whose chairman Jean-Paul Bailly has been leading the group, purchased a number of 10,000 Kangoo ZE electric vehicles, after considering different options through a competitive dialogue process. Additionally, PSA received an order of 3.074 vehicles of its Peugeot Ion model<sup>17</sup> (Expert Interview: Sadeghian). **Basic idea behind the formation of this purchase group is to create a critical mass for the introduction of xEVs in France on large scale.** The purchasing case is managed by the UGAP (CleanVehicleEurope 2012).

Three types of vehicles to meet the needs identified: a light commercial vehicle (van type) with a load capacity of about 3 m<sup>3</sup>; a compact two-seater with a cargo capacity of approximately 1 m<sup>3</sup>; a specific vehicle of four or five places. The vehicles will be able to reach 110 km / h maximum payload, have a range of at least 150 km, a connection to the network and ensure a standard electrical maintenance on the entire metropolitan area. For the tendering a competitive dialogue was chosen. It will focus on each lot corresponding to the three types of

---

<sup>17</sup> <http://postandparcel.info/43283/news/la-poste-orders-10000-electric-vehicles-from-renault/>

vehicles under the proposed acquisition. This procedure allows an exchange with each candidate on all aspects of the project. The end of the procedure should be completed by mid-2011 so as to leave, including time to evaluate the specimens that will be sought after. First vehicle deliveries are scheduled for the last half of 2011 (CleanVehicleEurope 2012).

### **III. United Kingdom**

#### ***Support or public infrastructure for electric mobility***

---

The Plugged in Places Programme is a nationally funded Government initiative led by OLEV (see chapter 3.1.1). It has created electric car hubs through installing charging points in six key British cities or regions. PIP represents a major effort in establishing a charging infrastructure in the UK and is discussed in further detail in the Charging Infrastructure section (IA-HEV 2012).

Infrastructure grants were given by the UK government to regional governments for the installation of public recharging stations for xEVs, i.e. to the Midlands, Greater Manchester, the region East of England as well as Scotland and Northern Ireland (about GBP 11 million for the installation of about 4'600 recharging plugs) (CleanVehiclesEurope 2012).

#### ***Support for market penetration: Fiscal incentives***

---

The UK Coalition Government is committed to put in place the necessary policies to facilitate the decarbonisation of the road transport sector. Despite a fiscal strategy entailing on-going budget cuts for most government departments, in October 2010 the UK Government announced a package of around £400m to promote ultra-low emission vehicles (IA-HEV 2012).

**Early support for electric mobility.** The UK government instructed the EST (see chapter 3.1.1) already in 1996, to set up a grant scheme in order to increase the uptake of and conversion to alternatively fuelled vehicles to improve air quality and reduce CO<sub>2</sub> emissions from vehicles with the so called PowerShift scheme.

The PowerShift scheme was joined in 2000, as a part of a bigger programme, by CleanUp involving other means to improve air quality, e.g. a grant scheme for diesel particle filters and New Vehicle Technology Fund - a funding programme for the development of cleaner and low-carbon vehicles. PowerShift has operated across England, Scotland, Wales and Northern Ireland. Within PowerShift, a grant was given to cover part of the costs when converting an ordinary vehicle to operate on Natural Gas or LPG or part of the extra purchase cost for natural gas vehicles or xEVs.

All kinds of vehicles were eligible, though cars and to some extent buses are dominating. To qualify, a vehicle producer or converter must have its vehicle emissions tested on an EU drive cycle by an independent testing facility (see chapter 3.1.3) and meet the standards laid down by the EST. The programme closed in 2005 as the funding process did not fit the EU rules for taxation and incentives. However the so called PowerShift register is still in operation for qualifying manufactures and owners for other clean vehicle incentive schemas (CleanVehiclesEurope 2012).

**Tax incentives and other fiscal incentives.** Graduated Vehicle Excise Duty (GRAD VED) is given in UK as an incentive to purchase vehicles with low emission levels.<sup>18</sup> In 2009, VED was totally restructured with 13 new bands (A to M) replacing the former 7-band (A to G) system. VED is still be based on CO<sub>2</sub> (for cars registered since 1st March 2001; for cars registered before March 2001, VED will continue to be charged according to engine size – GBP 125 up to 1550cc and GBP 190 for larger engine sizes.) and band A will continue to apply to all cars with CO<sub>2</sub>-emissions of up to 100 g CO<sub>2</sub>/km, but most bands are more narrow (bands B to I will only be 10 g CO<sub>2</sub>/km wide). The highest band M applies to cars with emissions of over 255 g CO<sub>2</sub>/km (currently the highest band applies to cars with over 225 g CO<sub>2</sub>/km). In addition, from 1st April 2010, a new 'first-year rate' will be introduced for all new cars during the first year of ownership and will be dependent on the VED band. All new cars with emissions of 130 g CO<sub>2</sub>/km or less will have a zero-rated first-year rate (i.e. no 'road tax' will be charged in their first year) and have to pay the standard rate thereafter; all new cars with emissions between 131 and 160 g CO<sub>2</sub>/km will pay the same first-year rate as the standard rate in 2010-11; and all new cars with emissions over 160 g CO<sub>2</sub>/km will pay a higher first-year rate, up to a maximum first-year rate for the most polluting cars of £950 in 2010-11.

Consequently, more polluting cars will pay higher taxes and the least polluting cars will pay no tax. Drivers of clean vehicles in the UK benefit from the lowest band of vehicle excise duty (car tax), which is based on carbon dioxide emissions. In central London/Westminster, these vehicles are also exempt from the GBP 8 daily London congestion charge. To be eligible the car must be on the current Power Shift Register. At present, these include the cleanest LPG and natural gas cars and most xEVs and FCEVs (CleanVehiclesEurope 2012).

In April 2010 the company car tax for low emission cars (1 to 75 g CO<sub>2</sub> per km) or xEVs was reduced about 50% for the duration of five years. Furthermore, companies purchasing low emission cars with max. 110 g CO<sub>2</sub> per km or BEVs enjoy a 100% "enhanced capital allowance" until 31.3.13 (CleanVehiclesEurope 2012).

In the UK electric mobility benefits at national and local level from various tax other fiscal incentives as the following table shows.

---

<sup>18</sup> see [www.hm-treasury.gov.uk/fin\\_bill01\\_clause13.htm](http://www.hm-treasury.gov.uk/fin_bill01_clause13.htm)

Table 5. National and local measures that support PHEVs and EVs in the United Kingdom

National Measures	xEVs
Vehicle Excise Duty (UK's Circulation tax)	Exempt (as tailpipe emissions < 100 g CO <sub>2</sub> /km)
Company Car Tax	Employees and employers exempt from income and national insurance contributions
Van Benefit Charge	Employees and employers exempt from income and national insurance contributions
Fuel Benefit Charge	Exempt (N/A)
Enhanced capital allowances	100% first-year allowance: business can relieve entire cost of an electric car or van against taxable profits in the year of acquisition
Local Measures	
London congestion charge	100% discount
Parking charges	Some local authorities provide exemptions or a reduced charge for electric cars.

Source: (IA-HEV 2012)

**Plug-In Car Grant.** The UK Government has created a subsidy program for consumers called the Plug-In Car Grant to enable the purchase of ultra-low carbon vehicles. Under the program, qualifying ultra-low emission cars will receive a grant of 25% toward the cost of the vehicle up to a maximum of GBP 5'000. BEVs and PHEVs are both eligible as well as FCEV and other technologies. There are listed 18 models, which are licenced to enjoy the funding premium: i.e. Vauxhall Ampera, Tata Vista und Nissan Leaf (CleanVehiclesEurope 2012).

In 2012, the Grant was extended to vans as Plug-in Van Grant. Both grants are available to businesses and private users and can be applied to vehicle purchase or leasing. Grants for vans are limited to 20 per cent up to a cap of £ 8,000. Grants are provided until May 2015 (OLEV 2013).

The overall budget for this funding measure is about 50.6 mill EUR. In principle the vehicle list can be expanded (the list will be permanently updated). After an evaluation of the programme success in principle the programme can be prolonged after 2012 (there is an additional budget of about GBP 187 million; with the total budget the market introducing of about 46'000 electric cars could be stimulated) (CleanVehiclesEurope 2012).

The subsidy has been designed to help make the “whole-life costs” of a qualifying car comparable to a conventional internal combustion engine vehicle, and it is intended to be “technology neutral” in which any car is potentially eligible regardless of fuel propulsion system, provided it has tailpipe CO<sub>2</sub> emissions no higher than 75 g per km. Thus, it includes electric and plug-in hybrids as well as hydrogen-fuelled vehicles. The Plug-In Car Grant program opened to consumers on 1 January 2011. The grant program is be reviewed at regular intervals to see if changes are necessary, with the first review scheduled for April 2012 (CleanVehiclesEurope 2012). Additionally, the success of the plug-in car grant was recently assessed by Transport Research Laboratory (TRL) in 2013 (TRL 2013a). It was found that the plug-in car grant was important in the purchase decision of 85 per cent of all purchasers (OLEV 2013).

Regarding the future development of the governmental strategy, government's executives are committed to continue the grant till 2015. Moreover, the research of TRL has shown that

it would not be helpful to stop the grant completely, but to continue it in reduced capacity to induce price developments (TRL 2013a).

### ***Support for market penetration: Public Procurement of Clean Vehicles***

---

**Sustainable Development Strategy 2005.** In 2005 the UK Government has set up a Sustainable Development Strategy intending to “use its immense buying power” of the public sector to make rapid progress towards the sustainable development goals of the country (annually 1 million tonnes of CO<sub>2</sub> savings until 2020). With over 300'000 passenger and commercial vehicles, the UK public sector collectively possesses the largest vehicle fleet in UK, so that a major impact on the development goals described above has to come from this side. The department of Works and Pensions has just re-tendered with the addition of 10 more departments and 54'000 vehicles, boosting the potential contract value to over GBP 1 billion (CleanVehiclesEurope 2012).

**Public Contracts Regulations 2006.** Basis of the vehicle procurement of the public sector in UK is the Public Contracts Regulations 2006. Part 7 sets out the possibility to set environmental standard for the purchase of products and services (obligations relating to taxes, environmental protection, employment protection and working conditions). With the Sustainable Procurement Action Plan from 2007 UK Government has established a mandatory policy framework for sustainable development, which covers the government estate with targets on procurement for central Government departments. The Framework refers to a set of so-called Government Buying Standards, which are designed to help buyers across the public sector with regard to sustainable procurement. Currently, there are around 50 standards in ten priority groups – and more are being added on an on-going basis (CleanVehiclesEurope 2012).

**The Government Buying Standards 2009.** One of the ten priority spend categories at national level is the transport (business travel, motor vehicles). They set out the sustainable criteria that must be followed when buying a range of different products and services. The Government Buying Standards were originally introduced as **Quick Wins in meeting Government-set environmental targets in 2003** but rebranded and redesigned during the years. These standards are set and reviewed by the Office of Government Commerce and the Department for Environment, Food and Rural Affairs. Government Buying Standards for transport and travel focus on capping the permissible emissions for car fleets and following EU wide criteria for sustainable travel. In 2009 the standards and targets for the government car fleet were under review and an updated Government new car average CO<sub>2</sub> emissions target was published. According to this **all vehicles purchased from the public sector should comply with the EU Green Public Procurement (GPP) criteria** on transport (CleanVehiclesEurope 2012).

**Low Carbon Vehicle Public Procurement Programme 2011.** In July 2011 the so-called Low Carbon Vehicle Public Procurement Programme (LCVPP) was established by the various local authorities and partly funded by the Ministry of Economy. The aim of LCVPP is stimulating the purchase of green vehicles (especially xEV) within the public procurement of green vehicles. Public administrations purchasing those vehicles receive co-financing. I.e.

the purchase of 25 Mitsubishi xEVs of the Centre of Excellence for Low Carbon and Fuel Cell Technologies was funded. The overall budget of the initiative is about 20 mill £ but additional 30 mill £ are planned to give in when it shows reasonable success. Members of the LCVPP initiatives are e.g. Royal Mail, the Environment Agency, Transport for London (TfL) as a number of local authorities in Coventry, Liverpool and Newcastle (CleanVehiclesEurope 2012).

**Effect of green” procurement policies.** Across the public sector as a whole in UK there are spending of about £150 billion each year undertaking capital projects and buying in goods and services (£40 billion are spend by local governments whereof about £1,8 billion for transport vehicles). Increasingly these spending decisions are made in a sustainable way and many central and local authorities are adopting “green” procurement policies (CleanVehiclesEurope 2012).

A multi-criteria analysis of PricewaterhouseCoopers, Significant and Ecofys from January 2009 **for the years 2007/08 shows that 75% of all public procurement volume in the UK can be considered as green**, which was the highest score in the analysis. In the transport sector (vehicle purchase) the average level of green procurement on the total procurement value (indicator 1) was calculated with about 52% but the share of single contracts comprising green criteria on the overall number of contracts (indicator 2) was only about 20% (CleanVehiclesEurope 2012).

**Bus Service Operators Grant: Supporting greener public transport.** The Bus Service Operators Grant (BSOG) for community transport is a scheme that refunds some of the fuel duty incurred by operators of registered local bus services in the United Kingdom. The DT (see chapter 3.1.1) has modified the BSOG in April 2009 to provide greener buses through rewarding gains in fuel efficiency and the introduction of low carbon buses (CleanVehiclesEurope 2012).

**The Community Challenge.** Every year the Low Carbon Vehicle Partnership and EST (see chapter 3.1.1) launch the Community Challenge, which offers prizes of up to GBP 5'000 for community, based projects promoting low carbon vehicles and fuels or smarter, sustainable travel (CleanVehiclesEurope 2012). The judges are looking for community groups to submit original ideas that reduce carbon emissions from travel and transport. There are three categories: Vehicles and Fuels, Smarter/Eco Driving and Reducing Car Use. Projects can deliver physical improvements, equipment or technological developments as well as providing information or setting up a scheme to promote sustainable transport.

#### **IV. Norway**

##### ***Support or public infrastructure for electric mobility***

---

Recently, Norway set up a funding budget for electric vehicle recharging stations of about NKR 100 million (about € 11.9 million). New recharging stations are planned on public parking places (CleanVehicleEurope 2012).

##### ***Support for market penetration: Fiscal incentives***

---

**An Early Mover: Environmental Taxation.** Norway has long experience with environmental taxation. Taxes have been introduced to reduce environmentally harmful emissions to air and water and to reduce the amount of waste generated. Taxation had of course an environmental impact long before taxes were established as an instrument of environmental policy (CleanVehicleEurope 2012).

Already in 1931 Norway introduced a petrol tax. The first tax that had an explicit environmental purpose was levied on sulphur in mineral oil in 1971 (CleanVehicleEurope 2012). However, a wide-spread use of environmental taxes was not seen until the late 1980s and early 1990s. Taxes on mineral fertilisers, pesticides and lubricant oil were introduced in 1988, CO<sub>2</sub> tax on petrol, auto diesel oil, mineral oil and the petroleum sector (only offshore) in 1991, while the sulphur tax on mineral oil was increased substantially (CleanVehicleEurope 2012). Since the early 1990s tax instruments have played an important role in providing incentives for cleaner production and consumption patterns, even though regulation has remained the main policy instrument to abate environmental damage (CleanVehicleEurope 2012).

**Revision of Car Registration: Introduction of a One-Time Fee.** The government has in previous budgets revised the car registration fee (bilavgiftene) into a more environmentally friendly direction, for example by introducing CO<sub>2</sub> emissions as one of the main components of the one-time fee from 2007. Since 2008 the annual fee is environmentally differentiated, and since 2009 the CO<sub>2</sub> component is adjusted to incentivise to buy cars with low CO<sub>2</sub> emissions. The budget for 2010 provided the government with suggestions for changes that make it more profitable to buy cars with low CO<sub>2</sub> emissions. It was decided to increase the rates in the CO<sub>2</sub> component by about 100 NOK (12.1 EUR), while all other rates were increased by about 190 NOK (23 EUR). Meanwhile, the two lowest steps in the power component are reduced to keep government revenues unchanged.

This registration fee has to be paid with the first registration of the car. It is calculated according to weight, motor power and CO<sub>2</sub> emission. The CO<sub>2</sub> “tax” component is calculated on basis of the type of vehicles as well as the emission amount. The vehicles in tax group A have the highest fees. The other groups receive tax calculated as a percentage of this fee (CleanVehicleEurope 2012).

- Group A 100% Passenger cars, vans class 1 coaches under 6 feet of seating up to 17 seats
- Group B 22% class 2 vans/ trucks with a permitted total weight of less than 7,501 kg
- Group C 22% camping cars
- Group H 40% taxis
- Group J 40% buses under 6 feet, with up to 17 seating places, including at least 10 are mounted in the speed direction

Most relevant for electric mobility are the fees in Group A. It is progressively calculated on basis of the CO<sub>2</sub> emissions (CleanVehicleEurope 2012):

- first 120 g / km = 0.00 NOK (0 EUR)
- next 20 g / km = 725 NOK (88 EUR)
- next 40 g / km = 731 NOK (89 EUR)
- Next 70 g / km = 1'704 NOK (207 EUR)

- rest = 2'735 NOK (332 EUR)

Furthermore, there is an overall tax deduction (for other vehicle tax components), if a car has an emission below 120 grams per kilometre (there is a deduction of 500 NOK (61 EUR) per gram). A new registration of second hand sold cars is only related to vehicle type and weight without a specific CO<sub>2</sub> component (CleanVehicleEurope 2012).

**Annual Car Circulation Tax: Favourite Treatment for xEV.** For the annual car circulation tax there is no direct environmental component (only indirect related to vehicle weight) but the tax-free allowance given for this tax (calculated as NOK/km), i.e. for trips to/from working places and for business trips, is considerable higher for electric cars (CleanVehicleEurope 2012).

**Fuel Taxation in Norway.** In Norway knows taxes on fuel with strong environmental incentives, as the following table sets out (e.g. tax period 2010) (CleanVehicleEurope 2012):



Table 6. Norway, National fuel tax planning for 2010

Type of Fuel	Fuel Tax	CO <sub>2</sub> Tax
Gasoline	Gas Tax (4.54 NOK (0.5 EUR) / litre for sulphur gasoline and 4.58 (0.5 EUR) NOK / litre for lavsvovlet petrol)	CO <sub>2</sub> Tax ( 0.86 NOK (0.1 EUR) / litre)
Gas with ethanol mixed	Gas Tax ( 4.54 NOK (0.5 EUR) / litre for sulphur gasoline and 4.58 / NOK (0.5 EUR) / litre for lavsvovlet petrol)	CO <sub>2</sub> Tax ( 0.86 NOK (0.1 EUR) / litre), with exemption for ethanol percentage
E85 (85 volume percent ethanol and 15 percent by volume gasoline)	No	No
Autodiesel	Autodiesel fee (3.56 NOK (0.4 EUR) / litre for sulphur mineral oil and 3.61 AU / l for mineral oil lavsvovlet )	CO <sub>2</sub> Tax ( 0.58 NOK (0.07 EUR) / litre)
Autodiesel involved with biodiesel	Autodiesel fee (3.30 NOK (0.4 EUR) / litre for sulphur mineral oil and 3.35 AU / l for mineral oil lavsvovlet ). Semi- auto diesel tax for the percentage of biodiesel in mineral oil ( 1.78 AU / l)	CO <sub>2</sub> Tax ( 0.58 NOK (0.07. EUR) / litre). Exemption percentage biodiesel in mineral oil
Biodiesel	Semi- auto diesel tax ( 1.78 NOK (0.2 EUR) / litre)	No
Natural Gas (CNG )	No	No
Biogas	No	No
Autogass (LPG)	No	No
Hydrogen	No	No
Hytan (mixture of hydrogen and natural gas)	No	No
Electricity	EI- tax ( 11.01 øre / kWh)	No

Source: <http://www.cleanvehicle.eu/info-per-country-and-eu-policy/member-states/norway/national-level/>

The municipalities have been allowed to levy a municipal fuel tax fee in a limited geographical area. In addition, the State levies regularly 25 percent VAT on fuel prices (CleanVehicleEurope 2012).

**Comprehensive fiscal incentive schema for EVs.** The government of Norway has established a comprehensive fiscal incentive schema for the purchase and use of **electric cars**. This **gives large reduction** in the vehicle's total cost, i.e. by (CleanVehicleEurope 2012):

- No VAT;
- No import duty;
- Reduced annual vehicle tax (390 NOK) (47 EUR);
- Free access to public fields;

- Free parking in public car parks;
- Use toll roads fee;
- Drive in bus lanes;
- Free domestic ferry.

According an interviewed expert the tax reductions costs the government 15,000 to 20,000 € per car. The fiscal incentive scheme is supposed to run till 2017 or run until 50,000 vehicles are sold, which is expected to be reached in 2015 or early 2016. The incentive scheme is mainly used by private vehicle owners. To achieve a higher penetration of electric vehicles in fleets, financial incentives have been extended to xEV leasing (Transnova 2013).

**Reduced VAT for Leasing of xEV.** Since 2011, the leasing of xEVs enjoys a reduced VAT class compared with conventional vehicles. There is also a full VAT exemption for the purchase of battery systems (i.e. for the replacement). Furthermore, the basis value for the annual circulation tax of companies is reduced by 75% for pure BEVs and 50% for other electro related systems PEVs. Also, the depreciation rate for xEVs is reduced to one year for increasing the attractiveness of replacement investments (CleanVehicleEurope 2012).

**Governmental Funding: Purchase of Electric or Hybrid vehicles (class N1 and M1) and Battery Systems.** Norway introduced in 2011 a general funding amount of NKR 30'000 for the purchase of an electric vehicle or hybrid vehicles of the class N1 and M1. Instead of the purchase of a new vehicle or in exchange of an older battery system, the Government supports the purchase of a more powerful battery system (for systems higher as 70 Wt/kg: NKR 1.7/Wt). A funding scheme exists for companies, whereby up to 50% of the vehicle price are provided to companies (CleanVehicleEurope 2012).

#### ***Support for market penetration: Public Procurement of Clean Vehicles***

---

**Green Public Procurement Program: Preference for xEVs.** Before 2008 the “Green in Practice GRIP”, an independent foundation established by the Norwegian Ministry of the Environment in the mid 1990s creates a framework using market forces bounded in public procurement in favour of the environment. Through many projects during these years GRIP has shown that good environmental performance, value added, reduced costs and improved profile do not exclude each other. GRIP’s objective was to promote sustainable production and consumption in Norwegian private and public organisations. In the field of public procurement the purpose of GRIP’s activities were to (CleanVehicleEurope 2012):

- Positively stimulate public bodies to work for a sustainable development;
- Make it simple to take environmental considerations in procurement processes;
- Make public bodies familiar with how environmental criteria can be used within the procurement law;
- Make available environmental information and environmental product criteria;
- Supply procurement officers with the necessary tools and methods to undertake green purchasing;
- Stimulate suppliers to deliver the green goods and services public bodies are demanding.

GRIP projects on environmentally friendly car purchase have shown considerable success, i.e. the number of enterprises in the project that have included environmental requirements in 2006 is 7 (Oslo commune, Asker commune, Forsvaret, Statens Bilutvalg, Posten, Hertz,

Europcar). Oslo commune, Asker commune, Statens Bilutvalg and Posten has in 2006 bought 1'375 environmentally friendly cars. In this context GRIP has developed a tool for evaluating products during the product selection and contract award phase. This tool is based on accepted principles. The foundation is based on the Fishbein evaluation method from 1963, integrated with procurement cost or the net present value method. A specific sample version is developed for the purchase of cars in which for the contract award environmental criteria can be included and evaluated, i.e. CO<sub>2</sub> emissions per km, NO<sub>x</sub> emissions per km and emissions of particulate matter per km. For 2008 GRIP estimates that about 5'200 vehicles (about 60%) in state enterprises covers an average emission of 180 g/CO<sub>2</sub>/km (CleanVehicleEurope 2012).

In 2008 the full responsible and tasks for public procurement was taken over by Difi – The Agency for Public Management and eGovernment, from GRIP. A market research of Difi for 2008/2009 shows that central governmental institutions as well as local authorities use some degree of environmental requirements in 70% of public procurements. This is a relative high value compared with the EU average. With regard to transportation and the procurement of road vehicles there are many indications that the Government's objectives are met. There has been a high degree of cooperation between various agencies (Police, Post Office, BBC and the Armed Forces) and there has been a willingness to adopt specific environmental criteria. I.e. the police bought about 200 cars a year; the last agreement was signed in 2006. Following requirements for the environment were required (CleanVehicleEurope 2012):

- The air conditioner must not contain CFC or HCFC
- The car should not contain mercury or cadmium.
- The coating should be water based.
- The paint shall not contain lead, cadmium and chromium.
- Min. 85% of the vehicle must be recyclable.

There were no contracts awarded with regard to specific "environmental cars". Main vehicles selected were the VW Passat, Mercedes Vito and Ford models. New competition for delivery of cars to the police was scheduled to be announced in autumn 2010. In this tender will be held environmental standards that meet current requirements. As another example the Norwegian Post has an average age of its fleet of approx. 4 years for trucks and about 2 years for vans. 69% of the Post's cars are of the year 2007 or newer and 49% of the trucks meet the requirements of Euro 4 engines or newer. When it comes to alternative technology, the Post Office in 2009 is likely to have more than 100 xEVs / mopeds. In the procurement of vans with a gross weight below 3.5 tonnes, within the contract signed in early 2009 the Post Office used environmental, health and safety criteria, the weighting was 20 percent, and it was emphasized i.e. (CleanVehicleEurope 2012):

- CO<sub>2</sub> emissions.
- HSE.
- Possibility of alternative fuels.
- Particle Filters.

**2011 Programme to Promote Electric mobility.** Since 2011, with the programme to promote the e-mobility there is a strictly preference for BEVs in the public procurement of central

government and local administrations (CleanVehicleEurope 2012). The Norwegian Green Public Procurement-program (GPP-program) has been commissioned by the Norwegian Ministry of the Environment. In principle the GPP-program is elaborated to help procurement officers to fulfil the obligation of the Norwegian Procurement Act set out above. The duration of the program was 2005 until 2009 but is continued applying now more rigid toward environmental standards as set before. Based on national and international experiences the government prioritizes certain product areas including “Transport and car including business travelling”. Within the GPP-program it was defined that only vehicles, which provide low emissions of greenhouse gases, NOX emissions and emissions of particles, should be selected. By purchasing and leasing of passenger vehicles, except emergency vehicles and other vehicles with special functional requirements, a maximum limit of 120 to 140 g/CO<sub>2</sub>/km is guide lined in 2008. It may be appropriate to reduce limit in subsequent years. It is considered to ensure that all government vehicles are CO<sub>2</sub>-free or CO<sub>2</sub>-neutral fuelled by 2020. Diesel trucks must have particulate filters. Quiet, easy rolling and studded tires to be as far as possible shall be selected. Certain types of car accessories and related services (i.e. car service, car care products, fuel, lubricating oils, and tires) are subject of an environmental standard (Nordic Swan), which is regularly defined as mandatory requirement within public procurement (CleanVehicleEurope 2012).

## V. Italy

### ***Support or public infrastructure for electric mobility***

---

In 2009, as part of the "Industria 2015 Programme", the Italian Governmental set up a funding programme for electric mobility with a volume of 180 m EUR (IA-HEV 2012).

### ***Support for research and development on electric mobility***

---

In 2009, as part of the "Industria 2015 Programme", the Italian Governmental set up a funding programme for electric mobility with a volume of 180 m EUR (IA-HEV 2012).

The strategic objective of Industria 2015 is to help the Italian economy to emerge from the recession by defining strategic lines for the development and competitiveness of the Italian manufacturing system on the basis of an analysis of future economic and production scenarios in the medium and long term (up to 2015). In particular it aims to centralise the role of industry in the context of a new attitude towards the real economy, which combines traditional manufacturing production with the development of new services and technologies, exploiting the synergies between manufacturing companies, service companies, and industrial research. Thereby, the two specific objectives of Industria 2015 are:

- to develop industrial activities in the field of high technology;
- to upgrade and strengthen small and medium-sized enterprises (SMEs) through research and technical development, reduction of costs, promotion of investments, and increases in size.

The programme is organised along the following three innovative instruments:

- Projects for industrial innovation

- Networks of enterprises
- Innovative finance

A fundamental aspect of the programme is the collaboration between the Ministry for the Economic Development, Ministry of the University and Research, and Ministry for Innovation, which financially results in the coordination of funds for research and funds for development, which together will finance the implementation of the projects:

- 990 million EUR have been allocated by FCS (Fondo Competitività e Sviluppo – Fund for Competitiveness and Development created by the Financial Act 2007 for the years 2007-2009).
- 3000 million EURO from PON (Programma Operativo Nazionale Ricerca e Competitività – National Operational Programme Research and Competitiveness) and FAS (Fondo per le Aree Sottoutilizzate – Fund for under-used areas).

For a list of projects that have already been financed please refer to: [http://www.transport-research.info/web/programmes/programme\\_details.cfm?ID=37639](http://www.transport-research.info/web/programmes/programme_details.cfm?ID=37639)

### ***Support for market penetration: Fiscal incentives***

---

**National Level incentive program in 2009.** In 2009 an incentive programme of paying 1,500 EUR to buyers of new cars with EURO 5 standard contemporary scrapping an older car with EURO 0 or I standard was established. The programme also comprised an even stronger incentive for the purchase of LPG/natural gas cars and hybrid cars between 1,500 and 3,500 EUR without the obligation of scrapping an older car. The engine modification from gasoline to LPG/natural gas was funded with € 650. For commercial heavy duty vehicles a similar system was established with a € 4'000 premium for LPG/natural gas vehicles and 2,500 EUR for conventional vehicles (Euro 4, Euro 5 standard) also when contemporary scrapping an older vehicle. The premium system has strongly stimulated the purchase of smaller and medium sized LPG/natural gas cars. Their market share has increased from 7.1% in 2008 towards some 21.8% in 2009 (in terms of sold units). In autumn 2009 the Italian Government decided to not prolong the program for 2010 (CleanVehicleEurope 2012).

**National Level tax incentives.** Italy charges the vehicle registration tax at a nominal rate. The registration taxation system with its various elements to be paid consists of IPT (car insurance premium tax), PRA (registration fee for Pubblico Registro Automobilistico), and MCTC does not include direct environmental incentive. The annual tax on ownership (circulation tax) for passenger cars depends on engine power (kW) as well as the emission level measured in EURO standards and for commercial vehicles on payload, weight and axes. A tax incentive of 800 EUR and a two year exemption from annual circulation tax is granted for the purchase of a new passenger car complying with the Euro 4 or Euro 5 exhaust emissions standards and emitting not more than 140 g of CO<sub>2</sub>/km, provided a Euro 0 or Euro 1 car which is scrapped simultaneously. For the purchase of BEVs there is granted a five years exclusion from the vehicle circulation tax and afterwards a tax reduction of about 75%.

**Various Financial Incentives at regional level.** In addition to this the regions Lombardia and Piomont offer a lifetime circulation tax exemption for new registered BEVs. Also it is possible that the vehicle assurance can be reduced of about 50% (CleanVehicleEurope 2012). Bologna was the first city in Italy to implement in 2006 a road pricing policy based on the support of Intelligent Transport System (ITS). Currently, the road pricing policy will be refined and updated in order to react to main traffic indicators and to include environmental criteria. In Milan, a similar traffic charge program in called "Ecopass" began on a trial basis on January 2, 2008. It exempts vehicles compliant with the Euro3 and Euro4 emission standards or higher, as well as several alternative fuel vehicles. Residents within the restricted zone, called ZTL (Italian: Zone a Traffico Limitato), may purchase a discounted annual pass. Although the program is operationally similar to existing congestion pricing schemes, its main objective is to reduce air pollution from vehicle emissions rather than relieve traffic congestion. The program was extended also for 2010 (CleanVehicleEurope 2012).

The international and national economic crisis impacted national clean vehicle initiatives more than those in regions, provinces, and many municipalities. These local governments were able to support clean vehicles through European, national, and industrial funding for projects supporting the environment and energy diversification. Major metropolitan areas (e.g., Rome, Milan, Turin, Genoa, and Florence) defined plans in which cleaner vehicles could play a significant role. The financial support for the purchase of EVs and the creation of dedicated charging infrastructures have been proposed in a variety of municipalities, often in conjunction with the definition of promotional and protective measures to limit or ban the circulation of more polluting vehicles (IA-HEV 2012).

#### ***Support for market penetration: Public Procurement of Clean Vehicles***

---

**National Action Plan on Green Public Procurement.** A National Action Plan on Green Public Procurement was set into force with Interministerial Decree no. 135 from April 2007. The purpose of the National Action Plan is to promote the dissemination of the GPP to public bodies and facilitate the necessary conditions so that the GPP can achieve its full potential as an instrument for improving the environment. One of the most important actions was the definition of priority categories of goods, services and works that are purchased by the public sector and to set out "minimum environmental criteria" for them. Category K of the action plan explicitly refers to the purchase of "transport vehicles and services as well as sustainable mobility systems. So far however, no minimum environmental criteria was defined for the relevant category (is one of the last product categories in which the process of definition even has not started) (CleanVehicleEurope 2012).

In Italy, the central purchasing organisation is the Concessionaria Servizi Informativi Pubblici (CONSIP); besides this, Emilia-Romagna, Piedmont and Lombardy regions have set up their own central purchasing bodies. CONSIP is a public stock company owned by the Italian Ministry of Economy and Finance (MEF) that operates on behalf of the State. With Art 36 of the Law 448 of 1999 (financial law 2000) the Ministry for Economy and Finance stipulates, through CONSIP framework agreements with selected enterprises, which are committed to accept the supply orders from the purchasing agency up to the fulfilling of the specific framework agreement. Central and local procurement agents are obliged to procure goods and services through the framework agreements while other procurement agents could

adhere to the CONSIP initiative, or as alternative must use the same price/quality parameters for the purchases of similar goods and services.

Following the modified Italian procurement law the functions of a central purchasing authority are, titled by Art. 3319 as “Public contracts and framework agreements stipulated by central purchasing authorities” that states (CleanVehicleEurope 2012): “[...] *contracting authorities can purchase works, services and supplies through a central purchasing body and creating associations and consortia*”. According to the present article both common procurement through central purchasing bodies and joint procurement through collaborative agreement are allowed. In principle Consip as “common procurement organisation” applies environmental criteria and the role undertaken in the GPP action plan. Green” criteria can be added as threshold requirements, when the contract is awarded to the most economic advantageous offer. In the case a “score” system is used, with specific “points” assigned to the environmental quality, only products fulfilling the specific green characteristics (i.e.: energy consumption, end of life collection, recycle and disposal) are awarded with the points.

In 2007 CONSIP signed conventions dedicated to car renting or purchasing referring to low impact vehicles, such as cars with double fuel supply (petrol/methane and petrol/GPL). However, after revision the vehicle awards by CONSIP between 2008 and 2010 it can be stated that environmental criteria are not explicitly applied when awarding contracts for the purchase and rental of vehicles. All contracts were awarded according to the most economically advantageous tender following economic and technical criteria (economic and technical criteria are explicitly named as award criteria) (CleanVehicleEurope 2012).

**E-Procurement Platforms on the regional level.** There are a number of E-procurement regional platforms. In principle all procurement cases on this platforms taken into account the National **Green Public Procurement Principles (GPP)**. However, explicit environmental criteria for the vehicle purchase are missing (CleanVehicleEurope 2012).

- SISP (<http://portal.sistemapiemonte.it/portal/page/portal/sistemapiemonte/acquisti/>): is the regional portal for the e-procurement of region Piedmont.
- Centrale Regionale Acquisti ([www.centraleacquisti.regione.lombardia.it](http://www.centraleacquisti.regione.lombardia.it)) : is the regional portal for the e-procurement of region Lombardy,
- Intercent-ER Agenzia regionale di sviluppo dei mercati telematici: the Agency ([www.intercent.it/portal/page?\\_pageid=201,1&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.intercent.it/portal/page?_pageid=201,1&_dad=portal&_schema=PORTAL)) represents a new way of managing the purchase of goods and services through innovative electronic systems. In 2007 Intercenter activated a convention for the “Purchasing and long time rent of vehicles” regarding in particular double fuelled cars and vans (LPG or CNG/Gasoline), but not buses. At present the agency is selecting suppliers of electric cars to be purchased.
- Acquisti on line Friuli Venezia Giulia: the experimental project ([www.acquisti.regione.fvg.it/portal/page?\\_pageid=35,50324&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.acquisti.regione.fvg.it/portal/page?_pageid=35,50324&_dad=portal&_schema=PORTAL)) was promoted by the regional Decree D.G.R. n. 3288 dated 29/11/2004 in order to realize a e-procurement system addressed to local administration, health service and region.)

- Acquisti on line Marche: (<http://www.acquistinrete.marche.it/web/index.htm>). The Market Place in the Marche region was finalized in 2004 and has been extended to all regional institutions. “E-Health” plan was co-founded by the European Union.
- Local level: As an example, the Municipality of Pesaro, Marche Region is setting a “Pesaro 2015 - Piano Strategico: città della qualità”. (Pesaro 2015 Strategic action plan) Action 16 aims to promote growth and development of new-economy firms, in particular the design and realization of an e-platform for local enterprises ([www.pianostrategico.comune.pesaro.pu.it/index.php?id=2467](http://www.pianostrategico.comune.pesaro.pu.it/index.php?id=2467))

**Regional Level: The Green Public Procurement Information Network.** Started in 2009, the Green Public Procurement Information Network lead by the Province of Cremona, will last three years, and is partly funded by the EU LIFE programme. It aims at overcoming obstacles that limit the diffusion of **GPP**, to support the reduction of environmental impacts of purchased goods/services and the implementation of the National Action Plans for GPP. A specific **project goal is to increase the awareness about the GPP role** within the strategies for sustainable consumption and production (CleanVehicleEurope 2012)

## VI. Poland

### *Support or public infrastructure for electric mobility*

---

The EcoFund (Polish environmental foundation) task is to **provide financial support for environmental protection projects** important to the region as well as helping to attain ecological goals recognized by the international community (CleanVehicleEurope 2012).

Electric mobility has not a high priority for the Polish Government. Given its endowment with coal and natural gas, Poland is directing its focus in terms of renewable energies in the area of biofuels, which tie on and may substitute its domestic fossil fuel basis.

### *Support for research and development on electric mobility*

---

The EcoFund (Polish environmental foundation) task is to **provide financial support for environmental protection projects** important to the region as well as helping to attain ecological goals recognized by the international community (CleanVehicleEurope 2012).

This program is particularly focused on rationalisation of energy use and promotes the use of renewable energy sources. The program supports projects **related among others to replacement of coal fuels by biofuels**. The projects could be granted up to 70%. However, support is available only for projects where the equipment has been produced in EcoFund countries (USA, France, Switzerland, Italy, Sweden, and Norway) or Poland.

So far the fund has financed the purchase of public transport CNG buses with about 1 m EUR. I.e. the gas company Karpacka Spolka Gazownictwa Sp. z.o.o. (Carpathian Gas Company, Ltd) located in Tarnow in southern Poland promoted CNG as fuel for motor vehicles by subsidy to fuel conversion from fossil motor fuel to CNG in the existing cars and to new cars using CNG.

This project was carried out between 15 September, and 31 December 2006. Each entity, which has bought CNG powered cars, received a grant of the amount of PLN 1'000 (ca.



€ 250). The number of participants was 220, including 70 individual and 150 institutional car owners. (CleanVehicleEurope 2012).

**Green Stream Project.** The so-called Green Stream Project was created in order to promote environmental technology in road transport. Most important stakeholder of the project is the Association of Polish Electrical Engineers and the Institute of Electrical Engineering. The participants aimed at creating a market for xEVs using renewable sources of energy (Clean-VehicleEurope 2012). It should be noted that electric mobility has not a high priority for the Polish Government. Given its endowment with coal and natural gas, Poland is directing its focus in terms of renewable energies in the area of biofuels, which tie on and may substitute its domestic fossil fuel basis.

**EU Funded Pilot Project for Electric mobility: “Fuel for Warsaw” “Cars for Warsaw”<sup>19</sup>.** Warsaw’s first ever electric vehicle charging point was opened on 17 November 2009. It is the first of 130 similar points, which were to be established in Warsaw by June 2010. This piloting initiative has been made possible through a German-Polish partnership - an EU-funded research project (PROCURA) between the German energy company RWE, the Polish group Green Stream Polska and the City of Warsaw. The project’s partners were seeking to develop a functional and user-friendly system that would effectively encourage electric mobility in the Polish capital of Warsaw. Under the pilot programme, the City Hall of Warsaw received five electric cars.

#### ***Support for market penetration: Fiscal incentives***

---

In Poland there is a uniform VAT of 22% on the purchase of vehicles. The registration tax for vehicles depends on cylinder capacity and does not include a direct environmental related element. For passenger cars there is no circulation tax; the circulation tax for commercial vehicles depends on weight (below 3.5 tonnes). In 2009 Polish drivers had threatened eco-tax in the amount of up to 3’000 zł (for cars produced before 1992). In 2009/2010 the Government starts discussion on the establishment of annual circulation tax depending on engine size, vehicle emissions and vehicle age, but so far no decision is taken. There is a fuel excise duty of € 0.488/litre for unleaded petrol and € 0.339/litre for diesel. Biofuels are almost fully exempted from the excise tax (95% tax reduction). Biogas, hydrogen and bio-hydrogen are exempted from excise tax.

Additional **support for bio-components** and liquid biofuels production will also be provided under the Long-Term Biofuel Promotion Project 2008-2014. This Project implements Art. 37 of the Bio-components and Biofuels Act. The Programme envisages the introduction of preferential treatment for public transport operating in conurbations, holiday resorts and nature conservation areas, which will apply solely to vehicles using environmentally friendly fuels (liquid biofuels as well as CNG and LPG) or fitted with electric or hybrid engines. An incentive to the use of biofuels, which will also apply to private individuals will be a reduction of parking charges (CleanVehicleEurope 2012). Given Poland’s socio-economic situation

---

<sup>19</sup> [http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=NEWSLINK\\_EN\\_C&RCN=31576&ACTION=D](http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=NEWSLINK_EN_C&RCN=31576&ACTION=D)  
[http://nws.euocities.eu/MediaShell/media/10EUROCITIES\\_CaseStudy\\_Warsaw\\_electriccars\\_Jan10-RHUG\\_9498.pdf](http://nws.euocities.eu/MediaShell/media/10EUROCITIES_CaseStudy_Warsaw_electriccars_Jan10-RHUG_9498.pdf)

(low private demand for electric mobility) and rather tight national household, fiscal support in the area of electric mobility does not rank high on the political agenda.

### ***Support for market penetration: Public Procurement of Clean Vehicles***

---

#### **Public Procurement: National Action Plan for green public procurement (2007–2009).**

The Public Procurement Law together with its secondary legislation lay down the legal grounds for public procurement in Poland. In 2008, the Central Procurement Office PPO together with the Mineral and Energy Economy Research Institute (Polish Academy of Sciences) and the Polish National Energy Conservation Agency (KAPE) organized three training sessions to promote environmental issues in public procurement. The training covered two areas: Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost and environment criteria for energy consuming products. In total ca. 100 representatives of central and local government administration took part in the training. Under the National Action Plan for green public procurement (2007-2009) in December 2008 PPO and the Ministry of Economic organized the 2nd National Conference on Green Procurement whose aim was to popularize information on environment friendly procurement. Experts presented legal regulations facilitating the use of environmental criteria in contract award procedures in the light of Directive 2004/18/EC and the Public Procurement Law. They also discussed the community ecological label - Ecolabel, energy efficiency etiquette and criteria for energy efficient buildings.

The Foundation of the Efficient Energy Use and Polish Platform of Environment Technologies presented their projects and promotions. Practical actions were illustrated on the basis of Warsaw public transport bus company Miejskie Zakłady Autobusowe.

**Biofuel Promotion Project (2008–2014).** Poland has a long-term Biofuel Promotion Project 2008-2014 in place, which **envisages the introduction of preferential treatment of public procurement purchases of vehicles and machinery fitted with engines able to use liquid biofuels** (CleanVehicleEurope 2012). The so-called ethanol bus buyers' consortium has been working since 2004. The objective of the project is to get at least two producers of ethanol buses on the European market. The required number of buses needed in order to succeed with the joint procurement is approximately 1'000. On basis of this ethanol buses are demonstrated in Slupsk (PL), La Spezia (IT), Madrid (ES), Stockholm (SE), and are on the way in Nanyang (China) and Sao Paolo (Brazil) (CleanVehicleEurope 2012). Electric mobility has not a high priority for the Polish Government. Given its endowment with coal and natural gas, Poland is directing its focus in terms of renewable energies in the area of biofuels which tie on and may substitute its domestic fossil fuel basis.

### **3.1.5 Power generation, supply and storage**

#### **I. France**

##### ***Power generation and supply***

---

France is the most important nuclear energy producer in EU. Nuclear energy, used for electricity generation, accounts for over 40% of France's primary energy supply. France exhibits an energy import dependency close to average EU levels, with the majority of imports being oil which is the second most important source of energy. The share of gas, also imported,

has been steadily increasing in recent years. Renewable sources, biomass and hydro, participate to a significant extent in the energy and electricity mix.<sup>20</sup>

Transport is the sector that consumes the largest share of final energy. Energy demand has been growing steadily. Given its strong commitment to nuclear energy, France remains one of the EU countries with the lowest CO<sub>2</sub> per capita emissions.<sup>21</sup>

The situation in France is favourable for a full-fledged, low-carbon vehicle industry that includes plug-in vehicles because of the high percentage of nuclear and hydro power energy sources that emit low CO<sub>2</sub> emissions. France also benefits from the recent efforts taken by auto makers in the production of plug-in vehicles in all segments of the value chain: electric powertrains, charging equipment, batteries, and services (IA-HEV 2012).

### ***Trends in power generation until 2030 (focus renewable energies)***

---

France has a nuclear power and hydroelectric system that makes its electricity one of the lowest in greenhouse gas emissions in the world. However, the Multi-annual Investment Programming for electricity (electricity PPI) presented in 2009 contains a substantial increase in the share of renewable electricity produced in 2020 in order to cope with increased consumption and to position France as a leader in terms of renewable energies. Electricity is the only energy vector whose use should increase by 2020 (from 45.3 Mtoe in 2005 to 46.9 Mtoe in 2020), the main causes being the increase in electronic uses and the appearance of new uses such as electric cars and heat pumps.<sup>22</sup>

Targets, detailed in paragraph 5 of this plan, have been defined for each production sector. Wind power and biomass are the two main additional sources identified, the main source remaining water power.<sup>23</sup>

For emerging technologies such as solar power and maritime energy, significant efforts in research and development (R&D) are required to position France as a leader in these energies of the future whose potential will be fully exploitable from 2020. France thus chooses to diversify its energy mix to the maximum, and to include all technologies.<sup>24</sup>

### ***Trends in grid infrastructure (key figures)***

---

In order to anticipate the significant progress of renewable energies, and in particular wind power and diffuse and intermittent photovoltaic, several measures are being prepared which fall within the scope of research for a more efficient electricity network, also known as a "smart grid".

Key areas of action with regard to grid infrastructure development:

- National legislation
- Development and integration of renewable energies
- Intelligent networks

---

<sup>20</sup> [http://ec.europa.eu/energy/energy\\_policy/doc/factsheets/mix/mix\\_fr\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/doc/factsheets/mix/mix_fr_en.pdf)

<sup>21</sup> [http://ec.europa.eu/energy/energy\\_policy/doc/factsheets/mix/mix\\_fr\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/doc/factsheets/mix/mix_fr_en.pdf)

<sup>22</sup> French Ministry of Energy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

<sup>23</sup> French Ministry of Energy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

<sup>24</sup> French Ministry of Energy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

- Reinforcement of interconnections
- Procedures for the authorisation of infrastructures
- Reserved or priority connections for renewable energies
- Limitations of the network for the integration of renewable energies
- Acceptance and sharing of network adaptation costs
- Information and connection calendar

---

***Load fluctuation due to renewable energy: Role of electric mobility in reducing or managing load fluctuation***

---

No particular role so far. As in all European countries future plans are currently too vague and heterogeneous. In that regard, one has to differentiate between smart charge and active bidirectional feed-in from battery to grid. Those elements are essential for electric vehicles to (actively) contribute to load management. While technological solutions already exist or are developing at fast pace, the main obstacles are regulatory issues. Unresolved questions pertain to the allocation and calculation of appropriate network and feed-in tariffs. Those tariffs are expected to fluctuate as a function of the grid state given time of the day due to power demand and power production, such as feed-in from renewable energy sources, e.g. photovoltaic.

## **II. United Kingdom**

### ***Power generation and supply***

---

According to the UK Ministry of Energy, the history of energy production in the UK has been based around natural resources of fossil fuels. This means that they have not been as active in exploitation of renewable. Compared to many other Member States, the UK is starting from a very low level of renewable energy consumption and this means that the challenge to meet the 2020 targets is substantial.<sup>25</sup>

The 2009 Renewable Energy Directive sets a target for the UK to achieve 15% of its energy consumption from renewable sources by 2020. This compares to only 1.5% in 2005. While there has been a small increase in renewable energy use in recent years, there will have to be a much greater level of deployment over the next decade in order to meet the target.<sup>26</sup>

### ***Trends in power generation until 2030 (focus renewable energies)***

---

DECC published the results of analysis and modelling to demonstrate how it might be possible to meet the 15% renewables target by 2020 as part of the UK Renewable Energy Strategy in 2009. The results of this analysis are the basis of the analytical work in this document.<sup>27</sup>

---

<sup>25</sup> UK Ministry of Energy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

<sup>26</sup> UK Ministry of Energy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

<sup>27</sup> UK Ministry of Energy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

This analysis indicates that delivering 15% renewable energy by 2020 is feasible through domestic action and could be achieved with the following proportion of energy consumption in each sector coming from renewables:<sup>28</sup>

- Around 30% of electricity demand, including 2% from small-scale sources;
- 12% of heat demand;
- 10% of transport demand.

It is important to stress that these figures are purely illustrative of how the overall 15% target for the UK could be met. They should not be taken as an upper limit to the UK ambition for renewables deployment. Given the dynamic nature of the energy market and the advances in technology that are being made, it is likely that the balance between different sectors could change as we go forward. Whatever the precise breakdown may be, we are putting in place the framework and taking the actions necessary to ensure that we meet our renewable goals.

<sup>29</sup>

### ***Trends in grid infrastructure (key figures)***

---

Grid access has in the past proved a major barrier to new renewable and other low carbon generation in Great Britain due to a historic ‘invest then connect’ system. New plants had to join the access ‘queue’ on a ‘first come, first served’ basis, and wait for all wider network reinforcement to be completed before they could join the network and start generating. This led to an extensive queue of prospective new projects, with some plants offered connection dates as late as 2025.<sup>30</sup>

In order to address this problem, in May 2009 Ofgem approved the introduction of an Interim ‘Connect and Manage’ regime, under which new generators are able to accelerate their access dates. These interim arrangements allow generators to connect to the network when their local connection is ready without waiting for wider system reinforcements to take place. Interim Connect and Manage has been very successful – 6.2 GW of existing renewable and other projects have had their connection dates advanced since its introduction; and a further 6.4 GW of new projects have been given earlier connection dates than they would have been under the previous system.<sup>31</sup>

The UK Government expects the development of offshore renewable generation to make a major contribution to the achievement of its emission targets. Up to 33 GW of offshore renewable generation may be developed. The majority of this generation will be connected to the GB electricity grid through offshore transmission cables. It is anticipated that £15 billion of new transmission investment will be required. Ofgem and DECC have developed a new regulatory regime for offshore transmission networks. A key feature of this regime is that each new tranche of transmission assets required by offshore generators will be awarded

---

<sup>28</sup> UK Ministry of Energy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

<sup>29</sup> UK Ministry of Energy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

<sup>30</sup> UK Ministry of Energy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

<sup>31</sup> UK Ministry of Energy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

through a competitive tender process<sup>116</sup>. This process is being run by Ofgem, using competition to secure the most efficient and economic outcome for consumers.<sup>32</sup>

In addition to increased investment and better access to the grid we are also looking at the need for the grid to be smarter (including through intelligent networks, information technology tools and storage facilities). The grid will need to react to changes in generation and demand patterns as the energy system experiences a step change in intermittent generation at a large scale and an increased number of small scale distributed generation plants, more price responsive consumers enabled by roll out of smart meters, and changes in demand from the use of xEVs. Network operators will benefit from having more real time information on energy use and supply, and will be able to facilitate two-way flows of energy efficiently on the system through use of more automated response technologies. DECC published a paper Smarter Grids – The Opportunity<sup>118</sup> on 2 December 2009.<sup>33</sup>

In the light of work on the 2050 energy road map, a ‘route map’ for delivery of this vision was published in February 2010. Many of the technologies to enable such capability are already available, but have not yet been integrated together in large-scale demonstrations. However, the intention to roll out smart meters is already bringing forward a key element of smart grid capability. The current consultation on smart meter policy considers how roll out of smart meters should allow for smarter network operation, alongside better information for end-consumers.<sup>34</sup>

### ***Load fluctuation due to renewable energy: Role of electric mobility in reducing or managing load fluctuation***

---

No particular role so far. As in all European countries future plans are currently too vague and heterogeneous. In that regard, one has to differentiate between smart charge and active bidirectional feed-in from battery to grid. Those elements are essential for electric vehicles to (actively) contribute to load management. While technological solutions already exist or are developing at fast pace, the main obstacles are regulatory issues. Unresolved questions pertain to the allocation and calculation of appropriate network and feed-in tariffs. Those tariffs are expected to fluctuate as a function of the grid state given time of the day due to power demand and power production, such as feed-in from renewable energy sources, e.g. photovoltaic.

## **III. Norway**

### ***Power generation and supply***

---

Norway’s energy mix is dominated by hydropower, accounting for nearly 40% of TPES in 2009, followed by oil (34% of TPES) and natural gas (20%), Biomass and waste (5%) and coal (2%) are much smaller sources, and wind accounts for a negligible share. Compared to other IEA member countries, Norway has a relatively low share of fossil fuels, 55% of TPES, and it has by far the highest share of hydropower (2011a).

---

<sup>32</sup> UK Ministry of Energy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

<sup>33</sup> UK Ministry of Energy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

<sup>34</sup> UK Ministry of Energy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

Norway generates almost all of its electricity from abundant and affordable hydropower. This distinguishes Norway strongly from all other IEA members. Electricity use per capita is higher than in any other IEA member country and second only to Iceland in the world. In 2008, average use per capita was more than 23 megawatt-hour (MWh) in Norway, while the IEA average amounted to 9 MWh per capita and the world average to 2.5 MWh. Indeed, although energy use per capita is not far from the IEA average, electricity consumption ratio is very high, as this energy source often replaces oil and gas in industry and in space heating (IEA 2011a).

### ***Trends in power generation until 2030 (focus renewable energies)***

---

Electricity accounts for close to a half of final energy consumption in Norway. In addition to increased energy production from renewable sources, a central element in the government's energy policy is to limit the growth in energy consumption and to make energy use more efficient. The government agency Enova is the main instrument to this end (IEA 2011a).

The electricity market functions well and the Nord Pool power exchange remains liquid and robust. The Nordic countries have agreed to work towards setting up a common retail electricity market by 2015 (IEA 2011a).

### ***Trends in grid infrastructure (key figures)***

---

As of January 2010, Norway's high-voltage transmission network consisted of around 2'900 km of 420-kV lines, 5'100 km of 300-kV lines and 570 km of 220-kV lines. Statnett owns around 90% of the transmission network. The rest is owned by 25 different companies, representing the private sector and county and municipal authorities. County and municipal authorities own most of the grid at the regional and distribution levels. The Norwegian transmission grid is interconnected with Sweden, Denmark, Finland, the Netherlands and Russia. The transmission capacity is largest from Norway to Sweden, about 3'450 MW, while the capacity in the other direction is about 3'000 MW. Transmission capacity between Norway and Denmark is about 1 000 MW. Norway is involved in several projects to develop cross-border connections both within the Nordic area and with neighbouring areas. Generally, the projects are driven by trade opportunities, but also by the need to accommodate large projected increases in variable wind power supply in the coming years – which, in turn, will provide more trade opportunities (IEA 2011a).

### ***Load fluctuation due to renewable energy: Role of electric mobility in reducing or managing load fluctuation***

---

No particular role so far. As in all European countries future plans are currently too vague and heterogeneous. In that regard, one has to differentiate between smart charge and active bidirectional feed-in from battery to grid. Those elements are essential for electric vehicles to (actively) contribute to load management. While technological solutions already exist or are developing at fast pace, the main obstacles are regulatory issues. Unresolved questions pertain to the allocation and calculation of appropriate network and feed-in tariffs. Those tariffs are expected to fluctuate as a function of the grid state given time of the day due to power demand and power production, such as feed-in from renewable energy sources, e.g. photovoltaic.

## **IV. Italy**

### ***Power generation and supply***

---

The development of renewable energy sources has been one of the priorities of Italy's energy policy for some time, together with the promotion of energy efficiency. The objectives of such a policy are: energy supply security, reduction in energy costs for businesses and individual citizens, promotion of innovative technology, environmental protection (reduction in polluting and greenhouse gas emissions), and therefore, ultimately, sustainable development.<sup>35</sup>

### ***Trends in power generation until 2030 (focus renewable energies)***

---

In the medium to long term, Italy aims to redress the balance of its energy mix, which is currently too dependent on imported fossil fuels<sup>36</sup>. The principal support mechanisms in force for electricity production from renewable sources are the following<sup>37</sup>:

- incentive schemes for electricity produced by plants using renewable sources through the green certificate scheme, based on a minimum quota of new electricity production from renewable sources;
- incentive scheme based on fixed all-inclusive tariffs for electricity fed into the grid by renewable energy plants with a maximum power output of 1 MW (0.2 MW for wind energy), as an alternative to the green certificates;
- incentive scheme for photovoltaic and solar thermodynamic plants through the feed-in tariff mechanism;
- simplified means of selling energy produced and fed into the grid at fixed market prices;
- possibility of placing greater value on energy produced through the net metering mechanism for plants with a maximum power output of 200 kW;
- dispatch priority for renewable sources;
- connection to the electricity network within present deadlines and under advantageous conditions for plant operators.

### ***Trends in grid infrastructure (key figures)***

---

The growth in the contribution from renewable energy to the electricity sector in order to reach European targets must be accompanied by a significant modernisation and expansion programme for the electricity transmission and distribution network, allowing:

- connections to power plants, in particular photovoltaic and wind power plants. The regions of southern Italy and the Italian islands have the greatest potential for such
- plants, but do not currently have a network infrastructure suitable for the expected and desired developments;
- energy dispatch, in particular for wind farms of considerable size connected to the

---

<sup>35</sup> Italian Ministry for Economic Development (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

<sup>36</sup> Italian Ministry for Economic Development (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

<sup>37</sup> Italian Ministry for Economic Development (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.



- electricity network;
- the spread of distributed generation;
- interconnections between Italy, with new electricity infrastructure, and countries in North Africa and the Balkan region.

Of course we must also bear in mind the appropriate adaptation of the distribution networks. Moreover, the possibility is being considered of making the body responsible for authorising renewable energy plants also responsible for authorising the network expansion necessary for the withdrawal of energy from the grid (with specific precautions in place). For transmission, this should be limited to those networks listed in the development plan section on renewables. This would contribute to the harmonised development of plants and networks, thus speeding up the development of the networks and infrastructure necessary for connecting up and making full use of all the potential energy production<sup>38</sup>.

The intention is therefore to more systematically encourage the modernisation of distribution networks in line with smart grid concepts, further improve the forecast models for production from non-programmable renewable sources, and promote the integrated management of associated aspects including accumulation and generation systems and loads.<sup>39</sup>

The plan is to “anticipate” the development of transmission networks, encourage the modernisation of distribution networks in line with smart grid design, encourage the integrated management of associated aspects which include accumulation and generation systems and loads, including xEVs. Further acceleration of the necessary investment in the national transmission network is also planned, by introducing a premium/penalty mechanism to be paid by the network operator and monitoring the timeliness of its actions.<sup>40</sup>

### ***Load fluctuation due to renewable energy: Role of electric mobility in reducing or managing load fluctuation***

---

No particular role so far. As in all European countries future plans are currently too vague and heterogeneous. In that regard, one has to differentiate between smart charge and active bidirectional feed-in from battery to grid. Those elements are essential for electric vehicles to (actively) contribute to load management. While technological solutions already exist or are developing at fast pace, the main obstacles are regulatory issues. Unresolved questions pertain to the allocation and calculation of appropriate network and feed-in tariffs. Those tariffs are expected to fluctuate as a function of the grid state given time of the day due to power demand and power production, such as feed-in from renewable energy sources, e.g. photovoltaic.

## **V. Poland**

### ***Power generation and supply***

---

<sup>38</sup> Italian Ministry for Economic Development (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

<sup>39</sup> Italian Ministry for Economic Development (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

<sup>40</sup> Italian Ministry for Economic Development (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

In 2009, Polish electricity generation reached 151 TWh. Since 2000, it grew only modestly, at about 0.6% per year, less than half the rate in demand for electricity. The country increased its electricity imports, which nearly tripled between 2000 and 2009, although Poland remains a net electricity exporter. Further, Poland was able to reduce network losses from 10% to 8% at the same time, although this rate remains higher than the 6% across the OECD. Electricity consumption at power plants was also reduced, both in absolute terms and as a share of total electricity generation. That share remains, however, extremely high. At around 15%, it is twice as high as the OECD average. Total installed capacity was 35.6 GW in 2009, of which 31.6 GW is coal-fired. The remaining capacity was split between hydropower (2.3 GW), gas (0.9 GW), biomass (0.6 GW), oil (0.5 GW) and wind (0.4 GW). Coal-fired power plants produce around 10 GW of electricity and heat at the same time. Poland is one of few countries in the world to make such extensive use of combined heat and power (IEA 2011b).

### ***Trends in power generation until 2030 (focus renewable energies)***

---

The strategic objective of the Polish energy policy, resulting e.g. from Directive 2001/77/EC, was to increase the use of renewable energy sources and reach a 7.5% share of electricity produced from renewable energy sources of the gross national energy consumption in 2010.

In spite of a dynamic growth in the production of electricity from RES, the target assumed for 2010 was not reached, which primarily resulted from the large increase in electricity demand in the recent years. Forecasts concerning electricity consumption in Poland, included in the Energy Policy of Poland until 2030, indicated that the consumption would reach approximately 141 TWh in 2010. At such a level of consumption, the share of electricity produced from renewable resources of the national gross electricity consumption would be guaranteed to reach 7.73%. However, early data of the Energy Market Agency indicate that the consumption of electricity by the Polish economy reached 156 TWh in 2010, which eventually brought the index to 6.98%. Note, nevertheless, that electricity production from renewable energy sources reached 10.895 TWh in 2010, and it was higher than the amount expected in the “National renewable energy action plan” (10.618 TWh). The increased growth rate allows us to hope that despite greater electricity consumption, mandatory indicative targets for 2020 included in the National renewable energy action plan will be achieved. Reaching the indicative targets for 2020 will also be facilitated by measures taken at present and in the future, described in point 7.5, 7.6 and 7.7 herein.

It should also be noted that the growth rate in the installed capacity of renewable energy sources is also higher than expected in the National renewable energy action plan, as demonstrated by the data for 2010 and Q1 2011.

Further details can be found in a report containing the analysis of the attainment of the results and quantitative targets in the field of electricity production from renewable sources in the years 2009-2010<sup>41</sup>

### ***Trends in grid infrastructure (key figures)***

---

While appreciating the need for the development of grid infrastructure for the purposes of electricity transmission, including energy from RES, in Poland there is advanced legislative

---

<sup>41</sup> [http://ec.europa.eu/energy/renewables/electricity\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/renewables/electricity_en.htm)

work in progress aimed at facilitating the extension of the grid as necessary by operators of energy systems. New legislation will intensify the development of the infrastructure, which will improve the access to the system also for distributed RES installations.<sup>42</sup>

Recently, special attention is paid to the development of intelligent networks and related IT tools. Work on adjusting IT systems to challenges created by “intelligent networks” has been started by some operators of distribution grids. PSE Operator S.A. also appointed its own team to prepare the concept and assumptions for the development of “intelligent networks.”<sup>43</sup>

On 3 June 2009, the Energy Regulatory Office of Poland, Polish Consumer Federation (Federacja Konsumentów), Association of Polish Consumers (Stowarzyszenie Konsumentów Polskich), Polish National Energy Conservation Agency (Krajowa Agencja Poszanowania Energii) and the Forum of Electricity and Gas Recipients (Forum Odbiorców Energii Elektrycznej i Gazu) signed the Declaration concerning the introduction of smart metering into the Polish energy system (Deklaracja w sprawie wprowadzenia inteligentnego opomiarowania do polskiego systemu elektroenergetycznego). Signatories of the declaration, representing institutions and organisations protecting interests of consumers and users of energy, have expressed their explicit support for the general introduction of smart metering technologies into the Polish energy system, while emphasising benefits for all market participants stemming from implementation of solutions based on advanced technologies. Signatories of the declaration have undertaken to monitor implementation of the smart metering system in order to ensure maximum benefits for energy users, and to implement any possible measures supporting interests of users. Signatories also have emphasised a need for distributing the costs of the implementation of the system in a way generating benefits to all electricity market participants. In accordance with their recommendation, this system should be ultimately used in the same way by the gaseous fuel, heat and water sectors. At the same time, organisations – signatories of the declaration – have called all institutions, organisations and undertaking, especially the ones related to the Polish electricity sector, to effectively support and actively popularise the idea of this solution, as well as its implementation. They have emphasised that the declaration is open, while encouraging interested parties to cooperate for the effective implementation of qualitative changes in the Polish energy system.<sup>44</sup>

### ***Load fluctuation due to renewable energy: Role of electric mobility in reducing or managing load fluctuation***

---

No particular role so far. As in all European countries future plans are currently too vague and heterogeneous. In that regard, one has to differentiate between smart charge and active bidirectional feed-in from battery to grid. Those elements are essential for electric vehicles to (actively) contribute to load management. While technological solutions already exist or are developing at fast pace, the main obstacles are regulatory issues. Unresolved questions pertain to the allocation and calculation of appropriate network and feed-in tariffs. Those tariffs are expected to fluctuate as a function of the grid state given time of the day due to

---

<sup>42</sup> Polish Ministry of Economy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

<sup>43</sup> Polish Ministry of Economy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

<sup>44</sup> Polish Ministry of Economy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020.

power demand and power production, such as feed-in from renewable energy sources, e.g. photovoltaic.

### 3.1.6 Provision of infrastructure

All over Europe the number of Charging Stations is increasing daily. In the near future xEV will be a key component in traffic reduction.

The European Union wants to build a half million charging stations by 2020, with the goal to stop the chicken-and-egg discussion on whether infrastructure needs to be there before the large scale roll out of xEV.

The Commission proposes binding targets for charging points using a common plug. Apart from electric vehicle charging stations, which are clearly the most ambitious part of the plan, the eight-billion-euro “Clean Power for Transport Package” also includes standards for non-electric cars (developing hydrogen, biofuel and other natural gas networks).

Four of the European countries with the most ambitious plug-in technology programs — Germany, France, Spain and Britain — have individual national plans that aim to have more than seven million electric cars on their roads by 2020. Currently, plug-in vehicles make up a fraction of Europe’s estimated 250 million cars. In 2011, for example, only 1,858 BEV were bought in Germany, 1,796 in France, 1,547 in Norway and 1,170 in Britain, according to E.U. figures.

Germany had less than 2’000 publicly accessible electric charging stations in 2011, according to E.U. figures. By the end of the decade, the country would have to install another 148’000 public points to reach its target. By way of comparison, the whole country only has roughly 14,300 gas stations (most of which, of course, have multiple pumps).

Even E.U. member states that have virtually no public charging points available will open up to the network. For example, by 2020, the island state of Malta will have 1’000 charging points, according to the plan.

The plan would also introduce the “Type 2” plug as the standard system in Europe. Currently, competing systems dominate in neighbouring member states. Such infrastructure incompatibility makes it difficult to drive an electric car from Paris to Berlin, relying on public charging points.

#### I. France

##### ***Key actors responsible for deployment of charging infrastructure***

---

**Key Public Actors** (see also chapter 3.1.1 Actors). In 2010, the government formed a charging infrastructure **working group** to coordinate installation of a standardized national charging network for PHEVs and battery-powered BEVs. The strategy foresees inclusion of the following provisions (IA-HEV 2012):

- Local governments will be empowered to install public charging infrastructure
- A quota of parking areas in work places and shopping areas will be reserved for xEVs and charging spots

- Builders of collective residences must install charging facilities at parking places upon request of the inhabitants
- Local governments will be obligated to equip public-parking areas with charging facilities.

**Key Private Actors.** See members of “France mobilité électrique” (<http://www.france-mobilite-electrique.org/systemes-de-charge,165.html?lang=fr>). One of the main actors is EDF.

### ***The charging infrastructure: Key figures***

**Number of existing / planned charging stations.** The **development of plug-in vehicles** in France is seen as a symbolic step towards more environmentally-friendly transport to achieve national goals. The government has also announced an investment plan to support public infrastructure. An estimated **one million public and private battery-charging stations will be built by 2015** under the plan (IA-HEV 2012).

In order to assure the supply of appropriate recharging infrastructure, laws have been released that oblige every new building equipped with parking units to connect these to electricity supply by 2012. Car parks at work places have to be equipped with electricity connections by 2015. For the condominiums, the creation of a “right to plug-in” for lessees would help to ease the submission of estimates for charging installations to the flat owners’ assembly.

Further, EUR 60 million has been made available for the installation of 1,250 public recharging points around 20 agglomerations. By 2025 a recharging infrastructure of 9.9 million points shall have been established around France. Thereof 9 million are expected to be private points, 750,000 public normal charging points, and 150,000 public rapid charging points. (City, Mobility & Transport Laboratory 2013)

One of the keys to success for these vehicles is to establish user confidence in their driving range and safety. Reliable charging infrastructure that is backed by a national installation strategy is required to ensure sufficient driving range. France is planning to deploy this infrastructure in all sectors of daily life, in particular for the following groups (IA-HEV 2012):

- **Enterprises:** Charging infrastructure will be installed for captive fleets of plug-in vehicles, such as corporate fleets. The possibility of “plug-in benefits” will be considered, such as allowing employees to recharge their personal or company cars at their place of work with low or no cost. Added power demand for charging would be managed.
- **Public domain:** Plug-in vehicles and charging infrastructure will also be deployed in public areas, such as roadways and public parking garages. Suitable options for use are being developed, such as shared vehicles and vehicles on demand.
- **Residential sector:** Plug-in vehicles and charging infrastructure will be made available to individual users, with or without vehicle ownership.

Table 7. xEVs projects in the France (source: EURELECTRIC 2013)

Location	Project Name	Project Website
Grenoble	ELLISUP*	<a href="http://www.edf.com/le-groupe-edf-3.html">http://www.edf.com/le-groupe-edf-3.html</a>

Lyon	MAXITY	<a href="http://www.edf.com/le-groupe-edf-3.html">http://www.edf.com/le-groupe-edf-3.html</a>
Paris	MINI E Paris	<a href="http://innovation.edf.com/des-projets-innovants/la-mobilite-electrique/les-experimentations/mini-electriques-a-paris-81614.html">http://innovation.edf.com/des-projets-innovants/la-mobilite-electrique/les-experimentations/mini-electriques-a-paris-81614.html</a>
	MAXITY	<a href="http://www.edf.com/le-groupe-edf-3.html">http://www.edf.com/le-groupe-edf-3.html</a>
	ELLISUP*	<a href="http://www.edf.com/le-groupe-edf-3.html">http://www.edf.com/le-groupe-edf-3.html</a>
	HYDOLE*	<a href="http://www.edf.com/le-groupe-edf-3.html">http://www.edf.com/le-groupe-edf-3.html</a>
Yvelines	S.A.V.E Project	<a href="http://innovation.edf.com/des-projets-innovants/la-mobilite-electrique/les-experimentations/seine-aval-vehicules-electriques-save-81613.html">http://innovation.edf.com/des-projets-innovants/la-mobilite-electrique/les-experimentations/seine-aval-vehicules-electriques-save-81613.html</a>

## II. United Kingdom

### **Key actors responsible for deployment of charging infrastructure**

**Key Public Actors.** See chapter 3.1.1 Actors

**Key Private Actors.** Local power companies.

### **The charging infrastructure: Key figures**

**Number of existing / planned charging stations.** The Plugged-In Places (PIP) initiative has created electric car hubs through installing charging points in six key British cities or regions. PIP represents a major effort in establishing a charging infrastructure in the UK and is discussed in further detail in the Charging Infrastructure section (IA-HEV 2012).

Table 8. xEVs projects in the UK (source: EURELECTRIC 2013)

Location	Project Name	Project Website
Glasgow	Allied Vehicles (2009-2011)	
Newcastle	EVADINE	
Coventry / Bir-	CABLED – Coventry &	

mingham	Birmingham Low Emission Vehicle Demonstrator (2009-2011)	
Oxford	BMW - MINI E (Trial of 40 MINI E with private and fleet users)	
London	London South East (2009-2011)	
	Ford Transit Connect BEV (Trial of 15 Ford Transit Connect MPV with private and fleet users)	
	PHV (2009-2011)	

Visit also: <https://www.gov.uk/government/publications/plugged-in-places>

### III. Norway

#### **Key actors responsible for deployment of charging infrastructure**

**Key Public Actors.** See chapter 3.1.1 Actors

**Key Private Actors.** See members of ELBIL: <http://www.elbil.no/om-elbilforeningen/stottespillere>

#### **The charging infrastructure: Key figures**

Table 9. xEVs projects in Norway (source: EURELECTRIC 2013)

Location	Project Name	Project Website
Oslo	Grønn Bil (Green Car)	<a href="http://www.gronnbil.no/biler">http://www.gronnbil.no/biler</a>
	HyNOR	<a href="http://itworks.no">http://itworks.no</a>
	OSLO municipal	<a href="http://www.trafikketaten.oslo.kommune.no/elbil">http://www.trafikketaten.oslo.kommune.no/elbil</a>

### IV. Italy

#### **Key actors responsible for deployment of charging infrastructure**

**Key Public Actors.** See chapter 3.1.1 Actors

**Key Private Actors.** See members of CIVES: <http://www.ceiweb.it/CIVES/home.htm>

#### **The charging infrastructure: Key figures**

Table 10. xEVs projects in Italy (source: EURELECTRIC 2013)

Location	Project Name	Project Website
Milano	E-mobility Italy Project	<a href="http://www.enel.com/en-GB/innovation/smart_grids/electric_vehicles/e_mobility_italy/index.aspx">http://www.enel.com/en-GB/innovation/smart_grids/electric_vehicles/e_mobility_italy/index.aspx</a>
Pisa	E-mobility Italy Project	<a href="http://www.enel.com/en-GB/innovation/smart_grids/electric_vehicles/e_mobility_italy/index.aspx">http://www.enel.com/en-GB/innovation/smart_grids/electric_vehicles/e_mobility_italy/index.aspx</a>
Rome	E-mobility Italy Project	<a href="http://www.enel.com/en-GB/innovation/smart_grids/electric_vehicles/e_mobility_italy/index.aspx">http://www.enel.com/en-GB/innovation/smart_grids/electric_vehicles/e_mobility_italy/index.aspx</a>

## V. Poland

### ***Key actors responsible for deployment of charging infrastructure***

**Key Public Actors.** See chapter 3.1.1 Actors

**Key Private Actors.** Apart from local initiatives of power companies, none known.

### ***The charging infrastructure: Key figures***

Table 11. xEVS projects in Poland (source: EURELECTRIC 2013).

Location	Project Name	Project Website
<i>No project listed on EURELECTRIC project map</i>		

### 3.1.7 Stakeholder opinions on government activities and policies

#### **Motivations of governmental support for electric vehicles**

The motivation for the support of Electric Mobility is similar in most of the countries in the study region.

Firstly, the governments aim at reducing the environmental impacts of road transport and especially reduce CO<sub>2</sub> emissions, as experts from Norway, the United Kingdom, France and from the EU stated. On the EU-level, the fleet emission targets for new passenger vehicles are a technology-neutral instrument to reduce carbon emissions of vehicles, but electric mobility is regarded as one of the solutions. Norway wants to reach its passenger vehicle emission target of 85 g CO<sub>2</sub> / km until 2020, which is more ambitious than the EU-limit.



As a second motivation, the experts mention an improvement of the competitiveness of the domestic economy, and especially, in car- or component producing countries, the automotive industry. According to a French expert, the French government expects the generation of an economic activity of € 15 bn by 2030 due to the development of low-carbon vehicles. In Norway, the incentive scheme was first implemented as an industry policy to support the Norwegian companies Think and Buddy electric. Though, after their failure, the policy was maintained and the argumentation switched from industry to environmental policy.

Additionally, some of the governments intend to reduce their oil dependency. A French expert mentioned the national plan to reduce the oil imports by 4 Mtoe by 2020.

### **Government strategy regarding electric vehicles**

In most European countries, the government strategy focuses on market creation instruments. The German strategy of strong R&D funding and no purchase incentives is an exception.

Apart from the financial incentives, the French strategy consists of helping the development of the public charging network and promoting EV-services and business models like car sharing schemes, as an expert mentioned.

According to an expert, the UK strategy is being updated at the moment; apart from purchase incentives and infrastructure provision, there is expected to be a further focus on (public) procurement standards to raise the market penetration of EVs in vehicle fleets.

The French strategy focuses on two pillars: Subsidies to increase the affordability of EVs and the development of a public charging network. The infrastructure development is regarded as the most important field of funding by an expert.

The EU strategy is based on the principle of technology neutral support for low carbon vehicles. EU experts state that this principle is shared also by industry representatives. The EU does not directly support the market penetration of electric vehicles; the strategic fields of action are the support and harmonization of EV-infrastructures, R&D on Electric Mobility and customer information. Besides that, the EU indirectly supports EV manufacturers by the fleet emission limits, as stakeholders from the Commission mentioned. The directive that is in negotiation at the moment, the EU wants to oblige member states to set up infrastructure and introduce a harmonized customer information on fuels and charging.

An NGO expert mentioned that the strategies of the member states also depend on their economic interests – especially regarding the fact if they have a relevant car manufacturing industry or not.

### **Organisational Structures and Cooperation**

A French expert mentioned the crucial role of the government in initialising and coordinating the development of Electric Vehicles in France. Still, the expert sees the potential for improvements of this role – especially regarding a better cooperation between the local authorities and the key economic actors in order to boost the “territorialisation” of the EVs ecosystem.

On the EU-level, the activities of different DGs are related to Electric Vehicles; there is no single representative for EV-policies. A stakeholder from the automotive industry sees a lack of strategy regarding policy cooperation. Although the commission would understand the challenges, the policies are not always clear and coherent.

### **Market creation instruments**

Since the costs are regarded as one of the main barriers for a market breakthrough of electric vehicles, many countries have introduced subsidy schemes or tax rebates for xEVs. Several experts argue that these fiscal incentives, together with non-fiscal incentives (like the use of bus lanes) and other measures to promote electric mobility, are able to motivate customers to purchase EVs, as the examples of Norway and the Netherlands show. A CO<sub>2</sub>-based car taxation or tax exemptions for company cars could also help to raise the xEV-share in company fleets.

Still, some experts are sceptical about the overall impacts of subsidies.

A negative spin-off of purchase subsidies could be that the industry has no incentive to reduce the costs of EVs – so the government funds the profit of EV manufacturers, as an industry stakeholder put it. A declining rate of subsidies could be beneficial as this alerts the consumers and is an incentive for the industry to reduce the price.

The effects of ending the subsidies could be problematic as well: An expert from the EU Commission warned that incentives could be a problem since they boost the market only as long as they are in place – and budget restrictions can easily lead to ending the incentives. Decisions on incentives should be guided by analyses of their impact and of the external costs of transport.

Thus, the EC-expert concludes that non-fiscal privileges, like free access to bus lanes, could be a good solution, since they do not directly cost public money but still offer relatively big advantages to the users.

Apart from fiscal and non-fiscal incentives, several experts emphasize the relevance of customer information as an important instrument to push market penetration of electric vehicles.

Business models that integrate EVs in car sharing or car rental can also play a role in market creation since customers have the chance to become acquainted with electric mobility without purchasing a vehicle.

For any kind of incentives and instruments it is seen as crucial to develop a long-term roadmap to allow for secure planning for the market participants, both industry and customers.

As a part of the European fleet emission limits, Supercredits are considered important by an industry expert to make OEMs invest in EVs. These incentivise the development of EVs by the OEMs, but not the customers.

### **Regulatory framework**

Alongside with economic instruments, experts agree that xEVs can also benefit of regulatory measures such as preferential access rights (e.g. for high-occupancy lanes, bus lanes, or congestion charging zones), which create an advantage for xEV-users, or fleet emission limits that incentivise the production of EVs by supercredits. Experts argue that regulatory measures set incentives without spending public money. Regarding the fleet emission limits, an EC expert think that EVs would be over-incentivised by the supercredits. Other experts demand an early decision about the future targets to give car manufacturers a long-term perspective. Depending on the strictness of the future legislation, the limits could be an incentive to produce xEVs even without any supercredits.

### **Charging Infrastructure**

Regarding charging infrastructure, most of the interviewed experts value the governmental efforts, but still see great challenges to create a coherent charging network. While EU-wide standards for hardware (plugs and voltage) have already been implemented, the issues of access, billing and roaming are still a challenge.

An expert from the UK sees the need for changes in the government strategy and give up the focus on single regions, unify the types of infrastructure, and create fast charging facilities at sensitive locations such as working locations or other long-term parking locations.

To overcome customer concerns against EVs, the expert sees a huge potential for inductive charging, which might first be seen in the premium sector for home charging and later play a role in public spaces. It could also be important for taxis and busses during their service at stops and .

The will of the French government to create a dense charging network has led to laws obliging every new building and car parks at work places to be equipped with electricity connections. Still, a French expert sees several remaining issues, such as new business and legal models to organise charging on a market without subsidies, or a way to prioritize renewable electricity for charging. An open question is if and how to implement a “right to plug in” in the case of conflicts.

A Dutch expert mentions the crucial role of public parking policies in cities for to allow for the access to charging points.

An industry expert thinks that the commission proposal on mandatory infrastructure targets make sense, although the member states have refused it. An expert from the EC, in contrary, thinks that binding targets are less important.

Regarding fast charging, experts warned that it bears the risk to ruin the battery on the long run. Fast chargers and battery control systems would need to be geared to each other.

## 3.2 Research funding and institutions

### 3.2.1 Actors

#### I. EU

The ‘European Green Cars Initiative’ includes three major research and development areas within its RTD pillar: 1) development of xEVs for road transport; 2) research for heavy duty vehicles for medium and long distance road transport; and 3) logistics and co-modality.

This concerns for example the FP7 research priorities on

- Feasibility analysis and technological development of on-road charging for long term electric vehicle range extension
- Next generation electric motors
- Future light urban xEVs
- Demonstration of electric buses as urban public transport

The EU also started the FP7 Objective GC-ICT-2013.6.6 on Electric mobility with the following priorities for BEVs:

- Advanced System Architecture for BEVs
- Comprehensive Energy Management for BEVs

Moreover, apart from the Energy and ICT branches of FP7, research on electric mobility is also addressed in the FP7 Topics GC.ENERGY.2013.7.3.1 (Planning rules for linking xEVs to distributed energy resources), GC.ENERGY.2013.7.3.2 (Enhanced interoperability and conformance testing methods and tools for interaction between grid infrastructure and xEVs) and ENERGY.2013.7.3.3 (Understanding interfaces in rechargeable batteries and super-capacitors through in situ methods)

In addition, with the ERA-NET framework, the topic “ENT19: Electric Mobility” has brought together five partners (funding bodies from member states Austria, Finland, the Netherlands, Norway and Poland) having launched a trans-national research call on Electric-mobility, carried out in 2010.

#### II. France

##### ***Main public actors***

---

<b>Public actors</b>	<b>Contact details</b>	<b>More information*</b>
ANRT - Association nationale de la recherche et de la technologie	Service Europe 41 Bd des Capucines 75002 Paris +33-1-55352570	<i>See website</i>

---

contract@anrt.asso.fr

ERT - Europe recherche transport	c/o INRETS - Le Des-cartes 2, 2 rue de la Butte Verte 93166 Noisy le Grand Cedex +33-1-45925524 <a href="mailto:pcn.transport@ert-sas.fr">pcn.transport@ert-sas.fr</a>	See website <a href="http://www.university-directory.eu/France/INRETS-Institut-National-de-Recherche-sur-les-transport-et-leur-securite.html">www.university-directory.eu/France/INRETS-Institut-National-de-Recherche-sur-les-transport-et-leur-securite.html</a>
----------------------------------	---	---

Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagements durables/ CET-MEF	Département Télécommu-nications 151 Quai du Rancy 94381 Bonneuil sur Marne +33-1-45135340 christian-ph.mace@developpement-durable.gouv.fr	See website
--	---	-------------

\* Current research profiles, time spent on EV topics, independence and economic ties, affiliations, institutions and organizations (size), additional information

### List of current national transport research programs

The Transport Research & Innovation Portal (TRIP) gives an overview of past and current research activities at European and national level. Listed below are currently relevant institutions and ongoing research programmes in France.

Name	Duration	Strategic Objectives
Véhicule du futur - "Vehicle of the future" competitive cluster (formerly ASTRID - Agency for technology support, industrial research and development)	2005 - Ongoing	<p>The aim of Véhicule du Futur is to encourage, then support, projects initiated by the economic and academic players in a given local area. There are four success factors for each competitiveness cluster:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementing a common economic development strategy that is consistent with the area's overall development strategy,</li> <li>• Creating extensive partnerships between players for specific projects,</li> <li>• Focusing on technologies for markets with</li> </ul>

		<p>high growth potential,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reaching sufficient critical mass to acquire and develop international visibility.</li> <li>• By building a network of players at the forefront of innovation, the end goals of the new policy are the creation of new wealth and jobs in these regions of France.</li> </ul>
GRRT - Regional group to promote transport research in Nord-Pas-de-Calais (network)	1983 - Ongoing	The universities and research centres from the GRRT have also developed strong links with other institutes in transport research. The objective of these scientific associations is to associate very high skills from different technology centres to stimulate research. The network aims at helping industries to be more competitive through technological innovations.
Mov'eo - A competitiveness cluster ("pole de compétitivité") in automobile and public transport R&D with 350 members	2006 - Ongoing	With the aim of becoming a world reference competitiveness cluster in automobile and public transport R&D, Mov'eo forecasts developments in clean technologies, decarbonated vehicles and life cycle assessment. Its collaborative projects focus on seven Strategic Activity Domains: Environmental impact of vehicles, ICE Powertrains, Demonstrators and decarbonated vehicles, Mechatronic Systems for vehicle electrification, Reversible and embedded energy storage systems & interfaces, Road safety, Mobility solutions.
VeDeCoM "Véhicule Décarboné et Communicant et de sa Mobilité" - Institute for the energy transition	2012 - Ongoing	The aim of VeDeCoM is to foster research and innovation on pre-competitive and pre-normative topics in a public-private partnership along three domains : 1) new electric vehicle powertrains, 2) driving delegation, and autonomous and connected vehicles, 3) shared mobility and energy based on new usages and innovative infrastructures and services. VeDeCoM involves more than 40 industrial and academic members. It is supported by Mov'eo, and by community organisations located South West of Paris. (Institut VeDeCoM 2013).

### III. United Kingdom

#### ***Main public actors***

<b>Public actors</b>	<b>Contact details</b>	<b>More information*</b>
National Contact Point	Mr. Cliff Funnell Cliff Funnell Associates Sustainable Surface Transport (Land, rail, waterbourne) 70 Downview Road PO22 0EE Barnham +44-870-1910117 transrtd@fp7uk.co.uk	
National Contact Point	Ms. MCKENZIE Finella Government Contractor 11 Park Road, Rottingdean BN2 7HL Brighton +44-1273-390512 Finella.McKenzie@virgin.net	
Technology Strategy Board (TSB)		<i>Low Carbon Vehicles Innovation Platform</i>
Automotive Council UK		<i>“UK Sourcing Roadmap”</i>
Department for Transport (DfT) Business Plan		<i>Business Plan</i>
BIS, the Department of Energy and Climate Change (DECC) and the Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra)		<i>Roadmap to a Green Economy</i>

Sources: (IA-HEV 2012)

\* *Current research profiles, time spent on EV topics, independence and economic ties, affiliations, institutions and organizations (size), additional information*

**Low Carbon Vehicles Innovation Platform (IA-HEV 2012):**

- Managed by the Technology Strategy Board (TSB), a non-departmental entity of the UK Government
- The Integrated Delivery Programme (IDP) is a key program in which government has provided £120 million in funds (matched by industry) to support low carbon vehicle technology development by public-private R&D collaborations
- The Ultra Low Carbon Vehicle (ULCV) Demonstrator has more than 300 vehicles on UK roads with tailpipe emissions below 50 g CO<sub>2</sub>/km as well as 201 all-electric and low-carbon vans in 21 fleets being trialled

**Automotive Council UK and the “UK Sourcing Roadmap” (IA-HEV 2012):**

- Automotive Council UK was formed in 2009 to promote UK manufacturers, strengthen the supply chain, and position the UK as a leader in low carbon automotive technologies
- Co-chaired by Vince Cable, Secretary of State for Business, Innovation and Skills (BIS), and Richard Parry-Jones, former CTO of Ford Motor Company
- In March 2011, issued a report, Growing the Automotive Supply Chain: The Road Forward, identifying growth opportunities for the UK automotive supply chain, which were then put into a “UK sourcing roadmap”
- UK suppliers are expected to improve their positioning as it develops strength in low carbon powertrain architectures

**Department for Transport (DfT) Business Plan (IA-HEV 2012):**

- Entails a commitment to review and consolidate existing support mechanisms for low and ultra-low emission vehicle research and development projects approved thus far, completed in 2011.
- Includes a workshop with industry leaders from across the automotive supply chain to identify the industry’s priorities for R&D and their preferred delivery mechanism for Government support.

**Roadmap to a Green Economy (IA-HEV 2012):**

- BIS, the Department of Energy and Climate Change (DECC) and the Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) collaborated on a new Roadmap to the Green Economy during 2011
- OLEV staff are working closely with the BIS Automotive Unit to develop the case study demonstrating what industry and government are doing to enable the automotive sector to be a key element of a future green economy

**List of current national transport research programs**

---

The Transport Research & Innovation Portal (TRIP) gives an overview of past and current research activities at European and national level. Listed below are currently relevant and ongoing research program in the UK.

Name	Duration	Strategic Objectives
DfT Road Safety -	1998 - Ongoing	Research is concerned with meeting the UK's



<p>Department for Transport: Road Safety Research Programme</p>		<p>road casualty reduction targets. In order to meet this primary objective, research is commissioned:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• To analyse and understand the factors which contribute to accident causation;</li> <li>• To develop and evaluate measures to reduce the number of accidents and casualty severity;</li> <li>• To monitor the effects of road safety policy.</li> </ul>
<p>DfT Freight Logistics - Department for Transport - Freight Logistics</p>	<p>2001 - Ongoing</p>	<p>Within the framework given above, outcomes from the research programme include:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• evidence based logistics policy development,</li> <li>• increased capacity in logistics research to drive industry innovation,</li> <li>• key performance indicators (KPIs) embedded in key industrial sectors, and</li> <li>• a value for money freight logistics research program.</li> </ul>
<p>EPSRC - The Engineering and Physical Sciences Research Council (various projects)</p>	<p>1994 - Ongoing</p>	<p>Within its wider remit, EPSRC encourages research into all aspects of transport operations and management, including improving transport flow across all modes, scheduling, control and modelling, transport telematics, minimising energy usage and environmental impacts (monitoring and minimisation). Freight logistics falls within the transport agenda. The main themes in rail research include: rail as an important component of an integrated multi-modal transport system; rail engineering encompassing all aspects of the rail system including traction and rolling stock, infrastructure, signalling and control, and operations; and the rail industry as a network, including management, organisation and supply chains, and the inter-operability of the component parts of the rail sector. As well as all forms of land transport, aviation research (e.g., interface with land transport, airports, flight patterns, aircraft operations, reliability and scheduling) is relevant here.</p>
<p>ESRC - Economic and Social Re-</p>	<p>1965 - Ongoing</p>	<p>The four core strategic objectives are:</p>

search Council		<ul style="list-style-type: none"> <li>• to focus social science research on scientific and national priorities</li> <li>• to enhance the capacity for the highest quality in social science research</li> <li>• to increase the impact of ESRC's research on policy and practice</li> <li>• to deliver ESRC's activities effectively and efficiently.</li> </ul>
Scottish Government (Transport) (various projects)	2006 - Ongoing	<p>Current objectives are:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• To ensure better transport links with faster and more reliable journey times and improved connections to help build and sustain economic growth.</li> <li>• Improve the quality, accessibility and affordability of public transport to provide access to essential services and economic opportunities.</li> <li>• Provide support for transport services to communities in less accessible or remote parts of Scotland to enable them to share in Scotland's economic prosperity.</li> <li>• Reduce accidents by promoting road safety and driver awareness.</li> <li>• Tackle the issues of climate change, healthy living and air quality by promoting public transport and encouraging individuals to shift from the private car to more sustainable, healthy and active forms of transport.</li> <li>• Supporting the freight industry to reduce emissions by taking freight off road; encouraging the adoption of new low carbon technologies, cleaner vehicles and alternative fuels.</li> </ul>
DfT Cleaner Fuels and Vehicles - Department for Transport - Cleaner Fuels and Vehicles	1999 - Ongoing	<p>The principal objectives are as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• To inform on Ministerial decisions;</li> <li>• To guide the execution of policy;</li> <li>• To address issues on which Ministers may</li> </ul>

		<p>need to take decisions in the future;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• To monitor the achievement of policy goals; and</li> <li>• To improve information disseminated by the Government.</li> </ul>
Cenex	2005 - Ongoing	<p>The key objectives of Cenex are:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• to map current and emerging technologies in the low carbon and fuel cell markets and identify and communicate those which may influence the future direction of the industry;</li> <li>• to mobilise or otherwise construct an effective UK supply chain by coordinating the activities of academia, component suppliers, assemblers, vehicle manufacturers and other intermediaries;</li> <li>• to be a flagship organisation for the promotion of UK activities on low carbon and fuel cell technologies and to act as the focus for projects requiring international cooperation;</li> <li>• to influence the creation and deployment of fleet-scale demonstrators in the UK passenger vehicle, public transport and commercial vehicle sectors;</li> <li>• to facilitate affordable market entry strategies for low carbon and fuel cell technologies by direct intervention with public and private sector procurement bodies.</li> </ul>
Communities and Local Government (various projects)	2006 - Ongoing	<p>The aim of the CLG's research programmes is to collect evidence to improve understanding of the requirements of different social groups, and to support the development of policies and programmes that cater to their needs.</p>
innovITS	2005 - Ongoing	<p>The objective of innovITS is to seek out inventive transport telematics technology which can be integrated on a realistic scale, and to validate that it delivers value to road users and transport operators. It aims to act as a catalyst for subsequent deployment and commercial exploitation.</p>

#### IV. Norway

##### **Main public actors**

<b>Public actors</b>	<b>Contact details</b>	<b>More information*</b>
Research Council of Norway (RCN)	ENERGIX project	<a href="http://www.forskningsradet.no/energix">www.forskningsradet.no/energix</a>

\* *Current research profiles, time spent on EV topics, independence and economic ties, affiliations, institutions and organizations (size), additional information*

##### **List of current national transport research programs**

The Transport Research & Innovation Portal (TRIP) gives an overview of past and current research activities at European and national level. Listed below are currently relevant and ongoing research program in Norway.

<b>Name</b>	<b>Duration</b>	<b>Strategic Objectives</b>
POT - Programme for Strategic Transport Research	2001 - Ongoing	The POT programme finances projects which are relevant for the national planning process within the national administration and the political process. An important aim is to improve the basis for ranking projects, describing impacts, analysis of cost-benefit etc. Also the platform for political decisions will thereby be improved.
SMARTRANS - Intelligent Freight Transport	2007 - 2014	<p>The primary objective of this programme is to support the development of more efficient and sustainable transport solutions.</p> <p>The programme's secondary objectives are to:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• reduce distance and time costs for trade and industry;</li> <li>• increase the use of sea and rail transport and multimodal transport;</li> <li>• encourage the use of smarter transport solutions that promote safe, environmentally-friendly and efficient transport.</li> </ul> <p>Project activities under the programme should seek to:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• significantly expand the knowledge base on goods transportation;</li> <li>• increase awareness of alternative transport modes;</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>draw attention to environmental impacts and place priority on solutions that offer both improved efficiency and environmental gains.</li> </ul>
Vegvesen/NPRA - Norwegian Public Roads Administration (various projects)	2006 - Ongoing	<p>Research and development activities aim to contribute to the development and maintenance of a safe, eco-friendly and efficient transport system. This means that R&amp;D activities must be focused both on doing the right things and on doing these things right. Research and development activities are to develop and secure the agency's specialist knowledge and skills and ensure that decisions are taken on the basis of professionalism, skill and knowledge.</p> <p>The results of research and development activities provide the basis for revision of standards and guidelines and will, as such, benefit the entire transport sector. Research and development at the Norwegian Public Roads Administration makes a major contribution to the development and administration of its sector responsibility.</p>
TRANSNOVA – TRANSNOVA (various projects)	2009 - Ongoing	<p>The objective of Transnova is to develop policy instruments and measures to reduce greenhouse gases and other environmental pollution caused by the transport sector. Main topics are new approaches to organise transport (e.g. car sharing, electric bikes, electric taxis) and new charging concepts. Transnova supports demonstration and pilot projects and conducts information activities. All modes are supported. Transnova operates under the Department of Transport for climate efficient mobility</p>

## V. Italy

Various entities in Italy conducting research into electric-drive and fuel cell vehicles include academia, research organizations, component and vehicle manufacturers and assemblers, electric utilities, and large fleet users. Among others, relevant research activities are carried out by ENEA, various universities (e.g., Bologna, Camerino, Genoa, Milan, Rome, Turin, and others), and industry (e.g., FIAT, IVECO, Ansaldo Electric Drives, Breda Menarini, Piaggio, Eldor, Micro-vett, FIAMM, FAAM, Magneti Marelli, and STMicroelectronics) (IA-HEC 2012).

**Main public actors**

Public actors	Contact details	More information*
National Contact Point	Ms. TEGAS Valentina APRE - Agenzia per la Promozione della Ricerca Europea Via Cavour no. 71 00144 Roma +39-06-48939993 <a href="mailto:tegas@apre.it">tegas@apre.it</a>	
National Contact Point	Ministry of Education, University and Research  Mr . Dr. Antonio Agostini - MIUR	
ENEA (Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development.)		<a href="http://www.enea.it">http://www.enea.it</a>
National Council of Research (CNR)		<a href="http://www.cnr.it">http://www.cnr.it</a>

\* *Current research profiles, time spent on EV topics, independence and economic ties, affiliations, institutions and organizations (size), additional information*

**National Research Programs**

The national research programs and projects with a major focus on EVs and HEV technologies and applications continue, while fuel cell vehicle research and demonstration (R&D) activity has been substantially reduced. EV and HEV research and R&D activities also remained part of some national programs which only partially address EVs and HEVs. The programs INDUSTRY 2015 and “Research for the Electrical System” include some activity on electric mobility. There has also been an effort to develop a national roadmap for research and development needs for electrical mobility (IA-HEC 2012).

**EU related Research Programs**

Italy remains strongly involved in EU-level research projects on EVs, HEVs, and fuel cell vehicles (FCVs). Many Italian research organizations and industries have been involved in such European projects dealing with research and demonstration of these electrically-propelled vehicles and related technologies: HCV, HELIOS, Hi-CEPS, Zero Regio, and many others (IA-HEC 2012).

The EU Framework Program 7 (FP7) has concentrated on various EV and HEV-related activities, including the evaluation of the impact on the electricity grid. A specific public-private partnership named “Green Cars” has been assisting short- and longer-term research activities at the EU level on electrically propelled vehicles (IA-HEC 2012).

### **List of current national transport research programs**

The Transport Research & Innovation Portal (TRIP) gives an overview of past and current research activities at European and national level. Listed below are currently relevant and ongoing research program in Italy.

Name	Duration	Strategic Objectives
Industria 2015 - Bill (22-09-2006) for the competitiveness and revamping of the industrial policy	2008 - Ongoing	<p>The general objective of Industria 2015 is to help the Italian economy to emerge from the recession by defining strategic lines for the development and competitiveness of the Italian manufacturing system on the basis of an analysis of future economic and production scenarios in the medium and long term (up to 2015).</p> <p>In particular it aims to centralise the role of industry in the context of a new attitude towards the real economy, which combines traditional manufacturing production with the development of new services and technologies, exploiting the synergies between manufacturing companies, service companies, and industrial research.</p> <p>Two specific objectives of Industria 2015 are:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• to develop industrial activities in the field of high technology;</li> <li>• to upgrade and strengthen small and medium-sized enterprises (SMEs) through research and technical development, reduction of costs, promotion of investments, and increases in size.</li> </ul>
RT - Transport Research	2002 - Ongoing	<p>The main objective of the portal Ricerche Trasporti (RT) is to include in a unique “place” data, information, theoretical and empirical results relating to transport policy. RT collects national and international contributions on various thematic areas including regulation and competition of sustainable transport, local public transport, logistics, road safety, economic assessment. The users of RT are mainly public institutions, research centres, univer-</p>

		sities, managers of services and infrastructures, companies providing and using transport services, consultancy companies.
--	--	--

## VI. Poland

### **Main public actors**

<b>Public actors</b>	<b>Contact details</b>	<b>More information*</b>
National Contact Point	Mr. TUREK Zbigniew  The Institute of Fundamental Technological Research PAS  Swietokrzyska 21 str.  00-049 Warsaw  +48-22-828-7483  zbigniew.turek@kpk.gov.pl	

\* *Current research profiles, time spent on EV topics, independence and economic ties, affiliations, institutions and organizations (size), additional information*

### **Key national initiative: Klaster Green Car**

The initiative of Klaster Green Cars is a cluster of companies, organizations and individuals who attempt to oppose this dangerous global trends, climate change and dwindling natural resources. The most important task we recognize as soon as possible to become independent of oil civilization.

The goal of Green Cars is a mild end of the age of oil dependence. The stages of the Green Cars put firmly on the changing energy awareness and education communities to shift our technical civilization on energy-efficient electric appliances and vehicles, and distributed energy generation from renewable sources, energy independence, forming the base of the local communities.

Klaster members are convinced that part of the initiating process in Poland's energy independence is to create a market for electric cars along with the parallel development of smart grids, renewable energy sources. Electricity is now able to eliminate the oil for the benefit of users, the environment and future generations. Technologies are now available and we deal with them and gaining promotion and implementation of innovative solutions.

Klaster Green Cars is an initiative of companies and individuals involved in technologies for xEVs and renewable energy. The program's activities is contained in the "Klaster Development Strategy."

[http://www.gc.greenpl.org/en/about\\_us](http://www.gc.greenpl.org/en/about_us)



**List of current national transport research programs**

The Transport Research & Innovation Portal (TRIP) gives an overview of past and current research activities at European and national level. Listed below are currently relevant and ongoing research program in Poland.

Name	Duration	Strategic Objectives
Operational Programme Infrastructure and Environment 2007-2013	2007 - 2013	<p>The programme aims at the improvement of Poland and its regions regarding investment attractiveness through the development of technical infrastructure while at the same time protecting and improving the condition of environment, health, maintaining cultural identity and developing territorial cohesion. In accordance with National Strategic Reference Framework (NRSF) approved by the European Commission on 7 May 2007, the programme constitutes one of the operational programmes that are the basic tool to achieve goals set in them using the financial means from Cohesion Fund and European Regional Development Fund. Operational Programme Infrastructure and Environment is also an important instrument of implementing the Lisbon Strategy, and the expenditures for EU priority objectives amount to 67.89 % of all expenditures from EU funds within the framework of the programme.</p>
Polska2020 - National Foresight Programme – Poland 2020	2006 - 2020	<p>The aim of the National Foresight Programme 'Poland 2020' is to:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lay out the development vision of Poland until year 2020.</li> <li>• Set out – through a consensus with the main beneficiaries – the priority paths of scientific research and development which will, in the long run, have an impact on the acceleration of the social and economic growth.</li> <li>• Put the research results into practice and create preferences for them when it comes to allotting funds from the budget.</li> <li>• Present the significance of scientific research to economic growth and how it can</li> </ul>

		<p>be absorbed by the economy.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adjust the Polish scientific policy to the requirements of the European Union.</li> <li>• Shape the scientific and innovative policy towards Knowledge-Based Economy.</li> </ul> <p>Implementation of the National Foresight Programme in Poland should bring about the following effects:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Focusing of the development of research and technologies on fields guaranteeing fast economic growth in the medium and long run.</li> <li>• Rationalisation of expenditures from publicly available funds.</li> <li>• Creation of a public debate language and culture of thinking about the future, leading to coordination of joint efforts towards economic growth and improvement of the quality of life in Poland.</li> </ul>
--	--	--

### 3.2.2 Research Funding

On EU level, the formation of the green car initiative was an essential part of the research funding in the area of electric mobility. The initiative had a budget of 0.5 billion Euro of public funds for research provided by the European Commission. This sum has been extended with the same amount of contributions from the industry. Within the initiative, several Public-Private-Partnerships were founded in the fields of car manufacturing and construction. From 2009 to 2013 roughly 80 research projects have been funded under the green car initiative, receiving a funding of around 421 million Euro (European Commission 2013b).

In addition to direct funding, seven to eight billion Euro have been made available as low cost loans for the industry: The European Investment Bank provides guarantees for conventional banks so that they can give loans to manufactures. These loans are limited to activities that focus on cleaner/efficient vehicles, thus having the same target as the research projects. Before the green cars initiative the European Investment Bank funding was mainly for conventional engines. For example Nissan received 250 million to build a new factory (European Commission 2013c).

Concerning the relationship between the European Commission research funds and the national funds, the EU ideally funds all research but the one at the competitive stage, while national funding can also include competitive level research.

In reality, often similar research areas are covered by European Commission funding and national funding. Additionally, partners apply for European Commission funding for instance if key competencies are located in other states. Finally, some member states nowadays align their strategy to the European level strategy. For example Spain has also launched a green car group (European Commission 2013c).

## I. France

### **Funding institutions**

---

Key actors	Details
Government	<p><i>In 2009 the French government dedicated €120 million for research, development, and demonstration (RD&amp;D) projects on low-carbon vehicles and charging infrastructure over 2008–2012. There is a long-term vision for the electrification of transportation supported by the French clean energy supply that can satisfy more than 80% of electricity needs through nuclear generation (IA-HEV 2012).</i></p> <p><i>The emphasis is on State programs that foster research and development (R&amp;D) in the EV sector. The government showcases certain counties where the State has funded infrastructure for EV charging. The Renault-Nissan Alliance and the utility Electricité de France (EDF) are currently field-testing 100 battery-powered vehicles and related infrastructure (IA-HEV 2012).</i></p> <p><i>Additionally, the ‘Automobile Pact’ released in February 2009 foresees a EUR 250 million loan for the industrialisation of decarbonised vehicles. The plan, costing upwards of €7 billion, was established to provide loans to struggling vehicle and equipment manufacturers and sub-contractors, as well as subsidized loans to promote innovation in the clean vehicle industry (IFA 2014).</i></p> <p><i>The ‘Grand Emprunt’, announced in December 2009 and set into action 2010, foresees € 750 million for the development of decarbonised vehicles. This “grand loan”-programme was taken out by the France government to invest a total of € 35 billion in universities and promising research fields like renewable energy and digital economy (The Telegraph 2009).</i></p> <p><i>The funding will be invested in several research and deployment projects under the patronage of the French Environment and Energy Agency (ADEME). Specific fund-</i></p>

---

*ing has also been made available for the construction and development of a battery production. Renault, in collaboration with Nissan and the French Atomic Energy and Alternative Energies Commission (CEA), is currently building a factory outside Paris with an annual production capacity of 100,000 to 350,000 EV batteries. The eco-conception of batteries and their recycling are research priorities. (Business Wire 2013, City, Mobility & Transport Laboratory 2013).*

---

Saft. Automotive manufacturers

*Lithium-based batteries: There are also broader R&D programs specifically for lithium-based battery technology. Saft leads France's lithium-ion patent landscape. Automotive manufacturers, such as Renault, are involved in several partnerships with other battery makers and are in the process of developing new technology (IA-HEV 2012).*

*French companies and research institutions have 273 patents in lithium-ion batteries. While 42 patents are assigned to Saft, 40% of the French patents in this space are assigned to research institutions (Centre National de la Recherche Scientifique has 49 patents; Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives has 22; Centre National d'Etudes Spatiales has 15). Alcatel-Lucent, a leader in fixed, mobile, and converged broadband networking, is also a significant patent holder with a total of 42 patents assigned (IA-HEV 2012).*

---

*Joint venture formed by Renault and the French Atomic Energy Commission*

*Secondary markets for batteries come into existence through recycling or reuse is also being conducted. Additionally, a joint venture formed by Renault and the French Atomic Energy Commission will address advanced research, manufacturing, and recycling of electric vehicle batteries (IA-HEV 2012).*

---

## II. United Kingdom

### *Funding institutions*

<b>Key actors</b>	<b>Details</b>
Technology Strategy Board (TSB), a non-departmental entity of the UK Government	<i>Low Carbon Vehicles Innovation Platform: Research relating to PHEVs, EVs, and fuel cell vehicles (IA-HEV 2012)</i>
Government	<i>The Integrated Delivery Programme (IDP) is a key program in which government has provided £120 million in funds (matched by industry) to support low carbon vehicle technology development by public-private R&amp;D collaborations</i>
The Automotive Council UK	<p><i>The Automotive Council UK was established in December 2009 as a key recommendation of the industry-led New Automotive Innovation and Growth Team (NAIGT) in response to a UK government request to industry to take the automotive sector forward and ensure its strength and contribution to the UK economy and employment (IA-HEV 2012).</i></p> <p><i>The Automotive Council, along with its Technology and Supply Chain Working Groups, are working to create a transformed business environment for the automotive industry in the UK, to provide a more compelling investment proposition for related industries.</i></p> <p><i>A technology roadmap for low and ultra-low carbon vehicles and fuels was developed through the Automotive Council and unanimously agreed to by the UK automotive industry. This has been produced concurrent with a review of the automotive technologies in which the UK has an established expertise, including high-tech internal combustion engines, energy storage and management, lightweight vehicles and powertrains, electric machines, low-cost power electronics, and intelligent transportation systems (IA-HEV 2012).</i></p> <p><i>Many of the areas of identified UK expertise cross-cut both the low and ultra-low carbon sectors, and are driven by the strong automotive heritage. The industry is working hard to develop and consolidate the UK capabilities in these technologies to encourage the formation of a flourishing early market for ultra-low carbon vehicles, while working hard to develop a stronger and more competitive automotive</i></p>

*supply chain (IA-HEV 2012).*

### III. Norway

#### **Funding institutions**

<b>Key actors</b>	<b>Details</b>
Research Council of Norway (RCN)	RCN is the government's strategic and advisory body on R&D. It has a key role in financing and following up R&D as well as giving policy advice to the government. The RCN distributes about 30% of public R&D spending
The Ministry of Education and Research is responsible for basic research and co-ordination of the government's general R&D policies.	Norway has two major national strategies for energy RD&D: OG21 and ENERGI 21. These strategies are mainly implemented through five programmes: RENERGI, PETROMAKS, CLIMIT, DEMO 2000 and Centres for Environment-Friendly Energy Research (CEERs)
Ministry of Petroleum and Energy (MPE) is in charge of Norway's policy for petroleum and energy R&D	OG21: The "Oil and Gas in the 21st Century" strategy was established on the initiative of the MPE in 2001

### IV. Italy

#### **Funding institutions**

<b>Key actors</b>	<b>Details</b>
100 stakeholders (industries, research organizations, and academia)	<i>A National Platform for the Electric Mobility was started in 2010 with the participation of about 100 stakeholders (industries, research organizations, and academia) with the scope of elaborating a strategy and long-term actions. The Italian Electrified Mobility Platform aims to proactively define the innovation needs for effective urban mobility, to help Italian industry provide new products and national infrastructures, and to coordinate European national efforts. The plan would be implemented over the next 5 to 10 years (IA-HEC 2012).</i>
<i>Industria 2015</i>	<i>INDUSTRY 2015 project in sustainable mobility] The INDUSTRY 2015 project launched in 2008 to fund industrial innovations and reached fully operational status in 2010. At the end of 2010, 29 projects involving a variety of tech-</i>

nologies in the transport sector were finally approved and granted with a total budget in excess of €450 million, of which about €180 million came from public funding. The topics of individual three-year projects include the electrification of vehicles of different sizes, ranging from 2-wheeled vehicles up to public transport buses (IA-HEC 2012).

*IVECO (LIVE project)*

The LIVE project is coordinated by IVECO, one of the largest European manufacturers of heavy-duty vehicles and commercial vans. The project involves the development of light-duty transport vehicles with different drivetrains, including one with a hybrid configuration. The total budget is close to €31 million (IA-HEC 2012).

*Piaggio (MUSS project)*

The MUSS project, coordinated by Piaggio, one of the leading manufacturers of scooters and motorbikes, aims at clean and safe small vehicles, also using electric and hybrid drivetrains. The total budget is close to €21 million (IA-HEC 2012).

*Breda Menarini (ZEROFILO-BUS project)*

ZEROFILOBUS project: This project, coordinated by Breda Menarini, aims at developing and validating an innovative approach to public buses, integrating them into a complete transport system. Electric buses are charged at stations during each temporary stop using fast storage systems (supercapacitors or high-power batteries). The total budget is close to €12 million (IA-HEC 2012).

**V. Poland**

***Funding institutions***

**Key actors**

National Programme for Scientific Research and Development Activities (KPBNI PR) (Oct 2008)

**Details**

Defines priority research areas for 5 to 10 years and strategic R&D programmes for 3 to 5 years. “Energy and Infrastructure” is one of the five priority areas in this programme. It is the first time the government clearly identified energy as a strategic direction of its R&D policy.

### **3.2.3 Stakeholder opinions on the R&D landscape**

#### **Research strategy**

The interviewed experts from the UK and from France assess the research strategies of the two countries as widely diversified. The targets of the strategy are supporting the competitiveness of the domestic industry. Since the automotive industry in the UK is not very strong, a focus lies on strengthening engineering skills in niches.

Experts from the automotive industry underline that the future of electric mobility is still very insecure, thus it is reasonable for OEMs to diversify the research and development efforts.

As relevant R&D issues, the expert mentions system integration, or inductive charging. An expert from the EC regards batteries, charging infrastructure communication and business models and grid integration of EVs as relevant fields of research.

Several experts argue that Europe needs to catch up in the field of battery development with Japan, especially in battery chemistry and cells. R&D funding is one way that could help to close this gap – by focusing on the next generation batteries, since the current generation is “lost to Japan”. An EC Expert also sees a R&D gap of Europe compared to Japan in the field of the whole vehicle. He sees the reason for this in the fact that Japanese companies took more risks – whereas the early research on Li-ion batteries was conducted in Europe and the US.

An industry expert argues that the German decision to invest in R&D is an example of industry policy to support local companies to enable them to catch up with market leaders worldwide.

For the research strategy of the EU, a DG Research Expert mentions the Green Car Initiative as an important platform for knowledge sharing. It receives funding from different DGs, aligns research topics with the EU road maps and expert opinions and disseminate results among industry.

#### **Research on vehicle technology and vehicle components**

In the EU-funded projects of the Green Vehicle Initiative, important contents are vehicle concepts, battery systems, electric motors, auxiliaries with reduced energy consumption, or inductive charging; the focus is on battery research. Most of the projects are in the area of non-competitive research, and direct follow-up projects are seldom as often the next step could be competitive. For the upcoming EU-funded research phase, the expert states that basically the same research areas will be covered. In the upcoming horizon 2020 programme, there is a relevant focus on battery research – a strategically highly relevant field, as several experts state. An EC expert sees an attempt to have closer to product projects focussing on SME in Horizon 2020. The green vehicle initiative will widen its scope to other alternative fuels, e.g. CNG.

An expert from the United Kingdom gave some deeper insights into current research projects conducted by local companies. He stated that the United Kingdom is present in the research on energy distribution networks in e-mobility and integration. Additionally, the focus lies on battery technology, energy management, wireless charging – including the future develop-



ment of inductive loop technologies for Inductive loop charging in the UK (TRL 2014): Operated by wireless technology firm Qualcomm, the so called Halo Wireless Electric Vehicle Charging trial involves the use of the company's induction charging system, which eliminates the need for a physical connection between the car and the power source. By creating a magnetic field, using an induction loop in a pad installed in the floor, electric current can be sent to an opposing pad connected to the vehicle's battery. The system is claimed to be not slower and only marginally less efficient than a physical connection. The technology has already been used for smartphones and electric toothbrushes, as well as on a number of prototype cars, including a Rolls-Royce Phantom EE. One highlight of the induction project is the plan to develop dynamic on road charging to limit the issue of range anxiety. Qualcomm's aim is to introduce this so called dynamic charging, in which the induction circuits are built into stretches of road, allowing for charging while moving, without the need for a physical connection (TRL 2014 and Autocar 2012).

In the United Kingdom, another highlight and a UK-specific project is the development of a hybrid gas engine by Jaguar Land Rover with the long-term plan to turn it into a market ready product. More precisely, Jaguar Land Rover is co-developing a micro gas turbine to charge batteries in hybrid cars. This system is called the "Ultra Lightweight Range Extender", and is being worked on by a consortium of companies with backing of the government (TRL 2014 and Autocar 2010).

In France, an expert sees ongoing research in all relevant fields of technology and especially mentions studies on the integration of xEVs in mobility systems according to local characteristics, the evaluation of market potentials and diffusion models.

An expert from IA-HEV describes batteries as the most relevant research topic in the group, with the aspects energy density, raw material demands and resources, battery lifecycles and second-use models. Apart from that, relevant issues are smart-grid integration of EVs or electricity generation.

### **3.3 Economy and industry**

#### **3.3.1 Actors**

##### **I. France**

In addition to the 14-point State "Electric Vehicles" plan, France is starting a whole new industry beginning with vehicle batteries (IA-HEV 2012). One of today's challenges is to ensure industry transitions to provide new mobility services. France is developing the EV industry by focusing on all the pieces of the puzzle: energy research, battery production, adequate battery range, optimal energy consumption, charging points, local government investment, EV models, and finally, road and grid infrastructure (IA-HEV 2012).

The French auto industry began offering BEVs for sale in 2011. Changes in vehicle use make electric cars ideal for the majority of trips, with 87% of Europeans currently driving less

than 60 km a day (IA-HEV 2012). As of December 2010, the total French fleet comprised 39.000.000 vehicles of which there were approximately 44.000 xEVs (IA-HEV 2012).

### **Business actors**

<b>Actors</b>	<b>Details*</b>
PSA Peugeot, Citroën, and Renault	<p><i>Progress is afoot: car manufacturers PSA Peugeot, Citroën, and Renault have pledged to produce and deliver 70.000 PEVs by 2015, while a group of companies including Electricite de France, SNCF, Air France, France Télécom, and La Poste have committed to an initial purchase order of 50.000 PEVs (IA-HEV 2012).</i></p>
Renault-Nissan	<p><i>The Renault-Nissan Alliance is developing a complete range of 100% electric powertrains, with power ratings of between 15kW (20hp) and 100kW (140hp). Additionally, the battery production plant in Flins which Renault, the CEA, and Nissan-NEC are launching is expected to support Renault's BEV Zoe in 2012 (IA-HEV 2012).</i></p> <p><i>Renault aims to become the first full-range car manufacturer to market zero-emission vehicles in use, available to the greatest number. Electric cars emit no CO<sub>2</sub> in use. The Renault-Nissan Alliance is developing a complete range of 100% electric powertrains with power ratings of between 15kW (20hp) and 100kW (140hp) (IA-HEV 2012).</i></p> <p><i>Automotive manufacturers Renault, PSA, and Bolloré have launched their first BEVs and their first rechargeable HEVs by the end of 2012. Spurred on by this bustle of activity BMW has chosen France as a platform for trials of its new electric Mini (IA-HEV 2012).</i></p> <p><i>Renault, the CEA (French Atomic Energy and Alternative Energies Commission), and Nissan are currently building a factory in Flins, 45 km outside of Paris, with the capacity to produce 100.000 to 350.000 batteries annually. French firm Saft, a world leader in production of high-tech batteries, began production in 2009 at its French factory in Nersac (Poitou-Charentes). Saft has been providing power supplies for foreign automakers that produce vehicles such as the Mercedes S-Class hybrid and the BMW 7 Series ActiveHybrid (IA-HEV 2012).</i></p> <p><i>Car manufacturers PSA Peugeot, Citroën, and Renault have pledged to produce and deliver 70.000 plug-in electric vehicles (PEV) by 2015 (IA-HEV 2012).</i></p>

Peugeot, and other manufacturers	<i>Along with Renault, Tesla, Peugeot, and other manufacturers are offering EVs to the French public in 2011 (IA-HEV 2012).</i>
Others	<i>Development of a BEV product range: Equipment manufacturers Valeo, Michelin, Leroy Somer, GKN, Johnson Controls-Saft, and Leoni joined forces in June 2009 in a consortium to develop an integrated product range of BEV (IA-HEV 2012).</i>
Autolib' (Bolloré)	<p><i>The car-sharing initiative Autolib' began their Paris operations in December 2011. Parisians who are members use small electric cars – for a small charge and for short trips – in a car-sharing plan. The four-seater cars, called “Blue-car”, are entirely electric. They have a top speed of 130km/h (80mph) and can travel 250 km on a single charge (IA-HEV 2012).</i></p> <p><i>Year-long subscriptions to Autolib' will cost 144 euros, while daily and weekly subscriptions will also be available for 10 and 15 euros respectively. An additional fee of around five euros will be charged for every half-hour of driving (IA-HEV 2012).</i></p> <p><i>The Bolloré Group, the family-owned industrial holdings company behind Autolib', plans to have 3'000 Bluecars circulating on the streets of Paris and its inner-ring suburbs by 2012 (IA-HEV 2012).</i></p> <p><i>The City of Paris has contributed 35 million euros to the plan by building rental stations. Suburban local authorities have also contributed € 50.000 for each station (IA-HEV 2012).</i></p> <p><i>Up to 1.200 multilingual “ambassadors” will answer customers' calls via video screens at parking stations as well as in the cars themselves (IA-HEV 2012).</i></p> <p><i>The Autolib' vehicles will be constantly tracked and monitored from the operational center, which will be staffed 24 hours a day (IA-HEV 2012).</i></p>

---

\* *Product portfolio, key competences, connections to EVs*

## **II. United Kingdom**

**Introduction.** More than 40 companies manufacture vehicles in the UK, ranging from global volume car makers and van, truck, and bus builders, to specialist niche players (IA-HEV 2012). The automotive industry represents 7% of manufacturing output and 5.3% of manu-

facturing employment in the UK. In 2012, 1.58 million vehicles were produced in the UK (OLEV 2013). The UK is home to the dedicated facilities of vehicle manufacturers, such as those at Ford's engineering centres at Dunton, Gaydon and Whitley, and Nissan's R&D centre at Cranfield. In addition, renowned names such as Lotus Engineering, MAHLE, MEL, Millbrook, MIRA, mi Technology, Perkins, Pi Technology, Prodrive, Ricardo, RLE, Roush, TRW Conekt, TWI and Zytec are also active in the UK. Many of these companies are also part of the supply chain for HEVs and BEVs (IA-HEV 2012). In 2013, the production of the Nissan Leaf started in Sunderland.

### III. Norway

**Introduction.** Some of the worldwide pioneers (i.e. Buddy Electric formerly EIBil Norge AS as well as Think Global AS) of e-cars are from Norway. However, Think Global AS run bankrupt and Buddy is selling only about 30 vehicles per year.<sup>45</sup>

### IV. Italy

**Introduction.** The automotive industry exceeds 5% of the national GDP. In Italy, there are about 3.500 enterprises in the automotive sector, employing about 1.2 million direct and indirect workers. The automotive industry invests more than 2 billion Euro in R&D per year (IA-HEV 2012).

In 2010, a periodic survey by the Italian Electric Road Vehicle Association (CIVES) confirmed that around 50 producers, assemblers, and importers in the country are able to manufacture or supply HEVs and EVs. The components industries have become more active with new commitments on advanced batteries and charging stations, while the producers of power electronics, complete electric and hybrid drivetrains, and electric motors are improving their products (IA-HEV 2012).

Large foreign companies such as Toyota, Honda, Renault, Daimler-Smart, and Peugeot are also bringing HEVs to the Italian market, while EVs will be sold after preliminary demonstration projects (IA-HEV 2012).

Most of these companies are small and medium enterprises. Italy also has larger companies which are developing EVs and fuel cell vehicles, including Fiat, Pininfarina, and battery company FIAMM. Heavy-duty vehicle manufacturers (Breda Menarini, Piaggio, Cacciamali, and IVECO) are introducing various innovations such as a hybrid drivetrain to increase energy efficiency and reduce emissions (IA-HEV 2012).

EVs and HEVs available for purchase in Italy cover the full spectrum of categories, including power-assisted bikes, scooters (with two, three, or four wheels), light- and heavy-duty pure electric and hybrid buses, and electric boats. Hundreds of EV and HEV models are now available on the market. Retail prices range from a few hundred euros for power-assisted bikes to hundreds of thousands of euros for hybrid buses. An EV still costs about two or three times more than a conventional vehicle while HEVs have much less of a price differential (IA-HEV 2012).

---

<sup>45</sup> Experteninterview TRANSNOVA

However, more recently electric utilities and the large car manufacturers have become interested in the business opportunities offered by EVs and HEVs. Therefore, there is increased need to better analyse the level of maturity of EV and HEV technology and to test in real-world conditions how well these vehicles can integrate into the transport system and electricity network. Both technical issues (charging mode, plug standards, safety aspects) and non-technical issues (business models for the charging service, tariffs to be applied, and the implied regulatory aspects) need to be tested (IA-HEV 2012).

## **V. Poland**

Prior to the Second World War, Poland had non-significant auto producing capacities. However, the People's Republic of Poland became the first Eastern European country outside the USSR, producing almost 400.000 of all kind of vehicles. Among the most popular brands at that time were: Polski FIAT, Polonez, Syrena, Tarpan, Yeltch and Sanos. Like in the Soviet Union and Yugoslavia, main automobile factories were provided by the Italian car producer FIAT, which also included car designs. After the collapse of communism in Central and Eastern Europe, Poland's automotive industry faced considerable pressure from international car manufacturers. In 2002, Polonez produced the last Polish car before closing down. Today, Poland's automotive industry is producing cars for European and Asian brands. Its output is estimated at more than 800.000 cars per year.

### **3.3.2 Vehicles, vehicle concepts, powertrain and transportation concepts**

Concerning the following activities, please check the details provided in the previous chapter 3.3.1:

- Main product lines: EVs (BEV, PHEV, REEV, HEV), vehicle concepts, future innovations, additional products;
- Main product lines: Actual production figures;
- Future product developments;
- Prospective new products;
- Prospective new products.

According to experts, products such as the Twizy by Renault, a small battery-powered two-seated electric vehicle, or the VÉLV by PSA, a heavy battery powered tricycle are the representatives of a new intermediate concept allocated between the classic automobile and the classic motor-powered two-wheeler (City, Mobility & Transport Laboratory 2013).

Regarding the Autolib' car-sharing project in Paris, experts announced that the Autolib' charging infrastructure is made available to private EV owners in cooperation with Renault (City, Mobility & Transport Laboratory 2013).

Experts from the car industry also announced the introduction of new EVs. For example Nissan will bring out additional EVs in different segments soon: Beside a car for the premium market via its brand Infinity in 2015/2016, a small car comparable to the Renault Zoe will be marketed in 2015. Additionally, Nissan entered the Van segment in 2014 with an electric version of the NV200, being produced near Barcelona, which will for example be used as a Taxi in the public transport system of the city of Barcelona (Nissan Europe 2013).

### **3.3.3 Vehicle technology and vehicle components**

Concerning the following activities, please check the details provided in the previous chapter 3.3.1:

- xEVs engines, batteries storage, power electronics, other technologies;
- Main product lines: Actual production figures;
- Future solution developments;
- Prospective new solutions;
- Cooperation / joint ventures: automotive sector, across sectors

We will pay attention in this chapter on in-wheel motors for xEVs. Locating the motor in or behind the wheel offers many advantages including easiness for four-wheel drive, a higher degree of freedom for interior design, the facilitated storage of battery packs in the vehicle, and a higher energy efficiency including optimal regenerative braking. One of the main disadvantages however is the higher exposure of electric in-wheel components to high acceleration and deceleration – up to 20 g when placed in-wheel vs. only 5 g when located within the vehicle body. First estimates for in-wheel electric motor concepts put the global market size at one million units by 2020 –meaning that they will be fitted on less than 10% of on-road xEVs made in that year. In addition to the Mitsubishi iMiEV car, in-wheel motors appear in the Fisker Karma, BMW Mini-E, Ford Hi-Pa Drive F-150, the AUTOnomy intelligent modular chassis being developed by GM, the Volvo Recharge concept hybrid, the Audi e-tron concept car and the Lotus Evora 414E concept car.

A closer look to France shows, that apart from the already mentioned thrive of the Renault-Nissan alliance, and the cooperation of Peugeot Citroën with Mitsubishi, the most important technological development in France is located at Michelin, where important research has been started approx. in 2005 on in-wheel electric motors.

Mitsubishi's iMiEV motors are constructed using an in-wheel motor rotor, an in-wheel motor stator, a rotor bracket, stator bracket and inverter directly behind the brakes. In France, Michelin has even incorporated suspension into an in wheel motor system. Volume sales are yet to be achieved, but it appeared in the Peugeot BB1.

### **3.3.4 Charging technology and infrastructure**

#### **I. EU perspective**

The European electricity industry believes that the charging process that takes place between xEVs and charge spots has to be coordinated, taking electricity grid and electricity generation capacities into account. Normal power charging, already available in domestic settings (home and work), should be the dominant charging method – not only due to the possibility of integrating RES into the existing electricity system, but also as a means of stabilising the grid through “smart”, i.e. controlled, charging processes. This will also minimise the costs for rolling out additional infrastructure and provide a user-friendly solution. Provided that xEVs are charged in a smart, controlled way, we see no reason to doubt that

the functioning of market forces will turn xEVs into a competitive transport technology. Over time, the market will signal which charging functionalities and facilities EV customers' desire and are willing to pay for.

However, generalising the situation across Europe might not be appropriate, as grid characteristics differ significantly among European countries. An overview of different European grid characteristics for the case studies is given in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** below.

Table 12. Grid characteristics for the case studies on France, UK, Norway, Italy and Poland

Typical Household connections		France	UK	Norway	Italy	Poland
Voltage	3 phase	400 V	400 V	n/a	n/a	400V
	1 phase	230 V	230 V	230 V	220-230 V	230V
At the connection point (main fuse at delivery point the electricity meter is often installed at the main fuses)	3 phase		x	x		n/a
	1 phase	x	n/a	n/a	x	n/a
	current per phase (fuse at origin of the installation where the service line is connected to the local distribution network)	60	80A	50 A	12–63 A	n/a
In the house	3 phase	n/a	n/a	n/a	n/a	0.45
	1 phase	x	x	x	x	0.55
	current per phase (fuse at origin of the installation where the service line is connected to the local distribution network)	10–16 A	10–32 Amps	10–16 A	12–16 A	1phase – 20A 3phase unlimited, but typical 25A
RCD installed	always	x 500 mA	new	x (since 1995)	n/a	x (since 1995)
	usually yes	x 30 mA	n/a	n/a	n/a	n/a
	usually no	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Voltage	3 phase	400 V	400 V	400 V (all new)	400 V	400 V
	1 phase	230 V	230 V	230 V	220 - 230 V	230 V
Line from station to household	3 phase	x	x	x	x	x
	1 phase	x	x	n/a	n/a	n/a
	current per phase	400 A	400 A	350 A	250 A	<100A rural (typical) / >200A urban (typical)
Type rating of the station	Power	1000 kvA	500 kVA	100–1600 kVA	250–400 kVA	<160kVA rural, 200-630kVA

						urban
	no. of households	180	150	10-250	80–120	35 rural, 150 urban

Source: EURELECTRIC 2011.

A European consortium (consisting of DNV KEMA, Fraunhofer ISE, EMD International, RAH and RFVV) has begun an EU funded project to develop modelling and simulation tools for optimally integrating EVs into electricity networks (NEMO 2013). The project, Novel E-Mobility Grid Model (NEMO) has been set up to support European grid operators and service providers in assessing the impact of EVs on the power grid, and to evaluate possible solutions such as grid extension or load management. The NEMO project will develop simulation and optimization tools to address both market-oriented and technical problems that may result from the predicted influx of EVs on the electricity grid, such as identifying grid constraints in the network or determining the optimal use of available electricity generators. Two case demonstrations will show the tools' applicability. The first case deals with power grid planning in terms of matching distributed generation and EV charging. The second case concentrates on fast charging scenarios.

The table below shows key figures with regard to the development of xEVs and charging points in the five case studies. Any interpretation of the data should be done carefully for the data quality may be dubious. Given that with regard to xEV we are still at the beginning of a trend that may accelerate in the coming years, data is currently scarce and lacking any kind of standardisation.

Table 13. Basic xEV and charging points figures for all the five case studies

	No. of passenger cars as of 2010	No. of xEVs, as of 2010/12	Market share target of xEV passenger car registration by 2020	xEV charging points as of 2011	xEV charging points target by 2020
<b>France</b>	31m	44'000	38%	1'600	97'000
<b>United Kingdom</b>	30m	80'000	11%	703	122'000
<b>Norway</b>	2m	3400	10%	3708	30'000
<b>Italy</b>	36m	1'200-10'000	6%	1350	125'000
<b>Poland</b>	16m	800	1%	27	46'000

Sources: Polk (2011), IA-HEV (2012), CleanVehicleEurope (2012) and COM (2013).

## II. France

Regarding infrastructure for electric mobility, environmental legislation has been adopted by the National Assembly. This legislation, Grenelle II, assigns responsibility for infrastructure construction to local and regional authorities, and requires charging points at new construction areas (IA-HEV 2012). Up to 2012, thirteen municipalities, among them Bordeaux, Nice, Paris, Rouen, Strasbourg, and Nancy, will deploy public battery recharging infrastructure. The government has also announced an investment plan to support public infrastructure. An estimated one million public and private battery-charging stations will be built by 2015 under



the plan (IA-HEV 2012). At the present stage there are pilot programs for PEVs and related infrastructure. The intent is for local communities to match or contribute funds for the infrastructure investment needed. The State is investigating options for how local authorities can contribute financing.

### Business actors.

Actors and Program	Details*
Legrand	Charging equipment supplier; business model: cheap and simple charging solutions (IFSTTAR 20104)
Schneider Electric	Charging equipment supplier; business model: more expensive, sophisticated charging solutions (IFSTTAR 2014)
EV Plug Alliance - Schneider Electric, Legrand, and Scame	The EV Plug Alliance created in March 2010 by Schneider Electric, Legrand, and Scame is working towards a standardized plug and socket solution.
Bolloré	Development of public charging infrastructure in Paris. The charging stations were initially installed for the Autolib electric car sharing, but are also open for private EV owners (IFSTTAR 2014).
DBT	Manufacturer of EV chargers; cooperation with Nissan for developing a European quick charging network (IFSTTAR 2014)

\* *charging technology (standardisation of charging voltage), charging stations (standardisation of the lay-out), other technologies, production figures, Future solution developments, Prospective new solutions, Cooperation / joint ventures: automotive sector, across sector.*

### III. United Kingdom

The majority of charging will happen at home or “back at base”, with further charging opportunities provided at key locations. The majority of public recharging infrastructure will be provided through the Plugged-In Places initiative, which will provide key Information such as how consumers use infrastructure and the impact of plug-in vehicles on the grid. Commercial business models for public charging will begin to emerge, supported by forward-thinking enterprise and local initiatives (IA-HEC 2012). British Gas and Charge Master are providing home charging facilities. Due to the governmental programme, home charging facilities are provided for free till 2015. Charge Master operates a public charging network in the UK (call POLAR) (TRL, 2014).

### Business actors.

Actors and Program	Details*
--------------------	----------

Plugged-In Places initiative	<p>The Plugged-In Places (PIP) initiative is creating a charging infrastructure in eight key British cities or hubs to spur the development and consumer uptake of ultra-low carbon vehicles. As of December 2011, the eight hubs are located in London, Milton Keynes, the Northeast region, Northern Ireland, Central Scotland, Greater Manchester, the Midlands, and the East of England. Approximately £8 million is allocated for the installation of more than 9,700 charging points through the end of March 2013 (IA-HEV 2012).</p> <p>Charging infrastructure will be installed in homes, at workplaces, on street, and in private and public car parks. The projects will be testing a variety of business and operating models and different technological approaches. The resulting insights will be used to inform the developing UK national strategy for infrastructure roll out (IA-HEV 2012).</p> <p>The Committee on Climate Change, which are independent advisers to the UK Government, also concluded that a charging infrastructure to support 1.7 million cars in 2020 (representing the Extended Ambition scenario of 5% of the total UK car fleet being electric or plug-in hybrids, though the UK has not stated an absolute number as a target) could be achieved at a cost of a few hundred million pounds, but that this could rise to £1.4 billion “depending on the level of sophistication of charging meters”. The group also concluded that this money would have to come at least in part from the Government (IA-HEV 2012).</p>
------------------------------	---

British gas	Agreed with car suppliers to provide infrastructure at home and has a large penetration in terms of home charging (TRL, 2014)
-------------	---

Charge Master	Installation of home charging facilities and operation of the public charging network POLAR (TRL, 2014)
---------------	---

*\* charging technology (standardisation of charging voltage), charging stations (standardisation of the lay-out), other technologies, production figures, Future solution developments, Prospective new solutions, Cooperation / joint ventures: automotive sector, across sector.*

**Additional relevant information.**

**Fuelling Infrastructure.** Given the coverage of the national electricity grid, it is relatively easy to install recharge points for xEVs as compared with other green fuels. For slow charging, all that is required as access to a standard 13 Amp socket. However, private users without access to a garage or a private road face significant difficulties in getting

electricity companies to install roadside recharging points. Other than connecting up to a mains supply, a national network of fast-charging points has yet to be developed. Only a small number of car parks and parking spaces in the UK currently provide free access to recharging units for daytime 'top-up' refuelling – most of these being located within central London. The level of coverage is too likely to improve in city centres in the next few years, but is unlikely ever to match the number of refuelling stations for some of the other green fuels. The webpage [www.lemnet.org/LEMnet\\_Land.asp](http://www.lemnet.org/LEMnet_Land.asp) list about 80 public accessible recharging stations for xEVs in UK (CleanVehicleEurope 2012).

**London Electric Vehicle Delivery Plan.** In 2009, the Mayor of London set out a vision for EVs in an Electric Vehicle Delivery Plan, which highlights the requirement for a new charging infrastructure to facilitate the uptake and usage of xEVs in London. Source London is a city-wide charge point network key to delivering the Mayor's vision launched in May 2011. There will be a continued phased installation of 1,300 public charge points on residential streets and off-street locations, such as supermarkets, public car parks, and at shopping and leisure centres in the Source London network (IA-HEV 2012).

#### **IV. Norway**

**Introduction.** In several larger Norwegian cities public accessible recharging points for xEVs are available. The webpage [www.gronnbil.no/elbilkartet](http://www.gronnbil.no/elbilkartet) gives a detailed overview (including a geo-information system) on public recharging stations for xEVs all over the country (in April 2011 there are listed 2'666 charging plugs) (CleanVehicleEurope 2012).

The City of Oslo intends making the Norwegian capital to one of the global leader in e-mobility. It now can boast the highest number of recharging stations per capita. In 2010 a new lot was opened which is the largest of its kind in the world, with 50 free parking and recharging stalls. Oslo also has 179 other recharging stations for e-cars, and aims for 700 within the 2012-2013 (CleanVehicleEurope 2012).

In Norway energy suppliers are very active in developing charging facilities. 10 (out of 150) utilities are providing charging facilities (Transnova, 2013)

#### **V. Italy**

**Introduction.** Three large EV deployment projects been running or started in 2010. The EU Zero Regio project finished during the year. The E-Mobility Project involves both ENEL, the largest Italian electric utility, and Daimler, which worked together to install a large charging infrastructure and an adequate fleet in three cities of different size and traffic conditions. Finally, the project E-Moving is another collaboration between an electric utility, A2A, and a car maker, Renault that also demonstrates charging infrastructure and EVs in two cities of different size (IA-HEV 2012).

**Business actors.**

Actors and Program	Details*
EU, ZERO RE-GIO project	<p><i>This EU project tested hydrogen fuelling stations and FCEV in Frankfurt and in Mantova. In this city a multi-fuel station was first approved and then installed for fuelling three Panda Hydrogen vehicles (IA-HEV 2012).</i></p> <p><i>Despite a large number of problems related to the homologation and circulation permission experienced by the project, the final results have been extremely interesting (IA-HEV 2012):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>The total distance travelled by the demonstration cars was about 33'000 km.</i></li> <li>• <i>The overall H<sub>2</sub> consumption was 352 kg.</i></li> <li>• <i>The average fuel consumption was about 1 kg H<sub>2</sub> per 100 km.</i></li> <li>• <i>The three vehicles ran for 880 hours without any technical problem or accident.</i></li> </ul>
ENEL and Daimler, E-Mobility Project	<p><i>The E-Mobility project is based on collaboration between ENEL and Daimler (Smart). ENEL has built up more than 400 charging points in three Italian cities (Milan, Pisa, and Rome) and Daimler has made 100 EV Smart cars available for rental, equally shared among the three cities. Drivers selected to test the cars will pay a monthly rental fee (€ 450) for the Smart and a monthly flat rate (€ 25) for any electricity consumption during charging (IA-HEV 2012).</i></p>
E-mobile Italy	<p>The power company Enel has started in late 2008 as joint venture with the German Daimler group, the project "E-mobile Italy". The project starts in 2010 in Rome, Milan and Pisa. Daimler provides smart for two xEVs, Enel builds the infrastructure network for the charge of the electric motors. The aim of the pilot project is to develop both the vehicle and a more intelligent infrastructure and to establish open standards. The topic of infrastructure in Italy is of very special significance, since most of the vehicles park on public streets.</p>
400 charging stations	<p>Cooperation for the promotion of xEVs has set up in 2009 between Lombard energy provider A2A and the French car manufacturer Renault. It is planned to building and operating a total of 400 charging stations in the Lombardy, which will supply a fleet of Renault and Nissan electric cars with electricity. During the one-year pilot phase, the infrastructure of the pioneering electric mobility is being tested initially in the Milan urban area of 100 electric and hybrid vehicles.</p>
ITALEMP	<p>Under the coordination of the industry association Assoknowledge it was set as a national technology platform for electric mobility (ITALEMP) in September 2010. A network of about 70 private compa-</p>

nies, 17 universities as well as research organisation intents to develop and implements new technologies and standards for the e-mobility in Italy. ITALEMP currently develops a national plan for electric mobility comprising the next 5 to 10 years. In this conjunction some regions and municipalities offers specific incentives schemas for the application of those technologies. One specific issue of ITALEMP is to attract as much as possible funding sources from the EU related to e-mobility, i.e. related to green cars programmes.

---

AEEG creating 1000 charging points	<p>On July 20, 2011 Italian Regulatory Authority for Electricity and Gas (AEEG) announced that over 1'000 charging points for xEVs will be installed in nine regions between North, Central and South Italy due to the incentives provided by AEEG to support the test of public charging systems and sharing the results obtained from these pilot projects. The projects will consist in providing charging stations to some large cities such as Rome, Milan, Naples, Bari, Catania, Genoa, Bologna, Perugia, in various municipalities of Emilia Romagna and Lombardy, and in various supermarkets (IA-HEV 2012).</p> <p>The incentives are <b>dedicated to five projects</b> (described below) and provide a financial contribution for each charging point through 2015. The Authority has also provided a mechanism of protection for end users, who will not pay a fee for the costs of network infrastructure and charging over a maximum limit (in addition to the cost of electricity used) (IA-HEV 2012).</p>
A project by Enel Distribution Hera	<p>A project by Enel Distribution Hera will be operating under the distributor model. A total of 310 charging columns will be operative by 2013 in Pisa, Bari, Genoa, Perugia, in several municipalities of Emilia Romagna, and outside of Milan (IA-HEV 2012).</p>
Project by A2A	<p>The exclusive service provider model will be tested through the project by A2A (52 columns with two outlets each in Milan and 23 in columns in Brescia, operative in the first half of 2013) and the project by the city of Parma (200 columns with two independent sockets each, operating by the end of 2012) (IA-HEV 2012).</p>
Enel Energia	<p>The projects under the competing service provider model will be those by Enel Energia (26 charging points in the suburbs of Milan and downtown Rome, to become operative by the second half of 2013) and by Class and a non-profit organization for a total of 150 columns (43 in the province of Monza and Brianza, and 107 in the supermarkets in Rome, Milan, Naples, Bari, Catania, Genoa, Bologna and Varese, operative by the second half of 2014) (IA-HEV 2012).</p>

---

These last two projects will also include some fast charging technology with high power direct current (over 50 kW) capable of charging up xEVs in less than 30 minutes (IA-HEV 2012).

---

E-MOVING project	The E-Moving project sees the collaboration between A2A, an electric utility based in Lombardy Region, and Renault, supplying EVs. A2A plans to build 270 charging points in two Italian cities (Brescia and Milan), and Renault will supply 60 EVs of various types (passenger cars and vans). The 200 charging points in Milan will be partially public (64) and partially private (136), while the other 70 charging points will be installed in Brescia (IA-HEV 2012).
------------------	--

---

*\* charging technology (standardisation of charging voltage), charging stations (standardisation of the lay-out), other technologies, production figures, Future solution developments, Prospective new solutions, Cooperation / joint ventures: automotive sector, across sector.*

## VI. Poland

**Introduction.** Until the mid of 2010, several hundred public recharging plugs for electric cars are planned to be installed in various locations in Poland. The Green Stream Cluster plans to install 330 of those in Warsaw, Danzig, Kattowitz, Krakau und Mielec (investment volume about 4.8 m EUR). There is planned to have a one year testing period. The company Ekoenergetyka-Zachod plans to install similar facilities in Zielona Gora (Grünberg), Sulechow, Pila (Schneidemühl) und Sieradz. (CleanVehicleEurope 2012).

### **Additional relevant information:**

**Poland's focus on biogas.** Given Poland's endowment with fossil resources, in particular natural gas, replacing gasoline powered cars with ones power by natural gas takes a high priority in public policy. As far as it concerns renewable energy resources, Poland is very supportive to biogas obviously driven by a certain path dependency in terms of preferred technology solutions. In 2009 Poland had 11 biogas refilling stations for cars and 10 for busses used in public transport. (CleanVehicleEurope 2012).

### **3.3.5 Business models and mobility concepts**

Introductory remark. Concerning activities on the following subjects, details have been provided in the previous chapter 3.3.1 and will not be analysed here:

- Existing business models: car sharing, leasing, pooling and other schemes, etc.;
- Existing mobility concepts: tourism, all-in mobility packages, etc.;
- Existing offers and product developments;
- Company driven product innovations: in line or adding to original business (e.g. pilot projects);
- Company cooperation / joint ventures: automotive sector, across sectors.

## **I. France**

In France, some innovative business models regarding electric mobility are already applied. For example, many carmakers have proposed leasing programs (Renault, Bolloré and Nissan). Thus, the integration of the EVs in the wider mobility services is in progress with car-sharing services launched in different scales recently all over France. Additionally, numerous EV demonstration and test projects have been launched in France. They test infrastructure and vehicle technologies as well as customer behaviour and business models (City, Mobility & Transport Laboratory 2013).

According to experts, there has been both positive and negative feedback on the different demonstration projects: Generally, there was a positive attitude and high satisfaction rate regarding the electric car: For example, in some cases, participants asked for buying their experimental EV after the project. Participants regarded these cars usually as very user friendly and comfortable. Participants get easily used to the regular recharging habits and practices: They recharge their cars even if they are quite sure that their battery level is highly enough for their next trip. Additionally, the demonstration projects emphasized the inquiries about charging infrastructure development.

Regarding the electric carsharing services, the success rate of these services varies from one city to the other depending on local parameters and also the different technical and economic structure of the service. The daily use rates of the cars are different and some of these services are not economically justified. In some cases, users' survey shows that some multi-motorized households provided with these electric carsharing services are ready to abandon their second car. But in some other cases, when the operator of the service cannot adjust efficiently the service to the characteristics of the service zone and its transport demand, the use rate is very low.

An important future question to investigate is if such services generate their own demand, resulting in an extra demand of mobility, or if they contribute only to satisfy the existing general demand of mobility in the area. Additionally, it is important to find out how the services should be integrated in the general transport system of an area considering the characteristics of different present transport modes and the modal share (City, Mobility & Transport Laboratory 2013).

## **II. United Kingdom**

According to experts, the concept of a combination of vehicle ownership and battery leasing is a common business case to reduce the initial purchase price. Hereby, the move from actual car-ownership to vehicle usage as a new way of "owning" a vehicle is seen as the biggest challenge. Promising business cases also include a combination of xEV vehicles and the installation of home charging. Other ideas innovate the payment process by letting people pay charges by ID cards or mobile phones. Additionally, there are business models for public charging infrastructure developing: For example in London the charging infrastructure was bought by a Chinese company (TRL 2014).

According to experts, it is important to state that technology is moving up very fast: That allows for a better range, better charging infrastructure/technology and information for the

driver. Thus, a main experience from demonstration projects is, that many of them do not represent the state of art. The fleets used in the demonstration projects are often quite out-dated.

Moreover, it is seen as an important future issue to investigate the right place and timing (i.e. charging duration) for charging infrastructure.

Another main experience from demonstration projects is the different attitude of private and public users regarding EV purchase: According to experts, private purchasing decisions are based on emotions and have a strong focus on purchase price. Public / commercial purchasers decide rather rational and focus on money and TCO (TRL 2014).

### **3.3.6 Stakeholder opinions on economy and industry**

According to an expert from an OEM the cooperation among European vehicle manufactures is good through the European Automobile Manufacture's Association (ACEA). However, their strategies regarding electric vehicles are different as pointed out by an expert from the EC: Some take higher risks acting as forerunners, whereas others are only trying to keep pace with the technological developments without intending to sell many electric vehicles. According to an OEM representative, xEV manufactures are currently making losses. That is why no additional expenses are to be expected until a breakthrough is coming. Currently, the market is not following the expectations. Still, many manufactures announced new models. An expert from Nissan mentioned that new models would be released soon to address the different needs of costumers. Via Infinity an electric vehicle for the premium market will be released in 2015 or 2016 and a small BEV comparable to the Zoe is expected for 2015. Furthermore, in 2014, the production of Nissan's electric van started in Barcelona.

An EC industry expert stated that the role of xEVs for the European automobile industry strongly depends on the framework conditions, i.e. how technologies and markets will evolve and on the regulative framework. xEVs can play a strong role to meet the emission targets.

#### **Vehicle concepts and business models**

Opinions on the role of different electrification concepts (BEV, PHEV, REEV) varied among the interviewed experts. An expert of the EC sees more potential for PHEV than for BEV. PHEVs are favoured from an industry perspective, as it is preferred to increase the degree of hybridisation rather than having a revolution from ICE-vehicles to BEVs. Also from a market perspective as people might be more willing to purchase a vehicle that is more similar to the one that they are used to drive. Another EC expert mentioned that although ideally vehicles should be fully electric, the EC is trying to promote all kinds of xEVs and the market will decide about the role of BEVs and PHEVs. For the UK a modelling study, which was conducted by the interviewed research expert, revealed that PHEV or REEV would be the prominent technology over the next 15 to 20 years. However, currently there is no deployment gap between PHEVs and BEVs in the UK. According to a French expert, today BEVs are more affordable than PHEVs, although both receive subsidies in France. Furthermore, French key actors of electric mobility (i.e. Renault and Bolloré) are more active in the field of BEVs. They



are seen to be more adequate to the French mobility patterns and more sufficient regarding environmental goals.

Most manufactures build their strategies on different vehicle concepts. For instance, Toyota's xEV strategy foresees the deployment of BEVs for small distances for urban areas and hydrogen vehicles for long distances, whereas PHEVs and HEVs are for the distances in between. However, currently Toyota is not commercialising BEVs in Europe because it is seen that the European market not ready yet. Also the Toyota Prius Plug-in is not selling well (neither in Europe, nor in the US or Japan), inter alia, because of a relatively large price difference to the Prius HEV.

An OEM representative mentioned that it is very important for the market development that different vehicle manufacturers launch xEV models. This would signal the consumer that electrification is not only the strategy of a single manufacturer. Moreover, different electric vehicle models on the market offer more choice to the consumers to find an xEV that suit their needs best. An EC research expert, proposed the idea to design xEVs based on different optional modules e.g. to allow the consumer to choose the size of the battery that suits its driving distance best. In addition, it was mentioned that there is a need for an inexpensive small car that is designed to be operated in the city. It is expected that maybe Chinese manufactures will be the first that come up with such as vehicle.

Furthermore, the interviewed vehicle manufactures highlighted the role of different business models. Car sharing is becoming more important for them to address new trends in vehicle ownership and to introduce electric vehicles. Fleets are seen as a more promising market than private vehicles, as electric vehicles in fleet often perform better in terms of TCO, infrastructure requirements can be met more easily and different kinds of vehicles can be combined in a fleet. An economic expert further highlighted that companies might be more willing to invest in xEVs because of image strategies and due to the option to pass the extra costs to their costumers. Similarly an expert from the EC sees car sharing, company fleets and public fleets as most promising markets for xEVs. Vehicle manufactures often target the premium market for xEV deployment as profit margins are higher in this segment.

### **Vehicle components**

Several academic and policy experts mentioned that they do not expect strong developments in battery price and performance in the near future. Cost are linked to the battery management system in particular; here cost reductions might be possible, whereas no strong price reduction are expected for battery cells, which are already mass produced. It is also doubted that gradual improvements in the overall battery costs will be reflected in the vehicle price, because the manufactures will need to recover their R&D costs. In addition, usually it takes a long time until research on new battery technologies and materials is translated to market ready technology.

### **Charging infrastructure**

An expert from academia highlighted the role of better charging infrastructure as important factor to address the problem of limited range of xEVs. An EC expert mentioned that all demonstration projects have shown that alternative fuels such as CNG or electricity are not

gaining higher market shares due to the lack of infrastructure. While the European Commission sees private infrastructure as most important factor, the Member States are of the opinion that public infrastructure is more important. An OEM expert sees no business case for charging infrastructure at the moment. Furthermore, currently too many different players are involved in charging infrastructure and a clearinghouse is needed. A French expert highlighted that the development of charging infrastructure is inhibited by economic, technical and legal difficulties.

### 3.4 Consumer and market

This section covers both the market for private vehicles, and the market for business cars, vehicles owned by companies or vehicle fleets of public bodies. In Europe, the market development for privately owned vehicles and company owned vehicles are different from each other. However, only the smaller percentage of “company cars” are truly company cars. The larger part of those passenger cars officially hold by a company are in fact operated as private cars, given to an employee as “fringe benefit”. The amount of such company cars greatly varies from member state to member state, driven by differences in tax levels between private car holders and company cars.

The table below shows key figures with regard to the development of xEVs and charging points in the five case studies. Any interpretation of the data should be done carefully for the data quality may be dubious. Given that with regard to xEV we are still at the beginning of a trend that may accelerate in the coming years, data is currently scarce and lacking any kind of standardisation.

Table 14. Basic xEV and charging points figures for all the five case studies

	No. of passenger cars as of 2010	No. of xEVs, as of 2010/12	Market share target of xEV passenger car registration by 2020	xEV charging points as of 2011	xEV charging points target by 2020
<b>France</b>	31m	44'000	38%	1'600	97'000
<b>United Kingdom</b>	30m	80'000	11%	703	122'000
<b>Norway</b>	2m	3400	10%	3708	30'000
<b>Italy</b>	36m	1'200-10'000	6%	1350	125'000
<b>Poland</b>	16m	800	1%	27	46'000

Sources: Polk (2011), IA-HEV (2012), CleanVehicleEurope (2012) and COM (2013).

#### 3.4.1 Market development of electric vehicles up to now

##### I. France

**Overview.** The French auto industry began offering BEVs for sale in 2011. Changes in vehicle use make electric cars ideal for the majority of trips, with 87% of Europeans currently driving less than 60 km a day (IA-HEV 2012). As of December 2010, the total French fleet comprised 39'000'000 vehicles of which there were approximately 44'000 HEVs or EVs (IA-HEV 2012).

Table 15. Basic mobility figures for France

<b>Geographical Extent</b>	674,843 km <sup>2</sup>
<b>Inhabitants</b>	62.449 mill.
<b>No. Passenger Cars</b>	31.109 mill. (2008)
<b>No. Road Goods Vehicles</b>	5.212 mill. (2008)
<b>No. Busses/Coaches</b>	92,900 (2008)
<b>Length Road Network</b>	1,027,183 km (2008)
<b>Length Motorways</b>	10,958 km (2008)

Sources: EU energy and transport in figures – Statistical pocketbook 2010; CleanVehicleEurope 2012. For details on registered categories and purpose to be obtained from national car registration authorities, see chapter 3.1.3.

**Volume goal for PEV for 2015.** Progress is afoot: car manufacturers PSA Peugeot, Citroën, and Renault have pledged to produce and deliver 70'000 PEVs by 2015, while a group of companies including Electricité de France, SNCF, Air France, France Télécom, and La Poste have committed to an initial purchase order of 50'000 PEVs (IA-HEV 2012).

**Renault-Nissan.** The Renault-Nissan Alliance is developing a complete range of 100% electric powertrains, with power ratings of between 15 kW (20 hp) and 100 kW (140 hp). Additionally, the battery production plant in Flins which Renault, the CEA, and Nissan-NEC are launching is expected to support Renault's EV Zoe in 2012 (IA-HEV 2012). Renault aims to become the first full-range car manufacturer to market zero-emission vehicles in use, available to the greatest number. Electric cars emit no CO<sub>2</sub> in use. The Renault-Nissan Alliance is developing a complete range of 100% electric powertrains with power ratings of between 15kW (20hp) and 100kW (140hp) (IA-HEV 2012). Along with Renault, Tesla, Peugeot, and other manufacturers are offering EVs to the French public in 2011 (IA-HEV 2012).

**Market demand.** A group of companies including Electricité de France, SNCF, Air France, France Télécom, and La Poste have committed to an initial purchase order of 50'000 PEVs. Those purchasing a vehicle with CO<sub>2</sub> emissions of 60 g/km or less will receive a € 5'000 government grant through 2012 (IA-HEV 2012).

**Additional information.** No information were available (or confidential) on official market shares, not officially registered test EV vehicles, or micro-EV not required to be registered.

## II. United Kingdom

**Overview.** The below table provides some basic data on the UK car market.

Table 16. Basic mobility figures for the United Kingdom

<b>Geographical Extent</b>	244'820 km <sup>2</sup>
<b>Inhabitanace</b>	61.63 mill
<b>No. Light Vehicle</b>	29.27 mill (2008)
<b>No. Trucks/Coaches</b>	3.87 mill (2008)
<b>No. Busses</b>	114'000 (2008)
<b>Length Road Network</b>	419'997 km (2008)
<b>Length Motorways</b>	3'673 km (2008)

Sources: EU energy and transport in figures - Statistical pocketbook 2010; CleanVehicleEurope 2012. For details on registered categories and purpose to be obtained from national car registration authorities, see chapter 3.1.3.

As of December 2010, the UK had the following number of EVs, PHEVs, and HEVs on the road as shown below (IA-HEV 2012).

Table 17. Hybrid and electric vehicle fleet numbers in the UK at the end of 2010

<b>Vehicle Type</b>	<b>Total vehicle fleet (including EVs, PHEVs, and HEVs)</b>	<b>EVs</b>	<b>PHEVs</b>	<b>HEVs</b>
<b>Motorbike</b>	1'350'999	1'372	0	1
<b>Passenger vehicle</b>	29'495'975	1'478	20	78'496
<b>Multipurpose passenger vehicle</b>	101'912	7	0	0
<b>Bus</b>	77'784	69	0	0
<b>Truck</b>	501'725	978	0	0
<b>Light Goods</b>	3'323'786	3'857	0	38
<b>Tricycles</b>	15'452	43	0	0
<b>Other</b>	580'303	48'200	0	35
<b>Total</b>	35'447'936	56'004	20	78'570

Source: IA-HEV 2012. Note: the total fleet numbers include all propulsion systems and fuels

**Additional information.** No information were available (or confidential) on official market shares, not officially registered test EV vehicles, or micro-EV not required to be registered.

An important driver of the electric mobility market development is the Plug-in Car Grant incentive scheme. Introduced in January 2011, and extended to vans in February 2012, the Plug-in Car Grant was important in the purchase decision of 85% of ultra low emission vehicle purchasers as shown in a recent study (TRL 2013a). As seen in the uptake numbers, the Plug-in Car Grant and Van Grant already had a significant positive effect on the market:

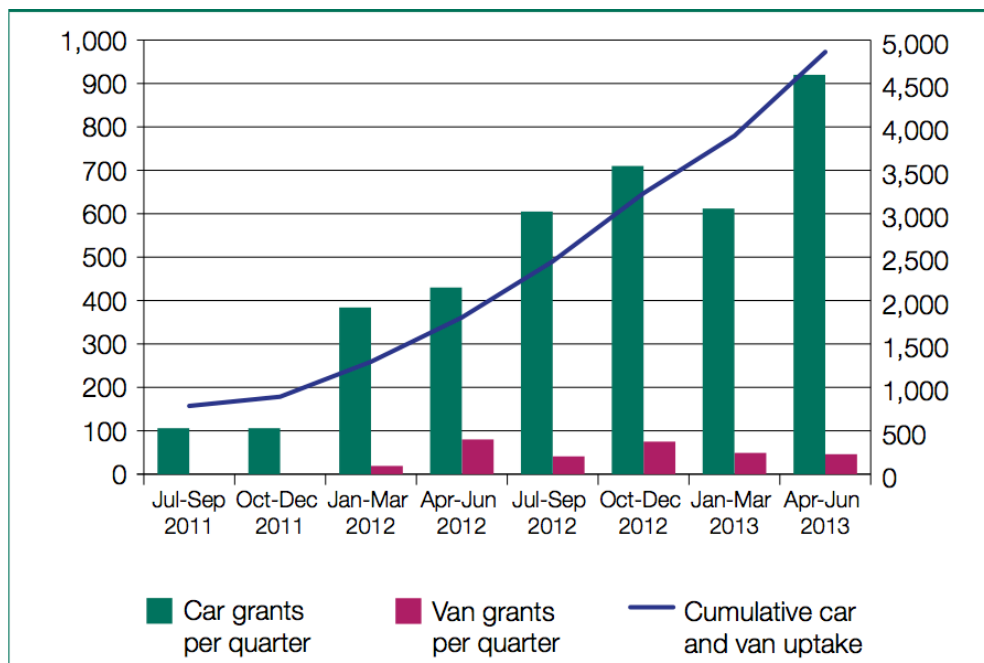


Figure 2. The growing Plug-in Car and Van Grant uptake (July 2011 to June 2013)

Source: Office for Low Emission Vehicles 2013, p. 49

### III. Norway

**Overview.** The below table provides some basic data on the Norwegian car market.

Table 18. Basic mobility figures for Norway

<b>Geographical Extent</b>	323'759 km <sup>2</sup>
<b>Inhabitants</b>	4.799 mill.
<b>No. Passenger Cars</b>	2.197 mill. (2008)
<b>No. Road Goods Vehicles</b>	523'400 (2008)
<b>No. Busses/Coaches</b>	23'300 (2008)
<b>Length Road Network</b>	92'869 km (2008)
<b>Length Motorways</b>	239 km (2008)

Sources: EU energy and transport in figures – Statistical pocketbook 2010; CleanVehicleEurope 2012. For details on registered categories and purpose to be obtained from national car registration authorities, see chapter 3.1.3.

According to figures from April 2011, there are around 3'400 xEVs on Norwegian roads (see [www.gronnbil.no/elbilkartet](http://www.gronnbil.no/elbilkartet)). This figure lifts the country on the European top position with regard to vehicles per capita. This is due to a strong incentive scheme for xEVs that has been in place since the year 2000. Some of the worldwide pioneers and most important

producers (i.e. EIBil Norge AS with a current annual production capacity of 4'380 units as well as Think Global AS) of e-cars are from Norway. These companies are still very much active i.e. having a leading share in the Pan-European E3 Car research Consortium (CleanVehicleEurope 2012).

According to statistics of the Norwegian road traffic organisation "Opplysningsrådet for Veitrafikken" 7 to 8% of the cars sold in Norway in 2013 were EVs. In September 2013, the Tesla Model S became the first xEV to be on top of the new vehicle registration list: With a share of 5.1%, the Model S was the most sold car of the month. (Opplysningsrådet for Veitrafikken 2013). For 2014 a share of 8 to 10% is foreseen, which equals 10.000 to 14.000 vehicles in terms of volume (Grønn Bil 2013).

The use of biofuels (biodiesel and bioethanol) in Norway is currently very modest compared with, for example, Sweden and many other European countries. The use of gas for transport purposes is also very modest. Hydrogen as energy carrier for transportation purposes must be currently characterized as in research, demonstration or development stage (CleanVehicleEurope 2012).

**Hydrogen highway.** In addition to the use of biofuels, hydrogen as fuel for vehicles is expanding its market share in Norway driven by the construction of relevant infrastructure. In May 2009 the HyNor Partnership and StatoilHydro announced the official opening of the Norwegian hydrogen highway which is a hydrogen transportation infrastructure along the nearly 600 kilometre route between Oslo and Stavanger. The first hydrogen station was opened at Forus in Stavanger in 2006, the second in Porsgrunn in 2007, and currently two new stations are opened in Oslo and Lier (CleanVehicleEurope 2012).

#### IV. Italy

**Overview.** The below table provides some basic data on the Italian car market.

Table 19. Basic mobility figures for Italy

Geographical Extent	301.338 km <sup>2</sup>
Inhabitants	60.045 mill.
No. Passenger Cars	36.105 mill. (2008)
No. Road Goods Vehicles	4.534 mill. (2008)
No. Busses/Coaches	97.600 (2008)
Length Road Network	182.136 km (2008)
Length Motorways	6.588 km (2008)

Sources: EU energy and transport in figures - Statistical pocketbook 2010; CleanVehicleEurope 2012. For details on registered categories and purpose to be obtained from national car registration authorities, see chapter 3.1.3.

**Number of BEVs.** BEVs have still not very widespread in Italy. Although specific financial contributions for the purchase of electric cars and a growing supply less than 60 electric cars have been sold in Italy in 2009. For the full year 2008, 108 BEVs were newly registered. There are currently estimated a fleet of 1'200 to 10'000 xEVs. Actual market research leads the declining interest on individual e-mobility not only to the relatively high cost, low autonomy of the vehicles (on average 70 km), but also on mentality back. So far primarily local

authorities bought xEVs. About half of the acquired xEVs in recent years are not used owe to the high operative costs (CleanVehicleEurope 2012). Out of a total number of more than 51 million vehicles on the road in Italy at the end of 2009, about 19'000 were HEVs while another 228'000 xEVs were on the road, though all but 10'000 of these were motorized bicycles or motorcycles (IA-HEV 2012).

**Categories of xEVs.** BEVs and HEVs available for purchase in Italy cover the full spectrum of categories, including power-assisted bikes, scooters (with two, three, or four wheels), light- and heavy-duty BEVs and HEVs (hybrid busses), and electric boats. Hundreds of BEV and HEV models are now available on the market. Retail prices range from a few hundred euros for power-assisted bikes to hundreds of thousands of euros for HEV-buses. A BEV still costs about two or three times more than a conventional vehicle while HEVs have much less of a price differential (IA-HEV 2012).

**Public fleets.** Italy has seen some success stories of BEVs and HEVs in public fleets over the past decade thanks to large public subsidies introduced by various ministries. An exemplary case is the Municipality of Reggio Emilia that fully electrified its fleet of around 400 EVs that carry out a variety of services in the center city. This project earned a great deal of recognition from its citizens and the national and international EV community (IA-HEV 2012).

**Additional information.** No information were available (or confidential) on official market shares, not officially registered test EV vehicles, or micro-EV not required to be registered.

## V. Poland

**Overview.** The below table provides some basic data on the Polish car market.

Table 20. Basic mobility figures for Poland

Geographical Extent	312'678 km <sup>2</sup>
Inhabitants	38.136 mill.
No. Passenger Cars	16.080 mill. (2008)
No. Road Goods Vehicles	2.922 mill. (2008)
No. Busses/Coaches	92'400 (2008)
Length Road Network	258'911 km (2008)
Length Motorways	663 km (2008)

Sources: EU energy and transport in figures – Statistical pocketbook 2010; CleanVehicleEurope 2012. Details on registered categories and purpose to be obtained from national car registration authorities, see chapter 3.1.3.

**Growth of road transport.** The total energy consumption in road transport has grown from about 100 PJ in 1990 to 250 PJ in 2007. The highest growth rates started in 1990 (political transformation) and since 2003 until now. The sharp increase in the years 1990 and 1991 is mostly due to massive influx to Poland of second-hand, old, high fuel consumption cars, mainly from Germany after the democratic transition in 1989. The other sharp increase started in 2004 with Poland's accession to EU. A major feature of road passenger transport in Poland is the continuous increase of the market share of diesel. In 2008, of over 320'000 new cars sold in Poland 135,781 vehicles were powered by diesel fuel. (CleanVehicleEurope 2012)

**Diesel share.** The share of diesel cars is 42.4% of total new vehicle sales. According to research results of the EU funded project ALTERMOTIVE the passenger vehicle stock in Poland has grown from about 5.3 million cars in 1990 to more than 14 million cars in 2007. Poland has one of the eldest vehicle fleet within the European Union. In 2008 about 19% of the vehicle fleet had an age of more than 20 years, about 18% between 16 and 20 years and about 29% between 11 and 15 years. Regarding the development of alternative car types, the number of gas driven cars increased to nearly 2 million in 2007 (about 10% market share). (CleanVehicleEurope 2012).

**Number of Hybrids.** In Poland, hybrid cars are available for purchase since 2004. The first of such vehicle was Toyota Prius. To this day only about 350 copies of this car were managed to sell. 2012, the Prius has found 89 buyers. Other cars with hybrid drives are sold in Poland at a similar or lower level. For example, hybrid Honda Civic found in the last two years only 26 customers (in the past year 19). Last year Poles bought 243 cars of this brand, the most popular was the Model RX (102 copies sold). All in all the Polish roads see today just over 800 cars with hybrid drive. This is one of the lowest numbers per capita in Europe. (CleanVehicleEurope 2012).

**Research on biofuel cars.** The EU funded project BEST has concluded that 34 flexifuel E85 vehicles have been sold in 2008. Cars with factory-fitted CNG also enjoy low interest in Poland among drivers. In 2008 a little over one hundred cars of this type, including 70 Fiats Panda, 22 Fiats Doblo, 1918 Opel Combo, 10 Volkswagen Caddy and 1 Iveco Daily and 1 Opel Zafira. Those cars, which are available on the Polish market for several years, reported a drop in sales. The primary reason for the lack of interest among Polish CNG drivers is the lack of network stations on which you can fill the fuel. According to data collection within the EU funded project MADEGASCAR for 2009 in Poland there is a stock of 220 biogas cars, 66 biogas busses used in public transport and 10 biogas heavy duty vehicles. Currently there are 9 passenger car models and 1 light duty vehicles available on the market that run with CNG/biogas. (CleanVehicleEurope 2012).

**Role of CNG cars.** At the start of the EU funded project PROCURA, CNG was merely a niche market for bus companies in Poland. Hence one specific case study within PROCURA was supporting the development of CNG use by bus fleets and facilitate the diffusion of this technology. The introduction of alternative fuel buses in various Polish bus fleets, is deemed necessary to improve the local air quality in Polish municipalities and work towards a diversified fuel mix. Today a number of large Polish Cities are using clean vehicle technology in urban public bus transport mostly CNG, e.g. (CleanVehicleEurope 2012).



**Role of HEVs and BEVs in public fleets.** No information is available on the role of HEV and BEV in public fleets in Poland. As a country endowed with natural gas reserves, Poland's public fleets rely in certain regions extensively on compressed natural gas (CNG).<sup>46</sup>

**Additional information.** No information were available (or confidential) on official market shares, not officially registered test xEVs vehicles, or micro-xEV not required to be registered.

### 3.4.2 User / Consumer attitude and behaviour

As lined out in the previous chapter, xEV market penetration is still in its beginnings. Accordingly, studies on consumer attitude and behaviour at present still are of limited validity, as they are not yet based on a significant amount of xEV on the streets. Given the current still small market share of xEVs, even in highly developed countries, it is difficult to provide reliable details on research questions such as:

- Purpose of xEVs use (driving time, driving radius);
- Consumer patterns;
- Motivation for buying xEVs (e.g. financial, environmental reasons, etc.), including reasons for not buying xEVs (e.g. driving radius, safety concerns, reliability, etc.);
- Customer preferences for xEVs and rationales (replacing conventional car, additional car) related to the purchase of an xEV;
- Customer preferences concerning charging systems.

However, first empirical evidence has also been reported for countries other than our five focus countries, when can in analogy serve as preliminary knowledge base.

In **Portugal** for example, a study (Rolim et al. 2012) has been conducted among 11 EV drivers in combination with on-board diaries, including km travelled, kWh charged, number of trips per day. Results indicate that the adoption of the EV impacted everyday routines on 36% of the participants and 73% observed changes on their driving style, compared to conventional internal combustion engine vehicles running on gasoline or diesel.

From a **US survey** into preferences and perceptions of “technology enthusiasts” (as potential early EV adopters), Egbue and Long (2012) report on the several obstacles need to be overcome before EVs will be widely adopted. They identified potential socio-technical barriers to consumer adoption of EVs and determined if sustainability issues influence consumer decision to purchase an EV. They find that knowledge and perceptions differ across gender,

---

<sup>46</sup> Over 60% of buses operated by the Municipal Transport Company in Tarnow (MTC Tarnow) are equipped with alternative drive systems, namely compressed natural gas (CNG) and hybrid (diesel/electric) systems; At present, in Mielce there is the biggest modern, environment friendly bus fleet in Poland. At present the Municipal Transportation Company in Rzeszow, operates 40 CNG vehicles. In 2008 PK, the public transport operator in Krakow bought new 45 Euro V CNG buses and started their exploitation. In 2005 Slupsk, MZK Slupsk, Irisbus-Kapena and Pomorska Spółka Gazownicza (Seaside Gas Company) signed a deal about buses powered by gas putting into practice. The city bought 5 Irisbus Citelis 18 meter buses powered by CNG, whose exploitation started in February 2007. The transport authority in Gdynia Poland introduced 5 CNG buses matching the EEV (Enhanced Environmentally Friendly Vehicle) emission standard in September 2007. The current fleet will be extended with another 15 buses (20 in total) until 2010. A fast fuelling station will be build up in the bus depot in 2008. (CleanVehicleEurope 2012).

age, and education groups, that still a high degree of uncertainty is associated with electric vehicles, and that battery range is the biggest concern followed by cost.

Together, the above studies on consumer attitudes and acceptance towards EV generate research findings that are of general validity and can be extrapolated to Europe as a whole and our five focus countries in particular: It should be noted that almost all existing in-depth explorations of appraisals and evaluations of electric vehicles tend to focus on ‘early adopters’, who may not represent mainstream consumers. In general, consumer attitudes are positive, and EV are accepted as technology as such. Here there are important restrictions towards the use of EV as all-purpose vehicle for one-car households. The technological progress of the next, say, ten years will be needed for battery price reductions and energy density increases, before EV will also become accepted for longer distance trips (and, hence, as suited vehicle for households holding only a single car). This means that, apart from range restrictions, vehicle sales price really is one of the main current obstacles for current market penetration.

### **I. France**

Recent survey shows that in France, car buyers have a strong interest in electric vehicles. About 35% of the core target group for these vehicles have the aim purchasing those vehicles within the coming years. About 50% of this group is ready to pay up to 4'000 EUR more for those vehicles as for the conventional one (CleanVehicleEurope 2012). This willingness however is driven by notable incentives within the car ownership taxation (see ACEA 2012 or chapter 3.1.4). Another driver is the wide spread public acceptance of nuclear power in France; opposition against nuclear energy is lower than in other countries and France has one of the highest shares of nuclear power in total power generation worldwide. Accordingly, night charging of xEV is seen as a meaningful contribution to a higher overall energy efficiency of the energy system.

The French car industry traditionally focuses on smaller cars situated in the mass market, with a strong regional focus on Europe, and has a track record for innovation (especially design innovation). This feedbacks on consumer acceptance.

Last but not least, given the (state owned) nuclear complex, the (partly state owned) car industry focusing on electric mobility and the willingness to promote economic growth and domestic employment options, the government is strongly promoting electric cars through various direct and indirect incentives (see also chapter 3.1.4), which feedbacks on consumer acceptance as well.

### **II. United Kingdom**

The UK market will expand its reach as consumer and business acceptance continues to grow (IA-HEC 2012). Early purchasers are expected to be fleet or business users and consumers in urban and suburban locations. It is the owners in these segments of the market who are most likely to reap the full environmental and cost-of-ownership benefits of plug-in vehicles.

Skippon and Garwood (2011) report from a survey on fifty-eight peoples which were given direct experience of driving an xEV, followed by an attitudinal questionnaire. Findings suggested that some consumers might start to consider xEVs as second cars if they had a range of 100 miles, and as main cars if they had a range of 150 miles. The survey participants also were subject to a vignette exercise to evaluate their attributions of symbolic meaning. They may be willing to pay modest premiums over conventional vehicles, equivalent to around three years' running cost savings. Most would recharge at home overnight.

Burgess and Harris (2011) present findings from the BMW Mini-E trial. The research findings concentrate on drivers' adaptation to the transition from ICE to xEV, especially charging behaviour (routines, infrastructure, barriers).

Graham-Rowe et al. (2012) investigated, by means of a qualitative analysis, the mainstream drivers' responses to using a BEV/PHEV. 40 non-commercial UK drivers were interviewed after a seven-day period of use of a PHEV (20 participants) or of a BEV (20 participants). Results highlight potential barriers to the uptake of current-generation plug-in electric cars by mainstream consumers. These include the prioritization of personal mobility needs over environmental benefits, concerns over the social desirability of electric vehicle use, and the expectation that rapid technological and infrastructural developments will make current models obsolete. Implications for the potential uptake of future xEVs are discussed.

A recent study of TRL on behalf of the Office for Low Emission Vehicles among 155 telephone respondents showed that saving fuel money was the most important reason for purchasers to choose an xEV rather than an ICE vehicle, while environmental concerns were the second most mentioned reasons. Interestingly, the "new/fun/innovative" image of xEVs was on third place, being mentioned more often than financial aspects like Congestion Charge or the Plug-in Car Grant (TRL 2013a, p. 37).

### **III. Norway**

As mentioned above, Norway is the European country with the highest xEV share at present. The situation is fuelled by subsidies and tax rebates on the one hand and a high share of hydroelectricity in the power generation mix on the other side. One might hypothesize that given these boundary conditions consumer attitudes are positive in general, however no research findings on this subject specific for Norway could be found. As there are also some side effects to electric mobility with relevance to Norway (car heating in winter, and long distances between rather isolated urban areas; with the exception of the Oslo region), it also is to be expected that attitudes are very positive towards owning an xEV as a second car in a multi-car household, but remarkably less positive towards xEV as only car for a household.

According to Norwegian experts the users want bigger batteries and faster charging. At the moment, only 8% of them use the possibility of fast charging weekly. Nevertheless, xEV customers are even more satisfied compared to conventional car users. According to experts, xEVs are most frequently owned in the suburbs around the big cities, whereas the biggest growth can be observed in rural areas (Grønn Bil 2013).

Concerning the role of PHEV and REEV, it is important to know that for these vehicles the Norwegians have to pay VAT, since only BEV are exempted from VAT. Therefore they are

considered to be not economically viable for the customer as PHEV and REEV are more expensive than conventional cars.

According to experts, most xEVs are used for private purposes, while the fleet business is not working well. For fleet owners the price and the risk are the main barriers as their assets are the cars and they are unsure about aspects like the second hand value of the cars. So for SMEs, even though they might deliver faster with EVs, it still is too risky. To foster the fleet business, the Grønn Bil initiative works with cities to promote xEVs for their fleets (Grønn Bil 2013).

In Norway many households typically own two cars. A survey revealed that households having an xEV, have it as their number one vehicle. But according to experts, range issues are still a barrier, not in the Tesla segment, but in the Nissan Leaf segment. Additionally, they state that the image of xEVs in general changed due to Tesla. (Transnova 2013).

#### **IV. Italy**

Italy has been quite proactive in the adoption of xEVs, with consumer acceptance now growing thanks to government initiatives (i.e., incentives and subsidies) (CleanVehicleEurope 2012).

#### **V. Poland**

In Poland, electric mobility is not yet a main focus of governmental activities. Accordingly, incentives concentrate more on biogas and less on electric cars. This in turn influences consumer acceptance. Together with a purchasing power index value that is below the average of EU member states, electric cars at present have a hard standing in consumer attitudes in Poland.

#### **3.4.3 Market perspectives**

With regard to market perspectives the same applies as mentioned in chapter 3.4.2. However, based on the current situation, one can expect the market for xEVs to grow in all countries subject to analysis here. Universität Duisburg Essen (2012) developed a market forecast for Europe based on the estimated market demand, utility-cost relation and the customer segmentation/purchase behaviour. For 2020, it is foreseen that ICE-vehicles will clearly dominate with about 84%. HEVs will achieve a market share of about 9% and PHEVs (including REEVs) will make up for about 6% of the new registrations. Only 1.1% of the new vehicles in the EU-27 are seen to be BEV in 2020. However, a strong increase in market share for BEVs is foreseen till 2030; BEVs achieving a share of 11%. Also PHEV increase their market share strongly to about 20%, whereas growth of HEV is foreseen to be moderate towards 13%.

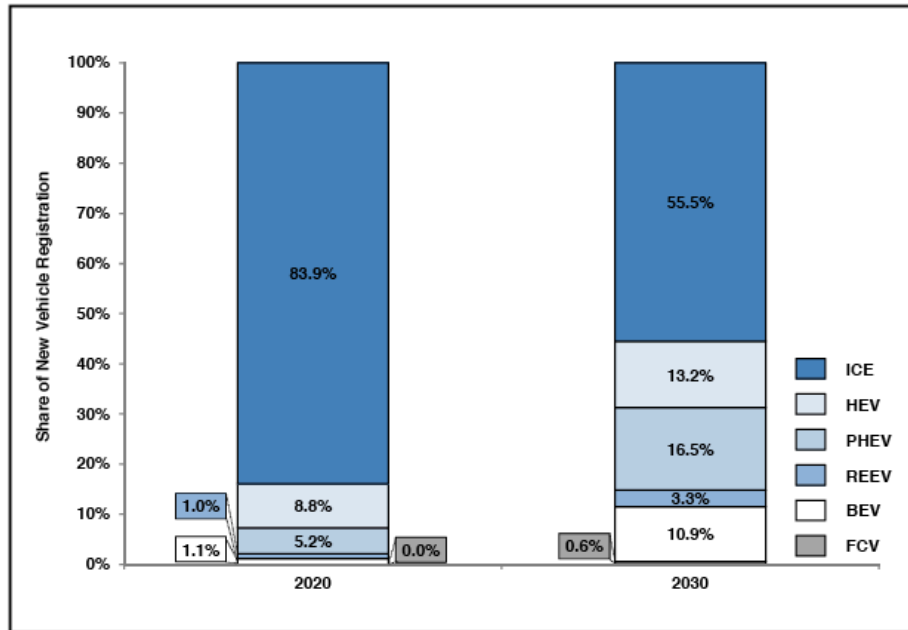


Figure 3. EU-27 Electric Vehicle Registrations in Percent up until 2030 (Passenger Cars + LCV), Source: Universität Duisburg Essen (2012).

For the main European markets also a detailed analysis of the country specific market development was included in the study conducted by Universität Duisburg Essen (2012). It is expected that the market share of xEVs will develop faster than other European markets. It is expected that in France BEV will be dominant among the xEVs due to the strategies of French car manufactures and other stakeholders (e.g. car sharing and other companies).

The Polk Base scenario assumes strong battery cost decreases and expansions in infrastructure.

Table 21. Overview about market scenarios about the market share of xEVs among new registrations in Europe

		France	UK	Italy	(Spain)	(Germany)	EU 27
<b>Uni DuE 2020</b>	HEV	9	7	10	7	7	9
	PEV	9	7	3	7	9	7
<b>Uni DuE 2030</b>	HEV	11	8	23	13	7	13
	PEV	38	18	22	29	19	31
<b>Polk 2020</b>	PEV	10.5	11	6		6	
<b>Polk 2030</b>	PEV	55	50.5	53		48	

Source: own compilation based on Polk (2011) and Universität Duisburg Essen 2012.

## I. France

**The EV market forecast until 2030 for France** from Polk (2011) predicts a market share (regarding new car registrations) for PEV of 10.5% in 2020, 38% in 2025 and 55% in 2030.

## II. United Kingdom

**The EV market forecast until 2030 for UK** from Polk (2011) predicts a market share (regarding new car registrations) for PEV of 11% in 2020, 36% in 2025 and 50.5% in 2030.

A forecast by the Office for Low Emission Vehicles estimates that by 2020 between 3% and 7% of all new car sales will be ultra low emission vehicles (including plug-in battery electric vehicles and hydrogen fuel cell electric vehicles). The exact figures will be determined by a number of factors, many of which are outside Government's control – most critically the speed with which manufacturers bring the vehicles to market and the price they charge for them. Additional factors of uncertainty are battery prices, fuel costs, accessible rapid charging and purchasing models.

The general EV market in the UK is driven by an ambitious agenda of the UK Government: The goals are a buoyant domestic fleet and private markets for ultra low emission vehicles with every new car being an ultra low emission vehicles from 2040 and an effectively decarbonised fleet by 2050 to meet the Carbon Plan targets (Office for Low Emission Vehicles 2013).

## III. Norway

The share of xEV in new car registrations in Norway is the highest in Europe. This early market success is fully attributed to subsidies and incentives. Market perspectives for Norway are characterized by conflicting trends: On the one hand, the high hydroelectricity share, and the increasing wind power share (enhanced by the availability of North Sea wind power to Norway over the NorNed link), are main drivers for electric cars. On the other hand, the long distances between cities (apart from constrained metropolitan areas like the Oslo region) and the cold climate let conventional cars powered by internal combustion engines appear as technology of choice as well.

The above mentioned disadvantages of BEVs make hydrogen concepts more popular in Norway than in other countries. For example, in 2010 a large demonstration project called H2MOVES on FCEVs was launched, taking place in Scandinavia with seventeen state-of-the-art FCEVs from Daimler and Fiat to be based in Oslo.

## IV. Italy

**The PEV market forecast until 2030 for Italy** from Polk (2011) predicts a market share (regarding new car registrations) for PEV of 6% in 2020 and 53% in 2030.

## **V. Poland**

**The PEV market forecast until 2030 for Central and Eastern Europe** (no Poland specific figures available) from Polk (2011) predicts a market share (regarding new car registrations) for PEV of below 1% in 2020 and 28% in 2030.

### **3.4.4 Stakeholder opinions on the EV market**

#### **Today's market and consumer attitudes**

According to an OEM expert, the market for electric vehicles in Europe is at a very early stage (similar to other regions). Early adopters in Europe are typically well informed and care about sustainability. Now, manufacturers target the mass market, which depends on the receptiveness of different countries. For instance, in France the market development of electric vehicles relies on the public subsidies and, according to an interviewed French expert, xEV deployment is very sensible to the preferential pricing policies. In the French private segment, xEVs are mainly used as second car. In Norway many households own two cars. The Norwegian experts mentioned, that in Norway the supply rate (i.e. the OEM cannot deliver enough xEVs) is a constraint for the xEV growth rate.

Range anxiety, costs and lack of infrastructure are common barriers for xEV deployment in Europe. A Norwegian expert sees charging infrastructure not as prerequisite for a functioning xEV market as initially in Norway mainly normal household outlets, where used to charge BEVs. However, in other regions the situation might be different. For instance, an OEM mentioned that lack of home charging facilities as major barrier for xEV deployment.

Several experts agreed that there is a lack of awareness about the characteristics of electric vehicles; not only among costumers, but also trainings for car dealers are necessary. Toyota found that besides higher costs, paradoxically range anxiety plays role for PHEVs as consumers associate them with BEVs. Also an expert from France highlighted that essential information like TCO advantages are poorly communicated among the actors of the supply side and in the society.

Several experts see a need for a different marketing strategy for electric vehicles to address the attitudes and concerns of consumers towards xEVs. An interviewed European research expert argued that BEVs should not be promoted as car that can do everything. According to a Norwegian expert, marketing concepts for xEVs should be very simple. Another expert highlighted the role of cars as status symbols and sees a need to investigate how electric vehicles can meet and exceed consumer expectations e.g. as successfully done by Tesla. Furthermore, it was mentioned that the mobility behaviour should be addressed. Business models and vehicle models should be adapted to the actual mobility behaviour. An OEM expert sees trails as important basis to investigate consumer needs and to predict future market developments due to the link to actual driving behaviour.

Many of the interview stakeholders mentioned fleets as main market for the xEVs in the near future. Purchasing decisions of private consumers are mainly driven by the initial investments and underestimate the role of TCO. However, as mentioned by a Norwegian expert, for fleet

owners risks associated with investments in xEVs, e.g. unclear second hand value, are key barriers for small and medium size enterprises to invest in xEVs in Norway.

### Market perspectives

The future market development for xEVs is difficult to assess according to the experts. It was pointed out that the strategies of the automobile industry are not communicated and thus it is unclear what vehicle models will come into the market. An academic expert from France mentioned that the high expectations on xEVs were reduced overtime due to delays in commercialisation and other problems. Today, the development of xEVs is still fragile and needs support and stronger cooperation of different stakeholders. However, the system is very dynamic and other actors like Tesla or Chinese carmakers might arrive.

Policy experts emphasised that artificial market for xEVs might lead to strong fluctuations in demand, which impose a risk to the development of xEVs.

Toyota expects that by 2020, electric vehicles including FCEVs will achieve a market share among new registrations between 2 and 8 per cent. The interviewed expert mentioned that 2 to 3 per cent might be more realistic. HEVs will quickly gain higher market shares.

An expert from EC mentioned that hybrid electric vehicles would be important as bridging technology in the next 10 to 15 years. Hydrogen vehicles are developed in parallel, but are not ready for commercialisation yet.

### 3.5 A brief look at relevant trends in other states in Europe: Sweden, Finland, the Netherlands, Spain and Switzerland

Among other countries showing similar trends as the case studies with regard to the introduction and support of xEVs are: The Netherlands, Sweden, Finland and Spain. The xEV-trends in those countries are illustrated in four boxes below with a closer look at the national spending and financial incentives as well as efforts taking place in selected main cities (based on OECD 2012).

#### Sweden

<b>National spending and financial incentives</b>	EV owners are exempt from vehicle tax for the first five years. Reduced tax on company vehicles if they are electric. Super Clean Car Premium: Since 2012, purchasers of EVs receive 40,000 SEK (4'000 EUR) in state funding.
<b>Stockholm</b>	In May 2011, the Stockholm City Council adopted an EV/PHEV strategy with the goal of becoming a leading EV city and fossil free in the inner-city by 2030 and region-wide by 2050. This initiative is led by the Environment and Health Administration, the Stockholm Parking Company (municipal parking facilities), the Stockholm Traffic Authority (street parking), and the Stockholm Planning and Building Authority



	(fast charging and aesthetics). The city encourages development of device regulations and standards, such as clearer indoor charging regulations.
--	---

## Finland

<b>National spending and financial incentives</b>	The vehicle taxes are lower for low carbon dioxide emission vehicles. The state is investing totally about 40 MEUR to the development of electric vehicle systems. Charging stations have been installed in public places like shopping centres, office buildings, parking houses etc. No special target is set for the infrastructure. However the infrastructure is developed as a part of the national electric vehicle system programme.
<b>Helsinki</b>	Helsinki's EV program takes a "living laboratory approach" to discovering the best solutions for integrating electrical vehicles into society. This approach provides an open laboratory for the users interested in EV-related businesses. VTT Technical Research Centre of Finland is leading Electric Commercial Vehicles (ECV), a nationwide test platform for electric vehicles and their systems and components. As VTT's flagship initiative, the program seeks to introduce electric buses into Helsinki city traffic and support R&D of traction batteries.

## Netherlands

<b>National spending and financial incentives</b>	<p>A leading role for the private sector in roll out of charging infrastructure. The national government creates preconditions and tackles bottlenecks. Deployment of charging points on public and private land and cantered in focus area.</p> <p>There are several tax measures to stimulate electric mobility and up to 2015 9 million EUR is available to implement the national Action Plan. The plan contains a range of activities to stimulate electric mobility in focus areas and viable market segments, strengthen international collaboration and partnerships, and roll out communication, research and monitoring. Besides this general economic policy, the national government offers opportunities to stimulate electric mobility and aims to participate in European projects and welcomes opportunities for cooperation with other countries.</p>
<b>Amsterdam</b>	By 2015, Amsterdam is expected to have 10'000 xEVs on the roads. More and more electric cars are being produced, and although they are currently more expensive than traditional vehicles, their prices will fall as the market for them increases.

**Spain**

<b>National spending and financial incentives</b>	Direct subsidies for purchase. Changes in registration tax. Free parking in controlled parking lots. Lower electricity tax. Tax benefits: up to 75 percent of vehicle registration tax. Free recharging for electric vehicles at all municipal points on public roads until the end of 2012. Free parking in regulated areas for Barcelona residents with 100 percent EVs. New public car parks with 2 percent of the spaces reserved for electric vehicles and facilities ready for the future inclusion of points in the rest of the spaces.
<b>Barcelona</b>	The city is pursuing electric mobility solutions as a way to reduce CO2 emissions and noise, reduce oil dependency and improve efficiency, and to provide opportunities for entrepreneurial, technical and economic development.

**3.6 Conclusion**

Upon our analysis, the regional trends in electric mobility in Europe (excluding Germany) present themselves as being very heterogeneous. Some countries have a distinct strategy, while others lack any coherent approach. We have chosen five target countries (France, UK, Italy, Norway and Poland) to represent the diversity within Europe, and make special notion of the European Union as supranational player where adequate.

Electric mobility is yet state-driven. Success rates directly correlate with the amount of subsidies. The governmental intervention increases the risk that electric mobility neglects to focus on its main strengths (being cars of micro to small size with limited range), and tries to beat conventional (fossil fuel-based) car concepts where they are strong: In the field of full-size vehicles with long driving ranges.

Most countries, and also the EU, focus on the planning and provision of a national network of charging stations. It is striking that in addition, several countries with a large domestic automotive industry have discovered electric mobility as a means to indirectly subsidize this industrial sector.

For the future, based on historical evidence from the market penetration of hybrid vehicles, the full penetration of the “early adopter” market segment by electric cars will take 5 to 10 years. In this time span battery pack costs will drop by approx. 40% (de Haan and Zah 2013), while energy density (and hence driving range) will increase by 40%.

## References

- ACEA (2012) 'ACEA Tax Guide 2012', ACEA (European Automobile Manufacturers Association), Brussels, Belgium
- AMBASSADE de France à Berlin (2012): Start der Hirtzman-Mission: Förderung von Hybrid- und Elektroautos und Errichtung von Ladestationen, Available online: <http://www.ambafrance-de.org/Start-der-Hirtzman-Mission> (accessed 27.11.2013)
- asa (2011). Künftige Entwicklung der Personenwagen-Neuzulassungen in der Schweiz. Szenarien zur Entwicklung von Treibstoffverbrauch, CO<sub>2</sub>-Emissionen, Leer- und Gesamtgewicht, Hubraum und Leistung bis 2030. EBP in Auftrag der asa – Vereinigung der schweizerischen Strassenverkehrsämter. Schlussbericht vom 10. März 2011, 58 Seiten
- Autocar (2010): JLR develops gas turbine tech. <http://www.autocar.co.uk/car-news/new-cars/jlr-develops-gas-turbine-tech?page=1> (accessed 26.05.2014)
- Autocar (2012): Halo wireless charging trial launches. <http://www.autocar.co.uk/car-news/green-cars/halo-wireless-charging-trial-launches> (accessed 26.05.2014)
- Becker, A.T. (2009). Electric Vehicles in the United States. A New Model with Forecasts to 2030. Center for Entrepreneurship & Technology (CET). Technical Brief, Berkeley
- Burgess M and Harris M, 2011. Behavioural Studies and Electric Vehicles. Presentation, <http://oisd.brookes.ac.uk/news/resources/MarkBurgess20062011.pdf> (accessed 18.03.2013)
- Business Wire (2013): Research and Markets: Supercharged France to Be Key Player in Electric Vehicle Battery Production Boom. Available online: <http://www.businesswire.com/news/home/20130722005861/en/Research-Markets-Supercharged-France-Key-Player-Electric#.U3tYWcZZHfY> (accessed 20.05.2014)
- City, Mobility & Transport Laboratory (2013): Information from expert interview.
- CleanVehicleEurope (2012) 'Clean Vehicle Portal provided by the European Commission, Info per Member State', Available online: <http://www.cleanvehicle.eu/info-per-country-and-eu-policy/member-states/france/national-level>
- COM (2010) 'Sustainable Surface Transport Research 7th Framework Programme 2007-2013 Project Synopses - Volume 1 Calls 2007 & 2008, Available online: [http://bookshop.europa.eu/is-bin/INTERSHOP.enfinity/WFS/EU-Bookshop-Site/en\\_GB/-/EUR/ViewPublication-Start?PublicationKey=KI311057](http://bookshop.europa.eu/is-bin/INTERSHOP.enfinity/WFS/EU-Bookshop-Site/en_GB/-/EUR/ViewPublication-Start?PublicationKey=KI311057) (accessed 18.12.2012)
- de Haan P, Zah R (2013). Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz. vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, ISBN 978-3-7281-3487-5 (Printausgabe). Download open access: ISBN 978-3-7281-3488-2 / DOI 10.3218/3488-2
- Egbue O, Long S, 2012, Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions, Energy Policy, Volume 48, September 2012, Pages 717-729, ISSN 0301-4215, 10.1016/j.enpol.2012.06.009

- EURELECTRIC (2013) 'Map of Electric Vehicles Projects in Europe' [http://www.eurelectric.org/Dev/AmMap/InteractiveMapEurope\\_EV](http://www.eurelectric.org/Dev/AmMap/InteractiveMapEurope_EV) (accessed 21.01.2013)
- EURELECTRIC (2011) 'European electricity industry views on charging Electric Vehicles', Available online: [http://www.eurelectric.org/media/26100/2011-04-18\\_final\\_charging\\_statement-2011-030-0288-01-e.pdf](http://www.eurelectric.org/media/26100/2011-04-18_final_charging_statement-2011-030-0288-01-e.pdf) (accessed 21.01.2013)
- European Commission (2013a): HORIZON 2020. Work Programme 2014-2015. Smart, green and integrated transport. European Commission Decision C (2013)8613 of 10 December 2013.
- European Commission (2013b): Paving the way to electrified road transport. Publicly funded research, development and demonstration projects on electric and plug-in vehicles in Europe. JRC, Luxemburg, Publication Office of the European Union
- European Commission (2013c): Information from expert interview.
- European Commission (2014): Reducing CO2 emissions from passenger cars. [http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index_en.htm) (Juni 2014).
- French Ministry of Energy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020. [http://ec.europa.eu/energy/renewables/action\\_plan\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/renewables/action_plan_en.htm) (accessed 07.03.2013)
- Graham-Rowe E, Gardner B, Abraham C, Skippon S, Dittmar H, Hutchins R, Stannard J, 2012. Mainstream consumers driving plug-in battery-electric and plug-in hybrid electric cars: A qualitative analysis of responses and evaluations, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 46, Issue 1, January 2012, Pages 140-153, ISSN 0965-8564, 10.1016/j.tra.2011.09.008.
- Grønn Bil (2013): Information from expert interview.
- IA-HEV (2012) 'The Implementing Agreement for co-operation on Hybrid and Electric Vehicle Technologies and Programmes (IA-HEV), IA-HEV Member Countries', Available online: <http://www.ieahev.org/by-country> (accessed 15.11.2012)
- IEA (2009a) 'Energy Policies of IEA Countries, France 2009 Review', Available online: <http://www.iea.org/countries/membercountries/france/country,13680,en.html> (accessed 19.12.2012)
- IEA (2009b) 'Energy Policies of IEA Countries, Italy 2009 Review', Available online: <http://www.iea.org/countries/membercountries/italy/country,13687,en.html> (accessed 19.12.2012)
- IEA (2006) 'Energy Policies of IEA Countries, United Kingdom 2006 Review', Available online: <http://www.iea.org/countries/membercountries/unitedkingdom/country,13707,en.html> (accessed 19.12.2012)
- IEA (2011a). Energy Policies of IEA Countries: Norway 2011 Review. 146 pages. ISBN: 9789264098152, available online [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Norway2011\\_web.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Norway2011_web.pdf)

- IEA (2011b). Energy Policies of IEA Countries: Poland 2011 Review (English version). 190 pages. ISBN: 9789264098183. Available online: [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Poland2011\\_web.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Poland2011_web.pdf)
- IEA (2012). Energy Policies of IEA Countries: United Kingdom 2012. International Energy Agency, 30 May 2012, 180 pages. ISBN: 9789264170988 (PDF) ; 9789264170865 (print) DOI : 10.1787/9789264170988-en
- IFA - Invest in France Agency (2014): France's sectors of excellence – Automotive industry. Available online: <http://www.invest-in-france.org/Medias/Publications/225/Automotive%20Industry.pdf> (accessed 20.05.2014)
- IFSTTAR (2014): Information from expert interview
- Institut VeDeCoM (2013): Institut du Véhicule Décarboné et Communicant et de sa Mobilité – sommaire. Available online: [http://www.idf.direccte.gouv.fr/IMG/pdf/VeDeCoM-novembre\\_2013\\_sommaire.pdf](http://www.idf.direccte.gouv.fr/IMG/pdf/VeDeCoM-novembre_2013_sommaire.pdf) (accessed 20.05.2014)
- Italian Ministry for Economic Development (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020. [http://ec.europa.eu/energy/renewables/action\\_plan\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/renewables/action_plan_en.htm) (accessed 07.03.2013)
- Nemo 2013. European collaboration to prepare European electricity networks for influx of electric vehicles. Press release of the NEMO consortium, 21 Jan 2013 (accessed 17.03.2013 from <http://www.nemo-project.eu/>)
- Neumann I, Cocron P, Franke T, Krems J F, 2010. Electric vehicles as a solution for green driving in the future? A field study examining the user acceptance of electric vehicles. Presented at the European Conference on Human Interface Design for Intelligent Transport Systems, Berlin, Germany, April 29–30, 2010. Conference proceedings p. 455–453.
- Nissan Europe (2013): Information from expert interview.
- OECD (2012): EV City Casebook, A Look at the Global Electric Vehicle Movement. Available online: [http://www.rmi.org/Content/Files/EV\\_City\\_Casebook\\_2012.pdf](http://www.rmi.org/Content/Files/EV_City_Casebook_2012.pdf) (accessed 27.11.2013)
- Office for Low Emission Vehicles (2013): Driving the Future Today - A strategy for ultra low emission vehicles in the UK. Available online: [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/239317/ultra-low-emission-vehicle-strategy.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/239317/ultra-low-emission-vehicle-strategy.pdf) (accessed 26.05.2014)
- Opplysningsrådet for Veitrafikken (2013): Bilsalget i september. Available online: [http://ofvas.no/bilsalget/bilsalget\\_2013/bilsalget\\_i\\_september/](http://ofvas.no/bilsalget/bilsalget_2013/bilsalget_i_september/) (accessed 25.05.2014)
- Peters A, Dütschke E, 2010. Zur Nutzerakzeptanz von Elektromobilität. Analyse aus Expertensicht. Fraunhofer ISI, Karlsruhe, September 2010, 34 pages.
- Peters A, Popp M, Agosti R, Ryf B, 2011. Electric mobility – a survey of different consumer groups in Germany with regard to adoption. ECEEE 2011 summer study: Energy efficiency first: The foundation of a low-carbon society; proceedings p983–994

- Polk (2011). Electric Vehicle Demand Global forecast through 2030. October 2011
- Polish Ministry of Economy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020. [http://ec.europa.eu/energy/renewables/action\\_plan\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/renewables/action_plan_en.htm) (accessed 07.03.2013)
- Universität Duisburg Essen (2012): Competitiveness of the EU Automotive Industry in Electric Vehicles, Universität Duisburg Essen.
- Rolim C C, Gonçalves G N, Farias T L, Rodriques O, 2012. Impacts of electric vehicle adoption on driver behavior and environmental performance. EWGT 2012, 15th meeting of the EURO Working Group on Transportation. Published in Procedia - Social and Behavioral Sciences
- Skippon S, Garwood M, 2011. Responses to battery electric vehicles: UK consumer attitudes and attributions of symbolic meaning following direct experience to reduce psychological distance. Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 16, Issue 7, October 2011, Pages 525–531
- The Telegraph (2009): Sarkozy reveals 'grand loan' to secure France's future. Available online: <http://www.telegraph.co.uk/finance/newsbysector/banksandfinance/6812470/Sarkozy-reveals-grand-loan-to-secure-Frances-future.html> (accessed 20.05.2014)
- Transnova (2013): Information from expert interview.
- TRL (2013a): Assessing the role of the Plug-in Car Grant and Plugged-in Places scheme in electric vehicle take-up. Published Project Report 668.
- TRL (2014): Information from expert interview.
- UK Ministry of Energy (2010): National action plan for the promotion of renewable energies 2009-2020. [http://ec.europa.eu/energy/renewables/action\\_plan\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/renewables/action_plan_en.htm) (accessed 07.03.2013)
- UN ECE 2011. Main transport indicators 2010 for UN ECE countries.
- Van Essen H, Kampmann B, 2011. Impacts of electric vehicles – summary report. CE delft under a contract to European Commission, Delft, April 2011, 25 pages
- Zah, R., Binder, C., Bringezu, S., Reinhard, J., Schmid, A., Schütz, H. (2010). Future Perspectives of 2nd Generation Biofuels. Zürich, v/d/f Hochschulverlag AG



**UCDAVIS**

**PLUG-IN HYBRID & ELECTRIC VEHICLE RESEARCH CENTER**

# Regional Trends in Electromobility

Subproject within the research  
project:

Global Perspectives and LCA of  
Electromobility

- STROM-Assist

Regional study North America

Funded by the German Federal Ministry of Educa-  
tion and Research

Funding code 13N11855

**Regional study**



**Contributing authors:**

*Dr. Tom Turrentine*

PH&EV Research Center  
University of California, Davis  
[tturrentine@ucdavis.edu](mailto:tturrentine@ucdavis.edu)

*Dahlia M. Garas*

PH&EV Research Center  
University of California, Davis  
[dmgaras@ucdavis.edu](mailto:dmgaras@ucdavis.edu)

# Contents

- SUMMARY ..... 1**
- 1 THE PROJECT STROM-ASSIST ..... 2**
  - 1.1 PROJECT BACKGROUND: STROM AND STROM-ASSIST ..... 2
  - 1.2 SCOPE OF THE SUBPROJECT “REGIONAL TRENDS IN ELECTRO MOBILITY” ..... 2
  - 1.3. METHODOLOGY REGIONAL STUDY NORTH AMERICA ..... 3
- 2 THE STUDY REGION: USA ..... 5**
- 3 REGIONAL TRENDS IN ELECTRO MOBILITY IN USA ..... 7**
  - 3.1 US GOVERNMENT / POLICIES / PUBLIC INFRASTRUCTURE ..... 10
    - 3.1.1 *Actors* ..... 10
    - 3.1.2 *Objectives and Strategies* ..... 22
    - 3.1.3 *Financial support and incentives* ..... 22
    - 3.1.4 *Power generation, supply and storage* ..... 24
    - 3.1.5 *Provision of infrastructure* ..... 27
    - 3.1.6 *Results of the interviews with stakeholders: opinions on government activities and policies* 29
  - 3.2 RESEARCH FUNDING AND INSTITUTIONS ..... 33
    - 3.2.1 *Actors* ..... 33
    - 3.2.2 *Research Funding* ..... 35
    - 3.2.3 *Status Quo of R&D landscape* ..... 37
    - Research on vehicles, vehicle concepts, powertrain and transportation concept: The Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE)* ..... 37
    - 3.2.4 *Environmental Protection Agency* ..... 47
    - 3.2.5 *Research on vehicle technology and vehicle components* ..... 47
    - 3.2.6 *Research on charging technology and infrastructure* ..... 49
    - 3.2.7 *Research on business models and mobility concepts* ..... 50
    - 3.2.8 *Results of the interviews with stakeholders: opinions on the R&D* ..... 50
  - 3.3 ECONOMY AND INDUSTRY ..... 51
    - 3.3.1 *Actors* ..... 51
    - 3.3.2 *Vehicles, vehicle concepts, powertrain and transportation concepts* ..... 52
    - 3.3.3 *Charging technology and infrastructure* ..... 54
    - 3.3.4 *Business models and mobility concepts* ..... 59
    - 3.3.6 *Results of the interviews with stakeholders: opinions on EV Industry and Economy* ..... 62
  - 3.4 CONSUMER AND MARKET ..... 64
    - 3.4.1 *Market development of electric vehicles up to now* ..... 64
    - 3.4.2 *Market perspectives on development up through 2025* ..... 67
    - 3.4.3 *Results of the interviews with stakeholders: opinions on the EV market* ..... 69
  - 3.5 CONCLUSIONS ..... 70
- REFERENCES ..... 72**

## List of tables

Table 1: Overview about the interview partners of the research trip to North America .....	3
Table 2: List of States with PEV purchase incentives .....	23
Table 3: List of Utilities Active in the PEV Industry.....	27
Table 4: List of Key Government Research organizations .....	33
Table 5: List of Key Research focused non-profit groups .....	34
Table 6: List of Key Research and Consulting firms .....	34
Table 7: List of Key Research Universities.....	35
Table 8: ARRA Awards for vehicle battery and component manufacturing .....	42
Table 9: Table of Regions receiving EV Readiness Project funding (Frades, 2014) .....	44
Table 10: Research Organizations studying charging technology and infrastructure.....	49
Table 11: List of participating Automakers .....	51
Table 12: List of engaged Automotive supplier companies.....	51
Table 13: Current EV and PHEV offerings in the US market.....	52
Table 14: Upcoming plug-in vehicle models (Autonews, 2013) .....	52
Table 15: EVSE and Charging Network Provider Companies in the US. ....	54
Table 16: Major Charging Network providers.....	59
Table 17: New Mobility Solutions offered in the US .....	60

# List of figures

Figure 1 US Crude oil production, 1973 - 2013..... 13

Figure 2: Electricity generation by fuel, 1990 - 2040 ..... 14

Figure 3: ZEV production requirements through 2025 (from the ZEV mandate) ..... 19

Figure 4: On-road light duty vehicle fleet by vehicle type through 2050 (from ZEV mandate)..... 19

Figure 5: Charging Levels in the United States .....28

Figure 6 DOE research in hybrid, plug-in hybrid and battery electric technology development ..... 36

Figure 7: Tesla Supercharger network in CA .....62

Figure 8: 2013 PEV sales data gathered from <http://ev-sales.blogspot.com> & <http://insideevs.com>..... 64

Figure 9: Cumulative US Plug-In vehicle sales. 2010 – 2013 (from EDTA)..... 65

Figure 10: PHEV Sales through 3rd quarter, 2013..... 67

Figure 11: BEV sales through 3<sup>rd</sup> quarter 2013 ..... 67

Figure 12: Potential Market Growth through Vehicle and Consumer Generations ..... 68

## Abbreviations

BEV	Battery Electric Vehicle
CA	California
CAFÉ	Corporate Average Fuel Economy (standards)
CARB	California Air Resources Board
CEC	California Energy Commission
CVT	Continuously Variable Transmission
DOE	United States Department of Energy
EPA	Environmental Protection Agency
EVSE	Electrical Vehicle Supply Equipment
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
GHG	Greenhouse Gas Emissions
GVWR	Gross Vehicle Weight Rating
HDV	Heavy Duty Vehicle
HEV	Hybrid Electric Vehicle
HOV	High Occupancy Vehicle (or carpool) lanes
ICE	Internal Combustion Engine
LDV	Light Duty Vehicle
LEV	Low Emission Vehicle
MOU	Memorandum of Understanding
NHTSA	National Highway Transportation and Safety Administration
OEM	Original Equipment Manufacturer (Automotive companies)
PEV	Plug-in Electric Vehicle, including both BEVs and PHEVs
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
PZEV	Partial Zero Emission Vehicle
SAE	Society of Automotive Engineers (governing vehicle standards)
SULEV	Super Ultra Low Emission Vehicle
TOU	Time of Use (used in electricity rates)
ULEV	Ultra Low Emission Vehicle
QC	Quick Charging (also sometimes referred to as Fast Charging)
WI	Wuppertal Institute
ZEV	Zero Emission Vehicle

## Summary

This report presents the state of the electric transportation industry and market in the United States as of the end of 2013. In this report, we look at the historical context of regulations in the US, as well as specifically in California, which is leading not only the US, but also the world in terms of plug-in electric vehicle adoption.

While electric vehicles have been around since the turn of the last century, they didn't gain a strong base of support until the air quality problems in Los Angeles lead to the creation of the California Air Resources Board in 1967 (<http://www.arb.ca.gov/html/brochure/history.htm>) and the fuel crises of 1980 reinvigorated automaker research into electric drive technologies. Since then, funding, research, and support for electric drive vehicles has gone through several up-and-down cycles. The current state of the market for electric drive vehicles is the result of increasing national fuel economy standards and the continued push for Zero Emission Vehicles (ZEV) in California and several other states who have adopted the ZEV mandate, as well as improvements in the technology, increasing fuel costs and awareness of the impacts of greenhouse gas emissions.

The current market is strong in certain regions, and currently growing with the addition of each new plug-in vehicle model offered onto the market. The incentives, both monetary and non-monetary, offered by states, regions, and the federal government seem to be playing a significant role in the launch of this early market, according to buyers. This has led to specific markets in certain states with much higher PEV adoption rates than surrounding areas or states, due to the variability in incentives, as well as other factors, such as weather, motivations, and charging infrastructure. We look at the history of hybrid vehicle adoption in the US as a potential model for the path that plug-in vehicles may take, and consider the additional variables that may accelerate or decelerate the adoption. In the US, those factors that are likely to help accelerate the market for PEVs are: increasing federal fuel economy standards, California and other states adopting even stricter emissions requirements for vehicles, increasing fuel prices, and availability of incentives for participants in the early PEV market. Those factors that may temper the growth of the market include: variability in political support for electromobility, the continued high cost of batteries and components for plug-in vehicles compared to internal combustion engine vehicles, tapering of financial incentives, inconsistent charging infrastructure, and a lack of experience or understanding of PEVs compared to conventional vehicles by the broader car-buying population.

# 1 The Project STROM-Assist

## 1.1 Project background: STROM and STROM-Assist

The accompanying research project STROM-Assist aims at identifying key technologies for the deployment of electric vehicles in the future. Basis for the accompanying research is the funding program by the German Federal Ministry of Education and Research called STROM, in which 18 electric mobility projects are involved<sup>1</sup>. The total program has a funding sum of around € 180 million. The project consortia include vehicle manufacturers, tier-1 and tier-2 suppliers, universities and research institutes. The program has a strong approach towards applied concepts and practices with a high market potential in the future. The STROM-projects cover the following categories (technology cluster):

- Vehicle Concept
- Lightweight Construction
- Electric Engine
- Thermo Management of Batteries and Motors
- Power Electronics
- Range Extender

The projects in this program will focus on the technical development of such technologies. STROM-Assist accompanies these projects by reflecting national research efforts within the context of developments in electro mobility in different global regions.

## 1.2 Scope of the subproject “Regional Trends in Electro mobility”

The subproject “Regional Trends in Electro mobility” aims at identifying and analyzing major trends in the field of electro mobility. The trend analysis will monitor research effort and upcoming technologies, policies, products and market developments in different focus regions around the world continuously to enable a systematic analysis of global trends. The regional trend analysis for electro mobility is a major keystone for the project success and therefore cooperation with renowned international institutions in the field of electro mobility is foreseen.

Objects of analysis in the subproject “Regional Trends in Electro mobility” include various forms of battery-electric, road-based vehicles ranging from e-bikes to electric buses, while the focus is on electric passenger cars. The analysis covers vehicles that have electric assisted drive systems as well as vehicles that derive all power from batteries. The focus is on all-electric passenger cars (BEV) and plug-in hybrid electric vehicles (PHEV). Mild hybrids and full hybrid are only included in the analysis if these vehicle types are of high relevance in the study region. Furthermore, associated technologies, infrastructures, business models and mobility concepts are under investigation. The analysis covers not only well-known vehicle technologies and mobility concepts, but also includes innovative approaches for electro mobility. At some points it may be necessary to include other vehicle technologies and mobility concepts in the analysis to assess the role of electro mobility. The term “vehicle” subsequently will address road-vehicles only.

---

<sup>1</sup> Information on programs funded by the Federal Ministry: <http://www.bmbf.de/en/14706.php>

### 1.3. Methodology Regional Study North America

The results presented in this document are based on desktop research, on a review of scientific literature and grey literature as well as on interviews with local stakeholders. A researcher team consisting of representatives of the German Aerospace Center and the University of California Davis conducted the interviews in September and October 2013 in North America. The consultation of local experts served to obtain information that complemented the result of the literature review. The interviews provided additional information especially concerning ongoing developments and related to topics, which are insufficiently covered in public documents. In addition, current experiences and expert assessments and opinions on the further development of electric mobility in North America were collected. The focus of our study was on the situation of the United States, since interviews were also carried out with experts from Canada the results of these interviews are included in the study.

The interviews within the framework of the regional study North America focused on four branches:

- Policy framework and strategies (e.g. funding programmes and budgets, standards and regulations, infrastructure and electricity industry, adequacy of the current policy framework)
- Focus areas of research and development (e.g. research topics, organisation of the electric mobility research, cooperation between different actors)
- Economy and industry (e.g. main manufacturers of electric vehicles, strategies and business models in the broader sense)
- Consumer and markets (trends, acceptance of electric vehicles, current users)

Representatives of 18 different institutions were interviewed. Among these institutions were car manufacturers, associations or respective umbrella organisations, utility providers, research institutes, ministries and agencies (see Table 1). Often, experts from different departments within the respective institutions took part in the interviews.

Table 1: Overview about the interview partners of the research trip to North America

<b>Institution</b>	<b>Department</b>	<b>Sector</b>
BMW Group	Governmental Affairs, Office California	Industry
City Car Share, San Francisco	eFleet Program	Industry
EV Grid	Electric Vehicles, Battery Management Systems, Vehicle to Grid / Grid Integrated Vehicles (V2G/GIV), Grid-tied Stationery & Mobile Energy Storage	Industry
Ford Motor Company	Vehicle Electrification and Infrastructure	Industry
General Motors	Global Energy Systems & Infrastructure Commercialization	Industry
Greenlots	Electric vehicle charging networks	Industry
Mitsubishi Motors	Mobile Emissions, Regulatory Affairs &	Industry



North America	Certification	
Mercedes-Benz North America	Fuel Cell Vehicle Operations USA, Group Research & Advanced Engineering	Industry
Google Inc.	EV Initiatives	Industry
Ministry of Transportation, Ontario	Sustainable Transportation Office, Advanced Manufacturing Branch	Policy
U.S. Department of Energy	Vehicle Technologies Office, Vehicle Technologies Program, Energy Efficiency and Renewable Energy	Policy
Electric Mobility Canada	-	Policy
Plug-In Electric Vehicle Collaborative	Communications & Business Development	Policy
Center for Climate and Energy Solutions	Transportation Initiatives	Research/Policy
California Polytechnic State University	Electric Engineering Department, Electric Power Institute	Research
Stanford University	Center for Automotive Research at Stanford (CARS)	Research
The National Academies	Energy and Environmental Systems, Environmental Studies and Toxicology	Research
University of California, Davis	Institute of Transportation Studies	Research

The results were reviewed and structured according to the four fields of investigation. The outcomes of the interviews were used anonymously in the regional study and are summarized at the end of each thematic field.

## 2 The Study Region: USA

As of March 2014, total plug in vehicle registrations for the US are about 230,000 units (not including two wheel or low speed vehicles). Sales in 2013 were 96,000 units, about .65% of the market. The market is very small but just about doubling each of the last two years. About 1/3 of these sales are in California, whose regulations and technology sector are pushing electrification.

### USA background

The United States is a highly urbanized, industrial society, with a strong history of “automobility.” The electric vehicle industry and market that is developing in the United States (particularly in California) in the last few years is the outcome of that successful automobility, a need for radical reductions of tailpipe emissions, demand for carbon reduction and energy independence.

The history of industrial and social development in the United States centers on the story of automobile manufacturing, as well as the social mobility the automobile offers to Americans. The automobile figures centrally in the development of American cities, their rapid growth at the turn of the 19<sup>th</sup> to the 20<sup>th</sup> century, growing incomes for the workers in the steel and automotive sectors, as well as the building of roads. Automobile ownership soared as Americans moved from the country to the city, but not city centers, rather given the individual mobility that Americans were afforded by the auto, American cities spread out in a suburban pattern. One city that set the pattern for this type of auto-centric lifestyle was Los Angeles. Los Angeles grew quickly in the Post-World War I period, by 1927, the ratio of car ownership was already 1 to every 3 citizens. In older American cities, such as Chicago, the ratio was significantly lower, 1:9, with more dense urban centers. At this time European cities, for example Berlin, had only 1 car per 400 residents (Brilliant 1989).

Initially, American cities had trolleys and trains systems that allowed radial growth, and the subdividing of land on the urban boundaries. Car culture encouraged in-fill between these spoke like structures. In Los Angeles, train systems were eventually replaced by road systems for buses and cars, with freeway systems developing in the 1950s. Broad boulevards were cut through the downtown areas, and freeways were developed to connect not only hub like structures between the downtown and suburbs, but also to connect industrial areas around the periphery of the city (Bottles 1987).

Along with this new urban form, a new lifestyle grew, in which activities, including shopping, work, schools, recreation, dining, movies and vacations became increasingly accessed by personal vehicles. In the 1920's the cost of vehicles, especially used vehicles dropped so low as to allow not only middle class but also, working class families to have automobiles. Relationships also became shaped and reliant on vehicle travel. Americans in these suburbs became increasingly mobile, moving to new neighborhoods, away from family and friends. Lives became regional, in which freeways accessed schools, doctors, friends and even places of worship.

Automobiles figured so strongly in American culture that family life as well as personal development has often centered on learning to drive, and eventually owning a vehicle. Minority rights in society have developed closely around the vehicle, and the ability of women or minority ethnic groups to own a vehicle was closely tied to having opportunities for work, and

access to education. As a result, transit systems in the United States declined rapidly after World War II. The war itself, along with the continued immigration, and rapid economic growth cemented this new type of suburban city. Housing and vehicle costs dropped and incomes grew rapidly.

The hegemony of the automobile lifestyle spread through most American cities, with the exception of cities such as New York and San Francisco, which given their watery boundaries, maintained older patterns of density. These cities still have subways, trolley systems, and high density walkable neighborhoods. Most other cities sprawled, getting less dense, and often their cores became areas of poverty, with fewer jobs, older neighborhoods. Wealth fled these cities, moving to suburban regions, some of them into gated and exclusive areas. Workers also left the cores, to get away from the poverty and racial tensions in the core areas.

The automotive sector, including making steel, plastic, and other materials, parts, manufacturing, building roads, servicing vehicles, financing vehicles and roads, selling vehicles, even repairing and scrapping vehicles has been a core industry and jobs provider for American industrialization. Financing for example, made it possible for Americans to pay for increasingly large, powerful and technically sophisticated vehicles. The oil industry also grew around this auto dependent culture. American oil companies developed regionally, in Pennsylvania, Texas, Oklahoma, and California. Refineries were built near ports, like Los Angeles, Seattle, New Jersey, and chemical industries grew near these refineries.

Cementing the American love for and dependency on vehicles was the development of the federal interstate highway system. Beginning in the 1950s, this project sought to connect American cities with a system of 47,000 miles of high speed freeways (as opposed to toll roads) In the older Northeast and Midwest, these freeways connected more densely developed and industrial regions, supplementing the trains and canals and lakes that move goods and materials. In the West, the freeway system connected cities across a more sparse landscape. While initially Americans favored taxes on gasoline to expand the freeway system, taxes remained much lower than in other countries.. Federal as well as state taxes on gasoline remained stable and low over decades, fluctuating in “real price” between \$1.50 and \$3.80 between 1976 and 2014 (EIA Real Petroleum Prices, 2014). One feature of the American road system is that most of the construction, and maintenance is conducted by individual States, the federal government collects revenues from gasoline and diesel sales, and returns it to state departments of transportation, who build and maintain the roads.

Thus, American lifestyles and economies are highly dependent on automobiles. While efforts to change that are part of planning goals of most cities, for which freeways and congestion are increasingly a problem, and the US economy has diversified since the late 20<sup>th</sup> century, automobiles continue to be a dominant sector of the economy and essential in most situations to access to work, shopping, recreation, and emergency services. Train and bus systems are poorly developed, except in a few dense cities and carry a small number of riders. Most commuters in the United States who use trains or subways to commute are heavily concentrated in a few major metropolitan regions. New York City accounts for one third of all transit trips in the US. Thus, while reductions in vehicle use, and greater densification of cities are important features in a more energy efficient system, passenger vehicles will continue to be the dominant players in the US transportation system for many years.

### 3 Regional trends in electro mobility in USA

As presented above, American infrastructure for transit, walking, trains, buses, walking and biking are underdeveloped except in a few locations and cities. Therefore electrification of vehicles offers a pathway toward significant carbon reductions, reduced dependency on petroleum fuels, and improving local air quality.

Developing a sustainable electric vehicle industry is a complex, long term, multi-sectorial undertaking, involving numerous actors in industry and government. It is unlikely that an electric vehicle industry would develop without a coordinated government and industry effort, given the overall maturity of the conventional market, the many hurdles electric vehicles face in meeting costs, reliability and market volume.

Battery powered electric vehicles (BEVs) were a significant portion of the vehicle market early in the 20<sup>th</sup> century, prior to easy availability of gasoline, starter motors for gasoline powered vehicles, and good road systems that encouraged longer trips away from cities

Electrics used lead acid batteries, were mainly found in dense urban situations, and were the preferred means of travel for wealthy women, who could have vehicles charged and delivered by electric services. Gasoline vehicles were exceedingly dirty, noisy, and injuries were common when starting with the engine crank. By the 1930s, electrics disappeared from the market in the United States (Schiffer M. 1994).

While a few auto companies conducted limited research on BEVs in the 1950s and 60s, it was not until the oil crisis and worsening air quality, primarily in California, and particularly in the Los Angeles basin in the 1970s, that Americans and auto companies began to reconsider electric vehicles. However, batteries had not progressed much, and energy densities were not sufficient for modern vehicles, which weighed over two thousand pounds on average and seated five people. Most battery powered vehicle experiments had to focus on small vehicles, with low speed DC drive systems. At this point, researchers in the Department of Energy in the US began to experiment in earnest in electric drives (Riley, R. 1994).

Los Angeles air quality in the 1960s and 1970s had deteriorated so much, that smog alerts were becoming a regular feature of life, and the snow capped mountains and beautiful inland valleys were clouded in a semi-permanent gray-brown haze, or smog, – occasionally clearing. The problems with air quality and associated lung diseases prompted the development of the Clean Air Act, signed by President Richard Nixon, whose hometown of Wittier had some of the dirtiest air in Los Angeles. However, the problems of Los Angeles were comparably worse and intractable compared to most other cities, given the trapped air (inversions) in the region and its intense quantity of vehicles.

To deal with its special problems (some other parts of California have similar mountain bounded air basin issues), California was given special authority under the clean air act to regulate air pollution, in particular from automobiles. Governor Ronald Reagan formed the California Air Resources Board (CARB) to measure, regulate and control emissions. In fact, California, over the next decade, would tighten car pollution regulations to the point it became embattled with car companies and the federal government.

Even with great progress in emission controls, regulators and scientists at the air board determined in the 1980s that to finally clean up air in California's cities would require cars to

have Zero Emissions. It was at this time some maverick engineers would show regulators a very advanced electric vehicle that would encourage them to move ahead with a Zero Emission Vehicle policy goal.

A central moment and event in the development of electric mobility in the United States was the development of a lightweight, extremely aerodynamic, powerful two seat, AC motor driven, vehicle called the Impact. It was developed at an advanced, largely autonomous division of GM in Los Angeles, under the guidance of Paul MacCready, an aeronautical inventor, and a team of electrical engineers. Paul MacCready was a visionary, who was famous for making and flying a human power aircraft over the English Channel. He assembled a team of electrical engineering experts who created a fast, sleek, battery powered, extremely lightweight and aerodynamic vehicle (Cronk S. 1995). Additionally this vehicle introduced the use of computers in controls of the battery systems and motors. A team of air quality regulators from the California Air Resources Board were introduced to the Impact in 1990 and Roger Smith, the CEO of General Motors declared the Impact “the future” on Earth Day 1990. The surprising power and performance of this vehicle encouraged California regulators at CARB to develop the Zero Emission Vehicle (ZEV) mandate in 1990. The ZEV mandate required the six major vehicle manufactures to sell in 1998, 2% of their vehicles as ZEVs, increasing to 5% in 2001. (G. Collantes<sup>2</sup> 2006) These were primary sales leaders in California, with sales of over 75,000 per year in California and included GM, Ford, Toyota, Honda, Chrysler and Nissan. This law stunned automakers, which were already embattled with regulators in California over the low emissions requirements.

The only drive train with this possibility was the electric vehicle (although this would also encourage development of fuel cell vehicles). Car companies would also develop hybrid and eventually plug-in hybrids partly in response to this bold demand, alternatives to the costly, and range limited electric, which they thought would have very few buyers,

The ZEV mandate had a multi-year build-up in which automakers would develop prototypes. CARB would hold hearings about whether such vehicles would indeed sell and whether the technology was ready, and cost goals (particularly for batteries) could be met. Much of the focus was on batteries, whether they could really last, would store enough energy to power the vehicle for required speeds and distances, and would be cost effective. In 1996, ARB realized that the vehicle technology was not ready for market in 1998, and worked to develop a compromise with automakers.

As a result of the 1996 hearings, and in private meetings, the Air Resources Board postponed the ZEV mandates, and instead decided to conduct a market and vehicle demonstration, a suggestion Toyota had made in 1990. A Memorandum of Agreement was developed. With small numbers of pre-market vehicles, including an update of the GM Impact, called the EV1, and other vehicles from Chrysler, Toyota, Honda, Ford, and Nissan automakers developed small pre-commercial vehicle programs

---

<sup>2</sup> Collantes, Gustavo O. (2006) The California Zero-Emission Vehicle Mandate: A Study of the Policy Process, 1990-2004. Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, Research Report UCD-ITS-RR-06-09

There were no charger standards, and unfortunately automakers split between two types of charger systems, Toyota and GM using inductive paddles and Ford, and Chrysler and Honda using conductive plugs. This resulted in the “charger wars”, which was not resolved until the Society for Automotive Engineers (SAE) rules on J1772 in 2009. During this period, a new battery technology, nickel metal hydride, was scaled up for large format applications at the Ovonic Battery Company. This battery was the result partly of the Department of Energy Battery research program and was installed in a number of GM EV1s. NiMH would go on to be the battery chemistry used in the now successful Prius hybrid platform as well as all other gasoline-electric hybrids currently on the market. Lithium-ion chemistries were becoming popular in consumer electronics, but at the time, Nissan was the only maker to use a lithium-ion battery in a vehicle, the Altra.

Automakers argued that these vehicles were not ready for market. CARB backed down from its demands, and postponed the mandate. The OEMs for the most part shut down their programs and shifted their research focus largely to hybrid technologies and fuel cells, convinced that batteries were not ready for full battery electric vehicles. There were a few other demonstrations of BEVs in the US outside California, notably the North East, in Boston and Vermont where electrical engineers, notably Solectria Corporation were developing new technologies, such as regenerative braking systems, heat pumps for interior heating and cooling.

### **Development of Plug-in Hybrid Vehicles**

In the post ZEV mandate era, a few notable happenings were the development of the Nissan hyper-mini, which used lithium ion batteries; 17 of these vehicles were demonstrated in California at UC Davis. This period was mostly marked by surge a in interest and development of fuel cell hybrid electric vehicles by a number of auto companies and governments, in particular GM, Honda and Daimler.

The next most notable event in the USA for electric mobility was the development of plug-in hybrid electric vehicles. Several OEMs, including Volvo and Volkswagen, tinkered with PHEVs and promoted these designs in the 1990s. Since the early 1990’s Dr. Andy Frank at UC Davis had been developing prototype plug-in hybrid vehicles, vehicles with an integrated electric drive train, with power from a grid charged battery and gasoline motor to both power the vehicle and charge the battery so as to overcome the range limitations. These proof-of-concept vehicles were developed for the US DOE sponsored student competitions, and were parallel, power-split vehicles employing an electric motor, very small gasoline engine, two clutches, and either a manual or continuously variable transmission (CVT). They were able to achieve fuel economies nearly double the conventional vehicle, and operate in an all-electric mode for 40-60 miles (Johnston et al, 1998, Meyr et al, 2002).

In 2004, enthusiasts of Frank’s designs were able to put a larger battery in Toyota Prius hybrid vehicles and create a practical, plug-in hybrid vehicle. This vehicle demonstrated the potential of plug-in hybrids to power companies, such as Southern California Edison, the Electric Power Research Institute, and Argonne National Labs. A coordinated research project among these partners encouraged a new round of interest in grid-connected vehicles, primarily in California. In 2007, GM, following interest in this type of technology, and discouraged with BEVs, began a program to develop a new PHEV with 40 miles of all electric range, the Chevy Volt.

### 3.1 US Government / policies / public infrastructure

#### 3.1.1 Actors

##### *Federal*

The Department of Energy is the primary actor in the Federal government, carrying out research, research support, loans to entrepreneurs and support of market development. The Environmental Protection Agency is the second most important federal actor: the role of the EPA is to enforce the Clean Air Act and other Environmental Laws, many of them originating in the 1970s. EPA in effect regulates the tailpipe emissions of vehicles and power companies, as well as industrial emissions. The Department of Commerce is the agency which distributes tax credits in support of the PEV market.

##### *State*

The most important regional actor is the State of California, primarily the California Air Resources Board, which has regulatory power over automakers, and distributes cash rebates to electric vehicle buyers. Second in California is the California Energy Commission which award research grants, and importantly implementation grants for electric vehicle planning activities, infrastructure development. Third most important public actor in California is the California Public Utilities Commission that regulates the power industry. This agency determines the price of electricity for private homes, businesses, and public charging companies. In recent years, the governor's office and the legislature have become active in this arena; notably California Governor Jerry Brown has issue an executive order for CA agencies to advance the plug-in vehicle market.

Next are the power companies. The United States has over 2000 electric power companies, some working across big regional sectors, and some much smaller, serving only local and rural communities, making the actions in this sector exceedingly difficult to coordinate. In particular, the auto companies are not accustomed to coordination with all of these power companies. The Electric Power Research Institute does coordinate a program of cooperation between GM and over 200 utilities, Moreover; there are both private and public utilities. It will be common for electric vehicle buyers to live in one company's area, work in another company's territory. Nevertheless, this actors are important in local and regional context, and shape rates. In particular, some of these companies will face challenges from the added load of charging, in particular, the Western States power companies are forced to size their power demands around air conditioning loads at peak high temperature events in the dry desert summer afternoon sand evenings (including of course California). Thus, adding load from charging demand at these times is a problem (unless off set by solar). Electric vehicles can be an asset or problem depending on local programs.

Additionally, there is a set of Zero Emission Vehicle compliance states in addition to California. The Clean Air Act allowed for other states to choose California's compliance program, which are out of compliance with the Clean Air Act standards for air quality in their communities. The governors of 8 states—California, Connecticut, Maryland, Massachusetts, New York, Oregon, Rhode Island and Vermont—have signed a memorandum of understanding (MOU) to take specific actions to put 3.3 million zero emission vehicles on the roads in their states by 2025, along with the refuelling infrastructure required to support those vehicles.

Zero-emission vehicles include battery-electric vehicles, plug-in hybrid-electric vehicles, and hydrogen fuel-cell-electric vehicles; the technologies can be applied in passenger cars, trucks and transit buses.

Some states, notably heavily Democratic strongholds, such as California or New York have taken stronger positions on carbon reduction within their state and local jurisdictions. In California, there is a new set of laws, aimed at city planning, to reduce Vehicle Miles Traveled. including:

#### *Cities*

Notably, some large cities and city regions in the United States have taken a position to promote electric vehicles, primarily through efforts of their mayors, in cooperation with regional partners. Some notable cities in this regard are Portland Oregon, San Francisco, Los Angeles, San Jose, Austin Texas and Seattle Washington. Each of these cities has taken special actions to encourage electro-mobility.

#### *Air Quality Control Districts*

Another set of important actors in the USA are regional air quality control districts. Often these are better funded than cities, and can distribute funds and develop programs that cities are unable to fund. The Bay Area Air Quality Management District, and the Southern California Air Quality Management District are well-funded regional partners that are funding things like infrastructure development, consumer outreach and even purchase incentives for PEVs. The San Joaquin Air Quality Control district has offered incentives to PEV buyers larger and in addition to the State Incentives.

#### *Regional planning agencies*

Each city region in the United States has this type of planning organizations for transportation to plan and fund roads, transit and regional programs. These regional actors usually have boards comprised of majors and other elected local politicians, and have staffs that develop and update regional plans that received federal funding from taxes on gasoline. These agencies and government coalitions can upgrade local plans to included need infrastructure and regional plans than can incentivize electric transport. In California, such organizations have recently been included in required planned reductions of greenhouse gases; electrification of transportation is one of the major strategies for these plans, along with reductions in travel, and energy efficiency in transportation.

#### *Regional and Municipal Transportation Commissions*

These organizations are the ones who operate regional transit services, including buses, light rail, local trains and things like rideshare programs. These can be another source of funding and support for electrification.

#### *Public Private Collaborative Organizations*

California has formed a public private collaboration called the Plug-in Electric Vehicle Collaborative. (<http://www.pevcollaborative.org>) This organization includes representatives from automakers, state agencies, power companies, charging network suppliers, universities and non-profit organizations. The collaborative meets three times per year to discuss challenges and opportunities, and cooperate on shared problems and also lead public events, such as a



recent Governor-industry event in San Francisco, in which Governor Jerry Brown met with industry leaders who announced new initiatives by their companies.

### **3.1.1.1 United States Federal Government**

The United States Department of Energy (DOE) has been the federal government agency involved with the development of electric vehicles, through primary research and development programs beginning as far back as the first oil crisis in the 1970s. The US government was primarily interested in battery electric vehicles to reduce American's growing dependence on imported oil, primarily middle east and more recently Venezuelan heavy crude (used for heating oil in the North East United States), which has been seen as a security threat to the US economy. Initial programs, under the Carter presidency, financed interest in biofuels and batteries. These programs were cut during the Reagan years, but with the Clinton presidency, a new program, initiated by Vice President Al Gore, increased funding, and brought the major auto companies into developing high efficiency diesel hybrids. Additionally, spurred by California's ZEV program, the DOE increased research in batteries.

The postponement of the ZEV program and the election of Republican President George Bush shifted efforts to hydrogen fuel cell vehicles (FCEVs) for several years, dividing funding among many R&D programs for combustion, fuel cells, plug-in hybrids and batteries. The difficulties of developing a hydrogen infrastructure and hurdles in vehicle costs have delayed FCEVs from immediate commercialization.

The recession of the past few years, financial rescue of GM, soaring fuel prices, and Obama administration combined to encourage commitment to a new energy economy through stimulus funding. An integrated set of policies were put together to initiate a new battery industry in the United States, electric vehicle manufacturing capabilities, and the development of a vehicle charger industry and rollout of charger infrastructure. A few start-up PEV makers, notably Tesla, Coda and Fiskar received loan guarantees from the US DOE in economic stimulus programs. The success and failures of these firms is being closely watched. Tesla appears to be a great early success at selling luxury vehicles, while the others have failed. However, it is still early for Tesla, who has only one assembly plant, and is still at a boutique level of production around 25,000 units per year.

While the Obama Presidency remains committed to electrification, a recent domestic oil and natural gas boom, resulting from new drilling technology has shifted the energy landscape in several important ways. First, United States has reduced its percentage of imported oil to the lowest percentage in decades. Second, this oil boom has slowed the rise in oil prices, and natural gas, at almost one half its price a few years ago, has resulted in a dramatic shift in the electricity sector from coal to natural gas.

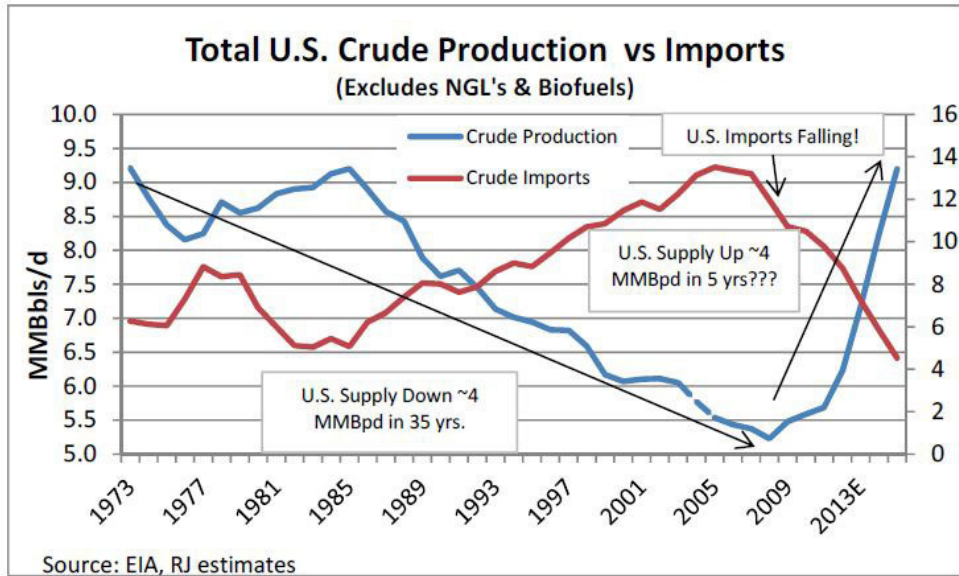


Figure 1 US Crude oil production, 1973 - 2013

The effects of this dramatic oil boom are just beginning to be felt; some early impacts counting against the success of electric vehicles are a somewhat more stable price of gasoline in the USA (varied from \$3.79 high to a \$3.30 low) which with the recovering economy has sent American's back to buying larger vehicles in late 2013.

On the positive side for EVs, the natural gas boom is resulting in lower priced electricity in 2012, thus shifting some electricity production to natural gas (although prices of natural gas have risen in late 2013 and early 2014 due to a cold winter and high demand for natural gas).

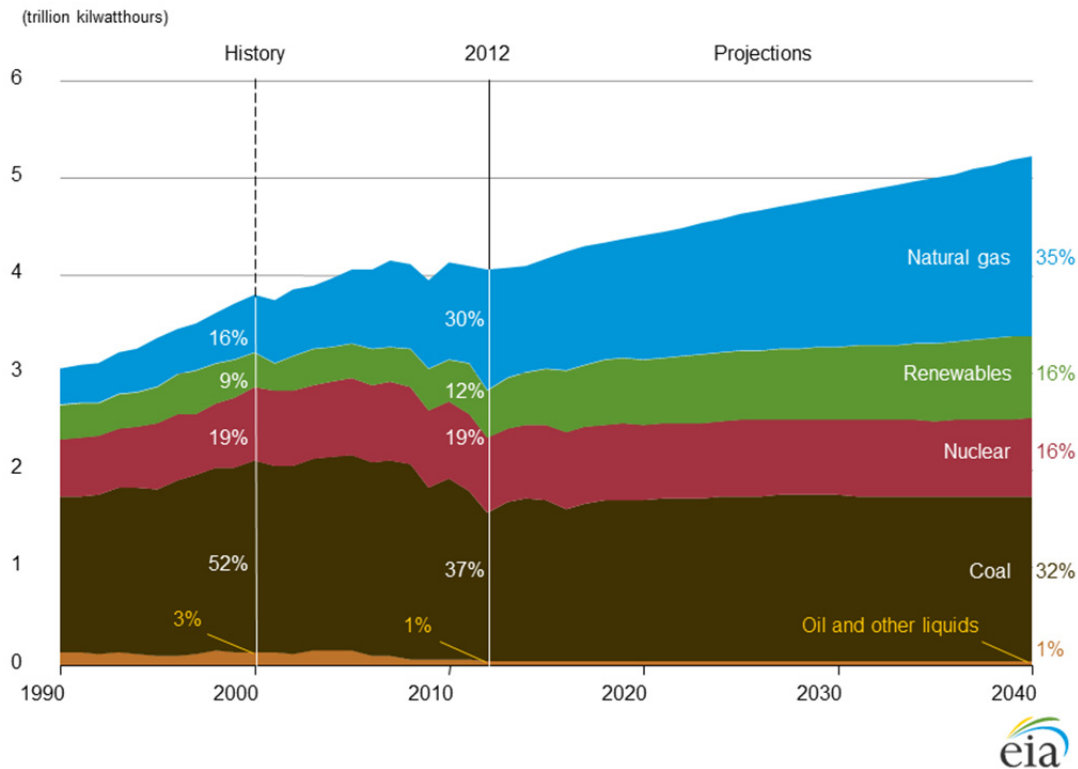


Figure 2: Electricity generation by fuel, 1990 - 2040

**3.1.1.1.1 Corporate Average Fuel Economy (CAFE) standards**

In 1975, after the 1974 oil embargo, the United States issued a number of laws design to increase fuel efficiency of vehicles, to reduce USA dependence on imported oil, primarily oil from the Middle East. The foremost of these were the CAFE standards, which induced the automakers to a higher average fuel economy.

CAFE standards were revised in July 2012, with tough new goals for 2025, the most famous of which is a 54 mpg average requirement for each manufacturer. Actually, this standard allows for improvements in air conditioning and other systems, thus the real mpg goal is more like 49 mpg. The National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) regulates CAFE standards and the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) measures vehicle fuel efficiency, developing the fuel economy ratings and labels.

Notably, California’s Low Emission Vehicle (LEV) and ZEV programs are now coordinated with the Federal Environmental Protection Agency (EPA) emissions and CAFE goals. There is considerable debate about whether the auto companies will need to use electric vehicles to meet their CAFE requirements. The EPA is the agency that certifies the fuel economy ratings of electric and plug-in electric vehicles. Currently, they do not measure upstream efficiency of power plants (or upstream efficiency of oil and natural gas production either).

Electric, plug-in hybrid, and fuel-cell vehicles already garner very high CAFE ratings, as they use little or no gasoline, but to encourage their sales, the government will factor each sale of an electric vehicle by 2.0 in model year 2017. In other words, if you sell 10,000 electric vehicles—either battery powered or fuel cell—they will be counted as 20,000 when calculat-

ing that company's fleet fuel economy. This factor will phase down to a multiplier of 1.5 by 2021. For plug-in hybrids, the factor will start at 1.6 in 2017 and phase down to 1.3 in 2021.

#### **3.1.1.1.2 Federal Vehicle Classifications**

Generally the US Department of Transportation (US DOT) and Federal Highway Administration (FHWA) breaks down vehicle types as either light duty vehicles (LDVs) or Heavy Duty Vehicles (HDVs). Only LDVs are subject to fuel economy regulations. The FHWA Vehicle classes with definitions are as follows, and the following table breaks down the Passenger car and other two-axle, four-tire single unit vehicles according to the definitions used in fuel economy guidelines by the US Department of Energy (US DOE). A vehicle with more than two axles would most likely be considered an HDV (source: <https://www.fhwa.dot.gov/policy/ohpi/vehclass.htm>).

**Motorcycles** -- All two or three-wheeled motorized vehicles. Typical vehicles in this category have saddle type seats and are steered by handlebars rather than steering wheels. This category includes motorcycles, motor scooters, mopeds, motor-powered bicycles, and three-wheel motorcycles.

**Passenger Cars** -- All sedans, coupes, and station wagons manufactured primarily for the purpose of carrying passengers and including those passenger cars pulling recreational or other light trailers.

**Other Two-Axle, Four-Tire Single Unit Vehicles** -- All two-axle, four-tire, vehicles, other than passenger cars. Included in this classification are pickups, panels, vans, and other vehicles such as campers, motor homes, ambulances, hearses, carryalls, and minibuses. Other two-axle, four-tire single-unit vehicles pulling recreational or other light trailers are included in this classification. *Because automatic vehicle classifiers have difficulty distinguishing class 3 from class 2, these two classes may be combined into class 2.*

**Buses** -- All vehicles manufactured as traditional passenger-carrying buses with two axles and six tires or three or more axles. This category includes only traditional buses (including school buses) functioning as passenger-carrying vehicles. Modified buses should be considered to be a truck and should be appropriately classified.

**NOTE:** In reporting information on trucks the following criteria should be used:

1. Truck tractor units traveling without a trailer will be considered single-unit trucks.
2. A truck tractor unit pulling other such units in a "saddle mount" configuration will be considered one single-unit truck and will be defined only by the axles on the pulling unit.
3. Vehicles are defined by the number of axles in contact with the road. Therefore, "floating" axles are counted only when in the down position.
4. The term "trailer" includes both semi- and full trailers.

**Two-Axle, Six-Tire, Single-Unit Trucks** -- All vehicles on a single frame including trucks, camping and recreational vehicles, motor homes, etc., with two axles and dual rear wheels.

### Vehicle Size Classes Used in the Fuel Economy Guide

<b>CARS</b>		
<b>Class</b>	<b>Passenger &amp; Cargo Volume (Cu. Ft.)</b>	
Two-Seaters	Any (cars designed to seat only two adults)	
<b>Sedans</b>		
Minicompact	less than 85	
Subcompact	85 – 99	
Compact	100 – 109	
Mid-Size	110 – 119	
Large	120 or more	
<b>Station Wagons</b>		
Small	less than 130	
Mid-Size	130 – 159	
Large	160 or more	
<b>TRUCKS</b>		
<b>Class</b>	<b>Gross Vehicle Weight Rating (GVWR)*</b>	
<b>Pickup Trucks</b>	<b>Through 2007</b>	<b>Beginning 2008</b>
Small	Less than 4,500 lbs.	Less than 6,000 lbs.
Standard	4,500 to 8,500 lbs.	6,000 to 8,500 lbs.
<b>Vans</b>	<b>Through 2010</b>	<b>Beginning 2011</b>
Passenger	Less than 8,500 lbs.	Less than 10,000 lbs.
Cargo	Less than 8,500 lbs.	
<b>Minivans</b>	Less than 8,500 lbs.	
<b>Sport Utility Vehicles</b>		
	<b>Through 2010</b>	<b>Through 2010</b>
All	Less than 8,500 lbs.	Less than 10,000 lbs.
	<b>Beginning 2013</b>	
Small	Less than 6,000 lbs.	
Standard	6,000 - 9,999 lbs.	
<b>Special Purpose Vehicles</b>	<b>Through 2010</b>	<b>Beginning 2011</b>
	Less than 8,500 lbs.	less than 8,500 lbs. or less than 10,000 lbs., depending on configuration

\* Gross Vehicle Weight Rating (GVWR) is calculated as truck weight plus carrying capacity.

Fuel Economy regulations do not apply to HDVs, so they are not tested.

Source: [www.fueleconomy.gov/feg/info.shtml](http://www.fueleconomy.gov/feg/info.shtml)

#### 3.1.1.2 California and zero emissions vehicles

For decades, California has been pushing for lower tailpipe emissions to deal with its air pollution. California has developed a web of regulations, research and development, incentives and implementation programs to encourage zero emission vehicles as well as a clean energy and a green vehicle industry in California. This web of laws is designed to ensure momentum and financial support throughout the next two decades based on long term tax laws passed in 2013. This program has been influential in kick starting the electric vehicle

industry in California, providing a market, infrastructure, and advantages (such as HOV lane access) for plug-in vehicles.

The progress in electrification is significant; as of March 2014, the California market added about 70,000 new “plug-in electric vehicles” to its fleet. Sales are around 2% of annual vehicle sales in California (annual vehicle sales average around 1.5 million vehicles). These are about 30-40% of US sales of PEVs (California accounts for about 12% of all vehicle sales in the United States). Over 90% of these purchases are by private citizens, mostly in California’s coastal cities. California is also home to Tesla Motors, which has sold about 1/3 of its vehicles in California.

### **Background**

California citizens are well aware of the health problems from dirty air in their region due to pollution crises in the 1950s and 60s. A combination of mountains that trap dirty air, 27 million vehicles as well as dust particles from agriculture and special regulatory authority allowed by the Federal Government under the Clean Air Act combined to make California and in particular Los Angeles a crucible of development for electric vehicles. When the auto industry left California in the 1960s, this freed California regulators from the political pressure of automakers; it was California’s auto owners, not the makers with political power.

Additionally, a significant percentage of renewable energy from hydroelectric, wind, solar and geothermal, as well as natural gas allowed California to have relative clean energy production compared to the rest of the United States. California developed an agency — the California Energy Commission— that has fostered efficiency in California’s power sector. These characteristics have favored electric vehicles to be a solution to local air quality problems as well as a low carbon solution in the LA region. Southern California power companies – Southern California Edison and Los Angeles Department of Water and Power were both innovators and leaders in the area of electric vehicles.

Another ingredient was the technology sector; California has drawn electrical engineers from around the world to Silicon Valley and its aerospace industry. Its University system has included California Institute of Technology, the competitor to Massachusetts Institute of Technology. Both schools competed heavily in solar car race challenges. The students in these contests went on to the early developers of EVs for Hughes Aircraft and Solectria. Students at Stanford went on to form Tesla. Students at UC Davis went on to develop PHEVs at GM and elsewhere.

### **California’s Air Resources Board (ARB) and the Zero Emissions Vehicle (ZEV) program**

As discussed earlier, the most significant historical event in the United States for electrification was the independent, loosely managed development of the GM Impact and the decision of California Air Resources Board to mandate a percentage of ZEVs. Due to its inability to meet regional air-quality goals, primarily in Los Angeles, in the 1980s, California was given special legal rights to effect its own tailpipe standards on carmakers. As a result, California has always led the nation, and in some case the world towards strict emissions controls. For many emissions regulations, the ARB has been the “tail that wagged the dog” in developing emissions controls for vehicles in the United States.

But even for the ARB and its regional representative the South Coast Air Quality Board that regulated the Los Angeles region, the ZEV program was an unprecedented regulatory action. Ironically, in 1990, the ZEV requirements were only a footnote in a much larger Low Emission Vehicle program for California, which was tightening the emissions standards for California. While previous regulations merely required the installation of well understood technologies, the ZEV program launched into unknown territory, requiring technologies which had not yet been developed (such as advanced automobile motive batteries) and required customers to buy vehicle technologies affecting them which had not yet been available and tested in the market. The ZEV mandate was something brand new, a program meant to encourage or even force OEMs to develop new technologies for lower emissions.

In 1996, after a two year demonstration period (called the Memorandum of Agreement - MOA), during which six automobile companies leased several hundred BEVs each in California, the ZEV mandate was postponed a decade because it was determined the technology was not ready, the price of vehicles was too high, and customers were not ready to adopt the initial design. However, many first buyers disagreed with the arguments, saying they loved their vehicles, and wanted ARB to continue its mandate.

Despite the postponement, the ARB continued its interest in the ZEV goals, and pursued hydrogen fuel cells and PHEVs in the years after the MOA period. Today, the ZEV program continues as a “technology development “ program. While ZEVs were originally meant to meet local air quality goals, the State of California was getting serious about climate change. California’s electrical sector was much more efficient than the rest of the nation due to decoupling of electricity prices from demand. That is, in the 1970s, California electric regulators decided that electricity prices would go down when users conserved energy. As a result, California has much more efficient use of energy than the rest of the United States, and also a greater share of hydroelectric power than many other parts of the nation.

Thus the electricity sector in California does not have as big a share of greenhouse gas forcing gases as in other parts of the US, but its giant automobile culture (23 million light duty vehicles) accounts for more than 40% of CO<sub>2</sub> production in California. CARB was given responsibility, and its programs would now be attentive to CO<sub>2</sub>, effectively focusing attention on the full lifecycle emissions of vehicles, thus fuel economy, greater use of Low Carbon Fuels, and in particular hydrogen and electricity (California EPA, 2011).

In 2009, the California Air Resources Board developed the Advanced Clean Cars (ACC) program, which combines the control of smog-causing pollutants and GHG emissions into a single coordinated package of requirements for model years 2015 through 2025 and assures the development of environmentally superior cars that will continue to deliver the performance, utility and safety car owners have come to expect.

The Zero Emission Vehicle regulation acts as the technology-forcing piece of the ACC program, pushing manufacturers to produce ZEVs and Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs) in the 2018 through 2025 model years. In addition, the ACC program also includes amendments to the Clean Fuels Outlet (CFO) requirements that will assure that ultra-clean fuels such as hydrogen are available to meet vehicle demands brought on by amendments to the ZEV regulation.

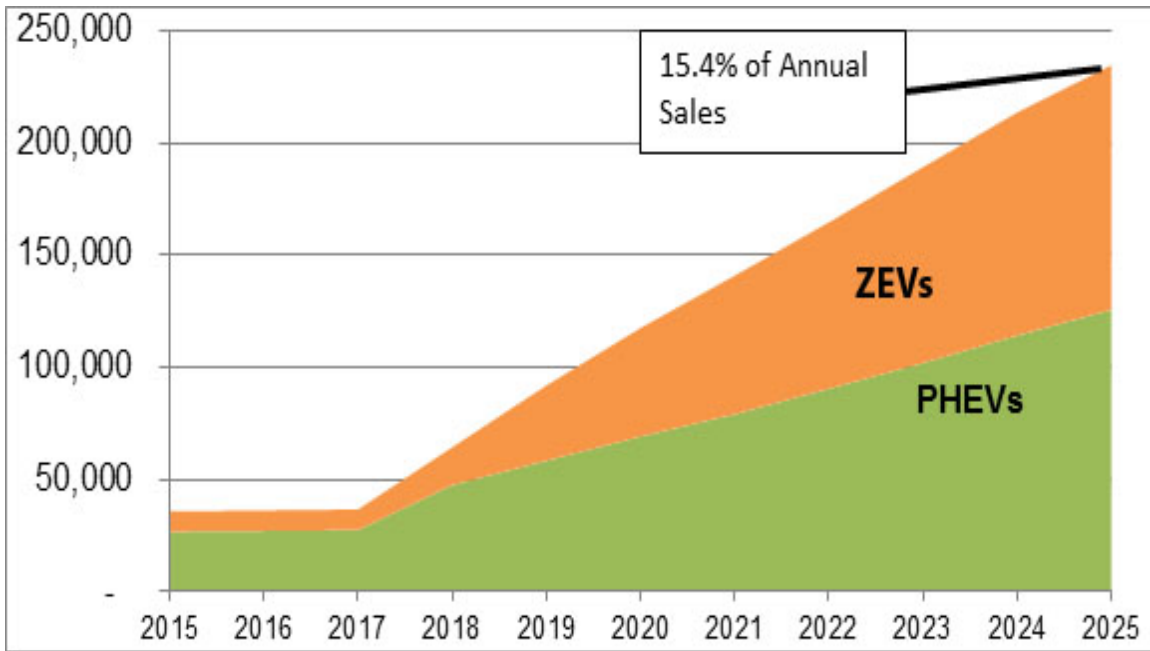


Figure 3: ZEV production requirements through 2025 (from the ZEV mandate)

Beyond 2025, the driving force for lower emissions will be climate change. In order to meet the 2050 GHG goal, the new vehicle feet will need to be primarily composed of advanced technology vehicles such as electric and FCVs by 2035 in order to address fleet turnover. Accordingly, the ACC program coordinates the goals of the LEV, ZEV, and CFO programs in order to lay the foundation for commercialization and support of ultra-clean vehicles.

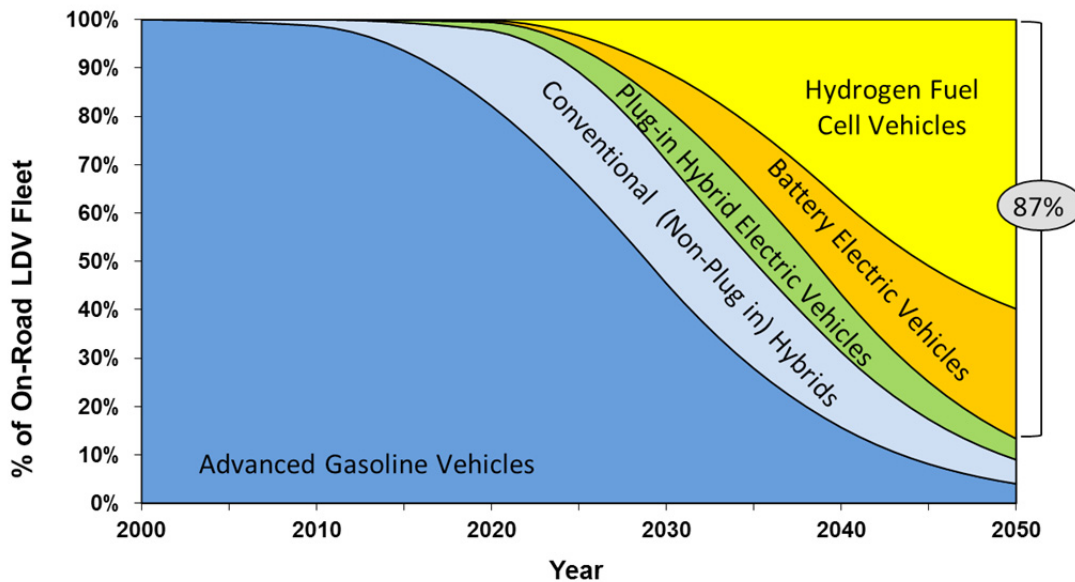


Figure 4: On-road light duty vehicle fleet by vehicle type through 2050 (from ZEV mandate)

Production requirements for auto manufacturers

- 2012 to 2014: – 12,500 ZEVs – 58,000 Plug-in hybrid EVs



- 2015 to 2017: – 50,000 ZEVs– 83,000 Plug-in hybrid EVs
- Advanced Clean Cars rulemaking will increase volumes 2018+ to launch sustainable market

### *The Low Carbon Fuels Standard*

Carbon goals in California, set by Assembly Bill 32, and informed by scientific methods of modeling “well to wheels” greenhouse gas and energy use of various fuel pathways has resulted in the development of what is called the Low Carbon Fuels Standard. This standard was developed to reduce the carbon content of transportation fuels, in particular gasoline. This would mean understanding the origins of oil and the estimating the carbon used in its production. One source being targeted was Canada’s Alberta tar sands oil, which uses an unusual amount of energy to produce, primarily using natural gas to heat tar sand to make oil flow, as well as other higher energy extraction of shale oil and imported oils like Venezuelan heavy crude. Additionally, the LCFS is aimed at increasing the efficiency of refineries and distribution of petroleum based fuels. The LCFS will result in some emphasis on electricity for transport fuels in the future, primarily by rewarding utilities with credits.

### *CEC and CPUC Programs*

An important, non-regulatory agency in California has been the California Energy Commission, which is charged with monitoring, conducting research on new technologies and planning energy use in California. The commission develops, for example, solar energy and wind projects, promotes energy efficiency, and surveys vehicle energy use in the state. The commission has been responsible for helping utilities meet efficiency goals, as well as more recent renewable energy goals.

Transportation fuels are a new area of work for the commission, in particular electricity. It funded the Plug-In Hybrid & Electric Vehicle Research Center at UC Davis through its Public Energy Interest Research (replaced in 2013 by the EPIC program). The CEC is the primary agency in California to fund the development of charging infrastructure development through its AB118 program, which also helps fund the California Electric Vehicle rebate program.

Another agency that works in parallel with the CEC is the California Public Utilities Commission (CPUC). The main work of the commission has been to set rates, and protect California rate payers from monopoly tendencies of public utilities. However, in recent years the CPUC has joined other state agencies to work on the problems of climate change.

### **Governor Brown’s Executive Order and Action Plan**

California Governor Brown issued an executive order directing the state government to help accelerate the market for ZEVs in CA in March 2012. The Executive Order established several steps toward meeting the goal of 1.5 million ZEVs in CA by 2025, including specific strategies and actions that state agencies should take to meet this goal. For the purposes of this executive order and action plan, ZEVs include hydrogen fuel cell electric vehicles (FCEVs) and both battery electric (BEVs) and plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs). The action plan was the result of an interagency working group led by the Governor’s office, including several state agencies and other entities, and builds upon existing work already underway at these agencies. In addition, the action plan benefitted from extensive input

through workshops and comments from outside stakeholders. This action plan will be adjusted over time to meet the needs of the changing market.

The action plan is divided into three time periods, and includes several key milestones for each phase (Brown, 2013).

By 2015:

- The state's major metropolitan areas will be able to accommodate ZEVs through infrastructure plans and streamlined permitting
- Private investment and manufacturing in the ZEV sector will be growing
- The state's academic and research institutions will contribute to ZEV market expansion by building understanding of how ZEVs are used

By 2020:

- The state's ZEV infrastructure will be able to support up to 1 million vehicles
- The costs of ZEVs will be competitive with conventional combustion vehicles
- ZEVs will be accessible to mainstream consumers
- There will be widespread use of ZEVs for public transportation and freight transport

By 2025:

- Over 1.5 million ZEVs will be on CA roadways and their market share will be expanding
- Californians will have easy access to ZEV infrastructure
- The ZEV industry will be a strong and sustainable part of CA's economy
- CA's clean, efficient ZEVs will annually displace at least 1.5 billion gallons of petroleum fuels.

### **3.1.1.3 Other States**

The efforts of other states in the US can be divided into two primary categories. Section 177 States which are under the Federal Clean Air Act, are allowed to choose to follow California emissions rules, and the remaining states which follow the Federal Clean Air Act Standards for vehicle emissions. The ten Section 177 states that have adopted the CA standard include:

1. Connecticut
2. District of Columbia
3. Maine
4. Maryland
5. Massachusetts
6. New Jersey
7. New York
8. Oregon
9. Rhode Island
10. Vermont

### **3.1.2 Objectives and Strategies**

The objectives of electrification of transportation are multiple:

- Cleaner air in America's cities
- Fuel diversification away from fossil fuels and energy independence in the transport energy sector
- Reduction of greenhouse gas emissions and the development of sustainable transportation and a viable battery industry
- Innovation in the green technology sector and development of clean energy jobs, and modernization of the automotive industry
- Integration of plug-in vehicles in the energy grid to balance loads and potentially enable larger amounts of energy storage

The primary national goals of electrification are currently fitted into the Clean Air and Petroleum Reduction Legislation discussed above. In California, electrification is fitted into a web of regulations, tax laws, incentives, public investments and local planning. Politics in the United States have made it difficult for Climate Change goals to be enacted into law; conservative parties and companies have made it almost impossible to pass laws aimed at reducing greenhouse gases in the energy sector. Therefore carbon reduction strategies are fitted into the Clean Air Act and Petroleum Reduction goals; and instead of new regulations aimed at climate problems, the EPA regulates the emissions of power plants, industry, and vehicles through the Clean Air Act, a decades old regulation.

### **3.1.3 Financial support and incentives**

#### **3.1.3.1 Federal Tax Credits**

The Federal Government offers PEV buyers a federal tax credit which is calculated based on battery size, with a minimum size of 5 kWh, receiving \$2500, plus an additional \$417 for each kWh of capacity over 5kWh, with a maximum size of \$7500 (16 kWh and larger battery capacities). The goal of this tax credit was to support PEV sales and is also targeted at supporting a nascent battery manufacturing industry in the US. There is much interest in shifting this tax credit to an instant rebate program. These are available up to 200,000 qualifying vehicles per manufacturer, beginning in 2010 and will phase out after that sales goal is achieved (IRC-30D).

#### **3.1.3.2 State rebates and tax credits**

As of 2013, there are wide ranges of state –specific purchase incentives for PEV buyers. In Colorado, there is up to \$6000 available for electric or plug-in hybrid buyers, as a tax credit. In California, there is a purchase rebate or “purchase vouchers” of \$2,500 (1813 EUR) for Zero Emission Vehicles (BEV, CNG, and BEVx) and \$1,500 (1088 EUR) for plug-in hybrids that qualify under the Clean Vehicle Rebate Project.

States	Incentive	Price Cap	Note
COLORADO	Innovative Motor Vehicle Credit	\$8,260	did not include Conversion vehicles
GEORGIA	Zero Emission Vehicle Tax Credit	\$5,000	20% of vehicle cost, up to \$5,000
ILLINOIS	Illinois Alternate Fuels Rebate Program	\$4,000	80% of cost, up to 4000
KENTUCKY	Alternative Fuel Vehicle Credit	\$3,000	10% of cost, up to 3000
PENNSYLVANIA	Alternative Fuel Incentive Grant Program (AFIG)	\$3,000	for EVS and PHEVs
CALIFORNIA	Clean Vehicle Rebate Project (CVRP)	\$2,500	range \$1500-2500
TEXAS	Alternative Fuel Vehicle Rebate	\$2,500	4500 kg or less--vehicles
UTAH	Alternative Fuel Vehicle Credit	\$2,500	Tax Credit, 35% of price up to \$2500
INDIANA	Indiana Alternative Fuel Vehicle Grant Program	\$2,000	
SOUTH CAROLINA	PHEV Tax Credit	\$2,000	\$667-2000, starting at 4 kwh battery
MARYLAND	PEV Tax Credit	\$1,000	\$600-1000 dependent on battery
MONTANA	Alternative Fuel Vehicle Credit	\$500	for vehicles 4535.92 kg or less
RHODE ISLAND	Warren County Alternative Fuel Vehicle Credit	\$100	one county in the state of RI

Table 2: List of States with PEV purchase incentives.

### HOV lanes

There are a number of metropolitan locations in the US that offer PEV access to special High Occupant Vehicle Lanes (HOV) as well as preferential access to High Occupant and Toll Lanes (HOT). These are particularly important in some California cities including the Bay Area, Los Angeles, and San Diego; Washington DC area, Texas, and Seattle. They are built to encourage carpooling for commuters, and access is given to certain vehicles or occupancy levels on a state-by-state basis.

#### 3.1.3.3 Local incentives

There are a variety of substantial local incentives across the United States, including:

- Sales incentives by local air quality districts (Fresno California)
- Preferential parking locations (airports and public lots),
- Discount and free parking (for example free parking in a downtown garages in Sacramento)
- Free charging offered by employers like Cisco, Universities, Google or Evernote

- Free charging at shopping centers (Walgreens and Target)
- Discounted electricity rates for electric vehicles from power providers, in particular for use of nighttime electricity

### 3.1.4 Power generation, supply and storage

There are several important features about the US power sector that are different from Europe and are determining factors in the ongoing development of the market, meaning that electricity cost vary, as do emissions, infrastructure development and potential for PEV grid integration.

1. With over 300 utility companies in the US,
  - a. individuals can pay as low as 2 cents per kWh (Eastern Washington) and as high as 38 cents per kWh (Hawaii).
  - b. Some Americans pay a flat rate all the time (Massachusetts 19 cents per kWh all the time) while some as in San Diego can choose among 5 different plans including special time of use (TOU) EV rates which are very low priced at middle of the night (5 cents per kWh) and peak daytime in summer (34 cents per kWh). Other aspects of these plans include Tier rates. Several California utilities have to four Tiered rates, which escalate the cost of electricity the more electricity a household uses.
  - c. The carbon footprint of each of these 300 utilities is different, with some heavily coal, and others hydroelectric or natural gas.
  - d. The regulatory landscape for supporting, or servicing PEV charging infrastructure is very different in each of these utilities

1. The US power sector has 202 “investor” owned utilities, and a much larger number of municipal utilities as well as rural cooperatives, totaling 3,269 individual utility entities. Most municipally owned utilities are smaller in size and reach, with limited resources to adopt new metering technologies, special time-of-use (TOU) rates, and renewable energy resources, though there are several exceptions. One of the impacts of this is that electric vehicle buyers and driver are confronted with a wide range of electricity costs in the United States,

Electricity costs as perceived by the consumer—relative to gasoline costs—represent another factor affecting consumer perceptions and purchase decisions. Although regional variability in electricity costs are high (as well as variability seasonally and by time of day in some regions), we provide a discussion of how consumer perceptions about these costs affect their potential to purchase EVs. Keep in mind that it is likely that much of PEV driver behavior around electricity prices so far is shaped by the high income of the first generation of buyers, for whom the potential savings gained by careful choices is not as important.

A useful fact to begin this discussion is that a compact electric car, like the five-passenger Nissan Leaf gets about three-four miles per kWh depending on speed and heating/cooling needs of the cab interior (HVAC loads). The average price of residential electricity in the USA is 12.7 cents per kWh (EIA, 2013). Hence, on average, an electric vehicle owner in the US who charges at home, will pay about 4 cents per mile (these numbers include taxes) for electricity. While averages do not describe all markets, most electricity in the US is in the range of 10-15 cents per kWh (EIA, 2013), which would mean 3-5 cents per mile. However, there are many exceptions, extremes and complexity. A driver can pay as low as 2 cents a

mile for night-time industrial electricity in Eastern Washington, and 12 cents a mile for residential electricity in Hawaii or on a summer afternoon in San Diego. And then, many PEV drivers across the US have been getting electricity for free at workplaces.

For comparison, gasoline in USA in October 2013 was about \$3.50 per gallon (EIA Petroleum, 2014). A vehicle comparable to the Leaf with very good gas mileage is the Prius, with about 50 miles per gallon, although a more common fuel economy would be average passenger cars -35 mpg. This would mean the Prius costs 6.5 cents per mile in the US and the average passenger car costs about 10 cents a mile in the US in October 2013.

So, an average rule of thumb is that PEVs in most places, in September 2013, will cost less than one-half the cost per mile of a comparable-sized gasoline vehicle. Driving 10,000 miles in a gasoline compact in 2013 cost around \$1000 for gasoline that year; a comparable sized BEV will cost less than \$500 in 2013. The cost of electricity for a PHEV will vary greatly according to driving patterns, how much the driver plugs in and the design of the PHEV. However, a number of PEV drivers are paying much less, charging for free at work and getting low off-peak and special PEV rates from their utility (over 1/3<sup>rd</sup> of BEV drivers have solar panels offsetting their electricity costs) (Tal et al, 2013).

Moving beyond an average rule of thumb shows just how complicated electricity pricing can get. For example, some regional areas, in particular California, have Tier rates, to discourage high consumption, and Tier allowances vary according to climate. For example the base rate in San Diego is 14 Cents per kWh (San Diego Gas & Electric, 2014). This base has summer and winter allowances, and is calculated at 50-60% average consumption for a San Diego household in four distinct climates, coastal to inland deserts. Tier 2 is electricity consumed above the base at 100-130 % of base; Tier 3 is 34 Cents and is electricity consumed at 130-200% of base; Tier 4 is 36 cents and is all electricity above 200%. Electric Vehicle Time of use is another way to be charged and results in off Tiers to 19 cents at off peak (6 pm to 12 am and 5am to 12 pm, 29 cents on peak (12 pm to 6 pm) and 16 cents “super off peak” (12-5 am). It gets even more complicated with commercial and industrial rate plans.

The effect is that the price of electricity for an electric vehicle has a huge variation. A household that consumes excessive electricity (like wealthy folks with a big home in the desert who keep the air conditioning on all day) will be paying Hawaii prices if they add a PEV to their vehicles.

To conclude this section, electricity should cost most drivers in US about half as much per year as would gasoline. However, with some care to sign up for special prices, take advantage of night-time prices in some markets, and accessing some free electricity at workplaces and shopping malls, PEV drivers could save more.

### **Greenness of the electricity**

Other aspects that affect consumer perceptions and likelihood of buying EVs include the perceived “greenness” of the vehicle, which includes not only the greenness of the electricity supply used to charge the vehicle, but also issues related to how batteries will be disposed of and their contribution to environmental degradation, as well as what is referred to as “wheel to well” (or in this case, “wheel to electricity generation”) that captures the lifetime emissions of the vehicle from production (all inputs), transportation of the vehicle to the dealership for sale, and useage and disposal of the vehicle at end-of-life.

## PEV to grid integration

Throughout the US, but most pronounced in the West, power generation is shaped by day-time demands for air conditioning, and low demand for electricity at night, in particular during dry, hot summer months. Thus, electric vehicles present a potential way to fill in a nighttime lull in power demand. (This diurnal pattern is not as pronounced in humid climates where air conditioning is in demand all night, or in regions with electricity used for nighttime heating).

The utility sector is affected by the electrification of mobility in a number of ways. Primarily of course, electric travel represents a significant new market. While power companies are confident that they will be able to supply adequate energy for PEVs, especially given the expected slow development of the market, nevertheless, faces equipment and distribution at the local distribution level. There is also potential for vehicle batteries to store access nighttime energy and return some of it to the grid at hours of highest demand.

As with most of the other sectors, the power companies which were most active in electric vehicles early, were the large power companies in the Los Angeles region, the Los Angeles Department of Water and Power which covered the Los Angeles city proper, and the Southern California Edison Company (SCE) investor owned utility covering most of the surrounding areas of the Los Angeles Region. Other active utilities in California were the Sacramento Municipal Utility District as well as Pacific Gas & Electric, also the largest utility in the United States.

<b>Company</b>	<b>Sector</b>
Alabama Power/Southern Company	Utility
Arizona Public Service	Utility
Avista Corp	Utility
BTCPower	Utility
Burbank Water & Power	Utility
CenterPoint Energy	Utility
CPS Energy	Utility
DTE Energy	Utility
Duke Energy	Utility
Florida Power & Light	Utility
Gulf Power Company	Utility
Hawaiian Electric Company, Inc.	Utility
Idaho Power Company	Utility
Madison Gas & Electric	Utility
Manitoba Hydro	Utility
Maui Electric Co.	Utility
NESCAUM	Utility
Oncor Electric Delivery	Utility
Orlando Utilities Commission	Utility
Portland General Electric	Utility
Sacramento Municipal Utility District	Utility
Salt River Project	Utility
San Diego Gas & Electric	Utility

Seattle City Light	Utility
Southern California Edison	Utility
Southern Company	Utility
TECO Energy	Utility
Tennessee Valley Authority	Utility
Westar Energy (Kansas)	Utility
Ameren Missouri	Utility

Table 3: List of Utilities Active in the PEV Industry

The most active of these and longest active was SCE, which created its own labs for testing batteries and vehicles, and created some of the largest commercial fleets of electric vehicles, including several hundred RAV 4 Toyota EVs, which acquired several million miles of use. Additionally, SCE began a program of investing in clean and renewable energy sources.

The list of utilities with early BEV programs includes Arizona public services, Austin Power and Energy in Texas, Duke Energy in the south eastern US, Detroit Energy in Michigan, Excel Energy in Boulder Colorado, Seattle Power and Light in Washington state, as well as Portland Gas and Electric in Oregon.

Important programs at these utilities are special electric prices for renewable electricity (primarily solar, particularly available in CA utilities) and for electric vehicles, with a sub-meter for the vehicle charger that is based on the time of use of the electricity for vehicle charging.

### 3.1.5 Provision of infrastructure

There are a wide variety of infrastructure providers in the United States. Several are EVSE manufacturers, and these stations are sold directly to consumers or through retail outlets, such as hardware stores, but are not companies that participate in the supplemental services associated with public charging. Many companies participate in both home charging equipment that comes with vehicles, as well as public charging equipment and charging services. Still other companies are focused primarily on the services and data management of public charging infrastructure rather than equipment manufacturing. Figure 5 below shows the three charging levels used in the United States.



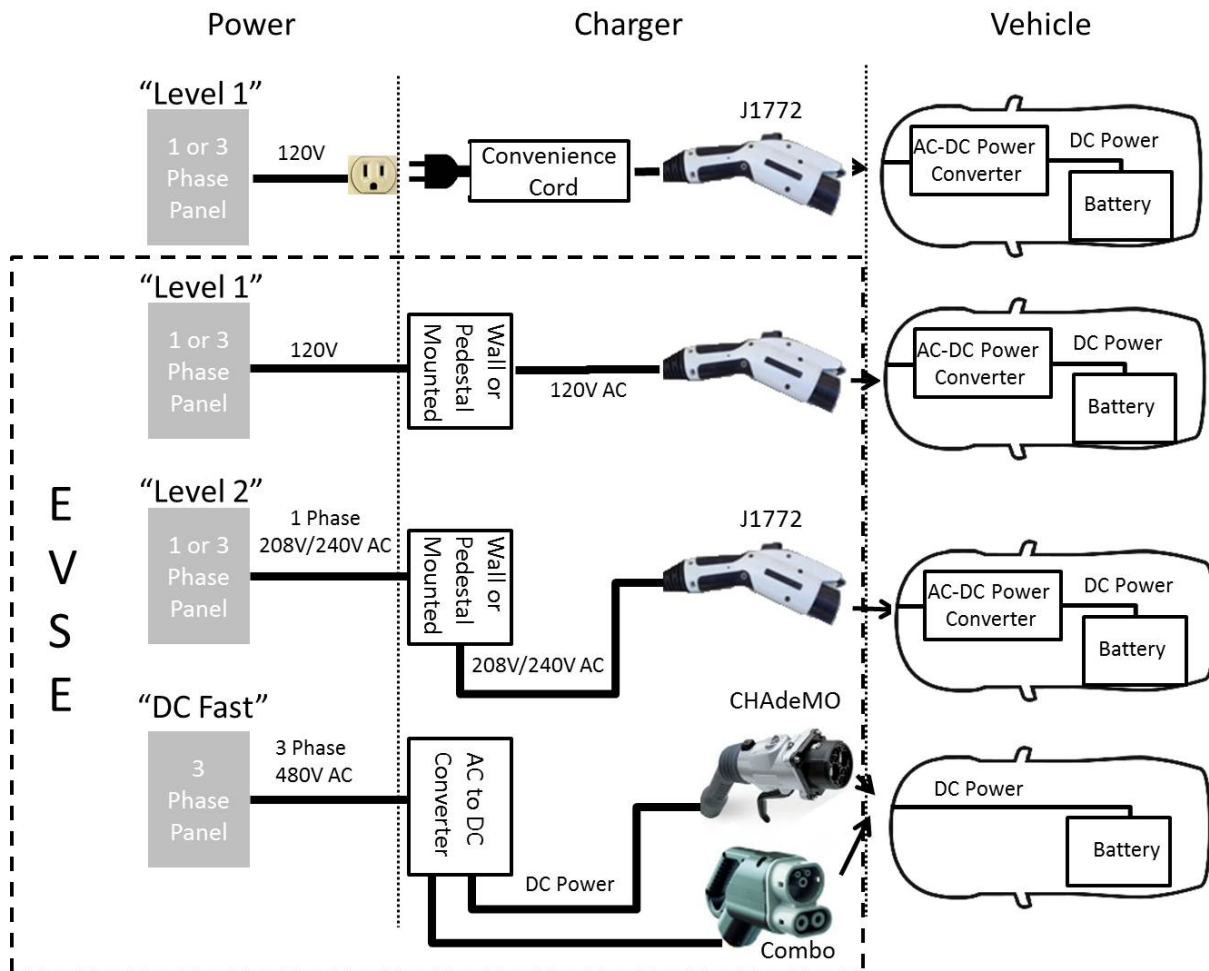


Figure 5: Charging Levels in the United States

As of 2013, the following is a list of EVSE products compatible with the SAE J1772-2009 charging standard ([http://en.wikipedia.org/wiki/SAE\\_J1772#Competing\\_standards](http://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772#Competing_standards)):

- AeroVironment home charging station for the Nissan Leaf<sup>[31]</sup>
- ClipperCreek CS-40<sup>[32]</sup>
- Coulomb Technologies CT500, CT2000, CT2100, and CT2020 families of Charge-Point Networked Charging Stations<sup>[33]</sup>
- EATON [2] Pow-R-Station Family of Electric Vehicle Charging Stations [3]
- ECOtality Blink home wall-mount and commercial stand-alone charging stations<sup>[34][35]</sup>
- EVoCharge – Retractable Reel EVSE's designed to support Residential, Commercial and Industrial Markets.
- GE Wattstation available in 2011<sup>[36]</sup>
- GoSmart Technologies ChargeSPOT line of charging stations
- GRIDbot's "UP" family of charging stations
- Hubbell PEP Stations - <http://www.hubbell-wiring.com/press/pdfs/WLDEE001.pdf>
- Leviton evr-green home charging stations at a range of power levels, with separate pre-wire kit that allows one to plug in to a NEMA 6 240V receptacle<sup>[37]</sup>
- Schneider Electric / Square D EVLink Charging Solutions for residential, commercial, and fleet charging solutions.
- SemaConnect ChargePro Charging Stations

- Shorepower Technologies ePump line of fully customizable EVSE; indoor and outdoor solutions for cars and trucks.
- TucsonEV - J1772 Adapter Boxes, Inlets and Plugs with and without cord, 70A and 30A. We will soon have a J1772 Compatible EVSE for up to 240v/30amps
- CIRCONTROL CIRCARLIFE product range includes EV charging infrastructure with post and wall mount units with J1772 standard
- OpenEVSE Project - Open Source Design for EVSE.

### **SAE standards for PEVs**

The Society of Automotive Engineers (SAE) International is a global association of engineers and technical experts working in the aerospace and automotive industries, based in Pennsylvania. SAE International hosts conferences, continuing education programs in specific topics, and voluntary consensus standards development. SAE creates and manages more aerospace and ground vehicle standards than any other entity in the world. Some of the many relevant standards related to plug-in vehicles are listed here, most of which are widely adopted by industry in the US (SAE Hybrid-EV Committee, 2014):

- J1711 – Recommended Practice for Measuring the Exhaust Emissions and Fuel Economy of Hybrid-Electric Vehicles, including Plug-In Hybrid Vehicles (a dynamometer-based testing protocol).
- J1772 – Plug-In Vehicle Conductive charging standard for the charging connector (including physical, electrical and communications specifications).
- J1773 - SAE Electric Vehicle Inductively Coupled Charging
- J2293 - Energy Transfer System for Electric Vehicles - Part 1: Functional Requirements and System Architectures and Part 2: Communication Requirements and Network Architecture
- J2836 – Use cases for Wireless Charging Communication for Plug-In Electric Vehicles
- J2907 – Hybrid Motor Ratings
- J2908 – Hybrid Electric Powertrain Power Test Methods and Definitions.
- J2953 - Test Procedures for the Plug-In Electric Vehicle (PEV) Interoperability with Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE)

### **3.1.6 Results of the interviews with stakeholders: opinions on government activities and policies**

#### **Governmental role in supporting electric vehicle deployment**

In the United States the national government has the task of a steering entity which introduces regulations in close cooperation with the industry. On national level, the purchase of an EV is

The national labs have a strong influence in policy making in the United States. The government consults the national labs on currently relevant research topics and formulates new policies based on the consultation.

## **Market incentives**

Market incentives are the most important reason why the deployment of EVs has been so successful in the United States. The idea behind such incentives is to raise the attractiveness of EVs in terms of purchasing prices when compared to conventional vehicles. The purchase incentives are given out by either federal or regional governments and also by a number of employers/companies. Experts agreed that the current EV market still depends largely on these incentives as sales are still growing on a small level. As of today, an EV buyer receives up to 7,500 US-\$ as a tax credit (national purchase incentive). Some states are giving additional incentives which are added to the national incentive. The state of California has the highest purchase incentives of all states. A high number of EV sales is observed during the last months of the year compared to other months because many car buyers like to wait until the end of the year when they can receive the tax credits back in early the next year. Purchase incentives are under a large discussion due to their importance in these initial stages of EV deployment. In 10 years, as an expert stated, it is possible that the technology development leads to reduced vehicle prices, which allow the phasing-out of purchase incentives of EVs. Some experts mentioned their concerns that policy makers may want to reduce purchase incentives in near future. They say it would jeopardize the positive and sustainable development of EV sales. Also incentives are planned in rather short-term which makes it difficult for manufacturers and dealers to plan their vehicle production and deployment. This especially applies to times when funding is running out and new funds are not yet approved.

## **Other incentives to electric vehicle drivers**

Besides financial incentives the government is giving EV users other benefits. Drivers of electric vehicles are allowed to use the so called car pool or HOV lanes. Especially in cities such as Los Angeles the usage of HOV lanes brings a big advantage in terms of travel time. In other cities EV drivers do not have to pay when using public parking spaces. During the interviews it was mentioned that the impact of non-monetary benefits on the purchase decision of an electric vehicle is very large, for some buyers even larger than the purchase incentive. It was also mentioned that a large portion of Tesla Model S drivers did not apply for the tax credit when they bought the car, the reason was thought to be avoiding the bad publicity of “using tax payers money to fund the luxury car buyers” or they just do not need the additional incentive and therefore don’t apply for it. The typical buyer of a Tesla Model S is supposedly someone who can afford to own it as a second car and who is eager to be one of the first to use such new technology.

A term which was largely used as a key factor for a successful deployment is raising the awareness of new car buyers. EV drivers organize Ride&Drive’s where bypassing people have the chance to ride an EV and they are explained the characteristics and advantages of electric vehicles. Especially the higher purchasing costs and lower operational costs are new to many drivers of conventional cars. Such Ride&Drives are for instance organized at parking spaces of shopping malls. Also it gives the possibility to clear questions about the availability of charging stations and the process of applying for an own station at home.

## **Regulations and standards**

A challenge which was mentioned quite often is the necessity to deal with different charging standards, especially those of fast charging. There are three major standards which co-exist on the roads: Tesla runs its own super charger network in California, Japanese manufacturers equip their cars with the CHAdeMO charger and European EVs need charging stations with the SAE-J1772 standard. At early stages it was assumed that the Japanese standard will prevail over the others and therefore charging stations with this standard were set up first, which now showed to be a mistake as experts stated. The intention now is to focus on stations which can serve different standards which is for instance in the Netherlands already the case on a larger scale.

## **Charging Infrastructure**

Improving the charging infrastructure is a major next issue to be solved, many experts stated this. The network is rather unreliable and there are problems with EVs not being able to charge at any station due to their charging standard. Also, in California users of Tesla Supercharger network see a problem of jammed charging stations coming. In terms of reliability the network has to be able to cope with a stronger load factors also in locations outside the city network where people charge at home. The average current is 110 V for the residential energy network and cars would thus also charge with the Level 1 current. Charging a large vehicle battery at this current may result in long charging periods, thus an upgrade to the Level 2 (220 V) current is offered for homes and at public charging stations. In some cases it is technically not possible to install the upgraded charging solution because the aged network does not support it. Some experts mentioned though that also 110 V can be just enough to charge a small battery overnight which in many cases is enough for short trips and longer standing periods.

The process of licencing a private charging station with Level 2 differs between states. Several initiatives are helping those interested in applying for a home charging utility to know the application process better. Also the costs differ substantially. Due to the different situation of the energy grid among states the improvement of the grid is a rather local task than steered from national side. Many experts see the local utility providers as the entity which has to act on grid problems. The government is said to play a small role when it comes to find solutions for a reliable network. The ones that people trust more to solve them are private and local entities.

## **Energy Grid and Fuel Prices**

Future fuel and energy prices will have strong impact on the demand for EVs. The prices for fuel and electricity are much lower in the United States compared to Germany. A steady increase of the oil price is foreseen, however at a moderate rate. This is largely due to the importance of the oil industry for the United States economy. The taxation of fossil fuels is a way which the government can take to make alternatives such as electric vehicles more attractive. This applies for a situation where prices for electricity would rise at a lower speed.

## **EV deployment in California**

The states show very different ambitions to develop electric mobility. Two characteristics are displaying this: the government's efforts in investing in measures to reduce emissions and its willingness to give privileges to EV users. California takes a leading role in terms of EV sales and their deployment. Nearly 40% of all electric vehicle sales come from California. The Toyota Prius was the most often sold car in 2012, which is also an indicator for the weak preference of California people towards domestic brands. According to those experts interviewed in California, the state's leading role as a high-tech business place with innovative people who like it to be pioneers. California has no auto industry, except Tesla, and a rather environmental friendly energy mix. The objective is to reach an energy mix share of 33% coming from renewable sources until 2020. The level of CO<sub>2</sub> emissions should be reduced to the level of 1990.

### **EV deployment in Canada**

Electric mobility in Canada is, as it is the case in all North America, a mobility concept for cities. Therefore the deployment challenges observed in Canada are similar to those in the U.S. Due to the large distances between cities, EVs are mentioned not to be able to become a long distance travel alternative in the near future. In cities car ownership is reducing constantly, which makes people favour for instance car sharing. Car sharing is becoming rapidly popular in Canada. As it is the case in the U.S., experts confirmed that the share of small cars is growing in the national vehicle fleet which again lets cars of an average EV size be a reasonable option.

## 3.2 Research Funding and Institutions

### 3.2.1 Actors

The primary actors in the electric vehicle research community are automakers, Universities, the Department of Energy National Labs. There are some smaller startup and other firms conducting research, notably some of the power industry, notably Southern California Edison and its research partnership the Electric Power Research Institute, and Edison Institute have conducted research on electric vehicles for several decades. There are Non-governmental Organizations who also conduct research, including the Union of Concerned Scientists and the National Resources Defense Fund. This research is usually aimed at supporting electrification efforts. The key participants in the Research arena are shown in tables 4-7 below, by sector, including the Government (from regional through federal levels), non-profits, research and consulting companies, and key Universities working in electric transportation.

<b>Company</b>	<b>Sector</b>
Advanced Energy	Government
Air Resources Board	Government
Argonne National Laboratory	Government
ARPA-E	Government
Bay Area Air Quality Management District	Government
California Air Resources Board	Government
California Energy Commission	Government
California Governor's Office	Government
CALTRANS	Government
City of San Diego	Government
Clean Fuels Ohio	Government
County of San Diego	Government
Fresno Council of Governments	Government
Natural Resources Canada	Government
North Central Texas Council of Governments (NCTCOG)	Government
Ontario Ministry of Transportation	Government
Oregon Department of Transportation	Government
South Coast Air Quality Management District	Government
U.S. Department of Energy, EE	Government
Washington State Department of Transportation	Government

Table 4: List of Key Government Research organizations

<b>Company</b>	<b>Sector</b>
Californation Electric Transportation Coalition	Non-profit
California Plug-In Electric Vehicle Collaborative	Non-profit
Center for Climate and Energy Solutions (C2ES)	Non-profit
Clean Fuel Connection, Inc.	Non-profit
Drive Oregon	Non-profit

Lightning Rod	Non-profit
Natural Resources Defense Council	Non-profit
PEV Collaborative	Non-profit
Plug In America	Non-profit
Plug in Central Coast	Non-profit
Securing America's Future Energy	Non-profit
Sierra Club	Non-profit
Union of Concerned Scientists	Non-profit

Table 5: List of Key Research focused non-profit groups

<b>Company</b>	<b>Sector</b>
AECOM	Research/Consulting
Black & Veatch	Research/Consulting
Brazell & Company	Research/Consulting
California Center for Sustainable Energy	Research/Consulting
CALSTART	Research/Consulting
Capgemini	Research/Consulting
Edison Electric Institute	Research/Consulting
Efficient Drivetrains Inc.	Research/Consulting
Energy and Environmental Economics, Inc.	Research/Consulting
Energy Foundation	Research/Consulting
Electric Power Research Institute	Research/Consulting
ICF International	Research/Consulting
Idaho National Laboratory	Research/Consulting
Modelytic	Research/Consulting
National Renewable Energy Laboratory	Research/Consulting
National Research Council	Research/Consulting
Oak Ridge National Lab	Research/Consulting
Redfield Consulting Services	Research/Consulting
Southwest Research Institute	Research/Consulting
Tellus Power	Research/Consulting
Verdant Vision	Research/Consulting

Table 6: List of Key Research and Consulting firms

<b>Company</b>	<b>Sector</b>
Carnegie Mellon University	University
Clemson University	University
Colorado State University	University
CSU Long Beach	University
Cuyamaca College	University
Macomb Community College	University
NC Solar Center/NC State University	University

New Jersey Institute of Technology	University
North Carolina State University / NC Solar Center	University
The Ohio State University Center for Automotive Research	University
The University of Texas at Austin	University
UC Berkeley	University
UC Davis – Plug in Hybrid and Electric Vehicle Research Center	University
UC Irvine	University
UC Los Angeles	University
University of Michigan	University

Table 7: List of Key Research Universities

### 3.2.2 Research Funding

The Department of Energy has been the main source of public funding on advanced electric vehicles. At the provincial level, the California Energy Commission and few other power companies, such as New York Power Authority have funded research on electric vehicles, primarily in regards to their impact on the regional power grid.

The following chart shows investments by DOE in hybrid, plug-in hybrid and battery electric vehicles from 1976-2012. This does not include stimulus loans (for example to Tesla) or Advanced Research (such as ARPA-E) which could be battery research but not targeted at electric vehicles.



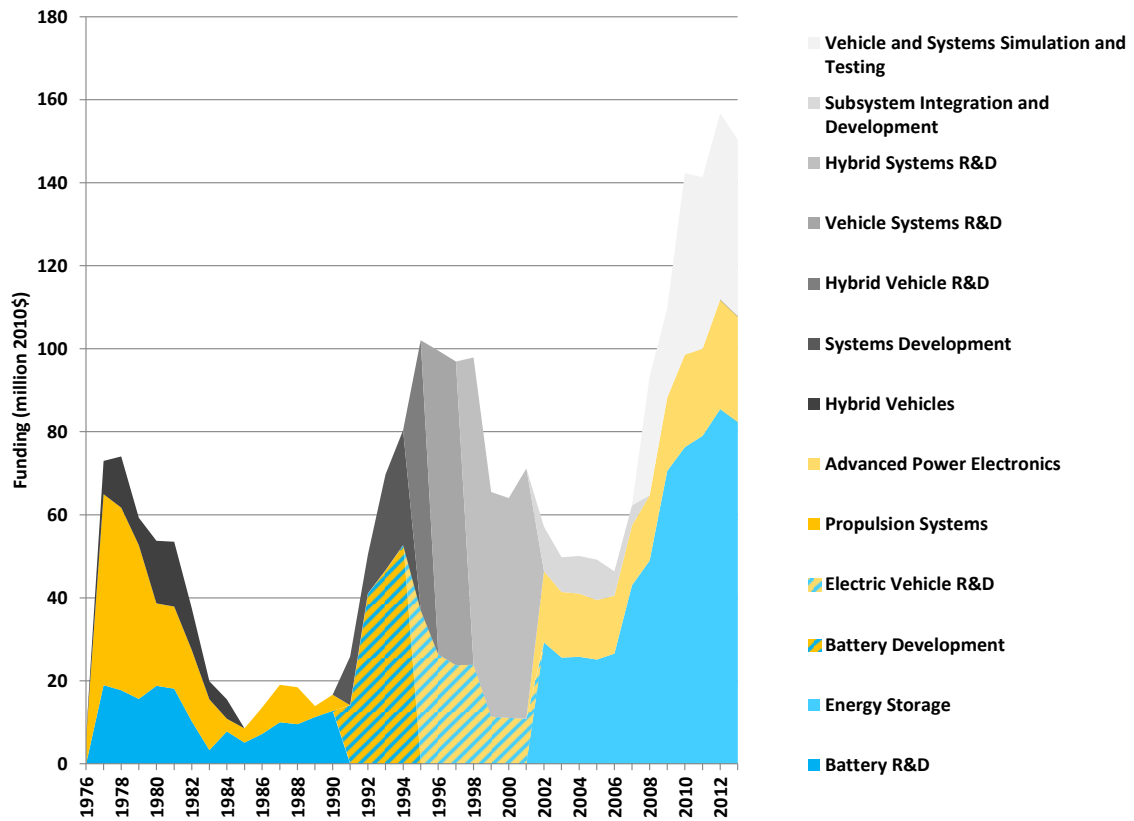


Figure 6 DOE research in hybrid, plug-in hybrid and battery electric technology development  
Federal Incentives for Producers and Buyers of PEVs

Incentive	Description	Budget amount in billions of dollars
Tax Credits for Buyers of New PEVs	Tax Credits up to \$7,500 per vehicle	\$2 (2009-2019)
Electric Drive Vehicle and Battery Component Manufacturing Initiative	Grants to Manufacturers of batteries and other parts of PEVs	\$2 (life of program)
Transportation Electrification Initiative	Grants to Establish, Demonstrate, Evaluate and Education Projects to Accelerate Introduction and Use of PEVs	\$.4 (life of program)
Advanced Technology Vehicle Manufacturing Program	Up to \$25 billion in direct loans to manufacturers of automobiles and parts to promote the production of high –fuel-efficiency vehicles	\$3.5 billion (estimated costs of \$8.4 billion in loans through 2012)  \$2.4 billion so far for PEVs / early pay back of Tesla loans has reduced costs.

Source Congress of the United States Congressional Budget Office: Effects of Federal Tax Credits for the Purchase of Electric Vehicles September 2012.

### **3.2.3 Status Quo of R&D landscape**

#### **Research on vehicles, vehicle concepts, powertrain and transportation concept: The Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE)**

At the Department of Energy, the primary agent of research on vehicles and batteries is the EERE. This office is located in Washington DC in the Department of Energy Forrestal building. Vehicle research is in the mobile technologies program, currently under Patrick Davis. This program includes all battery research, vehicle powertrain. There are additional programs on electric vehicles in the office of electric power.

##### **3.2.3.1 DOE Vehicle Technology Program**

The US Department of Energy is the primary source of research programs and research money for electrification of vehicles. Electric vehicle research has been a well-funded program for many decades, primarily battery research, but that applied to hybrids; plug in hybrids as well as “all battery electric vehicles (ABEs)” (the preferred term at DOE)

These programs have primarily been used to fund research programs with the major “Detroit” auto companies, but in recent years have funded new startup battery, motors, power electronics, and other specialized component-focused companies.

Electric vehicle research and implementation support has come primarily through four programs.

- American Recovery and Reinvestment Act of 2009

## RECOVERY ACT AWARDS FOR TRANSPORTATION ELECTRIFICATION

Applicant	DOE Award (Dollars in Millions)	Project Locations	Project Focus
<b>Advanced Vehicle Electrification</b>			
Electric Transportation Engineering Corp. (ETEC) (known as Ecotality North America)	\$114.8	Headquarters: Phoenix, AZ Manufacturing: Michigan Deployment: Phoenix (AZ), Tucson (AZ), San Diego (CA), San Francisco (CA), Los Angeles (CA), Portland (OR), Eugene (OR), Salem (OR), Corvallis (OR), Seattle (WA), Nashville (TN), Knoxville (TN), Memphis (TN) and Chattanooga (TN), Washington D.C., Dallas (TX), Fort Worth (TX), and Houston (TX).	ECotality is deploying more than 13,000 AC level 2 charging stations in residential, commercial, and public locations and 225 DC fast chargers in select cities. This infrastructure is being deployed in conjunction with 8,300 electric drive vehicles including the Nissan Leaf and the Chevy Volt. This project includes the collection of a comprehensive set of data from both charging stations and vehicles, enabling analysis to understand how consumers utilize electric-drive vehicles and charging infrastructure.
Chrysler, LLC	\$48	<i>Manufacturing:</i> Auburn Hills, MI <i>Deployment:</i> partner fleets	Develop, validate, and deploy more than 140 advanced plug-in hybrid electric pickups.
Coulomb Technologies	\$15	<i>Manufacturing:</i> San Jose, CA; <i>Deployment:</i> Boston, MA, Bellevue/Redmond, WA, Sacramento, CA, San Jose/San Francisco Bay Area, Los Angeles, CA, Austin, TX, Southern Michigan (including Grand Rapids, Lansing, Ann Arbor, Detroit), New York City, NY, Washington DC/Baltimore, Orlando/Tampa, FL	Coulomb is deploying 4,600 AC level 2 charging stations in residential and commercial locations. This infrastructure is being deployed in conjunction with 2,400 electric drive vehicles including the Chevy Volt and Ford Transit Connect EV. This project includes the collection and analysis of data from the charging stations.
South Coast Air Quality Management District (SCAQMD)	\$45.4	<i>Headquarters:</i> Diamond Bar, CA <i>Deployment:</i> 50 different utilities and fleets including EPRI in Palo Alto, CA	Develop a fully integrated, production plug-in hybrid system for Class 4-7 vehicles. Demonstrate a fleet of over 250 trucks and shuttle buses.
Navistar, Inc. (Truck)	\$39.2	<i>Manufacturing:</i> Elkhart County, IN; <i>Deployment:</i> Portland, Chicago, and Sacramento	Develop, validate, and deploy 950 advanced battery electric delivery trucks with a 100 mile range.

Applicant	DOE Award (Dollars in Millions)	Project Locations	Project Focus
<b>Transportation Sector Electrification</b>			
Cascade Sierra Solutions	\$22.2	<i>Headquarters:</i> Coburg, OR; <i>Deployment:</i> 50 U.S. truck stop electrification sites	Deployment of truck stop electrification infrastructure at 50 sites along major U.S. Interstate corridors and provide 5,450 rebates for truck modification to idle reduction technologies.
<b>Advanced Vehicle Electrification + Transportation Sector Electrification</b>			
General Motors	\$30.5	<i>Manufacturing:</i> Michigan; <i>Deployment:</i> several utility partners' fleets	Develop, analyze, and demonstrate 155 Chevrolet Volt Extended Range Electric Vehicles (EREVs) in conjunction with electric utility partners.
Smith Electric Vehicles	\$32	<i>Manufacturing:</i> Kansas City, MO; <i>Deployment:</i> Several partners' fleets	Develop and deploy approximately 500 electric medium-duty trucks with a 100 mile range.
<b>Advanced Electric Drive Vehicle Education Program</b>			
West Virginia University (NAFTC)	\$6.9	Morgantown, WV State of South Carolina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Educational programs for:</i> Graduate, Undergraduate and Secondary Students; Teachers; Technicians; Emergency Responders; General Public</li> <li>• <i>Partnering with:</i> NAFTC Headquarters and members; West Virginia Department of Education; South Carolina Department of Education; Greater New Haven Clean Cities Coalition; Innovation Drive, Inc.; Advanced Vehicle Research Center; Auto Exposure LLC; Big Fish Advertising and Public Relations; MotorWeek; Sabre Engineering; Northeast Utilities</li> </ul>
Purdue University	\$6.1	State of Indiana West Lafayette, IN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Educational programs for:</i> Graduate, Undergraduate and Secondary Students; Teachers; Technicians; General Public</li> <li>• <i>Partnering with:</i> University of Notre Dame; Indiana University Purdue University at Indianapolis (IUPUI); Purdue University – Calumet; Indiana University – Northwest; Ivy Tech Community College</li> </ul>
Colorado State University	\$5	State of Colorado State of Georgia Fort Collins, CO Boulder, CO Atlanta, GA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Educational programs for:</i> Graduate, Undergraduate and Secondary Students; Teachers; Technicians; Emergency Responders; General Public</li> <li>• <i>Partnering with:</i> CSU; Georgia Institute of Technology; Arapahoe Community College; Douglas County School System; Nissan NA; KShare; Ricardo; AM General; Motion Reality, Inc.</li> </ul>
Missouri University of Science and Technology	\$5	Rolla, MO Warrensburg, MO Linn, MO St. Louis, MO Kansas City, MO Lee's Summit, MO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Educational programs for:</i> Graduate, Undergraduate and Secondary Students; Teachers; Technicians; Mechanics; Emergency Responders; General Public</li> <li>• <i>Partnering with:</i> University of Central Missouri; Linn State Technical College; St. Louis Science Center; Smith Electric Vehicles U.S. Corporation (SEV-US); Kokam America Inc.</li> </ul>

Applicant	DOE Award (Dollars in Millions)	Project Locations	Project Focus
Wayne State University	\$5	Detroit, MI Warren, MI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Educational programs for:</i> Graduate, Undergraduate and Secondary Students; Teachers; Technicians; Emergency Responders; General Public</li> <li>• <i>Partnering with:</i> NextEnergy; Macomb Community College</li> </ul>
National Fire Protection Association	\$4.4	Quincy, MA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Educational programs for:</i> Emergency Responders</li> <li>• <i>Partnering with:</i> Fire Protection Research Foundation; Automotive Alliance; NREL</li> </ul>
Michigan Technological University	\$2.98	Houghton, MI (Western Upper Peninsula of MI)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Educational programs for:</i> Graduate, Undergraduate and Secondary Students; General Public</li> <li>• <i>Partnering with:</i> Argonne National Laboratory; AVL; GM; Eaton; Horiba; MathWorks; Schweitzer Engineering Laboratories; Woodward</li> </ul>
University of Michigan	\$2.5	Detroit, MI Ann Arbor, MI Dearborn, MI Flint, MI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Educational programs for:</i> Graduate, Undergraduate and Secondary Students; Teachers; General Public</li> <li>• <i>Partnering with:</i> University of Michigan – Dearborn; Kettering University; Ford; GM; Chrysler; Eaton Corp; DTE Energy; Mentor Graphics; Ballard; Quantum Technologies; A123 Systems</li> </ul>
J. Sargeant Reynolds Community College	\$0.72	Commonwealth of Virginia and Neighboring Mid-Atlantic States.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Educational programs for:</i> Secondary Students; Technicians</li> <li>• <i>Partnering with:</i> James Madison University; Virginia Department of Education; Ford; GM; Toyota; Firestone/Bridgestone</li> </ul>
City College of San Francisco	\$0.5	San Francisco, CA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Educational programs for:</i> Secondary Students; Service Personnel, Technicians</li> <li>• <i>Partnering with:</i> Chabot College; Central Shops; Pat's Garage; Perfect Sky Inc.</li> </ul>

- 
- Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy 2013-2015.
  - EVs Everywhere Grand Challenge 2015 \$209 million (includes \$111 million batteries and electric drive –
    - Goals are 75% reductions in costs- \$125 kWh batteries, 400 wh/lt
    - Electric drive systems: \$8 kWh cost, 4 kW per lt, 94% system efficiency
  - Batteries and electric drive: 2013 \$111 million; 2014 \$108 million; 2015 (requested) \$135 million

Millions of dollars	2013	2014 (enacted)	2015 (requested)
Batteries and electric drive	\$111,663	\$108,935	\$135,531
Vehicle systems simulations and testing	\$44,763	\$43,474	\$39,500
Material light-weighting	\$40,336	\$38,137	\$54,069

Total Vehicle Technologies program connected to electrification

EV Everywhere goals (2022)	Costs			
Batteries	\$125 kWh	400 Wh/L	250 Wh/kg	200 Wh/kg
Drive Systems	\$8 kW (55kWh system = \$400)	4 kW/L	1.4 kW p kg	94% efficient
Materials light-weighting		35% body	25% chassis & suspension	5% interior
Workplace charging	Ten-times increase in participation over 2012-2017			

2012: EV Everywhere Grand Challenge: Reduce cost of vehicles and target other primary barriers in next 10 years

### 3.2.3.2 DOE battery research program

Since before the ZEV era, the DOE has made advanced battery research a central mission. During the ZEV mandate, this area of research grew into the largest research program at DOE. The DOE has funded some very successful R&D projects, with patents, although it has not been able to translate that into commercial success, and almost all manufacturing of advanced batteries, such as NiMH has continued to happen in Japan, Korea and increasingly mainland China. Under the Obama administration, and with use of stimulus funds and loan guarantees, the US government is trying to kick-start a nascent automotive lithium battery-manufacturing program, with factories in Michigan, Ohio, Boston and Tennessee.

Annual Battery Research budget: (\$30 million)

DOE also houses research for the electric power grid, including research into the effects of battery charging on local and regional grid demand.

Table 8: ARRA Awards for vehicle battery and component manufacturing

Updated: October 2011

**RECOVERY ACT AWARDS FOR ELECTRIC DRIVE VEHICLE BATTERY AND COMPONENT MANUFACTURING INITIATIVE**

Applicant	DOE Award (Dollars in Millions)	Project Locations	Technology
<b>Cell, Battery, and Materials Manufacturing Facilities</b>			
Johnson Controls, Inc.	\$299.2	Holland, MI Lebanon, OR (Entek)	Production of nickel-cobalt-metal battery cells and packs, as well as production of battery separators (by partner Entek) for hybrid and electric vehicles.
A123 Systems, Inc.	\$249.1	Romulus, MI Brownstown, MI	Manufacturing of nano-iron phosphate cathode powder and electrode coatings; fabrication of battery cells and modules; and assembly of complete battery pack systems for hybrid and electric vehicles.
KD ABG MI, LLC (Dow Kokam)	\$161	Midland, MI	Production of manganese oxide cathode / graphite lithium-ion batteries for hybrid and electric vehicles.
Compact Power, Inc. (on behalf of LG Chem, Ltd.)	\$151.4	Holland, MI	Production of lithium-ion polymer battery cells for the GM Volt using a manganese-based cathode material and a proprietary separator.
EnerDel, Inc.	\$118.5	Indianapolis, IN	Production of lithium-ion cells and packs for hybrid and electric vehicles. Primary lithium chemistries include: manganese spinel cathode and lithium titanate anode for high power applications, as well as manganese spinel cathode and amorphous carbon for high energy applications.
General Motors Corporation	\$105.9	Brownstown, MI	Production of high-volume battery packs for the GM Volt. Cells will be from LG Chem, Ltd. and other cell providers to be named.
Saft America, Inc.	\$95.5	Jacksonville, FL	Production of lithium-ion cells, modules, and battery packs for industrial and agricultural vehicles and defense application markets. Primary lithium chemistries include nickel-cobalt-metal and iron phosphate.
Exide Technologies with Axion Power International	\$34.3	Bristol, TN Columbus, GA	Production of advanced lead-acid batteries, using lead-carbon electrodes for micro and mild hybrid applications.
East Penn Manufacturing Co.	\$32.5	Lyon Station, PA	Production of the UltraBattery (lead-acid battery with a carbon supercapacitor combination) for micro and mild hybrid applications.
<b>Advanced Battery Supplier Manufacturing Facilities</b>			
Celgard, LLC, a subsidiary of Polypore	\$49.2	Charlotte, NC	Production of polymer separator material for lithium-ion batteries.
Toda America, Inc.	\$35	Battle Creek, MI	Production of nickel-cobalt-metal cathode material for lithium-ion batteries.
Chemetall Foote Corp.	\$28.4	Silver Peak, NV Kings Mtn., NC	Production of battery-grade lithium carbonate and lithium hydroxide.
Honeywell International Inc.	\$27.3	Buffalo, NY Metropolis, IL	Production of electrolyte salt (lithium hexafluorophosphate (LiPF <sub>6</sub> )) for lithium-ion batteries.
BASF Catalysts, LLC	\$24.6	Elyria, OH	Production of nickel-cobalt-metal cathode material for lithium-ion batteries.
EnerG2, Inc.	\$21	Albany, OR	Production of high energy density nano-carbon for ultracapacitors.
Novolyte Technologies, Inc.	\$20.6	Zachary, LA	Production of electrolytes for lithium-ion batteries.
FutureFuel Chemical Company	\$12.6	Batesville, AR	Production of high-temperature graphitized precursor anode material for lithium-ion batteries.
Pyrotek, Inc.	\$11.3	Sanborn, NY	Production of carbon powder anode material for lithium-ion batteries.
H&T Waterbury DBA Bouffard Metal Goods	\$5	Waterbury, CT Holland, MI	Manufacturing of precision aluminum casings for cylindrical cells.

Applicant	DOE Award (Dollars in Millions)	Project Locations	Technology
<b>Advanced Lithium-Ion Battery Recycling Facilities</b>			
TOXCO Incorporated	\$9.5	Lancaster, OH	Hydrothermal recycling of lithium-ion batteries.
<b>Electric Drive Component Manufacturing Facilities</b>			
General Motors Corporation	\$105	White Marsh, MD Wixom, MI	Construction of U.S. manufacturing capabilities to produce the second-generation GM global rear-wheel electric drive system.
Delphi Automotive Systems, LLC	\$89.3	Kokomo, IN	Expansion of manufacturing for existing electric drive power electronics components for both passenger and commercial vehicles.
Allison Transmission, Inc.	\$62.8	Indianapolis, IN	Increasing U.S. capacity to manufacture hybrid systems for the commercial truck market.
Ford Motor Company	\$62.7	Sterling Heights, MI	Producing a Ford electric drive transaxle with integrated power electronics in an existing Ford transmission facility.
Remy, Inc.	\$60.2	Anderson, IN	Establishing a standardized platform of hybrid electric motors and controls.
UQM Technologies, Inc.	\$45.1	Frederick, CO	Expanding established propulsion systems into a volume manufacturing environment.
Magna E-Car Systems of America, Inc.	\$40	Muncie, IN Holly, MI	Increasing production capacity of advanced automotive electric drive system component manufacturing plants located in the U.S.
<b>Electric Drive Subcomponent Manufacturing Facilities</b>			
KEMET Corporation	\$15.1	Simpsonville, SC	Production of DC bus capacitors including soft wound film and stacked film capacitors necessary for electric drive system power electronics.
SBE, Inc.	\$9.1	Barre, VT	Outfitting of a high-volume manufacturing facility to build DC Bus Capacitors for the electric drive vehicle industry.
Powerex, Inc.	\$8.1	Youngwood, PA	Creating an electric drive semiconductor development, qualification, and production center.

### DOE EV project

The US DOE spend \$230 million from the American Recovery and Reinvestment act to fund the EV Project in nine regions across the US, including 16 cities and interstate corridors. The goals of the project was to build and study mature EV charging infrastructure, and use lessons learned to enable the efficient deployment of charging infrastructure for plug-in vehicles across the US on a wider scale. The project involved a 50% cost share by private sector and non-federal government partners, including ECOtality, Nissan, and Chevrolet, with the primary federal data collection and oversight being conducted by Idaho National Laboratory (INL). The nine regions were located in 7 states, Washington, Oregon, California, Arizona, Texas, Tennessee and Washington, D.C. These regions were considered “early launch regions” and included early charger (residential, public level 2, and DC fast chargers) and vehicle deployment (Chevrolet Volt and Nissan Leaf). The project studied the infrastructure deployment process, customer driving and charging behavior for the two distinct vehicle types (PHEV and BEV), electric grid impacts, and served as a proving grounds for codes, standards and permitting around this new technology and infrastructure (Smart and Schey). While this project did lead to strong markets in the early launch regions, the quick development of public charging infrastructure, and new insights into consumer behaviors, the lead infrastructure developer, ECOtality declared bankruptcy in late 2013.

#### 3.2.3.3 Clean Cities Coalitions

The bulk of Federal Support for electrification of vehicles (not including the tax credits of \$2500-\$7500 which are distributed from another branch of government) is developed through the Clean Cities Program at the Department of Energy. The primary mission of the Clean



Cities program is petroleum dependency reduction and some emphasis on Clean Air laws, although a second less advertised goal is green house gas reduction. The Clean Cities Program has two components – an information program on alternative fueled and efficiency of vehicles run by scientists at the National Renewable Energy Labs and the actual Clean Cities program, which supports 65 Clean Vehicle Coalition across the USA.

Clean Cities Coalitions, are locally organized groups that promote alternative fuels and clean vehicle solutions in their regions. These groups receive modest core funding of \$25,000 per year to support local activities, such as Ride and Drives, and compete for modest grants to support programs. Most of the support goes to vehicle subsidies in the midsize trucks area, most of these go to government and private fleets. These coalitions are based on local organizational principles, and vary greatly in their success. In previous years, efforts have focused on natural gas trucks, ethanol blends and liquid petroleum gas. In recent years, there has been an increased focus on electric vehicles and more emphasis on the getting more private buyers.

Clean Cities has been the main channel of Federal efforts to support the development of local charging infrastructure, primarily through ARRA stimulus funding under Obama. This program included \$400 million for support of infrastructure and planning grants.

(\$25 million)

#### *Clean Cities Community Electric Vehicle Readiness Projects*

The Clean Cities Community Readiness and Planning for Plug-In Electric Vehicles and Charging Infrastructure awards were announced in September, 2011 by the Department of Energy. This included awards for 16 projects covering 24 states and the District of Columbia, and totalled \$8.5 million in funding. The awards were designed to help communities forge public-private partnerships to plan for and develop strategies to support the adoption of PEVs and the corresponding charging infrastructure installation. A list of award recipients is included in the table, as well as shown on the map below. Each grantee developed a PEV readiness plan that was specific to their region in spring 2013 (Frades, 2014).

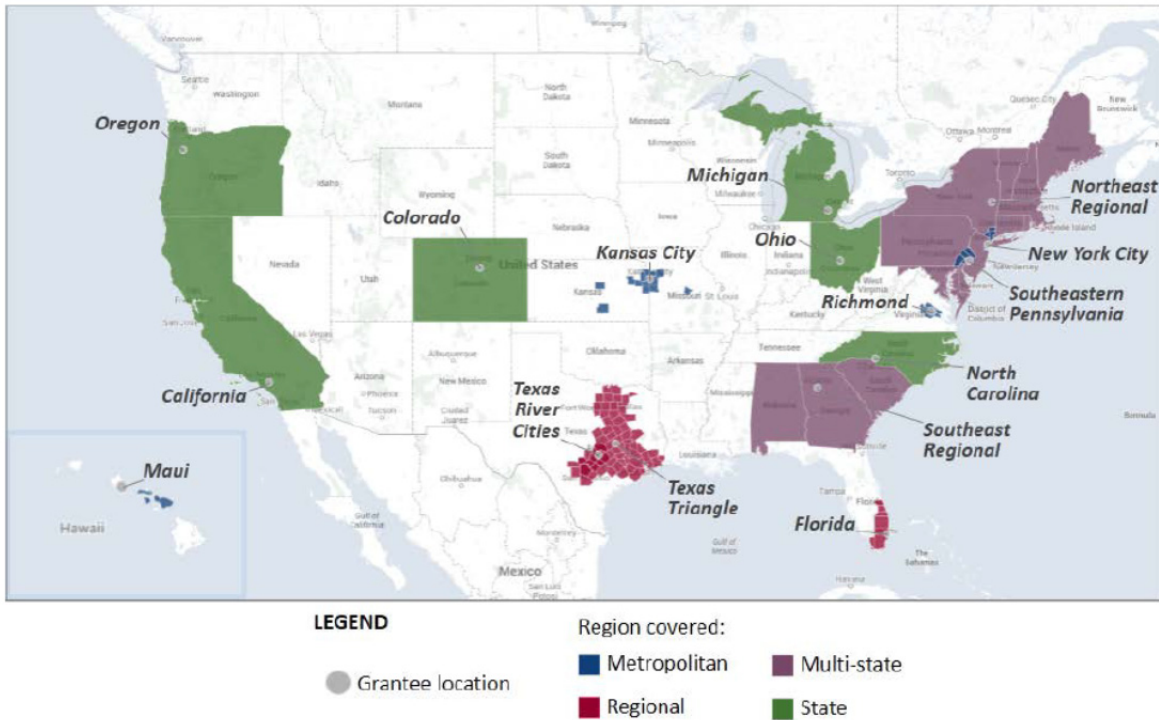
Table 9: Table of Regions receiving EV Readiness Project funding (Frades, 2014)

<b>Shorthand Description of Region</b>	<b>Region Covered in Readiness Plan</b>	<b>Awardee</b>	<b>Award Amount</b>
California	California, with individual plans covering the Bay Area, Central Coast, Sacramento, San Diego, San Joaquin, and South Coast regions	South Coast Air Quality Management District	\$1,000,000
Colorado	Colorado	American Lung Association of the Southwest	\$500,000
Florida	Southeast Florida region, with consideration given to statewide policy and planning	South Florida Regional Planning Council	\$500,000

Kansas City	Greater Kansas City Kansas & Missouri area with consideration given to state policy and planning	Metropolitan Energy Information Center, Inc.	\$441,178
Maui	Maui, Hawaii with consideration given to statewide policy and planning	University of Hawaii	\$299,693
Michigan	Michigan	Clean Energy Coalition	\$500,000
New York City	New York City	New York City and Lower Hudson Valley Clean Communities, Inc.	\$418,612
North Carolina	North Carolina, with individual plans covering Greater Asheville, Greater Charlotte, Greater Triangle, Piedmont Triad regions as well as a statewide plan	Centralina Council of Governments	\$500,000
Northeast Regional	Connecticut, Delaware, Maryland, Massachusetts, New Hampshire, New Jersey, New York, Pennsylvania, Rhode Island, Vermont, and the District of Columbia	New York State Energy Research and Development Authority	\$994,500
Ohio	Ohio	Clean Fuels Ohio	\$500,000
Oregon	Oregon	Oregon Business Development Department	\$485,000
Richmond	Richmond region, with consideration given to Virginia statewide policy and planning	Virginia Department of Mines, Minerals and Energy	\$429,051
Southeast Regional	Georgia, Alabama, South Carolina	Center for Transportation and the Environment	\$545,400
Southeastern Pennsylvania	Five counties of Southeastern Pennsylvania (Bucks, Chester, Delaware, Montgomery, and Philadelphia)	Delaware Valley Regional Planning Commission	\$387,698
Texas River Cities	Central Texas region, including the greater Austin and San Antonio communities, with consideration given to statewide policy and planning	City of Austin, Austin Energy	\$499,782

Texas Triangle	Texas Triangle region including Dallas-Fort Worth, Houston-Galveston, and San Antonio-Austin urban areas, with consideration given to statewide policy and planning	Center for the Commercialization of Electric Technologies	\$500,000
----------------	---	---	-----------

Map of Locations of Clean Cities Community Readiness and Planning for Plug-In Electric Vehicles and Charging Infrastructure grantees and regions covered (Frades, 2014).



### 3.2.3.4 National Renewable Energy Labs (Clean Cities Support)

NREL is a national laboratory dedicated to renewable energy sources, primarily solar, wind and geothermal. Additionally, it has a battery research lab, and provides technical support for electric and hydrogen fuel cell vehicle programs. NREL provides support to the Clean Cities program in a number of consumer information support services, many of these are web based information services that are part of the Department of Energy website, and are designed to inform the public on fuel economy (fueleconomy.gov) as well as alternative fueled vehicle products, analysis (of carbon impacts, petroleum reduction). Also, the lab provides experts to Clean Cities Coalitions to speak, and answer questions on the phone.

### 3.2.3.5 Oak Ridge National Lab (Knoxville Tennessee)

There is a program at ORNL on mobile energy use. One unique program at ORNL is focused on wireless transfer of energy, both from stationary pads as well as in the road or dynamic charging.

### **3.2.3.6 Idaho National Lab**

INL is the location of electric vehicle testing, most of which is actually conducted at a test track in Arizona. The focus of this testing has been to measure energy consumption, as well as battery durability. INL is also the home office of the Electric Vehicle Project.

### **3.2.3.7 Argonne National Lab (Chicago, Illinois)**

Argonne is the location at which batteries and vehicles are tested under laboratory conditions. Recently it received a new grant from the DOE to be the National Battery Research Hub. Argonne also has done much collaborative research with automakers, to test their vehicles on its equipment. Finally, Argonne has been the source programs aimed at collaboration with China to promote electrification of vehicles.

### **3.2.3.8 DOE EVs Everywhere Program (one of Obama's Grand Challenges)**

In spring 2012, Obama reinvigorated its commitment to developing an electric vehicle industry, announcing an EV Everywhere Challenge. This program was developed through five stakeholder workshops in 2012, but was kept under wraps during the recent elections. While Obama was re-elected in Fall 2012, the budget struggles in the US have kept EVs Everywhere under wraps until a new budget was signed in January 2014. In early March 2013, the first new program, EV Workplace Challenge was announced, with the support of industry. The workplace challenge was to refocus Federal efforts on working with employers, to influence sales to employees, whereas most previous efforts focused on commercial fleets.

### **3.2.3.9 Advanced Research in Programs in Energy (ARPA-E)**

The DOE also funds advanced research projects under the Advanced Research Projects Agency- Energy. Most of these projects are support of a few million dollars to promising, long term big payoff energy research, on things like post lithium batteries, advanced biofuels or smart grid ideas.

## **3.2.4 Environmental Protection Agency**

The US EPA is the government agency, which executes Federal Environmental Law, most importantly the Clean Air Act. The Clean Air Act importantly is the source of the authority of California to regulate the emissions of vehicles to ensure clean air for its citizens. The EPA is the agency, which measures and certifies the emissions levels of vehicles sold in the United States. While the EPA does not develop technology, it does testing of vehicles.

## **3.2.5 Research on vehicle technology and vehicle components**

There is some vehicle technology and component research, primarily performance and reliability testing, that occurs at the National Laboratories, primarily Argonne National Lab and Idaho National Lab. However the vast majority of vehicle technology and component work happens at the automaker, or Original Equipment Manufacturer (OEM) and Tier 1 supplier level. Tier 1 suppliers are companies that are direct component suppliers to the automakers, these companies are often specialized in a certain type of component and have

long-term development and production contracts with the OEMs, including responsibilities for continued product improvement or renewal.

Much of the continued vehicle technology and component research is closely guarded by the OEMs and their suppliers, and is not discussed until it is available in production vehicles.

### **3.2.5.1 Vehicle Technology**

Automakers in the US are looking at a broad range of vehicle technologies for their future vehicle fleets, from improving efficiency of conventional ICE vehicles, to hybrid and electric vehicles in the mid-term, with long-term research efforts extending to fuel-cell vehicle technology. They expect their production fleets to consist of a variety of vehicle technologies and fuels for the next several decades.

### **3.2.5.2 Vehicle Components**

Tier 1 suppliers are likely focused on increasing efficiency and reducing component costs for the next generation of vehicle technology and components, while maintaining the highest level of manufacturing consistency and costs for their current products.

- Since their research efforts are closely guarded, we can only hypothesize that their focus will be on the following areas (specifically related to hybrid, PHEV, and BEVs):
- Reducing battery costs
- Weight reduction through use of advanced materials (such as carbon fiber)
- Size reduction and efficiency improvement of power electronics (DC-DC converters, inverters, including components such as Insulated Gate Bipolar Transistors)
- Wireless charging technology
- Emissions management technologies (catalytic converters, specifically for hybrid and PHEV systems)

### **3.2.5.3 Battery Technology**

Battery technology research, as well, is closely guarded by the battery companies and the OEMs they may be affiliated with, as this is a primary component, both in terms of performance and expense for hybrid, PHEVs, and BEVs. Some research is being done at the chemical and material level at Universities around the country, looking at possible future battery chemistries. There is an enormous amount of effort and funding being poured into battery technology improvements across the country including by DOE (see Figure 6 on just DOE funding) and private investments.

New battery technologies, such as Li-sulfur, Li-air, and Li-water being developed by company PolyPlus use Protected Lithium Electrode technology using a membrane to separate the lithium from the external electrolyte, it is impervious to liquids and gases, while still allowing the lithium to be electrochemically active. This technology, which has been measured at 1,300 Wh/kg could almost triple the theoretical energy density of Li-ion batteries, which is about 400-450 Wh/kg. While this company is piloting production of a non-rechargeable li-

seawater battery, they plan to move on to the more complex rechargeable chemistries li-sulfur and li-air, which could eventually make their way into first consumer electronics, and then PEVs in an estimated 10 years. The company PolyPlus is working with partners Johnson Controls and Corning, and has received \$8.99M from the US DOE to finish the development and scale manufacturing of its Protected Lithium Electrode technology (Charged Aug./Sept. 2012, p.24-31).

### 3.2.6 Research on charging technology and infrastructure

There are dozens of research organizations studying various aspects of charging technology, including wireless charging technologies, as well as infrastructure needs and grid impacts for various EV fleet scenarios. This research is primarily being conducted at the private companies, universities, and national laboratories. A representative sample of some of the leading organizations working in this area is shown below.

Table 10: Research Organizations studying charging technology and infrastructure.

Organization	Type	Area of Research/Development
AeroVironment	EVSE Company	EVSE technology and deployment
ChargePoint	EVSE Company	EVSE technology and deployment
ECOtality	EVSE Company	EVSE technology and deployment
NRG	EVSE Company	EVSE technology and deployment
Quantum	EVSE Company	Wireless charging technology development
Argonne National Lab	National Lab (DOE)	Charging standards and cost reductions for EVSE
Idaho National Lab	National Lab (DOE)	Wireless charging technology testing
Pacific Northwest National Lab	National Lab (DOE)	Electrical grid impacts
Nissan	OEM	EVSE technology and deployment
Humboldt State University	University	Regional Infrastructure Modeling
UC Berkeley	University	Infrastructure needs and grid impacts
University of California, Davis	University	Infrastructure needs and grid impacts
University of California, Irvine	University	Infrastructure needs and grid impacts
University of California, Los Angeles	University	Infrastructure needs and grid impacts
University of Delaware	University	Vehicle-to-Grid (V2G) and grid impacts
Duke with Toyota & Energy Systems Network	Utility, OEM, Service provider	charging optimization for grid impacts
Electric Power Research Institute	Utility/Research Org.	Infrastructure needs and grid impacts

### **3.2.7 Research on business models and mobility concepts**

UC Los Angeles and UC Berkeley are both looking at various business models and mobility concepts around electric transportation, often conducted through the schools of business. The most relevant work happening in this arena is pilot, demonstration, and new mobility concepts being launched by both small and large companies. Unfortunately, many of these new business models and mobility concepts are kept completely confidential by the companies researching them until they are publicly launched. These newly launched projects are discussed further in section 3.4.5.

### **3.2.8 Results of the interviews with stakeholders: opinions on the R&D**

#### **Research on vehicle technology and vehicle components**

Plug-In Hybrids were mentioned as the most promising electric vehicles for regular car users who drive long distances. In large countries such as the U.S., range anxiety is an important issue. The success of pure electric vehicles depends largely on the upcoming advances in battery technology. According to expert estimations, the battery price can drop as low as 125 USD/kWh in the near future with more advanced battery technology or materials and with large sales numbers. Besides the battery there is also a high potential in improving the thermodynamics, mainly cooling or heating the vehicle components. The energy used today for thermodynamics is quite high and it bears a high potential for energy savings. This leads to a need for a strong focus on material sciences, which was mentioned especially in Canada as a main focus of R&D spending, which also includes lightweight construction. Fuel cell vehicles on the other hand are not foreseen to be an alternative drive train in the near future. An expert mentioned that if the battery technology improves significantly and there is no breakthrough in hydrogen production processes, fuel cell electric vehicles won't be a feasible mid-term solution.

### 3.3 Economy and industry

The plug in electric vehicle industry is of course in its infancy. The primary players are the car manufactures, primarily the major manufacturers. Additionally, there are part suppliers, including battery manufacturing, and electric component manufacturers.

#### 3.3.1 Actors

The following table lists the companies that are actively engaging in the PEV industry, either through participation in public-private collaborations, research, demonstrations, or industry events.

Company	Sector
American Honda Motor Company, Inc.	Automaker
BMW Group	Automaker
Boulder Electric Vehicle	Automaker
Chrysler Group LLC	Automaker
Ford Motor Company	Automaker
Fuji Electric Corp. of America	Automaker
General Motors	Automaker
Honda R&D Americas, Inc	Automaker
Mahindra GenZe	Automaker
Mercedes-Benz USA	Automaker
Mitsubishi Motors R&D	Automaker
Nissan Motor Co., Ltd, Nissan North America	Automaker
Odyne Systems, LLC	Automaker
Toyota Motor Engineering & Manufacturing North America, Inc.	Automaker
Toyota Motor Sales	Automaker
VIA Motors	Automaker

Table 11: List of participating Automakers

The following list of Automotive suppliers is not exhaustive, but lists the suppliers that are most engaged in the plug-in electric vehicle industry.

Company	Sector
AVL	Auto Supplier
Bosch Automotive Service Solutions	Auto Supplier
DENSO International America	Auto Supplier
Eaton Corporation	Automaker/ Supplier
Maxwell Technologies	Auto Supplier - Battery Manufacturer
Nichicon America Corporation	Auto supplier
Ricardo, Inc.	Auto Supplier

Table 12: List of engaged Automotive supplier companies



### 3.3.2 Vehicles, vehicle concepts, powertrain and transportation concepts

In addition to the current market offerings of 10 different makes and models of BEV and 7 PHEV models as of the end of 2013, there are many more plug-in vehicles planned by almost every major manufacturer. The current market includes:

Table 13: Current EV and PHEV offerings in the US market

Manufacturer	Model	Type	Est. EV Range
BMW	Active E	BEV	~100mi/161 km
Chevrolet	Spark	BEV	82 mi/132 km
Fiat	500e	BEV	87 mi/140 km
Ford	Focus EV	BEV	76 mi/122 km
Honda	Fit EV	BEV	82 mi/132 km
Mitsubishi	i (formerly iMiEV)	BEV	62 mi/100 km
Nissan	Leaf	BEV	84 mi/135 km
Smart	ForTwo EV	BEV	68 mi/109 km
Tesla	Model S	BEV	139-265 mi/224-426 km
Toyota	RAV4 EV	BEV	103 mi/166 km
Cadillac	ELR	PHEV	~ 35 mi/~ 56km
Chevrolet	Volt	PHEV	38 mi/61 km
Ford	C-Max Energi	PHEV	21 mi/34 km
Ford	Fusion Energi	PHEV	21 mi/34 km
Honda	Accord Plug-In Hybrid	PHEV	13 mi/21 km
Porsche	Panamera S E-Hybrid	PHEV	~20mi/ ~32 km
Toyota	Prius Plug-In Hybrid	PHEV	11 miles/18 km

Smaller manufacturers were also participating in the market: Azure Dynamics acquired the technology and assets of Solectria Corp in 2005, and in 2010 announced the availability of retrofitted Ford Transit connect EV (BEV), though they are now out of business and the vehicle is no longer available.

Table 14: Upcoming plug-in vehicle models (Autonews, 2013)

#### The next wave

Electric vehicles and plug-in hybrids planned by major automakers

Audi		Mercedes-Benz	
A3 e-tron plug-in hybrid	2014	SLS AMG E-cell EV	2013
BMW		B class EV	2014
i3 EV	2013	B class F Cell	2014
i8 plug-in hybrid	2014	C class plug in hybrid	2014
Chrysler		S class plug-in hybrid	2015

Fiat 500e	2013	<b>Mini</b>	
<b>Ford</b>		Plug-in hybrid or EV	2014
C-Max Energi plug-in hybrid	2013 MY	(considering)	
Fusion Energi plug-in hybrid	2013 MY	<b>Mitsubishi</b>	
<b>GM</b>		Freshening i EV	2015 MY
Chevrolet Spark EV (CA, OR, Canada & Korea only)	2013	Outlander plug-in hybrid	2015 MY
Cadillac ELR plug-in hybrid	2014 MY	<b>Nissan</b>	
<b>Honda</b>		Nissan NV200 electric cargo van	2015 or later
Fit EV	2013	<b>Smart</b>	
Accord plug-in hybrid	2014 MY	ForTwo Electric	2013
Redesign of FCX Clarity fuel cell electric vehicle	2016 MY	<b>Subaru</b>	
<b>Hyundai</b>		Crosstrek Electric plug-in hybrid	2013
Sonata plug-in hybrid	2016 MY	<b>Tesla</b>	
<b>Infiniti</b>		Model X crossover	2015 MY
Electric LE	2014 MY	Mid-sized sedan	2016 MY
Emerg-E plug-in hybrid	after 2015	<b>Toyota</b>	
<b>Kia</b>		Fuel-cell EV	2015
Soul EV	2015 MY	Next-generation Plug-in Prius	2016 MY
Optima plug-in hybrid	2016 (estimated)	<b>VW</b>	
<b>Land Rover</b>		E-Golf EV	2014
Range Rover plug-in hybrid	2013 or 2014	Golf plug-in hybrid	2015 (possible)

MY = model year Source: Company statements

### 3.3.2.1 Vehicle technology and vehicle components

United States has a 100 plus year history of automobile manufacturing, including some of the world's largest auto makers, including General Motors, Ford, Fiat Chrysler. These companies are the core investors in electrification of transportation, and have been researching electrification for many decades. In general, for American automobile companies, the technology is developed by engineers in the US, primarily their primary location for research and development in Michigan, but components may be built outside the US and shipped to the assembly

plants. Vehicle assembly happens in the US, as well as Canada and Mexico as well as other countries around the world.

There have been some new entrants from the PEV world, notably Tesla, who is still a small boutique, luxury automaker, notably dominant in the luxury vehicle category.

### 3.3.3 Charging technology and infrastructure

The electric vehicle charging industry consists of three major components. The first is the manufacturers of the charging equipment, or EVSEs (Electric Vehicle Supply Equipment), second, the operations of the charging network, including reservation systems, memberships, and billing etc. Finally the site hosting the EVSE is a third party, often a host business, parking garage owner, or private users. Some companies are involved in both the design and manufacturing of the EVSE as well as the network operations, though others focus on just one portion of the industry. Table 15 lists most of the Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE) manufacturers and charging network providers working in the United States, several of the major companies are introduced in more detail below.

Table 15: EVSE and Charging Network Provider Companies in the US.

<b>Company</b>	<b>Sector</b>
ABB INC	EVSE/Charging Network Provider
Advanced Charging Technologies	EVSE/Charging Network Provider
AeroVironment	EVSE/Charging Network Provider
ChargePoint	EVSE/Charging Network Provider
Clipper Creek	EVSE/Charging Network Provider
ClipperCreek, Inc.	EVSE/Charging Network Provider
Collaboratev	EVSE/Charging Network Provider
EV Grid, Inc.	EVSE/Charging Network Provider
EVCollective	EVSE/Charging Network Provider
KnGrid/RWE	EVSE/Charging Network Provider
Leviton Mfg. Co., Inc.	EVSE/Charging Network Provider
NRG Electric Vehicle Services/EVGo	EVSE/Charging Network Provider
PlugInConnect, LLC	EVSE/Charging Network Provider
Qualcomm	EVSE/Charging Network Provider
Recargo	EVSE/Charging Network Provider
Schneider Electric	EVSE/Charging Network Provider
SemaConnect	EVSE/Charging Network Provider
Efacec USA, Inc.	EVSE/Charging Network Provider
Greenlots	EVSE/Charging Network Provider
Gridscape Solutions	EVSE/Charging Network Provider
IES Synergy	EVSE/Charging Network Provider
Liberty PlugIns, Inc.	EVSE/Charging Network Provider
OpConnect LLC	EVSE/Charging Network Provider
RWE/KnGrid	EVSE/Charging Network Provider
Skychargers, LLC	EVSE/Charging Network Provider

### 3.3.3.1 Ecotality

#### Company Overview

Ecotality was a company based out of San Francisco who became a major player in the electric vehicle charging market when they were awarded the \$100M government funded “EV Project” in 2009. Ecotality is known for its widespread network of Blink charging stations for passenger EVs. The company filed for Bankruptcy in October 2013.

#### Key Business Information

- Ecotality is primarily an infrastructure company that engaged in selling and installing charging equipment.<sup>3</sup>
- Revenues were generated through equipment sales, network subscription programs and usage fees, media advertising models and interface with utilities<sup>4</sup>
- The ECOTALITY brand had five major focuses for Sales and Marketing:
  - (i) The Blink line of charging stations for passenger electric vehicles
  - (ii) Paid usage of these chargers by Blink card holders
  - (iii) The Minit-Charger line of charging stations for airport and industrial applications
  - (iv) The Blink Network software innovation and analytics
  - (v) The Consulting and Professional Services of eTec Labs with solutions such as the EV Micro-Climate program.<sup>5</sup>
- The majority of revenue was created through the “sale” of the Blink network of charging stations. These sales were heavily subsidized by the federal grant.
- According to the mandate of the EV project, roughly three quarters of the installations were residential. This made any steady revenue stream in the form of service fees impossible. In addition, it was not even manufacturing the equipment, which was done by Roush Enterprises, with global power and technology firm ABB, Inc.<sup>6</sup>
- Since 2012, a manufacturing and design flaw had been detected in some 12,000 charging stations which had caused overheating or in extreme situations melting of the connector plug.<sup>7</sup>
- Realizing financial troubles, in the first half of 2013 Ecotality attempted to focus heavily on the commercial market by selling their charging equipment, but their efforts ultimately failed.<sup>8</sup>

#### Summary

Ecotality adopted the “Manufacturer – Network Operator” model. The charging stations are independently owned. Ecotality had no sustainable revenue source. Plans to generate revenue through equipment sales never materialized. 75% of chargers were installed in residential units, negating any chance of future revenue. These installations were highly subsidized by the DOE EV project. Also, technical failures to chargers did significant damage to brand value, weakening the charging network when compared to its competitors.

---

<sup>3</sup> <http://seekingalpha.com/article/1657432-ecotality-may-have-failed-but-the-ev-industry-has-not>

<sup>4</sup> <http://yahoo.brand.edgar-online.com/displayfilinginfo.aspx?FilingID=9223517-960-461397&type=sect&dcn=0001144204-13-021878>

<sup>5</sup> ibid

<sup>6</sup> <http://seekingalpha.com/article/1657432-ecotality-may-have-failed-but-the-ev-industry-has-not>

<sup>7</sup> ibid

<sup>8</sup> ibid

### **3.3.3.2 Better Place**

#### Company Overview

Better Place was founded in 2007, with headquarters in Palo Alto, USA. However, most of its planning and operations were done from Israel. Better Place introduced a large-scale commercial pilot for battery-switching services. Operations launched in Israel, and operated in Denmark and the USA as well. Better Place filed for bankruptcy in May of 2013.

#### Key Business Information

- Better Place approached the Electric Vehicle market from a new, and completely unique approach. Instead of charging the car batteries while inside the vehicles, Better Place created a model utilizing battery swapping. In this model, Better Place was the Manufacturer, Network Operator, as well as the Site Host. The “All of the Above” model.
- Revenue was to be created through subscription plans for the use of the swapping and charging network. Plans varied based on how much the users drove. Cost savings for Better Place were to come by bulk charging batteries at off-peak hours on the grid.
- Due to the requirement of the battery swap, Better Place had to manufacture cars built specifically for this new network. It found a partner in Renault Nissan and launched in Israel, Denmark, and USA. Battery swapping was not allowed outside of the Better Place car network.
- The costs to create the infrastructure and the less than expected sales of compatible cars, proved detrimental, as Better Place was forced into bankruptcy.

#### Summary

The battery-swapping model is one that has great potential, but requires significant up front costs to implement. Not only the high infrastructure costs of the battery swapping stations, but the requirement for specific battery swapping enabled vehicles, ultimately proved too costly to run a profitable business.

### **3.3.3.3 Car Charging Group**

#### Company Overview

Car Charging Group (CCG) was founded in 2009. Headquartered in Miami, USA, CCG installs, manages and maintains a large network of electric vehicle charging stations throughout the United States.

#### Key Business Information

- Car Charging Group works with commercial property owners for EV charging services. CCG owns and operates the EV charging equipment. It manages the installation, maintenance, and related services.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> <http://www.carcharging.com/about/>

- CCG covers all the costs of installing and maintaining the charging station. As a result, they own the charging equipment outright. The capital costs for the commercial property owner are close to zero.
- CCG partners with the property owner to share the revenue generated from the charging.
- Car Charging focuses its efforts on placing EV charging stations at multi-family residential properties and other commercially-owned properties such as public parking facilities, grocery stores, shopping malls and retail locations.
- Instead of manufacturing its own brand of EV chargers and selling them to its strategic partners, Car Charging purchases EV chargers from whichever manufacturer is offering the best product at the time and retains ownership of them.<sup>10</sup>
  - CCG purchased the Blink network of chargers in October 2013.
- Car Charging is responsible for maintenance and repair of the charging stations and enters long-term service contracts with the property owners.<sup>11</sup>
- CCG also has capability to charge by Kw/h (instead of by hour), making charging more attractive to certain customers.

### Summary

Car Charging Group operates on a “Network Operator-Site Host” model. It does not manufacture the chargers, but simply purchases whichever is the best on the market at the time. CCG retains ownership of the chargers, installs and maintains them for free in strategic commercially owned properties. CCG then shares the revenue created from charging with property owner. CCG does not rely on gov’t subsidies, however has yet to turn a profit (in 2012 Car Charging Group had revenue of \$258,000 and a loss of \$5.3 million). This raises the question, is revenue from a portion of, not even all, the charging profit enough to sustain the company.

### **3.3.3.4 Chargepoint**

#### Company Overview

Chargepoint was founded in 2007 under the name Coulomb Technologies. It is headquartered in the Bay Area, CA. Chargepoint is the largest manufacturer and network operator of electric vehicle charging stations in the USA.

#### Key Business Information

- Revenue is generated through the sale of Chargepoint charging stations to a commercial customer base; as well as an annual subscription for its service plan software.
- Chargepoint uses the “Manufacturer – Network Operator” model, as the charging stations are all independently owned. Thus, Chargepoint’s business model does not involve any retention of the proceeds created from optional charging fees to the users. All site host responsibilities are assumed by the purchaser/lesser of the stations.
- Chargepoint offers a unique financing option for its clients, through a partnership with partner Key Equipment Finance. This offers a virtually no cost option for owners to install charging stations, and pay for them via monthly lease payments. However, for

---

<sup>10</sup> ibid

<sup>11</sup> ibid

Chargepoint the revenue is generated in full at time of sale, as Key Equipment Finance pays for the charger and then acts as the lender to the client.

- The annual subscription service is an important revenue generator, as Chargepoint does not receive revenue from the charging stations. The subscription service will provide significant revenue as the network of charging stations grows.
- Chargepoint chargers are also used in other networks of charging stations. For example, Chargepoint manufactures a large amount of the chargers in the Car Charging Group network.

### Summary

Chargepoint adopted a similar model to that of Ecotality. While manufacturing the chargers and operating the network, the chargers remain entirely independently owned. What has made Chargepoint so successful to date is the financing options that are available to their clients. Providing electric charger stations at close to no up-front cost has solved the barrier for what are otherwise expensive investments for property owners. Chargepoint's service plans, software, and mobile integration have provided it with additional revenue streams. Chargepoint has taken a distinctly different approach than Car Charging Group, by passing all potential profit from charging to the property owner, and generating revenue from the equipment and service plans.

### **3.3.3.5 NRG eVgo**

#### Company Overview

eVgo is a division of the large energy company NRG. Started in 2010, the eVgo charging network targets both residential and commercial charging. Based out of Texas, USA, eVgo operates in Texas, California, and Washington DC.

#### Key Business Information

- EVgo operates on a "Manufacturer-Network Operator-Owner" model. This means they maintain full control and ownership of their network and equipment at all times. Nothing is ever sold to the customer, except a subscription service to use eVgo's chargers and service.
- NRG eVgo targets both residential and commercial charging. EVgo charges its customers a flat monthly rate for one of its subscription plans. Plans include monthly fees which cover the installation of charging equipment at the users home, and the use of the eVgo's network chargers set up around major cities in their networks.
- EVgo's network of away-from-home chargers is entirely made up of DC fast charging stations. This is different than most other chargers, which are predominately Level 2. EVgo has separate plans for the unlimited use, and per-use basis, of their DC fast chargers.
- EVgo's network is still small, focused mainly on Houston and Dallas, but they are expanding into CA and DC.

### Summary

EVgo provides charging services for both residential and commercial charging. With binding subscription services, eVgo provides affordable financing for home charger installations. For their commercial chargers, revenue is generated primarily through subscription plans, as well as per charge fees at the charging stations. EVgo's decision not to sell their charging equipment, but to charge a monthly fee to chargers is an interesting one. Whether they will be able to compete with charging offered by other charging stations, which are operated often not-for profit, remains to be seen.

Table 16: Major Charging Network providers

Charging Company	Manufacturer	Network Operator	Site Host	Still in Business	Residential	Commercial
Ecotality (Blink)	X	X		No	Yes	Yes
Car Charging Group		X	X	Yes	No	Yes
Charge-point	X	X		Yes	No	Yes
Better Place	X	X	X	No	No	Yes
eVgo	X	X	X	Yes	Yes	Yes

### 3.3.4 Business models and mobility concepts

While there is likely plenty of academic research ongoing regarding new business models and mobility concepts around electric vehicles, perhaps the most relevant are the real-world projects and mobility solutions being conducted in the US, particularly in large, dense urban areas such as New York City and San Francisco. DriveNow, an effort launched by BMW, exclusively operates with electric vehicles, and car2go features a mix of electric and conventional vehicles in select cities. Many of the other mobility solutions listed below include hybrid vehicles, but are not limited to just electric drive vehicles.



Table 17: New Mobility Solutions offered in the US

Connected Service	Web Address	Description
DriveNow	<a href="https://us.drive-now.com">https://us.drive-now.com</a>	Electric vehicle car sharing program. It has no annual or monthly fees, all electricity is free and 100% renewable.
car2go	<a href="https://www.car2go.com/">https://www.car2go.com/</a>	Car2go is a car sharing service that offers Smart Fortwo "car2go edition" vehicles and features one-way point-to-point rentals, which are charged by the minute (with hourly and daily rates available).
Uber	<a href="https://www.uber.com/">https://www.uber.com/</a>	Uber is a mobile app that connects passengers with drivers of vehicles for hire and ridesharing services.
Zipcar	<a href="http://www.zipcar.com">http://www.zipcar.com</a>	Car sharing program that works by online and mobile reservations. No gas or insurance fees, but a \$6 monthly subscription is required.
Lyft	<a href="https://www.lyft.me">https://www.lyft.me</a>	On demand ride-sharing community. Individuals offer to give rides in an area and using mobile phone connects them with people asking for rides.
Getaround	<a href="http://www.getaround.com/">http://www.getaround.com/</a>	Getaround is an online car sharing or peer-to-peer carsharing service that allows drivers to rent cars from private car owners, and owners to rent out their cars for payment.
Relay Rides	<a href="https://relayrides.com">https://relayrides.com</a>	\$1 million liability insurance policy, strict renter screening, 24/7 roadside assistance & support, free parking and car washes at various airports.
Ridejoy	<a href="http://ridejoy.com/">http://ridejoy.com/</a>	Ridejoy is a community-driven marketplace for sharing rides. Drivers can list extra seat space in their cars, and people needing a ride can find it using the service.
sidecar	<a href="http://www.side.cr">http://www.side.cr</a>	The new Sidecar allows riders to choose the vehicle, the driver and the price, tailoring every ride for any occasion. Sidecar is the only ride sharing app that shows you the exact price of your ride
Driving Alliance	<a href="http://drivingalliance.org/">http://drivingalliance.org/</a>	Driving Alliance is a non-profit, tax-exempt public charitable group that aims at reducing the amount of drunk drivers by providing a Free designated ride to and from selected establishments, thus encouraging individuals not to drink and drive.

### 3.3.4.1 The Tesla Story

Headquartered in Palo Alto CA, in the heart of the Silicon Valley, Tesla launched the two-seater Tesla Roadster in 2008, and by 2012 had sold more than 2,250 Roadsters in 31 countries. The base price of the Roadster was US\$109,000, and the new luxury sedan, launched in 2012, came with a base price of US\$57,400. The Model S is manufactured in Fremont, CA, and has sold approximately 21,270 models in the US since its 2012 launch. Tesla's approach to selling electric vehicles is unique in that they have several goals for increasing EV availability to customers. They sell through company-owned showrooms and online, not through dealerships, they sell powertrain components to other manufacturers, and hoped to act as a catalyst to encourage other automakers to join the EV market.

While Tesla has stated that they plan to bring an all-electric sedan to market at US\$30,000, their current offerings are well above the average purchase price for most new-car buyers, and they have maintained a certain brand exclusivity through the introduction and installation of Tesla-specific Superchargers, which are not compatible with either the ChaDeMo or SAE combo Quick Charging connectors. Their home charger is a Tesla-specific connector and charges at a significantly higher current than the standard 220V home charger used by other BEVs or PHEVs.

Their Supercharger network is a unique experiment for a company to undertake, allowing users unlimited use of the Superchargers as part of the purchase of their Tesla vehicle. In California, for example, Tesla built six Supercharger stations in secret, and revealed the locations in late 2012. These chargers are capable of charging the Model S at 90 kW, allowing for approximately 150 miles of driving in 30 minutes of charge time, and are positioned to link Northern and Southern CA along the major Interstate freeway.

- **Folsom, CA** US Route 50  
Folsom Boulevard Exit 23 *Folsom Premium Outlets*  
*Folsom, CA 95630*
- **Harris Ranch** I-5 Exit 334 *Harris Ranch Inn and Restaurant*  
*Coalinga, CA 93210*
- **Gilroy, CA** 101 at Leavesley Road *Gilroy Premium Outlets*  
*Gilroy, CA 95020*
- **Barstow, CA** I-15 Exit 178 *Country Inn and Suites*  
*Barstow, CA 92311*
- **Tejon Ranch** I-5 Exit 219B *Petro Shopping Center*  
*5602 Dennis McCarthy Dr*  
*Lebec, CA 93243*
- **Los Angeles, CA** I-105 Exit 5 *Hawthorne Municipal Airport*  
*3203 Jack Northrop Ave*  
*Hawthorne, CA 90250*

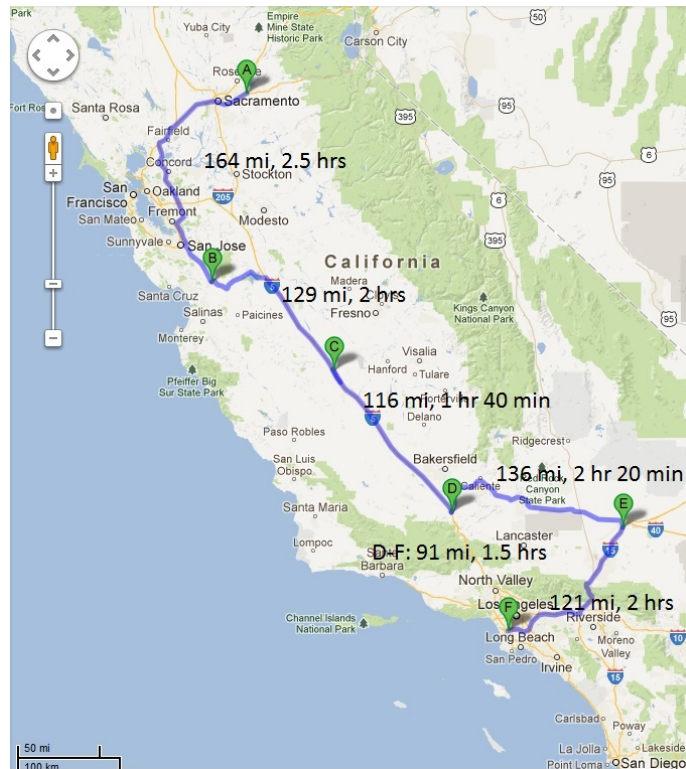


Figure 7: Tesla Supercharger network in CA

### 3.3.6 Results of the interviews with stakeholders: opinions on EV Industry and Economy

#### Vehicle concepts

Two different strategies for EV concepts were discussed among the interview partners. Either the so called purpose design (vehicle concept based on a new vehicle platform, e.g. the BMW i3) or the conversion design (vehicle concept based on existing vehicle platform, e.g. the Ford Focus Electric) were mentioned by manufacturers as the most promising and efficient strategy for OEMs to produce EVs. Those in favour of a purpose design approach mentioned that such a concept brings the possibility to design the car fully after the user's needs. The new car would thus be a "completely new experience of mobility". Also, a vehicle designed and based on a new concept is more individual and distinguishable from other vehicles. The advantage of conversion design is the cheaper production process. The new assembly line is very cost intensive and not feasible yet with uncertain market estimates. Customers used to a certain model also tend to stick to this specific type, rather than switching to another model type or brand say those in favour of conversion design. Expert quote: *the electric drive is just another drive train; the vehicle around it must not be re-invented*. For the coming 10 to 15 years there will probably coexist different types of drivetrains for a single model type.

## **Components technology**

### **Work place**

A high visibility of charging facilities at work places influences the opinion of potential EV users strongly. Co-workers receive a first-hand impression about the vehicle and how it can be arranged to charge it during working hours. A growing number of companies is introducing EVs in their company fleet. The experts state that many employees have been convinced about an EV purchase through their company which is running electric vehicles. The experts mention that the government should take the necessary steps to improve the visibility of charging facilities at work places.

### 3.4 Consumer and market

The world market for light duty vehicles in 2013 was around 100 million units. The 2013 new car market in the United States was 15.6 million, the highest in many years (Edmunds.com). California accounted for 12.5% of 2013 new car sales (CNDA). Electric vehicles are a very small percentage of the market so far, less than 1%, and less than 0.1% of the fleet.

#### 3.4.1 Market development of electric vehicles up to now

Sales of mass-produced electric vehicles for the world and USA market began in earnest in Dec 2010 with sales of the mass produced Chevy Volt (in Europe is called Ampera) and the PHEV Nissan Leaf. Those two vehicles still lead world sales, although there are a number of new vehicles in the markets. We show last December and last years sales for 27 models.

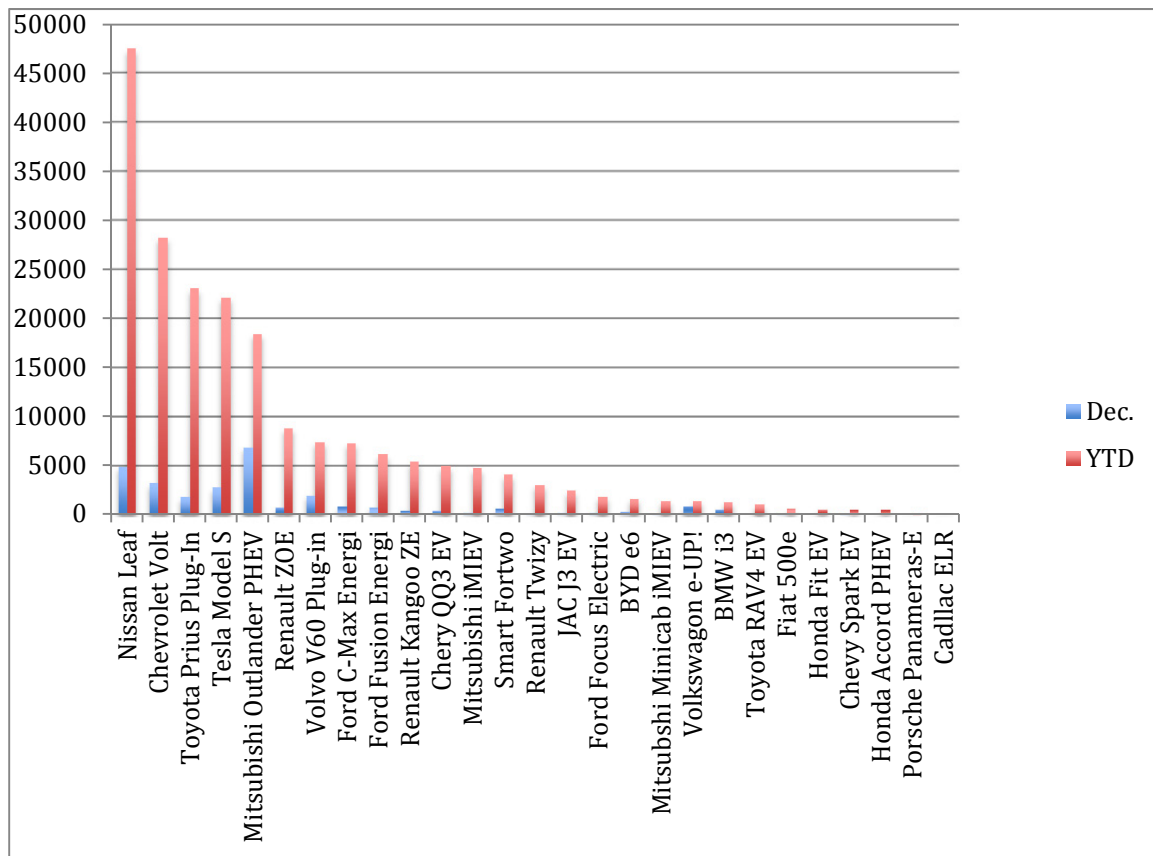


Figure 8: 2013 PEV sales data gathered from <http://ev-sales.blogspot.com> & <http://insideevs.com>

The world sales of plug in electric vehicles in Dec 2013 were 27,544 units and around 215,000 total units for 2013, there were about 400,000 PEVs registered in the world. United States accounts for almost one half of this market. There were about 96,000 PEVs sold in the United States in 2013 and as of January 2014, there were about 170,000 PEVs registered in the United States. If you combine BEV and PHEV sales (PEV) the rate of market growth from 2010-2012 is faster than the two year period of market introduction of HEVs in the United States (2000-2002). If you separate PHEVs and BEVs, the rate of growth is similar. Of course the incentives for PEVs have been considerably higher.

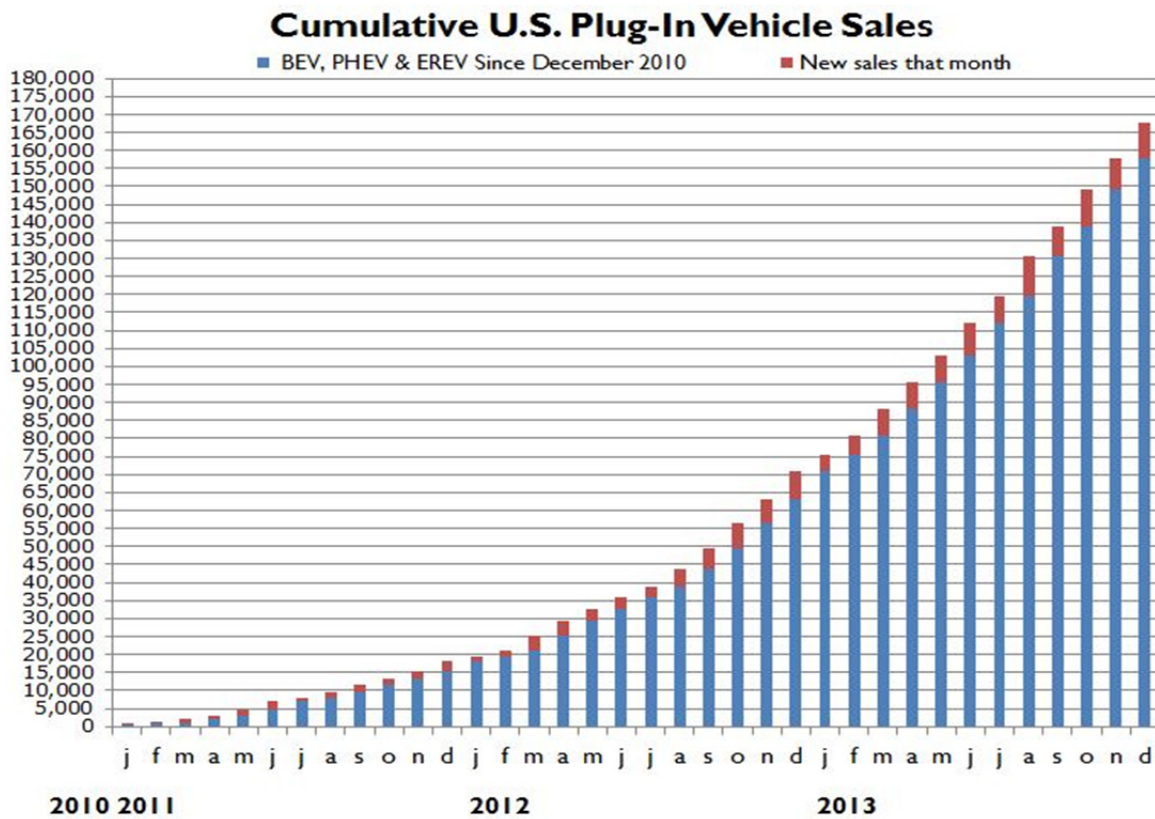


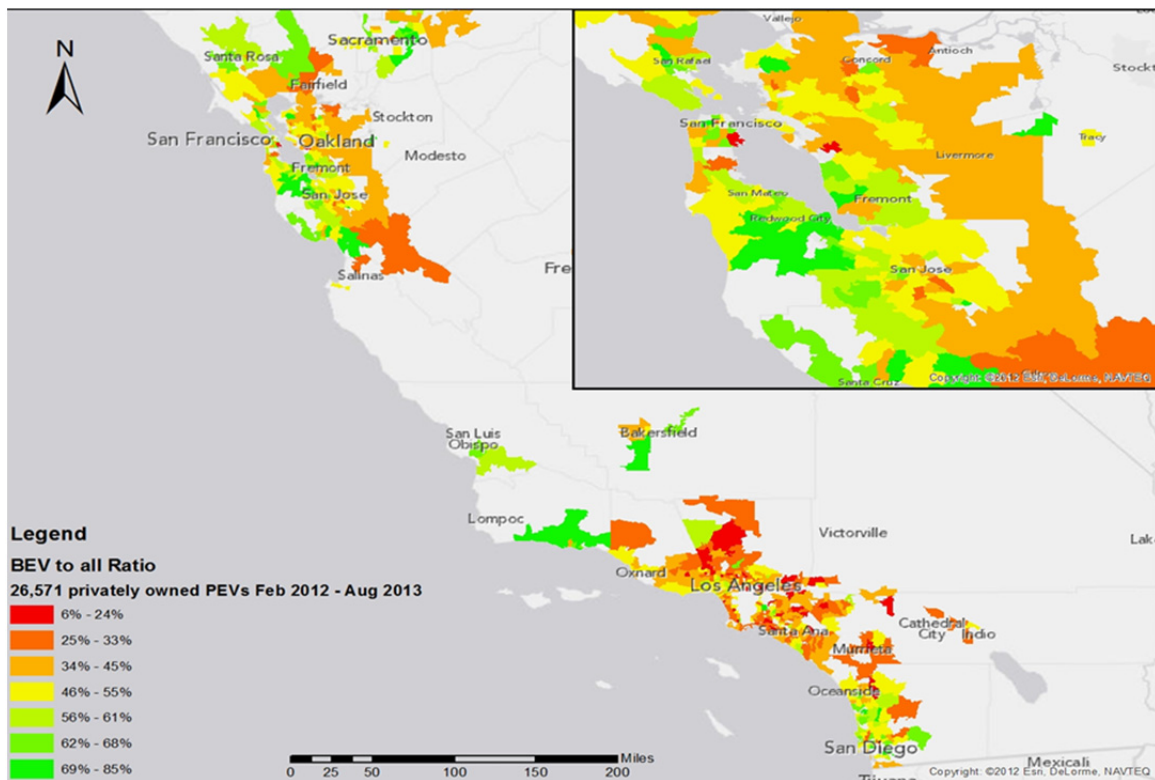
Figure 9: Cumulative US Plug-In vehicle sales. 2010 – 2013 (from EDTA)

Sales of these vehicles have been concentrated in a few regions, in particular city regions on the west coast (San Diego, Los Angeles, San Francisco Bay Area, Portland Oregon, and Seattle Washington). In particular, California, accounts for about 1/3<sup>rd</sup> of national PEV sales, although it accounts for about 12% of all new vehicle sales in the United States. Within California, sales are strongest in coastal cities, where most of the wealth and technical industries reside, and car purchases tend towards cars instead of trucks. Overall, in the last couple of quarters, sales have been nearing 2% of all sales.

Additionally, there are even more specific market trends within these coast zones with some neighborhoods and zip codes. Acceptance of PEVs has been primarily in the technology hubs and politically liberal areas - San Francisco Bay Area, North Carolina Research triangle, Boston, Boulder Colorado, Austin Texas, San Diego California, Seattle Washington, Portland Oregon. Additionally, sales have predominated among well educated, and relatively wealthy households. Additionally, so far sales have been in those households that live in detached single-family homes, which have a practical location to park and charge the vehicle during the night. The general population averages 2.1 vehicles per household (Transport Energy Data Book, 2011), whereas recent survey results show the average PEV buyer has 2.7 vehicles in their household (Tal and Nicholas, 2013).

The following map shows the distribution ratios of all battery electrics and all PEVs in California, showing the heavy concentration of PEVs in the Coastal cities, and the emphasis on BEVs in care urban, with a greater concentration of PHEVs on the peripheral suburbs.

## Ratio of BEVs to all PEVs by California zipcodes



The recent market for plug in vehicles began in the United States in 2008 with limited sales of the Mitsubishi iMIEV and the Tesla Roadster. In December 2010, Nissan began sales of the mass produced Leaf and GM also began sales of the Chevy Volt. The following two charts show quarterly sales of BEVs separated from PHEVs. Sales of the PHEVs are dominated by the Chevy Volt, with small markets of the Toyota Plug in Prius and growing sales of the Ford Fusion Energi and Ford C-Max Energi. Sales of BEVs are dominated by the Nissan Leaf and Tesla S.

It is unclear yet how much competition exists between these brands for market share. It is evident each time a new model is brought to the market, such as the Ford PHEVs or the Tesla S, the market grows considerably. The addition of each new type of vehicle, whether from a new body style, new functionality, or new performance attribute, likely will continue to increase the market share of PEVs rather than compete with existing brands until there are many more options available on the market for consumers.

Perhaps more importantly, the growth of sales in the last half of 2013 reflects the shift from purchase to leasing. In 2012, the majority of PEV purchases were sales, while in the last half of 2013, the majority of purchases were leases. These leases were successful because the manufacturers were able to roll the sizable tax credit into the the three years of a lease. Together with regional incentives, these leases are much more attractive than purchase. Presumably, buyers might be more interested in leasing given the uncertainty about the performance and reliability of PEVs; leases allow for less commitment.

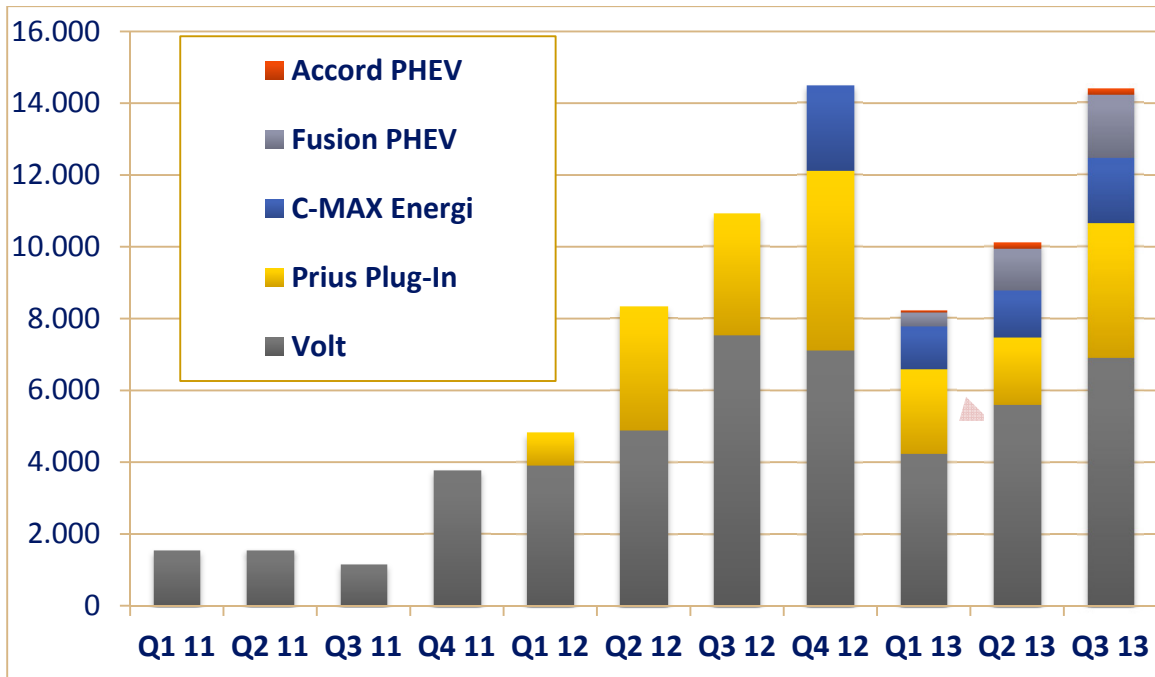


Figure 10: PHEV Sales through 3rd quarter, 2013

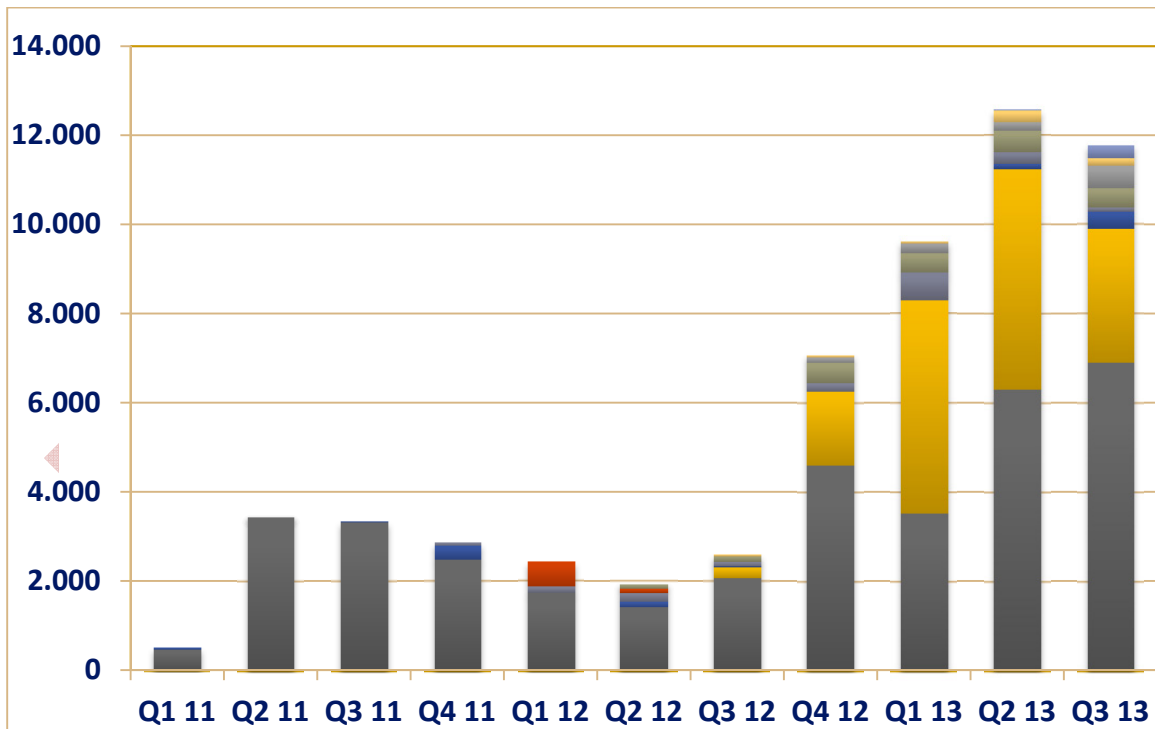


Figure 11: BEV sales through 3<sup>rd</sup> quarter 2013

### 3.4.2 Market perspectives on development up through 2025

As mentioned above, in the sections on USA, and California,

- The market in the next ten years is shaped by several factors:



- Lack of manufacturing infrastructure, especially batteries
- Lack of consumer knowledge of the vehicles
- An incipient infrastructure, which also involves grid integration
- Cost of batteries, which are expensive but currently reducing in cost through mass production at around 7% per year.
- Lack availability in many market segments – importantly truck like vehicles in the US.

We can view the development of the PEV market in the United State in part through mapping several trends on to the next ten years of the market:

- Regulations requiring OEMs to meet PEVs:
  - California and Section 177 States (about 30% of the US market requiring ZEVs by 2025);
  - Sub-markets with favourable conditions for PEVs, including federal, state and local government fleets; and,
  - Several non-Section 177 states, including Colorado, Texas, Florida, Georgia, Washington, Hawaii, and Tennessee which have special conditions or social institutions that favour EVs.
- Vehicle generations onto the next 10 years, using hybrid vehicles as a historical model of vehicle rollouts for innovative drivetrains that require sustained cost reductions
- Consumer markets, primarily diffusion of innovation models which show how new products spread through market segments over time (and across geography as well)

The following chart, developed at UC Davis, is based on the rollout of HEVs in Japan. It combines typical percentages for market development of new products in the automotive industry, time periods for product cycles, and regulatory goals into a single graphic.

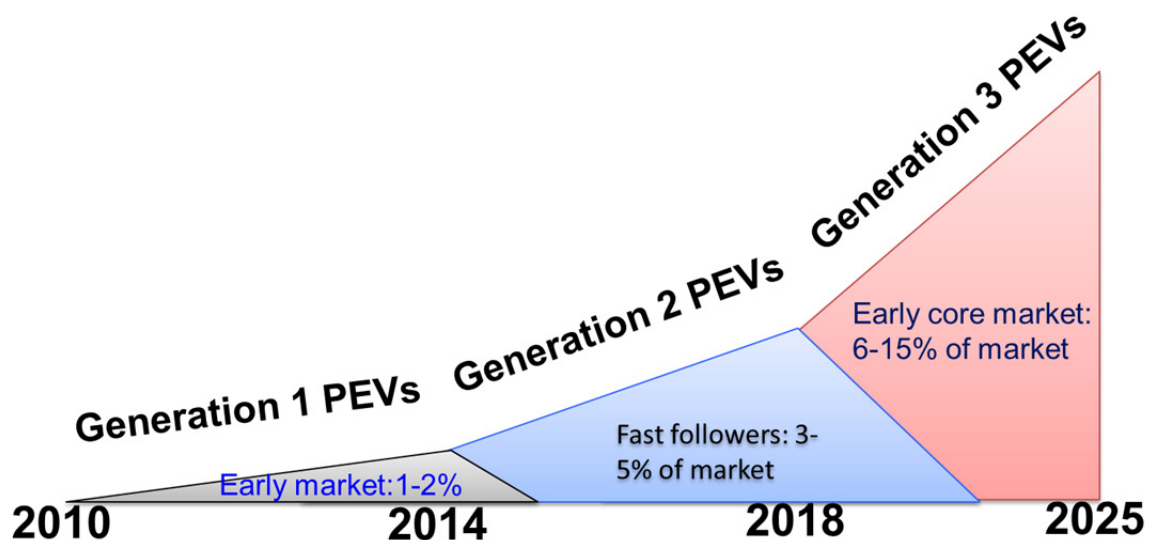


Figure 12: Potential Market Growth through Vehicle and Consumer Generations

### **3.4.3 Results of the interviews with stakeholders: opinions on the EV market**

Today EVs are mostly found in the vehicle segments of small and medium sized vehicles in North America. The experts agreed that the share of large cars in the overall vehicle fleet in the United States will decrease in the future and demand for small sized vehicles will increase. Today's EV concepts are thus becoming more and more attractive to customers. The Nissan Leaf for instance is today the most often sold car in the city of Atlanta. Nevertheless, there exists still a large demand for pick-ups and SUVs on the vehicle market. Several manufacturers have announced plans to introduce SUVs and sports cars as electric vehicles (plug-in hybrid versions). CAFE (Corporate Average Fuel Economy) standards which OEMs have to fulfil are one major reason why manufacturers are focusing on alternative fuels and new engine types. The objective is to reduce their fleet average fuel consumption with an increasing share of electric vehicles.

Today's sales numbers are generally seen as satisfying. The trend of sales goes towards a higher share of plug-in hybrid models and a certain point there will be only a few number of hybrid electric vehicles anymore. The battery price per kWh can drop as low as 125 US-\$ in the near future, which is however not possible with current battery technology.

#### **User / Consumer attitude and behaviour**

The initial stages have shown that the majority of EV users charge their vehicle at home or at work. There are plans to expand the public charging stations as well, however do most of the experts state that there is a much larger potential in subsidizing charging stations at homes and condos or at work places. The longer idle times at these locations lead to this conclusion. Sudden peaks during charging hours for instance at working hours can be avoided through an intelligent charging management. First experiences have shown that drivers of battery electric vehicles almost exclusively choose the Level 2 charging utility as an upgrade. Drivers of hybrid vehicles are more often satisfied with a Level 1 charging utility because they are more flexible using the range extending combustion engine. An important issue in larger cities is the installation of charging stations at condos where many car owners share parking spots. Here the installation is often decided by the house owner who is not the EV owner. There exist local governments who are targeting this issue with special funds to such house owners to make it more attractive to install the charging facility. The advantage here is that the availability can attract others to purchase EVs which again is of interest to the city.

A special challenge for EV owners is using the vehicles in colder climates. In Canada the pre-heating of cars plays an important role and would be a benefit for EVs in order to save the energy to heat up the inside of the car. For the control of their energy consumption home owners in the U.S. use so called smart meters. One expert mentioned that his electricity consumption grew by 100% since he started using an EV on a regular basis which is an impressive finding.

### 3.5 Conclusions

The goals of 15% market for ZEVs in California by 2025 and 1 million PEVs in the USA by 2015 are ambitious goals. To transition to plug-in hybrid and all battery electric vehicle requires continuous improvement of batteries, development of an entirely new supply chain, a system of chargers integrated with the electric power grid, and satisfied car owners. The initial challenge in this transition is that the auto-industry is vested in a vast supply chain for internal combustion gasoline and diesel vehicles; shifting to a whole new drivetrain technology disrupts current patterns for making profit, whether you make, sell or repair automobiles. There have already been some significant bankruptcies during this initial phase, including Project Better Place, Fiskar and several battery makers as well.

The second great challenge is to compete in the marketplace with ICE vehicles, a technology to which consumers are accustomed, vehicle and fuel prices are low and for which there is a well-established system to fuel and repair. In the early years of the market, PEVs are more expensive, the charging system is not well developed, and full battery electric vehicles have range limitations imposed by the expensive and limited storage capacity of batteries. Plug-in electric vehicles do have some advantages for consumers, including good driving feel, less expensive electricity for fuel, potentially less repair, and of course they are clean and quiet. The market is developing first among well educated, wealthy technically knowledgeable car buyers. Additionally, the first buyers mostly own a home with predictable, nighttime parking and access to electric circuits. About one half of Americans who buy new cars, have a practical home charging situation.

California, with its history of air pollution, well-paid technical industry, and progressive politics has been a strong first market for PEVs; that market is concentrated in the wealthy neighborhoods and mild climate of the coastal cities. Similar first markets have developed in coastal cities and technical industry regions of other parts of the USA, notably in areas like the Research Triangle of North Carolina, Seattle Washington, or Portland Oregon. The market is currently about .65% in the US on whole, 1.5% in California, and in some high income, highly educated neighborhoods in university dominated and technical industry areas, approaching 3-5%.

The market is heavily incentivized during these first years, with Federal tax credits, State credits and rebates, and local incentives, such as free charging and parking at workplaces and public parking lots. In recent months, inexpensive leases, HOV lanes privileges and free charging and parking have expanded the market, attracting more middle income buyers. These incentives are probably not sustainable; as the market grows, the total cost of such incentives escalates and faces backlash from both tax conservatives and equity minded politicians.

However, there is a developing web of policies in the United States keeping the market afloat, including the CAFE standards, the ZEV program in California, and a network of other states adopting the ZEV standard in the next few years. Industries, such as Tesla, are developing, and gaining political support as well by being successes. Tesla in particular has been a huge success, with its plan to enter the market at the top end, and provide an included charging network to its buyers.

While slow, it is probable that the PEV transition will happen, but will take several decades, with primary market growth accelerating only when battery and component costs drop to compete with ICE vehicles, or fossil fuels cost become prohibitive. The hybrid market has taken at least 15 years to get rooted in the US auto-market, first growing in coastal cities, and served by a limited range of models during the first two generations of vehicle designs. The market in some coastal cities for hybrids has grown to 10 percent, while overall sales in the US have stayed around 3 percent. However, the number of hybrid models in the market is accelerating in recent months, and the market is poised to grow at a faster pace in the next years.

We would expect to see similar growth for PEVs once the costs are leaned out (third generation vehicles) and a practical charging system is established across the US. This will take at least a decade and probably longer. When the market and industry reach this threshold, we can expect the market growth to accelerate into the range of current hybrid growth, which is between 5 and 15% (Japanese hybrid market is around 20% in 2013).

The most important contingencies are fossil fuel and battery prices. If batteries improve dramatically and prices drop to targets of \$200 or less per kWh, large battery BEVs, like the Tesla, could expand the market. But if battery costs do not drop, PHEVs will dominate this market and BEVs with modest batteries will result in a smaller share of the PEV market. However, if fossil fuel prices rise dramatically as they have in the last decade in the United States, and or CO<sub>2</sub> taxes are imposed on fossil fuels, PEV markets could grow even faster than the hybrid market experience would predict.

## References

Autonews (2013).

<http://www.autonews.com/apps/pbcs.dll/article?AID=/20130325/OEM06/303259981/plugging-along#ixzz2OaWwOzeA>

Bottles, S. (1987) Los Angeles and the Automobile. Berkeley: University of California Press.

Brilliant, A. (1989) The Great Car Craze; How Southern California Collided with the Automobile in the 1920's, Santa Barbara, Woodbridge Press.

Brown, E. (2013) 2013 ZEV Action Plan: A Roadmap toward 1.5 million zero-emission vehicles on California roadways by 2025. Office of Governor Edmund G. Brown, Jr. State of California. [http://opr.ca.gov/docs/Governor%27s\\_Office\\_ZEV\\_Action\\_Plan\\_%2802-13%29.pdf](http://opr.ca.gov/docs/Governor%27s_Office_ZEV_Action_Plan_%2802-13%29.pdf)

California EPA (2011). California Environmental Protection Agency Air Resources Board Staff Report: Initial Statement of Reasons, Advanced Clean Cars 2012 Proposed Amendments to the California Zero Emissions Vehicle Program Regulations December 7, 2011.

Cronk, S., *Building the E-Motive Industry*, SAE Warrendale, 1995.

EIA (2013). U.S. Energy Information Administration. Electricity Data.

<http://www.eia.gov/electricity/data.cfm#sales>

EIA Petroleum (2014). U.S. Energy Information Administration. Weekly Retail Gasoline and Diesel Prices. [http://www.eia.gov/dnav/pet/pet\\_pri\\_gnd\\_dcus\\_nus\\_w.htm](http://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_gnd_dcus_nus_w.htm)

EIA (2014). U.S. Energy Information Administration. Real Petroleum Prices.

<http://www.eia.gov/forecasts/steo/realprices/>

Frades, Matt (2014). Center for Climate and Energy Solutions.

[http://www.afdc.energy.gov/uploads/publication/guide\\_ev\\_projects.pdf](http://www.afdc.energy.gov/uploads/publication/guide_ev_projects.pdf)

IRC-30D. Plug-In Electric Vehicle Drive Credit. <http://www.irs.gov/Businesses/Plug-In-Electric-Vehicle-Credit-%28IRC-30-and-IRC-30D%29>

Johnston, B., McGoldrick, T., Funston, D., Kwan, H., Alexander, M., Alioto, F., Culaud, N., Lang, O., Mergen, HA, Carlson, R., Frank, A., Burke, A. "The Continued Design and Development of the University of California, Davis FutureCar," SAE Technical Paper 980487, 1998, doi:10.4271/980487.

Meyr, N., Huff, B., Cardé, C., Parks, J., Schurhoff, R., Garas, D., Saephan, S., Alexander, M., Duvall, M., Frank, A. "Design and Development of the UC Davis FutureTruck," SAE Technical Paper 2002-01-1210, 2002, doi:10.4271/2002-01-1210.

Newman, P., Kenworthy, J. (1989): Cities and Automobile Dependence: An International Sourcebook, Gower, Aldershot, UK

OECD (2009) 'Territorial Reviews: Toronto, Canada', Available online:

<http://www.oecd.org/gov/regional/toronto> (accessed 10.11.2011)

Riley, R., *Alternative Cars in the 21<sup>st</sup> Century: A New Personal Paradigm*, SAE, Warrendale 1994.

San Diego Gas & Electric (2014). <http://www.sdge.com/clean-energy/ev-rates>

SAE Hybrid-EV Committee (2014). <http://profiles.sae.org/tevhvb/>

Schiffer, M. *Taking Charge: The Electric Automobile in America*, Smithsonian Institution Press Washington 1994

Sierzchula, W., Bakker, S., Maat, K., van Wee, B., (2012): The competitive environment of electric vehicles: An analysis of prototype and production models. In: *Environmental Innovation and Societal Transitions* 2, 49–65.

Smart, John, and Schey, Stephan.

[http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/avta/pdfs/evproj/intro\\_to\\_evproj.pdf](http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/avta/pdfs/evproj/intro_to_evproj.pdf)

Tal, Gil and Michael A. Nicholas (2013) *Studying the PEV Market in California: Comparing the PEV, PHEV and Hybrid Markets*. Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, Research Report UCD-ITS-RR-13-22

Tal, Gil, Michael A. Nicholas, Justin Woodjack, Daniel Scrivano (2013) *Who Is Buying Electric Cars in California? Exploring Household and Vehicle Fleet Characteristics of New Plug-In Vehicle Owners*. Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, Research Report UCD-ITS-RR-13-02

Transport Energy Data Book (2011). [http://cta.ornl.gov/data/tedb32/Edition32\\_Chapter08.pdf](http://cta.ornl.gov/data/tedb32/Edition32_Chapter08.pdf)



# Regional Trends in Electric mobility

Subproject within the research project:

Global Perspectives and LCA of  
Electric mobility

- STROM-Assist

## Regional study China

Funded by the German Federal Ministry  
of Education and Research

Funding code 13N11856

Final version 2014-09-18



**Contributing authors:**



EnergieAgentur.NRW  
ee energy engineers GmbH  
Munscheidstrasse 14  
45886 Gelsenkirchen

Stefan Garche, [garche@energieagentur.nrw.de](mailto:garche@energieagentur.nrw.de), Tel: 0211-8664223  
Dr. Frank Köster, [koester@energieagentur.nrw.de](mailto:koester@energieagentur.nrw.de), Tel: 0209-1672811

This study was carried out in collaboration with **Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy**. The chapters that have been contributed by Wuppertal Institute are listed below.

Contributing author from Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy is:

Philipp Hillebrand [philipp.hillebrand@wupperinst.org](mailto:philipp.hillebrand@wupperinst.org)

Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy is responsible for the following chapters:

Kurzfassung

3.1.7 Stakeholder opinions on governmental framework

3.2.4 Stakeholder opinions on the R&D-landscape

3.3.6 Stakeholder opinions on economy and industry

3.4.4 Stakeholder opinions on consumer and market

# Contents

- KURZFASSUNG ..... 1**
- SUMMARY ..... 9**
- 1 THE PROJECT STROM-ASSIST ..... 10**
  - 1.1 PROJECT BACKGROUND: STROM AND STROM-ASSIST ..... 10
  - 1.2 SCOPE OF THE SUBPROJECT “REGIONAL TRENDS IN ELECTRIC MOBILITY” ..... 10
  - 1.3 METHODOLOGY REGIONAL STUDY CHINA ..... 11
- 2 THE STUDY REGION ..... 13**
- 3 REGIONAL TRENDS IN ELECTRIC MOBILITY IN CHINA ..... 15**
  - 3.1 GOVERNMENT / POLICIES / PUBLIC INFRASTRUCTURE ..... 17
    - 3.1.1 *Actors* ..... 19
    - 3.1.2 *Objectives and Strategies* ..... 25
    - 3.1.3 *Regulatory framework* ..... 37
    - 3.1.4 *Financial support and incentives* ..... 43
    - 3.1.5 *Power generation* ..... 50
    - 3.1.6 *Provisions of charging infrastructure* ..... 54
    - 3.1.7 *Stakeholder opinions on the governmental framework* ..... 60
  - 3.2 RESEARCH FUNDING AND INSTITUTIONS ..... 62
    - 3.2.1 *Actors* ..... 62
    - 3.2.2 *Research Funding* ..... 64
    - 3.2.3 *Status Quo of R&D* ..... 65
    - 3.2.4 *Stakeholder opinions on the R&D-landscape* ..... 69
  - 3.3 ECONOMY AND INDUSTRY ..... 69
    - 3.3.1 *Actors* ..... 70
    - 3.3.2 *Vehicles, vehicle concepts, powertrain and transportation concepts* ..... 75
    - 3.3.3 *Vehicle technology and vehicle components* ..... 76
    - 3.3.4 *Charging technology and infrastructure* ..... 80
    - 3.3.5 *Business models and mobility concepts* ..... 83
    - 3.3.6 *Stakeholder opinions on economy and industry* ..... 84
  - 3.4 CONSUMER AND MARKET ..... 84
    - 3.4.1 *Market development of electric vehicles up to now* ..... 85
    - 3.4.2 *User / Consumer attitude and behaviour* ..... 86
    - 3.4.3 *Market perspectives* ..... 87
    - 3.4.4 *Stakeholder opinions on consumer and market* ..... 93
  - 3.5 CONCLUSION ..... 94
- REFERENCES ..... 97**
- ANNEX ..... I**
  - I. THE STATUS QUO OF THE STANDARD SYSTEM OF CHINESE ELECTRIC VEHICLES ..... I

# List of tables

- Table 1: Overview about the interview partners of the research trip to China ..... 12
- Table 2: Summary on Development Plan for Energy Saving & New Energy Vehicles (2012-2020)..... 36
- Table 3: Regional promotion targets ..... 47
- Table 4: Extract of directory of New Energy Vehicles Demonstration Projects for Promotion  
           Application (Recommended by Government) ..... 47
- Table 5: Yearly subsidy for BEV and PHEV (incl. REEV) in 2013~2015 ..... 49
- Table 6: Constant subsidy for BEV Bus and PHEV Bus (including EREV Bus) in 2013~2015..... 49
- Table 7: Subsidy standard for Special BEV vehicles is according to the battery capacity in Euro ..... 49
- Table 8: China Renewables installed Capacity in GW ..... 51
- Table 9: China Renewables Power Generation in TWh ..... 51
- Table 10: Electric vehicle demonstration and extension number in Beijing (2011) ..... 56
- Table 11: Electric vehicle demonstration and extension number in Tianjin (2011) ..... 58
- Table 12: Electric vehicle demonstration and extension number in Wuhan (2011) ..... 59
- Table 13: Electric vehicle demonstration and extension number in Shenzhen (2011) ..... 60
- Table 14: Key new products in new material industry of 12 FYP ..... 66
- Table 15: China's nickel-metal power battery enterprises production technologies ..... 67
- Table 16: Key battery producers in China ..... 70
- Table 17: Development trend of numbers of charging stations in China ..... 81
- Table 18: Development Plans of auto makers ..... 83
- Table 19: List of Published Standards of Electric Vehicles - 36 Items ..... II
- Table 20: Standards Having Passed the Review of the Standard Committee and Waiting for  
           Approval and Promulgation ..... V
- Table 21: Standards (to be) formulated or modified ..... V
- Table 22: Access Conditions and Appraisal Requirements for New-energy Vehicle Manufacturers  
           (Annex 2 of the Administrative Rules) ..... VIII

## List of figures

Figure 1: Structural transitions between different drive-trains .....	11
Figure 2: Annual car production in China .....	13
Figure 3: China's automobile market is divided in the following individual segments (2011) .....	14
Figure 4: Some Chinese key stakeholders for electric mobility .....	16
Figure 5: Organization of EV standardization .....	19
Figure 6: National working groups for standardization in China .....	21
Figure 7: Governmental overview in China .....	24
Figure 8: The beginning of E-mob in China .....	29
Figure 9: Electric Mobility Development Plan .....	31
Figure 10: Actual Chinese Policies and Actions regarding EV .....	31
Figure 11: Chinese targets for electrochemical power sources till 2030 for high energy (blue) and high power (red) sources. [EDLC: Electrochemical Double Layer Capacitors, LIC: Li-based Capacitors, LIB: Lithium-Batteries, Light Metal: Metal-Air, Metal-Sulphur Batteries] .....	33
Figure 12: EV Technology R&D Deployment in China .....	34
Figure 13: Battery Roadmap .....	37
Figure 14: Normative Chinese Test Cycles referring to Annex A of GB 18386 .....	41
Figure 15: China compulsory product certification (CCC) mark for safety (s) .....	42
Figure 16: Sino-German working structure on standardization .....	43
Figure 17: Vehicles in pilot cities by the end of March 2013 .....	46
Figure 18: National R&D-promotion of electric mobility in May 2012 [Mio. EUR] / [% BIP] .....	50
Figure 19: Electricity grid system in China .....	55
Figure 20: Planned distribution of battery charging and swapping stations in Beijing .....	57
Figure 21: Comparison of charging standards (Source: Pfeiffer, 2012) .....	68
Figure 22: Target of Li-Ion battery technology for EV .....	76
Figure 23: Illustration of different battery technologies and their energy densities .....	77
Figure 24: Cell production expectations in 2015 .....	78
Figure 25: Investments (Mio. \$) for manufacturing facilities for power battery on Lithium basis 2009-2015 .....	79
Figure 26: China's three battery manufacturer zones .....	80
Figure 27: Comparison of AC and DC charging systems .....	82
Figure 28: Target vs. Progress of Vehicles in mid 2010 in China .....	86
Figure 29: The Mobility Threshold .....	88
Figure 30: Global overview in Electric Vehicle development .....	89

## Abbreviations

A	Ampere
AC	Alternating Current (Wechselstrom)
AEV	All-Electric Vehicles
AQSIQ	General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine
Beijing EPA	Beijing Environmental Protection Agency
BEV	Battery Electric Vehicle
CATARC	China Automotive Technology & Research Center
CCC	China Compulsory Certification
CNCA	The Certification and Accreditation Administration
CNOOC	Chinese National Offshore Oil Corporation
CQC	China Quality Certification Centre
CVTSC	China Vehicle Technology Service Center
DC	Gleichstrom
DIN	Deutsches Institut für Normung
DoD	Depth of Discharge
EMC	Electromagnetic Compatibility
EV	Electric Vehicle
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
FCV	Fuel Cell Vehicles
FYP	Five-Year Plans
GB	Guojia Biaozhun
GW	Gigawatt
h	hour
HEV	Hybrid Electric Vehicle
ICE	Internal Combustion Engine
IEA	International Energy Agency
IP	Intellectual Property
ISO	International Organization for Standardization
kW	Kilowatt
kWh	Kilo-watt-hours
LNG	Liquefied Natural Gas
MIIT	Ministry of Industry and Information Technology
MoST	Ministry of Science and Technology
MW	Megawatt
NDRC	National Development and Reform Commission
NEDC	New European Drive Cycle
NEV	New Energy Vehicles
NiMH	nickel metal hydrid
NPC	National Peoples' Congress
PHEV	Plug-In-Hybrid Electric Vehicle
R&D	Research & Development
CNY	Renminbi (100 CNY ~ 12,13 €; 1 € ~ 8,24 CNY)
S&T	Science & Technology
SAC	National Standardization Administration of the P.R.C.

SAC(TCxxx)	National Standardization Technical Committee
SASAC	State-owned Assets Supervision and Administration Commission
SEPA	State Environmental Protection Administration
SEVIA	State-owned Enterprise Electrical Vehicle Industry Alliance
TIPS	Tianjin Institute of Power Sources
TTW	Tank-to-Wheel
UHV	Ultra High Voltage
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
V	Volt
Wh/kg	Watt-hours per kilogram
WI	Wuppertal Institute
WTO	World Trade Organization
WTW	Well-to-Wheel



## Kurzfassung

*Anmerkung: Die hier dargestellte Kurzfassung fasst die Gesamtergebnisse der Regionalstudie Europa, wie im Projektendbericht<sup>1</sup> Kapitel 5.2.5 zusammen. Die Informationen wurden zum Teil gegenüber der beauftragten Regionalstudie Europa auf Basis zusätzlicher Quellen aktualisiert und ergänzt.*

China ist mit 9,6 Millionen Quadratkilometern das größte Land in Asien und das zweitgrößte der Welt; mit mehr als 1,3 Milliarden Bürgern hat es die höchste Bevölkerung weltweit. Sowohl die hohe Bevölkerung als auch die Ausdehnung des Landes führen zu zahlreichen Herausforderungen in Bezug auf Energiebereitstellung, das (Umwelt- bzw.) Verschmutzungsmanagement und die Energiesicherung. Die Bereitstellung von Wärme und Strom für die Vielzahl an Menschen und überdies über eine derart große Fläche ist eine komplexe Aufgabe. Dementsprechend sind die Kosten hierfür historisch betrachtet stark gestiegen.

Aufgrund des immensen Verkehrsaufkommens stehen Städte und Ballungsräume vor enormen Herausforderungen. Um den Ausstoß lokaler Luftschadstoffe in städtischen Räumen zu reduzieren, setzt die chinesische Regierung auf Elektromobilität. Jedoch stammt ein Großteil des produzierten Stromes aus der Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Da Kohle der in China am meisten vorkommende Rohstoff ist, hat der derzeitige Strommix eine hohe CO<sub>2</sub>-Intensität, so dass eine breite Einführung von Elektrofahrzeugen unter den derzeitigen Bedingungen keinen Beitrag zu Klimaschutz leisten kann.

In China gibt es in Bezug auf Mobilität vier Megatrends und Herausforderungen:

1. Urbanisation (wachsende urbane Räume, hohe Bevölkerungsdichte),
2. ökonomische Entwicklung (Wachstum der verfügbaren Einkommen, globaler Wettbewerb, wachsende Nachfrage nach Mobilität)
3. unzureichende Infrastruktur (Ineffiziente Verkehrsmittel, rückständige Verkehrsmitteltechnologie, Nachfrage der Öffentlichkeit nach bislang weitgehend fehlenden Angeboten im Mobilitätsmanagement).
4. Diversifizierung des Kraftstoffsektors, Versorgungssicherheit aufgrund wachsender Bevölkerung und zukünftiger Verknappung von Erdöl

Dementsprechend beabsichtigt die Zentralregierung unter anderem die Unterstützung der Entwicklung und Verbreitung elektrischer Fahrzeuge. Dies stärkt zudem die Energiesicherheit durch eine breitere Basis der Inputs, verringert die Luftverschmutzung in Ballungsräumen und stärkt den Wettbewerb der Automobilindustrie. Auch Stellvertreter der Automobilindustrie haben diese Absichten bestätigt.

## Regierung/Strategien/öffentliche Infrastruktur

In China ist über einen Zeitraum von mehr als zehn Jahre ein sogenanntes 'New Energy Vehicle' (NEV) Programm umgesetzt worden. Grundsätzlich hat sich jedoch gezeigt, dass

---

<sup>1</sup> DLR und Wuppertal Institut (2014): Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität (STROM Begleitung). Abschlussbericht des DLR und des Wuppertal Instituts im Rahmen des Themenfeldes „Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM)“ an das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Stuttgart, Wuppertal, Berlin.



die bislang getätigten Investitionen der OEM in die Forschung und Entwicklung von "New Energy Vehicle" nicht ausreichend sind.

Die offizielle Ziele der chinesischen Zentralregierung sind wie folgt:

Aktuell verfolgt die chinesische Regierung das Ziel, bis zum Jahr 2015 300 000 elektrische Fahrzeuge sowie bis zum Jahr 2020 zwei Millionen elektrische Fahrzeuge im Markt einzuführen.

Regierungsvertreter erklärten, dass die Umsetzung realistisch sei, da die chinesische Zentralregierung weiterhin finanzielle Unterstützung bereitstellt. Diese sieht wie folgt aus: Mehr als 486,3 Milliarden Euro sollen in sogenannte *green-related programs* investiert werden. Ferner ist die Installation von 220 000 Aufladestationen und 2 351 Batteriewechselstationen bis zum Jahr 2015 geplant.

Die Subventionen für NEV in China sind z.Z. wie folgt ausgestaltet: Beispielhaft kostet ein Dongfeng i30 derzeit 150 000 RMB (ca. 19 000 Euro). Zentralregierung und eine jeweilige Stadt fördern diesen Kauf mit jeweils rund 40 000 RMB, ca. 5 000 Euro, also insgesamt 80 000 RMB, ca. 10 000 Euro. Die finanzielle Unterstützung hängt seit 2013 nicht mehr von der Batteriekapazität, sondern von der Reichweite des Fahrzeugs ab. Ein vergleichbares konventionelles Fahrzeug kostet ebenfalls 70 000 RMB (ca. 8 800 Euro). Bei Anschaffung eines E-Fahrzeugs werden allerdings zusätzlich Mautgebühren eingespart sowie die Teilnahme an der „Nummernschildlotterie“ (In einigen Metropolen darf pro Monat nur eine bestimmte Anzahl an Fahrzeugen angemeldet werden. Diese werden monatlich aus allen vorliegenden Anfragen ausgelost. E-Fahrzeuge müssen nicht an dieser Verlosung teilnehmen und bekommen sofort ihr Nummernschild). Bei 17 Pkw-Typen und 75 Bus-Typen (BEV) sowie 16 HEV chinesischer Fabrikation wird zudem die Mehrwertsteuer erlassen (Stand Ende August 2014). Mittlerweile werden 88 Demonstrationsstädten gefördert (Interview Guo).

Ende 2014 kündigte die chinesische Regierung an das derzeit bis 2015 laufende Subventionsprogramm bis 2020 zu verlängern. Dabei sollen die Subventionsbeträge jedoch schrittweise verringert werden um den Wettbewerb zu fördern. Im Jahr 2015 sollen elektrische Pkw Subventionen in Höhe bis zu 55 000 RMB (ca. 7 500 Euro) erhalten, rein elektrische Busse werden mit bis zu 500 000 RMB (ca. 68 000 Euro) subventioniert (Shen und Jourdan 2014).

Im September 2013 gab CATARC einen Bestand von fast 40 000 New Energy Vehicles mit Stand Ende Juli 2013 bekannt, aufgeteilt in 85 % öffentlichen Verkehr und 15 % private Fahrzeuge. Zurzeit hat China 8 400 Aufladesäulen und 37 Batteriewechselstationen installiert. Die meisten der elektrischen Fahrzeuge werden in Flotten als Taxis und Busse eingesetzt. Die private Nutzung von E-Fahrzeugen ist kaum verbreitet (CATARC 2013).

Allgemein treten in China dieselben Herausforderungen und Hindernisse auf, welche die Entwicklung von Elektrofahrzeugen auch in anderen Industrienationen beeinträchtigen, wie zum Beispiel das Kostenniveau, Batteriereichweiten, Sicherheitbelange und ein Mangel an Ladeinfrastruktur. Hinzu kommt, dass insbesondere das geringe Durchschnittseinkommen ein Hemmnis in Bezug auf den privaten Kauf von Elektrofahrzeugen darstellt. Auch deshalb liegt der Fokus der Regierung und der Industrie derzeit primär auf den Flottenbetreibern.

## Forschungsinstitutionen und -förderung

Der Einstieg in Forschung und Entwicklung im Bereich Elektromobilität kam in China im Vergleich zu anderen Industrienationen weder spät noch hat sich der Bereich auffallend langsam entwickelt. Dennoch können Rückstände im Forschungsstand gegenüber relevanten Industrienationen festgestellt werden.

Für die Zukunft ist es wichtig, die Entwicklung weg von einer investitionsgesteuerten hin zu einer innovationsgesteuerten Autoindustrie herbeizuführen. Weiter ist zu erwarten, dass sich ausländische Autohersteller den Markt in China erschließen werden.

Zu diesem Zweck erhöhte die chinesische Zentralregierung kontinuierlich das Forschungsbudget für Elektromobilität in ihren Fünf-Jahres-Plänen (FYP) von 107 Mio. Euro im 10. FYP (2001 - 2005) auf 364 Mio. Euro im 12. FYP (2011 - 2015) (siehe Abb. 0-1). Für den 13. FYP (2016-2020) sind Ausgaben in Höhe von 1 200 Mio. Euro geplant.

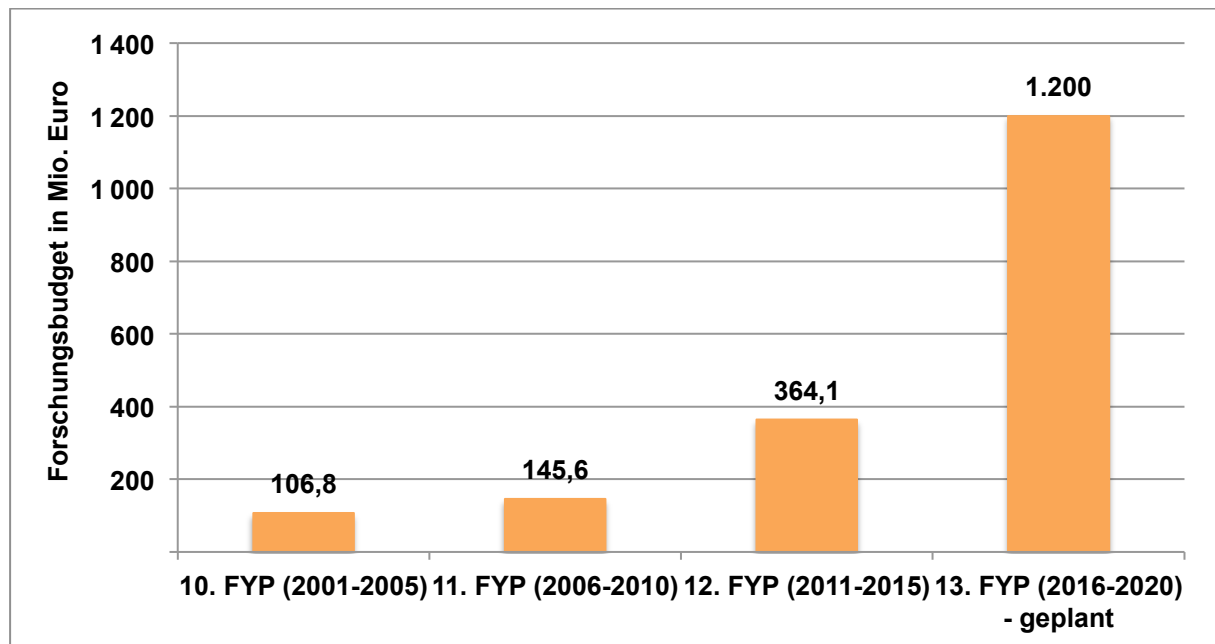


Abb. 0-1 Entwicklung der Forschungsbudgets für die Elektromobilität in den Fünf-Jahres-Plänen der Zentralregierung

Quelle: eigene Darstellung nach (CATARC 2013)

Ein wichtiges Forschungsprogramm ist das *863 High-Tech Development Programm*: Dieses Programm fördert nationale Forschung und Entwicklung zu Elektrofahrzeugen, wovon insbesondere Fahrzeug- und Batteriehersteller profitieren. Beispielsweise erhielt der große chinesische Automobilhersteller FAW im Jahr 2011 87,5 Mio. Euro zum Aufbau einer FuE Abteilung.

Hinzu kommt das „973 Programm“ zur Grundlagenforschung, insbesondere zur Batterieforschung. Hierbei soll in sieben Teilprojekten die Effizienz der Energiespeichersysteme erhöht werden und kostengünstige Speichersysteme mit hoher Energiedichte entwickelt werden. Dabei werden sowohl Batterietechnologie als auch Brennstoffzellentechnologien adressiert.

Auch in China machen Batterien 60 % der Produktionskosten für das Gesamtfahrzeug aus (Garche o.J.). Jedoch besitzt China eigene Rohstoff- und Materialressourcen, was zu einem Kostenvorteil in der Produktion im Vergleich zu den westlichen Staaten führen kann. Generell betreffen globale Kostenreduktionen im Bereich von Batterien auch China, was sich unmittelbar auf das Preisniveau von xEVs auswirkt. Eindeutige Priorität hat die Verbesserung der Energiedichte der Batterien. Entsprechend liegt hierauf der Fokus des aktuellen Fünf-Jahresplans (2011 - 2015). Weiterhin ist die Integrationstechnologie zum jetzigen Zeitpunkt unterentwickelt. Insofern sind chinesische Hersteller stark an Kooperationen mit internationalen Universitäten und Forschungsinstituten interessiert.

Wesentliche Herausforderungen sind außerdem die Entwicklung von Ladeinfrastruktur, Standardisierung sowie Bewusstseinsbildung auf dem Gebiet des Verbraucherverhaltens sowie der Akzeptanz von Elektromobilität.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über verschiedene aktuelle nationale Politiken und Aktivitäten sowie lokale Initiativen in der Forschung und Demonstration im Bereich der Elektromobilität in China.

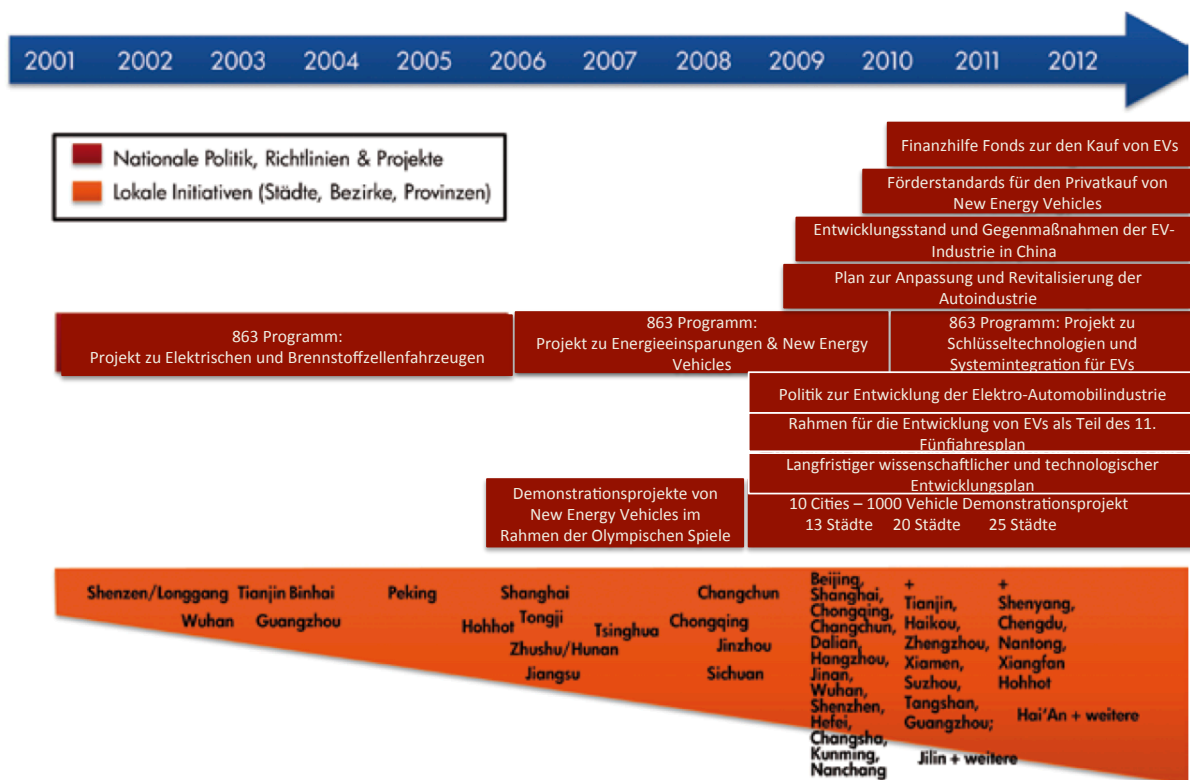


Abb. 0-2 Chinas Politik und Aktivitäten im Bereich Elektromobilität

Quelle: (Klink 2012)

## Wirtschaft und Industrie

Im Jahr 2010 erreichte China als weltweit größter Automobilproduzent eine Gesamtproduktion von 18 Millionen Fahrzeugen. Dies entspricht einem Wachstum von rund einem Drittel im Vergleich zum Jahr 2009. Bis zum Jahr 2012 war ein weiterer Anstieg hin zu 19,3 Millionen Einheiten zu verzeichnen (vgl. Abb. 0-3).

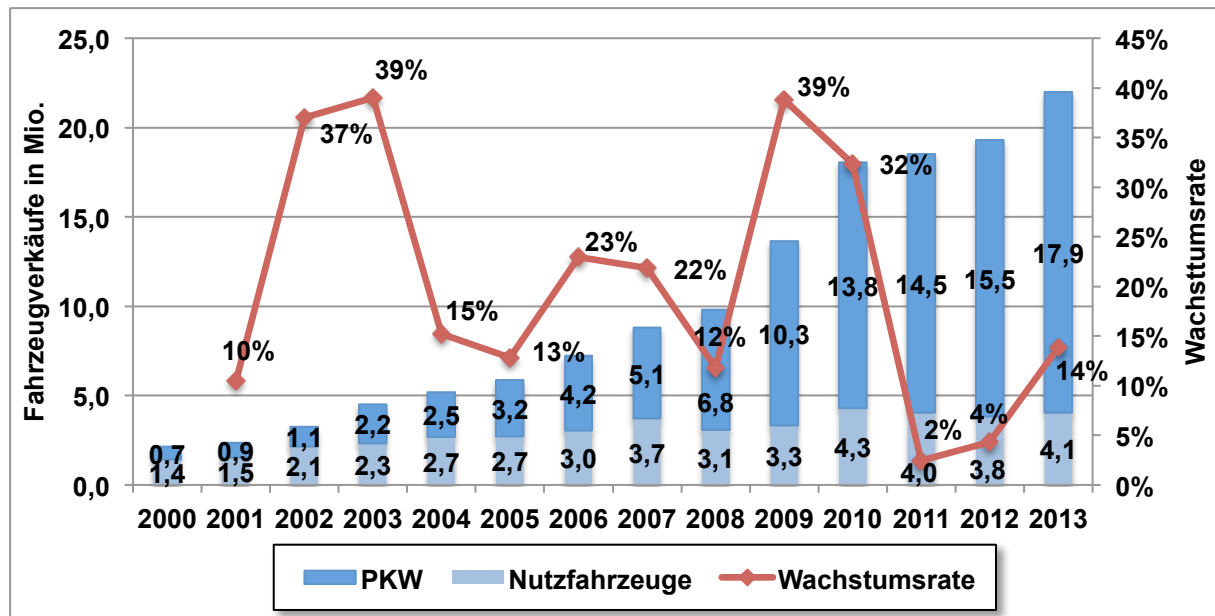


Abb. 0-3 Jährliche Autoproduktion in China

Quelle: Regionalstudie China

Die fünf wichtigsten Hersteller von Elektrofahrzeugen in China sind JAC, Jiangnan Auto, BYD, BAIC Motor and SAIC Motor. Zusammen stellten sie im Jahr 2012 9 000 BEV her. Davon produzierte JAC allein ca. 4 300 Fahrzeuge. Im Bereich der Hybridfahrzeuge ist GAC Toyota der führende Hersteller, mit ca. 6 500 hergestellten HEV in 2013, gefolgt von FAW Toyota, Brilliance BYD and Shanghai GM. Im Jahr 2013 wurden 14 200 batterieelektrische Fahrzeuge in China produziert (Green Car Reports 2014). Dies wurde 2014 durch die Produktion von ca. 48 600 BEV und ca. 30 000 PHEV deutlich übertroffen (Green Car Congress 2015).

Eine nähere Betrachtung der technologischen Seite zeigt, dass Chinas Autoindustrie gegenüber westlichen, japanischen und koreanischen globalen Wettbewerbern von elektrischen Fahrzeugen insgesamt stark zurückliegt, was auch die in STROM durchgeführten Experteninterviews bestätigten. Hinsichtlich der Komponenten für New Energy Vehicles können die chinesische Automobilindustrie und die Zulieferer noch nicht die hohen Produktionsanforderungen bedienen. Joint Ventures zwischen chinesischen und ausländischen Automobilherstellern (Beijing-Benz Automotive, BMW – Brilliance, Dongfeng – Renault, FAW – VW / Audi, SAIC – GM) sind deshalb von besonderer Bedeutung für den chinesischen xEV Markt. Grundlage hierfür sind Marktzugangsbeschränkungen für xEVs ausländischer Hersteller, die nur durch Joint Ventures einen Marktzugang erhalten (siehe Regionalstudie China). So verfügen ausländische Autohersteller in vielen Fällen über weit entwickelte Technologien und ausgeprägtes Nutzervertrauen, von dem chinesische

Unternehmen profitieren können. Beispielsweise entwickelte Daimler zusammen mit dem chinesischen Hersteller BYD das BEV Modell Denza, dessen Produktion im September 2014 startete.

Die hier relevanten Akteure in China stimmen darin überein, dass Investitionen in die Infrastruktur der Schlüssel für eine weitere Entwicklung der Elektromobilität seien. Im Jahr 2009 präsentierten State Grid Corporation, China Southern Power Grid, Sinopec, CNOOC und andere führende chinesische Energiekonzerne ihre Zukunftspläne für den Aufbau und die Auslegung von Ladestationen. So plant der chinesische Stromkonzern State Grid Cooperation of China (SGCC) bis zum Jahr 2020 die Installation von 10 000 Ladestationen und über 500 000 Ladesäulen. In diesem Kontext soll die Investitionssumme für die Erweiterung der Ausstattung laut Information der Unternehmensleitung vor Ort auf 3,9 Milliarden Euro hinauslaufen (Interview Guo). State Grid Corporation, im Besitz von mehr als 90 % des chinesischen Netzes, plant die Investition von ca. 60 Milliarden Euro in Stromtrassen (überregionale UHV und andere Langstreckenleitungen) in den kommenden fünf Jahren. Als wesentliche Lademethode sieht State Grids Strategie derzeit „battery swapping“ an. Die Batterieaufladung soll zentral erfolgen, die Verteilung der Batterien auf die Stationen soll dynamisch sein. OEM sollen die Fahrzeuge ohne Batterie bereitstellen, sodass die Verbraucher den Akku bei State Grid mieten. Der Konzern ist somit verantwortlich für Instandhaltung und Wiederverwendung.

Bezüglich der AC „charging coupler“ hat die Volksrepublik China seine Standards den internationalen des IEC angepasst. Noch nicht vollzogen ist die Aufnahme von internationalen Regulierungen bezüglich Aufladesystemen. Chinas nationale Standards für AC und DC Charging sind derzeit nicht kompatibel mit internationalen standardisierten Aufladesystemen. Risiken für die chinesischen AC Aufladesysteme sind u.a.:

- fehlender Überanspruchungsschutz der Ladekabel
- kein Schutz vor einer Verbindungsunterbrechung während des Ladens auf der infrastrukturellen Seite
- kein automatisches Erkennen einer „plug-long proxy PIN“

### **Verbraucher und Markt**

Im Jahr 2010 wurde China zum größten Automobilmarkt der Welt. Flotten von eingesetzten Bussen und Taxen machten 2013 ca. 1,7 % aller Fahrzeuge aus. Jedoch verbrauchen diese ca. 27 % des Kraftstoffes in ganz China. Demzufolge konzentriert sich die Volksrepublik bei der Förderung von Elektromobilität auf Flotten, was sich etwa in dem sogenannten „10/25 Cities – 1 000 Vehicles“-Programm, einem chinesischen Förderprogramm für ausgewählte Modellregionen mit Fokus auf Flotten, zeigt. Im Rahmen dieser Demonstrationsprojekte wurden bislang 40 000 PHEV/BEV registriert. Dabei handelt es sich nur bei einem geringen Anteil (15 %) um private Fahrzeuge (Tagscherer 2012).

In China ist der private Sektor bezüglich Elektromobilität immer noch hochgradig unterentwickelt. Betrachtet man generell den Autobesitz pro Kopf, ist ein enormes Wachstumspotenzial für den chinesischen Automarkt erkennbar. Allerdings muss auch konstatiert werden, dass privater Autobesitz in China sich insbesondere auf die Städte und Ballungsräume speziell im Osten des Landes beschränkt.

Der durchschnittliche chinesische Autokäufer war 2013 laut Statistik 31 Jahre alt. 60 % aller Erstkäufer im Bereich Elektromobilität sind junge, männliche Verbraucher, die technikbegeistert sind und neue Produkte ausprobieren möchten. Gleichzeitig steigt das private Einkommen, sodass sich das Ausgabenpotenzial graduell von den verbreiteten Motorrollern hin zu Autos verschiebt, auch wenn die Bereitschaft, höhere Kosten für Elektrofahrzeuge aufgrund von Umweltbewusstsein und Begeisterung für Technologie zu akzeptieren, äußerst gering ist.

Chinesische Verbraucher bewerten die Qualität von ausländischen Produkten höher als Produkte chinesischer Hersteller. Deshalb sind die Wachstumsraten von Joint Ventures zwischen ausländischen und chinesischen Produzenten höher als die rein chinesischer Produkte.

Auch in Städten, die für Demonstrationsprogramme ausgewählt wurden, ist es bislang nicht gelungen, eine wesentlich höhere Zulassungsquote an elektrischen Autos zu erreichen. Dies liegt zum einen an dem begrenzten Budget der Kommunen sowie zum anderen am Mangel an Ladeinfrastruktur und am begrenzten E-Fahrzeugangebot. Bislang ist die Nachfrage nach elektrischen Fahrzeugen noch gering.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass China neue Konzepte, die ähnlich den europäischen Ansätzen sind, nachfragt. Ein kürzlich aufgekommener Ansatz in Shanghai ist es, Elektromobilität im städtebaulichen Sinn in neuen Tower-Buildings sowie in Car-Sharing integrativ miteinzubeziehen, um die Akzeptanz und den Nutzen der EV zu steigern (Tagscherer 2012).

### **Fazit - Gesamtbetrachtung des Status quo der Elektromobilität in China**

China setzt in vielerlei Hinsicht einige Hoffnung in die Elektromobilität. So soll diese die bislang nur wenig konkurrenzfähige Automobilindustrie beflügeln. Der im Vergleich zur globalen Automobilindustrie große Rückstand im Bereich konventionell angetriebener Fahrzeuge soll durch „Leapfrogging“ im Bereich der Elektrofahrzeuge wettgemacht werden. Ein weiterer wichtiger Beweggrund sind Energiesicherheit sowie die extreme Luftverschmutzung in den Ballungsräumen. Entsprechend unterstützt die Zentralregierung elektrische Fahrzeuge, um die Energiesicherheit zu stärken, Luftverschmutzung in Ballungsräumen zu verringern und die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Automobilindustrie zu steigern.

Schon allein aufgrund der Luftverschmutzung in den großen urbanen Ballungsräumen bemühen sich auch städtische Regierungen, die Verbreitung der Elektromobilität mit neuen Regelungen zu beschleunigen. Dabei werden in erster Linie Flotten adressiert. Bislang haben chinesische Bürgerinnen und Bürger erst wenig Berührungspunkte zur Elektromobilität. Dies liegt zum einen an den geringen Einkommen und den vergleichsweise hohen Aufwendungen für die Fahrzeuge und zum anderen an dem noch geringen Ausbaustand, was insbesondere Parkregelungen und Ladeinfrastruktur angeht.

## Literaturverzeichnis Kurzfassung

CATARC. *Information on CATARC (China Automotive Technology and Research Centre)*. 2013. [http://www.catarc.ac.cn/ac\\_en/index.htm](http://www.catarc.ac.cn/ac_en/index.htm) (Zugriff am 19. 09 2014).

Green Car Congress. *Green Car Congress*. 15. 01 2015. <http://www.greencarcongress.com/2015/01/production-and-sales-of-plug-ins-boomed-in-china-in-2014.html> (Zugriff am 16. 01 2015).

Green Car Reports. *China Buys More Cars, But U.S. Trounces It In Plug-In Cars* . 2014. [http://www.greencarreports.com/news/1090439\\_china-buys-more-cars-but-u-s-trounces-it-in-green-cars](http://www.greencarreports.com/news/1090439_china-buys-more-cars-but-u-s-trounces-it-in-green-cars) (Zugriff am 30. 10 2014).

Klink, Joachim. „Elektromobilität in China – Förderpolitik und Modellregionen. In: *mobilität morgen* 2012(4): 24-27. Online verfügbar: [http://www.mobilitaet.biz/fileadmin/Dateien/IMG/mobilitaet\\_morgen/Magazin\\_Mobilitaet\\_Morgen\\_2.2012.pdf](http://www.mobilitaet.biz/fileadmin/Dateien/IMG/mobilitaet_morgen/Magazin_Mobilitaet_Morgen_2.2012.pdf).“ 2012.

Shen, Samuel, und Adam Jourdan. *Reuters*. Reuters. 30. Dezember 2014. <http://www.reuters.com/article/2014/12/30/us-china-autos-environment-idUSKBN0K806B20141230> (Zugriff am 08. 01 2015).

Tagscherer, Ulrike. „Electric mobility in China – A policy review. In: Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis No. 30, Online verfügbar: [http://isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/p/de/diskpap\\_innosysteme\\_policyanalyse/discussionpaper\\_30\\_2012.pdf](http://isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/p/de/diskpap_innosysteme_policyanalyse/discussionpaper_30_2012.pdf).“ 2012.

## Summary

Despite the ambitious plans and strong government support, the development of the hybrid and electric vehicle industry in China is facing severe challenges:

- From current sales patterns the Chinese car buyers seem distinctly uninterested in energy-efficient or low-carbon vehicle options such as hybrids, let alone electric vehicles. In fact, sales levels of early producers of electric vehicles (such as BYD) have been negligible.
- From a technological perspective, China's car industry is far behind its Western, Japanese and Korean global competitors. Regarding advanced hybrid and electric vehicle technology, this might be even more the case, making it even more difficult for China to leapfrog into the successful commercialization of electric vehicles.
- All the same challenges and impediments which hold back the development of New Energy Vehicles (NEV) in developed countries, such as cost levels, driving range issues, comfort level, safety concerns, battery problems, lack of recharging infrastructure, hold also for China and often even more strongly. Especially since China still has a lower average income level, it would be rather contradictory to assume that Chinese (private) consumers would rapidly adopt expensive New Energy Vehicles and be even quicker to do so than OECD countries. Therefore the focus lies on fleet operators.



# 1 The Project STROM-Assist

## 1.1 Project background: STROM and STROM-Assist

The accompanying research project STROM-Assist aims at identifying key technologies for the deployment of electric vehicles in the future. Basis for the accompanying research is the funding program by the German Federal Ministry of Education and Research called STROM, in which 18 electric mobility projects are involved<sup>2</sup>. The total program has a funding sum of around 180 million Euros. The project consortia include vehicle manufacturers, tier-1 and tier-2 suppliers, universities and research institutes. The program has a strong approach towards applied concepts and practices with a high market potential in the future. The STROM-projects cover the following categories (technology cluster):

- Vehicle Concept
- Lightweight Construction
- Electric Engine
- Thermo Management of Batteries and Motors
- Power Electronics
- Range Extender

The projects in this program will focus on the technical development of such technologies. STROM-Assist accompanies these projects by reflecting national research efforts within the context of developments in electric mobility in different global regions.

## 1.2 Scope of the subproject “Regional Trends in Electric Mobility”

The subproject “Regional Trends in Electric Mobility” aims at identifying and analysing major trends in the field of electric mobility. The trend analysis will monitor research effort and upcoming technologies, policies, products and market developments in different focus regions around the world continuously to enable a systematic analysis of global trends. The regional trend analysis for electric mobility is a major keystone for the project success and therefore cooperation with renowned international institutions in the field of electric mobility is foreseen.

Objects of analysis in the subproject “Regional Trends in Electric Mobility” include various forms of battery-electric, road-based vehicles ranging from e-bikes to electric buses, while the focus is on electric passenger cars. The analysis covers vehicles that have electric assisted drive systems as well as vehicles that derive all power from batteries.

Already in 2010 25 million electric vehicles have been on the road in China in the form of two-wheeled electric bikes (e-bikes) and scooters<sup>3</sup>. These vehicles are not included in this study due to the fact that they are equipped with simple battery technology (PbA batteries).

Sometimes the term Electric Vehicle (EV) is confusing used only for all-electric passenger cars which mean Battery Electric Vehicle (BEV). BEV is the exact term for a car where the

---

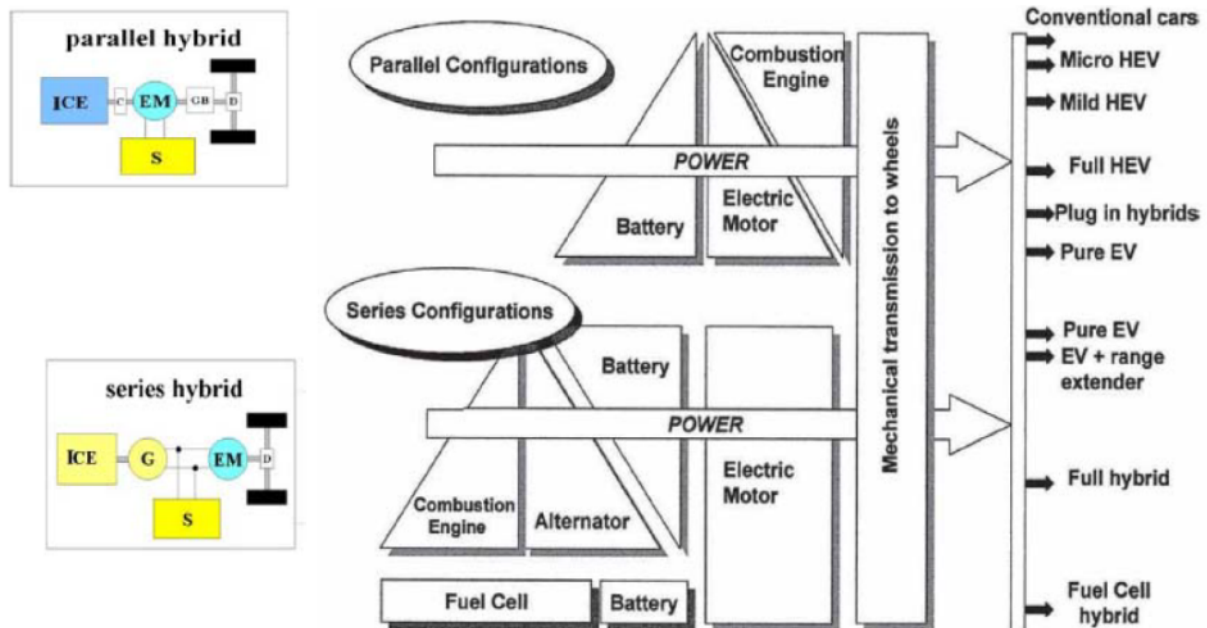
<sup>2</sup> Information on programs funded by the Federal Ministry: <http://www.bmbf.de/en/14706.php>

<sup>3</sup> International Energy Agency (2011): Technology Roadmap - Electric and plug-in hybrid electric vehicles.

battery is the only energy source. In this study EV, however, is in use only as generic term for all vehicles which are propelled partially or completely by batteries.

Figure 1: Structural transitions between different drive-trains

(Source: J. Garche, Vehicle Batteries in China and Germany)



The focus is on the term battery electric vehicle (BEV) and plug-in hybrid electric vehicles (PHEV). Fuel Cell (Hybrid) Electric Vehicles (FCEV), Mild and Full Hybrids are only included in the analysis if these vehicle types are of high relevance in the study region. Furthermore, associated technologies, infrastructures, business models and mobility concepts are under investigation. The analysis covers not only well-known vehicle technologies and mobility concepts, but also includes innovative approaches for electric mobility. At some points it may be necessary to include other vehicle technologies and mobility concepts in the analysis to assess the role of electric mobility. The term “vehicle” subsequently will address road-vehicles only.

### 1.3 Methodology Regional Study China

The results presented in the following are based on interviews with local stakeholders. A researcher team consisting of representatives of the Energieagentur.NRW (EA.NRW) and the Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy (WI) conducted the interviews in two study tours in June and in October 2013. In addition interviews were conducted during a consultation in the context of a visit by a Chinese delegation in Düsseldorf in September 2013. Most of the interviews took place in Beijing and Wuhan. The consultation of local experts served to obtain knowledge to confirm and complete the results of the literature review. The interviews especially provided additional information regarding on-going developments and topics, which are insufficiently covered in public documents. Furthermore, current experiences and expert assessments and opinions on the further development of electric mobility in China were collected.

The interviews within the framework of the regional study China focused on four branches:

- Policy framework and strategies (e.g. funding programmes and budgets, standards and regulations, infrastructure and electricity industry, adequacy of the current policy framework)
- Research and development (e.g. research topics, organisation of the electric mobility research, cooperation between different actors)
- Economy and industry (e.g. main manufacturers of electric vehicles, strategies and business models in the wider sense)
- Consumer and markets (trends, acceptance of electric vehicles, current users)

Representatives of different institutions were interviewed. Among these were automobile organisations, industrial companies, research institutes, ministries and agencies (Table 1). Sometimes experts from different departments within the respective institutions took part in the interviews.

Table 1: Overview about the interview partners of the research trip to China

<b>Institution</b>	<b>Field of expertise</b>
武汉电动汽车示范运营有限公司 Wuhan Electric Vehicle Demonstration Co. LTD	Industry
中华人民共和国国务院 State Council, VR China	Association
German Embassy Beijing	Policy
武汉市科技局 Wuhan Science and Technology Bureau Department of Hi-Technology	Industry
东风电动车辆股份有限公司 Dongfeng Electric Vehicle Co., Ltd.	Association
中国汽车工程学会-首页 Society of Automotive Engineers of China SAE	Research, policy
中国汽车技术研究中心 China Automotive Technology & Research Center CATARC	Research, policy
中华人民共和国工业和信息化部 Ministry of Industry and Information Technology MIIT	Industry
Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GIZ, Büro Peking	Industry
北京交通大学 Beijing Jiaotong University (BJTU)	Industry
BMW Group China	Research

The results were reviewed and structured according to the four fields of investigation. The outcomes of the interviews are used anonymously in the regional study and are summarized in the end of each thematic field.

## 2 The study region

China is the largest country in Asia and the second largest in the world, covering 9.6 million square kilometers; it also has the highest population in the world, with more than 1.3 billion citizens. Both the large population and sheer scale of the country present numerous challenges in terms of energy provision, pollution management and energy security. Providing heat and power to so many citizens across such a vast area is not a simple task, and historically has come at a significant environmental cost. The most abundant natural resource in China is coal, from which greater than 80% of its electricity is generated and, in remote regions, coal is also burned for heating and cooking.

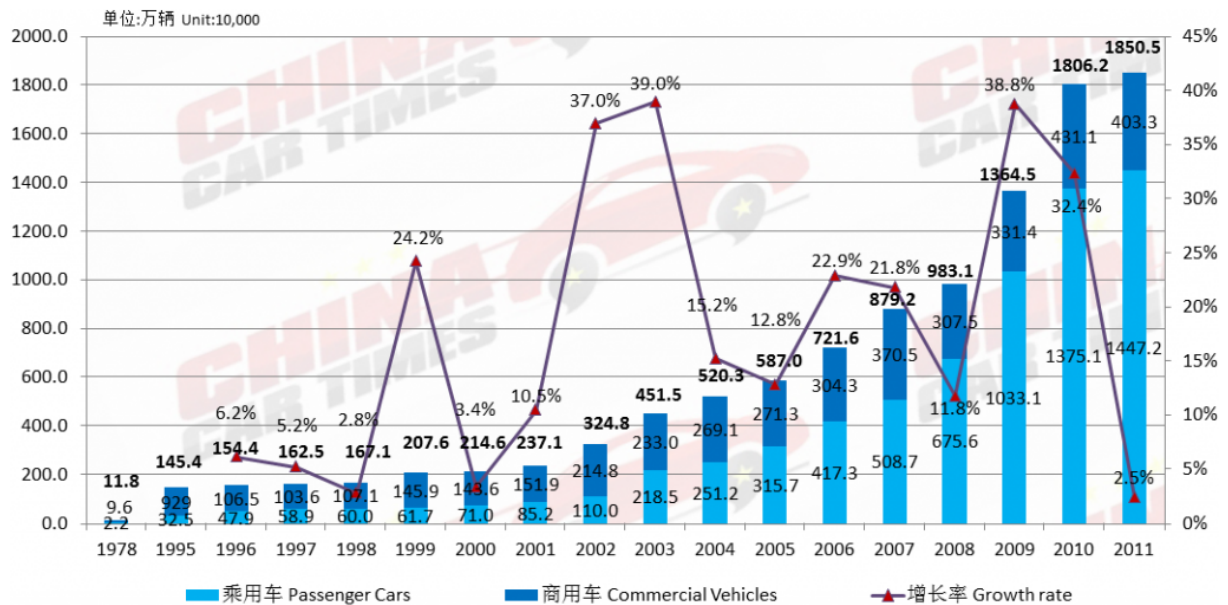
In China there are three mobility related megatrends and challenges:

- Urbanization (Expanding urban areas, Population density, Digital lifestyle),
- Economic Development (Growing disposable income, Global competition, Increasing mobility demands) and
- Insufficient Infrastructure (Inefficient transportation, Lagging transportation technology, Demand for mobility management). Under the topic urbanization<sup>4</sup>

In 2009, the annual car production in China was 13.6 million cars, a year-on-year increase of almost 50%. In 2010, it became the biggest single car market in the world and the automobile production reached 18 million units, an increase of around 1/3 compared with 2009. In 2012 there was a further increase to 19.3 million units.

Figure 2: Annual car production in China

(Source: China Car Times, 2012)



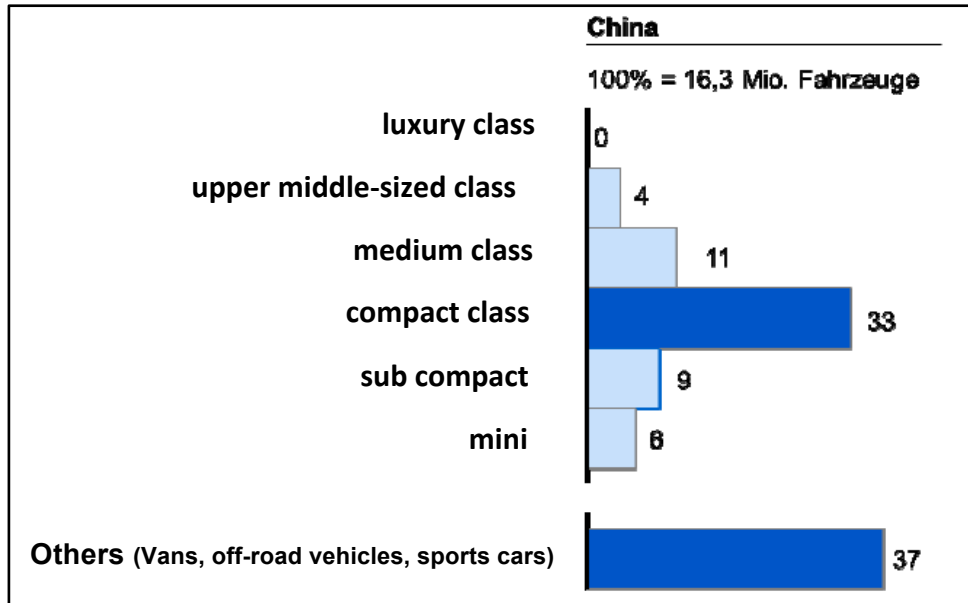
Considering the car ownership per capita, there is still a huge development potential for the Chinese car market. The average Chinese car buyer is 31 years old and 60 % of all are first time buyers related to electro mobility are young customers eager to try out new products

<sup>4</sup> Volkswagen New Mobility Services (2013): Urban Mobility in China.

and services. And it is exactly this huge development potential which makes analysts believe that China will become the largest market for electric vehicles in the future.<sup>5</sup>

Figure 3: China's automobile market is divided in the following individual segments (2011)

(Source: CAMA University Duisburg – Essen, 2012)<sup>6</sup>



China's automobile market is dominated from two segments (more than two-thirds), the compact class and Others. Others includes for example vans and sports cars, but especially mini-buses and transport vehicles. This segment structure shows the special attractiveness of the Chinese market for foreign car manufactures: High growth rates and a high proportion of medium-sized cars promise profitable growth opportunities.

<sup>5</sup> Tagscherer, U. (2012): Electric mobility in China – A policy review. In: Fraunhofer ISI Discussion Papers *Innovation Systems and Policy Analysis* No. 30.

<sup>6</sup> CAMA an der Universität Duisburg – Essen (2012): Automobilmarkt und Automobilunternehmen in China 2012 – Der Markt kühlt ab, bleibt aber wachstumsstark.

### 3 Regional trends in electric mobility in China

Initial enthusiasm for electric vehicles in China was high. The central government viewed them as a way for domestic automakers to leapfrog foreign rivals by rapidly bringing New Energy Vehicles (NEV) to mass production. A New Energy Vehicle (NEV) is in general defined as a vehicle (passenger cars, buses, light and heavy duty vehicles) which uses alternative fuel technologies and electrification technologies. It refers to vehicles using unconventional vehicle fuels as a power source, or vehicles using conventional fuels with new automotive propulsion systems, advanced integrated vehicle dynamics control and driving technologies. Examples for NEV are: Hybrid Engine Vehicle (HEV), Battery Electric Vehicles (BEV), Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV), Fuel-cell Electric Vehicles (FCEV), Hydrogen Engine Vehicles, Natural Gas Vehicle and other possible variants<sup>7</sup>. In the focus of New Energy Vehicles (includes private cars, commercial fleets, buses, taxis and trucks) were HEV, EV, and FCV (later specified to PHEV, BEV, and FCEV). Under this scenario, customers by the millions would buy New Energy Vehicles rather than conventional ICE vehicles, reducing the country's dependence on foreign oil and cutting pollution and CO<sub>2</sub> emissions. In order to adhere to stricter government regulations, foreign OEMs would transfer increasing amounts of EV-specific intellectual property (IP) to their domestic partners, and Chinese suppliers would focus on building massive capacity in lithium-ion batteries and other Electric Vehicle components to support the industry. What's more, it was believed, the central government could easily overcome the charging infrastructure problem due to its control of the economy.

Though electric vehicle are not a new technology we are now into a new period an unprecedented development of this electric vehicle technology, caused by the enormous increase of the battery performance.

At present, all kinds of batteries, like lead-acid batteries, nickel-metal hydride batteries, lithium-ion batteries, and super capacitors are chosen for electric vehicles in China. The lead-acid battery is still the main power battery. Power battery is the Chinese term for traction battery in electric vehicles. Nearly all electric vehicles in China (over 98%) are using lead-acid batteries if all kinds of e-bikes, e-scooters and light EVs count. In this study lead-acid batteries are not included. However, lead-acid battery has a bulky, heavy (13 -15 kg), short life cycle, pollution and other shortcomings. The bottlenecks are the high price and the inconsistent quality. However with technological breakthroughs, future applications will be very impressive.<sup>8</sup>

It is expected that electric vehicles powered by lithium batteries will very soon be available in the mass market. For that market introduction both, regulations and standards, are necessary.

The field of electric vehicles and traction batteries is very dynamic, also in China. Due to the strong activities in China on formulation and modification of programs and regulations some of them can change or be updated meanwhile. New programs, regulations, rules and codes & standards are permanently in the process of development.

Despite some initial challenges, vehicle electrification is here to stay in China because the Chinese need for New Energy Vehicles outweighs that of other nations. China has significant

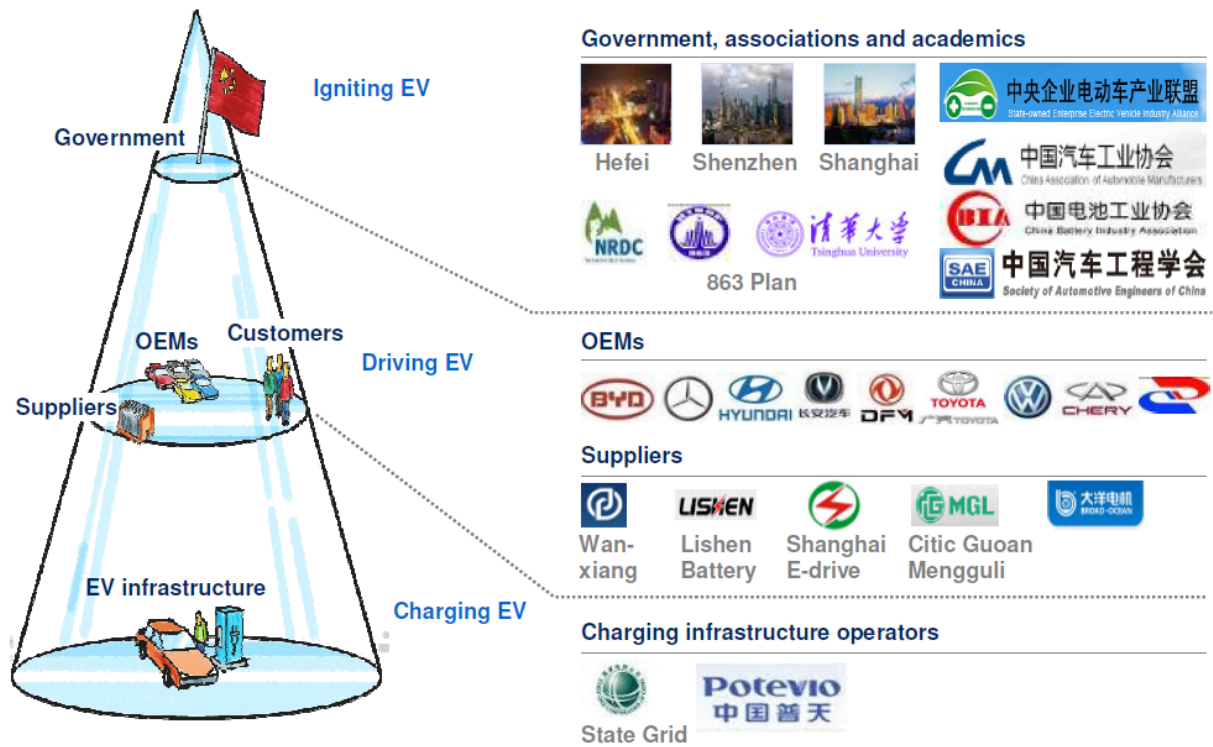
---

<sup>7</sup> Gesellschaft für Konsumforschung (GfK) (2013): New Energy Vehicles in China.

<sup>8</sup> Li-Ion Battery Market Analysis 2012; [www.chinajinjee.com](http://www.chinajinjee.com)

energy security and pollution challenges, and its domestic automotive players remain far behind the rest of the world when it comes to competing in classical internal combustion engine (ICE) technology. China's auto industry, on the other hand, does have the opportunity and the obligation to become a global New Energy Vehicle industry shaper, but because of initial problems, it currently risks falling further behind other nations. For these reasons, while other countries can probably rely on diesel, compressed natural gas or conventional hybrid-electric vehicles for the next few years, China cannot.

Figure 4: Some Chinese key stakeholders for electric mobility  
(Source: Malorny, o.J.)



### 3.1 Government / policies / public infrastructure

#### Legal basics

The structure of Chinese law is similar to parts of the German law, although the state structure within the administration does also exist as different judicial authorities. Higher-ranking law is enacted by the National Peoples' Congress (NPC). It is the single chamber Parliament of a unitary (non-federal) state and "the highest organ of state power". The NPC is new appointed every five years (next in March 2013). It contains a permanent Standing Committee, which meets more times due to fewer members. The Standing Committee of the NPC has power to enact laws or statutes with the exception of those that should be enacted by the NPC and to enact, when the NPC is not in session, partial supplements and amendments to statutes enacted by the NPC provided the basic principles of the statutes are not contravened. The Standing Committee also has power to interpret statutes and to annul various administrative rules, orders, regulations and decisions that contravene the Constitution or the statutes.

The State Council (or Central People's Government, in effect a Council of Ministers and those having the status of Ministers) has power to adopt administrative measures (banfa), to enact administrative rules and regulations (guiding) and to issue decisions (jueding), resolutions (jueyi) and orders (mingling) that are in accordance with the Constitution and the statutes.

The Ministers in charge of Ministries or Commissions of the State Council issue orders, directives and regulations under the Constitution and within the jurisdiction of their departments. All normative acts issued by the State Council and its Ministries and Commissions, like those of the NPC and its Standing Committee, have the force of law and must be enforced throughout the country (Constitution art. 100). In addition to that, the official interpretations of the Highest Peoples' Court as well as the regional legislation acts belong to that.

Although China is a central state, it has local legislation. The People's Congresses of Provinces (23 provinces), Autonomous Regions and the Municipalities directly under the Central Government (the major cities of Beijing, Shanghai, Tianjin and Chongqing since 1997) and their standing committees may, in accordance with their authority as prescribed by law, adopt local regulations which prevail within their local districts. These should be reported to the State Council for their approval and recording.

In contrary to German legislation, China established national standards in general, which have legal effects. Based on the Standardization Law of the P.R.C., the National Standardization Administration of the P.R.C. (SAC) is empowered to set up national guidelines.

Main Responsibilities of SAC are:

- To draft and revise the state laws and regulations on standardization, to formulate and implement the policies on standardization; to formulate the national administrative rules on standardization and develop relevant systems; to organize the implementation of laws, rules and systems on standardization;
- To be responsible for formulating the development programs on standardization of China; to organize, coordinate and draft the programs on the development and revision of national standards;



- To be responsible for organizing the development and revision of national standards; to be responsible for the examination, approval, numbering and publication of national standards;
- To be responsible for the management of the funds used for developing and revising national standards and the funds specially used for research on standards and standardization activities;
- To manage and guide the scientific & technical work related to standardization as well as the dissemination, education and training concerned;
- To be responsible for coordinating and administering national technical committees of standardization concerned;
- To be responsible for coordinating and guiding sector and local standardization work; to be responsible for registration of sector and local standards;
- To represent China to join the International Organization for Standardization (ISO), International Electrotechnical Commission (IEC) and other international and regional standardization organizations<sup>9</sup>.

Another important constitution establishing national standards in the field of environmental law is the State Environmental Protection Administration (SEPA).

Standards are divided into mandatory and voluntary ones. The mandatory standards are comparable with a legal ordinance and have legal effects. Voluntary standards are guidelines for the industry and comparable with the European and German Standards. Chinese Standards, enacted by the SAC are GB for mandatory and GB/T for voluntary or recommended standards. GB stands for Guojia Biaozhun, the phonetic transcription of the word “national standard”. The standards often include technical requirements as well as safety and environmental provisions and aspects of health protection.

Beside national standards (GB) there are industry standards (QC), regional standards and enterprise standards.

As of 2012 China has established 62 standards related to New Energy Vehicles<sup>10</sup>. The number sounds huge but each part got its own standards. Europe, for instance, unites the single positions in topic related regulations.

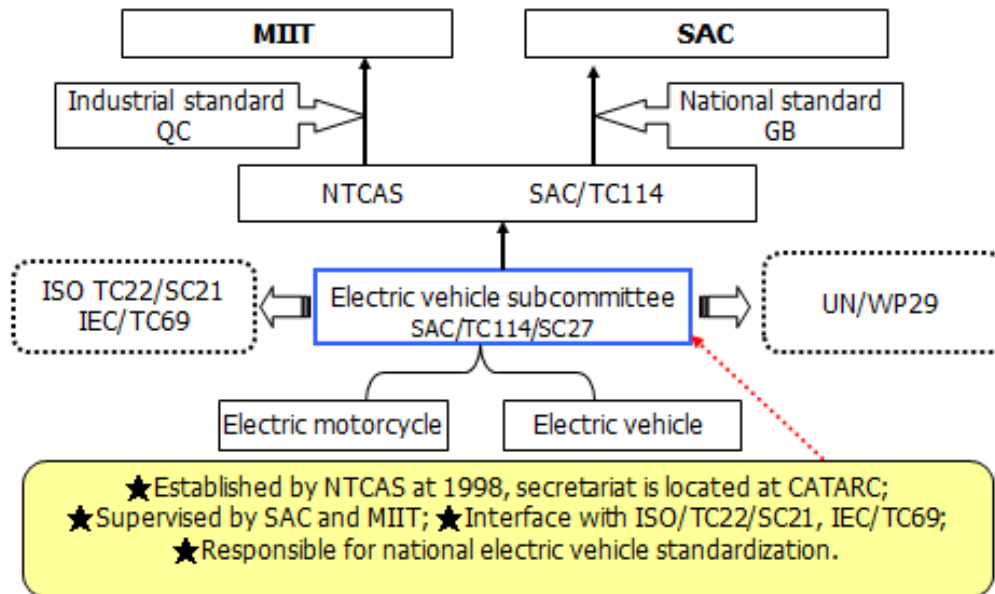
---

<sup>9</sup> <http://www.sac.gov.cn>

<sup>10</sup> China Automotive Technology and Research Centre (CATARC) (2013): Yearbook of energy-saving and new energy vehicles 2012: 40.

Figure 5: Organization of EV standardization

(Source: CATARC, 2013)



Chinese Law including national standards leaves a certain scope regarding the application of them. Chinese Law functions more as a guideline in general. Concrete provisions could be found in national standards and in several regulations or orders. Like Europe and Germany, China emphasizes the development of renewable energy technologies.

The belief of experts that China will become the largest market for electric vehicles in the future is shared by the Chinese government, which has implemented or drafted several different policies and rules to support and speed up the development of electric vehicles. However, electric mobility is listed in national energy programmes and shall be encouraged. Major programmes are listed below.

### 3.1.1 Actors

#### Ministry of Industry and Information (MIIT)

One of the most important actors with regard to electric vehicles is the Ministry of Industry and Information (MIIT), which is responsible for the development of the electric vehicle industry and everything related to this industrial development. MIIT is the leading ministry with regard to the industrial development planning process, the industrial policy and the related standards. Besides MIIT, the Energy Bureau is of key importance, as it is responsible for heading the development of electric vehicle charging facilities, including the planning process for the infrastructure. It is also responsible for coordinating this planning with the national energy planning<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> Personal meeting with GIZ China; [www.miit.gov.cn](http://www.miit.gov.cn)

### Ministry of Science and Technology (MOST)

The Ministry of Science and Technology (MOST) is in charge of the large national R&D programs, which include the research (basic and applied) for electric vehicles. SAC under the General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine (AQSIQ) is the leading organization in the development, approval, publication, and promotion of the national standards for electric vehicles and charging facilities. It is the organizing and coordinating body for the Ministry of Industry and Information Technology, the Energy Bureau, the Ministry of Science and Technology and other departments which develop electric vehicles and charging facilities standards.

MoST considers the electric vehicles as a priority, while MIIT emphasizes giving equal treatment to electric cars and energy conservation.

The MIIT has issued a number of policies which influence the development of electric vehicles. The most important policies and programs will be described in this chapter<sup>12</sup>.

### China Automotive Technology & Research Center (CATARC)

In the field of vehicles the China Automotive Technology & Research Center (CATARC)<sup>13</sup> is very important. It was established in 1985 response to the need of the state for the management of auto industry and upon the approval of the China National Science and Technology Commission. It is now affiliated to the State-owned Assets Supervision and Administration Commission of the State Council (SASAC)<sup>14</sup>. CATARC carried out research work on the policies, regulations, standards formulation, testing and evaluation for energy-saving and new energy vehicles, and provided the technical support to the relevant state departments in developing policies and regulations related to China's energy-saving and new energy vehicles. In the hardware construction the National Passenger Car Quality Supervision and Inspection Center, subordinated to CATARC, has gradually established a national comprehensive third-party testing and evaluation technology service platform from New Energy Vehicle to key parts<sup>15</sup>. Main tasks of CATARC are:

- Secretariat of NTCAS (National Technical Committee of Auto Standardization)
- Secretariat of CAS (China Association for Standardization)
- Interface for ISO standards (ISO/TC22,177, IEC/ TC69, IEC/CISPR/D)
- Secretariat of China WP29 Expert Group
- Management of VIN/WMI
- Publication of auto industrial standards;
- Organizing the industry to perform research and annual revision works related to auto standard
- Formulation of key standards including energy conservation, emission, electric vehicle, etc.

---

<sup>12</sup> Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China (2014): Organization – Missions of the Ministry of Science and Technology.

<sup>13</sup> China Automotive Technology and Research Centre (CATARC) (2013): Information on CATARC.

<sup>14</sup> State-owned Assets Supervision and Administration Commission of the State Council (SASAC), the People's Republic of China (2013): Information on SASAC.

<sup>15</sup> China Automotive Technology and Research Centre (CATARC) (2013): Yearbook of energy-saving and new energy vehicles 2012

- Participating into activities of international technical regulations and standard harmonization such as ECE/WP29, EPEC/TPT

CATARC newly established two tasks of the "863 Program" in the field of New Energy Vehicles standardization and they are the "Research on Technical Standards of the Electric Vehicle and Parts" and the "Electric Vehicle Charging and Discharging Interface and Security Technology, Research and Standards Development" respectively. More than 40 research projects on new energy automotive standards have been started and implemented<sup>37</sup>.

The electric vehicle subcommittee SAC/TC114/SC27 has four working groups (EV/HEV; FCEV; electric engine; traction battery). It was founded by National Technical Committee of Auto Standardization (NTCAS) at 1998 and has 37 committee members and 6 observers. The secretariat is located at CATARC. Beside SAC it is guided by MIIT. Interface to international committees ISO/TC22/SC21 and IEC/TC69 exist.

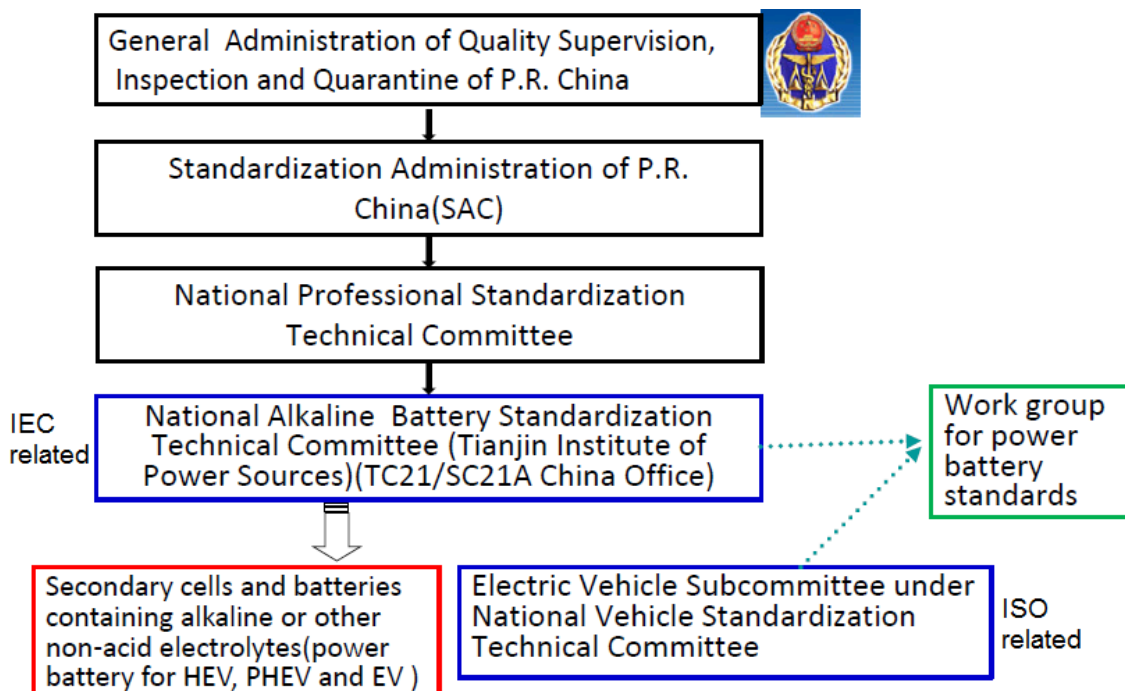
This Vehicle Standardization Committee (ISO related) and the existing Battery Standardization Committee (IEC related) formed together a new working group for Power Battery standards. Battery and automotive companies, including foreign companies are able to participate in the working group (a contribution between 10,000 and 30,000 Euro is immanent).

Chairman of this group is Dr. XIAO Chengwei, China Electronics Technology Group Co. No. 18th Research Institute, a military branch of the Tianjin Institute of Power Sources (TIPS). Beside others CATARC is using TIPS to set GB standards (see list of GB in Annex).

An important department of CATARC is the Automotive Engineering Research Institute, which shall make a breakthrough in hybrid electric vehicle key core technology and break the long-term monopoly of foreign companies for classical planetary gear series.

Figure 6: National working groups for standardization in China

(Source: Garche, o.J)



*Other National Technical Committees are SAC/TC342 for fuel cell standardization and SAC/TC309 for hydrogen energy standardization. Both are guided by the Ministry of Construction.*

#### National Development and Reform Commission (NDRC)

The National Development and Reform Commission is the most significant supervisory authority for the economic development in China. It is an institution of the central government and is counted among to the State Council. In 2012 the NDRC was responsible for the regulation that foreign car manufacturers, which want to produce in China, get no more funding.

The main functions are inter alia:

- to formulate and implement strategies of national economic and social development, annual plans, medium and long-term development plans;
- to put forward targets and policies concerning the development of the national economy, the regulation of the overall price level and the optimization of major economic structures, and to make recommendations on the employment of various economic instruments and policies;
- to undertake comprehensive coordination of energy saving and emission reduction to organize the formulation and coordinate the implementation of plans and policy measures for recycling economy, national energy and resource conservation and comprehensive utilization;
- to participate in the formulation of plans for ecological improvement and environmental protection;
- to organize the formulation of key strategies, plans and policies in addressing climate change;
- to take the lead with related ministries in attending international negotiations of climate change;
- to undertake relevant work in regard to the fulfillment of the United Nations Framework Convention on Climate Change at national level.<sup>16</sup>

#### Society of Automotive Engineers of China (SAE)

The Society of Automotive Engineers of China is acting on behalf of the central government in Peking. They undertake tasks such as the developing of incentive measures or government recommendations.

In the field of electro mobility they evaluate demonstration projects and define technical standards. Another important responsibility is the preparation of cross-sectional studies, for example in cooperation with State Grid on the topic charging infrastructure.<sup>17</sup>

---

<sup>16</sup> Personal meetings in China and National Development and Reform Commission of the P.R.C. (2014): Main Functions of the NDRC

<sup>17</sup> Personal meetings with SAE China

### State-owned Enterprise Electrical Vehicle Industry Alliance

In August 2010 the "**State-owned Enterprise Electrical Vehicle Industry Alliance**" (SEVIA) was formed under SASAC. SASAC is the State-owned Assets Supervision and Administration Commission of the State Council which is responsible for managing China's state-owned enterprises. The Alliance brings together the largest Chinese state-owned companies in the fields of automotive industry, battery industry, charging services, electrical industry, real estate development and production in a non-profit organization. SEVIA is intended to become a cooperation platform which companies can voluntarily join and which creates mutual benefit.<sup>18</sup>

The current members of SEVIA are:

- *Committee of the Vehicle and the Electric Drive*: China First Automobile Group Corporation, DongFeng Motor Corporation, Chang'an Automobile China Ordnance Equipment Group Corporation, China Eastern and China Southern Electric Group Co., Ltd.;
- *Battery Professional Committee*: China National Offshore Oil Corporation, Beijing Non-ferrous Metal Research Institute, China Aviation Industry Corporation, China Aerospace Science and Technology Corporation and China Aerospace Science and Industry Corporation;
- *Charging and service professional committees*: National State Grid Company, China Putian Information Industry Group Corporation, China Southern Power Grid Co., Ltd., China National Petroleum Corporation, China Petrochemical Corporation and China Poly Group Corporation.

The main tasks of the alliance are to implement the national development plans for electric vehicles, set respective standards and joint research. The members of SEVIA are planning to invest 14.7 billion USD in the development of electric cars and the supporting industry.

### Certification and Accreditation Administration

The Certification and Accreditation Administration (CNCA) of the People's Republic of China was created in 2003 and has designated several certification bodies that are authorized to accept applications and evaluate products under the Regulations for Compulsory Certification<sup>19</sup>, which empowers the authority to request the type approval. This is the legal basis for CCC certification (see chapter 3.1.3).

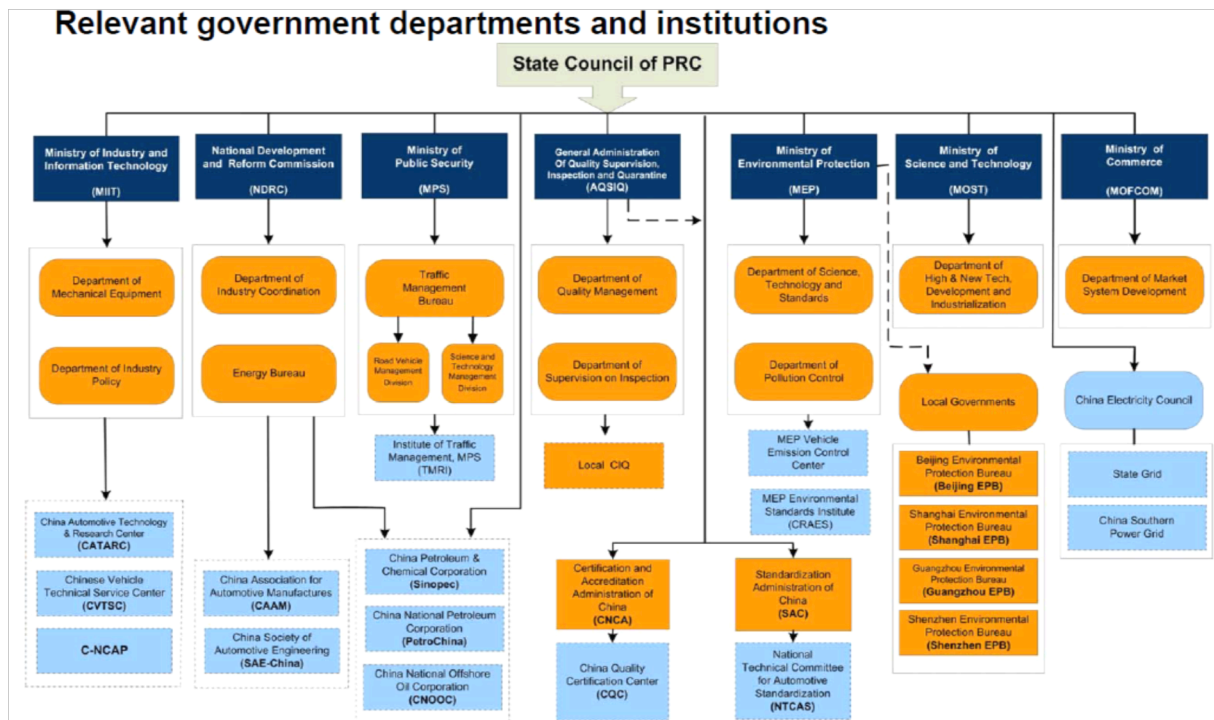
---

<sup>18</sup> Tagscherer, U. (2012): Electric mobility in China – A policy review. In: Fraunhofer ISI Discussion 2 Papers *Innovation Systems and Policy Analysis* No. 30

<sup>19</sup> Regulations for Compulsory Certification 《中国强制认证标志》

Figure 7: Governmental overview in China

(Source: Dr. Xing, o.J.)



*Additional information will be given regarding some Chinese initiatives, even if they are basically not a real actor:*

### Electric Vehicles Initiative (EVI)

At the Clean Energy Ministerial in Washington, D.C. on July 19th and 20th, ministers reaffirmed their commitment to previously-announced targets for the deployment of electric vehicles, which the International Energy Agency (IEA) estimates will create global market momentum leading to at least 20 million electric vehicles on the road worldwide by 2020. In support of those targets, the ministers launched the Electric Vehicles Initiative (EVI), which provides a high-level government forum for global cooperation on the development and deployment of electric vehicles. This global initiative will collaborate with relevant industry, academic, and end-user stakeholders to dramatically scale-up electric vehicle sales.

The participating countries agree to launch pilot cities programs, to share information on funding levels and other features of research and development programs and on electric vehicle deployment targets, as well as best practices and policies, to enable progress toward those targets. The specific technologies that will be the focus of the pilots may include hybrid electric vehicles (HEVs), plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs), all-electric vehicles (AEVs), which means BEVs), and fuel cell vehicles (FCVs).

The primary objectives of the pilot cities are:

- Promoting cooperation on the research and development, demonstration, and commercialization of electric vehicles;

- Sharing experience in policy, management, data analysis, and publicity, etc. to support the scale-up of electric vehicles;
- Exploring universal standards for vehicle evaluation, infrastructure, and communication protocols; and,
- Conducting analyses of the demonstrations, including cost-effectiveness assessments.

In recognition of the fact that governments play a critical role as a testing ground for electric vehicles and their corresponding infrastructure, China established Shanghai as Electric Vehicles Pilot City for the demonstration of electric vehicles in public transportation and government use. To lead off the effort, China organized an International Forum on Electric Vehicle Demonstration Cities, as well as building a “Demonstration Zone Shanghai” on 20-22 April 2011 as a platform for the pilot. 400 representatives from various stakeholders including governments, pilot cities, industry, academia and the financial sector participated in the Forum.

The outcome of this meeting was the “*Shanghai Declaration by International Pilot Cities under the framework of EVI*”. Main tasks of the Shanghai Declaration are:

- Encouraging and promoting EV development in urban areas is to increase clean energy use
- EV industry is at its primary stage and facing diversified challenges. Close collaboration among various stakeholders is needed.
- The EV International Pilot City Program under the framework of EVI is an open program to facilitate the international collaboration.
- Each EVI member country shall identify at least one pilot city to share experiences from its EV demonstration and deployment in public transport, government use and private use.
- Delegates welcome Chinese government identification Shanghai as EV International Pilot City, and Jiading District of Shanghai as EV international demonstration zone.
- It is proposed by delegates, the International Forum on EV Pilot and Industry Development shall be held regularly in various EVI pilot cities.

### 3.1.2 Objectives and Strategies

#### National Strategies

Given that the global market for electrified vehicles is very small and China’s own automotive industry (both conventional and electric) is not playing a large role in its domestic market, let alone globally, this assertion seems rather premature. There has been some speculation that China might take a leading role in developing and deploying (semi-) electric vehicles globally.

In June 2009, MIIT published the “*Admittance Management Rules for New Energy Auto Manufacturing Companies and Products*” which define the scope of the term **New Energy Vehicles (NEV)**. This means the Chinese government has designated “New Energy Vehicles” as a strategic emerging industry and has indicated it will offer strong support for its



development<sup>20</sup>. New Energy Vehicles are all kinds of electrified vehicles, on which research has to be done. These are HEV, EV, FCV (later specified to PHEV, BEV, and FCEV) and also battery, power engine, power drive based on other new energy sources and other categories of products. These different technological paths are then divided into three stages: the initial stage, development stage and mature stage. Criteria for these stages are the maturity of technical principles, technology and production processes and national and international standards.

If successful, the development and deployment of electrified vehicles would achieve multiple objectives of the Chinese government at once. It would:

- **Improve its energy security with regard to oil.** Development of non-oil-based transport would reduce oil demand and thus counter the rapidly growing oil import dependency, which is China's most pressing energy security concern. During half a decade, China has shifted from being a net exporter of oil to an import dependency of more than 50%. Business-as-usual projections see China's import dependency rise to more than 75% by 2030, becoming both the world's largest oil consumer and largest oil importer<sup>21</sup>. Earlier policy measures have already attempted to limit China's growing oil demand in the transportation sector by issuing strict fuel efficiency requirements and encouraging the sales of smaller and more fuel-efficient vehicles by tax and fiscal measures.<sup>22</sup>
- **Build up a domestic car industry which can compete globally.** China has the clear ambition of building up a domestic car industry. At the moment, China's automotive market is still dominated by foreign brands, which have a market share of more than 70%. Chery and BYD, China's largest two domestic car manufacturers, hold market shares of around 5%, respectively. In comparison: two joint ventures by Volkswagen hold 16% together, while Hyundai and GM hold around 10%. Chinese policy-makers regard the development of electric (as well other non-gasoline based) vehicles as an opportunity to try and 'leapfrog' into a technology which is expected to become more important in coming decades in the global automotive industry.<sup>23</sup> (see also 3.4)
- **Mitigate urban air pollution.** Air quality in Chinese cities is some of the world's worst, and transportation is a major contributing factor. For instance, in Beijing, transportation is estimated to cause more than 70% of CO and HC emissions. In January 2012 the air quality index reached an extremely high value of 845. This means that a cubic meter of air contains of 845 micrograms of particulate matter - particles that are smaller than 2.5 microns. Particles of this size are "respirable dust" because they can, in contrast to larger particles during breathing to penetrate deep into the lungs. The scale of the U.S. Embassy, which is based on the parameters of American cities, has five levels - from "good" (less than 50) on "harmful for sensitive groups" (less than 150) to "dangerous" (more than 300). By comparison, in German cities, the limit for 10-micron particles is 50 micrograms. If this is exceeded more often than 35 times a year, the authorities have to respond.<sup>24</sup> (see also 3.3)

---

<sup>20</sup> Tagscherer, U. (2012): Electric mobility in China – A policy review. In: Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis No. 30.

<sup>21</sup> BP (2013): BP Energy Outlook 2030.

<sup>22</sup> Buijs, B. (2012): China and the Future of New Energy Technologies: 67.

<sup>23</sup> Buijs, B. (2012): China and the Future of New Energy Technologies: 70.

<sup>24</sup> Zand, B. (2013): Luftverschmutzung in Peking: Atmen kann tödlich sein.

Moreover, there are several factors which might help China in gaining an important position in the market for New Energy Vehicles:

- **Existing experience in battery manufacturing.** China has an important position in the global market of manufacturing lithium-ion-based batteries for consumer electronics and appliances. Although this is still quite different from the very advanced battery technology which is used in hybrid or electric car batteries, it could still provide a basis from which China could improve its technological capabilities for batteries, which are a critical component for a potential future ‘breakthrough’ in electric vehicle technology.<sup>25</sup> (see also 3.4)
- **Strong support of the government that might facilitate adoption, infrastructure development and standardization.** The Chinese government has shown itself willing to offer strong and consistent support for industries that it deems essential for its long term economic development. It has already indicated its willingness to offer significant financial support, as is currently being offered in the Chinese renewable energy sector, to provide an initial stimulus that is aimed at allowing the industry to reach economies of scale such that eventually production becomes cost-competitive. Moreover, the strong position of the government could facilitate issues such as standardization and legislative support for the introduction of New Energy Vehicles. The potential impact of government measures is illustrated by the ban on gasoline scooters that has been issued as an air pollution reduction measure in major cities such as Shanghai and Beijing in the 1990s, which has led to a rapid and near complete shift towards electric bicycles and scooters. Finally, several public-private initiatives have been taken by local governments to provide a ‘demand pull’ to the emerging New Energy Vehicle industry.
- **China is an enormous growth market for cars with many first time buyers.** Chinese car ownership is extremely low from a global perspective: at begin of 2012 only 3% of Chinese people own a car compared to about 50% in Europe and 75% in the United States, respectively. Chinese analysts expect car ownership to increase five-fold up to 15% by 2020, indicating the huge potential for further growth in the car industry. There is less of a technology-lock-in and many car buyers will be first-time buyers which might – but not necessarily – facilitate the adoption of a new type of car, such as New Energy Vehicles. End 2009, China already had 170 million vehicles on the road, but even more – 220 million – are projected to be sold between now and 2020.<sup>26</sup> (see also 3.4)

### Five-Year Plans

Since 1953 China uses Five-Year Plans (FYP) for National Economic and Social Development to arrange national key construction projects, manage the distribution of productive forces and individual sector’s contributions to the national economy, map the direction of future development, and set targets.<sup>27</sup>

Considering from the national strategic perspective, China has started from the **10<sup>th</sup> Five-Year Plan** (2001-2005) period to support the research institutions to develop the technologi-

---

<sup>25</sup> World Bank & PRTM Management Consultants (2011): The China New Energy Vehicle Program – Challenges and Opportunities:13

<sup>26</sup> Buijs, B. (2012): China and the Future of New Energy Technologies: 72.

<sup>27</sup> Chinese Government’s Official Web Portal (2006): What is the Five-Year Plan.

cal R&D and commercialization of New Energy Vehicles by the major project of **863 program** implemented by MoST. The 863 program was born on March 1986 and was revised during the 10th FYP. This State High-Tech Development Plan is a program funded and administered by the government intended to stimulate the development of advanced technologies in a wide range of fields for the purpose of rendering China independent of financial obligations for foreign technologies. The total amount distributed for electric vehicle research under the 863 Program between 2006 and 2012 is estimated to be 564 million Euros.<sup>28</sup>

From 2002 through 2006, 107 million Euro were invested under the program to fund the “*Electric Vehicle Key Project*” to support the industrialization of hybrid and electric vehicle technologies, including powertrain control systems, electric drive motors, and traction batteries<sup>29</sup>.

China's **11<sup>th</sup> Five-Year Plan** (2006-2010) set out the objectives and guiding principles of the country's continued modernization drive from 2006 through 2010. During this time MoST supported the development of New Energy Vehicles with 243 million Euro. 134 million Euro of that amount were invested under the 863 Program in the “*Energy-Saving and New-energy Vehicle Key Project*”<sup>30</sup>.

The program provided financing and other support for a range of key technologies for such vehicles, including fuel cell engines, traction batteries, ultra-capacitors, drive motors, motor driving systems, engines, new materials, and new components.

Chinese producers that have benefitted from the program include: FAW (87.5 million Euro) to set up an EV research and development department in 2011; China BAK Battery, Inc., one of worlds' largest lithium-ion battery cell manufacturers at the time (2.3 million Euro) to support its activities in 2008; Tianjin Lishen Battery Joint-Stock Company (1.9 million Euro) also in 2008; and Wanxiang Electric Vehicle, which received awards for seven separate projects from the 863 Program.

---

<sup>28</sup> Hou, Y. (2011): Electric Vehicles – China:10,43.

<sup>29</sup> Law Offices of Stewart and Stewart (2012): China's support programs for automobiles and auto parts under the 12<sup>th</sup> Five-Year Plan

<sup>30</sup> Bram Buijs; China and the Future of New Energy Technologies 2012.

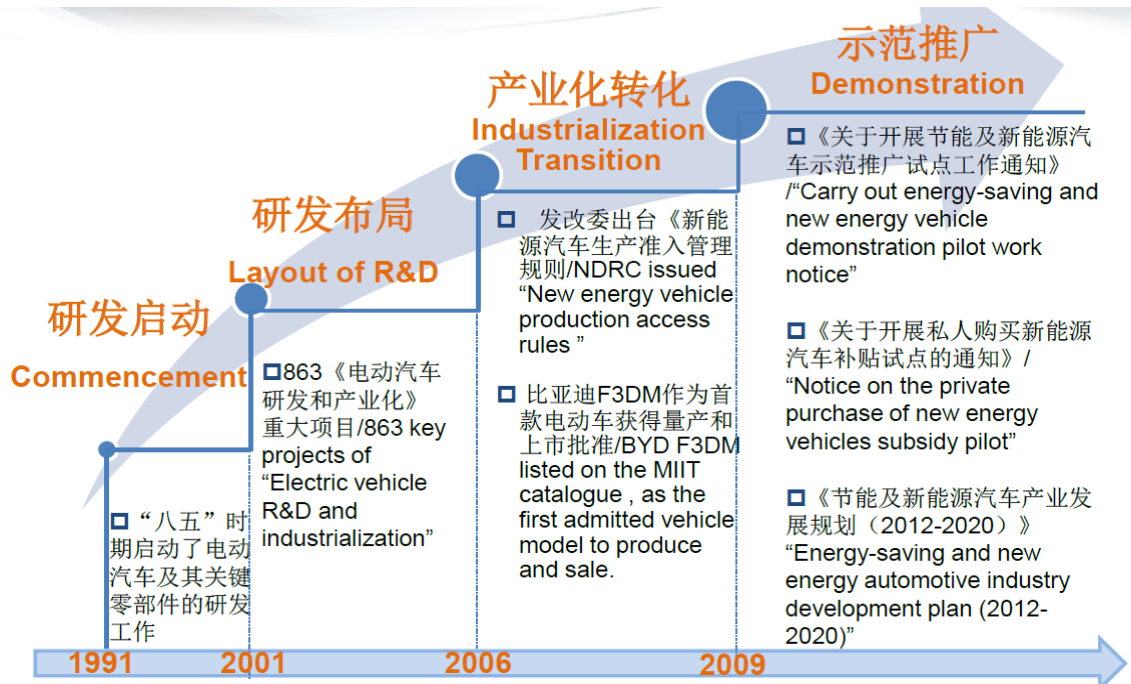


Figure 8: The beginning of E-mob in China

(Source: CATARC – Development & Tendency of NEV in China, 2013)

## The technology progress of hybrid vehicles

Chinese hybrid vehicle technology based on the past achievements is stepping forward to the integrated control system platform. The strategy research on control security system and the subsidiary parts are made great achievements during the 11<sup>th</sup> FYP. The main results are as follows:

- The hybrid technology platform almost adopted the parallel, single axis moderate mixed ISG hybrid structure. The advantage of this program is the simple structure, the compact system, good performance and low costs. Meanwhile the vehicle system changes not much, the ISG technology platform structure is considered to be the most industrialization prospect of one of the hybrid scheme.
- Hybrid control strategy is the core content of the hybrid system development, which determines the energy flow torque distribution, the vehicle safety of the hybrid system and other important contents. Such method is intended to increase the efficiency and improve the performance of the engine and motor, thereby increasing vehicle fuel economy and driving comfort.
- By combining the demand of hybrid applied condition and the simulation analysis based on the principle of the best fuel efficiency, they study the ISG hybrid engines range of high efficiency.
- In contrast with conventional engines, hybrid engines' use interval and applied condition both have a larger change.
- In order to improve the fuel economy, designs of hybrid system take the way that reduce engine emissions and optimize the transmission speed ratio effectively.
- The gearbox as the key component of the powertrain, largely determines the efficiency of the powertrain system. It is very important to choose a gearbox with high mechanical efficiency. But the hybrid system has two or more power sources which have different operating characteristics, so that the matching of the hybrid system is very important.

Although Chinese hybrids have made certain achievements in 2010, it is still a long way to go from the large-scale industrialization to popularized in whole society. The main reasons are that parts of OEM system are not consummate and on the other hand, the reliability and durability of domestic hybrid power systems are still need to be verified and perfected. The last point is the risk of intellectual property rights and the patent technology.

The level of R & D and OEM ability are the basis and premise to realize massive industrial hybrid vehicles. Some of the technology and material for hybrid system are still in developing and optimizing section, which haven't achieved the international advanced level, and the cost performance is also at a low level. The reliability and durability of hybrid systems are still in verification, especially the mileage of first failure and the warranty of the key parts are still need further testing.

The development of EV was also adopted in the **12<sup>th</sup> Five-Year Plan** (2011-2015). At the same time, the electric vehicle industry has been selected as one of the seven strategic emerging industries by the National Development and Reform Commission (NDRC). This again has also been manifested in the 12<sup>th</sup> FYP. The overall goals foresee a rapid development of electrification of cars in China and by 2015 the number of electric cars on Chinese

streets should reach 1 million. More than 486.3 billion Euros shall be spent in green-related programs. 500,000 New Energy Vehicles and 220,000 charging points and 2,351 battery swapping stations are planned until 2015. Nowadays China reduced the plan to 300,000 EV (not officially confirmed).

Figure 9: Electric Mobility Development Plan

(Source: CATARC – Development and Tendency of NEV in China, 2013)

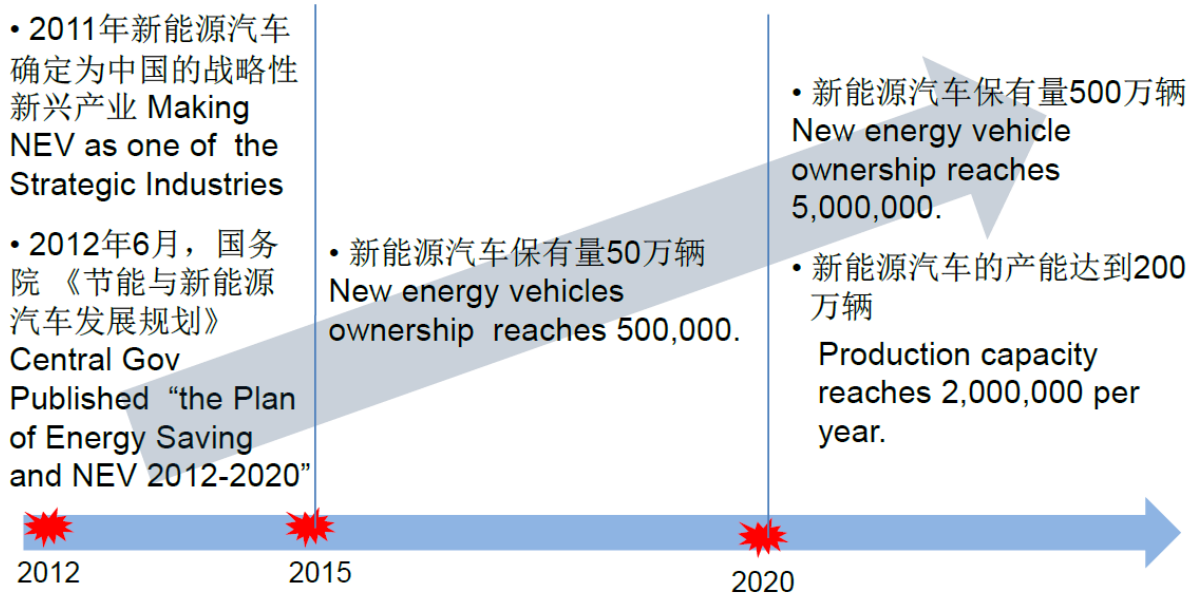
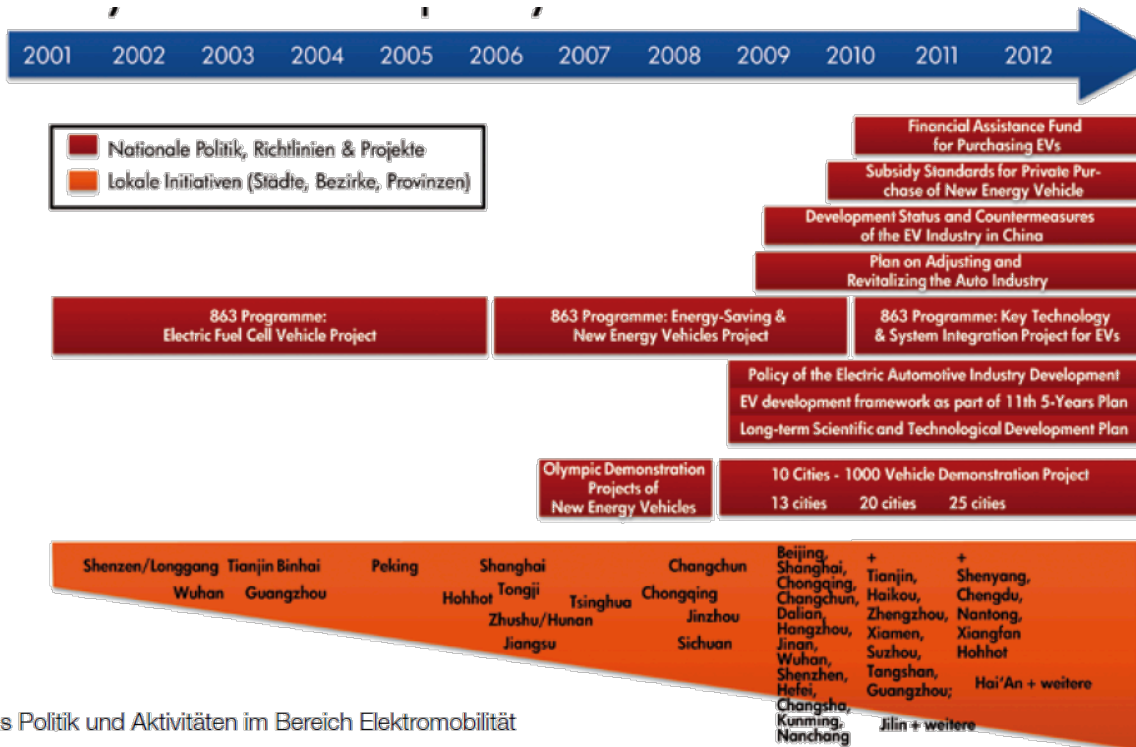


Figure 10: Actual Chinese Policies and Actions regarding EV

(Source: Klink, J., 2012)



Chinas Politik und Aktivitäten im Bereich Elektromobilität

Further topics with medium-term and long-term strategic relevance have been Biotechnology, Space, IT, Laser Technology, Automation, Energy und New Materials. Respective topics in these main directions will be specified or new determined for each Five-Year-Plan.

Another important program is a Basic Research & Development Program by MoST called **973 Program**. The 973 program was born on March 1997. The „973 Program“ provides the necessary run-up for the „863 Program“. The aim is also the development of such technologies which have for China medium-term and long-term strategic relevance but its focus is related to fundamental research. It shall conduct comprehensive research in the fields of energy, environment, etc. and to build a group of high-level scientific and technological assignments.

New Energy Vehicles are supported by this program. Novel pathway to improve the efficiency of on-board energy storage systems will be researched. Significant low-cost, high density energy storage systems for (hybrid) electric vehicles will be composed of the following seven sub-projects<sup>31</sup>:

1. Molecular design and synthesis of hydrogen storage materials with high density and hydrogen absorb/desorb mechanism
2. Development of inexpensive electrode materials and investigation of energy storage mechanism
3. Fundamental studies of inexpensive electrochemical super-capacitors
4. Study of solid-state electrolytes for energy storage system and low-cost production of related materials
5. Process Engineering theory to the production of energy storage materials with low cost
6. Development of novel on-board hydrogen storage system with high density and of safety evaluation method
7. Fundamental study of system management and environmental compatibility of on-board energy storage systems

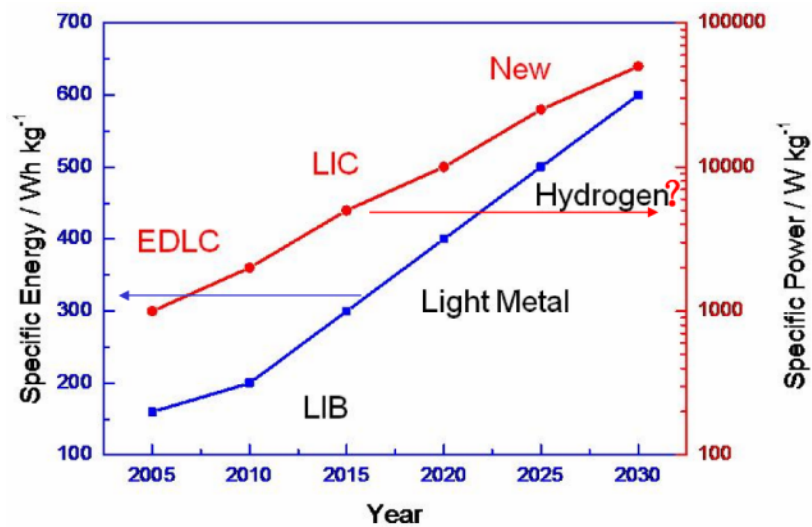
The targets (specific energy and specific power) for electrochemical power sources “*Developing Strategy - Study up to the year 2030*” in the framework of the 973 program gives the following Figure.

---

<sup>31</sup> o.V. (2014): National Basic Research Program of China.

Figure 11: Chinese targets for electrochemical power sources till 2030 for high energy (blue) and high power (red) sources. [EDLC: Electrochemical Double Layer Capacitors, LIC: Li-based Capacitors, LIB: Lithium-Batteries, Light Metal: Metal-Air, Metal-Sulphur Batteries]

(Source: Garche, o.J)



#### Mid-to-long Term plan for Science and Technology (2006-2020)

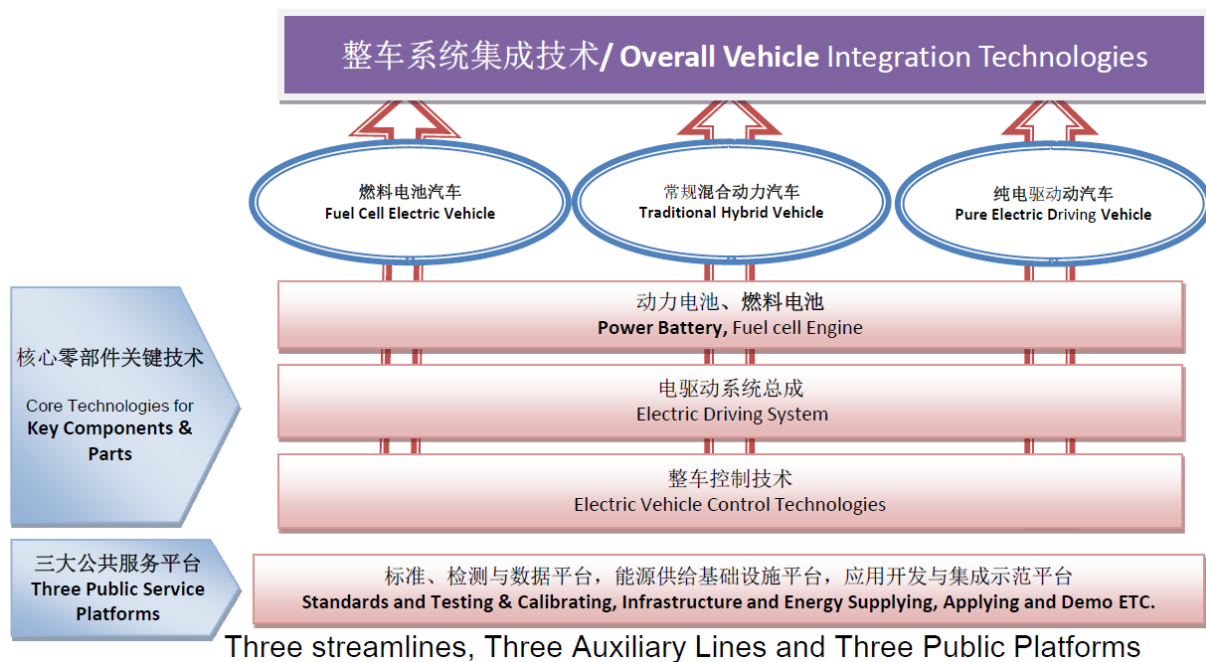
MoST also published a “*Mid-to-long Term plan for Science and Technology (2006-2020)*”, the National Medium- and Long-Term Program for Science and Technology Development (2006-2020). The guiding principles for S&T undertakings over the next years are: “indigenous innovation, leapfrogging in priority fields, enabling development, and leading the future”. One objective in some major scientific and technological areas is to achieve technological breakthroughs in energy development, energy conservation, and clean energy, and advocating optimized energy structures, with unit energy consumption of major industrial products reaching or approaching world advanced levels.

Research will also be focused on critical technologies for fuel cell materials, high volume hydrogen storage material technology, efficient rechargeable cell materials and associated key technologies, key super capacitor materials and associated manufacturing technology, and efficient energy conversion and storage material systems.

In an extract the program also discusses the issue electric mobility. Priorities will be assigned to research on and development of key technologies. Design, integration, and manufacturing of hybrid, alternative fuel, and fuel cell automobiles, power system integration and control technologies, automobile computation platform technologies, and technologies for high-efficiency and low-emission internal combustion engines, fuel cell engines, accumulator batteries, driving motors, and other critical components, and technologies for developing experiment and test techniques and infrastructure for automobiles using new energy are named. Reading carefully all important aspects of electric mobility are mentioned. In reverse it could be read, that no key technology of electric mobility is ready for mass production yet.



Figure 12: EV Technology R&D Deployment in China  
(Source: CATARC, 2012)



### Development Plan for Fuel-efficient and New Energy Vehicles

In 2010 China established a "*Development Plan for Fuel-efficient and New Energy Vehicles*", which is a major industrial plan to support the new energy car industry. This plan aims to support the whole industry chain, including the development of standards and regulations, and to reach a world level with the three key components of electric engine, drive train and power battery. The plan proposes that sales of China's New Energy Vehicles will be the number one in the world by 2020. It focuses on the development of pure electric cars and the government will invest around 20.4 billion Euros for the development of the whole industrial chain of New Energy Vehicle.<sup>32</sup> The plan becomes part of the 12<sup>th</sup> FYP and focuses on 2020, but includes two different phases. The following numbers are not static and will be adjusted during the plan if necessary.

In phase one (2011-2015) Chinese-owned IP for core technologies like power battery, electric motor and electric control will be created and developed. This will be the initial stage for developing pure electric vehicles and plug-in hybrid cars with a total production reaching 500,000 vehicles (8% of total passenger cars sold). The market volume should reach over one million by 2015 for all the different types of hybrid cars. In this period, Chinese enterprises will manage to produce the necessary key technology, e.g. advanced internal combustion engine, automatic transmission, automotive electronics, lightweight materials etc. All new cars produced by need to have a fuel consumption that is below an average fuel level. Passenger cars average fuel consumption shall be below 6.9 litres / 100 km and energy-efficient passenger car fuel consumption shall be below 5.9 litres / 100 km, slightly below that esti-

<sup>32</sup> Tagscherer, U. (2012): Electric mobility in China – A policy review. In: Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis No. 30.

mated in standard GB 27999 of 2011, which include the fuel consumption evaluation methods and targets for passenger cars.

In phase two (2016-2020) the emphasis is on developing pure electric cars and plug-in hybrid cars. Their total (accumulated) market volume shall reach five million vehicles. The key technologies will be broadly diffused in this period and then fuel consumption of new cars should be reduced to 4.5 liters/100km. By then, Chinese sales of fuel-efficient and New Energy Vehicles should be number one in the world. These numbers are not static and will be adjusted during the plan if necessary.

Besides the investment plans and the division into two major steps, the new plan emphasizes the concentration of the leading-edge enterprises in "national teams". These national teams will build on the existing key auto enterprises in China and the existing energy-saving and New Energy Vehicle industrial bases in Changchun, Shanghai, Wuhan, Chongqing, Beijing, Guangdong, Anhui (and others). They will establish pilot bases for the New Energy Vehicles industry and combine them with demonstration projects. Government officials plan to transform the Chinese automotive industry in the direction of pure electric and plug-in hybrid cars, yet still looking to the further development and improvement of the traditional car industry and technology.

Mid 2012 the *"Notice of the State Council on Issuing the Planning for the Development of the Energy-Saving and New Energy Automobile Industry (2012-2020)"* was published with focus on advancing industrialization of BEV, PHEV and promoting non-plug-in hybrid cars and energy-saving motor cars (details are at 3.1.4).

Industrial plants to produce Li-Ion batteries will be concentrated in Tianjin, Shenzhen and Hangzhou. Two or three leading battery enterprises with production and sales over 20 billion Wh and the capacity for R&D and production of cell materials' will be established (see also chapter 3.3)<sup>33</sup>.

The plan mentions establishing and improving standards and regulations for small low-speed pure electric vehicles. This should give also enterprises which are not part of the "national teams" the opportunity to enter the field of electric cars as well<sup>34</sup>.

---

<sup>33</sup> Personal meeting with MoST

<sup>34</sup> Tagscherer, U. (2012): Electric mobility in China – A policy review. In: Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis No. 30.

Table 2: Summary on Development Plan for Energy Saving &amp; New Energy Vehicles (2012-2020)

Targets
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Promote the industrialization of battery EV and plug-in HEV. By 2015, the cumulative production and sales volume of the battery EV and Plug-in HEV would be 500,000 units; by 2020, that would be more than 5,000,000 units.</li> <li>■ Popularize the usage of normal hybrid vehicles and energy saving vehicles;</li> <li>■ The new fleet average fuel consumption of the passenger cars for 2015 will be reduced to 6.9L/100 km, for 2020 that will be reduced to 5.0L /100km.</li> <li>■ The technical level of NEV whole vehicle, traction battery and core components will keep the pace with the top rank worldwide.</li> </ul>
Action plans
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Establish the R&amp;D capacity; breakthrough in the core technologies; reduce the fuel consumption; improve the safety and reliability of the traction battery and as well the weight reduction of the traction battery system;</li> <li>■ Speed-up the popularization and demo program. Continue to implement the incentive policy for purchasing and using the energy saving vehicles and as well the financial subsidy policy for purchasing the new energy vehicle by private customers.</li> <li>■ By considering the local features to establish the charging poles and public battery fast charging / changing infrastructure. The relevant policies for traction battery recycling will be introduced.</li> <li>■ Improve and strengthen the technical standard system and production permission administration system. Actively conduct the international cooperation.</li> </ul>

Wang Binggang, group leader of expert panel, explains ideas for the development of electric vehicles in 2013<sup>35</sup>. Recently hybrid buses are expected as the most promising market-oriented products. The Government has identified hybrid buses as sales product to other cities in the country to expand throughout 2013, and this provides a good opportunity for the expansion of production and cost reduction. The promotion of moderate hybrid technology should also encourage research and development of hybrid passenger car technology.

Pure electric passenger vehicles achieve the strategic objectives of the New Energy Vehicles. Research and development is still the key, from the actual battery technology for subdivision market. For research and development of competitive products the focus is on the short-range small mini vehicles.

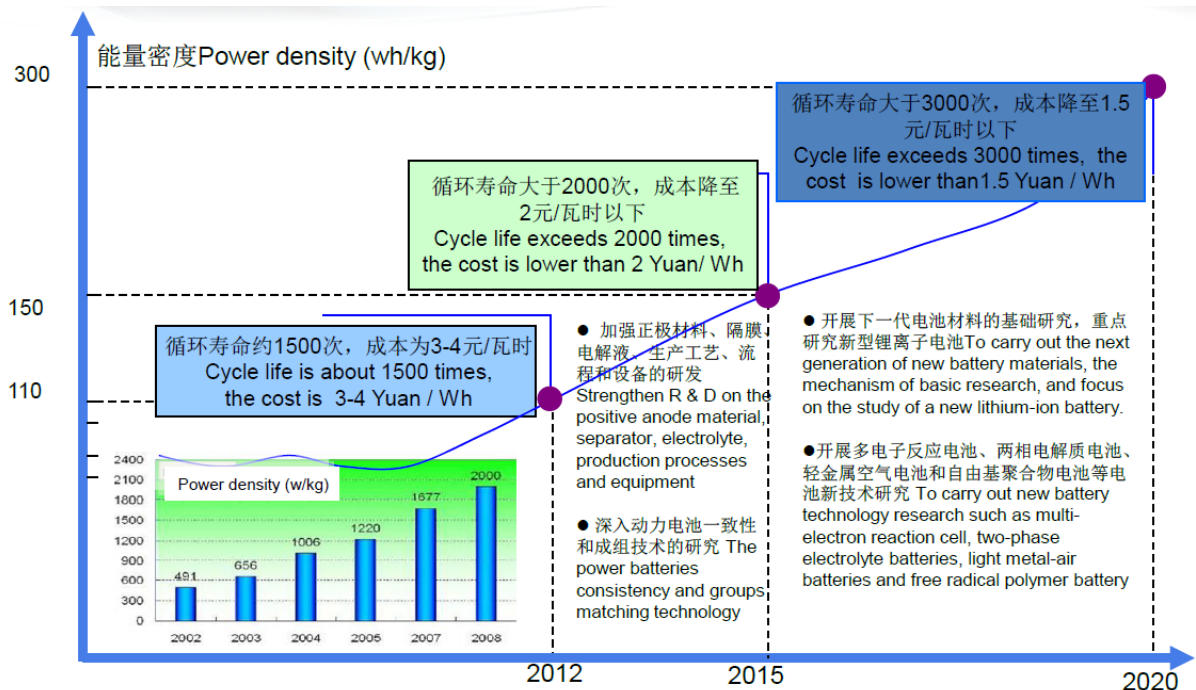
Applications in the field of pure electric taxis, pure electric commercial vehicles and pure electric bus demonstrations were explored. Small and medium-sized cities with short-range traffic are better for pure electric vehicles. They may become suitable for field use, but that require high power and large amounts of energy. The time of vehicle use is not suitable to do specific technical and economic analysis. But always is safety first for all kinds of electric vehicles.

Aim of Chinas battery research and development is to proceed with the energy density of 300Wh / kg or more.

<sup>35</sup> [www.chinaev.org/DisplayView/Normal/News/Detail.aspx?id=14320](http://www.chinaev.org/DisplayView/Normal/News/Detail.aspx?id=14320)

Figure 13: Battery Roadmap

(Source: CATARC – Development and Tendency of NEV in China, 2013)



Chinese government is obviously disappointed about the current total number of electric cars (about 10,000) in China. Nevertheless the goal to have 5 million electric cars on the road in 2020 is not given up.<sup>36</sup>

### 3.1.3 Regulatory framework

In general, provisions for vehicle permission are approximately similar in China and EU. Both parties modify and expand the legal basis for the approval of EV. The numbers of Chinese Regulations related to EV are higher than in Europe, but it is to mention that Chinese Standards are very specific while EC Regulations cover the whole topic at once. A glance to the page of the regulations will help to underline this statement. Some of Chinese Standards referring to EV are based on UNECE Regulations or ISO. It is to expect that the new standards will also be based on existing UNECE-R, ISO and DIN regulations.

#### Regulations on New-Energy Vehicles

First regulatory actions regarding New Energy Vehicles started some years ago. To enhance the production and development of better vehicles, the *2007 Administration Rules on Access to the Production of New-Energy Vehicles*<sup>37</sup> was enacted in 2007 by NDRC. Automobile enterprises applying to manufacture new-energy vehicles powered by new energies should have adequate research, production and after-sales service capacities and need to ensure the reliability of the vehicles. The definition of New Energy Vehicles includes:

<sup>36</sup> CAMA an der Universität Duisburg – Essen (2012): Automobilmarkt und Automobilunternehmen in China 2012 – Der Markt kühlt ab, bleibt aber wachstumsstark.

<sup>37</sup> National Development and Reform Commission of the P.R.C. (2007): Administration Rules on Access to the Production of New-Energy Vehicles.

- hybrid electric vehicles (HEV),
- pure electric vehicles (BEV, including solar-powered car),
- fuel cell electric vehicles (FCEV)
- and other new sources (such as super capacitors, flywheel energy storage devices such as high-performance) automobiles.

The Regulation applies to manufacturers producing and selling New Energy Vehicles. The Regulation contains provisions for the classification for New Energy Vehicles, qualifications of new energy automobile production as well as management for enterprises and products.<sup>38</sup>

Additional MIIT implemented in China framework provisions called “*2009 Administrative Rules on Access for New-energy Vehicle Manufacturers and Products*”<sup>39</sup>. One highlight of the Rules 2009 is the clear definitions of three conditions of approval: compliance to a series of standards regarding safety, environmental protection, energy saving, theft proof, etc., passing some quality tests and no infringement on intellectual property rights.

As compared with the Administrative Rules 2007, the content of these new rules is more specific on the conditions of approval for New Energy Vehicle products. Both authorities claim to be responsible for the access administration for New Energy Vehicle manufacturers and products, and the rules of 2009 replace the rules of 2007.

Furthermore, the *Law on Prevention and Control of Air Pollution* encourages the promotion of New Energy Vehicles (art. 34). Local authorities have to care for the air quality in their regions. Part 4 of this law regulates the support of clean transport. Authorities are enabled to encourage the production and use of vehicles operated by clean energies. National benchmarks may not be overrun (art. 32).

The MIIT offers fuel consumption information to consumers by setting up the labeling system of vehicle fuel consumption (management Regulation for the Labeling of Fuel Consumption of Light-duty Vehicles ), guide consumers to purchase energy-efficient vehicles with low oil consumption, induce vehicle manufacturers to develop more energy-efficient vehicles, and boost the development and progress of vehicle energy-saving technology, thus playing an important role in accelerating the industrial restructuring of Chinese vehicle industry and promoting energy conservation and emission reduction.

In November 2013 Beijing’s government published the new directive “Beijing 2013-2017 – work plan for the control of vehicle emissions” to reduce the air pollution by a reduction of the car selling rate. This includes the innovation that from 2014-2017 a total of only 600,000 (150,000 per year) new license plates will be issued. This is less than the total car sale in Beijing in 2010. In 2017 40 % of the total number plate contingent should be allocated to NEV. Altogether the number of NEV should achieve without company cars in 2017 195,000 (65 % buses in public transport). Another focus is on taxis. These must be scrapped forcibly after six years. Related to this, it is hoped that 2017 in total 5,850 E-Taxis and 5,000 hybrid taxis are on the road.

---

<sup>38</sup> Garche, St. et al. (2010): GCSFP Study – Analysis of European/German and Chinese Regulations regarding electric vehicle infrastructure for road traffic: 22.

<sup>39</sup> Ministry of Industry and Information Technology of the People’s Republic of China (2009): Administrative Rules on Access for New-energy Vehicle Manufacturers and Products.

The directive also includes the establishment of charging infrastructure. In 2014 should be built 30,980 charging stations and 42 battery-switching stations.<sup>40</sup>

### Regulations for Automotive Industry Plans

One of the major policies is the *"Auto Industry Restructuring and Revitalization Plan"*, which was introduced in March 2009. It also supports the development of New Energy Vehicles and sets clear development targets: 500,000 electric cars should be produced by 2015 (5,000,000 by 2020), which will account for 5% of all new car sales by the end of 2011.

Other policies which are paving the way for electric vehicles are the *"Automobile and Motorcycle going to Countryside"* and *"Speeding up Renovation and Scrapping of Old Cars"*. The *"Directory of Recommended Types of Energy Saving and New Energy Vehicle Demonstration Projects for Promotion Application"* is a directive of the Chinese government to set the priorities for the government's financial support for electric vehicles. It has also led to the strategy formulation for New Energy Vehicles by all the major car manufacturers in China. According to Chinese statistics, 76 different New Energy Vehicles (cars and buses) exist, which are produced by 27 companies. The Minister of Science and Technology, Wan Gang, mentioned in a meeting on electric mobility between ministries in China and Germany that, by October 2011, a total number of 135 different vehicles have been categorized as "New Energy Vehicle" (meeting held on October 24, 2011 in Beijing). With these three major policies realized, in 2009 the car sales for mini passenger cars rose by 80% and for mini trucks by 70%<sup>41</sup>.

### Chinese Regulations on batteries

China published own national standards for AC and DC charging, which have gained validity by March 2012. These GB/T standards are incompatible with the international standardized charging systems. About homologation and type approval these voluntary standards (GB/T) become mandatory and binding, especially for locally produced vehicles. GB standards must be notified to the WTO, which will not be done because trade barriers will be generated and the WTO would therefore not accept (see also 3.3.4).

There are, however, no totally clear boundaries between reliability, safety and abuse tests in the literature. Therefore in the following only safety tests which included reliability, safety and abuse will be mentioned.

**Reliability tests:** Simulating normal operating conditions; e.g. - vibrations, temperature changes (leads to dewing)

**Safety tests:** Simulating abnormal operating conditions; e.g. – overcharge, overdischarge

**Abuse tests:** Simulating improper "operating conditions"; e.g. – penetration, fire etc.

The following Chinese laws are reviewed and relate to the transportation of batteries:

---

<sup>40</sup> Stadtregierung Beijing (2013): Beijing 2013-2017 - Arbeitsplan zur Kontrolle der Fahrzeugemissionen.

<sup>41</sup> Tagscherer, U. (2012): Electric mobility in China – A policy review. In: Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis No. 30.

- GB 21966-2008 (Safety Requirements for Lithium Primary Battery and Storage Battery in Transportation); It is an exclusive standards for the safety and package used in the transportation of lithium primary batteries and storage batteries, including safety requirements, type inspection, sampling, re-inspection, testing methods and requirements, safety information, packing and handling notices and marks in transportation, etc.
- GB 8897-2008 (Lithium Battery Safety Requirements); this mandatory standard is equivalent to IEC 60086-4:2007. It gives detailed requirements for the safety of lithium primary batteries, including design, sampling, inspection and requirements, transportation, display, storage, and treatment. However, there is no special requirement for EV batteries.
- GB/T 18384.1-2001 (Electric Vehicle Safety Requirement) describes the battery in the Energy Storage Equipment part of the electric vehicle section. Special requirements such as a collision test on the vehicle-borne energy storage device are laid down in Art. 8 of GB 18384.1-2001. The functional safety measures and failure protection requirements concerning the dangers from electric power of electric vehicles are set forth in GB 18384.2-2001. The requirements for personnel electric-shock protection when electric vehicles are not connected with an external power supply source are set forth in GB 18384.3-2001.

#### Chinese Regulations on dangerous wastes and recycling

In China a lot of regulations and directives are issued specifically to reduce and finally to prohibit the use of mercury and cadmium in consumer cells:

- Nine national ministries/commissions issue Regulations on Limiting the Mercury Content in Battery - Standard **HJBZ009 – 95** Dry Cells Containing no Mercury is formulated in China.
- Nine ministries/commissions of State Council including former China Light Industry Federation co-issued the document **QZHG No. [1997] 4** –Regulations on Limiting the Mercury Content in Battery. Supplementary regulations concerning button cells are also set forth in the Regulation:
- The Circular on Carrying out Obligatory Inspection to the Mercury Content of Imported and Exported Battery Products: **GJJ No. [2000] 218**;
- The Circular on Printing and Issuing The Inspection and Supervision Measures of the Mercury Content of Imported and Exported Battery Products: **GJJ No. [2000]244**;
- The Supplementary Circular on the Relevant Issues of Carrying out Obligatory Inspection to the Mercury Content of Imported and Exported Battery Products: **GJJ No.[2000] 70**;
- The Circular on Convening National Working Conference of Starting to Inspect out the Mercury Content of Imported and Exported Battery Products: **JBj No.[2000]270**;

Besides the directly battery-relevant regulations and directives the topic of elimination of mercury and cadmium and recycling of lead-acid batteries is addressed in battery relevant paragraphs in the “*Policy of the Technology of Preventing and Controlling the Pollution of Dangerous Wastes*”. This document was co-issued by the National Environmental Protection

Administration, National Economic and Trade Commission and the MOST on 17 December 2001.<sup>42</sup>

To prevent and control battery-relevant pollutions in 2003 approval was given to the “*Policy of the Technology of Preventing and Controlling the Pollution of Used Batteries*” by the National Environmental Protection Administration, the National Development and Reform Commission, the Ministry of Construction, the MOST and the Ministry of Commerce.

After the detailed analysis “*Investigation into the status quo of the recycling of used dry cells in China*” and also by analyzing the environmental protection laws and regulations concerning used and discarded cells prevailing in various countries worldwide the “*Management Measures of the Recycling of Used Batteries*” were formulated on 1 May 2007 by six ministries and commissions, including the Ministry of Commerce, the Development and Reform Commission, the Ministry of Public Security, the Ministry of Construction, the Administration of Industry and Commerce, and the Administration of Environmental Protection.

### General regulations

The enterprise who has obtained the qualification as a manufacturer of electric vehicle can apply for the homologation of New Energy Vehicle products. The **product certification** stipulations include:

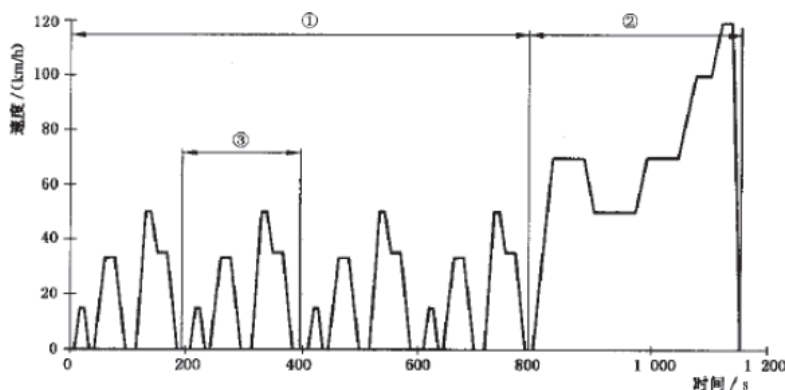
- Products meet the relevant standards and regulations concerning safety, environmental protection, energy conservation and prevention of theft.
- Products have passed the inspection of a testing organ appointed by the MIIT (hereinafter referred to as “testing organ”). New Energy Vehicles need to meet not only standards for traditional vehicles but also exclusive standards for New Energy Vehicle products, just as the table shows.
- Products do not infringe upon others intellectual property rights.

In the Rules 2009 a series of important standards regarding safety, environmental protection, energy saving etc. were implemented.

In Standard GB/T 18386-2007, the test procedures under running mode apply to vehicles of Categories M1 and N1. The test cycles are consistent with those specified in GB 18352.1.

Figure 14: Normative Chinese Test Cycles referring to Annex A of GB 18386

(Source: GB 18386)



<sup>42</sup> Garche, St. (2010): GCSFP Study - Regulations on an electric vehicle infrastructure for road traffic, page 70



The vehicle has to be approved as well by the emission authorities. For the whole China mainland this is the Ministry of Environmental Protection of the P.R.C. The Beijing area is subject to the Beijing Environmental Protection Agency (Beijing EPA).

For imported vehicles, the certification has to be approved by CNCA which is part of the State General Administration for Quality Supervision and Inspection and Quarantine (AQSIQ). The China Quality Certification Centre (CQC) is designated by CNCA to process CCC mark applications and defines the products that need CCC.

For vehicles produced in China, the vehicle has to be approved by the Ministry of Industry and Information Technology (MIIT) as well. Like the CNCA, the MIIT also has its own agency performing the daily work, which is called the China Vehicle Technology Service Center (CVTSC).

Figure 15: China compulsory product certification (CCC) mark for safety (s)



The CCC mark can be given for safety (s), for fire (f), for electromagnetic compatibility (EMC) or combined.

*Nowadays China is willing to cooperate with foreign partners:*

The adoption of International Standards while simultaneously withdrawing national standards is the best way of creating a global market for electric mobility. Therefore a **German-Chinese Joint Committee of Industry and Trade** is the foremost coordinating body of the German Ministry of Economics and China's Ministry of Commerce. The Committee's main objective is to promote trade between the two nations, intensify their investment relations and strengthen technology transfer between the partners. Several working groups have been set up to address specific issues in greater detail. A sub-working group E-Mobility was given the task of developing a joint roadmap including objectives and a timeline for further activities.

Figure 16: Sino-German working structure on standardization  
(Source VW)



### 3.1.4 Financial support and incentives

#### Vehicles

According to the *Interim Procedures of Energy Conservation and New Energy Vehicle Demonstration and Popularization Fiscal Subsidy Fund Management* co-issued by the Ministry of Finance and the MoST in February 2009, vehicle types listed in the “Catalogue of Vehicle Types Recommended for the Energy Conservation and New Energy Vehicle Demonstration, Popularization and Application Project” will obtain a fiscal subsidy. This undertaking includes support for objects and methods, conditions, subsidy standards, application and issues of funds, supervision and management of funds. According to the following standards BEVs, HEVs and FCEVs as passenger cars, light-duty commercial vehicles and hybrid power vehicles will be divided into five grades according to the degree of mixing and fuel economy. The highest subsidy per vehicle is 6,000 Euro. The subsidy for every purely electric vehicle is 7,300 Euro, for every fuel cell vehicle it is 30,400 Euro and for every urban transport passenger car and hybrid power passenger car it is 60,800 and 73,000 Euro respectively. These amounts are replaced by the Popularization and application on NEV in 2013 and they only concern the demonstration cities. An auxiliary fund will also be arranged for the local finances of 13 cities participating in the demonstration, and a moderate amount of subsidy will be offered for the relevant expenditure, including the purchase of energy-efficient and new-energy vehicles, the construction of auxiliary facilities and maintenance and upkeep.<sup>43</sup>

On June 1st 2010, the four ministries/commissions co-promulgated “The Circular on Developing Pilot Subsidy for Individuals to Purchase New Energy Automobiles”. This confirms the subsidies from the *Interim Procedures of Energy Conservation and New Energy Vehicle Demonstration and Popularization Fiscal Subsidy Fund Management*. A subsidy of 365

<sup>43</sup> Garche, St. (2010):GCSFP Study - Regulations on an electric vehicle infrastructure for road traffic, page 52

Euro/kWh will be additionally offered to New Energy Vehicles that meet the supporting conditions. After the legislature in 2013, the National's People's Congress, the new government follows up the electric mobility aims defined by the previous government. Chinese Minister Wang Gang and Zhejiang Geely's chairman Li Shufu expressing their support for the development of electric vehicles in China<sup>44</sup>. They expressed a strong commitment to promoting electric vehicles within the public transportation sector in China. More coordination in the development will be needed in the long run. Such coordinated development needs a combination of charging facilities, environmental protection measures, industrial development policies and efforts from the power sectors. Beside that priority shall be given to the development of low-speed electric vehicles due to practical considerations. It has already been successful in Shandong Province with many advantages. They are suitable for short driving ranges. This type of electric vehicle can be designed to be very small and lightweight, incorporating a smaller battery, which has a reduced battery pack capacity that saves more energy (but also see chapter 3.4.3, because this statement does not coincide with the adoption of market behavior in China).

The *"Notice of the State Council on Issuing the Planning for the Development of the Energy-Saving and New Energy Automobile Industry (2012-2020)"* was published end of June 2012. The focus is on advancing industrialization of BEV, PHEV and promoting non-plug-in hybrid cars and energy-saving motor cars in addition to the subsidies mentioned before. The following subsidies are additional to the existing incentives and shall help to boost the sale of electric vehicles:

- ⌈ BEV and PHEV: Exemption from purchase tax (10%), consumer tax and license plate tax for consumers
- ⌈ HEV: Exemption from 50% of purchase tax, consumer tax and license plate tax for consumers
- ⌈ VAT tax paid by electric car and parts suppliers will be reduced from 17% to 13%
- ⌈ MoST and CATARC will provide 256 Mio. € within the 9<sup>th</sup> to the 12<sup>th</sup> Five Years Plan (approx. 13 Mio. € / Year) for national demonstration projects and programs. Additionally there are 40 Mio. € / Year for national related R&D projects.<sup>45</sup>
- ⌈ Ministry of Finance will provide 12.1 million Euros financial support during 2011-2020 to the industry with focus on:
  - 6.1 million Euros for key technology development and industrialization
  - 3.6 million Euros for promotion and demonstration of new energy vehicles
  - 2.4 million Euros for promoting PHEV/HEV vehicles
  - 1.2 million Euros for supporting core auto parts development
  - 608,000 Euros for city infrastructure construction

Subsidies for individuals only exist in six cities. In all other cities there are so far virtually no EVs in the private sector and almost no EV contacts for the public.

The *Beijing* city government is working hard to improve traffic congestion and air pollution, which have been attracting more and more negative publicity worldwide. In March 2012, the city government is introducing a series of new policies to speed up the rate of adoption of electric vehicles in the city. According to Chen Guiru, deputy director of the Beijing New Energy Automobile Development Promotion Centre, Beijing will announce a series of policies

---

<sup>44</sup> Cars21 (2013): Electric vehicles under latest annual session of the National's People's Congress

<sup>45</sup> Dr. Wu (CATARC) during an interview in September 2013

to encourage residents to buy electric cars. For example, buyers of electric vehicles in Beijing will receive car number plates that exempt them from having to participate in the car license plate lottery. Beijing will reserve in 2014 already 20,000 of a total of 150,000 new registrations for EVs. In addition, the government is planning to introduce a new maximum purchase subsidy of 14,681 Euro for private electric cars. Beijing aims to add 5,000 electric cars in 2013, 2,000 of which will be purchased by groups and individuals. Electric taxis and buses will account for the rest. Beijing will also expand the construction of charging facilities in the city. These measures will take effect in the first half of this year<sup>46</sup>.

In *Shanghai* the government will also pay an additional subsidy of 4,863 Euro (BEV) and 3,647 Euro (PHEV) for individuals.

All together subsidies of up to 21,881 Euro are available but even still, electric vehicles are a hard sell. So BYD's as first main vehicle OEM started a new plan in November 2012. They offer financing to overcome the huge start-up costs of investing in electric vehicles under "Zero Down, Zero Effective Cost, Zero Emissions" program. This offer is financially supported by the China Development Bank with 3.6 billion Euro<sup>47</sup>. It will offer taxi drivers and (bus) fleet operators the chance to buy in E6 taxi at zero cost and pay off the amount owed in instalments. BYD cites its own taxi fleet in Shenzhen as a model for economic success, according to the companies calculations the average taxi is traveling around 450 km per day for 353 days per year (with one day off per month for servicing), with gasoline at 0,97 Euro/l and averaging 9l/100km. The BYD e6 on the other hand uses 26kW of electricity per 100km and with electricity prices averaging 0,08 Euro per unit an E6 saves 30 Euro over the course of a day, or 871 Euro per month or over a 5 year period it is saving 39,682 Euro over the cost of a gasoline variant in terms of fuel costs. The new solution gives fleet operators a new buy in cost of just 435 Euro per month for their vehicle, which should spur on investment in other cities, or at least those cities that have invested in electric charging points.

#### 10 Cities – 1,000 Vehicles (25 Cities – 1,000 Vehicles)

Another very important large scale demonstration program in selected cities is called "10 Cities – 1000 Vehicles" and was published in 2009. "The Demonstration, Popularization and Application Project was co-initiated in January 2009 by MoST, MoF, MIIT and NDRC. New Energy Vehicles are firstly applied in public transportation system. Subsidy from government to operation department is available to offset the price difference between New Energy Vehicle and traditional vehicle. Ten cities will be developed every year in the forthcoming three years by providing fiscal subsidy. Each city shall launch 1,000 New Energy Vehicle for model operation, covering such fields as bus, taxi, municipal administration and postal service in these large and medium cities, striving to enable the operation scale of New Energy Vehicles in China to account for 10% of the total vehicle market by 2012<sup>48</sup>.

In 2010 a total of 13 cities have been involved into this energy-saving and New Energy Vehicle promotion demonstration program by the Energy-saving and New Energy Vehicle

---

<sup>46</sup> Cars21 (2013): Electric vehicles under latest annual session of the National's People's Congress

<sup>47</sup> www.businesswire.com, 08 November 2012

<sup>48</sup> Tagscherer, U. (2012): Electric mobility in China – A policy review. In: Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis No. 30.







Pilot Promotion Demonstration Notice<sup>49</sup>. These 13 cities are Beijing, Shanghai, Chongqing, Changchun, Dalian, Hangzhou, Jinan, Wuhan, Shenzhen, Hefei, Changsha, Kunming, and Nanchang, but in the meantime other cities have joined as well. The second group of cities participating is Tianjin, Haikou, Zhengzhou, Xiamen, Suzhou, Tangshan and Guangzhou. Guangzhou hosted the Asian Games 2010 (November 12<sup>th</sup> to 27<sup>th</sup>) with 42 events and 45 countries. During this Games 60 FCEV were demonstrated in Athletes Village, Media Village and the demonstration run. All of the FCEVs were used for VIP, media reception and athlete pick-up. In late 2010 another five cities joined the project. In 2012 the number of cities grew again why the program could be called “25 Cities – 1,000 Vehicles”.

The project is a demonstration project for New Energy Vehicles and is meant to promote the technology as well as the industry. The central government sets some framework conditions for the support, but the local governments need to implement the demonstration projects according to their own local needs and necessities. This leads to each city setting up its own policy to promote New Energy Vehicles, setting up own industrial alliances, creating its own guidelines for financial support and providing its own (additional) funds.

Even though government regulations make open bidding necessary for these demonstration projects, eight city governments (out of the first 13 cities) purchased their first batch of vehicles from their local car manufacturers only. Some experts are therefore worried that local interests may conflict with the national industrial policies and that local protectionism will violate central policies<sup>50</sup>. There might be a risk of developing the same technologies in many places at the same time and wasting public money. Also, some companies may receive strong support, even though their technology level may never reach the national or the international standard and therefore could weaken China’s international competitiveness in the long term.

Figure 17: Vehicles in pilot cities by the end of March 2013

(Source: CATARC, 2013)

领域/Sector	车型分类 Category	合计 Subtotal	典型车辆 Typical Vehicle
公共服务领域 Public transportation	混合动力客车 Hybrid Bus	12,156	
	纯电动客车 Pure Electric Bus	2,526	
	混合动力乘用车 Hybrid Passenger Car	3,703	
	纯电动乘用车 Pure Electric Passenger Car	2,453	
	其它电动车 Other Electric Vehicles	2,194	
私人购买领域 Private Sector	纯电动乘用车 Pure electric Passenger Car	4,400	
合计/2012年止 In total/ by the end of 2012		27,432	
合计/2013年3月止 In total/ by the end of MAR 20		39,768	

<sup>49</sup> Sun, L. (2010): New Energy Vehicles Industry Plan: 23.

<sup>50</sup> Tagscherer, U. (2012): Electric mobility in China – A policy review. In: Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis No. 30.

For the cities, the investment in the local automotive industry is seen as an instrument to increase outside investment in the city and therefore seen as an investment in the city's attractiveness for investment from outside. Therefore some of these cities published promotion targets.

Table 3: Regional promotion targets

(Source: HCA Consulting, 2013)

City	REGIONAL PROMOTION TARGET
Beijing	2012: promote sales of 23,000 BEV and 7,000 PHEV 2015: accumulated E-cars will reach to 200,000 units
Shanghai	2012: total accumulated e-cars will reach to 20,000 units and build 25,000 charging poles and 50 charging stations 2015: sales will reach to 300,000 units
Guangzhou	2020: sales of new energy vehicles will reach to RMB 240billion or 15% of market share
Shenzhen	2012: sales of new energy cars will be 25,000 units 2015: the accumulated new energy cars will be 100,000 units
Wuhan	2020: sales will reach 500,000 units

#### Energy-saving and New Energy Vehicle Pilot Promotion Demonstration Notice

In 2009 the *Energy-saving and New Energy Vehicle Pilot Promotion Demonstration Notice* was issued to strengthen the government's mandatory procurement of energy-saving and environmentally-friendly vehicles and the promotion onto public transportation sector<sup>51</sup>. To create a consumer demonstration effect the *Directory of Recommended Types of Energy-saving and New Energy Vehicle Demonstration Projects for Promotion Application* was issued. Announced in August 2009 till January 11, 2010, a total of six batches of 66 vehicle types developed and produced by 30 enterprises had been recommended.

Table 4: Extract of directory of New Energy Vehicles Demonstration Projects for Promotion Application (Recommended by Government)

(Source: China's Development and Policies of New Energy Auto Industry)

Type	Company Name
Hybrid Cars	BYD Company Limited
	DongFeng Automobile Co., Ltd.
	Chery Automobile Co., Ltd
	Shanghai General Motors Co., Ltd.
	Chongqing Changan Automobile Co., Ltd.
Hybrid Bus	Chongqing Changan Automobile Co., Ltd.

<sup>51</sup> Research in China (2013): China Electric Vehicle Industry Report, 2013.

Hybrid Electric City Bus	DongFeng Automobile Co., Ltd.
	Xiamen Golden Dragon Bus Co., Ltd.
Hybrid City Bus	Beiqi Foton Motor Co., Ltd.
	Dandong Huanghai Automotive Co., Ltd.
	Hunan CSR Times Electric Vehicle Co., Ltd.
	Shanghai Sunwin Bus Corporation
	Shenzhen Wuzhoulong Motors Co., Ltd
	Xiamen King Long United Automotive Industry Co., Ltd.
	Yiqi Passenger Car Dalian Passenger Coach Factory
	Zhongtong Bus & Holding Co., Ltd.
(pure) Electric (City) Bus	Anhui Ankai Automobile Co., Ltd.
	Xiamen King Long United Automotive Industry Co., Ltd.
	Zhongtong Bus & Holding Co., Ltd.
	Beiqi Foton Motor Co., Ltd.
	DongFeng Automobile Co., Ltd.
	Jiangsu Alfa Bus Co., Ltd.
Electric Light Duty Vehicles	Tianjin Qingyuan Electric Vehicle Co., Ltd.
	Beijing Hualin Special Vehicle Co., Ltd.
	Beijing Tianlutong Technology Co., Ltd.
	Zoomlion Heavy Industry Science & Technology Development Co., Ltd.
Pure Electric Car	BYD Company Limited
	Hafei Automobile Co., Ltd.
	Faw Haima Motor Co., Ltd.
	Chery Automobile Co., Ltd.
	Shanghai Sunwin Bus Corporation
	Zhengzhou Nissan Automobile Co. Ltd.

#### Popularization and application of New Energy Vehicle in 2013 – 2015

Chinese financial support for vehicles changed in September 2013 and is adjusted in February 2014. The new subsidies policy plan by MOF, MoST, MIIT and NDRC is called “**Inform about the popularization and application of new energy vehicles in 2013 ~ 2015**”.

For the next two years the focus is on popularization and application but not only in six pilot cities as before but especially in mega cities or city clusters like the Beijing-Tianjin-Hebei Region, the Yangtze River Delta (Shanghai, Hangzhou, Wuxi and Suzhou) or the Pearl River Delta (Guangzhou, Shenzhen and Hongkong).

The demonstration city must fulfil the following conditions for financial support:

- A mega city must have an accumulation of more than 10.000 NEV, other cities of more than 5.000 NEV in 2013 – 2015.
- In every demonstration region the percentage of non-local brands on the market must be more than 30 % so that not only buyers of the respective local manufactures can benefit from the financial support (for example BYD in Shenzhen or SAIC in Shanghai). At the same time non domestic cars are still not funded. In general the jointventures do profit from these subsidies (for example: BYD – Daimler, Dongfeng – Nissan)

- Furthermore the local governments have to create the policy details for buying NEV, buses and infrastructure.

Cities, which meet this requirements, had the possibility to send their plans to MOF, MoST, MIIT or NDRC before October 15<sup>th</sup>.

The financial support also depends no longer on the battery capacity but on the range of the New Energy Vehicle. The subsidies are classified in three categories (<150 km, <250 km, > 250 km). Incentives for buses (depend on their length) and FCEV / PHEV also exist, but have no decisive relevance. HEV will still not be supported.

The volume will be reduced year by year. In 2014 and 2015 the subsidy for BEV, PHEV and FCHV will decrease to 95 % or 90 %. In 2020 the subsidy should end completely. However the subsidies for buses remain constant.

Table 5: Yearly subsidy for BEV and PHEV (incl. REEV) in 2013~2015<sup>52</sup>

Type	Driving Range(R) by battery power only (Mode-test) in Euro											
	80≤R<150 km			150≤R<250 km			R≥250 km			R≥50 km		
Year	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015
BEV	4,122	3,916	3,710	5,889	5,594	5,300	7067	6,713	6,360	-		
PHEV (incl. REEV)	-			-			-			4,122	3,916	3,710

Table 6: Constant subsidy for BEV Bus and PHEV Bus (including EREV Bus) in 2013~2015<sup>53</sup>

Type	Length L(m) in Euro		
	6≤L<8	8≤L<10	L≥10
BEV Bus	35,333	47,111	58,889
PHEV Bus (incl. EREV Bus)	None		29,445

Table 7: Subsidy standard for Special BEV vehicles is according to the battery capacity in Euro<sup>54</sup>

Type	Standards		
Year	2013	2014	2015
Special BEV vehicles (BEV for Post, logistics and Sanitation)	240 Euro per kWh up to 150,000	228 Euro per kWh up to 142,000	216 Euro per kWh up to 135,000
FCEV	23,556	22,378	21,200
FC commercial vehicle	58,889	55,945	53,000

<sup>52</sup> MOF, MOST, MIIT & NDRC (2014): The newest central subsidy standard

<sup>53</sup> see fn. 51

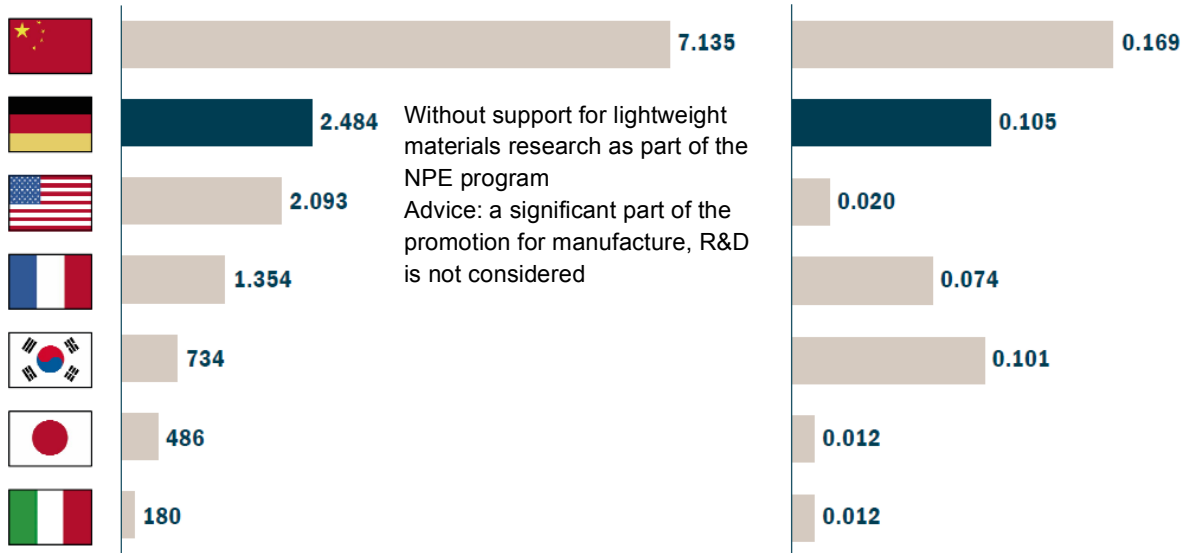
<sup>54</sup> see fn. 51



The constant subsidy for super-capacitor and LTO quick charging BEV Bus is 18,200 Euro each.<sup>55</sup>

Figure 18: National R&D-promotion of electric mobility in May 2012 [Mio. EUR] / [% BIP]

(Source: Bernhart, W. et al., 2012)



### 3.1.5 Power generation

In 2012, the power consumption in China reached 4959.1 TWh<sup>56</sup>. Data from the NEA showed that the primary industry consumed 101.3 TWh, the secondary industry 3666.9 TWh, the tertiary industry 569 TWh and urban and rural household up to 621.9 TWh.

By the end of 2012, China totally installed 1.144 TW power generation capacity, of which coal-fired power was 819 GW, hydropower was 249 GW, nuclear power was 12.5 GW, and wind power was ~61 GW (0,005% of total)<sup>57</sup>. Renewable and low carbon power production shall be expanded further.

<sup>55</sup> MOF, MOST, MIIT & NDRC (2014): The newest central subsidy standard

<sup>56</sup> State Grid Corporation of China (2013): S&T Progress Special Prize Winner UHV AC Transmission-People's Daily: "Flying Coal".

<sup>57</sup> State Grid Corporation of China (2013): NEA: China's 2012 National Power Consumption Up by 5.5 %.

Table 8: China Renewables installed Capacity in GW;

(Source: China National Renewable Energy Centre)

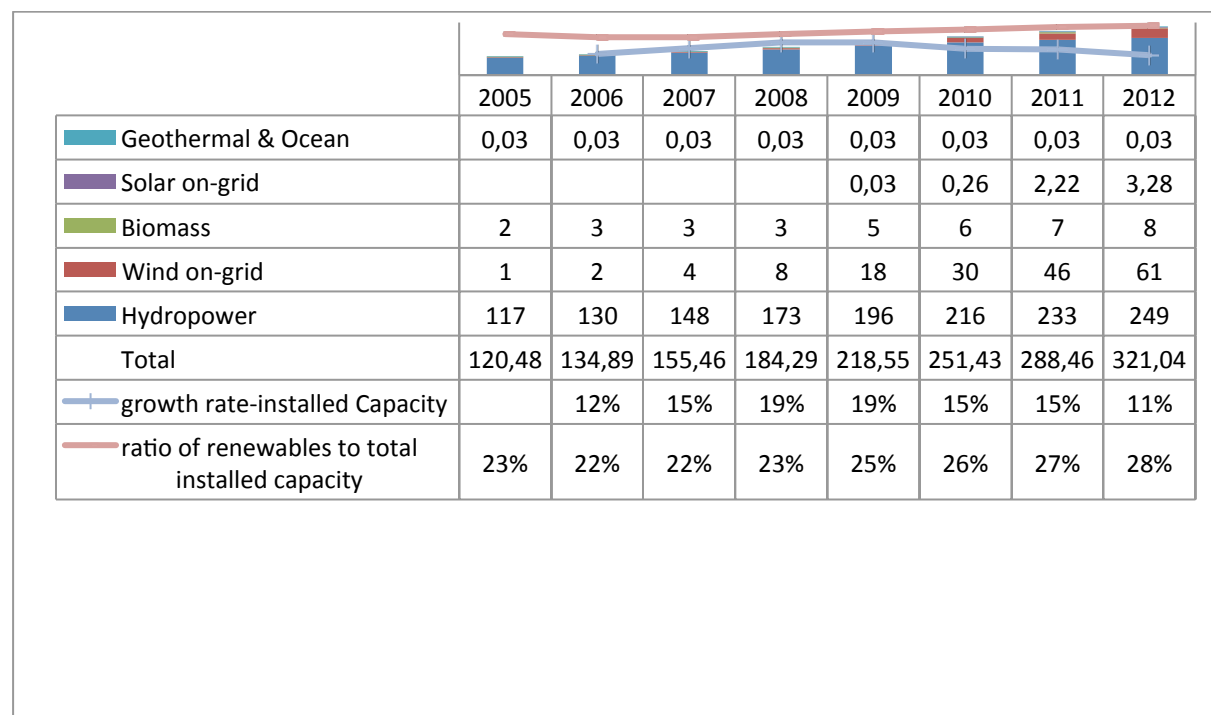
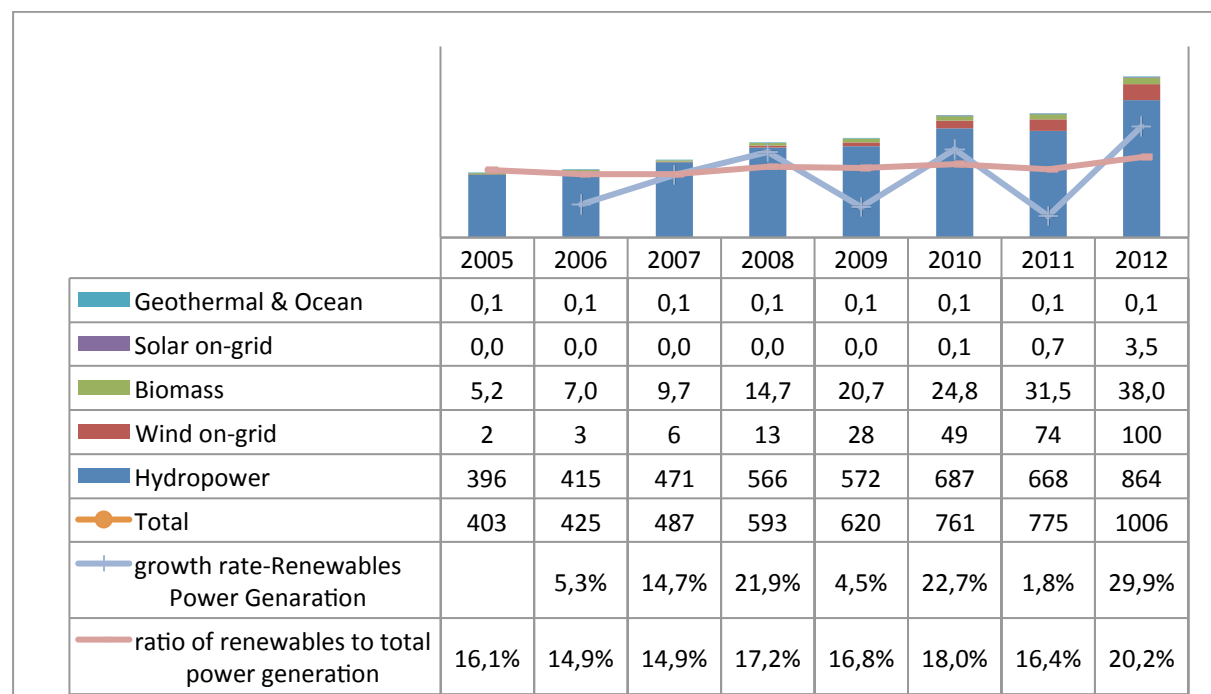


Table 9: China Renewables Power Generation in TWh

(Source: China National Renewable Energy Centre)



A major step was made by the *Renewable Energy Law* which was approved by China's State Council and National People's Congress in February 2005. The law placed the obligation on power utilities to purchase power from renewable energy generators, and introduced a national cost-sharing system that determines that the extra costs of renewable power are to be distributed equally over all power consumers by means of an electricity price surcharge.

This is the same system as it is used in Germany in their Renewable Energy Law (*Erneuerbare-Energien Gesetz*). In Germany the surcharge is set to reach .592 ct/kWh in 2012 (it was 2.047 ct/kWh in 2010). Furthermore, the law established a pricing mechanism with a fixed premium, or “feed-in tariff”, for wind power.

Following the introduction of the *Renewable Energy Law*, wind capacity has grown rapidly: by 60% in the year the law was passed, followed by four consecutive years up to 2009 in which Chinese installed wind capacity doubled in size each year. In 2010 in China a capacity of ~45 GW wind energy was installed in China. Main investors have been the state-owned power companies. Perhaps surprisingly, these utilities often proposed extremely low bidding prices: for example, in the concession bidding rounds between 2003 and 2006, the contract bidding price was consequently under the average price of feasibility studies on the relevant wind farm locations, hovering between 0.05 Euro/kWh and 0.07 Euro/kWh.<sup>58</sup> The explanation for this phenomenon is that the power companies sought to secure a sufficient portfolio of renewable energy capacity, as the government also announced the introduction of *renewable portfolio standards* (or *mandated market shares*) that would require them to have a fixed amount of renewable energy capacity. The exact targets were set by the *Medium and Long-Term Development Plan for Renewable Energy in China*, which was released in September 2007: for all power producers with a total generating capacity larger than 5 GW, a target of 3 percent of non-hydro renewables capacity by 2010 and 8 percent by 2020.

Second to this concession tendering process, the government stimulated wind farm development through a project-by-project ‘government approval’ process. Since price competition in the concession tendering was so intense, it was only through this second route that international wind turbine manufacturers found the opportunity to sell their turbines.<sup>59</sup>

China is trying to increase the amount of renewable energy as a percentage of total energy consumption and help domestic wind turbine and solar panel manufactures, some of whom are on the verge of bankruptcy, restore normal operations. A worldwide glut of manufacturing capacity of solar panels and wind turbines, the anti-dumping and countervailing duties levied by the United States and the ongoing anti-dumping investigations by European Union are dragging Chinese firms in the sector into an abyss of losses<sup>60</sup>.

Meanwhile, by 2015, domestic installed generating capacity in China from wind is expected to reach 100,000 MW, installed PV capacity is expected to reach 35,000 MW and installed biomass power capacity will reach 13,000 MW (of which 3,000 MW will come from urban household garbage).

State Grid Cooperation of China (SGCC), the Chinese power company owning more than 90% of the grid in China announced plans to invest ~60 billion Euro over the next five years in transmission lines (cross-region UHV and other long distance lines). State Grid’s strategy sees battery swapping as main “energy-refueling” procedure. Plug charging is an auxiliary “energy-refueling” procedure. Battery charging shall be done centralized. The distribution of batteries to the stations shall be dynamic. The OEM shall provide the vehicle without battery and the customer shall rent the battery from the owner, which is State Grid. State Grid is responsible for maintenance and recycling. The battery swapping shall be finished in 2

---

<sup>58</sup> Li, J. et al. (2007): China Wind Power Report 2007: 9.

<sup>59</sup> Buijs, B. (2012): China and the Future of New Energy Technologies: 26.

<sup>60</sup> Chadbourne&Parke LLP & Lee, E. (2013): China sets new energy goals.

minutes. The battery is located underneath the passenger cell of the car, the only practical location. The swapping equipment should adapt all types of cars, because the batteries are standardized in four categories.<sup>61</sup> There are no confirmations about the realization of the State Grid plans yet.

By the end of 2012, State Grid has 15,600 distributed power generation projects with total installed capacity of 34.36 GW in China.

The Chinese government has proposed a low-carbon development strategy, and wind power has become and will continue to be one of the main energy technologies used to realise low carbon targets. The *China Wind Energy Development Roadmap 2050*<sup>62</sup> foresees wind power capacity reaching 200 GW by 2020, 400 GW by 2030 and 1,000 GW by 2050. Wind power, currently at the stage of scale-up development, will be one of five main power sources, and will meet 17% of electricity demand. For wind power to develop rapidly, actions that need to be conducted in the near term include implementing a wind power consumption plan, and coordinating the development of wind power. In the middle and long term, reform of the electric power sector should be promoted and realised, and the electric power market established.

Many Chinese cities implement their low carbon plans through investment in the transportation infrastructure and by supporting public transport and low carbon vehicles, from bicycles to e-cars. In Beijing, for example, there were more than 4,000 buses using liquefied natural gas (LNG) in 2007. By 2008, the fleet of LNG buses in the whole of China has reached approximately 500,000 buses in more than 80 cities<sup>63</sup>.

The specific CO<sub>2</sub>-emission reduction is an important parameter in the strategic development of cars. Most countries have low CO<sub>2</sub>-emission targets for road transport, emphasis on energy security and climate change. In Europe, the commission have now proposed that legislation will be introduced requiring fleet average specific CO<sub>2</sub>-emission to be reduced to 120 g/km by 2015.

This represents a major economic challenge for the entire automotive sector. CO<sub>2</sub> emissions are influenced not only by the vehicle but also by the driving route and the driving behavior. Therefore a comparison is only beneficial if it is based on a special driving cycle. Mostly the New European Drive Cycle (NEDC) is used for comparison, which combines city drives (higher CO<sub>2</sub> emission) and high way drives (lower CO<sub>2</sub> emission). This CO<sub>2</sub> emission is an important driver for electro mobility in the general discussion. The CO<sub>2</sub> emission of EVs amounted on a Tank-to-Wheel (TTW) basis to zero. It is, however, to consider the Well-to-Wheel (WTW) basis, i.e. also the primary electricity source. Therefore the CO<sub>2</sub>-emission of EVs are strongly dependent on the primary energy sources of the power generation mix with its shares of fossil energy, nuclear energy and energy from regenerative sources.

Whereas the HEV battery will be charged by regenerative braking energy and the ICE the batteries for PHEV and BEV must be charged externally.

---

<sup>61</sup> Hua, J. (o.J.): Progress in Battery Swapping Technology and Demonstration in China.

<sup>62</sup> International Energy Agency & Energy Research Institute (2011): Technology Roadmap – China Wind Energy Development Roadmap 2050.

<sup>63</sup> Tagscherer, U. (2012): Electric mobility in China – A policy review. In: Fraunhofer ISI Discussion 2 Papers *Innovation Systems and Policy Analysis* No. 30.

### 3.1.6 Provisions of charging infrastructure

The grid connection can be conductive, with plug, outlet socket or inductive. It is important to standardize as early as possible the hardware allowing the recharge. The plugs should be usable from 230 V and 16 A to 400 V and 200 A. An important point in the discussion is the charge power. Normal households have a 220 V grid connection of about 3 kW. In principle also 7 kW 220V grid connections are possible. Based on these loads the charge time for a 30 kW EV battery amounted to 10 h (3 kW connection) and 4 h (7 kW connections). For PHEV (and small BEVs) with about 10 kWh batteries the charge time would be about 3 h (3 kW) or 1.5 h (7 kW).<sup>64</sup>

With the common limitations of household outlets, and without additional and costly infrastructure, overnight recharge is therefore the preferred charge option. For PHEVs the mentioned charge times are sufficient. Fast charging is desirable for BEV having only the battery as energy source. This requires high power grid connections of 400 V. On these conditions residential houses would have at their disposal a maximum of 22 kW, allowing up to a one-hour recharge. It is expected that BEVs will have 3kW chargers on board. Fast chargers, however, will be located in special charge columns.

An alternative to the charge of the battery on-board is an off-board charge and battery exchange at battery swapping stations. This way required battery standardization as well and a relative large financial investment. State Grid propagates this model like “Better place” earlier.

All parties agree that the respective infrastructure is the key for further development. In 2009 State Grid Corporation, China Southern Power Grid, Sinopec, CNOOC and other leading Chinese energy companies announced their future plans for constructing electric vehicle charging stations. State Grid Corporation plans to build 10,000 charging stations and more than 500,000 charge piles/poles by 2020<sup>65</sup>.

---

<sup>64</sup> Garche, J. et al. (2009): GCSFP Study - Vehicle Batteries in China and Germany: 75.

<sup>65</sup> Tagscherer, U. (2012): Electric mobility in China – A policy review. In: Fraunhofer ISI Discussion 2 Papers *Innovation Systems and Policy Analysis* No. 30

Figure 19: Electricity grid system in China

(Source: IEA, 2011)



The investment in major equipment and the charging stations is reported to reach 3.9 billion Euros.<sup>66</sup>

Infrastructure development now attracts local government attention. In Shenzhen, for example, two stations were put into service in 2009 together with 134 pole chargers around town. While the two centralized stations offer quick charging times, the poles are for slow charging, which is mainly done overnight. At the time of its establishment, this was the largest investment for charging stations in China. The total investment for this station was 1.5 million USD. In 2010 the China Southern Power Grid Co. Ltd. opened two more charging stations in Shenzhen, where 18 vehicles can be charged at the same time.

In the meantime, other cities followed in building the respective infrastructure. In addition, in 2010 the MIIT approved four standards concerning New Energy Vehicles. These standards are "Electric Vehicle Charging Connectors", "General Requirement on Electric Vehicle Charging Stations", "Communication Protocol between Battery Management System and Off-board Chargers" and "Test Methods of Light Hybrid Electric Vehicle Energy Consumption".

<sup>66</sup> New energy vehicle infrastructure summit (2010): Future plans for constructing electric vehicle charging stations and standards concerning New Energy Vehicles.

## Examples for different cities

### Beijing

The Beijing New Energy Vehicles Development and Promotion Center was established to promote the collaboration between government, industry, university and research institutes and conduct the research and development of models led by new energy vehicles, having achieved a total of 34 pure electric models included in the national vehicle product announcements directory.

These vehicles in Beijing have an accumulated operation of about 5.2 million km of pure electric vehicles. In 2011, 1,520 New Energy Vehicles were added in Beijing, among which there were 1000 pure electric sanitation vehicles, 520 pure electric passenger cars. Beijing funded 3.6 million Euro for a unified electric vehicle operational security platform. All demonstration operation vehicles were included in the platform management; it implemented the three-level monitoring, and realized the electric vehicles online monitoring and the real-time fault processing. It has already the ability to monitor 5,000 electric vehicles in running. In coordination with the protection platform, Beijing has also developed a "Remote Monitoring Technology Specification of the Electric Vehicles: Wireless Communication Protocols" and the "Electric Vehicle Remote Monitoring Technology Specification: Vehicle Information Collection and Transmission Terminal".

Beijing also promulgated and implemented the "Beijing Pure Electric Vehicle Demonstration and Promotion Municipal Subsidies Interim Measures", which clarifies the subsidy means, standards and objects; and it also adopts the business model of the "separation of vehicles and power and the battery leasing".

In Beijing battery swapping stations shall be located in suburbs (3<sup>rd</sup> ring) and between two cities. The swapping stations shall also be used as electricity energy storage station for grid power adjustment. The charging spots shall be located in communities, official buildings and commercial centers (cp. figure 20).<sup>67</sup>

Table 10: Electric vehicle demonstration and extension number in Beijing (2011)

(Source: China Automotive Technology and Research, 2012)

Vehicle Type	Taxi	Sanitation trucks	Private car	<b>Total</b>	Growth over the same period(%)
Pure electric vehicles	400	1000	120	<b>1520</b>	41.2

<sup>67</sup>Hua, J. (o.J.): Progress in Battery Swapping Technology and Demonstration in China.

Figure 20: Planned distribution of battery charging and swapping stations in Beijing

(Source: Hua, o.J)



### Shanghai

Shanghai announced to build 50 charging stations and 5,000 charging points until the end of 2015 to meet the needs of local electric vehicle buyers<sup>68</sup>. The stations and charging spots will be built at local public parking lots and in neighbourhoods by Shanghai Electric Power Company. The city government has built 12 charging stations and 890 charging spots mainly in suburban Songjiang and Minhang districts, because it is more difficult to place charging spots in downtown areas, but will be expanded downtown soon. Simple charging facilities can be built across the city for new-energy taxis, fast charging stations at public parking slots and commercial areas for an urgent use and "slow" charging centres at residential areas and office buildings.

As of the end of 2011 Shanghai demonstrates 1,614 energy saving and new energy vehicles. Also there was built a changing station at the park of the Expo, with a cumulative charge of 7.8 MWh; it completed the construction of four super capacitor transit bus lines (135 charging racks).

Shanghai Municipal Electric Power Company Investment Charging Station Network has built seven charging stations, two filling stations, and 687 charging spots<sup>69</sup>.

According to another article, less than 20 charging stations were built in the 13 cities that participate in the 13 cities 10,000 cars project<sup>70</sup>. Some cities have built up charging stations blindly. They see no progress in the further establishment of charging stations unless the government heavily supports it and creates new business models, as no short-term business is success to be expected from charging stations. This limits the interest of enterprises to invest in this field. This can be seen as one of the biggest bottlenecks in China's development of electric cars.

<sup>68</sup> Shanghai Municipal Government (2013): City plans 5,050 electric-car charging spots.

<sup>69</sup> China Automotive Technology and Research Centre (CATARC) (2013): Yearbook of energy-saving and new energy vehicles 2012.

<sup>70</sup> Tagscherer, U. (2012): Electric mobility in China – A policy review. In: Fraunhofer ISI Discussion 2 Papers *Innovation Systems and Policy Analysis* No. 30.



McKinsey sees battery swapping as a short-term solution for some applications such as city buses<sup>71</sup>. These vehicles are maintained in central garages, have fixed routes of known distances and can easily accommodate standardized battery packs. However, their research points to battery charging as the winning long-term model for battery replenishment. It does not require a high degree of battery standardization and can facilitate local Chinese OEM efforts to export vehicles to international markets that might not have battery-swapping infrastructure. Customers will also likely prefer the battery charging option, especially after quick charging becomes commercially viable.

### Tianjin City

Since the 10th FYP, Tianjin has increased its efforts around the development, industrialization and demonstration of New Energy Vehicle technology. In order to ensure the smooth progress of the demonstration and promotion, Tianjin set up the "Tianjin Energy Conservation and New Energy Vehicle Demonstration and Promotion Coordination Leading Group" headed by vice mayor Wang Zhiping. They initially formed the relatively complete industrial chain with the vehicle at the beginning, covering the powertrain, battery management system and the dedicated parts. Tianjin gathered the lithium-ion battery R&D, production enterprises such as Lishen, CBAK, Gateway Power and formed the R&D and production capacity of battery materials.

Qingyuan Company in Tianjin realized the first pure electric vehicle export from China to the United States; since 2006, the total exports are accumulated to nearly 3,000 vehicles. Furthermore Tianjin Lishen formed the industrial scale of an annual output of 100 million sets of battery power systems.

In 2011, Tianjin demonstrated and promoted a total of 168 energy conservation and New Energy Vehicles. As of the end of 2011, it were completed five charging stations and the construction and applications of 327 AC charging points.

Table 11: Electric vehicle demonstration and extension number in Tianjin (2011)

(Source: China Automotive Technology and Research Center, 2012)

Vehicle Type	Bus	Taxi	Postal vehicles	Total
Pure electric vehicles	-	80	20	<b>100</b>
Hybrid cars	58	0	0	<b>58</b>
Plug-in hybrid power	10	0	0	<b>10</b>
<b>Total</b>	<b>68</b>	<b>80</b>	<b>20</b>	<b>168</b>

### Wuhan

Wuhan is one of the first cities who started with New Energy Vehicle in the pilot project of "10 cities, 1,000 vehicles". Large OEMs like Dongfeng Motor Corporation, Dongfeng Yangtse Motor Co., Dongfeng Electric Vehicle Co. Ltd., Wuhan Jiutong Special Automobile Factory, Wuhan Youfin Auto Parts Co. Ltd., WUT Yutong Company, Wuhan Intepower Science and Technology Co. Ltd., Hubei Guotongqingyang New Energy Vehicle Development Company

<sup>71</sup> McKinsey (2012): Recharging China's electric vehicle aspirations – A perspective on revitalizing China's electric vehicle industry, China Auto Hub: 14.

and Wuhan Zhongyuan Electric Information Corporation are based in Wuhan. Among other companies that are well equipped with R&D capability in finished electric vehicle and key component, shaping an electric auto industry chain.

The city has been proactive in raising national funds to support the implementation of In accordance with the requirements of the working program, Wuhan raised 18.7 million Euro in total, of which 9.3 million Euro are subsidies for auto loan, 3.6 million Euro for infrastructure construction, 3.9 million Euro for R&D and industrialization, 1.1 million Euro for operation and 704,000 Euro are state subsidies for a part of the purchase tax on hybrid electric vehicles<sup>72</sup>.

Additionally, Wuhan Government has rolled out the Working Program of Wuhan on Energy-saving and New Energy Vehicle Demonstration and Popularization and set up special funds to support the R&D and industrialization of energy-efficiency and New Energy Vehicles. So far, the regional funds have totaled 8.1 million Euro. 6.6 million Euro have been directed mainly to support Wuhan Dongfeng Motor, Dongfeng Yangtse and WUT New Energy Co., Ltd. among other enterprises to carry out R&D and industrialized application as well as demonstrative operation of energy conservation and finished green cars and key component technologies.

The municipal government has developed supportive policies in order to build an enabling environment and provide policy guarantee for the demonstration and popularization project. While actively moving forward with demonstration and promotion works, Wuhan has also listed the New Energy Vehicle industry as one of the 15 strategic emerging industries compiled the medium and long-term development program and rolled out the guiding opinions on accelerating new energy industry development.

Table 12: Electric vehicle demonstration and extension number in Wuhan (2011)

(Source: China Automotive Technology and Research, 2012)

Vehicle Type	Bus	Official car	Sanitation trucks	Total
Pure electric vehicles	10	15	1	<b>26</b>
Hybrid cars	200	0	0	<b>200</b>
<b>Total</b>	<b>210</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>226</b>

### Shenzhen

By the end of 2011, ~3000 New Energy Vehicles of various types had been put into demonstration in Shenzhen. This is the largest number of vehicles in one region worldwide split in 2000 public buses (1770 hybrid electric buses and 250 pure electric buses), 300 pure electric taxis, 62 fuel-cell vehicles, 20 vehicles for public affairs and 603 private cars. 62 charging stations of various types, 57 for public buses and new 1,800 charging points were installed. These vehicles had realized an accumulated safety mileage of 95 million kilometers (new energy public buses realized 88 million kilometers and pure electric taxis realized above 7 million kilometers).

Shenzhen has released the “**Regulations of Shenzhen on Central Subsidies for Purchasing Energy-saving and New Energy Vehicles**” proposing to provide 364 Eu-

<sup>72</sup> China Automotive Technology and Research Centre (CATARC) (2013): Yearbook of energy-saving and new energy vehicles 2012.

ro/kWh subsidies for New Energy Vehicles meeting certain supportive conditions<sup>73</sup>. It would be provided a maximum of 6,065 Euro – 7,278 Euro for each plug-in hybrid electric passenger car and each pure electric passenger car.

“Regulations of Shenzhen on Subsidies for Supporting the Demonstration and Popularization of Energy-saving and New Energy Vehicles” puts forward the subsidy standard of 243 Euro/kWh by the municipal budget and the subsidy standard of 60,655 Euro for each unit of pure electric public bus and an additional of 7,279 Euro subsidies for each unit of electric taxi.

Shenzhen has established a carbon measurement account and a carbon emission reduction measurement method for New Energy Vehicles. The carbon emissions of new energy public buses measured and verified within certain period could be sold to relevant organizations and enterprises by means of voluntary emissions trading. The profits from the trading could subsidize new energy public buses so as to reduce fiscal subsidies gradually and preliminarily put in place a virtuous cycle mechanism of New Energy Vehicle application supported by government, enterprise and market.

Table 13: Electric vehicle demonstration and extension number in Shenzhen (2011)

(Source: China Automotive Technology and Research Center, 2012)

Vehicle Type	Bus	Passenger cars	Taxi	Track	Private cars	Total	Growth over the same period (%)
Pure electric vehicles	253	26	300	0	58	<b>637</b>	1101.9
Hybrid cars	1370	0	0	0	287	<b>1657</b>	148.4
Fuel cell vehicles	0	2	0	60	0	<b>62</b>	100
<b>Total</b>	<b>1623</b>	<b>28</b>	<b>300</b>	<b>60</b>	<b>345</b>	<b>2356</b>	227.2

### 3.1.7 Stakeholder opinions on the governmental framework

#### 3.1.7.1 Motivations of governmental support for electric vehicles

According to the interviewed stakeholders from governmental institutions and research institutes, the governmental support for electric vehicles has the following main motives for the moment: primarily energy safety (mainly with regard to the growth rate of the oil price development) followed by civil protection concerning health problems caused by heavy air pollution especially in city centres. Those problems get enforced by the still high annual growth rate in new passenger car registrations. The interviewed experts expect that this development continues in the next ten to twenty years. This is also a reason that electric mobility has to develop in the next years more than in other countries. Electric mobility cannot solve the transport problems in towns or the factor of the space consumption of vehicles in general. But the local emission free electric vehicles can reduce pollutant emissions - the order of the day according to the interviewed experts.

Nevertheless, the motive of the governmental support for electric vehicles to strengthen the competitiveness of the automobile industry is important. A representative of the automobile industry confirmed these motives.

<sup>73</sup> China Automotive Technology and Research Centre (CATARC) (2013): Yearbook of energy-saving and new energy vehicles 2012.

A representative of a Chinese governmental institution mentioned that especially the field of integration technology is underdeveloped as yet. Accordingly, Chinese manufacturers are strongly interested in cooperation with international universities and research institutes. Especially the technological level in China has to evolve in the next years with every emphasis.

#### 3.1.7.2 Government strategy regarding electric vehicles

The government aims to have 500.000 electric vehicles on the market by 2015 and five million vehicles by the year 2020. A governmental institution representative stated that, although difficult to realise, this is nevertheless possible, provided that the Chinese government maintains its financial support.

A European governmental expert in China confirmed that a systemic approach in the development of EV can not yet be noticed in China. The question regarding supercredits remains unresolved, exemptions for EV are in progress.

Worthwhile incentives for private users in China are e.g. a driving ban for ICE up from 340 ppm in the inner cities, an exempt of EV from the “number plate-lottery” and an exclusion for EVs from special charges for entering the city. According to the European governmental expert in China, governmental plans regarding tax benefits for EV existing.

#### 3.1.7.3 Charging Infrastructure

Living and working spaces are getting more and more interesting as possible charging stations. But most of the interviewed experts argued that there is still a broad lack in the development of the charging infrastructure for EV. Representatives of the automobile industry mentioned accordingly that the offer of parking spaces and charging stations in the public space in city centres is underdeveloped yet. Another mentioned open question is the future management of a public charging station. In detail, the question of a currently missing clearing system. A European governmental expert in China mentioned that there is also a lack of contact persons for technical advice and in general the scientific accompaniment for the establishment of infrastructure for private users. For renters who charge at home there are difficulties regarding structural aspects like safety, fire protection. For employees that charge at work there are unsolved questions regarding electricity supply, questions concerning appropriate parking spaces with power connection etc. – main challenges for the development of EV in china for the next years.

A representative of the policy arena reported, that the development of public charging infrastructure is intended to start with fast charging stations at public parking places and additional with slow charging stations at gas stations. The representative mentioned furthermore that an improvement of organisation in research, development and implementation is necessary in china. A sustainable development has to be made step by step. A concrete electric fee has to be determined. The profitability of the public charging infrastructure is depending on the arrangement: energy suppliers prefer fast charging, but the costumers are not willing to pay a higher price for that.

Besides these challenges the lack of a standard plug is viewed with criticism. A European governmental expert in china verified that the standardization of plugs is not yet in sight. Another point of criticism in the Chinese EV arena is the fact that there are less of charging

points - especially public charging points. An opportunity to rise its realising is the intensified construction of slow charging points. Fast charging points are considered mostly as a supplement e.g. for fleet operations or taxis.

## **3.2 Research Funding and Institutions**

The R&D of EV in China hasn't started late or developed slowly, but there is still distance compared with developed countries reflected in unstable foundation and imperfect system, so that the pressure of competition at high-level technology is becoming larger. It's important to make a change of the automotive industry from investment-driven to innovation-driven, or there will be a flow of importing of new technology.

### **3.2.1 Actors**

A new governmental initiative is the establishment of a national power battery research institute which should be internationally competitive. The initiative also addresses the formation of 2-3 leading battery enterprises with production and sales over 20 billion watt hours and the capacity for R&D and production of cell materials<sup>74</sup>.

Very clear guidelines are formulated for the indigenous part of the new energy car development: key parts of the New Energy Vehicles, like battery, motor and powertrain should be developed with independent research capacity. This means that no less than 51% of the IP has to be local. In the "12 FYP", support of technology development of Chinese enterprises is one of the key tasks for government. It is planned to implement even more favorable tax policies to encourage the enterprises to develop more indigenous technology innovations in order to overcome to current technical problems. One can expect that the R&D investments in the development of New Energy Vehicles will be higher than in the 11 FYP.

#### China North Vehicle Research Institute

China North Vehicle Research Institute mainly provides the power battery system testing and evaluation services for New Energy Vehicles with a new power battery laboratory for 1.8 million Euro. It cooperates with universities and research institutes such as Peking University, Beijing Institute of Technology and the Chinese Academy of Sciences Physics for joint research and personnel training in the fields of power battery test evaluation system, power battery module thermal, electrical, structural simulation and security mechanism. This has enhanced the research capabilities of power battery laboratory of the China North Vehicle Research Institute<sup>40</sup>.

#### Tongji University Shanghai

The Tongji University is one of the key universities in China, which is directly subordinated to the Ministry of Education. By adding the university in the 211 or 985 state funding program, it is ranked among to the primarily funded institutions in China. Regarding to electro mobility, there is the College of Automotive Engineering, which was formally established in the

---

<sup>74</sup> Tagscherer, U. (2012): Electric mobility in China – A policy review. In: Fraunhofer ISI Discussion 2 Papers Innovation Systems and Policy Analysis No. 30.

Shanghai International Auto City in Jiading District on April 28th 2002. It was founded by the merger of the Automotive Engineering Department, New Energy Center of Automotive Engineering and the College of Automobile Marketing and Management in accordance with the requirements of the Shanghai International Auto City. The College offers five Bachelor's degree programs, three Master degree Programs and two PhD degree programs to 730 full-time undergraduate students, 124 Master degree students, and 27 PhD students. In addition, the College has set up jointly with several large and medium-sized enterprises, a work station for internship training of Master students in Engineering. Meanwhile, the College has conducted extensive collaborative programs with several famous universities in America and Germany.<sup>75</sup> The research activities are focusing all important component fields, such as engine, battery and electric control system. Additionally topics like infrastructure, trial operation models and user acceptance are dealt.<sup>76</sup>

### Tsinghua University Beijing

The Tsinghua University is one of the international most respected technical universities in China. It had 25,900 registered students in 2012 which studied at 56 different faculties<sup>77</sup>. In 2010 the TU Munich and the Tsinghua University signed an agreement about the establishment of the Sino-German Institute on electro mobility in Beijing. This is designed to promote the development of new batteries, regenerative braking systems and drive systems for electric vehicles and integrates the industrial collaborations in the electro mobility sector from both countries. At a later time the institute will also deal with issues of mechatronic, energy conversion and vehicle technology.<sup>78</sup>

### Huazhong University of Science and Technology (HUST)

HUST is located in Wuhan in Central China and has approx. 56,000 students. The Laboratory of Energy Storage and Conversion is mainly focused on electrochemical energy storage and conversion. Since its establishment in 2008 it has made significant progress in lithium-ion batteries, solid oxide fuel cells, lithium-sulfur batteries and lithium-air batteries. HUST has very close cooperation relationships to the Chinese lithium-ion battery manufacturers and to EV companies. Prof. Yunhui Huang (head of the laboratory) wants to establish cooperations between academic and industrial researchers in China and Germany. "This is essential for the development and commercialization of EVs".<sup>79</sup>

### Beijing Institute of Technology

The National Engineering Laboratory for Electric Vehicle (NELEV) is located at the Beijing Institute of Technology. It has been engaged in EV research organized by the Chinese Ministry of Industry and Technology since 1992. The main task of the deputy director Prof. Zhang Chengning and his team (approx. 150 master- and doctoral students) is the responsi-

---

<sup>75</sup> Tongji University (2014): Schools and Departments – College of Automotive Engineering.

<sup>76</sup> Bosch (2011): "Bosch InterCampus Program" – China.

<sup>77</sup> Tsinghua University Beijing (2014): General Information.

<sup>78</sup> TU München (2010): Technische Universität München und Tsinghua Universität Peking: Deutsch-chinesisches Institut für Elektromobilität gegründet.

<sup>79</sup> Sino- German Network on Electromobility (2014): Huazhong Institute of Science and Technology

bility to the research on the development process, design concept, design process and validation methods of motor drive systems in China. Furthermore NELEV is the authorized National Test Base for EV Drive Motors. It has completed 19 kinds of EVs up till now, including pure/hybrid electric sightseeing buses, pure electric low-floor buses, fuel cell vehicles and pure electric cars, etc.; seven of which are listed in the National Bulletin of Automobiles.<sup>80</sup>

### Shanghai Jiao Tong University (SJTU)

Shanghai JiaoTong University (SJTU) was founded in 1896 through an imperial edict and is today one of the top ten universities in China, which enjoys an excellent reputation beyond the country's borders. It has 53,900 students in 26 faculties and benefits from funding from numerous state programs, including 211, 985, and the resulting C9 League – an association comprising nine of China's top universities that was founded in 2009.<sup>81</sup>

The Institute of Automotive Engineering (IAE) was founded on April 8, 2006, the 110th anniversary of SJTU, by consolidating automotive related majors and research directions. It has become a unique platform for automotive engineering and researches at SJTU, with strong support from government and industry. Mr. Xu Min, the director of IAE and his team conduct research in the fields of spray and combustion, engine energy saving and environment protection technology, hybrid vehicle engines and vehicle integration and development.<sup>82</sup>

### CAS Dalian Institute of Chemical Physics

Chinese Academy of Sciences (CAS) Dalian Institute of Chemical Physics is engaged in the bottleneck problems such as durability and cost faced by the vehicle fuel cell. They carried out research work around the core material, the key parts, process and system control strategies of the fuel cell, aimed at promoting the advances in the technology to accelerate the pace of commercialization of the fuel cell.

Main products are fuel cell engine materials and components, including: fuel cell catalyst, membrane electrode, bipolar plates, stack and modules.

## **3.2.2 Research Funding**

The central government in China has increased the research budget for electro mobility in each five years plan (10. FYP = 106.8 million Euro; 11.FYP = 145.6 million Euro; 12. FYP = 364.1 million Euro; 13. FYP = 1.2 billion Euro (planned)).<sup>83</sup>

The Development Plan for Fuel-efficient and New Energy Vehicles, which was already a subject of discussion in chapter 3.1 provides funding budgets for the different components

---

<sup>80</sup> Sino-German Network on Electromobility (2014): Beijing Institute of Technology ([www.sinogermanemobility.de/index.php/homepage/partners/chinap/beijing-institute-of-technology](http://www.sinogermanemobility.de/index.php/homepage/partners/chinap/beijing-institute-of-technology))

<sup>81</sup> Bosch (2011): "Bosch InterCampus Program" – China ([/www.bosch-presse.de/presseforum/download/de/Factsheet\\_USC\\_China-d.pdf](http://www.bosch-presse.de/presseforum/download/de/Factsheet_USC_China-d.pdf))

<sup>82</sup> Shanghai Jiao Tong University - School of Mechanical Engineering (2014): Institute of Automotive Engineering (<http://me.sjtu.edu.cn/english/Faculty/showDetail.aspx?id=30>)

<sup>83</sup> Wu (2013): Development and Tendency of NEV in China.

fields. 60 million Euros will be put into special funds of the energy-saving and new energy vehicle industry, supporting R&D in key technologies and industrialization and promoting joint mechanisms like public platforms. 36 million Euros are reserved for demonstration purposes and the diffusion of new energy vehicles. Another 24 million Euros billion will flow into the promotion of energy saving vehicles with a special focus on hybrid vehicles. Another 12 million Euros are reserved to support the core automotive component industry and 6 million Euros to build pilot urban infrastructure projects.<sup>84</sup>

An electric mobility research network was drawn up under the aegis of TU9 with four major Chinese partner universities. Over the next few years, Germany's and China's research ministries will support a number of interdisciplinary science and engineering cooperation projects that will systematically investigate electric mobility and establish it in society in the long run. Intensive exchange of students and scientists between the two countries is also planned.<sup>85</sup>

Five research projects concerning energy conversion and storage drive concepts, and communication and infrastructure will receive funding of some 3.5 million Euros from the German Federal Ministry for Education and Research (BMBF).

In the projects, TU München, Karlsruhe Institute of Technology and TU Berlin together with their Chinese partners, Tongji University (Shanghai), Tsinghua University (Peking), Huazhong University of Science and Technology (HUST, Wuhan) and Beijing Institute of Technology (BIT, Peking), will be working on new technologies for electric vehicles. The project leader for Germany is Prof. Ulrich Stimming of TU München.

TU9 sees great potential in such a coordinated approach in international research and places value on expanding this and developing further international research networks.

China and Germany share the common aim of making electric mobility an essential part of future mobility concepts. Over the next few years, China in particular expects to see an increasing need for mobility and industrial growth. In view of diminishing resources and impending climate change, a widespread shift to renewable energy sources is crucial. In Europe the ambitious target of an 80% reduction in fossil energy sources by 2050 has been set. For the transport sector this means a speedy conversion to electric mobility. This conversion requires not only better battery technologies, but also adaption of vehicle design at all levels. Cooperation with China is of great interest here, since the country already possesses complementary expertise to German knowhow.<sup>86</sup>

### **3.2.3 Status Quo of R&D**

Specialists concerned believe that, considering the powered battery, China's current technological level has reached international standards; considering from the field of drive motor, the local Chinese companies have been more competitive while the high-end products have still presented a gap away from those international ones; considering from the power management systems, there has been larger gap between the Chinese manufacturers and the foreign ones currently; and, considering from the finished-vehicle manufacturing, due to the

---

<sup>84</sup> Tagscherer, U. (2012): Electric mobility in China – A policy review. In: Fraunhofer ISI Discussion 2 Papers *Innovation Systems and Policy Analysis* No. 30.

<sup>85</sup> TU9 German Institutes of Technology e.V. (2012): TU9: Launch of German-Chinese Electromobility Initiative.

<sup>86</sup> See fn. 84



dependence on imported spare parts, commercial New Energy Vehicles have to pass a lower threshold for development only and the local Chinese companies have occupied a dominant position.<sup>87</sup>

### Power battery

The energy density of batteries can be improved if more electrons are able to change between the materials. For that, better basic materials basic R&D is increased. Especially the following key materials are focus of the new FYP:

Table 14: Key new products in new material industry of 12 FYP

(Source: EV Yearbook 2012)

Anode material of ferric phosphate and lithium	Specific capacity $\geq$ 160mAh/g, cycle life > 3000 times	The precursor preparation technology, atmosphere control sintering technique, nanotechnology, surface carbon-covering technology	Lithium-ion power battery
Anode material of Ni-Co-Mn oxide	Specific capacity $\geq$ 150mAh/g, cycle life > 2000 times	Precursor preparation technology, high-temp solid phase synthesis technology	Lithium-ion battery, lithium-ion power battery
Anode material of cobalt acid lithium	Specific capacity $\geq$ 140mAh/g, cycle life > 1000 times	The material synthesis, doping modification technology	Lithium-ion battery
Anode material of spinel lithium manganese oxide	Specific capacity $\geq$ 110mAh/g, cycle life > 2000 times	High-temp solid phase synthesis technology, the element doping modification technology	Lithium-ion power battery
Battery material of High-performance spherical nickel hydroxide	Specific capacity $\geq$ 250mAh/g, cycle life > 2000 times	Controlled crystallization, tube synthesis and continuous production technology and equipment	Nickel-metal power battery
Lithium and manganese-based solid solution	Specific capacity $\geq$ 200mAh/g, cycle life > 2000 times	The precursor preparation technology, atmosphere control sintering technique, nanotechnology, surface modification technology	Lithium-ion battery, lithium-ion power battery
Tin-based alloy cathode material	Specific capacity $\geq$ 600mAh/g, cycle life > 500 times	nanotechnology, surface treatment and coating technology	Lithium-ion battery, lithium-ion power battery
Lithium hexafluorophosphate	Rate of purity $\geq$ 99.9%, the acid content $\leq$ 20ppm, the water content $\leq$ 10ppm	Water removal technique and deoxidisation technique, drying house	Lithium-ion battery, lithium-ion power battery

<sup>87</sup> Sun, L. (2010): New Energy Vehicles Industry Plan: 30.

In China there are several battery enterprises with different main focusses of application fields.

Table 15: China's nickel-metal power battery enterprises production technologies

(Source: EV Yearbook 2012)

Enterprise name	Battery shape (representative product)	Enclosure material	Application field
Hunan Keba	Square (six connected cell units)	Plastics	HEV car and bus
Zhongju Senlai	D-type cylinder	Stainless steel	HEV car
Hunan Shenzhou	Square	Plastics	HEV bus
Jiangsu Chunlan	Square	Stainless steel	HEV bus
Mongolia Xi'aoke	D-type cylinder	Stainless steel	HEV car
Shanghai Wanhong Power	Cylinder ring	Stainless steel	HEV car and bus
Beijing non-ferrous metal institution	Square	Plastics	Fuel battery bus

Battery tests are fundamental for the assessment if the battery can meet the requirements of electric mobility applications. Furthermore they give the possibility of comparison of different batteries types. The test procedures must be targeted. They have to test the electrical parameters, the lifetime, and the safety of the batteries and they have to take into account the different operating conditions of the vehicles: EVs, i.e. HEVs (high power, low energy, low DoD swing), PHEV (medium power, medium energy, large DoD) and BEV (low power, high energy, large DoD). The development of adequate tests is still ongoing, because the development of the EVs is at an early stage.

Unfortunately car and battery manufacturers have different test manuals in different countries/regions. The basic structure of the tests (*parameter* - capacity/energy, power, self-discharge, - energy efficiency; *life time* – storage time, cycle numbers; *safety and abuse* – electrical, physical) is nearly the same. Test manuals, whether for public or internal use, have detailed quantitative requirements, such as the number for cycle life, the value for specific capacity and specific power. Other parameters are only qualitative for horizontal comparison. But these requirements are strongly related to the battery requirements for the different types of EVs. At this time not all these requirements can be reached, because in detail there are large differences.<sup>88</sup>

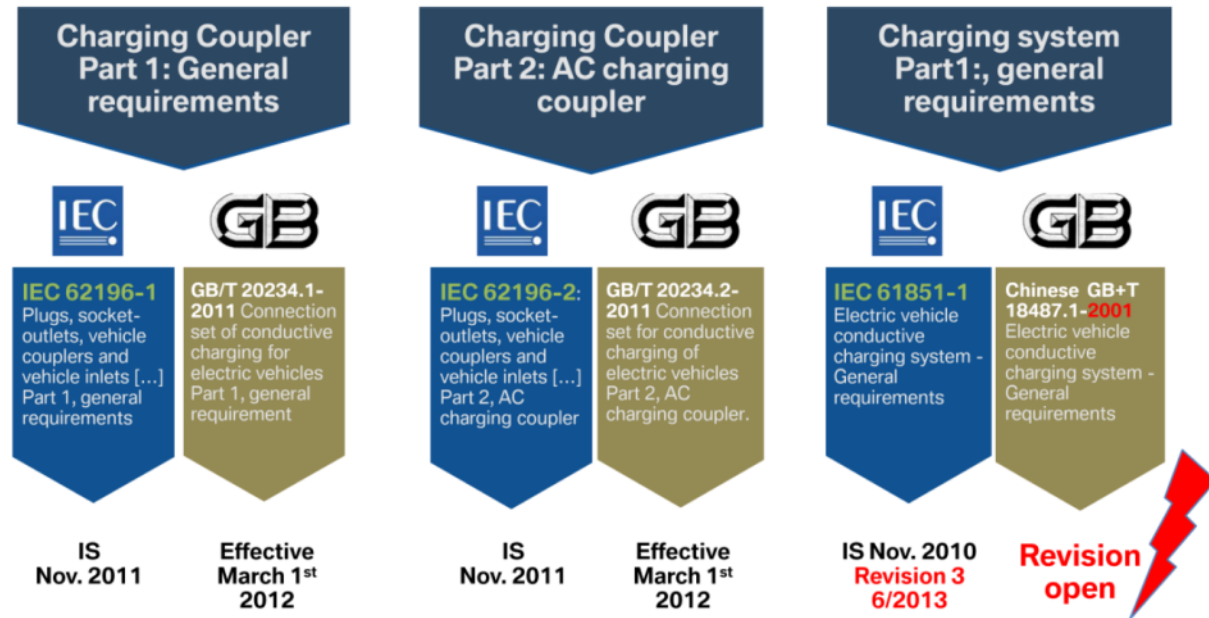
To compare Chinese battery test procedure with other is difficult, because there are no incontrovertible test standards. As the development of electric mobility is a process also the development of relevant test standards is not finished yet.

<sup>88</sup> Garche, J. et al. (2009): GCSFP Study - Vehicle Batteries in China and Germany: 29.

Also an evaluation of the safety and abuse tests is difficult, because it is nearly impossible to have real quantitative measures of the incidents which take place as a result of the different battery disturbances.

Regarding the AC charging coupler China adapted their standards to the international ones of IEC. Unfinished is the adoption of international regulations on charging systems.

Figure 21: Comparison of charging standards (Source: Pfeiffer, 2012)



It is well known that during the charge, about 10 % losses occur as heat. Therefore a battery cooling is recommended when the battery is being charged at higher power and a liquid cooling can be necessary. This requirement needs a supplementary standardization of the batteries which should have prerequisites for liquid cooling. This applies as well for the charging stations with cooling units.

It seems that the lifetime of batteries is reduced as a result of working at higher temperature. However up to now, there are no secure data about the influence of fast charging on the lifetime of the battery. This topic is still object of R&D.

### Fuel Cell and Hydrogen

Research on fuel cells is done by different universities like Tongji, Tsinghua and Dalian. In China there are four permanent hydrogen stations and five mobile refueling stations with all the mobile units being located in Shanghai. In Shanghai, the by-product hydrogen from the steel-making and chemicals industries alone could fuel up to 10,000 FCEV. In Beijing, one of the stations receives hydrogen from a variety of different sources including tube trailers, on-site steam methane reforming and water electrolysis; the second station has an electrolyser only<sup>89</sup>. There are no clear plans for a hydrogen highway infrastructure in China. A proposal is

<sup>89</sup> Fuel Cell Today (2012): Fuel Cells and Hydrogen in China 2012.

made to build a hydrogen highway between Beijing and Shanghai<sup>90</sup>. Discussion is currently between scientists and industrialists, but the first stage of any project like this is to build clusters, which then get connected to from the highway. Approaches to establish fuel cell and hydrogen vehicles within the scope of business models like Carsharing, Leasing or Carpooling are not yet disseminated in China.

### 3.2.4 Stakeholder opinions on the R&D-landscape

The interviewed experts agreed that there are lots of needs of research and development concerning electric mobility in china. The main challenges are the development of charging infrastructure, standardisation and education in the fields of user behaviour and acceptance.

Demonstration projects are considered very important and should be expedited a representative of the policy arena mentioned. A representative of a European OEM with branch in china mentioned the importance of the development of demonstration projects as much and as soon as possible. Until now there is little systematic support as a European governmental expert in china mentioned. An example is the development in Shenzhen with investments in uneconomical quantities and artificially created demand. This is assessed as not expedient.

## 3.3 Economy and industry

According to “Access Conditions and Appraisal Requirements for New-energy Vehicle Manufacturers” enterprises of New Energy Vehicle producing products in starting and development period should offer after-sales services to users according to the pledges of after-sales services; should establish a corresponding file for each vehicle; and track the operation of vehicles, until the vehicle goes out of service or becomes useless (art. 16)<sup>91</sup>.

The enterprise producing products in starting and development period should complete the quarterly model operation report together with the user, and submit it to the MIIT.

If the enterprise of New Energy Vehicle find any serious problem that affect the safety, environmental protection and energy conservation of any of its products, it should immediately stop the production and sales, and make due rectification within a time limit, and make a timely report to the MIIT, and the provincial department in charge of industry and information technology in the place where the product is used (art. 17)<sup>92</sup>.

With the help of new commitments, China’s government tries to put pressure on foreign enterprises. Manufactures and suppliers, who wants to sell in China, have to start joint ventures with Chinese partners and have to build own Chinese brands.<sup>93</sup>

An emerging industry will have to experience four stages during development: gestation, introduction, rapid development and mature development. After comprehensively analyzing the current development of the Chinese New Energy Vehicles, Chinese experts think the Chinese new-energy industry has passed through the gestation stage and is currently in the

---

<sup>90</sup> Prof. Mao Zong Qiang, Tsinghua University, INET

<sup>91</sup> Garcke, St. et al. (2010): GCSFP Study – Analysis of European/German and Chinese Regulations regarding electric vehicle infrastructure for road traffic: 27.

<sup>92</sup> See fn. 89

<sup>93</sup> CAMA an der Universität Duisburg – Essen (2012): Automobilmarkt und Automobilunternehmen in China 2012 – Der Markt kühlt ab, bleibt aber wachstumsstark.

early introduction stage<sup>94</sup>. The gestation stage is completed with the aid of national scientific and technological programs during the period of the 10<sup>th</sup> and 11<sup>th</sup> FYP. At the beginning of the period of the 12<sup>th</sup> FYP, the Chinese New Energy Vehicles industry has in general entered the introduction stage. Vehicle OEM nationwide have included the development of hybrid cars and electric cars into their research and industrialization plan and made considerable investment. However, in consideration of a great gap of China from international advanced levels on the capability of developing New Energy Vehicles, lack of core technologies and scattered research forces on key parts, a new automobile product needs a certain period of time to become mature. Therefore, it is understandable why there is a lack of demonstration products at present in China. It is suggested to encourage and promote the collaboration between vehicle, battery and electric engine OEM with good foundation to avoid blind establishment of part plants like battery plants under the circumstance of lack of necessary conditions, local protection, repeated construction and vicious competition.

### 3.3.1 Actors

Almost all international suppliers have multiple manufacturing bases in China. Chinese manufacturers are distinguished in the "great four" (SAIC, FAW, DongFeng, Changan) and the "small four" (BAIC, GAC, Chery and CNHTC).<sup>95</sup>

Important actors of the battery industry are Li-Ion manufacturing bases. In China they are mainly concentrated in Guangdong, Shandong, Jiangsu, Zhejiang and Tianjin. Guangdong province accounts for more than 60% of the total and manufacturers mainly locate in Shenzhen, Dongguan and Zhongshan. Among them BYD, BAK, B & K, Huayuebao are the leading domestic manufacturing enterprises in Shenzhen, which is China's largest production base. Major domestic Li-Ion batteries are for mobile phones, laptops, digital cameras, MP3, MP4, Bluetooth, PDAs and cameras and other consumer and portable electronics. China's Li-Ion power battery product is first used in electric bicycles, and large quantity has entered the market through this usage. Car batteries are also heading for demonstration runs, but for the overall level, they did not commercialized yet. The single battery's longevity and consistency is lower than Japanese products. Battery management system, battery packaging technology, the level of industrialization and advancement of key materials need to be further improved.

Table 16: Key battery producers in China

(Source: HCA Consulting, 2013)

Company name	Province	Type of battery	Capacity, mill. Ah/year	Production, million Ah	Customers
BYD Lithium battery 比亚迪锂电池	Guang-dong	LFP	1,720 (5-6 GWh)	1,440 (4.6 GWh)	BYD
BAK International (Tianjin)	Tianjin	LFP	468 (1.5 GWh)	312 (1 GWh)	

<sup>94</sup> China Automotive Technology and Research Centre (CATARC) (2013): Yearbook of energy-saving and new energy vehicles 2012: 29.

<sup>95</sup> CAMA an der Universität Duisburg – Essen (2012): Automobilmarkt und Automobilunternehmen in China 2012 – Der Markt kühlt ab, bleibt aber wachstumsstark.

比克国际 (天津)					
Zhejiang Wanxiang 浙江万向	Zhejiang	LFP	800	170 (Power LIBs)	Wanxiang, FAW, SAIC, GAC
PTI (ATL) 时代新能源	Guang dong	LFP	468 (1.5 GWh)	343	BAIHC, SAIC
Winston Battery 温斯顿电池	Guang- dong	Rare-earth yttrium, lith.	300	200	
Shenzhen Optimum 深圳市沃特玛电池	Guang- dong	LFP	225	200	Ankai, King Long Bus
Shenzhen Power Tech 深圳世纪新能源电池	Guang- dong	LFP	200	130	FAW Bus and PHEV (trials)
<b>Total</b>			<b>4,700</b>	<b>3,070</b>	

### Build Your Dreams (BYD)

“Established in 1995, BYD is a top high-tech enterprise in China specializing in IT, Automotive and New Energy. The company is the largest supplier of rechargeable batteries on the globe, and has the largest market share for Nickel-cadmium batteries, handset Li-ion batteries, cell-phone chargers and keypads worldwide.

The number of employees is increased from 20 in 1995 to 200,000 at the end of 2010, including sites in Guangdong, Beijing, Shaanxi, Shanghai, and Changsha. It also has offices in the United States, Europe, Japan, South Korea, India, Taiwan, Hong Kong and other regions.

In 2003 BYD moved from IT into the automotive industry and became quickly the fastest growing Chinese domestic car manufacturer with leading edge electric car technology. BYD has developed and introduced solar charging stations, energy storage stations and pure electric vehicles. Currently BYD has established production facilities in Guangdong, Beijing, Shanxi, Shanghai and Changsha.

Based on its core Fe Battery technology, BYD has developed its battery energy storage station and established technology support for intelligent networks. Using the advanced Fe Battery technology, BYD's battery energy storage station can meet the demands of storing energy, levelling peaks and troughs in demand, providing technical support to intelligent networks, solving storage difficulties in their construction, and smoothing the power fluctuations of wind, solar and other new energy sources.

BYD's battery station offers clear advantages in cost and operational life and covers broader applications when compared with pumped storage, compressed-air energy storage, flywheel energy storage and other existing energy storage technologies. Energy efficiency levels are as high as 90%, far higher than that of pumped storage, which is 60% to 70%.<sup>96</sup>

<sup>96</sup> BYD (2014): Company – Profile (<http://www.byd-auto.net/company/profile.php>)

BYD started selling the first plug-in hybrid electric vehicle with a small gasoline engine (F3DM) in December 2008, at least a year ahead of General Motors and Toyota. The F3DM can go 100 km on its battery and additional 300 km with BYD's 1.0 litre gasoline engine. The newly developed ferrous-based battery has cost, capacity and safety advantages compared to the lithium-ion battery. Although the price is more than doubles of the basic gasoline model (7,283 Euro compared to 18,184 Euro), it is still half the price of the Toyota Prius (33,988 Euro). In 2010 it launched the BYD e6, a five-seat electric-powered passenger car.

Apart from that, BYD has already deployed 300 e6 pure electric taxis and 200 pure electric buses in service in Shenzhen. Early in 2013, BYD has won the tender for Shenzhen electric police vehicles and will deliver 500 e6 to Shenzhen Municipal Public Security Bureau<sup>97</sup>. It is reported that Shenzhen city is planning to add 500 additional BYD e6 pure electric taxi and over 500 BYD pure electric buses to the public transport system.

#### China BAK Battery, Inc.

"Founded in August 2001, China BAK Battery, Inc. is listed on NASDAQ with registered capital of 63.1 million Euros. It is a leading global manufacturer of lithium-based battery cells, with production capacity of 1.5 million pieces per day and annual sales revenues of 175.2 million Euros. The main products include cylindrical, prismatic and polymer battery cells, which are the principal component of rechargeable batteries, commonly used in various applications like cellular phones, notebook computers, PDAs, EVs, etc."<sup>98</sup> In the field of electro mobility, BAK has delivered 1.100 lithium-ion-high-power battery units in 2012 to power Chery's Ruilin M1 electric cars.<sup>99</sup>

"The Company is emphasizing the introducing of talents and technology. There are three research centers in Shenzhen, Tianjin, and Vancouver, Canada, and a national postdoctoral work station in Shenzhen. The sales market includes Europe, North America, South America, Southeast Asia, Taiwan and Korea."<sup>100</sup>

#### Shenzhen B&K Rechargeable Battery, Inc.

Shenzhen B&K Rechargeable Battery, Inc. became one of the leading dedicated lithium battery producers in China, and is considered one of the top 5 lithium manufacturing enterprises in the country. To maintain their leading status, B&K has invested extensively in Research and Development with teams of published chemical engineers, who have generated more than 40 national technology patents for B&K in advanced cell design.

With a monthly capacity in excess of 15 million cells, B&K ranks as one of the top producers within China and has a global distribution network that reaches all corners of the world. The

---

<sup>97</sup> BYD (2013): BYD delivers 500 e6 pure electric cars to Shenzhen Public Security Bureau ([www.byd.com/news/news-145.html](http://www.byd.com/news/news-145.html))

<sup>98</sup> China BAK Battery (2014): Company Profile (<http://www.bak.com.cn/about.aspx?BaseinfoCateid=4&CatelD=4>)

<sup>99</sup> Green Car Congress (2012): China BAK to supply additional 1,000 Li-ion battery packs to Chery for M1 EV (<http://www.greencarcongress.com/2012/04/bak-20120409.html>)

<sup>100</sup> China Automotive Technology and Research Centre (CATARC) (2013): Yearbook of energy-saving and new energy vehicles 2012

B&K industrial park employs more than 1,800 workers. The company is known for two well-known lithium brands; B&K and Encel. Within these lines the company offers four series of products; prismatic, polymer, traditional cylindrical and specialized packs, which are for example used in electric bicycles. Both lines have strong distribution channels into Europe, North America, South America, the Middle-East and Southeast Asia.<sup>101</sup>

#### Power Tech International (PTI) Battery Co., Ltd.

Power Tech International (PTI) Battery Co., Ltd. was founded in 1999 and affiliated to the Guanli Resources Group Co., Ltd. It is a high tech enterprise integrating the developing, production and sale of Li-ion batteries. In total PTI employs more than 1,000 people.

With the first class production technology of lithium ion battery, the enterprise provides the high specific volume, highly reliable lithium ion battery. The enterprise now owns a factory as big as 15,000 square meters; it produces three million batteries each month. And the enterprise has past ISO9001-2000 quality and security authentication.

PTI has developed independently and successfully all kinds of fastener like lithium ion battery, large capacity drive lithium ion battery special for phones without line and rechargeable batteries for electric bikes.<sup>102</sup>

#### Winston Battery Limited

Winston Battery Limited is a private company, registered in Shenzhen, with approval by State Administration of Industry and Commerce of P.R.C China. The company has high-tech manufacturing enterprise engaged in the production of Rare Earth lithium yttrium and lithium-sulfur batteries and other related products. It has registered capital of 15.2 million Euros and currently has more than 510 employees.

There two types of rechargeable batteries: Rare Earth Lithium yttrium battery and Rare Earth lithium sulfur battery were both invented by Mr. Winston Chung, Chairman of the Board of Winston Global Energy Limited.<sup>103</sup>

Winston Global Energy Holdings Limited has its own electric vehicle production base in California, including MVP RV Inc., Krystal Enterprises, and Balqon Corporation (a maker of electric vehicle drive systems). It has a complete large-scale production capacity of electric vehicles and an international sales network. The produced electric vehicles are equipped with own proprietary lithium batteries. Additionally they have created an energy storage cabinet consisting of high-power rare-earth lithium yttrium battery packs, which are designed to different specifications. It just needs a full charge using valley electricity, wind or solar energy. For each power station, the storage power is set at 30000KWH, and 100 electric passenger buses or taxis can be charged.<sup>104</sup>

---

<sup>101</sup> Shenzhen B&K Rechargeable Battery, Inc. (2014): Company Profile (<http://www.bkbattery.com/en/about.aspx>)

<sup>102</sup> Power Tech International Battery Co., Ltd. (2014): About Us (<http://pticl.en.china.cn/op/CorpInfo/index.htm>)

<sup>103</sup> Winston Battery Limited (2014): Company Overview (<http://en.winston-battery.com/index.php/about-us/overview>)

<sup>104</sup> Winston Global Energy (2014): Products (<http://en.winston-battery.com/index.php/products>)



### China First Automobile Group Co.

The New Energy Automobile Branch of China First Automobile Group Corporation forms mass production capacity of a single-class of 10,000 cars a year, and the production models including HEV, PHEV, EV and other New Energy Vehicle products. It bears the vehicle assembly, commissioning, testing, repairing and major total compositions.

They set up 40 test specifications for vehicle and key assembly testing and 10 testing standards; completed independently the calibration technology development of electric vehicles, including vehicle drivability, economy, emissions and environmental adaptability<sup>105</sup>.

### DongFeng Motor Corporation

DongFeng Motor Corporation is China's largest state-owned enterprise with an annual turnover of 48.5 billion Euros. The research and development system, strong technical and R&D infrastructure is leading nationwide. DongFeng is one of the earliest enterprises engaged in the research and development of New Energy Vehicles. Till the year of 2015, hybrid cars shall be 100,000, while pure electric vehicle shall have the industrialization conditions and the production and sales volume shall reach 50,000. Therefore, the company has arranged 3.6 billion Euro as special funds dedicated to the development and industrialization. Currently DongFeng has 22 models, which have been included in the recommendation catalogue of energy-saving and new energy vehicle, and covered from passenger cars to the commercial vehicles, as well as from hybrid to pure electric vehicles<sup>106</sup>.

### Shenzhen Wuzhoulong Motors Co. Ltd.

In 2000 Shenzhen Wuzhoulong Motors Co., Ltd. started to research and develop hybrid electric buses. The company participated in formulating standards including admittance standard of national New Energy Vehicle and fiscal subsidy. Depending on Shenzhen Wuzhoulong Motors Co., Ltd., Wuzhoulong hybrid electric bus has become the large-scale demonstrative operation, enabling Wuzhoulong to become the largest new energy vehicle enterprise all over China. Of 2150 buses sold (volume increase of 38.7% to 2010) in 2011 around 1,600 hybrids have been single-decker buses, 20 hybrid double-decker buses and 130 electric buses.

The strategic focus of China lies on the Lithium-Ion battery. Therefore the financial R&D support for nickel-metal batteries is reducing.

### State Grid Cooperation of China (SGCC)

State Grid was established on December 29th, 2002. It is a government-owned enterprise approved by the State Council to conduct government authorized investment activities. SGCC was ranked the 7<sup>th</sup> in the Fortune Global 500 in 2011, eight ranks higher than 2009,

---

<sup>105</sup> China Automotive Technology and Research Centre (CATARC) (2013): Yearbook of energy-saving and new energy vehicles 2012

<sup>106</sup> See fn. 104

and is the largest utility in the world<sup>107</sup>. State grid's sub-companies are NECG (Northeast China Grid), NCGC (North China Grid), ECGC (East China Grid), CCG (Central China Grid) and NWG (Northwest China Grid). Together with China Southern Grid Company Limited (CSG), which have only 10%, they rule almost the whole Chinese electricity market.

Other grid companies are listed as SEVIA members.<sup>108</sup>

The mission of the company is to provide safe, economical, clean and sustainable electric power for social and economic development. The company's core businesses are the construction and operation of power network that covers 26 provinces, autonomous regions and municipalities. Its service area represents 88% of the national territory, supported by more than 1,500,000 employees to serve a population of over one billion.

### China Industrial Association of Power Sources

Lithium battery industry is controlled by the People's Republic of China ministry of industry and information department. China Industrial Association of Power Sources (CIAPS) is the battery industry self-regulatory organization, is registered at the People's Republic of China ministry of national level registered industry Association, and authorized by professional guidance and the ministry of civil affairs supervision and management department. CIAPS was founded in December 1989, now it has more than 300 house members. CIAPS also has six sub-associations including alkaline batteries and new type chemical power branch, acid battery branch, the lithium battery branch, solar photovoltaic branch, dry cell working committee and power accessories branch.

### **3.3.2 Vehicles, vehicle concepts, powertrain and transportation concepts**

The Top 5 BEV passenger car manufactures in China are JAC (4,330 in 2013), Jiangnan Auto, BYD, BAIC Motor and SAIC Motor. These five companies produced approx. 9,000 BEV in 2013. The situation is different in the field of hybrid passenger cars. GAC Toyota is with the number of 6,541 hybrid cars in 2013 by far the leading manufacturer in China, followed by Sichuan FAW Toyota, Brilliance, BYD and Shanghai GM.

In 2011 the best sold BEV was the Chery QQ3, which has a percentage of 46 % of all NEV sales. This BEV was followed by the JAC J3 (19 %) and the BYD e6 (16 %)<sup>109</sup>.

In 2014 many jointventures want to enter the market with their new models. To mention only two examples, there are Daimler and BYD with Denza or BMW and Brilliance with Zinoro E1. Other interesting new energy vehicles on the Chinese market are the BYD E6, the BYD Qin Plug-in-Hybrid, the JAC J3 EV, the Chery M1EV, the Chery QQEV and the BAIC E130<sup>110</sup>.

The New Energy Vehicle program has been carried out for more than 10 years in China, but in general the investment of most vehicles OEM have made in the research and development of New Energy Vehicle is insufficient, and some enterprises started relatively late. The key parts and material industry for the New Energy Vehicles is also in the initial stage and

---

<sup>107</sup> State Grid Corporation of China (2014): Corporate Profile.

<sup>108</sup> Tagscherer, U. (2012): Electric mobility in China – A policy review.

<sup>109</sup> Dudenhöffer, K. (2013): Akzeptanz von Elektroautos in Deutschland und China - Eine Untersuchung von Nutzungsintentionen im Anfangsstadium der Innovationsdiffusion: 16.

<sup>110</sup> Proff, H.; Kilian, D. (2012): Competitiveness of the EU Automotive Industry in Electric Vehicles: 7.

therefore unable to meet the requirements of production. The new industry chain is incomplete<sup>111</sup>.

Although not many disputes have surfaced yet, lately there has been some criticism that foreign automotive companies that are active in China by means of joint ventures are facing increasingly strong demands for technology transfer. Foreign brands are primarily excluded from the special subsidy schemes for New Energy Vehicles, and it has been reported that the Chinese government demanded extra conditions for technology transfer in order to allow the GM Chevrolet Volt to qualify for the subsidies when it was to be introduced the Chinese market.

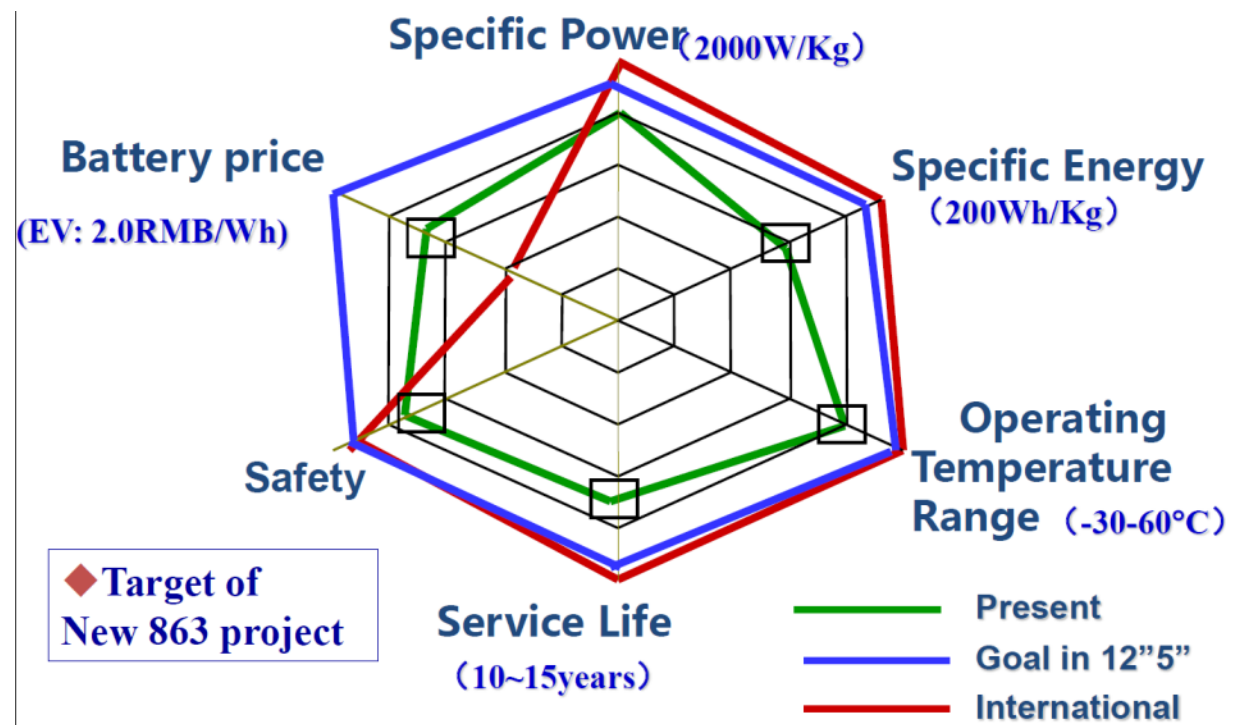
### 3.3.3 Vehicle technology and vehicle components

One of the most crucial elements for the successful development of electric vehicles is battery technology. The battery pack is one of the most expensive parts of an electric vehicle and the component influencing the most its performance by its weight and the driving range it allows. The main challenge lies in a high energy storage density (minimum of 300 Wh/kg, Watt-hours per kilogram), high discharge rates, be able to recharge quickly and should maintain their capacity even after thousands of charge and discharge cycles<sup>112</sup>.

The requirements for the development-targets of Li-Ion batteries are given by the 863 program (see figure 22).

Figure 22: Target of Li-Ion battery technology for EV

(Source: Xiao Chengwei<sup>1,2</sup> & Wang Jiqiang; Fourth ES Symposium on June 7-9; 2011)



<sup>111</sup> China Automotive Technology and Research Centre (CATARC) (2013): Yearbook of energy-saving and new energy vehicles 2012: 29.

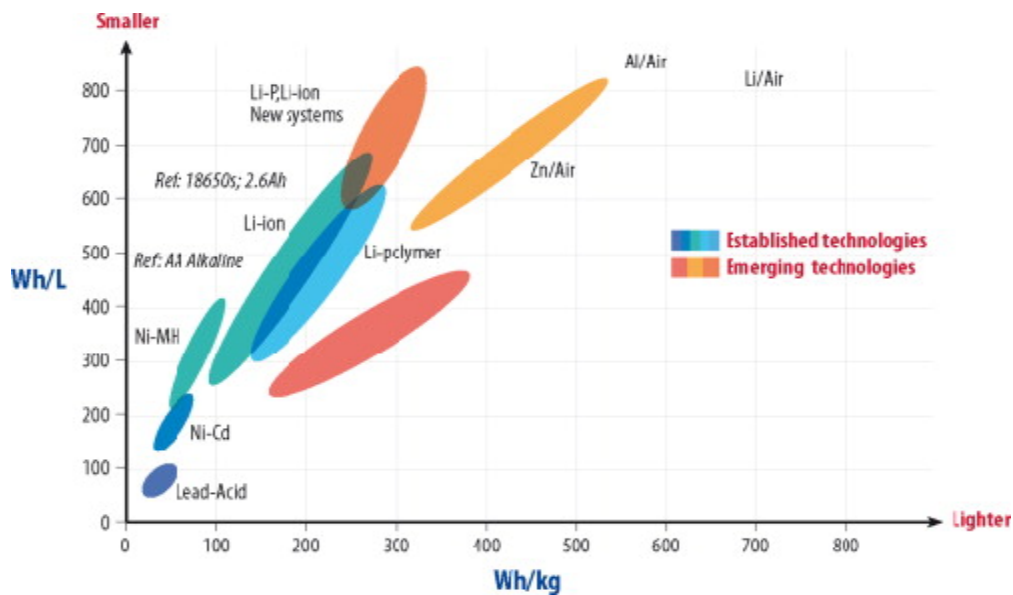
<sup>112</sup> Buijs, B. (2012): China and the Future of New Energy Technologies: 67.

As far as the storage density is concerned, the Chinese development find in the range from Li-Ion and Li-polymer (see figure 23).

In fact, battery improvements have been driving a lot of the technological progress in this area. Early EVs used lead-acid batteries, but later models experimented with sodium-sulphur, nickel-salt, and nickel-cadmium batteries. In the second half of the '90s nickel metal hydride (NiMH) batteries became popular, illustrating how developments in battery technology were steadily improving the capabilities of (semi-)electric vehicles.

Figure 23: Illustration of different battery technologies and their energy densities

(Source: Hickman, 2009)



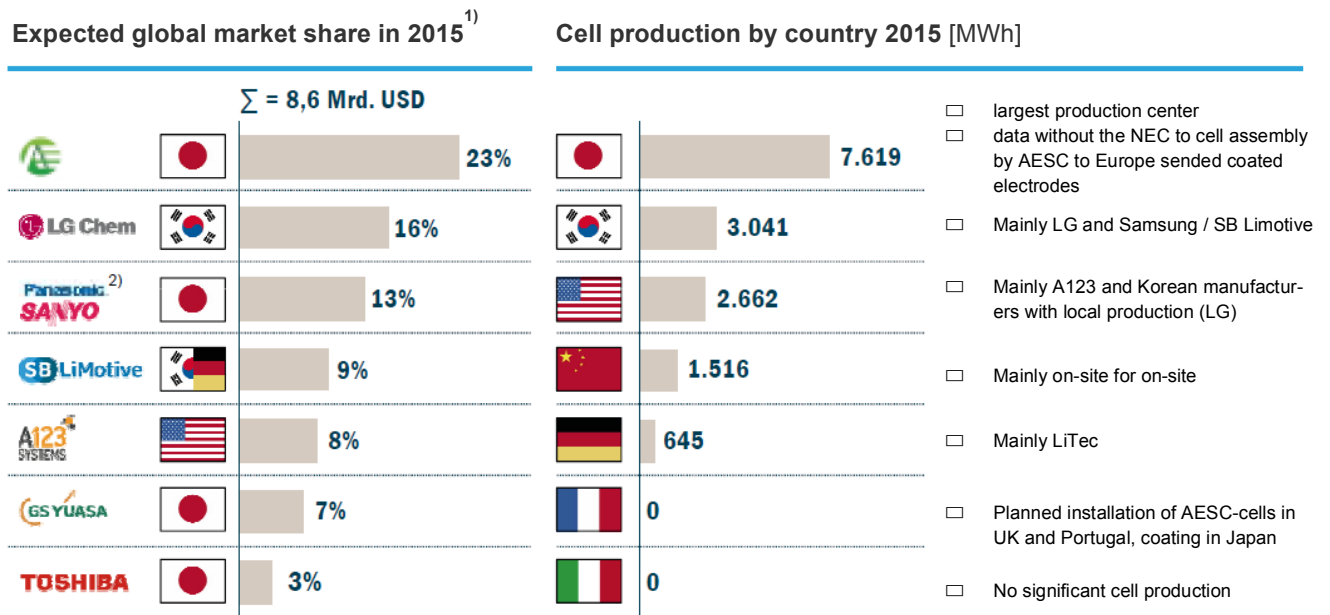
Almost all hybrids available today, including the most successful Toyota Prius, still use nickel metal hydride (NiMH) batteries. However, it is generally expected that within a decade Li-Ion batteries will overtake the market almost completely. That is important for the Chinese battery development. Projections show that by 2020 Li-Ion batteries will be used in 70 % of all conventional hybrids, and 100 % of all plug-in hybrids and all electric vehicles. Already now, these batteries have more capacity and less than half the weight compared to the lead-acid batteries used in for electric vehicles in the 1990s.

The lithium power battery after years of development and application is second only to lead acid batteries in terms of technology maturity, which in China has formed a complete industrial chain.

The Chinese battery- and car manufactures have in total, seen in an international comparison, a more weak position regarding to the regional value. Figure 25 shows, that Japan and Korea would be the dominant cell production market players in 2015 (nearly 70 %). The Korean manufactures even produce in the U.S.

Figure 24: Cell production expectations in 2015

(Source: Bernhart, W. et al., 2012)



<sup>1)</sup> Based on USD, the market value derived from 730 USD / kWh for hybrids, 560 USD / kWh for PHEV and 400 USD / kWh for EV in 2015

<sup>2)</sup> including Primearth content

As a part of our researches and project activities between NRW and Wuhan, we analysed the topics battery, infrastructure and business models as the essential points, which determine the success or failure of electric mobility. The other topics like drive trains or motors are also handled in these activities, but have mostly direct refer to the battery development.

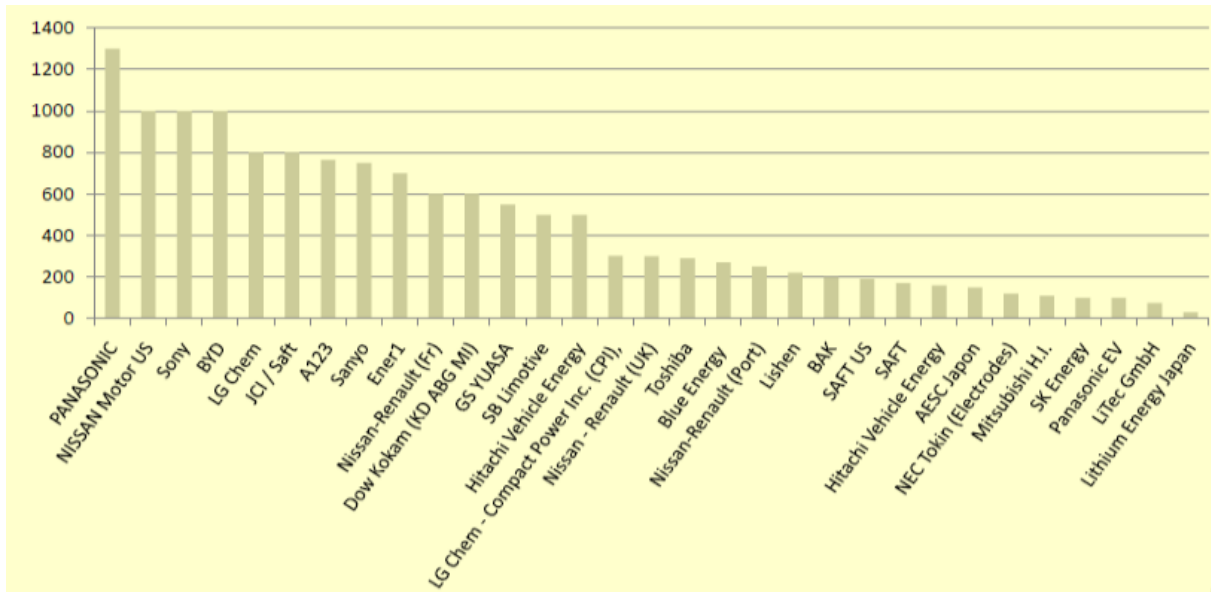
Even in China, about 60% of the vehicle cost will be covered by the batteries<sup>113</sup>. But China has its own material resources due to a certain cost advantage when compared to the western countries batteries. Generally, the global cost reductions in the battery area concerns also China, which directly concerns a price reduction on EVs.

Battery costs could decline on 175 Euro / kWh by 2020.<sup>114</sup> An important cost factor is the utilization of production, which also implement the standardization of cell sizes. Huge capacity for production of traction batteries on lithium basis are built up.

<sup>113</sup> Garche, J. (o.J.): Entwicklung der Elektromobilität in China.

<sup>114</sup> Dr. Wu (CATARC) (2013): Development and Tendency of NEV in China

Figure 25: Investments (Mio. \$) for manufacturing facilities for power battery on Lithium basis 2009-2015  
(Source Garche, o.J.)



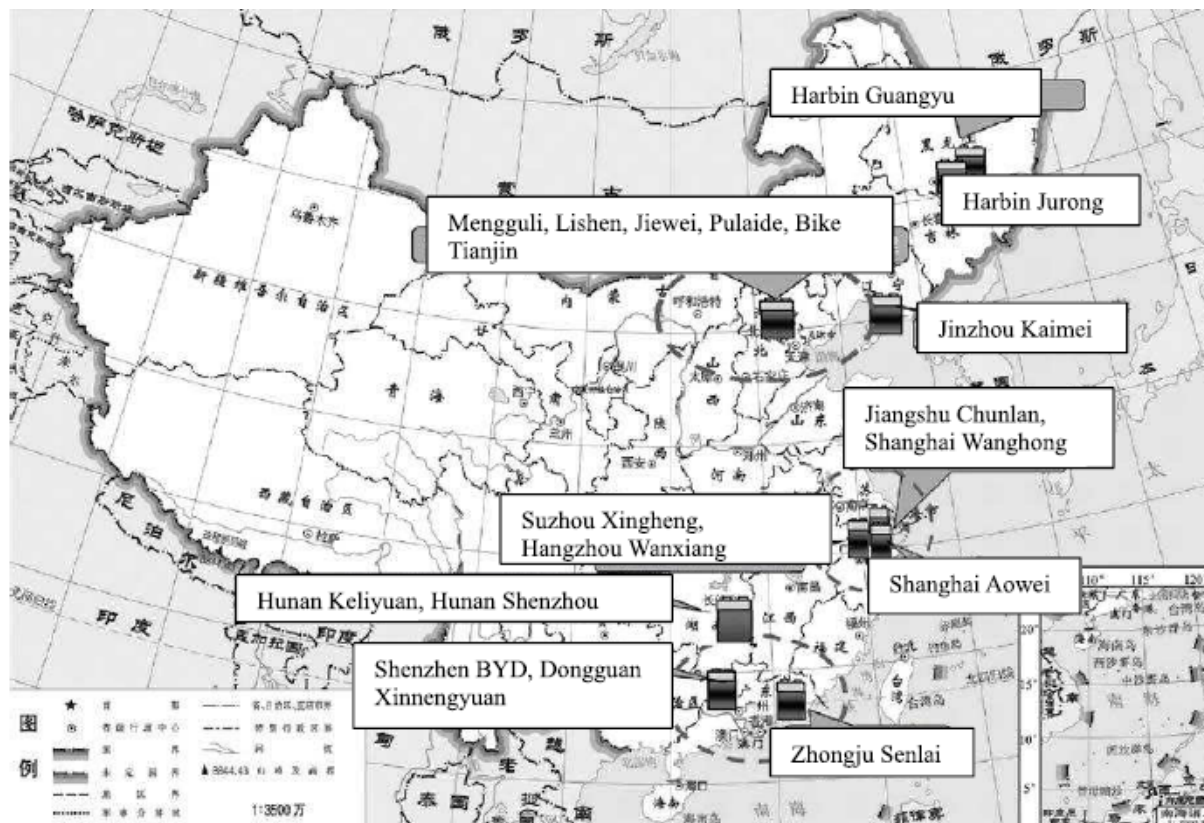
In the field of battery technology development, joint ventures are taking place with foreign manufacturers. US-based Ener1 has formed a joint venture with Wanxiang Electric Vehicle Co. of Hangzhou to produce batteries, and A123 – one of the most advanced and successful battery manufacturers in the US – has partnered with the major Chinese automotive firm SAIC.<sup>115</sup>

In China three battery manufacturer zones for electric vehicles have been declared. The zones are Pearl River Delta, Yangtze River Delta and Beijing-Tianjin (Lithium, Nickel & Supcap).

<sup>115</sup> Buijs, B. (2012): China and the Future of New Energy Technologies: 74

Figure 26: China's three battery manufacturer zones

(Source: EV Yearbook 2012)



The market perspective of nickel-metal power batteries mainly relies on the rapid development of the hybrid vehicles market and the maturity of the integration technology as well as the competitive edge of the product price.

### 3.3.4 Charging technology and infrastructure

The infrastructure should be guided by the energy-saving and new energy automotive industry planning (see 3.1.4). Today there is a need to further clarify some of the principles and implementation details of the infrastructure construction, not by a large enterprise, State Grid, to develop national electric vehicle infrastructure guidelines to prevent the formation of a monopolistic situation. Fast charging (480V DC) is possible to apply to a small number of specialized vehicles, but for most cars it does not have universal significance. Slow charging (230V AC 1-phase) is the main application, supplemented by the charging mode of fast charging vehicle battery and grid; the slow charging parking infrastructure should strive to do the research, planning, construction, management and service work. Fast charging stations need construction planning, rational distribution, land conservation, progressive, according to actual needs. To develop a unified national electric vehicle billing system, research needs taking account of the grid operation and the use of renewable energy generation way.

In order to achieve the ambitious goals (2015: 500.000 NEV and 2020: 2.000.000 NEV), especially private charging infrastructure has to be built contemporary. Therefore BMW and Daimler initiated an industrial project with the focus on semi-public charging infrastructure construction in private compounds. Meanwhile VDA has taken the lead and all important E-car manufactures are included and also finance the project. It is accompanied by the

Chinese and German government and is coordinated by CATARC and GIZ. To soften a possible monopoly of state grid, regional electricity supplier like Beijing Grid or Southern Grid were involved. For the scientific validation also universities and governmental institutes take part in the project. The project could be structured into three main phases: (1) Systematic approach, (2) (Semi-) public charging and (3) Private charging. Key topics, which shall be addressed within the framework of the project, are for example: sustainable business models, customer requirements and problems, technical standards and policy and regulation gaps.<sup>116</sup>

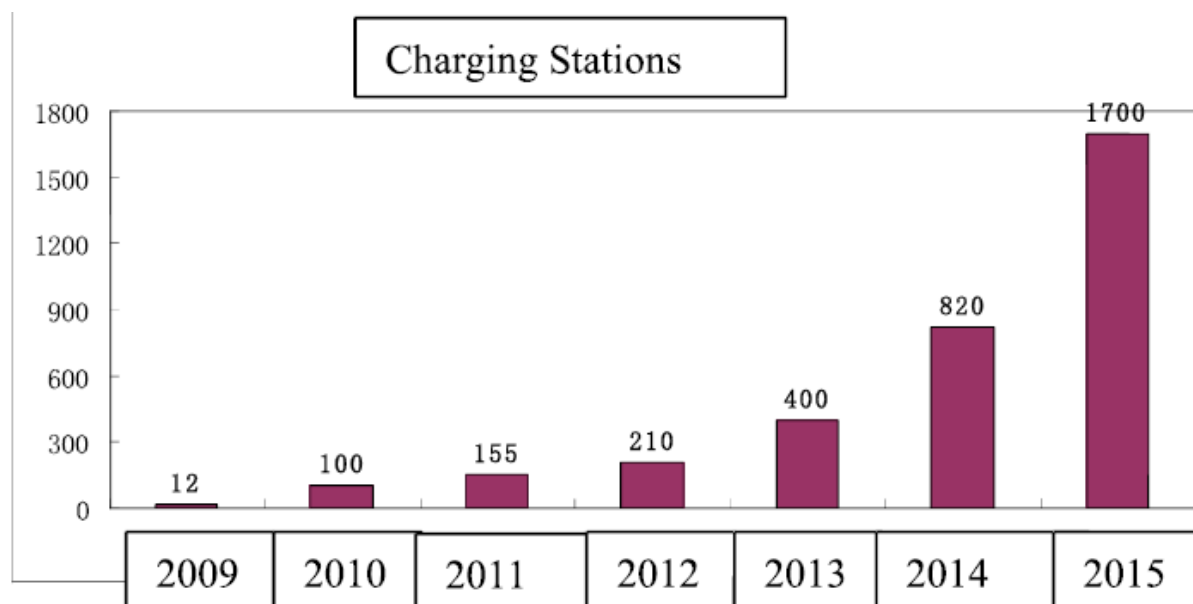
China's State Grid forces battery change for buses, light-duty vehicles and BEV. Some stations for demonstration are already placed. State Grid China is monopolist in China regarding grid infrastructure. State Grid does not support private charging. They reduce invests in public charging infrastructure via cable to support battery swapping stations. "Public" Infrastructure in place can only be used by closed user groups.

Mid 2013 in the "10 cities 1,000 vehicles program" 168 charging stations, 37 battery-swapping stations and more than 8,400 charging spots have been installed in 25 cities.<sup>117</sup> The number of charging stations shall be doubled every year, so that in 2015 about 1,700 charging stations are available. It is planned to install slow charging stations on parking space and complementary fast charging infrastructure on public places. Additionally two moveable hydrogen refueling stations could be placed.

The lack of charging infrastructure does also affect the market situation (see 3.4.3).

Table 17: Development trend of numbers of charging stations in China

(Source: CATARC, 2012)



Chinas own national standards for AC and DC charging are incompatible with the international standardized charging systems. The significant risks for the Chinese AC charging systems are:

<sup>116</sup> CATARC (2013): Project introduction – Sino-German Electric Vehicle Charging Project

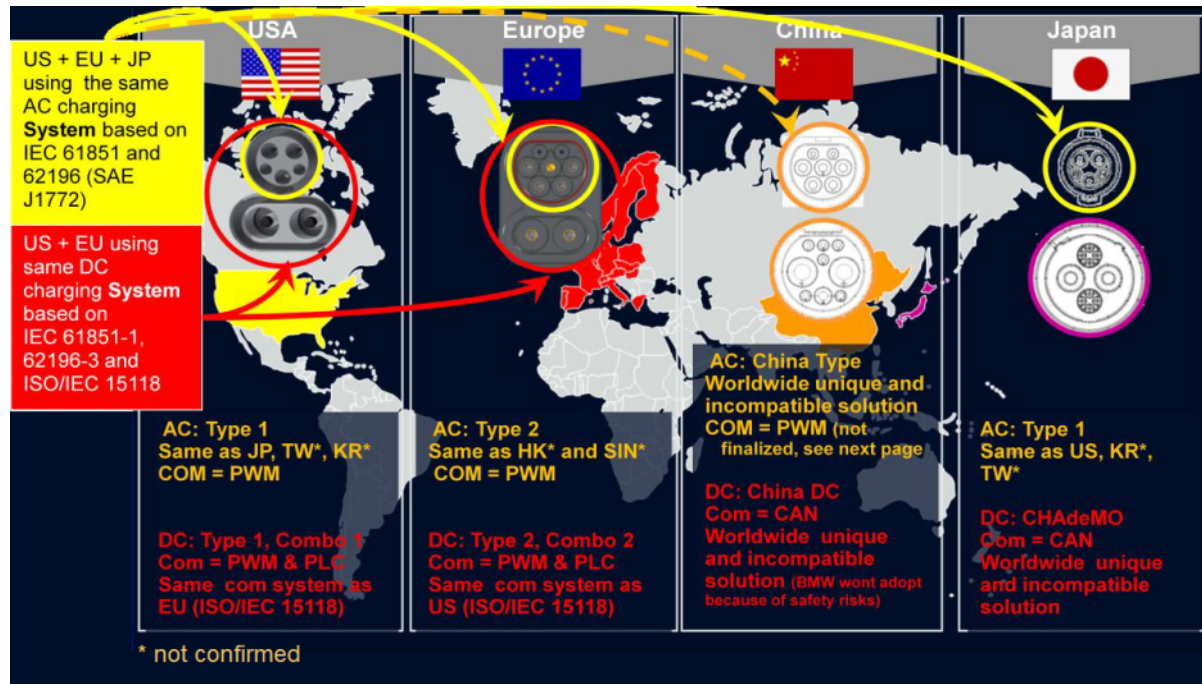
<sup>117</sup> Dr. Wu (CATARC) (2013): Development and Tendency of NEV in China



- Missing overload protection of the charging cable
- No protection from disconnection while charging at infrastructure side
- No automatic detection plug-long proxy PIN

Figure 27: Comparison of AC and DC charging systems

(Source: Pfeiffer, 2012)



Germany tries to harmonize the charging systems and charging communication worldwide using international standards. Actually there are activities between the BMVI, MIIT, CATARC and German and Chinese industry partners.

The question is of whether China can and will in fact continue its massive push for clean energy development domestically. This is particularly relevant since China is experiencing the same problems as Western countries with regard to its clean energy technology deployment<sup>118</sup>:

- Despite the massive investments in renewable energy capacity (especially wind) the actual contribution of renewable energy to the overall energy system in China is still only very limited.
- Grid companies have not been keen on integrating the intermittent and variable wind farm output, which has led to a massive number of Chinese wind farms not being connected to the grid. The massive support for industry growth has led to 'overheating' and quality problems, as is now acknowledged by the Chinese government.
- The most promising regions for wind and solar energy are far from electricity demand centers, requiring enormous investments in the electricity grid.
- Difficulties to influence customer preferences: Chinese car buyers often do not wish to buy hybrids or electric cars but rather opt for expensive large SUVs.

<sup>118</sup> Buijs, B. (2012): China and the Future of New Energy Technologies: 88

### 3.3.5 Business models and mobility concepts

In China, the fleets of buses and taxis in operation cover about 1.7% of all vehicles. But this 1.7% consumes about 27% of the fuel in whole China. This means China will focus on fleet operations.

Table 18: Development Plans of auto makers

(Source: HCA Consulting, 2013)

Name	Investment plan	Execution status
Shanghai Auto	Would like to have 20% of market share in E-car segment in China	Had invested RMB 2 billion prior to 2011 Will invest another RMB 6 billion to develop new energy cars (~ 233.5 Mio. €)
Changan Group	2020: sell new energy vehicles to 650,000 units (30% of total sales) and BEV will be 150,000 units	Invested RMB 1 billion in 2012 in HEV and PV (~ 116.7 Mio. €)
Beijing Foton	2015: new energy vehicles will be 15% of total output	Produced 1,000 units of HEV in 2010 Built 8,000 units/year EV and 1,000 units/year HEV capacity in 2011
#1 Auto	Will build 200,000 unit/year E-vehicles capacity by 2015	Established new energy auto company in 2011 Will invest RMB 5.35 billion in the next a few years (~ 624.5 Mio. €) Build 11,000 units/year hybrid car and 1,000 units/year hybrid buses capacity in 2012
BYD	Claim it will have 15% of market share in E-vehicles in 2015	BEV capacity: 10,000 units/year
Dongfeng	By 2015, total HEV will reach 100,000 units and EV output will reach 50,000 units Total output will reach to 800,000 units in 2020	Will invest RMB 3 billion in the next five years in R&D and production (~ 350.2 Mio. €)

At the moment 3,000 New Energy Vehicles are on the roads in Shenzhen (800 BEV taxis, 1,700 HEV and 1,250 battery buses). Public transport is the sector in which electric mobility should achieve the breakthrough. The number of battery buses will increase until the end of 2013 up to 2,000. However, the introduction of electric vehicles in China is highly funded. The gap of 182,066 Euro between battery bus (242,754 Euro) and diesel bus (60,689 Euro) is covered partly by the state funding program, the city government funding and the public transport company.

Furthermore Shenzhen concentrates on fast charging systems in public transport. These systems should be able to charge 200 taxis in parallel. During the peak hours employees pull the plugs to relieve the power grid. In the bus sector they have developed central monitoring systems, which monitor the vehicle location, condition and battery level in real time.

Another new approach is “Carsharing”. Although the ownership of a car still has a great significance in China, users are under certain circumstances open for other business models than ownership. It is mainly important that the cars are unidentifiable as rental cars in the public. In addition, an appropriate infrastructure must be created and it is important to have an easily understandable accounting system. The EV Zone Jiading in Shanghai is one of the first regions, where EV Carsharing is tested. VW New Mobility Services China also tries to establish a Carsharing project. Actually they have only conventional in use, but the plans also provide large fields of application for electro mobility. Nevertheless it must be emphasised that these efforts are only approaches to establish electro mobility in China. The success remains to be seen in the next years.

### 3.3.6 Stakeholder opinions on economy and industry

A European OEM with branch in china referred that Chinese automotive industry does not see themselves competitive at international level especially with OEM in Europe, Japan or the US.

Most interviewed actors mentioned that Chinese automotive industry is characterized by a high backlog demand in several fields e.g. vehicle and battery technology. Development costs are still too high, battery research is not yet sufficiently advanced.

Business models are seen as a important field in the development of EV. An European governmental expert in china pointed out that Leapfrogging in the development of EV is desirable from the government.

Experts from the automobile industry mentioned that the independent development of electric vehicles with tailored innovative components makes more sense than the compromise of a modification of a conventional car to an electric driven one.

It is a basic question whether the best goal of EV-development is the BEV or whether china's automobile industry continues in the direction of PHEV.

## 3.4 Consumer and market

Apart from political and technological issues, there is of course the question of costs and whether the results warrant the huge investments that China is making in this sector. Bringing down costs of clean energy technologies is as important in China as they are in Western countries. The current support for new energy technologies such as onshore and offshore wind power, solar PV and New Energy Vehicles are undertaken with the clear view that costs should be driven down in the coming period to make these energy sources economically competitive. Chinese policy makers realize very well that they are unable to support the deployment of renewable energy sources indefinitely and that also for China there will be limits to the financial means that can be made available. Although the current situation and system still leaves scope for further support, this question will need to be addressed in the longer run.

The battery costs in China are today around 408 Euros / kWh, and should decrease to 233 Euros / kWh by 2015.<sup>119</sup> An enormous amount of research is being devoted to the development of new batteries. Part of this focuses on incremental improvements, such as the various Li-Ion based batteries. Other firms are looking at more radical and potential 'break-through' technologies. In particular there are experiments with using different materials for the various components of a battery pack, namely the electrolyte, separator, cathode and anode. Other innovative research focuses on ultra-capacitors instead of conventional batteries.

The price for a BYD e6 EV is 42,482 Euros and with maximum subsidy of 30,344 Euros. This is a very high price compared to ICE vehicles, a VW Jetta ICE (mostly taxis) cost about 9,710 Euro. These facts naturally reflect the number of registrations in China. Between January and October 2011 only 279 BYD e6 EVs were registered.

---

<sup>119</sup> Dr. Wu (CATARC) (2013): Development and Tendency of NEV in China

The price of a battery bus with 242,754 Euro is four times a diesel bus which is 60,680 Euro. Around 121,361 Euro is covered by state and Shenzhen city funding. The coverage of the gap of 60,680 Euro is not clearly communicated as well as a solid business model.

### **3.4.1 Market development of electric vehicles up to now**

In China around 27,500 demonstrated and promoted vehicles are used at the end of 2012. The total number has to be divided into public transportation (84 %) and the private sector (16 %). More than half of all vehicles in the public transportation sector are hybrid buses (53 %) and only one tenth pure electric passenger cars (10 %). The further classification includes pure electric buses (11 %), hybrid passenger cars (16 %) and other electric vehicles (10 %). The 16 % in the private sector include only pure electric passenger cars. In September CATARC published a number of nearly 40,000 New Energy Vehicles by the end of July 2013, splitted into 85% public service and 15% private vehicles.<sup>120</sup> In 2011, China only 8,000 New Energy Vehicles were sold, accounting for less than 1% of the total national sales volume. At present, China has completed 8,400 charging columns and 37 battery changing stations.<sup>121</sup>

The deployment of New Energy Vehicles is lagging behind the original plan and, on average, only 26–36% of the goals have been attained by October 2011<sup>122</sup>. Although the demonstrated cars have outnumbered more than 10,000 units in total, there is still a large gap from the plan of each city. Some cities have even made only little progresses for various reasons such as unclear strategies, unspecific measures, insufficient supports and ineffective organization and implementation. It is strongly suggested to open the experience exchange among demonstration cities.

---

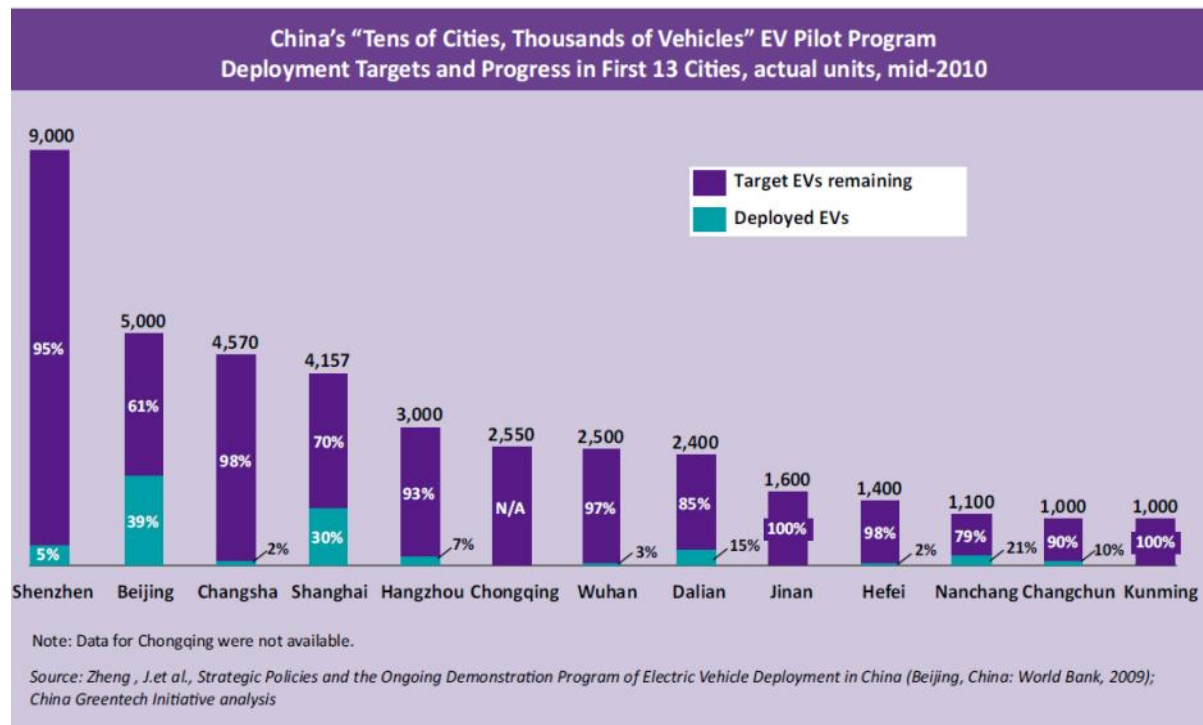
<sup>120</sup> Dr. Wu (CATARC) during an interview in September 2013

<sup>121</sup> Research in China (2013): China Electric Vehicle Industry Report, 2013.

<sup>122</sup> Gong, H.; Wang, M. & Wang, H (2013): New Energy Vehicles in China: policies, demonstration, and progress: 207-228.

Figure 28: Target vs. Progress of Vehicles in mid 2010 in China

(Source: Zheng et al., 2009)



Fixed bus routes, low speed, not sensitive to weight, volume and price and charge on the grid at night, make lithium batteries suitable for the development of electric buses. Beijing, Shanghai, Shenzhen, Chongqing and a number of cities across the country have begun to carry out electric buses, electric taxi for demonstration runs. This is supported by the information that, of the 100 BYD e6 EV<sup>123</sup> ordered by the Shenzhen city government, by 2010 half of them had been delivered.<sup>124</sup>

### 3.4.2 User / Consumer attitude and behaviour

In China, the private sector is still highly underdeveloped regarding private cars. Now the private income increased so the expenditure potential gradually moves from 2-wheel to the car, but is still limited. Therefore, there is just little willingness to accept higher costs because of environmental awareness and enthusiasm for technology. Chinese consumers assess the quality of foreign products higher than products of Chinese manufacturers. Therefore growth rates of joint ventures foreign and Chinese producers are higher than the purely Chinese companies<sup>125</sup>.

Shanghai was declared as EV international pilot city and Jiading as EV international demonstration zone by the Chinese government in January, 2011<sup>126</sup>. Consumers have become switched on to the idea of green mobility through the use of electric vehicles since the city was named the country's first pilot city for electric vehicle development in April 2011.

<sup>123</sup> BYD (2013): BYD delivers 500 e6 pure electric cars to Shenzhen Public Security Bureau.

<sup>124</sup> RWTH Aachen & CIAM (o.J.): National Competitive Advantage of China in Electric Mobility: The case of BYD

<sup>125</sup> CAMA an der Universität Duisburg – Essen (2012): Automobilmarkt und Automobilunternehmen in China 2012 – Der Markt kühlt ab, bleibt aber wachstumsstark

<sup>126</sup> EV Zone Shanghai – China (2014): Background and significance

Some experts of the Shanghai EV Zone are quite optimistic about the use of electric vehicles in the urban city area. As a result of the demonstration projects, the activities have a great potential because many local taxis, government vehicles and street-cleaning trucks will be the first, which use electric vehicles in everyday life.

The consumers have to be convinced, that electric vehicles can replace the conventional ones in the nearer future. Studies in the model regions reveal that the experiences from demonstration projects are necessary to convince consumers. It was also shown that a personal experience on electric vehicles can enhance their acceptance. In this study they found out unused potentials for plug-in vehicles in China. As “a high usage intention for electric cars has been identified after the test drives in Beijing”. These are implications to prevent managers from wrong investments in a certain car concept<sup>127</sup>. Additionally it would be interesting to evaluate the use of different charging options, for example fast charging, slow charging and battery swapping.<sup>128</sup>

First of all, deployment has been limited almost completely to the government purchasing programs and public-private initiatives in the public transport sector. Although at least 10 models of New Energy Vehicle have been introduced by Chinese domestic car manufacturers, it has been reported that many car dealers simply do not put them in the showroom because of a lack of interest of consumers. Some domestic models have even been pulled back from the market, after registering almost no sales. Sales patterns and surveys show that Chinese car buyers prefer traditional gasoline-fuelled cars and that – in China certainly no less than the West – owning a car is a status symbol: for many, the car should be large and impressive<sup>129</sup>. This is also part of the reason why German luxury car brands such as Audi, BMW and Mercedes, as well as American brands, are extremely popular in China, while domestic Chinese car manufacturers are still lagging. Particularly for New Energy Vehicles, Chinese consumers are deterred by the higher costs, safety concerns and lack of convenience and driving comfort. It seems that the situation in China is not that different than in Germany. The prices for electric vehicles are higher than for a car with combustion engine. The BYD B6, a midsize sedan with 700-pound lithium-iron phosphate batteries costs about 45,000 Euro.

### **3.4.3 Market perspectives**

Up to now the average standard of living in China has not reached the threshold of 7,220 Euro GDP per capita, where automobile ownership accelerates. But in the near future China's market will reach this threshold as well as other markets in Brazil, India or Indonesia. This provides a great chance for electro mobility, but is also an obligation for the car manufactures to achieve a level, where electro mobility is sufficiently attractive and a real alternative for the users.

---

<sup>127</sup> Dudenhöffer, K. (2013): Akzeptanz von Elektroautos in Deutschland und China - Eine Untersuchung von Nutzungsintentionen im Anfangsstadium der Innovationsdiffusion.

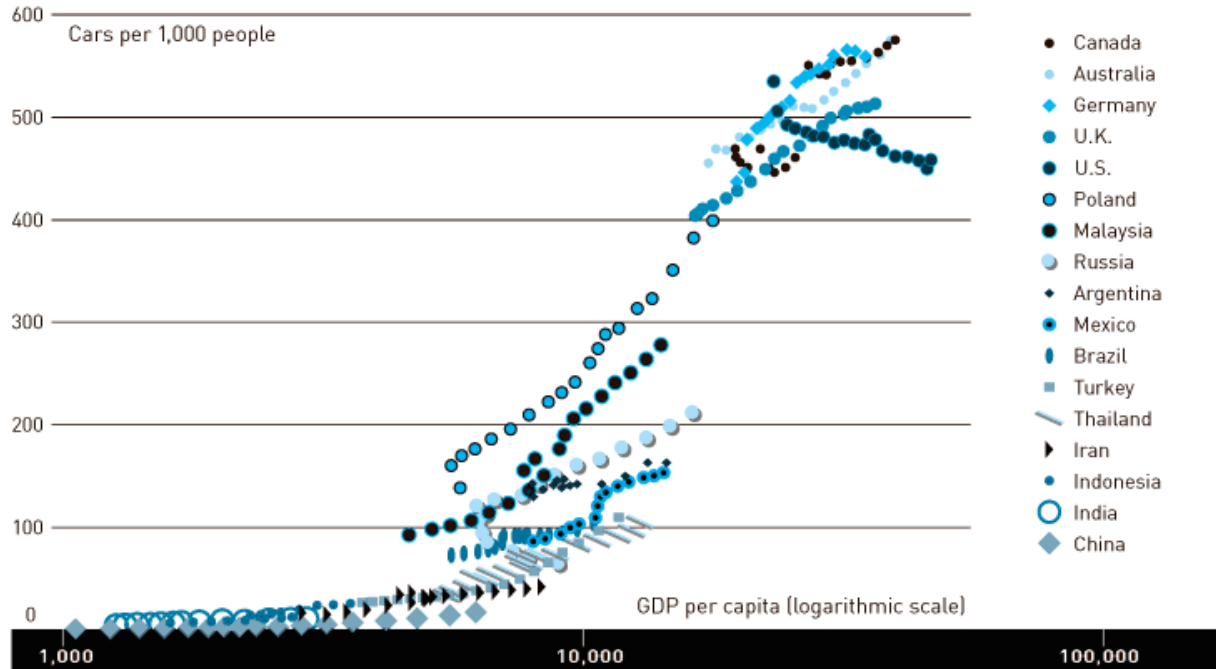
<sup>128</sup> Wu, L. et al. (2013): Understanding the consumption behaviours on electric vehicles in China – A stated preference analysis.

<sup>129</sup> Buijs, B. (2012): China and the Future of New Energy Technologies: 73

Figure 29: The Mobility Threshold

(Source: Haddock&amp;Jullens, 2009)

A country's threshold of mobility lies near US\$10,000 GDP per capita, where automobile ownership accelerates. The REEs shown here (Brazil, Russia, India, China, Malaysia, Argentina, Mexico, Turkey, Thailand, Iran, and Indonesia) have not yet reached this point, but they will soon, if they follow the example of every country before them. Each line of symbols represents a 19-year progression for one country, from 1990 through 2008.



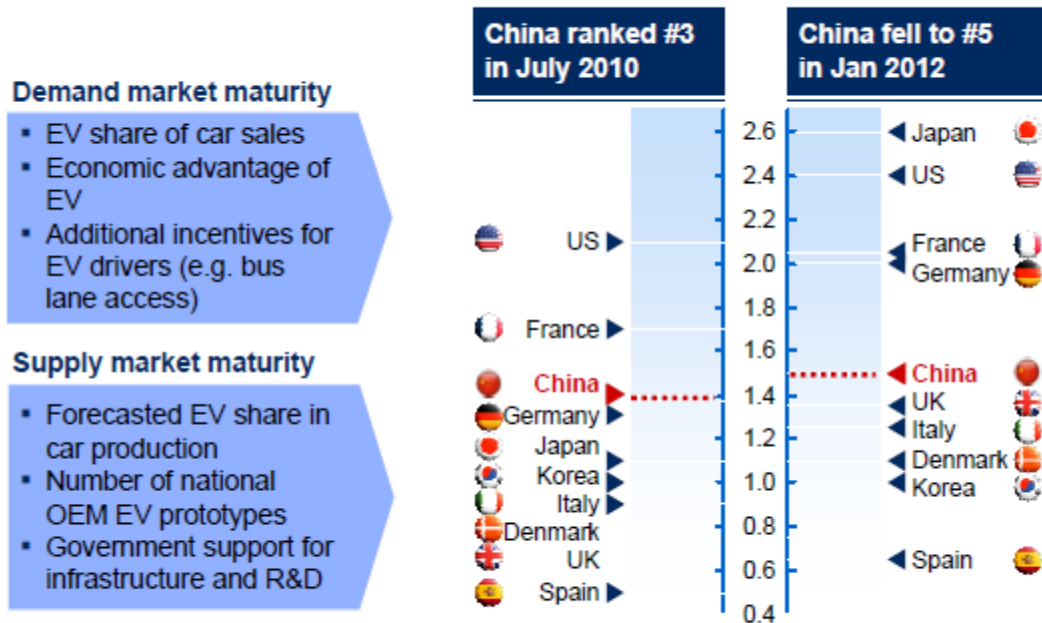
Joint ventures between Chinese and non-domestic car manufactures (Beijing-Benz Automotive, BMW – Brilliance, Dongfeng – Renault, FAW – VW / Audi, SAIC – GM) are becoming increasingly important for the Chinese EV market. Foreign car manufactures have high developed technologies and a good user-standing so that Chinese companies can benefit from foreign know-how. Even with progress in EV other countries passed China.

Figure 30: Global overview in Electric Vehicle development

(Source: McKinsey China Auto Hub)

**EVI measures a country's EV<sup>1</sup> readiness**

(5 = most developed, 0 = least developed)

<sup>1</sup> Includes PHEV, BEV, FCEV, but not conventional HEV

SOURCE: McKinsey

Since China's auto market has reached 13 million vehicles in 2010, the private consumption has occupied the absolute dominant position. Therefore, the relevant policies for New Energy Vehicles must be developed taking private consumption as the object, but no longer just staying in the sectors of public transportation buses and civilian vehicles. However, the expansion of the market of private consumption of New Energy Vehicles is still facing China's New Energy Vehicle technology that is not yet fully matured, the related infrastructure construction that has not yet been commenced, the price that is relatively higher and a multiple of other barriers.

Despite certain of progresses and experience Shenzhen and Hefei have achieved in private purchase of New Energy Vehicles. Other cities haven't started any plan concerning this part. The breakthrough on private purchase of electric vehicles plays a strategic role in the future development of New Energy Vehicles, so it is suggested by Chinese experts to lay special emphasis on this issue<sup>130</sup>.

The commercial target for electric vehicles in 2020 is an average fuel consumption of 5.0 l / 100 km and a fuel consumption for energy efficient cars of 4.5 l / 100 km. The accumulated sale of BEV and PHEC will reach five million units. The industry will have to align itself to these targets and has to be accordingly adapted their activities. Connecting to these activi-

<sup>130</sup> China Automotive Technology and Research Centre (CATARC) (2013): Yearbook of energy-saving and new energy vehicles 2012: 29.



ties is an improvement of energy storage (battery!) as a primary goal to extend the driving range up to 500 km. It is also important to have an adequate infrastructure construction.<sup>131</sup>

Reasons for the challenges the development of New Energy Vehicle industry in China is facing could be the following.

Even the cities, which are chosen to take part in a demonstration program, are not able to report any successes in the numbers of electric cars. This is due to the limited budget of the municipalities or because of the missing car manufacturer in the city. The lack of charging infrastructure and the limited range of electric cars are further reasons of the unsatisfied demand for electric cars. In Changchun in the north-east of China the weather is also playing a part in the low demand, because for the current technological level it is just too cold for electric vehicles<sup>132</sup>.

The field of private customer sales should be focused as from the year 2013, but this target group is not yet achieved until today, because it is very difficult to take a variety of measures, requirements of concerted efforts of all aspects.<sup>133</sup> Gradual acceptance of electric vehicles for the realization of the market breakthrough is important, so that consumers need to try to use a variety of promotional mode, including vehicle sales, leasing, employees purchase. It may consider choosing some of the more affluent and environmentally conscious small and medium-sized cities to carry out the work of pure electric vehicle demonstration. In these cities the daily mileage of private vehicles is short. Convenient parking and charging infrastructure is easier to solve.

In particular, the necessary changes in the behavior of sellers and buyers are a challenge. Even in Europe, in every country there are different factors and market mechanisms in order to sell large quantities of a vehicle successfully. The problems not only for a megacity like Shanghai are quite different. Four areas have to be considered for a particular challenge<sup>134</sup>:

- Suitable vehicle models: Currently, the range of models produced in China is less than 10 models, mostly in the small car segment. Compared to the German premium manufacturers many Chinese New Energy Vehicles are yet competitive.
- Status symbol: The car is in China - particularly pronounced in Shanghai - a sign of wealth and status. Chinese love German premium brands, as they prefer whole western brands. Small cars do not meet the expectations and the needs of this target group.
- Marketing and sales weakness of BEV's: New Energy Vehicles are not known, are not advertised and sellers are not prepared to the customer. The sales process is in the known infrastructure. Customers with interest in New Energy Vehicles are even reversed in to a petrol-powered vehicle. The high prices and different ecological understandings than in Europe prevent acceptance and sales success.
- Lack of charging infrastructure: This will be the greatest challenges. Residents of Shanghai live in high-rise buildings often with hundreds of apartments in a single building. In the city center charging in garages or on own property is hardly possible. The necessary infrastructure which is the power supply, the interpretation, the supply,

---

<sup>131</sup> HCA Consulting China (2013): Development of E-Mobility in China.

<sup>132</sup> Pander, J. (2012): Elektromobilität in China – Stromausfall in Peking.

<sup>133</sup> Wang, B. (2013): 国家863“节能与新能源汽车” 重大项目监理咨询专家组组长 王秉刚.

<sup>134</sup> Serra, A. (2013): Shanghai im Fokus – Chancen und Grenzen der Elektromobilität in Megacities

cabling as well as billing systems was not considered in the planning and realization. Even if space is available, the subsequent development of an infrastructure for existing buildings would take a long time and maybe attract unrealistic investments.

This means new ideas and approaches are needed, which are different from those in Europe. A recent approach in Shanghai is the consideration of electric mobility in new buildings<sup>135</sup>.

The story of BYD is in a way exemplary. Even though it has been heralded the company of the future that illustrated how China would dominate the electric vehicle industry, it has seen abysmal sales figures for its hybrid and fully electric models in China, and more recently it has been plagued by financial troubles and disputes with its domestic dealer network.

Second, in terms of technology, China still suffers from a very significant R&D lag relative to its global competitors. It took Japan several decades to develop the technological knowledge of hybrids and electric vehicles from which it is now benefiting. Since China does not have a conventional car industry that is globally competitive, it would require a major technological leapfrog to successfully introduce electric vehicles on a global scale.<sup>136</sup>

The main weakness of Chinese firms lies in the manufacturing of advanced batteries that are required for electric vehicles. Illustrating this is an accident in which the battery pack of an electric taxi in Hangzhou caught fire (the car was produced by the Chinese firm Zotye).

Although China aims to catch up in terms of technology development, government R&D spending on batteries still falls short relative to that of Japan, South Korea and the United States.<sup>137</sup> A stronger point has been China's development of cost innovation processes that can reduce costs without requiring breakthrough technologies. BYD, for instance, replaced some EV battery materials with cheaper materials while maintaining high performance properties and reengineered the production process such that expensive "dry rooms" were not required – thus reducing the battery cost by 45 %.

EV focuses also on small vehicles of the niche market. An example is the two-seat mini-car developed by the Chinese auto part supplier named Wonder Auto Technology and a Korean manufacturer, although it is equipped with lead-acid batteries, max. 60 km/h and a range less than 100 km. Remarkable is the price of less than 4,854 Euro. The board of Wonder is convinced that the joint venture in Jinzhou may sell up to 50.000 units each year. Dongfeng developed mini EVs for special applications like police, fire service or golf cars. Chery and Geely are two companies that are also planning volume production of mini-BEVs<sup>138</sup>.

### Range Extender Electric Vehicles (REEV)

So far the discussion mainly dealt with pure battery electric vehicles and to increase the acceptance or to facilitate the market entry for consumers, it is important to make PHEV

---

<sup>135</sup> Serra, A. (2013): Shanghai im Fokus – Chancen und Grenzen der Elektromobilität in Megacities.

<sup>136</sup> Buijs, B. (2012): China and the Future of New Energy Technologies: 73

<sup>137</sup> United Nations – Department of Economic and Social Affairs (2011): Electric Vehicles in the context of sustainable development in China.

<sup>138</sup> Todorovic, T. (2012): Elektroauto China – Überholen die Chinesen uns Europäer bald?

vehicles a subject of discussion, as the requirement on charging infrastructure and energy storage are easier to fulfil.

The penetration of BEVs and PHEVs in the bus market reached 0.3% of new sales in 2011, approximately 10 times the penetration of EVs in passenger cars, which stood at only 0.03%. If these programs continue and current trends hold, McKinsey project that the total electric bus fleet could grow to 100,000 units by 2016.<sup>139</sup>

McKinsey discussed the market perspective with industry leaders and policy-makers.<sup>140</sup> Their interviews and research point to the following conclusion: in the near- to mid-term, China's auto industry should consider developing the PHEV as a bridging technology until the industry ecosystem is mature enough to support the mass production of BEVs. This strategy recognizes that there is no shortcut to BEV dominance of the market, given the technology's immaturity and its current "teething" problems. At first glance, BEVs would appear to be a better technology leapfrogging opportunity for Chinese OEMs, because they would not require OEMs to face the ICE development and integration challenges associated with a PHEV solution. However, it's clear from our research that the BEV is not as ready as PHEV for mass adoption for several reasons.

From an *infrastructure perspective*, the REEV (i.e., serial PHEV like Opel Ampera) has less need for extensive charging infrastructure than the BEV — if it is not possible to plug in, the driver can rely on the small onboard ICE to recharge.

From a *cost perspective*, the PHEV also potentially offers a much better price point than the BEV, which can cost twice as much because of its need for a larger battery. We estimate that PHEVs with 15 kilowatt/hour (kWh) batteries will become cost competitive with ICE vehicles in China by 2017, while BEVs will not pass this threshold until after 2020<sup>141</sup>. PHEVs outfitted with smaller 10 kWh batteries will likely reach cost parity with ICEs as soon as 2014. Cars equipped with this smaller battery would offer a 40 kilometer driving range, which is likely to be enough to meet the driving needs of most Chinese commuters.

In addition, from a *technology and performance perspective*, battery technology remains immature and expensive, and as a result BEVs cannot offer the longer driving ranges or shorter charging times required by customers for mass adoption.

Of the PHEV technologies available, McKinsey's research suggests that Chinese OEMs should focus on REEV (serial PHEV). In the serial configuration, the vehicle is driven solely by the electric drivetrain and has a small ICE that recharges the EV battery pack as needed. The REEV has advantages over the parallel PHEV, which has both EV and ICE drivetrains, either of which can directly power the vehicle. The serial configuration requires only a small ICE that serves as range extender, whereas the parallel configuration requires a full-size traditional ICE engine in addition to the electric motor. This makes the REEV a better fit for Chinese OEMs, most of which still lag far behind global OEMs in their ability to manufacture

---

<sup>139</sup> McKinsey (2012): Recharging China's electric vehicle aspirations – A perspective on revitalizing China's electric vehicle industry, China Auto Hub: 13.

<sup>140</sup> McKinsey (2012): Recharging China's electric vehicle aspirations – A perspective on revitalizing China's electric vehicle industry, China Auto Hub.

<sup>141</sup> McKinsey (2012): Recharging China's electric vehicle aspirations – A perspective on revitalizing China's electric vehicle industry, China Auto Hub: Exhibit 4.

ICE powertrains. Moreover, the REEV offers a better technology bridge to the BEV as it is closer in terms of design to the BEV than the parallel PHEV.

#### **3.4.4 Stakeholder opinions on consumer and market**

According to the interviewed stakeholders from governmental institutions and other actors the main challenge in the field of market is the missing link between electric mobility and the Chinese public. Having a funding of (local) governmental fleets but not of privates, these customers don't get in touch with electric mobility. According to the interviewed experts there is a lack of market creation instrumentals and the necessity to fill that gap.

The interviewed representatives of the automobile industry see the main targets for the near future in the prospecting for export customers to create a market for EV, prerequisite is a functioning infrastructure. The public of china did not get in touch with electric mobility in the past either at present. Most experts mentioned that Chinese electric mobility is intended for (governmental) fleet operations.

According to the most interviewed stakeholders China's automobile market is not seen as yet mature. A growth is predicted for the next ten to twenty years. Market perspectives of EV in china – according to Chinese experts - depend on the development of battery technology and respectively on the development of costs in the next years. There are hopes in china's automobile industry to reduce current costs at least six fold driven by a break-through innovation in the field of battery density. Furthermore it was mentioned that costs can be absorbed by mass production and significant economies of scale.

### 3.5 Conclusion

Because of the large population, the sheer scale of the country and the polluting industries, China presents numerous challenges in terms of energy provision, pollution management, smog combating and energy security. One important topic with which these challenges are to be addressed is the field of electric mobility.

In 2010, China's automobile market became the biggest single car market in the world (production reached 18 million units). In 2012 there was even an increase to 19.3 million units.

A 'New Energy Vehicle' program has been carried out for more than 10 years in China, but in general the investments OEM have made in research and development of New Energy Vehicle are still insufficient, and some enterprises started relatively late.

The key parts and material industry for the New Energy Vehicles are still in the initial stage and therefore still not able to meet the high requirements of production. The new industry chain is still incomplete.

The government aims to have 500.000 electric vehicles on the market by 2015 and five million vehicles by the year 2020. Governmental representatives stated that, although difficult to realize, this is nevertheless possible, provided that the Chinese government maintains its financial support. More than 486.3 billion Euros shall be spent in green-related programs. Besides vehicles the installation of 220,000 charging points and 2,351 battery swapping stations are planned until 2015.

The subsidies for NEV are very attractive. Every purely electric vehicle gets 7,300 Euro funding, every fuel cell vehicle 30,400 Euro and for every urban transport passenger car and hybrid power passenger car it is 60,800 and 73,000 Euro respectively. Another incentive is the exemption from purchase tax, consumer tax and license plate tax for consumers. The financial support also depends no longer on the battery capacity but on the range of the car.

In September 2013 CATARC published, that nearly 40.000 New Energy Vehicles are on the street by the end of July 2013, splitted into 85% public service and 15% private vehicles. The fleets of buses and taxis in operation cover in China, about 1.7 % of all vehicles. But this 1.7 % consumes about 27% of the fuel in whole China. This means China has to focused on fleet operations what has been done in the so called '10 cities - 1000 vehicles program – a Chinese model region program.

In China, the private sector is still highly underdeveloped regarding cars. Now the private income increased so the expenditure potential gradually moves from 2-wheelers to the car, but it is still limited. Therefore, there is just a little willingness to accept higher costs because of environmental awareness and enthusiasm for technology. Chinese consumers assess the quality of foreign products higher than products of Chinese manufacturers. Therefore growth rates of joint ventures foreign and Chinese producers are higher than the purely Chinese companies. Further 5 cities were elected to demonstrated private cars (e.g. Shenzhen, Shanghai).

At present, China has completed 8,400 charging columns and 37 battery changing stations. Most of these electric vehicles are used in fleets as taxis and buses. Private use is still lacking so far. In China's electric vehicle demonstration and promotion catalogue, which is part of New Energy Vehicle Demonstration Projects for Promotion Application, BEV made up 70%, HEV 22% and FCEV 8%.

In general China has the same challenges and impediments, which hold back the development of NEV in developed countries, such as cost levels, driving range issues, comfort level, safety concerns, battery problems and lack of charging infrastructure.

A closer look at the technological side shows that China's car industry is far behind its Western, Japanese and Korean global competitors regarding an electric car as a whole, e.g. in Germany you will find around 14 different electric car models of German production but hardly one of Chinese.

Even in China, about 60% of the vehicle costs will be covered by the batteries. But China has its own material resources due to a certain cost advantage when compared to the western countries. Generally, the global cost reductions in the battery area concerns also China, which directly concerns a price reduction on EVs.

Priority is the improvement of the energy density of batteries. For that, better basic materials basic R&D is increased. Especially the key materials are focus of new Five Years Plan.

Therefore joint ventures between Chinese and non-domestic car manufactures (Beijing-Benz Automotive, BMW – Brilliance, Dongfeng – Renault, FAW – VW / Audi, SAIC – GM) are becoming increasingly important for the Chinese EV market. Foreign car manufactures have high developed technologies and a good user-standing so that Chinese companies are able to benefit from foreign know-how.

All parties agree that investment in a respective infrastructure is the key for further development. In 2009 State Grid Corporation of China, the Chinese power company owning more than 90% of the grid in China, China Southern Power Grid, Sinopec, CNOOC and other leading Chinese energy companies announced their future plans for constructing electric vehicle charging stations. State Grid Corporation is planning to build 10,000 charging stations and more than 500,000 charge piles/poles by 2020. The investment in major equipment and charging stations is reported to reach 3.9 billion Euros.

State Grid Cooperation, announced plans to invest about 60 billion Euros over the next five years in transmission lines (cross-region UHV and other long distance lines). State Grid's strategy until 2013 sees battery swapping as main "energy-refueling" procedure. Plug charging is an auxiliary "energy-refueling" procedure. Battery charging shall be done centralized. The distribution of batteries to the stations shall be dynamic. The OEM shall provide the vehicle without battery and the customer shall rent the battery from the owner, which is State Grid. State Grid is responsible for maintenance and recycling.

Regarding the AC charging coupler, China adapted their standards to the international ones of IEC. Unfinished is the adoption of international regulations on charging systems.

Chinas own national standards for AC and DC charging are incompatible with the international standardized charging systems.

Even the cities, which are chosen to take be part in a demonstration program, have not been able to report any increase in the numbers of electric cars. This is due to the limited budget of the municipalities or because of the missing car manufacturer in the city. The lack of charging infrastructure and the limited range of electric cars are further reasons of the unsatisfied demand for electric cars.

This means new ideas and approaches are needed, which are similar to those in Europe. A recent approach in Shanghai is the consideration of electric mobility in new tower-buildings and car sharing to increase the acceptance and utilization of electric cars.

Due to a strong focus on air pollution and traffic congestion in big cities like Beijing, city governments try to speed up the adoption of electric mobility with new regulations. Therefore certain incentives are planned like additional purchase subsidies and a limitation on registrations of private cars (exception for EV).

## References

- Bernhart, W. et al. (2012): Quartalsindex Elektromobilität: 6-7.
- Bosch (2011): “Bosch InterCampus Program“ - China, Available online: [www.bosch-presse.de/presseforum/download/de/Factsheet\\_USC\\_China-d.pdf](http://www.bosch-presse.de/presseforum/download/de/Factsheet_USC_China-d.pdf) (accessed: 02.04.2014)
- BP (2013): BP Energy Outlook 2030, Available online: [http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/BP\\_World\\_Energy\\_Outlook\\_booklet\\_2013.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/BP_World_Energy_Outlook_booklet_2013.pdf) (accessed: 02.04.2014)
- Buijs, B. (2012): China and the Future of New Energy Technologies: 67, Available online: [http://www.clingendael.nl/publications/2012/201203\\_ciep\\_paper\\_buijs\\_china\\_future\\_new\\_energy\\_technologies.pdf](http://www.clingendael.nl/publications/2012/201203_ciep_paper_buijs_china_future_new_energy_technologies.pdf) (accessed 30.01.2013)
- BYD (2014): Company – Profile, Available online: <http://www.byd-auto.net/company/profile.php> (accessed: 02.04.2014)
- BYD (2013): BYD delivers 500 e6 pure electric cars to Shenzhen Public Security Bureau, Available online: [www.byd.com/news/news-145.html](http://www.byd.com/news/news-145.html) (accessed: 02.04.2014)
- CAMA an der Universität Duisburg – Essen (2012): Automobilmarkt und Automobilunternehmen in China 2012 – Der Markt kühlt ab, bleibt aber wachstumsstark -, Available online: <http://www.cama-automotive.de/templates/spotlights/CAMA-Spotlight%20China%20Update%202012-04-22.pdf> (accessed: 02.04.2014)
- Cars21 (2013): EV sales increase 103.9 % in China in 2012, Available online: <http://www.cars21.com/news/view/5227> (accessed: 02.04.2014)
- Cars21 (2013): Electric vehicles under latest annual session of the National’s People’s Congress, Available online: <http://www.cars21.com/news/view/5284> (accessed: 02.04.2014)
- Chadbourne&Parke LLP & Lee, E. (2013): China sets new energy goals, Available online: <http://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=628583d4-e5fd-4f4d-934c-18d82bb76937> (accessed: 02.04.2014)
- China Automotive Technology and Research Centre (CATARC) (2013): Information on CATARC, Available online: [http://www.catarc.ac.cn/ac\\_en/index.htm](http://www.catarc.ac.cn/ac_en/index.htm) (accessed: 30.01.2014)
- China Automotive Technology and Research Centre (CATARC) (2013): Yearbook of energy-saving and new energy vehicles 2012.
- China Automotive Technology and Research Centre (CATARC) (2013): Project introduction – Sino-German Electric Vehicle Charging Project.
- China Automotive Technology and Research Centre (CATARC) (2012): Vehicles in pilot cities by end of 2011.
- China Automotive Technology and Research Centre (CATARC) (2012): EV Technology R&D Deployment in China.
- China BAK Battery (2014): Company Profile, Available online: <http://www.bak.com.cn/about.aspx?BaseinfoCateid=4&CateID=4> (accessed: 02.04.2014)
- Chinese Government’s Official Web Portal (2006): What is the Five-Year Plan, Available online: [http://english.gov.cn/2006-04/05/content\\_245556.htm](http://english.gov.cn/2006-04/05/content_245556.htm) (accessed 30.01.2014)



Dudenhöffer, K. (2013): Akzeptanz von Elektroautos in Deutschland und China - Eine Untersuchung von Nutzungsintentionen im Anfangsstadium der Innovationsdiffusion, Available online: <http://d-nb.info/1046502735/34> (accessed: 30.01.2014)

EV Zone Shanghai – China (2014): Background and significance, Available online: <http://www.evzonechina.com/en/about/> (accessed: 02.04.2014)

Federal Ministry of Education and Research (2013): Information on programs funded by the Federal Ministry, Available online: <http://www.bmbf.de/en/14706.php> (accessed 30.01.2014)

Fuel Cell Today (2012): Fuel Cells and Hydrogen in China 2012, Available online: [http://www.fuelcelltoday.com/media/1587227/fuel\\_cells\\_and\\_hydrogen\\_in\\_china\\_2012.pdf](http://www.fuelcelltoday.com/media/1587227/fuel_cells_and_hydrogen_in_china_2012.pdf) (accessed: 02.04.2014)

Garche, J. (o.J.): Entwicklung der Elektromobilität in China.

Garche, J. et al. (2009): GCSFP Study - Vehicle Batteries in China and Germany: 6; 9; 29; 75. Available online: [http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Projekte/Verkehr/Dokumente/GCSFP-Study\\_-\\_Vehicle\\_Batteries\\_in\\_China\\_and\\_Germany.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Projekte/Verkehr/Dokumente/GCSFP-Study_-_Vehicle_Batteries_in_China_and_Germany.pdf) (accessed 30.01.2014)

Garche, St. et al. (2010): GCSFP Study – Analysis of European/German and Chinese Regulations regarding electric vehicle infrastructure for road traffic: 22; 34-35; 52; 70. Available online: [http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Projekte/Verkehr/Dokumente/GCSFP-Study\\_-\\_EV-Regulations.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Projekte/Verkehr/Dokumente/GCSFP-Study_-_EV-Regulations.pdf) (accessed: 30.01.2014)

Gesellschaft für Konsumforschung (GfK) (2013): New Energy Vehicles in China. Available online: [https://www.gfk.com/news-and-events/documents/gfk-study\\_new-energy-vehicles-china\\_summary.pdf](https://www.gfk.com/news-and-events/documents/gfk-study_new-energy-vehicles-china_summary.pdf) (accessed: 02.04.2014)

Gong, H.; Wang, M. & Wang, H (2013): New Energy Vehicles in China: policies, demonstration, and progress.

Green Car Congress (2012): China BAK to supply additional 1,000 Li-ion battery packs to Chery for M1 EV, Available online: <http://www.greencarcongress.com/2012/04/bak-20120409.html> (accessed: 02.04.2014)

Haddock, R. & Jullens, J. (2009): The best years of the auto industry are still to come, Available online: <http://www.strategy-business.com/article/09204?pg=all> (accessed: 02.04.2014)

HCA Consulting China (2013): Development of E-Mobility in China.

Hickman, J. (2009): Advancement in the clean vehicle industry, Available online: <http://www.renewableenergyfocus.com/view/3186/advancements-in-the-clean-vehicle-industry/> (accessed: 02.04.2014)

Hua, J. (o.J.): Progress in Battery Swapping Technology and Demonstration in China, Available online: [http://www.cse.anl.gov/us-china-workshop-2012/pdfs/session3b\\_demos\\_standards/hua\\_3B-4-HUA-Tsinghua%20Univ-Progress%20in%20Battery%20Swapping%20Technolo.pdf](http://www.cse.anl.gov/us-china-workshop-2012/pdfs/session3b_demos_standards/hua_3B-4-HUA-Tsinghua%20Univ-Progress%20in%20Battery%20Swapping%20Technolo.pdf) (accessed: 02.04.2014)

Hou, Y. (2011): Electric Vehicles – China.

International Energy Agency & Energy Research Institute (2011): Technology Roadmap – China Wind Energy Development Roadmap 2050. Available online: [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/china\\_wind.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/china_wind.pdf) (accessed: 02.04.2014)

International Energy Agency (2011): Technology Roadmap: Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles (EV / PHEV), Available online: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/name,3851,en.html> (accessed: 02.04.2014)

Klink, J. (2012): Elektromobilität in China – Förderpolitik und Modellregionen. In: mobilität morgen 2012(4): 24-27. Available online: [http://www.mobilitaet.biz/fileadmin/Dateien/IMG/mobilitaet\\_morgen/Magazin\\_Mobilitaet\\_Morgen\\_2.2012.pdf](http://www.mobilitaet.biz/fileadmin/Dateien/IMG/mobilitaet_morgen/Magazin_Mobilitaet_Morgen_2.2012.pdf) (accessed: 02.04.2014)

Law Offices of Stewart and Stewart (2012): China's support programs for automobiles and auto parts under the 12<sup>th</sup> Five-Year Plan, Available online: <http://www.stewartlaw.com/Content/Documents/S%20and%20S%20China%20Auto%20Parts%20Subsidies%20Report.pdf> (accessed: 02.04.2014)

Li, J. et al. (2007): China Wind Power Report 2007, Available online: <http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/08/wind-power-report.pdf> (accessed: 02.04.2014)

Malorny, C. (o.J.): Some Chinese key stakeholders for electric mobility.

McKinsey (2012): Recharging China's electric vehicle aspirations – A perspective on revitalizing China's electric vehicle industry, China Auto Hub, Available online: <https://s3-ap-northeast-1.amazonaws.com/mckinseychinavideos/PDF/McKinsey-Recharging-Chinas-Electric-Vehicle-Aspirations.pdf> (accessed 02.04.2014)

Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China (2009): Administrative Rules on Access for New-energy Vehicle Manufacturers and Products, Available online: <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/n11294057/n11302390/12427300.html> (accessed 30.01.2014)

Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China (2014): Organization – Missions of the Ministry of Science and Technology, Available online: <http://www.most.gov.cn/eng/organization/Mission/index.htm> (accessed: 02.04.2014)

MOF, MOST, MIIT & NDRC (2014): The newest central subsidy standard.

National Development and Reform Commission of the P.R.C. (2014): Main Functions of the NDRC, Available online: <http://en.ndrc.gov.cn/mfndrc/> (accessed: 02.04.2014)

National Development and Reform Commission of the P.R.C. (2007): Administration Rules on Access to the Production of New-Energy Vehicles.

New energy vehicle infrastructure summit (2010): Future plans for constructing electric vehicle charging stations and standards concerning New Energy Vehicles, Available online: <http://www.nevinfrastructuresummit.com/overview.html> (accessed: 30.01.2014)

o.V. (2014): National Basic Research Program of China, Available online: <http://www.973.gov.cn/English/ReadItem.aspx?itemid=522> (accessed: 02.04.2014)

- Pander, J. (2012): Elektromobilität in China – Stromausfall in Peking, Available online: <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/autoshow-peking-elektroautos-sind-in-china-nicht-gefragt-a-829410.html> (accessed: 02.04.2014)
- Pfeiffer, A. (2012): Wo stehen wir mit der Standardisierung in China?
- Power Tech International Battery Co., Ltd. (2014): About Us, Available online: <http://pticl.en.china.cn/op/CorpInfo/index.htm> (accessed: 02.04.2014)
- Proff, H.; Kilian, D. (2012): Competitiveness of the EU Automotive Industry in Electric Vehicles.
- Research in China (2013): China Electric Vehicle Industry Report, 2013.
- RWTH Aachen & CIAM (o.J.): National Competitive Advantage of China in Electric Mobility: The case of BYD, Available online: [http://www.ciam.rwth-aachen.de/media/Doks/100501\\_CIAM\\_BYD.pdf](http://www.ciam.rwth-aachen.de/media/Doks/100501_CIAM_BYD.pdf) (accessed: 02.04.2014)
- Serra, A. (2013): Shanghai im Fokus – Chancen und Grenzen der Elektromobilität in Megacities, Available online: <http://www.bem-ev.de/shanghai-im-fokus/> (accessed: 02.04.2014)
- Shanghai Jiao Tong University - School of Mechanical Engineering (2014): Institute of Automotive Engineering, Available online: <http://me.sjtu.edu.cn/english/Faculty/showDetail.aspx?id=30> (accessed: 02.04.2014)
- Shanghai Municipal Government (2013): City plans 5,050 electric-car charging spots, Available online: <http://www.shanghai.gov.cn/shanghai/node27118/node27818/u22ai71158.html> (accessed: 02.04.2014)
- Shenzhen B&K Rechargeable Battery, Inc. (2014): Company Profile, Available online: <http://www.bkbattery.com/en/about.aspx> (accessed: 02.04.2014)
- Sino-German Network on Electromobility (2014): Beijing Institute of Technology, Available online: [www.sinogermanemobility.de/index.php/homepage/partners/chinap/beijing-institute-of-technology](http://www.sinogermanemobility.de/index.php/homepage/partners/chinap/beijing-institute-of-technology) (accessed: 02.04.2014)
- Sino- German Network on Electromobility (2014): Huazhong Institute of Science and Technology, Available online: [www.sinogermanemobility.de/index.php/homepage/partners/chinap/huanzhong-university-of-science-and-technology](http://www.sinogermanemobility.de/index.php/homepage/partners/chinap/huanzhong-university-of-science-and-technology) (accessed: 02.04.2014)
- Stadtregierung Beijing (2013): Beijing 2013-2017 - Arbeitsplan zur Kontrolle der Fahrzeugemissionen.
- Standardization Administration of the people's Republic of China (2013): Main Responsibilities of SAC, Available online: <http://www.sac.gov.cn> (accessed 30.01.2014)
- State Grid Corporation of China (2014): Corporate Profile, Available Online: <http://www.sgcc.com.cn/ywlm/aboutus/profile.shtml> (accessed: 02.04.2014)
- State Grid Corporation of China (2013): NEA: China's 2012 National Power Consumption Up by 5.5 %, Available Online: <http://www.sgcc.com.cn/ywlm/mediacenter/industrynews/01/287139.shtml> (accessed: 02.04.2014)

State Grid Corporation of China (2013): S&T Progress Special Prize Winner UHV AC Transmission-People's Daily: "Flying Coal", Available Online: <http://www.sgcc.com.cn/ywlm/mediacenter/inspotlight/02/288662.shtml> (accessed: 02.04.2014)

State-owned Assets Supervision and Administration Commission of the State Council (SASAC), the People's Republic of China (2013): Information on SASAC. Available online: <http://www.sasac.gov.cn/n2963340/index.html> (accessed: 30.01.2014)

State-owned Enterprise Electrical Vehicle Industry Alliance (SEVIA) (2013): Information on SEVIA, Available online: <http://sevia.sasac.gov.cn/n12753880/index.html> (accessed: 30.01.2014)

State-owned Enterprise Electrical Vehicle Industry Alliance (SEVIA) (2013): Information on main tasks and members of SEVIA, Available online: <http://sevia.sasac.gov.cn/n7445291/index.html> (accessed: 30.01.2014)

Sun, L. (2010): New Energy Vehicles Industry Plan: 30.

Tagscherer, U. (2012): Electric mobility in China – A policy review. In: Fraunhofer ISI Discussion Papers *Innovation Systems and Policy Analysis* No. 30, Available online: [http://isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/p/de/diskpap\\_innosysteme\\_policyanalyse\\_discussion-paper\\_30\\_2012.pdf](http://isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/p/de/diskpap_innosysteme_policyanalyse_discussion-paper_30_2012.pdf) (accessed 30.01.2014)

Todorovic, T. (2012): Elektroauto China – Überholen die Chinesen uns Europäer bald? Available online: <http://www.power-vehicles.com/2012/11/09/elektroauto-china-uberholen-die-chinesen-uns-europaer-bald/> (accessed: 02.04.2014)

Tongji University (2014): Schools and Departments – College of Automotive Engineering, Available online: <http://www.tongji.edu.cn/english/themes/10/template/Academics/College%20of%20Automotive%20Engineering.shtml> (accessed: 02.04.2014)

Tsinghua University Beijing (2014): General Information, Available online: <http://www.tsinghua.edu.cn/publish/then/5777/index.html#> (accessed: 02.04.2014)

TU9 German Institutes of Technology e.V. (2012): TU9: Launch of German-Chinese Electromobility Initiative. Available online: <http://www.tu9.de/press/4123.php> (accessed: 02.04.2014)

TU München (2010): Technische Universität München und Tsinghua Universität Peking: Deutsch-chinesisches Institut für Elektromobilität gegründet, Available online: [https://portal.mytum.de/pressestelle/pressemitteilungen/news\\_article.2010-04-26.6171506590](https://portal.mytum.de/pressestelle/pressemitteilungen/news_article.2010-04-26.6171506590) (accessed: 02.04.2014)

United Nations – Department of Economic and Social Affairs (2011): Electric Vehicles in the context of sustainable development in China, Available online: <http://www.icet.org.cn/adminis/uploadfile/2011611417323026.pdf> (accessed: 02.04.2014)

Volkswagen New Mobility Services (2013): Urban Mobility in China.

Wang, B. (2013): 国家863“节能与新能源汽车”重大项目监理咨询专家组组长 王秉刚.

Winston Battery Limited (2014): Company Overview and Products. Available online: <http://en.winston-battery.com/index.php/about-us/overview> (accessed: 02.04.2014)

World Bank & PRTM Management Consultants (2011): The China New Energy Vehicle Program – Challenges and Opportunities, Available online: [http://siteresources.worldbank.org/EXTNEWSCHINESE/Resources/3196537-1202098669693/EV\\_Report\\_en.pdf](http://siteresources.worldbank.org/EXTNEWSCHINESE/Resources/3196537-1202098669693/EV_Report_en.pdf) (accessed: 02.04.2014)

Wu (2013): Development and Tendency of NEV in China.

Wu, L. et al. (2013): Understanding the Consumption Behaviors on Electric Vehicles in China - A Stated Preference Analysis", Available online: <http://services.bepress.com/feem/paper825> (accessed: 30.01.2014)

Xiao, C. & Wang, J. (2011): Target of Li-ion battery technology for EV.

Xing (o.J.): Governmental overview of China.

Zand, B. (2013): Luftverschmutzung in Peking: Atmen kann tödlich sein, Available online: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/feinstaub-pekings-luftverschmutzung-erreicht-dramatische-werte-a-877150.html> (accessed: 02.04.2014)

Zheng, J. et al. (2009): Strategic Policies and the Ongoing Demonstration Program of Electric Vehicle Deployment in China, Beijing.

# Annex

## I. The status quo of the standard system of Chinese electric Vehicles

So far, Chinese government has promulgated 61 standards for electric vehicles (excluding 6 items of electric motorcycles). Nine standards have passed the review of the Standard Committee and waiting for application and promulgation. Another 51 standards shall be modified urgently in the industry. Those standards will contribute to the R&D and deployment of electric vehicle in china. Altogether 162 standards are related to this topic.

Chiefly including the safety requirements for low-speed electric vehicles and electric vehicles (modified), hybrid power vehicle discharge and energy consumption (formulation and modification), hybrid power system assembly, the modification of QC/T 741-744 power battery standards (or transferred to international ones), the series standards of power battery system grades (performance, safety, reliability, etc.), and the relevant charging standards.

Figure 31: National Standards Diagram for EV in China

(Source: Meeting with CATARC)

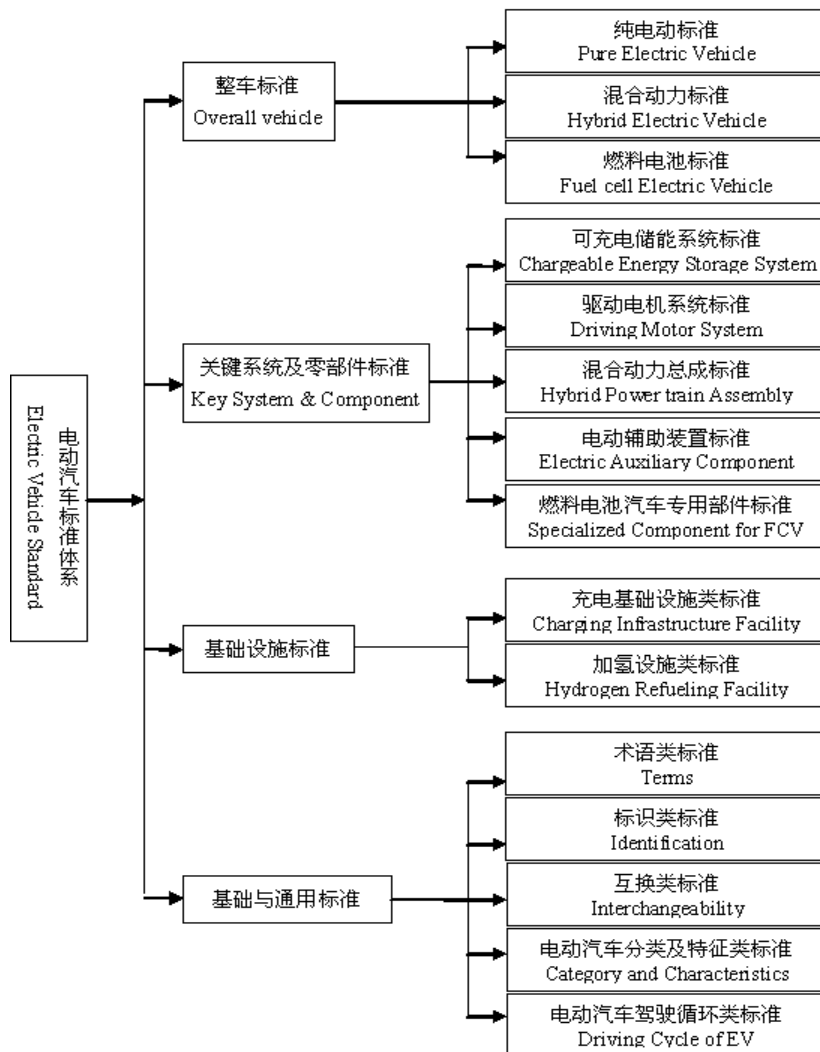


Table 19: List of Published Standards of Electric Vehicles - 36 Items (Source: Meeting with CATARC)

Category	Standard number	Standard name	State
Purely electric	GB/T 18384.1-2001	Electric vehicles - Safety specifications - Part 1: On-board rechargeable energy storage system (RESS)	Modification, draft, having not yet been approved
	GB/T 18384.2-2001	Electric vehicles - Safety specifications - Part 2: Vehicle operational safety means and protection against failures	Modification, draft, having not yet been approved
	GB/T 18384.3-2001	Electric vehicles - Safety specifications - Part 3: Protection of persons against electric shock	Modification, draft, having not yet been approved
	GB/T 4094.2-2005	Marks of Controllers, Indicators and Signal Devices of Electric Vehicles	Presently in force
	GB/T 19596-2004	Terminology of electric vehicles	Presently in force; to be modified
	GB/T 18385-2005	Electric vehicles Power performance Test method	Presently in force
	GB/T 18386-2005	Electric vehicles Energy consumption and range Test procedures	Presently in force
	GB/T 18387-2008	Limits and test methods of magnetic and electric field strength from electric vehicles, Broadband, 9kHz to 30MHz	Presently in force
	GB/T 18388-2005	Electric vehicles - Engineering approval evaluation program	Presently in force
	GB/T 24552-2009	Electric vehicles - Windshield demisters and defrosters system - Performance requirements and test methods	Presently in force
	GB/T 19836-2005	Instrumentation for electric vehicles	Presently in force
Hybrids	GB/T 19751-2005	Hybrid electric vehicles - Safety Specification	Presently in force
	GB/T 19750-2005	Hybrid electric vehicles - Engineering approval evaluation program	Presently in force
	GB/T 19752-2005	Hybrid electric vehicles - Power performance - Test method	Presently in force
	GB/T 19753-2005	Test Methods for Energy Consumption of Light-duty Hybrid Electric Vehicles	Modified, having passed the review; 20091183-T-339
	GB/T 19754-2005	Test Methods for Energy Consumption of Heavy-duty Hybrid Electric Vehicles	Modified; draft; 20083094-T-339
	GB/T 19755-2005	Measurement Methods for Emissions from Light-duty Hybrid Electric Vehicles	Modified; plan approved by Environmental Protection Bureau
FCEV	GB/T 24554-2009	Performance Test Methods of FC Engine	Presently in force
	GB/T 24548-2009	Fuel cell electric vehicles - Terminology	Presently in force
	GB/T 24549-2009	Fuel cell electric vehicles - Safety Requirements	Presently in force

	QC/T 816-2009	Hydrogen Vehicle Technology Conditions	Presently in force
Storing energy devices	GB/T 18332.1-2009	Lead-acid batteries used for electric road vehicles	Presently in force
	GB/T 18332.2-2001	Metal Hydride Nickel Battery for Electric Road Vehicles	Presently in force
	GB/T 27930-2011	Communication protocols between electric vehicle's external conduction-type charging machine and battery management system	Presently in force
	GB/T 24533-2009	Cathode material of li-ion secondary battery graphite type	Presently in force
	GB/Z 18333.1-2001	Li-ion Battery for Electric Road Vehicles	Presently in force
	GB/Z 18333.2-2001	Zinc Air Batteries for Electric Road Vehicles	Presently in force
	QC/T 741-2006	Electrical Double-layer Capacitor for Vehicles	Presently in force; to be modified
	QC/T 742-2006	Lead-acid Battery for Electric Vehicles	Presently in force
	QC/T 743-2006	Li-ion Battery for Electric Vehicles	Presently in force; to be modified
	QC/T 744-2006	Metal Hydride Nickel Battery for Electric Vehicles	Presently in force; to be modified
	QC/T 840-2010	Specification and size of power battery for electric vehicles	Presently in force
	QC/T 842-2010	Communication protocol between electric vehicle battery management system and external charging machine	Presently in force
	QC/T 897-2011	Technical conditions of electric vehicle battery management system	Presently in force
Motor and control system	GB/T 18488.1-2006	The electrical machines and controllers for electric vehicles - Part 1: General specification	Modified; draft
	GB/T 18488.2-2006	The electrical machines and controllers for electric vehicles - Part 2: Test methods	Modified, draft
	GB/T 24347-2009	The DC/DC converter for electric vehicles	Presently in force
Power supply and charging	GB/T 18487.1-2001	Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements	Presently in force
	GB/T 18487.2-2001	Electric vehicle conductive charging system - Electric vehicles requirements for Conductive connection to an AC/DC supply	Presently in force
	GB/T 18487.3-2001	Electric vehicle conductive charging system - AC/DC Electric vehicle charging station	Presently in force
	GB/T 20234-2011	Connection set of conductive charging of electric vehicles - General requirements	Presently in force
Fuel Cells (from SAC/TC342)	GB/T 20042.1-2005	Proton exchange membrane fuel cell – Part 1: Terminology	In force
	GB/T 20042.2-2008	Proton exchange membrane fuel cell – Part 2: General technical specification of fuel cell stacks	In force
	GB/T 20042.3-2009	Proton exchange membrane fuel cell – Part 3: Test method for proton exchange membrane	In force



	GB/T 20042.4-2009	Proton exchange membrane fuel cell – Part 4: Test method for electrocatalysts	In force
	GB/T 20042.5-2009	Proton exchange membrane fuel cell – Part 5: Test method for membrane electrode assembly	In force
	GB/Z 21742-2008	Portable proton exchange membrane fuel cell power systems	In force
	GB/Z 21743-2008	Stationary proton exchange membrane fuel cell power system (separate)- Tests methods for the performance	In force
	GB/T 23645-2009	Test methods of fuel cell power system for passenger cars	In force
	GB/T 23751.1-2009	Micro fuel cell power systems- Part 1: Safety	In force
	GB/T 23751.2-2009	Micro fuel cell power systems- Part 2: Performance test methods	In force, based on IEC 62282-6-200:2007
FCEV (SAC/TC114 / SC27)	GB/T 24548-2009	Fuel cell electric vehicles: Terminology	In force
	GB/T 24549-2009	Fuel cell electric vehicles: Safety Requirements	In force
	GB/T 24554-2009	Performance test methods for fuel cell engines	In force
Hydrogen (SAC/TC309)	GB 3634-1995	Industry Hydrogen	In force
	GB/T 7445-1995	Pure Hydrogen, High Purity Hydrogen, Ultra Pure Hydrogen	In force
	GB 4962-1985	Technical Safety Regulation for Gaseous Hydrogen Use	In force
	GB 50177-2005	Design Code for Hydrogen Station	In force
	GB/T 19773-2005	Technical Requirements on Pressure Swing Adsorption System for Hydrogen Purification	In force
	GB/T 19774-2005	Specification of Water Electrolyte System for Producing Hydrogen, Specification of Hydrogen Purification System on Pressure Swing Adsorption	In force
	GB/T 24499-2009	Technologies glossary for gaseous hydrogen, hydrogen energy and hydrogen energy system	In force
	DGJ08-2055-2009 / J11330-2009	Technical specification of hydrogen refueling stations for fuel cell vehicles (Shanghai Local Code)	In force
Hydrogen (SAC/TC309)	GB 3634-1995	Industry Hydrogen	In force
	GB/T 7445-1995	Pure Hydrogen, High Purity Hydrogen, Ultra Pure Hydrogen	In force
	GB 4962-1985	Technical Safety Regulation for Gaseous Hydrogen Use	In force
	GB 50177-2005	Design Code for Hydrogen Station	In force

Table 20: Standards Having Passed the Review of the Standard Committee and Waiting for Approval and Promulgation (Source: Meeting with CATARC)

Category	Standard nature	Standard name	Formulation and modification
Purely electric	Industrial Standard	Double-layer Capacitor of Electric Urban Buses	Formulation
	National Standard	Technical Conditions for Purely Electric Passenger Cars	Formulation
Hybrid power	Industrial Standard	The Definition of the Types of Hybrid Power Vehicles	Formulation
	National Standard	Test Methods of the Energy Consumption of Light-duty Hybrid Power Electric Vehicles	Modification GB/T 19753-2005
Energy storing devices	Industrial Standard	The Specification and Dimension of the Power Battery Products for Electric Vehicles	Formulation
Power supply and charging	Industrial Standard	The Power Supply System for Double-layer Capacitor Electric Urban Buses	Formulation
	National Standard	General Requirements for the Charging Stations of Electric Vehicles	Formulation
	Industrial Standard	The Transmission-style Charging Interface of Electric Vehicles	Formulation
	Industrial Standard	Communication Protocol between Electric Automobile Battery Management System and Non-Vehicle-Borne Charging Machines	Formulation

Table 21: Standards (to be) formulated or modified (Source: Meeting with CATARC)

Category	Standard	Standard name	Formulation and modification
BEV	Industrial Standard	The Type Approval Test Procedures for Double-layer Capacitor Urban Buses	Formulation
	Industrial Standard	Technical Conditions for Low-speed Purely Electric Vehicles	Formulation
	National Standard	Safety Requirements of Electric Vehicles Part One: Vehicle-borne Rechargeable Energy Storing System	GB/T 18384.1-2001 Modification
	National Standard	Safety Requirements of Electric Vehicles Part Two: Operation Safety and Emergency Protection	GB/T 18384.2-2001 Modification
	National Standard	Safety Requirements of Electric Vehicles Part Three: Personnel Electric Shock Prevention	GB/T 18384.3-2001 Modification
	National Standard	Telecommunication Protocol of Local Area Network (CAN Bus) of Electric Vehicle Control System	Formulation
Hybrid power	National Standard	Test Methods of Energy Consumption of Light-duty Hybrid Power Electric Vehicles	Formulation
	National Standard	Test Methods of Energy Consumption of Heavy-duty Hybrid Power Electric Vehicles	GB/T 19753-2005 Modification

	Industrial Standard	Vehicle-borne Measurement Methods of Pollutant Discharge of Heavy-duty Hybrid Power Electric Vehicles	GB/T 19754-2005 Modification
	Industrial Standard	Test Methods of Power Assembly System Performance of Hybrid Power Electric Vehicles	Formulation
	QC/T XXX-XXXX	Failure Classification of Drive Motor System for Electric Vehicle	Formulation
	QC/T XXXX-XXXX	Types and definitions of hybrid electric vehicles	Formulation
	QC/T XXXX-201X	Technical specification of battery management system for electric vehicles	Formulation
FCEV	National Standard	Measurement of Energy Consumption of Fuel Cell Hybrid Power Electric Vehicles	Formulation
	National Standard	Technical Criteria of Demonstration Operation of Fuel Cell Electric Vehicles	Formulation
	National Standard	Auxiliary Criteria of Demonstration Operation of Fuel Cell Electric Vehicles	Formulation
	National Standard	Hydrogenation Guns of Fuel Cell Electric Vehicles	Formulation
	National Standard	Electric Pile Safety of Fuel Cell Electric Vehicles	Formulation
Energy storing devices	National Standard	Test Procedures of Li-ion Power Battery System for Electric Vehicles - Part 1: High Power Application	Formulation
	National Standard	Test Procedures of Li-Ion Power Battery System for Electric Vehicles - Part 2: High Energy Application	Formulation
	Industrial Standard	Technical Conditions of Battery Management System of Electric Vehicles	Formulation
	Industrial Standard	Cycling Performance Requirements of Power Battery for Electric Vehicles	Formulation
	National Standard	Safety Performance Requirements of Power Battery for Electric Vehicles	Formulation
	National Standard	General Requirements of Power Battery System for Electric Vehicles	Formulation
	National Standard	General Requirements of Battery Chambers of Power Battery System for Electric Vehicles	Formulation
	Industrial Standard	Double-layer Capacitor for Vehicles	QC/T 741-2006 Modification
	Industrial Standard	Lead-acid Battery for Electric Vehicles	QC/T 742-2006 Modification
	Industrial Standard	Li-ion Battery for Electric Vehicles	QC/T 743-2006 Modification
Industrial Standard	Metal Hydride Nickel Battery for Electric Vehicles	QC/T 744-2006 Modification	
Motor and	National Standard	Technical Conditions of Motor and its Controller for Electric Vehicles	GB/T 18488.1-2006

control system			Modification
	National Standard	Test Methods of Motor and its Controller for Electric Vehicles	GB/T 18488.2-2006 Modification
	National Standard	Test Methods of the Reliability of Driving Motor System for Electric Vehicles	Formulation
	Industrial Standard	Failure Models and Classification of Driving Motor and its Control System for Electric Vehicles	Formulation
	Industrial Standard	Interfaces of Driving Motor and its Control System for Electric Vehicles	Formulation
Energy supply and charging	Industrial Standard	The Power Supply System of Double-layer Capacitor Electric Urban Buses	Formulation
	National Standard	General Requirements of Charging Stations of Electric Vehicles	Formulation
	Industrial Standard	Technical Criteria of Charging Piles for Electric Vehicles	Formulation
	Industrial Standard	Technical Conditions of Vehicle-borne Charging Machines for Electric Vehicles	Formulation
	Industrial Standard	Technical Conditions of Non-vehicle-borne Charging Machines for Electric Vehicles	Formulation
	Industrial Standard	Universal Technical Requirements of Monitoring Management System of the Charging Stations for Electric Vehicles	Formulation
draft		Fuel cell electric vehicles - Onboard hydrogen system - Specifications	having not yet been approved
draft		Fuel cell electric vehicles - Refueling Receptacle - Specifications	having not yet been approved
draft		Technical specification of hydrogen system of FCEV	having not yet been approved
draft		Fuel cell electric vehicles - Maximum speed - Test method	having not yet been approved
draft		Energy consumption measurement of FCEV	having not yet been approved
National Standard		Technical Code for Hydrogen Fuelling Station	In development
Industrial Standard		Terminology of Hydrogen Energy	In development
Industrial Standard		Technical Safety Regulation for Gaseous Hydrogen	In development
Industrial Standard		Stationary flat steel ribbon wound vessels for storage of high pressure hydrogen	In development
Industrial Standard		Basic requirements for the safety of hydrogen systems	In development
Industrial Standard		Fiber-reinforced high-pressure hydrogen cylinders with aluminum liner for land vehicle tanks	In development

Table 22: Access Conditions and Appraisal Requirements for New-energy Vehicle Manufacturers (Annex 2 of the Administrative Rules) (Source: Meeting with CATARC)

<b>I</b>	<b>Manufacturing capability and conditions</b>
1	Manufacturer shall have necessary production site, storage site or facilities, as well as appropriate, neat production environment.
2*	<p>The processing precision and capability of production equipment shall match the features of product.</p> <p>Special facility, tooling and tools necessary for New Energy Vehicle production are required, safety protection measurements should be laid down and carried out. If necessary, charger is needed.</p>
<b>II</b>	<b>Design and development capability</b>
3	Manufacturer shall set up the product R&D body, responsible for the activities in the design and development of new-energy vehicles. The professionals shall be capable with the design and development work, timely follow up both local and foreign latest developments regarding new-energy vehicle technologies, could follow up, evaluate and transform national and professional technical standards and regulations, and could accomplish system development, complete vehicle matching, and other activities.
4	<p>Manufacturer shall establish the product design and development flow adaptive to the enterprise itself as well as the design specifications and job instructions intended for directing concrete design work; to the minimum, the coverage shall involve the entire design course of proprietary product and complete vehicle, management of technical documents, standardization, etc.; besides, they could be applied in actual work.</p> <p>The process of design and development could be similar with that of conventional vehicle, focusing on the steps and requirements concerning design and development of New Energy Vehicle.</p> <p>The design criteria shall guide the design and evaluation of the self-produced and refitted New Energy Vehicles, R&amp;D and validation of purchased assembly function and performance; include, to the minimum, the complete vehicle control, motor control, transmission and power coupling control, onboard energy management, onboard recharger management, communication and data exchange system and subsystem.</p>
5*	<p>Manufacturer shall hold the core technology of at least one of the following three systems: on-board energy system, power transmission system, and control system of the new-energy vehicle.</p> <p>Manufacturer shall well know and master the core technology: technical principle, structure, function and performance requirements, control method, communication and data exchange, failure mode, security risk, evaluation test and diagnosis and solution of main default patterns.</p> <p>Manufacturer shall also understand and determine the boundary division and interface definition of control system, onboard energy system AND driving system.</p> <p>The manufacturer should have the intellectual property right of the core technology</p>

	(include, to the minimum, modification right and usufruct of design).
6*	Manufacturer shall have the pilot production capability adaptive to the complete vehicle, systems and critical assemblies of the new-energy vehicle to be manufactured, including test validation adaptive to self-research of the manufacturer.
7	The design & development input for product and manufacturing process shall be sufficient and appropriate; the design & development output for product and manufacturing process shall be put forward in a way that verification can be conducted specifically in consideration of the design input, which shall be reviewed, demonstrated and confirmed, and related records shall be retained.
8	Prior to executing design amendment of product and manufacturing process (including any amendment arising from the supplier), review (including reviewing the effects of the design amendment on product constituents and the delivered products), demonstration and approval shall be conducted again; if appropriate, customer's consent shall be gained; besides, the requirements for conformity of production and product traceability shall be met.
<b>III</b>	<b>Capability in assuring conformity of production</b>
9	The staff related with product quality shall have corresponding capability, and operate strictly in accordance with procedural documents, job instructions or relevant process documents.  It's necessary to establish and implement the staff capability evaluation & appraisal system, and retain appropriate records.
10	Documented inspection rules or inspection job instructions shall be developed for the important receiving inspection, process inspection and final inspection; inspections and demonstration shall be carried out as per the stipulated items, approaches, frequency and limit values; particular attentions shall be paid to the compliance with safety, environmental protection and energy conservation regulations, the special requirements of clients, and the requirements for testing items specific to new-energy vehicle.  As for key and special processes, the operation instruction shall be developed, clear-cut process requirements and control method shall be made available, the operation shall be normalized, and process surveillance and measurement shall be implemented.
11	The inspection equipment for electric performance and safety, temperature measurement and dangerous gas concentration of power battery system and drive motor and safety test line for the completed vehicles are required.  Test performance of control system and its subsystem, at least including function and performance of controller hardware and software (control unit), is required.  Test performance of main function and performance with regard to New Energy Vehicles, at least including power performance and economy (energy consumption), is required.

12	<p>It is required to establish the entire product traceability system from the suppliers of key components and assemblies to the delivery of complete vehicle. In case of any serious common-nature issue regarding product quality, safety, environmental protection, and energy conservation, the cause should be ascertained quickly and the recall scope can be decided; in case customer requests for spare parts, the technical status of the concerned spare part could be determined quickly.</p>
13*	<p>Products (complete vehicle, components and assemblies) shall conform to the national compulsory standards and verified technical norms; the products to enter the formal manufacturing stage shall also meet the requirements for conformity of production.</p> <p>In case of any big change regarding manufacturer's capacity in assuring conformity of production (including staff capability, manufacturing/inspection equipment, procured raw materials, components, assemblies and their suppliers, manufacturing technology, work environment, management system, etc.), sufficient evidences shall be made available to prove that the original requirements could be still met.</p>
<b>IV</b>	<b>Product sales and after-sales services</b>
14	<p>It is required to establish the complete, documented management systems on sales and after-sales services, including personnel training (manufacturer's staff, contracted sales and repair personnel, customers, or staff of using entity), construction of sales and after-sales service network, supply of repair services, supply of spare parts, handling of claims, feedback of information, recall of complete vehicle, recovery of complete vehicle and components (e.g., battery), client management, etc.; besides, manufacturer shall be capable of implementing such systems.</p> <p>It shall be noted that the requirements for sales and construction of after-sales service network shall apply to the products of mature stage only.</p>
15	<p>Repair services and supply of spare parts shall meet all customers' requirements; it shall be assured that, in the life cycle of the product, customers could obtain reliable spare parts, repair and consulting services within the specified time limits as committed by the manufacturer.</p> <p>After service system should be capable of controlling default detection of systems and subsystems and maintenance, in addition to independent or cooperative with suppliers to complete the after service items as same as those for conservative vehicles. It should be also capable with basic default detection and replacement for onboard energy, driving system, onboard charger and other systems and assemblies.</p> <p>As for the products at start-up and growth stages, the commitments on after-sales services shall be sufficient and appropriate, which shall be definitely communicated to each party and shall be strictly implemented.</p>
16	<p>It is necessary to establish such a mechanism that quality related information could be timely fed back.</p> <p>As for the products at start-up and growth stages, manufacturer shall set up archive for every vehicle, in addition to regular follow-up and quality information management thereon.</p>

<b>V</b>	<b>Components purchase management</b>
17	Set up component purchase and management system, and define the evaluation criteria to evaluate and select suppliers and to purchase from the qualified suppliers. The evaluation covers product safety, quality management system, technology, manufacture and inspection capability of suppliers. The relevant record shall be kept.



## II. List of Contacts

Name	Company	Contacts
<b>Battery</b>		
Clive Huang, Vice President	Amperex Technology Ltd.	<a href="mailto:huangsy@atlbattery.com">huangsy@atlbattery.com</a> +86 139 29278879
Dr. Chegnwei XIAO responsible for bat- tery testing standards	Tianjin Institute of Power Sources	<a href="mailto:cwxiao@yahoo.com">cwxiao@yahoo.com</a>
Prof. WANG Zi-Dong	North China Vehicle Research Institute (NOVERI)	<a href="mailto:wangzidongd@sina.com">wangzidongd@sina.com</a>
WU Feng, Chief Scientist of National (973) Ad- vance Secondary Battery Project	Beijing Institute of Technology	
<b>Vehicle</b>		
Prof. Jianqiu LI	Tsinghua University Beijing	<a href="mailto:lijianqiu@Tsinghua.edu.cn">lijianqiu@Tsinghua.edu.cn</a> + 86-10-62783437
Prof. Ouyang Ming- gao,	Tsinghua University Beijing	<a href="mailto:ouymg@tsinghua.edu.cn">ouymg@tsinghua.edu.cn</a>
<b>Infrastructure</b>		
Christian Hochfeld, Programme Director	GIZ Beijing	<a href="mailto:Christian.hochfeld@giz.de">Christian.hochfeld@giz.de</a> +86 186 18306670
<b>Science &amp; Research</b>		
Pan Mu, CEO	Wuhan WUT New Ener- gy Co. Ltd (for FuelCell PEM Mem- brane)	<a href="mailto:panmu@whut.edu.cn">panmu@whut.edu.cn</a> +86 21 69580309
Dr. Fu Gangzhan Director Professor	Tongji University, Centre for Automobile Industry (CAI)	<a href="mailto:Dr.fgz@163.com">Dr.fgz@163.com</a> +86 27 87925390
Dr. Ma Jun	Tongji University, Centre for Automobile Industry (CAI)	<a href="mailto:majun@gmx.net">majun@gmx.net</a>
Dr. Wu Zhixin, Vice President	China Automotive Tech- nology Research Centre (CATARC)	<a href="mailto:wuzhixin@catarc.ac.cn">wuzhixin@catarc.ac.cn</a> +86 22 84772981
Boris Zhang,	China Automotive Tech-	<a href="mailto:Boris-zhang@live.cn">Boris-zhang@live.cn</a>

Engineer	nology Research Centre (CATARC)	+86 10 63702966 8033
Prof. Sun , Head of FC Development	Dalian Institute of Chemical Physics (DICP)	<a href="mailto:ggsun@dicp.ac.cn">ggsun@dicp.ac.cn</a> +86 411 84379063 +86 186 0986 1360
Li Gang, Regulations, Certification	Mercedes-Benz R&D China, Beijing	<a href="mailto:gang.li@daimler.com">gang.li@daimler.com</a> +86 139 11315986
Ralf Noha, Homologation	Daimler AG, Sindelfingen	<a href="mailto:Ralf.noha@daimler.com">Ralf.noha@daimler.com</a> +49 7031 90 82973
Dr. Katharina Seifert	VW Research China	<a href="mailto:Katharina.seifert@volkswagen.com.cn">Katharina.seifert@volkswagen.com.cn</a> +86 21 69588627
<b>Politics</b>		
Xing Jijun, Deputy Director General	China Science and Technology Exchange Centre (CSTEC) des MoST	<a href="mailto:xingjj@cstec.org.cn">xingjj@cstec.org.cn</a> +86 10 6859 8005
Tong Wei, Director EU Affairs	China Science and Technology Exchange Centre (CSTEC) des MoST	<a href="mailto:tongw@cstec.org.cn">tongw@cstec.org.cn</a> +86 10 6859 8075
Chen Jiachang, Deputy Director	MoST	
Wang Qingyun, Director-General	Department of Transportation, National Development and Reform Commission (NDRC)	
Gong Jun	Shanghai Edrive Co. Ltd, State 863 Committee	
<b>Demonstration</b>		
Dr. Fu Jun, Chairman of Board	Wuhan Electric Vehicle Demonstration Co. Ltd.	<a href="mailto:fi@dfev.com">fi@dfev.com</a> +86 27 827878322010
DING Xiaohua	Shanghai International Auto City	

# Regional Trends in Electric mobility

Subproject within the research  
project:

Global Perspectives and LCA of  
Electric mobility

- STROM-Assist

## Regional study of Japan

Funded by the German Federal Ministry of  
Education and Research

Funding code 13N11856

**Regional study Japan**



Federal Ministry  
of Education  
and Research

**Contributing authors from IGES:**

Xin Zhou<sup>a)</sup>, Kei Kabaya<sup>b)</sup>, Ambiyah Abdullah<sup>c)</sup>

Green Growth and Green Economy Area

Institute for Global Environmental Strategies

2108-11 Kamiyamaguchi, Hayama,

Kanagawa, 240-0115 Japan

<sup>a)</sup> Tel: +81-46-855-3863, Fax: +81-46-855-3809, E-mail: zhou@iges.or.jp

<sup>b)</sup> E-mail: kabaya@iges.or.jp

<sup>c)</sup> E-mail: abdullah@iges.or.jp

This study was carried out assigned by and in collaboration with **Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy**. The chapters that have been contributed by Wuppertal Institute are listed below.

Contributing authors from Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy are:

Thorsten Koska thorsten.koska@wupperinst.org

Hanna Hüging hanna.hueging@wupperinst.org

Lukas Korella lukas.korella@wupperinst.org

Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy is responsible for the following chapters:

Kurzfassung

3.1.8 Stakeholder opinions on government activities and policies

3.2.4 Stakeholder opinions on the R&D landscape

3.3.6 Stakeholder opinions on economy and industry

3.4.4 Stakeholder opinions on the xEV market

---

# Contents

<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>14</b>
<b>1 THE PROJECT STROM-ASSIST</b> .....	<b>16</b>
1.1 PROJECT BACKGROUND: STROM AND STROM-ASSIST.....	16
1.2 SCOPE OF THE SUBPROJECT “REGIONAL TRENDS IN ELECTRIC MOBILITY”.....	16
1.3 METHODOLOGY REGIONAL STUDY JAPAN.....	17
<b>2 THE STUDY REGION</b> .....	<b>19</b>
2.1 CLASSIFICATIONS AND STATISTICS IN THE STUDY REGION.....	21
2.1.1 <i>Vehicle classification</i> .....	21
2.1.2 <i>Charging infrastructure classification</i> .....	22
<b>3 REGIONAL TRENDS IN ELECTRIC MOBILITY IN JAPAN</b> .....	<b>23</b>
3.1 GOVERNMENT / POLICIES / PUBLIC INFRASTRUCTURE.....	23
3.1.1 <i>Actors</i> .....	23
3.1.2 <i>Objectives and Strategies</i> .....	24
3.1.3 <i>Regulatory framework</i> .....	34
3.1.4 <i>Financial support and incentives</i> .....	39
3.1.5 <i>Power generation, supply and storage</i> .....	50
3.1.6 <i>Demonstration Projects</i> .....	57
3.1.7 <i>Provision of infrastructure</i> .....	60
3.1.8 <i>Stakeholder opinions on government activities and policies</i> .....	63
3.2 RESEARCH FUNDING AND INSTITUTIONS.....	68
3.2.1 <i>Actors</i> .....	68
3.2.2 <i>Research Funding</i> .....	81
3.2.3 <i>Status Quo of R&amp;D</i> .....	83
3.2.4 <i>Stakeholder opinions on the R&amp;D landscape</i> .....	87
3.3 ECONOMY AND INDUSTRY.....	90
3.3.1 <i>Actors</i> .....	90
3.3.2 <i>Vehicle, vehicle concepts, powertrain and transportation concepts</i> .....	100
3.3.3 <i>Vehicle technology and vehicle components</i> .....	111
3.3.4 <i>Charging technology and infrastructure</i> .....	116
3.3.5 <i>Business models and mobility concepts</i> .....	120
3.3.6 <i>Stakeholders opinions on economy and industry</i> .....	124
3.4 CONSUMER AND MARKET.....	126
3.4.1 <i>Market development of electric vehicles up to now</i> .....	126
3.4.2 <i>User / Consumer attitude and behaviour</i> .....	130
3.4.3 <i>Market perspectives</i> .....	135
3.4.4 <i>Stakeholder opinions on the xEV market</i> .....	144
3.5 CONCLUSION.....	147
<b>REFERENCES</b> .....	<b>148</b>
<b>ANNEX</b> .....	<b>I</b>

ANNEX 1 DAIHATSU COMPANY .....	II
ANNEX 2 MAZDA.....	XII
ANNEX 3 MITSUBISHI .....	XVII
ANNEX 4 NISSAN .....	XIX
ANNEX 5 SUBARU COMPANY .....	XXX
ANNEX 6 SUZUKI COMPANY .....	XXXII
ANNEX 7 TOYOTA COMPANY .....	XLI

## List of tables

Table 1	Overview about the interview partners of the research trip to Japan .....	18
Table 2	Passenger vehicle classifications under the Road Vehicles Act (for registration and inspection, etc.) .....	21
Table 3	Passenger vehicle classifications under the Road Traffic Act (for driver's license issuance, etc.) .....	21
Table 4	Motorcycles classifications under the Road Vehicle Act .....	21
Table 5	Motorcycles classifications under the Road Traffic Act .....	22
Table 6	Classification of charging facilities .....	22
Table 7	Characteristics of major PEVs marketed in Japan .....	25
Table 8	Diffusion targets for the next-generation vehicles .....	29
Table 9	Certification of vehicles with advanced fuel efficiency .....	31
Table 10	Certification of vehicles with low emissions .....	31
Table 11	Current situations about LEVs in Japan .....	32
Table 12	Motor vehicle emissions regulations in Japan .....	36
Table 13	Heavy-duty diesel truck emissions regulations in Japan .....	39
Table 14	State of the subsidy system in 2012 .....	41
Table 15	State of the subsidy system from 2003-2011 .....	41
Table 16	Summary of the policies supporting the promotion of low-emission vehicles .....	43
Table 17	Acquisition and tonnage tax reductions/exemptions and eligibility requirements for new vehicles .....	47
Table 18	Automobile tax reductions for passenger cars and small trucks and buses (GVW $\leq$ 2.5t) for FY2012-213* .....	49
Table 19	Automobile tax incentives for used passenger cars and small trucks and buses (GVW $\leq$ 2.5t) for FY2012-213* .....	50
Table 20	Classification of private charging .....	61
Table 21	Daihatsu company Profile .....	90
Table 22	Honda company profile .....	91
Table 23	Financial report of Honda Motor Co., Ltd .....	92
Table 24	Mazda company profile .....	93
Table 25	Mitsubishi corporate profile .....	94
Table 26	Nissan company profile .....	95
Table 27	Fuji Heavy Industries profile .....	97
Table 28	Suzuki profile .....	98
Table 29	Toyota profile .....	99
Table 30	Specifications of micro commuter prototype .....	101
Table 31	Joint venture or cooperation for battery supplier of electric mobility in Japan* .....	115
Table 32	Type of charging facilities .....	116
Table 33	Characteristics for conventional and new outlets .....	118
Table 34	Subsidies for the introduction of chargers in EV/PHEV Towns .....	119
Table 35	Operator views on PEV Taxis .....	120
Table 36	Estimated PHEVs, BEVs and HEVs in use from 2005-2011 in Japan .....	126
Table 37	Motor vehicles in use (in vehicle units) .....	127
Table 38	Production of PHEVs, BEVs and HEVs from 2005-2011 in Japan .....	129
Table 39	Sales of PHEVs, EVs and HVs from 2005-2011 in Japan .....	130

Table 40	Market perspectives for Kei BEVs.....	135
Table 41	Market perspectives for small passenger BEVs.....	136
Table 42	Market perspectives for gasoline passenger PHEVs .....	137
Table 43	Estimation of BEVs and rapid charge facilities.....	139
Table 44	Estimation of the next-generation vehicles.....	141
Table 45	Estimation of reductions in the consumption of gasoline and light oil by the dissemination of the next-generation vehicles .....	142
Table 46	Estimation of CO <sub>2</sub> reductions by the dissemination of the next-generation vehicles <sup>1</sup> ....	143
Table 47	Electricity consumption by BEVs and PHEVs (GWh/year).....	144
Annex 1. 1	Members of boards .....	II
Annex 1. 2	Major shareholders at the end of March 2012.....	IV
Annex 1. 3	Major related companies .....	V
Annex 1. 4	Major domestic business.....	VII
Annex 1. 5	Overseas office at each country.....	X
Annex 1. 6	Companies invested in overseas .....	XI
Annex 2. 1	Global production (Units).....	XII
Annex 2. 2	Global sales (Units).....	XII
Annex 2. 3	Directors, officers and auditors.....	XIII
Annex 2. 4	Overseas .....	XVI
Annex 3. 1	Mitsubishi board members .....	XVII
Annex 3. 2	Manufacturing centers and related facilities .....	XVIII
Annex 4. 1	Representative board members of Nissan .....	XIX
Annex 4. 2	Corporate officer of Nissan.....	XX
Annex 4. 3	Major offices and facilities of Nissan in Japan.....	XXIII
Annex 4. 4	List of BEVs produced by Nissan by year .....	XXVIII
Annex 5. 1	Boards of Director/Executive Director .....	XXX
Annex 6. 1	History of Suzuki .....	XXXIII
Annex 6. 2	Head office, plants and facilities.....	XXXIV
Annex 6. 3	The Suzuki group principal subsidiaries of the Suzuki group in Japan .....	XXXV
Annex 6. 4	Major affiliate distributors .....	XXXVI
Annex 7. 1	Toyota executives .....	XLI
Annex 7. 2	Toyota group & supplier organizations.....	XLIII
Annex 7. 3	Regional headquarters .....	XLV
Annex 7. 4	Japanese production and dealer site .....	XLVI
Annex 7. 5	List of BEVs and PHEVs produced by Toyota .....	XLVII



## List of figures

Figure 1	Organisational chart of policy making in eletromobility and related areas in Japan.....	24
Figure 2	Proposal for Full-fledged Dissemination of New Generation Vehicles .....	26
Figure 3	Outline of the Next Generation Vehicle Strategy 2010.....	27
Figure 4	Roadmap for the next-generation vehicles.....	28
Figure 5	Battery R&D Roadmap.....	29
Figure 6	Number of facilities for the provision of fuels and electricity charge in Japan (2012).....	32
Figure 7	Operation chart of the subsidy system for clean energy vehicles .....	39
Figure 8	Primary energy supply in Japan .....	51
Figure 9	Basic perspectives of the New National Energy Strategy .....	53
Figure 10	Emissions target for transportation sector by 2030 .....	56
Figure 11	EV/PHEV Towns (up to December 2010) .....	58
Figure 12	Outline of the EV/PHEV Towns Concept .....	58
Figure 13	Daihatsu outline facilities.....	91
Figure 14	Nissan's alliance and partnership.....	96
Figure 15	Global production and retail of Nissan Company .....	97
Figure 16	Daihatsu HEVS, Daihatsu UFE III, Daihatsu ESSE .....	100
Figure 17	Micro commuter prototype.....	101
Figure 18	Infiniti Essense .....	102
Figure 19	Infiniti BEV.....	102
Figure 20	Infiniti-M hybrid .....	103
Figure 21	Infiniti LE concept.....	103
Figure 22	Lexus RX 400h.....	104
Figure 23	Lexus GS 450h.....	104
Figure 24	2013 CT hybrid.....	105
Figure 25	2013 hybrid RX model.....	105
Figure 26	2013 hybrid ES.....	106
Figure 27	2013 GS hybrid car .....	106
Figure 28	LS hybrid car .....	106
Figure 29	Mazda 2008 tribute hybrid-electric car .....	107
Figure 30	The first Nissan BEV "Tama BEV" .....	108
Figure 31	Nissan LEAF for Japanese model.....	108
Figure 32	Nissan e-NV200 .....	109
Figure 33	Toyota strategies to take measures in environment-related issues .....	109
Figure 34	Toyota hybrid technologies .....	110
Figure 35	Size of vehicles produced by Toyota Company .....	110
Figure 36	Toyota plug-in hybrid vehicle.....	111
Figure 37	Toyota FT-BEV III.....	111
Figure 38	Secondary battery for Toyota PHEV .....	112
Figure 39	Electric motor for Toyota PHEV .....	112
Figure 40	Power control unit for Toyota PHEV.....	113
Figure 41	Battery charging system for Toyota PHEV.....	113
Figure 42	R&D of next-generation gatteries promotion research and de facto standards for next-generation batteries with collaboration framework between R&D and production engineering.....	114

---

Figure 43	All- solid-state battery with directly connected cells enables smaller package .....	114
Figure 44	Lithium-ion battery.....	115
Figure 45	Approach to develop public charging infrastructure .....	117
Figure 46	Examples of rapid charger installation in Japan.....	118
Figure 47	Proactive development by local developments and promotion scheme members.....	119
Figure 48	Logos used for publicity of charging facilities in Japan .....	119
Figure 49	Promotion Measures implemented by local governments.....	120
Figure 50	Route buses in Shichinohe Town, Aomori Prefecture.....	122
Figure 51	Partnerships scheme with neighboring local governments .....	122
Figure 52	BEV tourism in Kyoto .....	123
Figure 53	BEV Tourism in Nagasaki and ITS Project.....	123
Figure 54	Relation between cost reduction and production level .....	138
Figure 55	Simulation of cost levels and production levels.....	138
Figure 56	Battery costs of different types of BEVs and PHEVs .....	139
Figure 57	Estimation of BEVs and charge facilities.....	140

## Abbreviations

BEV	Battery electric vehicle representing all-electric passenger car
BSI	Blind Spot Intervention
CCS	Carbon capture and storage
CDV	Clean diesel vehicle
CEV	Clean energy vehicles (prescribed in the Kyoto Target Achievement Plan as high-efficient and low emission vehicles)
CNG	Compressed natural gas
FCEV	Fuel cell electric vehicle
FHI	Fuji Heavy Industries
GTL	Gas to liquid
GVW	Gross vehicle weight
GW	Gigawatt
HDV	Hydrogen vehicles
HEV	Hybrid electric vehicle
IEC	International Electrotechnical Commission
IGCC	Integrated gasification combined cycle
ISO	International Organization for Standardization
JAMA	Japan Automobile Manufacturers Association
JARI	Japan Automobile Research Institute
JSAE	Japan Society of Automotive Engineers
JSPS	Japan Society for the Promotion of Science
JST	Japan Science and Technology Agency
LDP	Lane Departure Prevention
LDW	Lane Departure Warning
LED	Light-emitting diode
LEV	Low-emission vehicle
LNG	Liquefied natural gas
LPGV	Liquefied petroleum gas vehicle
METI	Ministry of Economy, Trade and Industry
MEXT	Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology
MLIT	Ministry of Land, Infrastructure, Transportation and Tourism

MOEJ	Ministry of the Environment
NEDO	New Energy and Industrial Technology Development Organization
NGV	Natural gas vehicles
PEV	Plug-in electric vehicles, including PHEV and BEV
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicle
SUV	Sport utility vehicles
TEPCO	Tokyo Electric Power Company
TWh	Terawatt hour
UFE	Ultra Fuel Economy
xEV	Electric vehicle, including HEV, PHEV and BEV
WI	Wuppertal Institute

## Kurzfassung

*Anmerkung: Die hier dargestellte Kurzfassung fasst die Gesamtergebnisse der Regionalstudie Japan, wie im Projektendbericht<sup>1</sup> Kapitel 5.2.4 zusammen. Die Informationen wurden zum Teil gegenüber der beauftragten Regionalstudie Japan auf Basis zusätzlicher Quellen aktualisiert und ergänzt.*

Die Regierung Japans fördert Elektrofahrzeuge aus ökonomischen und ökologischen Gründen. Mit einem Anteil von 20 % an Produktion und Arbeitsplätzen ist die Automobilindustrie eine Schlüsselindustrie in Japan. Die Regierung will durch die Förderung von xEVs die Erhaltung ihrer globalen Wettbewerbsfähigkeit gewährleisten. Gleichzeitig strebt die Regierung eine Verringerung von Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor an und sieht Elektrofahrzeuge als wichtiges Element ihrer CO<sub>2</sub>-Reduktionsstrategie. Im Zuge der Tsunamikatastrophe und des Atomunfalls in Fukushima im Jahr 2011 haben xEVs außerdem eine Bedeutung als mögliche Energiespeicher im Falle von Katastrophen und Stromausfällen gewonnen. Die batteriebasierte Elektromobilität wird unter den möglichen zukünftigen alternativen Fahrzeugtechnologien als das Konzept mit der höchsten Marktreife betrachtet.

In der Politik zur Förderung der Elektromobilität in Japan nehmen vier Ministerien eine zentrale Rolle ein: Das Ministerium für Wirtschaft, Handel und Industrie (METI), das Ministerium für Land, Infrastruktur, Transport und Tourismus (MLIT), das Ministerium für Umwelt (MOEJ) sowie das Ministerium für Bildung, Kultur, Sport, Wissenschaft und Technologie (MEXT). Das METI, insbesondere die Automobilabteilung, ist für den Bereich Automobilherstellung sowie für verwandte Branchen verantwortlich. Hierzu zählen vor allem die Entwicklung von Pkw betreffenden Maßnahmen, die FuE im Bereich Batterie, Motoren und magnetische Materialien in enger Zusammenarbeit mit privaten Unternehmen sowie die Festlegung von Kraftstoffeffizienzstandards. Die Automobilabteilung des MLIT ist für die Politik hinsichtlich öffentlicher Verkehrsmittel, LKWs, Bussen und Taxen zuständig. Hinzu kommen Fragen der Automobilsicherheit, Politiken mit Umwelt- und Technikbezug und die Formulierung von Fahrzeugnormen. Das MEXT leitet und fördert FuE für Automobile an den Hochschulen, während das MOEJ für die Formulierung von Emissionsvorschriften zuständig ist.

Als wichtigste Strategie hinsichtlich Elektromobilität hat das METI im April 2010 die "Next Generation Vehicle Strategy 2010" vorgelegt. Als "Next Generation Vehicles" werden Hybrid- und Plug-in-Hybridfahrzeuge (HEVs und PHEVs), sowie Fahrzeuge mit Batterieantrieb (BEVs) und Brennstoffzellenantrieb (FCEVs), saubere Diesel- (CDV) sowie Fahrzeuge mit Antrieb auf Gasbasis (CNG) bezeichnet. Die Strategie zielt darauf ab, die Verbreitung dieser Fahrzeuge durch einen integrierten Ansatz zu erhöhen. Dieser beinhaltet die Förderung von FuE und die Erzeugung von Skaleneffekten durch Massenproduktion. Dadurch sollen die Leistung von Akkus erhöht und die Kosten gesenkt werden; Bauteile sollen leichter und energieeffizienter werden und die internationale Standardisierung soll vorangetrieben

---

<sup>1</sup> DLR und Wuppertal Institut (2014): Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität (STROM Begleitung). Abschlussbericht des DLR und des Wuppertal Instituts im Rahmen des Themenfeldes „Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM)“ an das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Stuttgart, Wuppertal, Berlin.

werden. Die Strategie enthält sechs Teilstrategien: Gesamtstrategie, Batteriestrategie, Ressourcenstrategie, Infrastrukturstrategie, Systemstrategie und die Strategie zur internationalen Standardisierung (Abb. 0-1). Offizielles Ziel ist, dass BEV und PHEV mehr als 15 % der Neuwagenverkäufe im Jahr 2020, sowie mehr als 20 % der Fahrzeugverkäufe im Jahr 2030 ausmachen werden. Bezogen auf die derzeitigen jährlichen Neuzulassungen (4,5 Mio. Pkw in 2013), entsprächen 675 000 PEV-Neuzulassungen 2015 bzw. 900 000 PEV-Neuzulassungen 2020 diesem Ziel.

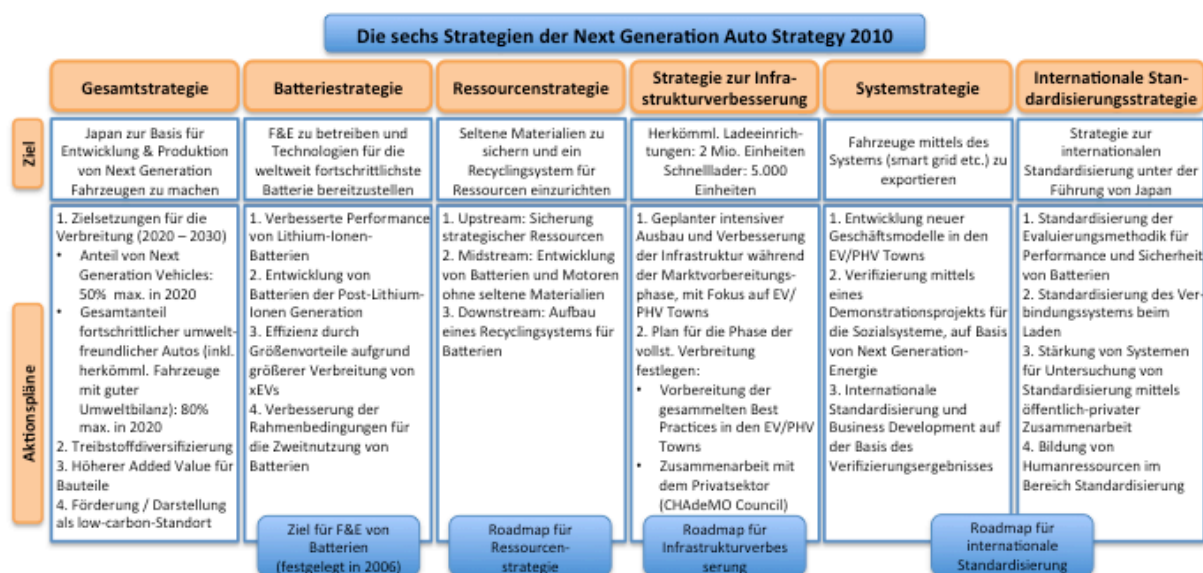


Abb. 0-1 Darstellung der Next Generation Vehicle Strategy 2010

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an (METI 2010)

Verschiedene politische Maßnahmen zielen auf effiziente bzw. umweltfreundlichere Fahrzeuge ab, wobei je nach Programm “next generation vehicles”, “low-emission vehicles” oder “clean energy vehicles” adressiert werden. Obwohl sich die Fahrzeugkategorien leicht voneinander unterscheiden, sind Elektrofahrzeuge in allen drei Begriffen enthalten. Eine hohe Fahrzeugeffizienz soll in Japan insbesondere durch die japanische Kraftstoffeffizienzstandards des “top runner programme” werden: Für Pkws lagen diese bei 14,4 km/l für 2010 und liegen bei 16,8 km/l für 2015. Im Jahr 2010 betrug der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch neuer heimischer Pkws 18,7 km/Liter, sodass die Ziele deutlich übertroffen werden konnte. Hinzu kommen die vom MOEJ festgelegten Emissionsregulierungen für Kohlenstoffmonoxid, Kohlenwasserstoffe sowie Stickoxide für Pkws, LKWs, Busse und Motorräder. Um das öffentliche Bewusstsein für umweltfreundlichere Fahrzeuge zu erhöhen, können Fahrzeuge, die entsprechend zertifiziert sind, mit zwei codierten Aufklebern versehen werden; einer kennzeichnet die Kraftstoffeffizienz und einer das Emissionslevel.

Die japanische Regierung vergibt seit 2009 Subventionen für die Anschaffung von Fahrzeugen, die in die Kategorie “Next Generation Vehicles” fallen, sowie für die Installation von Infrastruktur zur Lieferung von Kraftstoff, wie z. B. Schnellladestationen. Im Bereich der elektrifizierten Fahrzeuge können BEV und PHEV Subventionen erhalten. HEV wurden im vorherigen Förderprogramm von 2003 bis 2009 bezuschusst. Die Zuschüsse werden aus

Mitteln des METI zur Verfügung gestellt und vom "Next Generation Vehicle Promotion Center" (NeV) vergeben. Das staatliche Budget für das Subventionssystem betrug 4,27 Mrd. Yen (36,7 Mio. Euro) im Jahr 2009, stieg auf 28,2 Mrd. Yen (242,6 Millionen Euro) im Jahr 2011, 29,2 Mrd. Yen (251 Millionen Euro) im Jahr 2012 und auf 30 Mrd. Yen (258 Millionen Euro) im Jahr 2013. Der maximale Zuschuss für batteriebetriebene und Plug-in-Fahrzeuge, einschließlich normaler Pkw und Kei-Cars<sup>2</sup> lag 2011 bei 1 Mio. Yen (8 603 Euro) pro Fahrzeug. Für vier- und zweirädrige Motorräder betrug die Subvention 70 000 Yen (602 Euro) und für saubere Dieselfahrzeuge 400 000 Yen (144 Euro). Die Installation von normalen und Schnellladestationen wird, je nach Art der Anlage, mit 200 000 Yen (1 721 Euro) bis zu 1,5 Mio. Yen (12 904 Euro) bezuschusst. Einem Interview mit METI zufolge werden die Subventionen als Pauschale allen Kunden bzw. Investoren, sowohl privaten als auch öffentlichen, angeboten. Im Jahr 2012 deckte der Zuschuss bis zu 50 % der Preisdifferenz zwischen einem BEV, PHEV oder „Clean Diesel Vehicle“ und einem entsprechenden konventionellen Fahrzeug ab. 2013 wurde der Fördersatz auf bis zu zwei Drittel der Preisdifferenz erhöht. Der Zuschuss für Ladeinfrastrukturanlagen deckt bis zu 75 % der Gesamtkosten der Installation einer Schnellladestation oder einer CNG-Station ab. Ergänzend wurde bis zu 533 Mio. Yen (4,6 Mio. Euro) als Subvention für Verwaltungskosten im Rahmen der Förderung umweltfreundlicher Fahrzeuge, wie zum Beispiel der Ausrichtung von Konferenzen, Outsourcing und Werbung, zur Verfügung gestellt.

Zusätzlich bieten mehrere japanische Regionalregierungen weitere finanzielle Anreize: So erteilt die Präfektur Kanagawa zusätzliche finanzielle Unterstützung in Höhe von etwa der Hälfte des nationalen Subvention für BEV.

		2008	2009	2010	2011	2012
<b>Elektrofahrzeuge inkl. Plug-in-Hybrids</b>	Anzahl geförderter Fzg.*	84	1 604	6 544	9 283	16 410
	Subventionsvolumen in Mio. Euro	0,2	18,5	47,6	58,4	82,9
<b>Ladestationen</b>	Anzahl geförderter Stationen	1	141	724	1 846	998
	Subventionsvolumen in Mio. Euro	0,0	1,8	3,8	4,5	2,2

\* Normale und Kei-Cars, sowie zwei- und vierrädrige Motorräder

Tab. 0-1 Entwicklung des japanischen Subventionssystems 2008 - 2012

Quelle: (NEV o. J.)

Tab. 0-1 gibt einen Überblick über die verschiedenen finanziellen Anreize, die von der japanischen Regierung zur Förderung von Elektrofahrzeuge und entsprechender Infrastruktur eingesetzt werden. Neben den dargestellten finanziellen Anreizen gibt es zusätzlich spezielle Subventionen für Brennstoffzellen- und Wasserstofffahrzeuge auf kommunaler Ebene sowie Subventionen für erdgasbetriebene oder Hybrid-Busse und Lkw.

Experten aus Industrie und Beratungsunternehmen wiesen auf das mögliche Problem einer zeitlichen Lücke im Anschluss an die Förderprogramme hin: Während die Subventionen auf

<sup>2</sup> Kei Cars bezeichnet eine japanische Fahrzeugkategorie, die kleine Pkws, Vans und Kleintransporter umfasst. Die Fahrzeuge dürfen maximal 3,4m lang und 1,48m breit sein und sind in Hubraum und Leistung beschränkt. Kei Cars genießen in Japan Steuerbegünstigungen und weitere monetäre und nichtmonetäre Vorteile.

nationaler Ebene im Jahr 2016 auslaufen sollen, ist noch unsicher, ob der Kaufpreis von Elektrofahrzeugen bis dahin stark genug gefallen sein wird, um eine selbsttragende Nachfrage zu gewährleisten. Bis 2016 müssten die Hersteller demnach ein tragfähiges Geschäftsmodell etabliert haben, um einen Einbruch der Nachfrage zu verhindern.

Maßnahme	Zugelassene Fahrzeugtypen						Zugelassene Empfänger / Grundlage	Typ
	FCE V	PEV	CNG	HEV	Andere	Anlagen		
Förderung der Vision einer "low carbon society" auf Basis der "my-car" Regulierung	●	●	●	●	●	●	Subventionen für private Verkehrsunternehmen, die Hybridfahrzeuge (HVs) und Aufladestationen für Transportdienstleistungen in den von "my-car" regulierten Bereichen in Nationalparks erwerben.	Subventionen
Förderung der Verbreitung von BEVs durch die Ökologisierung lokaler Transportsysteme		●			●	●	Subventionen an Betreiber von LKWs, Bussen und Taxis, die BEVs und Ladestationen erwerben oder bestehende Fahrzeuge in BEVs umwandeln	
Freistellung / Ermäßigungen bei Tonnagesteuer und Erwerbssteuer von Automobilen	●	●	●	●	●		Basierend auf Umweltleistung/-eigenschaften innerhalb eines bestimmten Zeitraums	Steuerermäßigungen
Ermäßigung bei der Automobilsteuer, um ökologische Autos zu fördern	●	●	●	●	●		Reduzierung der Automobilsteuer im Jahr nach der Registrierung für Neufahrzeuge, die bis Ende 2013 als emissionsarme Fahrzeuge zertifiziert sind	
Ermäßigungen bei Einkommensteuer und Körperschaftsteuer auf Basis von Steuersenkungen für "grüne Investitionen"		●		●	●	●	Spezielle Steuervergünstigungen für den Erwerb von emissionsarmen Fahrzeugen und Schnellladeanlagen	
Sonderbehandlung bei der "fixed asset"-Steuer für den Einbau von Kraftstoffversorgungseinrichtungen usw.						●	Verfügbar für den Einbau von Kraftstoffversorgungseinrichtungen usw.	



Zinsgünstige Finanzierung für kleine und mittelständische Unternehmen sowie für öffentliche Einrichtungen durch die Japan Policy Finance Bank		●	●	●	●	●	Für den Erwerb von emissionsarmen Fahrzeugen und relevante Kraftstoffversorgungseinrichtungen	Finanzierungsoptionen
---	--	---	---	---	---	---	---	-----------------------

Anmerkung: Dargestellt werden nur die für PEVs oder HEVs relevanten Maßnahmen).

“Andere” enthält Wasserstofffahrzeuge, emissionsarme Dieselfahrzeuge, andere Fahrzeuge, die als hocheffizient und emissionsarm zertifiziert sind.

Tab. 0-2 Ausgewählte finanzielle Anreize zur Förderung emissionsarmer Fahrzeuge in Japan

Quelle: Regionalstudie Japan

Als zentrales Demonstrationsprojekt wurde das “EV/PHEV Towns Concept” vom METI zur Förderung der Verbreitung von xEVs entwickelt. Im März 2009 wurden acht Präfekturen als EV/PHEV-Städte ausgewählt und 2010 um zehn weitere Präfekturen ergänzt. Diese werden in den vier Schwerpunktbereichen des Konzepts gefördert:

1. Schaffung von erster Nachfrage;
2. Entwicklung von Infrastruktur;
3. Bildung und Sensibilisierung der Öffentlichkeit;
4. Evaluierung und Verbesserungen.

In den derzeit ausgewählten 18 Präfekturen werden verschiedene Initiativen umgesetzt, wie z.B. der Einsatz von xEVs als Dienstwagen, Mietwagen, Taxis oder Busse. Hierfür werden oftmals spezielle Subventionen zur Verfügung gestellt. Zusätzlich tragen die lokalen Regierungen mithilfe von Ausstellungen, Testfahr-Events und der Verbreitung von Informationen über Websites usw. aktiv zur Sensibilisierung der Öffentlichkeit bei.

Die japanischen Demonstrationsprojekte (“EV/PHEV Town Concept” s.u.) spielen auch eine Schlüsselrolle beim Aufbau von Ladeinfrastruktur.

Bis Ende 2012 wurden in Japan insgesamt 5 075 Ladestationen mit Hilfe von Fördermitteln aufgebaut. Davon sind 1 750 Schnellladestationen (NEV o. J.). Im Rahmen des aktuellen nationalen Förderprogramms, gültig bis Ende Februar 2014, werden von Regierungsseite Gesamtmittel in Höhe von 100,5 Mrd. Yen (734 Mio. Euro) für Ladeinfrastruktursubventionen zur Verfügung gestellt. Die Subventionen sind für Gewerbe und private Nutzer zugänglich und betragen 50 % der Kauf- und Installationskosten. Ladestationen, die mit den sogenannten “Visions Lists” konform sind, können bis zu zwei Drittel der Kosten erstattet bekommen (NEV 2013). Bei den “Vision Lists” handelt es sich um Pläne zur Anzahl, Standort und Art von Ladestation, die von den Präfekturen oder der Straßenbehörde entwickelt werden. Zusätzliche Subventionen auf lokaler Ebene variieren je nach Präfektur.

Die Planungen sehen vor, dass normale Ladestationen vor allem bei Autohändlern, Geschäften, Krankenhäusern, und Parkplätzen installiert werden, während Schnellladeeinrichtungen primär am Straßenrand, an Tankstellen, Schnellstraßen-Rasthöfen, sowie ebenfalls bei Autohändlern und Gewerbeanlagen installiert werden. Hinzu

kommen zwei weitere Ansätze der Förderung durch die japanische Regierung: Die proaktive Einrichtung von öffentlichen Ladestationen an Standorten der lokalen Regierungen und der Mitglieder des Förderprogrammes sowie die gezielte Werbung für Ladeanlagen.

Die Entscheidung, ob bei öffentlichen Ladeeinrichtungen Gebühren erhoben werden, treffen in der Regel die Betreiber. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt erheben allerdings viele Einrichtung keine Gebühren. Dies führt zum Teil dazu, dass Nutzer lieber die kostenlosen öffentlichen Schnellladegeräte in ihrer Nachbarschaft verwenden, anstatt zu Hause zu laden. Hotels, Restaurants oder Supermärkte sowie öffentliche Stellen bieten häufig ebenfalls kostenlose Lademöglichkeiten an. Das Aufladen an Tankstellen und Autobahnen ist in Japan meist kostenpflichtig. Elektrizitätsunternehmen haben zudem angefangen, kostenpflichtiges Laden als Geschäftsmodell zu etablieren.

Automobil- und Regierungsexperten sehen xEVs als eine mögliche Lösung für Lücken in der Stromversorgung und als mobiler Energiespeicher. In einem dreistufigen Ansatz plant das METI daher, Autos in mobile Stromquellen zu verwandeln: In einem ersten Schritt können Fahrzeuge mit Steckdosen ausgestattet werden, um Laptops und Handys aufzuladen; diese Modelle sind bereits verfügbar. Ein weiterer Schritt ist die Verbindung von Fahrzeugen mit Häusern, um Klimaanlage oder Beleuchtung im Haus mit Strom zu versorgen. Diese Systeme werden momentan von Nissan und Toyota entwickelt und sind vor allem für Notfallversorgung im Falle von Stromausfällen ausgelegt. Der nächste Schritt ist, Fahrzeuge mit dem Stromnetz zu verbinden, so dass xEVs als temporäre Energiespeicher arbeiten können, um Strom aus erneuerbaren Energien zu speichern und an das Netz zurückzugeben, sobald die Nachfrage höher ist. Experten sehen diese Netzintegration allerdings als ein langfristiges Projekt, das neue Regulierungen und Technologien benötigt. Ein Experte aus der Batterieforschung erwähnte, dass die Verwendung der Batterie als Energiespeicher zu relevanten Verlusten in Qualität und Lebensdauer führt, so dass der Erfolg dieser Konzepte zweifelhaft ist. Laut einem Experten einer internationalen Beratung sind die japanischen Elektrizitätsunternehmen außerdem sehr zurückhaltend hinsichtlich der Netzintegration und in Richtung erneuerbare Energien. Die Netzintegration von Elektrofahrzeugen erscheint daher für die nahe Zukunft als kein realistisches Szenario.

### **Forschungsförderung und Institutionen**

Fördermittel für Elektrofahrzeuge werden in erster Linie durch das Wirtschaftsministerium (METI) bzw. durch die NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization), welche die Forschungsfinanzierung organisiert, vergeben. Im Steuerjahr 2011 wurden ca. 10,5 Mrd. JPY (ca. 80 Mio. EUR) vom Wirtschaftsministerium für Forschungsprojekte zu Elektrofahrzeugen (v.a. Batterieforschung) bereitgestellt. Laut Auskunft von NEDO war das Forschungsbudget für Elektrofahrzeuge seit 2007 mit ca. 7 bis 8 Mrd. JPY (50 bis 60 Mio. Euro) jährlich relativ konstant. Davon werden ca. 3 Mrd. JPY (26 Mio. Euro) in Grundlagenforschung investiert, jeweils weitere 2 Mrd. JPY (17 Mio. Euro) fließen in die Produktentwicklung im Bereich stationäre Batterien und in die Produktentwicklung von elektrifizierten Fahrzeugen.

Die meisten Investitionen in Forschung und Entwicklung in Japan konzentrieren sich auf die Kapazitätserhöhung und die Kostensenkung von Batterien. Gemäß der aus 2006 stammenden "Battery R&D Roadmap" sollen bis zum Jahr 2015 weiterentwickelte Batterien

mit einer um das 1,5 fache erhöhten Kapazität bei gleichzeitiger Kostenreduzierung auf 1/7 des aktuellen Niveaus entwickelt werden. Bis 2030 sollen revolutionäre Batterien entwickelt werden, die die Kapazität um das siebenfache erhöhen und die Kosten auf 1/40 des aktuellen Niveaus senken.

In der Budgetplanung für den Zeitraum 2007-2011 hat der Regierung daher ein jährliches Budget zwischen 1,6 Mrd. Yen (13,7 Mio. Euro) und 2,48 Mrd. Yen (21 Mio. Euro) für die Entwicklung von weiterentwickelten Lithium-Ionen-Batterien zur Verfügung gestellt. In der Planung für 2009-2015 ist für die Entwicklung von revolutionären Batterien der Post-Lithium-Ionen-Ära ein Jahresbudget zwischen 2,8 Mrd. Yen (24,1 Mio. Euro) und 3,9 Mio. Yen (33,6 Mio. Euro) vorgesehen.

Äquivalent zur Batteriestrategie gibt es zwei wichtige, von der Regierung geförderte Forschungsprojekte: das RISING-Projekt zur revolutionären Batterietechnologie und das Li-EAD Projekt zur Weiterentwicklung von Lithium-Ionen Batterien. Im RISING-Projekt („Research & Development Initiative for Scientific Innovation of New Generation Batteries“) werden über einen Zeitraum von 7 Jahren innovative Batterien mit einem Schwerpunkt auf hohe Energiedichte entwickelt. In diesem Forschungsbereich ist das RISING-Projekt das Schlüsselprojekt der Regierungsförderung. Aktuell forscht das Projekt an sogenannten Zink-Luft-Batterien. Andere Materialien, sowohl luftbasierte als auch halbleiterbasierte Technologien, werden ebenfalls getestet. Beteiligte Experten erwarten, dass diese neuen Arten von Batterien in den 2020er Jahren für die Markteinführung bereit sein werden. Das Li-EAD-Projekt („Li-ion and Excellent Advanced Batteries Development“) umfasst die Entwicklung von hochwertigen Akku-Systemen für Fahrzeuge der nächsten Generation. Die befragten Experten gehen davon aus, dass Lithium-Ionen-Batterien den Markt weiterhin beherrschen und bis 2020 schrittweise Verbesserungen an diesen Batterien möglich sind.

Nach Expertenmeinung ist Japan hinsichtlich der Weiterentwicklung bestehender Materialkonzepte generell gut positioniert. Japan ist zwar führend im Bereich Lithium-Ionen-Technologien, allerdings gibt es auf dem Markt für Lithium-Ionen-Batterien eine starke internationale Konkurrenz, und vor allem Südkorea gewinnt dort dank Kostenvorteilen Marktanteile. In der Grundlagenforschung an Batterien und der Entwicklung von innovativen Materialien wird Europa als führend angesehen. Während auch die USA sehr aktiv sind, wird die Position Japans auf diesem Gebiet als schwächer eingeschätzt. Ferner wurde erwähnt, dass es nur wenig Forschungszusammenarbeit mit anderen Weltregionen gibt.

Die befragten Experten nannten Batterie-Recycling und Weiternutzung als wichtiges zukünftiges Forschungsthema. Diese Forschungsfelder werden in fünf bis zehn Jahren an Bedeutung gewinnen, sobald der xEV-Markt stärker wächst.

Neben den Batterien zählen die Leichtbauweise, Leistungselektronik, insbesondere Leistungshalbleiter mit hoher Schaltfrequenz, Wärmemanagement und allgemein die Energieeffizienz der Fahrzeuge zu den wichtigen Forschungsfeldern. Für den Leichtbau sind Kohlenstofffasen ein vielversprechendes Material zur Gewichtsreduzierung im Massenmarkt. Im Bereich der Leistungselektronik werden neue Materialien für Halbleiter wie Siliziumkarbid und Galliumnitrid erforscht, um die Leistungselektronikmodule zu verbessern; hinzu kommt das Thema der Reduktion des Bedarfs an seltenen Erden in Elektromotoren. Geforscht wird in Japan außerdem zu den Themen Mikro-xEVs (an der Gumna University), automatisiertes Fahren (Japan Automobile Research Institute), Optimierung der Installation der

Ladeinfrastruktur (Osaka Prefectural University) und Informationsmanagement bei Ladestationen für xEVs (National Institute for Land and Infrastructure Management).

## Wirtschaft und Industrie

Die Automobilherstellung ist einer der industriellen Kernsektoren der japanischen Volkswirtschaft. Die Entwicklung der Automobilwirtschaft wird als Konjunkturbarometer für die gesamte nationale Wirtschaft gesehen. Derzeit liegt die Gesamtbeschäftigtenzahl in der Automobilherstellung und verwandten Industrien in Japan bei 5,45 Mio., was 8,7 % der gesamten japanischen Arbeitskräfte entspricht. 787 000 hiervon arbeiten direkt in der Automobilherstellung. Im Jahr 2011 produzierte die japanische Automobilindustrie 8,4 Mio. Kraftfahrzeuge, davon 7,16 Mio. im Pkw-Segment.

Japans Automobilindustrie trat im Jahr 2009 mit der Massenproduktion des Mitsubishi i-MiEV in den Markt für Elektrofahrzeuge ein. Die wichtigsten japanischen Autokonzerne in diesem Markt sind Mitsubishi, Nissan, Toyota und Honda:

- **Mitsubishi** führte den i-MiEV nach der Veröffentlichung auf dem heimischen Markt 2009 nach und nach durch die Zusammenarbeit mit Peugeot und Citroen in der EU und in Nordamerika ein. Seit 2011 bietet Mitsubishi außerdem den MINICAB-MiEV an, der den Spezifikationen der Kei-Cars Fahrzeugkategorie entspricht.
- **Nissan** produziert seit 2010 den Nissan LEAF in Massenproduktion für die Märkte in Japan, Nordamerika und Europa. Zusätzlich wird ab Mai 2014 der Nissan E-NV200, ein Van mit Elektroantrieb, in einer Fabrik in Barcelona gefertigt. Seit dem Verkaufsstart in 2010 konnten weltweit bereits über 100 000 Nissan LEAFs verkauft werden (Stand Januar 2014).
- **Toyota** offeriert mit dem Prius einen Mittelklassewagen mit Hybridantrieb. Seit Januar 2012 verkauft Toyota den Prius außerdem als Plug-in-Hybrid. Der Toyota Scion iQ von 2013 ist darüberhinaus ein batteriebetriebenes Viersitzer-Pendlerauto, welches für Car-Sharing-Programme in städtischen Umgebungen entwickelt wurde.
- **Honda** enthüllte im November 2012 die verbesserte Version ihres "Micro Commuter"-Prototyps, einem batteriebetriebenen Stadtmobil in Mikro-Größe. Dieser unter Berücksichtigung der Initiative des MLIT entstandene Zweisitzer ist speziell für Senioren, Lieferdienste, Pendler und Car-Sharing geeignet. Außerdem bietet Honda seit Ende 2013 den Accord Plug-in auf dem japanischen und dem amerikanischen Markt an.

Weitere bedeutende Fahrzeughersteller mit eigenen xEV-Konzeptfahrzeugen sind Subaru, Suzuki, Mazda, Infiniti, Lexus und Daihatsu.

Die Produktion von BEVs ist zwischen 2009 und 2011 von rund 1 700 Pkws auf 42 000 stark gestiegen (Tab. 0-3). Dies ist auf die Einführung mehrerer BEV-Modelle in dieser Zeit, vor allem dem Mitsubishi i-MiEV im Jahr 2009, dem Nissan Leaf 2010 und dem Minicab MiEV im Jahr 2011, zurückzuführen. 2012 gingen die BEV-Produktionszahlen im Vergleich zum Vorjahr deutlich zurück (siehe Tab. 5-8). Stattdessen wurden mit ca. 36 000 Fahrzeugen deutlich mehr PHEV als in den Vorjahren produziert, was unter anderem auf die Neuerscheinungen von verschiedenen PHEV-Modellen 2012 und 2013 zurückgeführt

werden kann. Auch bei den HEVs steigt sich eine deutliche Steigerung der Produktionszahlen zwischen 2009 und 2012. Die Produktionszahlen übertreffen dabei die Inlandsverkäufe von Elektrofahrzeugen deutlich, was auf die starke Rolle des Exports im xEV-Segment hinweist. So wurden im Jahr 2012 rund 65 500 Pkw-BEVs produziert, aber nur etwa 27 000 im Inland abgesetzt .

Pkw-Segment*	2009	2010	2011	2012
PHEV	515	251	8 472	35 782
BEV	1 744	16 169	42 036	29 757
HEV	821 946	729 682	1 028 162	1 244 770
* Standard- und Kleinfahrzeuge sowie LDV, ohne Sonderfahrzeuge				

Tab. 0-3 Produktion von PHEVs, BEVs und HEVs in Japan 2009-2012

Quelle: eigene Zusammenstellung auf Basis von (NEV 2013)

Die befragten Experten benennen unterschiedliche Anwendungsgebiete für die verschiedenen Fahrzeugtypen: Kleine BEVs für städtische Gebiete und Plug-in-Hybrids für größere Fahrzeuge sowie für die Nutzung auf längeren Strecken. Fahrzeughersteller sehen die Notwendigkeit starker Fortschritte in der Leistungselektronik. Wenn die Kombination aus Elektroantriebsstrangsystem und Verbrennungsmotoren kompakter gebaut werden könnte, könnten Plug-in-Hybrids auch eine Option für kleinere Fahrzeugklassen sein. Experten erwähnen außerdem, dass es in der Regel ein hohes Maß an Zusammenarbeit zwischen OEMs und Komponentenherstellern der BEVs, vor allem für Batterien, gibt. So arbeitet üblicherweise jeder OEM primär mit einem Hersteller für Batterien zusammen; Mitsubishi zum Beispiel bezieht seine Batterietechnologie größtenteils von Toshiba. Einige Batteriehersteller beliefern allerdings auch mehrere OEMs. Allgemein erwähnen die meisten Experten die Batterie als Kernkomponente von xEVs und gleichzeitig als größte Herausforderung. Obwohl japanische Batterielieferanten viel forschen und in neue Produkte investieren, rentieren sich die Investitionen laut einem Experten einer Unternehmensberatung noch nicht. Als weiteres Hindernis wird eine erwartete Marktkonsolidierung der Batteriehersteller gesehen.

Obwohl laut Expertenmeinung neue Geschäftsmodelle wie Car-Sharing in Japan nicht weit verbreitet sind und die meisten der BEV von privaten Nutzern gekauft werden, zeigen mehrere Demonstrationsprojekte mögliche Nischen für Business-Anwendungen von BEVs. Zum Beispiel gewähren manche japanischen Stadtverwaltungen Taxibetreibern einen Zuschuss für die Anschaffungskosten von xEV-Taxis und stellen spezielle Flächen für Taxistände mit xEVs vor Bahnstationen und Kaufhäusern zur Verfügung. In einem Car-Sharing Modellprojekt in Kanagawa arbeitet die Präfektur mit einer Autovermietung zusammen, um eine Doppelnutzung der Fahrzeuge zu ermöglichen: Während der Arbeitszeiten werden die Fahrzeuge für die Nutzung durch die Angestellten reserviert, in der restlichen Zeit können sie von Privatpersonen als Mietwagen genutzt werden.

Darüber hinaus präsentiert die lokale Regierung in Nagasaki ein Demonstrationsprojekt mit dem Namen "driving tourism of the future". Hierbei wird der örtliche Tourismus gefördert, indem mit neuesten Navigationssystemen ausgestattete BEVs als Mietwagen für Touristen in Nagasaki zur Verfügung gestellt werden.

## Verbraucher und Markt

Auf dem japanischen Markt für Elektromobilität sind gemäß dem Clean Energy Vehicles Guidebook von 2012 (MOEJ, METI, MLIT 2012) 26 Typen von Elektrofahrzeugen, ein Plug-in-Elektrofahrzeug sowie 37 Arten von Hybridfahrzeugen einschließlich der Segmente Pkw, LKW, Busse und Motorräder. Weitere Fahrzeuge wie der Honda Accord Plug-in und der Mitsubishi Outlander PHEV sind in 2013 hinzugekommen.

Im Jahr 2012 waren in Japan knapp 59 Millionen Pkw registriert, davon fast drei Millionen elektrifizierte Fahrzeuge (HEVs, PHEVs und BEVs). Hybridfahrzeuge dominieren dabei klar, während PEVs nur ca. 51 000 Fahrzeuge ausmachten. Mit etwa 34 000 zugelassenen Fahrzeugen im Pkw-Sektor (einschließlich Kei-Cars) im Jahr 2012 konnten BEVs erhebliche höhere Zulassungszahlen als Plug-in-Hybrids (ca. 17 000 Pkw) erreichen (Tab. 0-4). Laut den befragten Experten liegt dies an der begrenzten Verfügbarkeit von Plug-in-Modellen, außerdem wurden die meisten verfügbaren PHEV-Modelle erst vor kurzem eingeführt<sup>3</sup>. Hinzu kommt, dass manche lokale Subventionen eine bestimmte Technologie begünstigen. So sind beispielsweise die von der Präfektur Kanagawa bereitgestellten Zuschüsse auf BEVs begrenzt. Zusätzlich zu den elektrifizierten Pkw waren in Japan 2011 etwa 5 500 batteriebetriebene Motorräder sowie eine kleine Anzahl von LKWs und Bussen mit Elektroantrieb registriert.

Pkw-Segment*		2009	2010	2011	2012
PHEV	Bestand	165	379	4 132	17 281
	Verkäufe	165	214	3 753	13 149
BEV	Bestand	1 889	8 977	20 156	34 066
	Verkäufe	1 622	7 110	11 202	14 023
HEV	Bestand	971 121	1 404 138	2 012 559	2 833 443
	Verkäufe	452,098	447,626	633,417	854 904

\* inkl. Kei-Cars und Leichtbau-Pkws, ohne gewerbliche Kei-Cars und Sonderfahrzeuge

Tab. 0-4 Eckdaten zum Bestand und Verkäufen von PHEV, BEV und HEV in Japan 2009-2012  
Quelle: eigene Zusammenstellung auf Basis von (NEV 2013)

Die Einstellungen und das Verhalten der japanischen Verbraucher hinsichtlich xEVs hat Deloitte im Jahr 2012 in einer Verbraucherumfrage mit 2 075 Teilnehmern analysiert. Während ein Großteil der Befragten (88 %) über BEVs Bescheid wusste, dachten nur 18 % über den Kauf eines BEVs nach. Auf die Frage nach den Gründen für den Kauf eines BEVs nannten 79 % die Umweltfreundlichkeit; 59 % erwähnten die Möglichkeit, BEVs zu Hause aufzuladen und 58 % nannten als einen der Gründe, dass BEVs im Falle eines Notfalls oder einer Katastrophe Strom liefern könnten. Die drei wichtigsten Bedenken gegenüber BEVs waren der hohe Preis (46 %), die geringe Reichweite (16 %) und eine unzureichende Infrastruktur (12%). Gefragt nach dem Preis, zu dem sie ein BEV kaufen würden, nannten die meisten Befragten weniger als 2,5 Mio. Yen (ca. 21 500 Euro). Hinsichtlich des Fahrzeugtyps bei einem eventuellen Neuwagenkauf bevorzugten 42 % der Befragten ein

<sup>3</sup> 2012: Toyota Prius PHV, 2013: Honda Accord Plug-in und Mitsubishi Outlander PHEV

Hybridfahrzeug (HEV) und 22 % ein PHEV, während sich 18 % für ein BEV und 8 % für ein FCEV entscheiden würden.

Nach Ansicht von Experten ist die Affinität zu innovativen Technologien die stärkste Motivation für heutige Kunden, ein xEV zu erwerben. Die sogenannten „First-Mover“ sind vor allem Menschen mit hohem Interesse an den neuen Technologien. Die japanische Tradition der Kei-Cars wird als vorteilhaft für die Akzeptanz von BEVs gesehen. Die seit dem Zweiten Weltkrieg existierende Fahrzeugklasse von Kleinstwagen profitiert von Steuervorteilen und ist in ländlichen Gebieten von Parkplatzvorschriften ausgenommen<sup>4</sup>. Kei-Cars sind begrenzt in Größe und Kapazität und werden daher vor allem als Zweitwagen für das Pendeln eingesetzt. Heutzutage haben sie einen Marktanteil von etwa 30 %. Elektrofahrzeuge wie der Mitsubishi i-MiEV ersetzen dabei immer öfter konventionelle Kei-Cars.

Neben dem heimischen Markt definieren japanische xEV-Hersteller die USA und Europa als wichtige Märkte für ihre Produkte, während in China weniger Potenzial gesehen wird. Gleichzeitig sehen Experten auch ein hohes Potenzial für ausländische xEVs auf dem japanischen Markt. Vor allem Autos des A-Segments wie der VW E-Up können mit den herkömmlichen Kei-Cars konkurrieren und auf dem japanischen Markt erfolgreich sein.

Eine Beurteilung der Marktperspektiven erfolgte im Rahmen einer Schätzung der „Study Group on Next Generation Vehicle Strategy“ (vgl. Tab. 0-5). Die Einschätzungen basieren auf den angekündigten Produktionsplänen der Automobilhersteller. Die Studie schätzt, dass BEVs kontinuierlich steigende Marktanteile erreichen werden. Im Kei-Car-Segment wird ein Wachstum von etwa 0,3 % Marktanteil für BEVs im Jahr 2010 auf 14,4 % im Jahr 2020 und 20,5 % im Jahr 2050 erwartet. Im Kleinwagensegment erwarten die Experten bei ebenfalls starkem Wachstum einen geringeren Marktanteil der BEVs von 6,2 % für 2020 und 11,2 % im Jahr 2050. Im Vergleich zur aktuellen Dominanz der BEVs werden laut Studie in Zukunft die PHEVs eine größere Rolle spielen und bis 2050 einen Marktanteil von 26,3 % erreichen. Unter Voraussetzung der dargestellten Marktanteile wird somit eine Flotte von mehr als zwei Millionen BEVs erwartet. Davon sollen 1,5 Millionen Fahrzeuge im Kei-Car Segment zugelassen sein und ca. 0,7 Millionen batterieelektrische Kleinwagen. Hinzukommt eine Flotte von 1,3 Millionen PHEV.

Um die Nachfrage nach Pkws, LKWs und Bussen mit Elektroantrieb zu befriedigen, wird erwartet, dass sich die Zahl der produzierten Lithium-Ionen-Batterien auf 54,2 Millionen Zellen im Jahr 2015 erhöht. Gleichzeitig könnten laut Low-carbon Society Achievement Action Plan und METI die Leistungsfähigkeit auf das 1,5-fache erhöht und die Kosten bis 2015 von etwa 18 000 Yen (154,9 Euro) auf 2 600 Yen (22,4 Euro) gesenkt werden.

---

<sup>4</sup> In Japan müssen Autokäufer bei der Registrierung ihres Autos nachweisen, dass sie Zugang zu einem Parkplatz haben

	<b>Pkws</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
Kei BEVs	Marktanteil von BEVs am Kei-Car-Absatz	0.3 %	7 %	14.4 %	19,7 %	20.5 %
	Gesamtzahl von genutzten Kei BEVs	8.729	339.953	1.521.194	3.816.346	5.509.479
Kleinwagen- BEVs	Marktanteil von BEVs an Kleinwagenverkäufen	0.09 %	1.6 %	6.2 %	10.5 %	11.2 %
	Gesamtzahl von genutzten BEV im Kleinwagensegment	2.500	142.433	667.730	2.143.868	3.266.433
PHEVs	Marktanteil von PHEV am Pkw-Absatz	0,1 %	3.2 %	12.7 %	23.6 %	26.3 %
	Gesamtzahl von genutzten PHEV	3.000	245.786	1.312.909	4.960.330	7.797.487

Tab. 0-5 Marktperspektiven von xEVs in Japan auf Basis von Schätzungen der Study Group on Next Generation Vehicle Strategy

Quelle: (METI 2010)

Als wichtige Voraussetzung dafür, die erwartete Gesamtzahl von fast 9 Mio. BEVs im Jahr 2050 bedienen zu können, soll die Ladeinfrastruktur von ehemals 65 Schnellladestationen im Jahr 2009 bis dahin auf 13 600 Stationen ausgebaut werden. Der Stromverbrauch von BEVs und PHEVs des Pkw-Segments wird auf 9,2 TWh pro Jahr in 2030 und 11,5 TWh pro Jahr in 2050 geschätzt. Zum Vergleich lag der Gesamtstromverbrauch 2007 bei 176 TWh/Jahr, so dass BEVs und PHEVs etwa ein Prozent des gesamten nationalen Stromverbrauchs ausmachen würden.

Die befragten Experten sehen das politische Engagement und finanzielle Anreize von staatlicher Seite als essentiell für eine erfolgreiche Marktdurchdringung der xEVs in der näheren Zukunft. Japanische Hersteller erwarten, dass BEVs und PHEVs hinsichtlich der Kosten im Vergleich zu konventionell angetriebenen Autos erst in zehn bis 15 Jahren wettbewerbsfähig sein werden. Folglich wird befürchtet, dass, falls die japanischen Subventionen in den nächsten Jahren gestoppt werden, die Preise für xEVs nicht mehr wettbewerbsfähig wären und der Markt zusammenbrechen könnte. Es wird vermutet, dass BEVs in der näheren Zukunft nur begrenzte Marktanteile erreichen können. Die meisten Haushalte in Japan besitzen nur ein Auto. Aufgrund der benötigten Flexibilität haben die BEVs durch ihre begrenzte Reichweite nur ein begrenztes Marktpotenzial. BEVs könnten daher vor allem von Pendlern und als Stadtfahrzeug mit niedrigen Geschwindigkeiten verwendet werden. Allerdings bieten die kleineren japanischen Inseln ein großes Marktpotenzial für BEVs. Der Kraftstoffpreis ist dort teilweise bis zu 30 % höher als auf der japanischen Hauptinsel, was aus Kostengründen den Einsatz von Strom attraktiver macht, während die begrenzte Reichweite weniger wichtig ist. Elektrofahrzeugen mit Reichweitenverlängerer oder PHEVs wird dagegen für die Mehrheit der japanischen Ein-Auto-Haushalte ein höheres Potential als den BEVs zugeschrieben. Dementsprechend sehen Experten für die nahe Zukunft eine stärkere Marktdurchdringung der PHEVs als der BEVs.



## **Fazit - Gesamtbetrachtung des Status quo der Elektromobilität in Japan**

Japan hat sowohl ökologische als auch ökonomische Motivationsgründe für die Förderung der Elektromobilität. Hierbei sind vor allem die Zukunftsfähigkeit der Autoindustrie, die Verringerung der Abhängigkeit von Ölimporten, die generelle Energiesicherheit, die Ereignisse in Fukushima und das Ziel einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu nennen.

Japan hat bei der Ausgestaltung der Förderung von Elektromobilität einen sehr umfassenden Ansatz gewählt: Neben der Förderung von Forschung und Entwicklung zu Batterien und Ladeinfrastruktur wurden insbesondere finanzielle Anreize geschaffen, um den Erwerb von BEVs und PHEVs durch Privatpersonen, lokale Verwaltungen oder private Unternehmen zu unterstützen. In einem früheren Programm wurden ebenfalls HEV bezuschusst. In den Demonstrationsprojekten des EV/PHEV Town Concepts werden außerdem Geschäftsmodelle für die Verbreitung von BEVs und PHEVs entwickelt und getestet.

Die Forschung in Japan ist insbesondere im Bereich der Li-Ionen Batterien, der Leistungselektronik und der Elektromotoren stark. Die japanischen Automobilhersteller gehören zu den führenden Herstellern von elektrifizierten Fahrzeugen weltweit und zu den ersten Herstellern, die HEV- und BEV-Modelle breit auf den Markt gebracht haben. Heute stellt Japan einen der wichtigsten Produktionsstandorte für elektrifizierte Pkw dar, mit über 65 000 produzierten PEV und 1,2 Millionen produzierten HEV im Jahr 2012. Auch Modelle europäischer Hersteller werden zum Teil in Japan produziert.

Japan gehört heute zu den am weitesten entwickelten Märkten für elektrifizierte Fahrzeuge, wobei die Subventionsprogramme der nationalen und regionalen Regierungen eine bedeutende Rolle für den Marktanteil von PEV spielen. Ein besonderes Potential gibt es in Japan für PEVs, im Bereich der Kei Cars, auf kleineren Inseln und als mobile Stromspeicher.

## Summary

Transportation sector and automobile industry in Japan have been playing important roles to help address national energy constraints and global change issues such as climate change and promote technology development and enhance international competitiveness.

Japan's involvement in the market of the next-generation vehicles, in particular electric vehicles and plug-in hybrid vehicles, started in 2009. According to the Clean Energy Vehicles Guidebook 2012 (MOEJ, METI and MLIT, 2012), there are 26 types of electric vehicle, 1 type of plug-in electric vehicle and 37 types of hybrid vehicles in the market, including passenger vehicles, trucks, buses and motorcycles. In 2011, there were about 32,229 electric vehicles in use, including passenger vehicles, trucks, buses, Kei vehicles and motorcycles, and 4,132 plug-in hybrid vehicles in use.

Four ministries are playing the major roles in policy making related to the promotion of electric mobility in Japan. They are the Ministry of Economy, Trade and Industry, the Ministry of Land, Infrastructure, Transportation and Tourism (MLIT), the Ministry of the Environment (MOEJ), and the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT).

In April 2010, the Ministry of Economy, Trade and Industry formulated the Next Generation Vehicle Strategy 2010. As a key policy document related to the promotion of electric mobility in Japan, the strategy includes six sub-strategies, i.e. the Overall Strategy, Battery Strategy, Resource Strategy, Infrastructure Strategy, System Strategy and International Standardization Strategy. The official target is to have electric vehicles and plug-in electric vehicles account for more than 15% of new vehicle sales by 2020 and more than 20% of new vehicle sales by 2030. This will contribute to about 5% reductions in CO<sub>2</sub> emissions by 2020 and 11% reductions by 2050 compared with 2008 levels.

There are three major challenges for the dissemination of electric vehicles and plug-in electric vehicles in Japan, i.e.

- i) higher price compared with gasoline-fuelled automobiles
- ii) limited cruising range
- iii) lacking of charging infrastructure

To address these challenges and to achieve the dissemination target set in the Next Generation Vehicle Strategy 2010, the Japanese government, together with local governments, business sectors and universities and research institutions, has made many efforts in promoting R&D (in particular on batteries), experimenting business models for the dissemination and providing policy incentives to support the introduction of electric vehicles and plug-in electric vehicles.

Most investment in R&D has been focused on batteries to increase their capacity and reduce the costs. In FY2012 the Ministry of Economy, Trade and Industry allocated JPY 3.5 billion (Euro 30.1 million) for advance scientific research on innovative storage battery and another JPY 2 billion (Euro 17.2 million) for advance technological development for the application of lithium-ion battery. It is planned to develop advanced-type of batteries by 2015 with capacity increase by 1.5 times and cost reduction by 1/7 of current levels. By 2030, revolutionary batteries will be developed to increase the capacity by 7 times and reduce the costs by 1/40 of current levels.

The Japanese government has worked closely with local governments on exploring the business models and collecting best practices in the dissemination of electric vehicles and plug-in hybrid vehicles. The EV/PHEV Towns Concept was started in 2009 as a demonstration project for the business model experiment towards full-fledged dissemination of electric vehicles and plug-in hybrid vehicles. Currently 18 prefectures have been selected for the experiment and various initiatives have been implemented, including the introduction of electric vehicles and plug-in hybrid vehicles as official cars, for rental cars, taxis and buses. Local governments are also working actively to raise public awareness by organising exhibitions and test-ride events and information dissemination through websites etc.

To help create the initial demand for electric vehicles and plug-in hybrid vehicles, both central government and local governments have implemented many incentive policies including tax exemption or reduction on the automobile acquisition tax and vehicle tax and subsidy system for the introduction of electric vehicles, plug-in hybrid vehicles and corresponding charge facilities by corporations.

For the development of charge infrastructure, use of nighttime electricity at home will form the basis for the charge of electric vehicles and plug-in hybrid vehicles. Local governments are working with property owners to build private charging environments. Given the operational capacity of current BEVs, local governments are also developing public charging infrastructure outside of home to dispel worries about loss of charge. In 2010, there were about 174 rapid charging locations with an average of 65 cars per location. It is planned to have 5,318 rapid charging locations with an average of 393 cars per location by 2020 and 13,602 rapid charging locations with an average of 645 cars per locations by 2050.

The public awareness on the advantages of using electric vehicles and plug-in hybrid vehicles have been increasing in recent years. However there is still a long journey to transform the awareness into real purchasing decisions.

# 1 The Project STROM-Assist

## 1.1 Project background: STROM and STROM-Assist

The accompanying research project STROM-Assist aims at identifying key technologies for the deployment of electric vehicles in the future. Basis for the accompanying research is the funding program by the German Federal Ministry of Education and Research called STROM, in which 18 electric mobility projects are involved<sup>5</sup>. The total program has a funding sum of around € 180 million. The project consortia include vehicle manufacturers, tier-1 and tier-2 suppliers, universities and research institutes. The program has a strong approach towards applied concepts and practices with a high market potential in the future. The STROM-projects cover the following categories (technology cluster):

- Vehicle Concept
- Lightweight Construction
- Electric Engine
- Thermo Management of Batteries and Motors
- Power Electronics
- Range Extender

The projects in this program will focus on the technical development of such technologies. STROM-Assist accompanies these projects by reflecting national research efforts within the context of developments in electric mobility in different global regions.

## 1.2 Scope of the subproject “Regional Trends in Electric mobility”

The subproject “Regional Trends in Electric mobility” aims at identifying and analysing major trends in the field of electric mobility. The trend analysis will monitor research effort and upcoming technologies, policies, products and market developments in different focus regions around the world continuously to enable a systematic analysis of global trends. The regional trend analysis for electric mobility is a major keystone for the project success and therefore cooperation with renowned international institutions in the field of electric mobility is foreseen.

Objects of analysis in the subproject “Regional Trends in Electric mobility” include various forms of battery-electric, road-based vehicles ranging from e-bikes to electric buses, while the focus is on electric passenger cars. The analysis covers vehicles that have electric assisted drive systems as well as vehicles that derive all power from batteries. The focus is on all-electric passenger cars (BEV) and plug-in hybrid electric vehicles (PHEV). Mild hybrids and full hybrid are only included in the analysis if these vehicle types are of high relevance in the study region. Furthermore, associated technologies, infrastructures, business models and mobility concepts are under investigation. The analysis covers not only well-known vehicle technologies and mobility concepts, but also includes innovative approaches for electric mobility. At some points it may be necessary to include other vehicle technologies and mobility concepts in the analysis to assess the role of electric mobility. The term “vehicle” subsequently will address road-vehicles only.

---

<sup>5</sup> Information on programs funded by the Federal Ministry: <http://www.bmbf.de/en/14706.php>

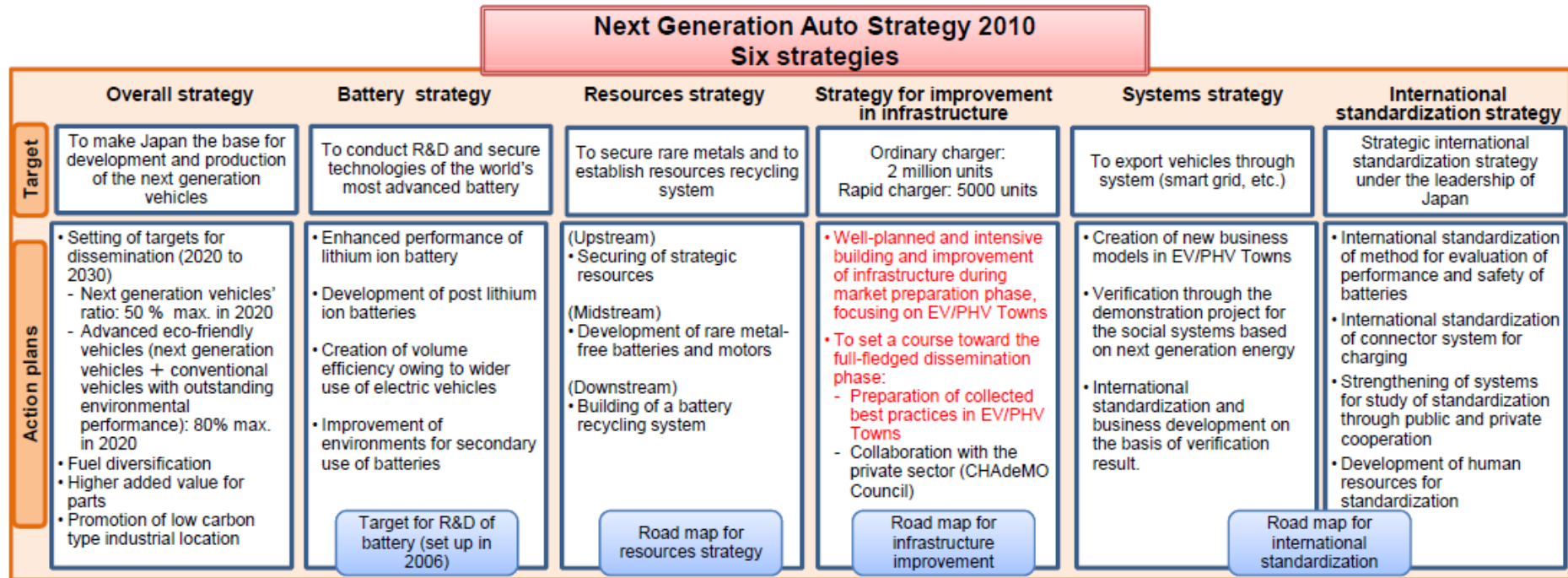


Figure 3 Outline of the Next Generation Vehicle Strategy 2010

Source METI (2010a)

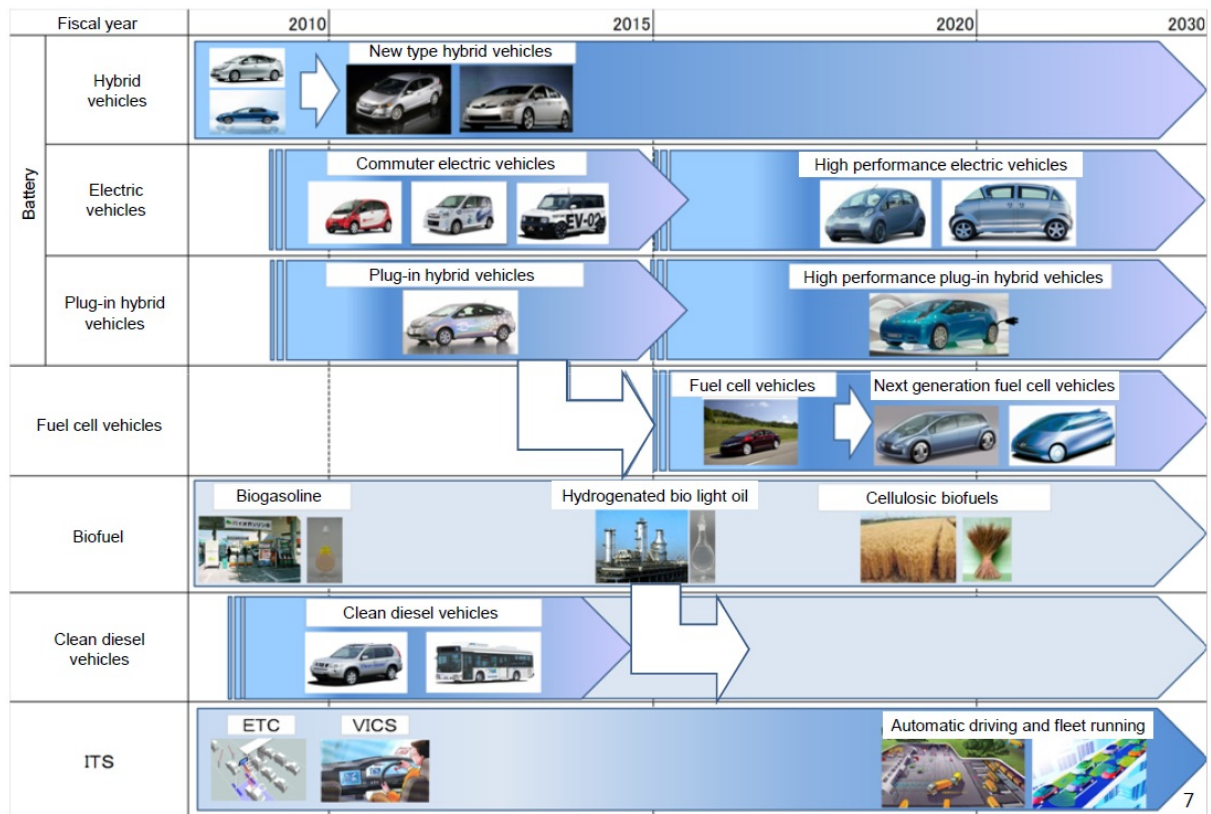


Figure 4 Roadmap for the next-generation vehicles  
 Source METI (2010a)

Among five subject strategies, Battery Strategy and Strategy for Improvement in Infrastructure play important roles. High-performance and large-capacity batteries are critical and the core of competitiveness of the next-generation vehicles. The Battery R&D Target was set in 2006. For FY2007-2011<sup>7</sup>, the government was targeting the development of advanced lithium ion batteries to further improve the performance and reduce the costs, which can power PHEVs and BEVs. Governmental budget was JPY 1.67 billion (Euro 14.4 million) in 2007, JPY 2.75 billion (Euro 23.7 million) in 2008, JPY 2.48 billion (Euro 22.5 million) in FY2009, JPY 2.38 billion (Euro 21.3 million) in FY2010 and JPY 2.48 billion in 2011 (NEDO, 2011). For FY2009-2015, the government is aiming at the development of revolutionary batteries (post lithium ion battery) to clarify the reaction mechanisms of batteries through comprehensive joint research among industries, academia and government and to become a front-runner in the area of post lithium ion batteries. The budget for was JPY 2.9 billion (Euro 24.9 million) in 2009, JPY 3.2 billion (Euro 27.5 million) in 2010, JPY 2.8 billion (Euro 24.1 million) in 2011, JPY 3.9 billion (Euro 33.6 million) in 2012 and JPY 3.1 billion (Euro 26.7 million) in 2013 (NEDO, 2013). The Battery R&D Roadmap is shown in Figure 5.

<sup>7</sup> Japan's fiscal year (FY) starts from April 1<sup>st</sup> and ends on March 31<sup>st</sup>.

	Present state	Improved type battery (2010)	Advanced –type battery (2015)	Revolutionary battery (2030)
	Small-sized EV for power utilities	Commuter EV for limited use High performance HV	General commuter EV Fuel cell vehicles Plug-in HV vehicle	Full-scale EV
Performance	1	1	1.5 times	7 times
Cost	1	1 / 2 times	1 / 7 times	1 / 40 times
Development regime	Private-sector-led	Private-sector-led	Industry-academia-government collaboration	University and research institute

Figure 5 Battery R&amp;D Roadmap

Source Tanaka (2010)

With respect to the evaluation methods (testing methods) for performance and safety, ISO (International Organization for Standardization) and International Electrotechnical Commission (IEC) are making efforts toward the establishment of international standards for lithium ion battery pack, system and battery cell, respectively. Lead by METI through JARI (Japan Automobile Research Institute) and JSAE (Society of Automotive Engineers of Japan), together with private sectors, Japan plays a leading role in the ISO process and acts as Chairman of TC21 (on battery) and TC69 (BEVs, etc.)/JWG-Lithium Ion Battery for Automobile Use, under IEC.

In the area of dissemination and market penetration, METI, together with MLIT, initiated the EV/PHEV Towns Concept as a model project for the demonstration of full-fledged dissemination of PEVs (for details please see Section 3.1.6). The EV/PHEV Towns Concept: Best Practices Handbook and Handbook II was issued by METI in August 2010 and in November 2011, respectively. In 2011, METI launched an “PEV Information Platform” on its official website to serve as a one-stop portal for information on PEV. The platform presents outlines of initiatives by EV/PHEV Towns and reports on best practices and other matters.

The official target is having PEVs account for more than 15% of new vehicle sales in 2020 and more than 20% in 2030 (see Table 8).

Table 8 Diffusion targets for the next-generation vehicles

		Achieved by private sector efforts without governmental support		Government targets	
		2020	2030	2020	2030
Conventional vehicles		80% or more	60-70%	50-80%	30-50%
Next-generation vehicles	Total	Less than 20%	30-40%	20-50%	50-70%
	HEVs	10-15%	20-30%	20-30%	30-40%
	PEVs	5-10%	10-20%	15-20%	20-30%
	FCEVs	Very small	1%	-1%	-3%
	CDVs	Very small	-5%	-5%	5-10%

Source: Tanaka (2010).

At local level, different prefectures set up their own targets. Based on the interview with Kanagawa Prefecture, where Nissan Global Headquarter and lithium ion battery development base are located, the objective of the Prefecture is to increase the BEV vehicle fleet to 3,000 till 2014. The focus is solely on BEVs because they are most environmental

friendly. The goal has been achieved already in June 2012. In FY2012, 4,398 BEVs were registered in Kanagawa. Four building blocks to achieve this goal include:

- i) Improvement of BEV performance
- ii) Creation of initial demand
- iii) Increasing awareness of the Prefectural citizens
- iv) Development of BEV battery charging infrastructure










#### Kyoto Target Achievement Plan

Adopted in April 2005, the Kyoto Target Achievement Plan was revised fundamentally in March 2008 (Cabinet, 2008). For the transportation sector to achieve the mitigation target (240-243 Mt-CO<sub>2</sub> by 2010), it is required to take comprehensive measures to increase vehicle fuel efficiency, promote public transportation and mitigate road congestion, etc. Through the dissemination of Clean Energy Vehicles (CEV), referring to BEV, HEV, FCEV, CNG vehicles, hydrogen vehicles (HDV) and LPG-alternative diesel vehicles, “top runner” criteria whereby the leading fuel efficiency performance to date for a given vehicle weight category was established by MLIT to increase vehicle fuel efficiency. In 2006, fuel efficiency targets were established for heavy-duty vehicles, i.e. trucks and buses weighing more than 3.5 tons, which will be enforced in 2015. In 2007, new and stricter fuel efficiency targets were introduced for passenger cars and trucks/small buses weighing less than 3.5 tons, which will also be enforced in 2015. For passenger cars, the fuel efficiency criteria was set as 14.4 km/litre gasoline for 2010 and 16.8 km/litre for 2015. For trucks (gross vehicle weight ≤ 3.5 tons) and small buses, the target fuel efficiency standards are 15.2 km/litre and 8.9 km/litre for 2015. In 2010, the average fuel efficiency of domestic new gasoline-powered passenger cars reached 18.7 km/litre, greatly surpassing the 2010 target (JAMA, 2012).

To promote the dissemination of low-emission vehicles (LEV), Japanese government has implemented economic incentives including providing subsidies and tax reductions (for details, see also Section 3.1.4). LEVs are environmentally-friendly vehicles which emit less or no NO<sub>x</sub> and particulate matters (PM) and have higher fuel efficiency. LEVs include FCEV, BEV, CNG vehicles, HEVs, PHEVs, and those are certified as high fuel efficiency and low emissions. MLIT implemented fuel efficiency assessment for different types of cars manufactured by different auto makers and disclose the information through its website (MLITa, 2012). For gasoline, diesel and LPG vehicles, environmental performance certification criteria has been established based on Japan’s latest fuel efficiency and emissions standards (see also Section 3.1.3). Trucks and buses that comply with NO<sub>x</sub> and PM emissions requirements are also certified separately. To boost widespread public awareness of vehicles with advanced fuel efficiency and/or low emissions, vehicles that have been certified can be issued coded stickers (see Table 9 and Table 10). MOEJ, METI and MLIT publish the Low Emission Vehicles Guidebook every year, which is also available on the official website of relevant ministries. For low-emission vehicles, the Japanese government also provides different supporting policies to promote the manufacturing and purchasing of LEVs. For details, please see Section 3.1.4.






Table 9 Certification of vehicles with advanced fuel efficiency

Rating/performance level	Explanation	Vehicle sticker	
For gasoline and diesel vehicles including trucks and buses with GVW≤2.5t	Compliant +20% compared to standards	Performing 20% better or more compared to 2015 fuel efficiency standards	
	Compliant +10% compared to standards	Performing 10% better or more compared to 2015 fuel efficiency standards	
	Compliant with standards	Compliant with 2015 fuel efficiency standards	
For trucks and buses with GVW>2.5t	Compliant +10% compared to standards	Performing 10% better or more compared to 2015 fuel efficiency standards	
	Compliant +5% compared to standards	Performing 5% better or more compared to 2015 fuel efficiency standards	
	Compliant with standards	Compliant with 2015 fuel efficiency standards	
For gasoline and LPG vehicles including trucks and buses with GVW≤2.5t	Compliant +50% compared to standards	Performing 38% better or more compared to 2015 fuel efficiency standards	
	Compliant +38% compared to standards	Performing % better or more compared to 2015 fuel efficiency standards	
	Compliant +25% compared to standards	Performing 5% better or more compared to 2015 fuel efficiency standards	

Source: MOEJ, METI and MLIT (2012).

Table 10 Certification of vehicles with low emissions

Rating	Performance level	Vehicle sticker
Four stars	Emissions down by 75% from 2005 standards	
Three stars	Emissions down by 50% from 2005 standards	
One star	Emissions down by 10% from 2009 standards	

Source: MOEJ, METI and MLIT (2012).

The current situation regarding registrations of LEVs in Japan is shown in Table 11. Number of facilities for the provision of fuels and electricity charge in each prefecture is shown in Figure 6.

Table 11 Current registrations of LEVs in Japan

Number of vehicles	2006	2007	2008	2009	2010	2011
FCEV	55	49	57	56	51	50
HDV	5	8	8	10	8	9
BEV	9,421	9,358	8,850	8,473	16,503	28,097
(of which electric motorcycles)	6,848	6,911	6,250	4,652	5,777	4,326
HEV	343,626	429,274	536,473	983,831	1,418,400	2,029,009
PHEV	0	0	0	165	379	4,132
CNG vehicles	31,462	34,203	37,117	38,861	40,429	41,463

Source: MOEJ, METI and MLIT (2012).

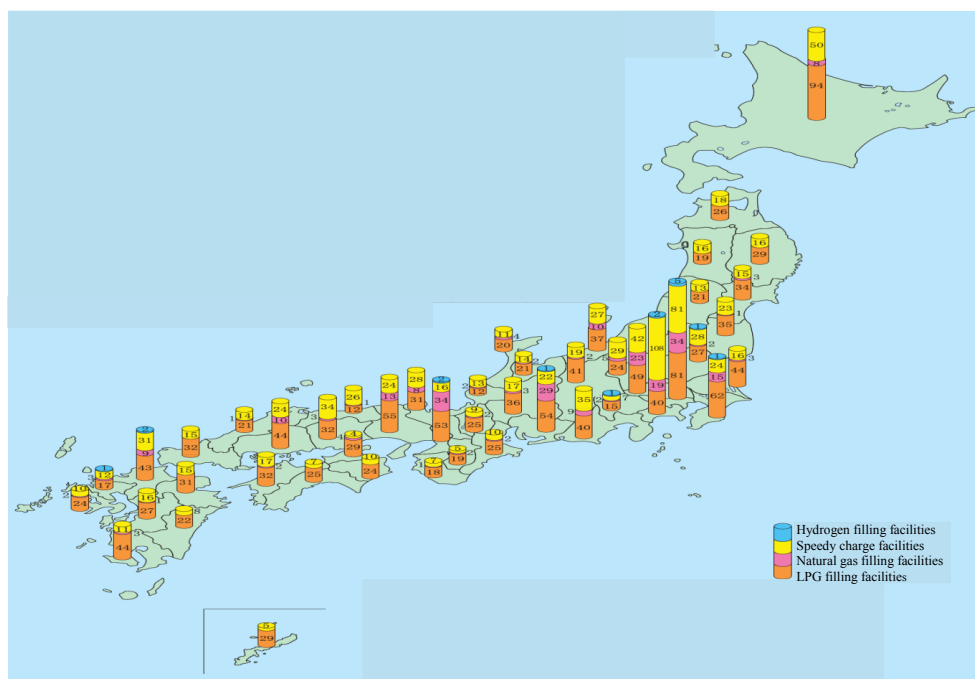


Figure 6 Number of facilities for the provision of fuels and electricity charge in Japan (2012)

Source: MOEJ, METI and MLIT (2012)

### Low-carbon Society Achievement Action Plan

After the 2008 G8 Hokkaido Toyako Summit, Japan announced its Low-carbon Society Achievement Action Plan in July 2008. To contribute to 50% reductions in global GHG emissions by 2050, Japan announced its mitigation target of 60-80% reductions by 2050 as a long-term target. For establishing a low-carbon society and achieving the long-term mitigation target, it is important to promote R&D on innovative technologies and disseminate existing advanced technologies, including the introduction of new-generation vehicles.

To strengthen the capacity and international competitiveness in automobile manufacturing in Japan and reduce CO<sub>2</sub> emissions from transportation sector, the Low-carbon Society Achievement Action Plan set an ambitious target: the market share of the next-generation vehicles, including HEV, BEV, PHEV, FCEV, clean diesel vehicles (CDV) and CNG vehicles, will be 50% by 2020, increased dramatically from current level of 2%. Specifically, to improve the capacity and reduce the costs of high-performance batteries, the targets for 2015 are 1.5 times increase in the battery capacity and cost reduction to one-seventh (1/7) of current costs; and the targets for 2030 are 7 times increase in the battery capacity and cost

reduction to one-fortieth (1/40) of current costs. To eliminate consumer's worries about out of charge, public charge facilities (including rapid chargers) will be promoted.

#### New Basic Energy Plan

The Cabinet approved the revised "Basic Energy Plan" in June 2010 (revised every 3 years). Based on recent trends in energy resources and global environmental changes, the New Basic Energy Plan requires the transportation sector to take measures to promote next-generation vehicles. To be supported by policy incentives, the target for 2020 is to increase the share of the next-generation vehicles in the total sales of new automobiles to 50% and in 2030 to 70%. In addition, the target share of advanced eco-friendly automobiles (post eco-cars)<sup>8</sup>, in the total sales of new automobiles is 80%.

In particular for BEVs and PHEVs, global competition is becoming fierce. To retain international competitiveness in this area, the New Basic Energy Plan requires to promote R&D for the improvement in the capacity of batteries and reductions in costs. Targets set are 2 million for the number of normal charging infrastructure and 5,000 locations for rapid charging infrastructure by 2020.

From medium-and-long term perspectives, considering about cruise distance, it is necessary to develop various types of automobiles with different usages. For this purpose, the fuel supply infrastructure for CNG vehicles, LPG vehicles and FCEVs will be constructed.

#### Comprehensive Strategy for the Re-birth of Japan

Comprehensive Strategy for the Rebirth of Japan, adopted by the Cabinet in July 2012 points to the direction in which Japan should proceed from now on in order to revive Japan as a nation more attractive and vibrant than before the Great East Japan Earthquake on 11 March 2011, by reformulating and redefining the "New Growth Strategy", which was decided by the Cabinet in June 2010.

One of four key policy areas is green policy package to realize innovative energy and environment society. Among eleven strategies and 38 priority policy actions, the Green Growth Strategy, aiming to create new industries and new markets in response to environmental changes, is closely related to the promotion of the next-generation vehicles.

While Japanese automakers lead the world in the production of next-generation vehicles (HEVs, BEVs, PHEVs, fuel batteries, CDVs and CNG vehicles), they are exposed to increasing competition with overseas automakers. To capture the global market for next-generation vehicles which are the key to green growth, Japanese automakers will be supported to produce vehicles that will overwhelm overseas vehicles in performance and quality as well as to exploit potential markets in the world by publicizing the potential value of next-generation vehicles.

Specifically, the driving distance of next-generation vehicles is planned to be doubled through research and development efforts for lithium-ion batteries by 2020. The performance of next-generation vehicles will be improved through the development of cutting-edge materials and devices, such as next-generation semiconductors that will enhance their capacity to detect persons and objects as well as automatic control. Cost reductions are

---

<sup>8</sup> Advanced eco-friendly automobiles, or post eco-cars, include next generation vehicles and those conventional vehicles which are specially environmental friendly.

projected to be achieved by means of creating initial-stage demand for and expanding the dissemination of vehicles with different features in a phased and parallel manner. Furthermore, the government plans to create new added values to next-generation vehicles, by utilizing them as “power supplies that can move,” to lower power usage during peak demand or to work as emergency power sources, and increasing safety and user-friendliness in combination with information technology. In addition, to clarify electric vehicles’ intrinsic features such as zero emission of exhaust fumes and quietness, the government will promote relevant projects both at home and abroad to show successful cases. The government is also planning to build infrastructures including accelerated and planned installation of battery chargers and advanced construction of facilities to supply hydrogen to fuel-battery vehicles. Additionally, infrastructures including accelerated and planned installation of battery chargers and advanced construction of facilities to supply hydrogen to fuel-battery vehicles are part of the plan. On the premise of ensuring safety, the government will, among others, develop technological standards under the High Pressure Gas Safety Act to govern hydrogen-filling stations, expand the availability of steel products applicable to the stations, and make design coefficients comparable with those in the U.S. and Europe.

Japan is planning to win next-generation standards as an advanced problem-solving country by creating innovations through such means as establishing a certification system for extra-small mobility devices matching its aging society.

Along with the abovementioned policy actions, the government wants to promote work through public-private partnerships to secure adequate international standardizations and compatibility of batteries and chargers with an eye set toward global markets. To make use of Japan’s superiority in cutting-edge technologies, the public and private sectors will jointly strive to export infrastructures, systems and policies related to next-generation vehicles to emerging economies.

Targets set for 2020 include up to 50% of next-generation vehicles in total new car sales and installation of 2 million normal charging facilities and 5,000 rapid charging facilities.

### **3.1.3 Regulatory framework**

#### *Vehicle exhaust emissions*

Japan’s vehicle exhaust emissions regulations have been among the strictest in the world. Based on MOEJ-affiliated Central Environment Council’s policy recommendations for future reductions in motor vehicle exhaust emissions (released in April 2005), the Japanese government implemented comprehensive new regulations in 2009 (see Table 12). In particular the regulations for trucks and buses were the most stringent in the world at the time of their enforcement (see Table 13). Starting from 2016 the NOx regulation for heavy-duty diesel vehicles will become stricter.

#### *Japan’s 9<sup>th</sup> Basic Plan for Road Safety*

Japan’s road safety measures are promoted in line with the nation’s consecutive “basic plans” for road safety, the first of which was implemented in 1970. Under the slogan “Towards a ‘Zero Road Accidents’ Society”, the 9<sup>th</sup> Road Safety Plan (2011-2015) aims to create a highly road safety-conscious society that places maximum priority on human life and, in particular, the safety of those of its members who are most vulnerable to road accidents, namely,

pedestrians, senior citizens, and persons who are disabled. The plan emphasized the need to pursue aggressive measures targeting further reductions in the occurrence of road accidents and fatalities.

Japan's road safety targets are

- i) to reduce the annual number of road fatalities (occurring within 24 hours post-accident) to below 3,000 by 2015 (or about 3,500 when fatalities occurring within 30 days post-accident are included based on the actual ratio in 2010) and thus to make Japan's roads the safest in the world;
- ii) to reduce the total annual number of road fatalities (occurring within 24 hours post-accident) and injuries to below 700,000 by 2015.

Table 12 Motor vehicle emissions regulations in Japan

Vehicle type		Previous/Current regulations				New regulations									
		Test cycle	Year of enforcement	Pollutants	Regulatory value (average)	Test cycle	Year of enforcement	Emission	Regulatory value (average)						
Gasoline and LPG vehicles	Passenger cars	10·15M+11M (g/km) <sup>1</sup>	2005	CO	1.15	JC08 (g/km) <sup>1</sup>	2009	CO	2.25						
				NMHC	0.05			NMHC	0.05						
				NOx	0.05			NOx	0.05						
								JC08 (g/km)	2009	PM <sup>2</sup>	0.005				
				Trucks and buses	Mini			10·15M+11M (g/km) <sup>1</sup>	2007	CO	4.02	JC08 (g/km) <sup>1</sup>	2009	CO	4.02
										NMHC	0.05			NMHC	0.05
	NOx	0.05	NOx			0.05									
			JC08 (g/km)			2009	PM <sup>2</sup>			0.005					
	Light-duty (GVW≤1.7t)	10·15M+11M (g/km) <sup>1</sup>	2005			CO	1.15			JC08 (g/km) <sup>1</sup>	2009			CO	1.15
						NMHC	0.05							NMHC	0.05
				NOx	0.05	NOx	0.05								
						JC08 (g/km)	2009	PM <sup>2</sup>	0.005						
Medium-duty (1.7t≤GVW≤3.5t)				10·15M+11M (g/km) <sup>1</sup>	2005	CO	2.55	JC08 (g/km) <sup>1</sup>	2009			CO	2.55		
						NMHC	0.05					NMHC	0.05		
	NOx	0.05	NOx			0.05									
			JC08 (g/km)			2009	PM <sup>2</sup>			0.005					
	Heavy duty (GVW≤3.5)	JE05 (g/kWh)	2005			CO	16.0			JC05 (g/kWh)	2009	CO	16.0		
						NMHC	0.05					NMHC	0.05		
NOx				0.07	NOx	0.07									
							PM <sup>2</sup>	0.007							
Diesel vehicles				Passenger cars <sup>3</sup>	10·15M+11M (g/km)	2005	CO	0.63	JC08 (g/kWh)			2009	CO	0.63	
							NMHC	0.024					NOx	NMHC	0.024

STROM-Assist: Regional Trends in Electric mobility – Regional Study of Japan

				NOx	Small-sized	0.14	PM <sup>2</sup>	NOx	0.08	
					Medium-sized	0.15				
				PM	Small-sized	0.013		PM	0.005	
					Medium-sized	0.014				
Trucks and buses	Light-duty (GVW≤1.7t)	10-15M+11M (g/km)	2005	CO	0.63	JC08 (g/kWh)	2009	CO	0.63	
				NMHC	0.024	NMHC		0.024		
				NOx	0.14	NOx		0.08		
				PM	0.013	PM		0.005		
	Medium-duty (1.7t≤GVW≤3.5t)	10-15M+11M (g/km)	2005	CO	0.63	JC08 (g/kWh)	2009	CO	0.63	
				NMHC	0.024	NMHC		0.024		
				NOx	0.25	NOx		0.15		
				PM	0.015	PM		0.007		
	Heavy duty (GVW≤3.5)	JE05 (g/kWh)	2005	CO	2.22	JC08 (g/kWh)	2009 <sup>4</sup>	CO	2.22	
				NMHC	0.17	NMHC		0.17		
				NOx	2.0	NOx <sup>5</sup>		0.7		
				PM	0.027	PM		0.01		
Motor-cycles	Motor-driven cycles Class 1	Motorcycle test cycle (g/km)	2006	CO	2.0					
				NMHC	0.5					
				NOx	0.15					
	Motor-driven cycles Class 2			2007	CO	2.0				
					NMHC	0.5				
					NOx	0.15				
	Mini-sized motorcycles			2006	CO	2.0				
					NMHC	0.3				
					NOx	0.15				

STROM-Assist: Regional Trends in Electric mobility – Regional Study of Japan

Small-sized motorcycles	2007	CO	2.0
		NMHC	0.3
		NOx	0.15

Note: NOx: nitrogen oxides; HC: hydrocarbons; NMHC: Non-methane hydrocarbons; CO: carbon monoxide; PM: particulate matter. 1. All vehicles weighting 3.5t or less are regulated as follows+ Beginning in 2008, on the basis of (values measured in cold-start state in JC08 test cycle) × 0.25 + (values measured in 10·15-mode test cycle) × 0.75; and beginning in 2011, on the basis of (values measured in cold-start state in JC08 test cycle) × 0.25 + (values measured in warm-start state in JC08 test cycle) × 0.75. 2. PM values apply only to direct-injection, lean-burn vehicles equipped with absorption-type NOx reduction catalysts. 3. Small-sized diesel passenger cars have an equivalent inertia weight (EIW) of 1.25 (GVW of 1.256t) or less and medium-sized diesel passenger cars have an EIW over 1.25t. 4. Enforced since 2010 for medium-duty diesel vehicles weighting 2.5t or less and heavy-duty diesel vehicles weighing 12t or less. 5. Future regulations will mandate a stricter NOx value of 0.4g/kWh. Enforcement from 2016 for GVW>7.5t, from 2017 for tractor-trailer cabs and from 2018 for 3.5<GVW<7.5t.

Source: JAMA (2012).



Table 13 Heavy-duty diesel truck emissions regulations in Japan

Number of vehicles	Unit	NOx	HC	NMHC	CO	PM
Long-term regulations (1997,1998,1999)	g/kWh	4.5	2.9	-	7.4	0.25
New short-term regulations (2003, 2004)	g/kWh	3.38	0.87	-	2.22	0.18
New long-term regulations (2009, 2010)	g/kWh	2.0	-	0.17	2.22	0.027
Post-new long-term regulations (2009, 2010)	g/kWh	0.7	-	0.17	2.22	0.01
Future regulations (2016, 2017, 2018)	g/kWh	0.4	-	0.17	2.22	0.01

Note: NOx: nitrogen oxides; HC: hydrocarbons; NMHC: Non-methane hydrocarbons; CO: carbon monoxide; PM: particulate matter.

Source: JAMA (2012).

### 3.1.4 Financial support and incentives

For the promotion of low emission vehicles and clean energy vehicles, the government implements many economic incentives including various subsidies and tax reductions and financial supports.

#### *Subsidies related to the promotion of clean energy vehicles*

Clean energy vehicles (CEV) include BEVs, HEVs, FCEVs, CNG vehicles, hydrogen vehicles (HV), and LPG-alternative diesel vehicles.

In order to promote the use of new energy and energy conservation and to limit emissions of CO<sub>2</sub>, NOx and other pollutants from transportation sector, the government provides subsidies to those who introduce CEVs or install facilities for the supply of fuels, etc. (e.g. rapid chargers) to cover part of the costs required to introduce CEVs or install corresponding facilities. The operation of the subsidy system is shown in Figure 7.

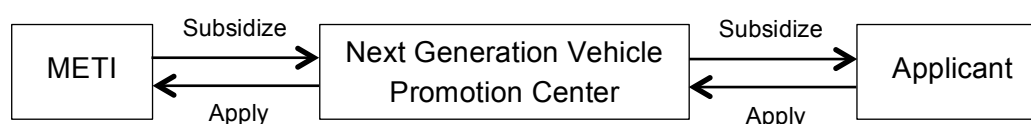


Figure 7 Operation chart of the subsidy system for clean energy vehicles

Source: Next Generation Vehicle Promotion Center (2012)

Eligible vehicles include BEVs, PHEVs and clean diesel vehicles (CDV). Eligible facilities for the supply of fuels, etc. include rapid chargers and CNG stations. Eligible parties for the introduction of CEVs include private business operators, etc. and for the installation of facilities for supply of fuels, etc. include private business operators who install rapid chargers and those who build CNG stations.

The governmental budget for supporting this subsidy system was JPY 4.27 billion (Euro 36.7 million) in 2009, JPY 12.4 billion (Euro 106.7 million) in 2010. In 2011, the upper limit of subsidy for BEV and PHEV including normal cars, small cars and Kei cars, was JPY 1 million (Euro 8,603) per vehicle. For four-wheel and two-wheel motorcycles the upper limit was JPY 70,000 (Euro 602) per vehicle. For CDV, the subsidy was up to JPY 400,000 (Euro 144). For the installation of rapid charger and normal charger, depending on the type of the facility, the

subsidy ranges from JPY 200,000 (Euro 1,721) to 1.5 million (Euro 12,904). The governmental total budget for supporting this subsidy system was JPY 28.2 billion (Euro 242.6 million) in 2011.

According to the interview with METI, the subsidies are offered as flat rate to all consumers, both private and public.

In 2012, the subsidy rate for vehicles was up to 50% of the price difference between a CEV (BEV, PHEV and CDV) and a corresponding conventional vehicle. The subsidy rate for facilities is up to 50% of the total cost of the installation of a rapid charger and up to 50% of the total cost of building a CNG station. In addition, there was also an amount of subsidy, up to JPY 533 million (Euro 4.6 million) in total, allocated to administrative costs related to the promotion of CEVs and related facilities, such as organising orientation and conferences, outsourcing, advertising, acquisition of literature and reference materials and travels. The total governmental budget for supporting this subsidy system was JPY 29.2 billion (Euro 251 million) in 2012.

In 2013, the total governmental budget was JPY 30 billion (Euro 258 million) in 2013. the subsidy rate was increased to up to 2/3 of the price difference between a CEV (BEV, PHEV and CDV, including normal cars, small cars, Kei cars and two-wheel and four-wheel motorcycles) and a corresponding conventional vehicle. For NISSAN Leaf, purchasing a Leaf is fully subsidised for the price difference between a Leaf and a corresponding conventional vehicle (Next Generation Vehicle Promotion Center, 2013).

Through subsidies which are implemented by the national government, the EVs number in regions with double incentives (national and prefecture) are increasing. According to the interview with Kanagawa Prefecture, the subsidies were seen to be the most important measure to promote EVs in particularly in the initial stage of introduction. Except for the subsidy provided by the national government (up to 50% of the price difference between the EV and an equivalent ordinary vehicle), the Prefecture provides additional financial assistance of about half of the national subsidy, i.e. another 25% of the higher costs of EVs compared to conventional cars. As a result, together with the national subsidy, 75% of the extra costs of EVs can be covered by the double incentives. In addition, the Prefecture gives full tax exemption from automobile tax and automobile acquisition tax for EVs. Other incentives include reduction of parking fees by 50% for EV users at the tall parking lots and a subsidy to cover 50% of the expressway tolls within the Prefecture to EV users.

The state of the subsidy system in 2012 is shown in Table 14 and Table 15.

Table 14 State of the subsidy system in 2012

Scope of subsidy	Application received		Application approved		Subsidy <sup>1</sup> provided	
	Number	Value (10 <sup>6</sup> JPY)	Number	Value (10 <sup>3</sup> JPY)	Number <sup>2</sup>	Value (10 <sup>6</sup> JPY)
PEV	17,668	10,420 (89.6) <sup>2</sup>	-	-	16,410	9,636 (82.9)
CDV	26,924	4,733 (40.7)	-	-	23,945	4,228 (36.4)
Chargers	2,670	749 (6.4)	2,662	746,500	998	258 (2.2)
Total	47,262	15,902 (136.8)	2,662	746,500	41,353	14,122 (121.5)

Source: Next Generation Vehicle Promotion Center (2012).

Note: 1. Types of vehicles include normal vehicles, small vehicles, Kei vehicles, and two-wheel and four-wheel scooters. 2. Numbers in bracket are in million Euros.

Table 15 State of the subsidy system from 2003-2011

Subsidy provided		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
BEVs	No.	402	292	1,352	504	219	84	1,604	6,544	9,283
	Value (Mio JPY)	97	54	91	38	45	27	2,145	5,533	6,792
	(Mio Euro)	0.8	0.5	0.8	0.3	0.4	0.2	18.5	47.6	58.4
HEVs	No.	16,024	39,530	35,605	33,276	299	370	32	0	0
	Value (Mio JPY)	3,438	8,310	7,069	3,340	141	172	15	0	0
	(Mio Euro)	29.6	71.5	60.8	28.7	1.2	1.5	0.1	0.0	0.0
CDV	No.						0	205	2,597	3,583
	Value (Mio JPY)						0	39,070	529,280	695,550
	(Mio Euro)						0	336	4,553	5,984
Charge facilities	No.	8	0	0	0	0	1	141	724	1,846
	Value (Mio JPY)	0.74	0	0	0	0	0.05	212	439	520
	(Mio Euro)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	3.8	4.5

Source: Next Generation Vehicle Promotion Center (2012).

*Policies supporting the promotion of low-emission vehicles*

In order to support the manufacturing, purchase and use of low-emission vehicles (LEV, including FCEVs, BEVs, CNGs, HEVs, PHEVs and others certified as high efficient and low emission vehicles), the Japanese Government implements various policies, including subsidies, tax reduction systems and financial support. Table 16 is a summary of these policies.

Table 16 Summary of the policies supporting the promotion of low-emission vehicles

	No.	Policies	Eligible vehicles					Eligible parties/substance	Responsible organization	
			FCEV	PEV	CNG	HEV	Others <sup>1</sup>			Facilities
Subsidies	1	Promotion of advanced next-generation vehicles	●				●		Subsidies to local governments which introduce FCVs and HVs.	MOEJ
	2	Promotion of low-emission vehicles used for special purposes					●		Subsidies to private sectors which introduce off-road hybrid vehicles.	
	3	Introduction of electric dust collection vehicles					●		Subsidies to local governments which introduce electric dust collection vehicles.	
	4	Promotion of low carbon society based on my-car regulation	●	●	●	●	●	●	Subsidies to private transportation companies which purchase HVs and charge facilities used for transportation service in the my-car regulated areas in national parks.	
	5	Promotion of environmentally-friendly vehicles			●	●			Subsidies to the operators of trucks and buses which introduce next-generation vehicles or transform from conventional fuels to CNG.	MLIT
	6	Promotion of the dissemination of BEVs through the greening of local transportation systems		●			●	●	Subsidies to the operators of trucks, buses and taxi which introduce BEVs and charge facilities or transform existing vehicles to BEVs.	
	No.	Policies	Eligible vehicles					Eligible parties/substance	Responsible organization	
			FCEV	PEV	CNG	HEV	Others <sup>1</sup>	Facilities		
Tax reduction	1	Exemption/reduction of automobile tonnage tax	●	●	●	●	●		Based on environmental performance within a specific time period	-
	2	Exemption/reduction of automobile acquisition tax (for new automobiles)	●	●	●	●	●		Based on environmental performance within a specific time period	-

	Special treatment for the acquisition of second-hand automobiles (automobile acquisition tax)	●	●	●	●	●		For second-hand vehicles, based on their environmental performance, a certain amount of tax can be reduced from the standard levels of automobile acquisition tax	-
3	Reduction of automobile tax to promote the greening of automobile tax	●	●	●	●	●		Reduction of automobile tax in the year after registration of new vehicles which are certified as low-emission vehicles by the end of 2013	-
4	Reductions in income tax and corporation tax based on tax reductions for green investment		●		●	●	●	Special tax reductions for the acquisition of low-emission vehicles and rapid charge facilities	-
5	Special treatment of fixed asset tax for the installation of the fuel supply facilities, etc.						●	For the installation of the fuel supply facilities, etc.	-
6	Special treatment of fixed asset tax for those special-purpose vehicles which comply with the new criteria of emissions					●		For off-road vehicles which comply with certain environmental criteria.	-

Note: 1. Others include hydrogen vehicles, CDV, vehicles that are certified as high efficient and low emissions, etc.

Source: MOEJ, MEXT, MLIT (2012).

Table 16 Summary of the policies supporting the promotion of low-emission vehicles (continue)

	No.	Policies	Eligible vehicles					Eligible parties/substance	Responsible organization	
			FCEV	PEV	CNG	HEV	Others <sup>1</sup>			Facilities
Financial support	1	Low-interest finance for small-and-medium sized enterprises provided by Japan Policy Finance Bank (Corporation)		●	●	●	●	●	For the acquisition of low-emission vehicles and relevant fuel supply facilities.	Japan Policy Finance Bank (Corporation)
	2	Low-interest finance for the public life provided by Japan Policy Finance Bank (Corporation)		●	●	●	●	●	For the acquisition of low-emission vehicles and relevant fuel supply facilities.	

Note: 1. Others include hydrogen vehicles, CDV, vehicles that are certified as high efficient and low emissions, etc.













Source: MOEJ, MEXT, MLIT (2012).
















*Tax incentives to promote the wider use of eco-friendly vehicles*






To help expedite the shift to low-carbon road transportation to achieve the global target of curbing global warming, the Japanese government has, since April 2009, applied both new and extended automobile-related tax incentives (see also tax reduction items 1, 2 and 3 in Table 16) to promote the wider use of eco-friendly (i.e. fuel efficient and low-emission) vehicles. For the purchase of new vehicles that comply with Japan's 2015 fuel efficiency standards, reductions/exemptions are applicable to the acquisition tax from 1 April 2012 and tonnage tax from 1 May 2012. The level of reductions or exemptions and eligibility requirements for new vehicles is shown in Table 17. Automobile tax reductions for passenger cars and small trucks and buses for the fiscal year 2012-2013 are shown in Table 18. Acquisition tax incentives for passenger cars and small trucks and buses for used vehicles are shown in Table 19.



Table 17 Acquisition and tonnage tax reductions/exemptions and eligibility requirements for new vehicles

Vehicle type		Reductions/exemptions		
Eligibility requirements	Vehicle sticker	Acquisition tax <sup>4</sup>	Tonnage tax	
<b>Passenger cars and small trucks and buses (GVW≤2.5t)</b>				
BEVs, FCEVs, PHEVs, CDV <sup>1</sup> , CNG vehicles <sup>2</sup>		Exemption	Exemption at the time of first vehicle inspection; 50% reduction at the time of second inspection	
Gasoline vehicles (including HEVs)	Compliant +20% compared to 2015 fuel efficiency standards with emissions down by 75% from 2005 standards <sup>3</sup>	 	Exemption	Exemption at the time of first vehicle inspection; 50% reduction at the time of second inspection
	Compliant +10% compared to 2015 fuel efficiency standards with emissions down by 75% from 2005 standards <sup>3</sup>	 	75% reduction	75% reduction
	Compliant with 2015 fuel efficiency standards with emissions down by 75% from 2005 standards <sup>3</sup>	 	50% reduction	50% reduction
<b>Medium-sized trucks and buses (2.5t&lt;GVW&lt;3.5t)</b>				
BEVs, FCEVs, PHEVs, CNG vehicles <sup>2</sup>		Exemption	Exemption at the time of first vehicle inspection; 50% reduction at the time of second inspection	
Diesel vehicles (including HEVs)	Compliant +10% to 2015 fuel efficiency standards with NOx and PM emissions down by 10% from 2009 standards	 	Exemption	Exemption at the time of first vehicle inspection; 50% reduction at the time of second inspection
	Compliant +5% to 2015 fuel efficiency standards with NOx and PM emissions down by 10% from 2009 standards	 	75% reduction	75% reduction
	Compliant +10% compared to 2015 fuel efficiency standards and compliant with 2009 emissions standards		75% reduction	75% reduction
	Compliant with 2015 fuel efficiency standards with NOx and PM emissions down by 10% from 2009 standards		50% reduction	50% reduction






				
	Compliant +5% compared to 2015 fuel efficiency standards and compliant with 2009 emission standards		50% reduction	50% reduction
Gasoline vehicles (including HEVs)	Compliant +10% compared to 2015 fuel efficiency standards with emissions down by 75% from 2005 standards	 	Exemption	Exemption at the time of first vehicle inspection; 50% reduction at the time of second inspection
	Compliant +10% compared to 2015 fuel efficiency standards with emissions down by 75% from 2005 standards	 	75% reduction	75% reduction
	Compliant +10% compared to 2015 fuel efficiency standards with emissions down by 50% from 2005 standards	 	75% reduction	75% reduction
	Compliant with 2015 fuel efficiency standards with emissions down by 75% from 2005 standards	 	50% reduction	50% reduction
	Compliant +5% compared to 2015 fuel efficiency standards with emissions down by 50% from 2005 standards	 	50% reduction	50% reduction
	<b>Heavy-duty trucks and buses (GVW&gt;3.5)</b>			
BEVs, FCEVs, PHEVs, CNG vehicles			Exemption	Exemption at the time of first vehicle inspection; 50% reduction at the time of second inspection
Diesel vehicles (including HEVs)	Compliant +10% to 2015 fuel efficiency standards with NOx and PM emissions down by 10% from 2009 standards	 	Exemption	Exemption at the time of first vehicle inspection; 50% reduction at the time of second inspection
	Compliant +5% to 2015 fuel efficiency standards with NOx and PM emissions down by 10% from 2009 standards		75% reduction	75% reduction

			
Compliant +10% compared to 2015 fuel efficiency standards and compliant with 2009 emissions standards		75% reduction	75% reduction
Compliant with 2015 fuel efficiency standards with NOx and PM emissions down by 10% from 2009 standards	 	50% reduction	50% reduction
Compliant +5% compared to 2015 fuel efficiency standards and compliant with 2009 emission standards		50% reduction	50% reduction

Note: 1. Passenger cars complying with 2009 emissions standards. 2. With NOx emissions down by 10% from 2009 emissions standards. 3. Fuel consumption and exhaust emissions requirements are JC08 test cycle basis. The “compliant +20% compared to 2015 fuel efficiency standards”, “compliant +10% compared to 2015 fuel efficiency standards” and “compliant with 2015 fuel efficiency standards” are equivalent to “compliant +50% compared to 2010 fuel efficiency standards”, “compliant +38% compared to 2010 fuel efficiency standards” and “compliant +25% compared to 2010 fuel efficiency standards”, respectively, when measured in the 10-15-mode test cycle, on which the 2010 fuel efficiency standards were based on. 4. Acquisition tax reductions/exemptions are applied once, at the time of new vehicle purchase during the period in which these reductions/exemptions are in effect.

Source: JAMA (2012).

Table 18 Automobile tax reductions for passenger cars and small trucks and buses (GVW≤2.5t) for FY2012-213\*

Requirements <sup>1</sup>	Vehicle sticker	Reduction
Compliant +10% compared to 2015 fuel efficiency standards with emissions down by 75% from 2005 standards <sup>2</sup>	  	About 50% reduction
Compliant with 2015 fuel efficiency standards with emissions down by 75% from 2005 standards <sup>2</sup>	 	About 25% reduction

\* Also applies to trucks and buses (2.5t<GVW<3.5t, gasoline vehicles) certified as fuel-efficient and low-emission vehicles.

Note: 1. Applies additionally to BEVs, FCEVs, PHEVs and CNG vehicles with NOx emissions down by 10% from 2009 standards. 2. Fuel consumption and exhaust emissions requirements are JC08 test cycle basis. The “compliant +20% compared to 2015 fuel efficiency standards”, “compliant +10% compared to 2015 fuel efficiency standards” and “compliant with 2015 fuel efficiency standards” are equivalent to “compliant +50% compared to 2010 fuel efficiency standards”, “compliant +38% compared to 2010 fuel efficiency standards” and “compliant +25% compared to 2010 fuel efficiency standards”, respectively, when measured in the 10-15-mode test cycle, on which the 2010 fuel efficiency standards were based on. 3. For eligible vehicles newly registered in 2012 and 2013, the automobile tax reduction is applied in the year subsequent to the year of registration.

Source: JAMA (2012).

Table 19 Automobile tax incentives for used passenger cars and small trucks and buses (GVW≤2.5t) for FY2012-213\*

Requirements <sup>1</sup>	Vehicle sticker	Reduction
Compliant +20% compared to 2015 fuel efficiency standards with emissions down by 75% from 2005 standards <sup>2</sup>	 	JPY 450,000 deductin from purchase price
Compliant +10% compared to 2015 fuel efficiency standards with emissions down by 75% from 2005 standards <sup>2</sup>	 	JPY 300,000 deductin from purchase price
Compliant with 2015 fuel efficiency standards with emissions down by 75% from 2005 standards <sup>2</sup>	 	JPY 150,000 deductin from purchase price

\* Also applies to trucks and buses (2.5t<GVW<3.5t, gasoline vehicles) and heavy-duty trucks and buses (HVs) certified as fuel-efficient and low-emission vehicles.

Note: 1. Applies additionally to EVs, FCEVs, PHEVs and CNG vehicles with NOx emissions down by 10% from 2009 standards and clean diesel passenger cars which comply with 2009 emissions standards. 2. 3. Fuel consumption and exhaust emissions requirements are JC08 test cycle basis. The “compliant +20% compared to 2015 fuel efficiency standards”, “compliant +10% compared to 2015 fuel efficiency standards” and “compliant with 2015 fuel efficiency standards” are equivalent to “compliant +50% compared to 2010 fuel efficiency standards”, “compliant +38% compared to 2010 fuel efficiency standards” and “compliant +25% compared to 2010 fuel efficiency standards”, respectively, when measured in the 10-15-mode test cycle, on which the 2010 fuel efficiency standards were based on.

Source: JAMA (2012).

### 3.1.5 Power generation, supply and storage

Japan has few domestic energy resources and is only 16% energy self-sufficient. It is the third largest oil consumer in the world and the third-largest net importer of crude oil. It is the world's largest importer of liquefied natural gas (LNG) and second largest importer of coal (USEIA, 2012).

On March 11th 2011, a 9.0 magnitude earthquake struck off the coast of Sendai, Japan, triggering a large tsunami. The earthquake and ensuing damage resulted in an immediate shutdown of 12,000 MW of electric generating capacity at four nuclear power stations. Other energy infrastructure such as electrical grid, refineries, and gas and oil-fired power plants were also affected by the earthquake, though some of these facilities were restored. Between the 2011 earthquake and May 2012, Japan lost all of its nuclear capacity due to scheduled maintenance and the challenge facilities face in gaining government approvals to return to operation. Japan is substituting the loss of nuclear fuel for the power sector with additional natural gas, low-sulfur crude oil, and fuel oil.

In the wake of the Fukushima nuclear incident, Japan's energy fuel mix likely will change as natural gas, oil, and renewable energy take larger slices of the market share and supplant some of the nuclear fuel (see Figure 8). In 2010, oil accounted for the largest share in the primary energy supply (40.1%), followed by coal (22.5%), natural gas (19.2%), nuclear (11.3%), other renewables (3.7%) and hydro (3.2%). In last decade, oil has kept declining gradually from 49% in 2000 while coal and natural gas has been gaining more shares from 18.5% and 13.8%, respectively in 2000.

Japan had 282 gigawatts (GW) of total installed electricity generating capacity, the third largest in the world behind the United States and China, in 2010. However, after the damage

to facilities by the March 2011 earthquake, IHS Global Insight estimates capacity fell to around 243 GW in mid-2011. From the 1 Terawatt hour (TWh) of electric power that Japan generated in 2010, 63% of which came from conventional thermal fuels, 27% from nuclear sources, 7% from hydroelectric sources, and 3% from other renewable sources. According to the IEA, the share of thermal generation rose to 186 TWh or 73% of total generation in the first quarter of 2012, the highest on record as LNG and oil supplanted some nuclear power.

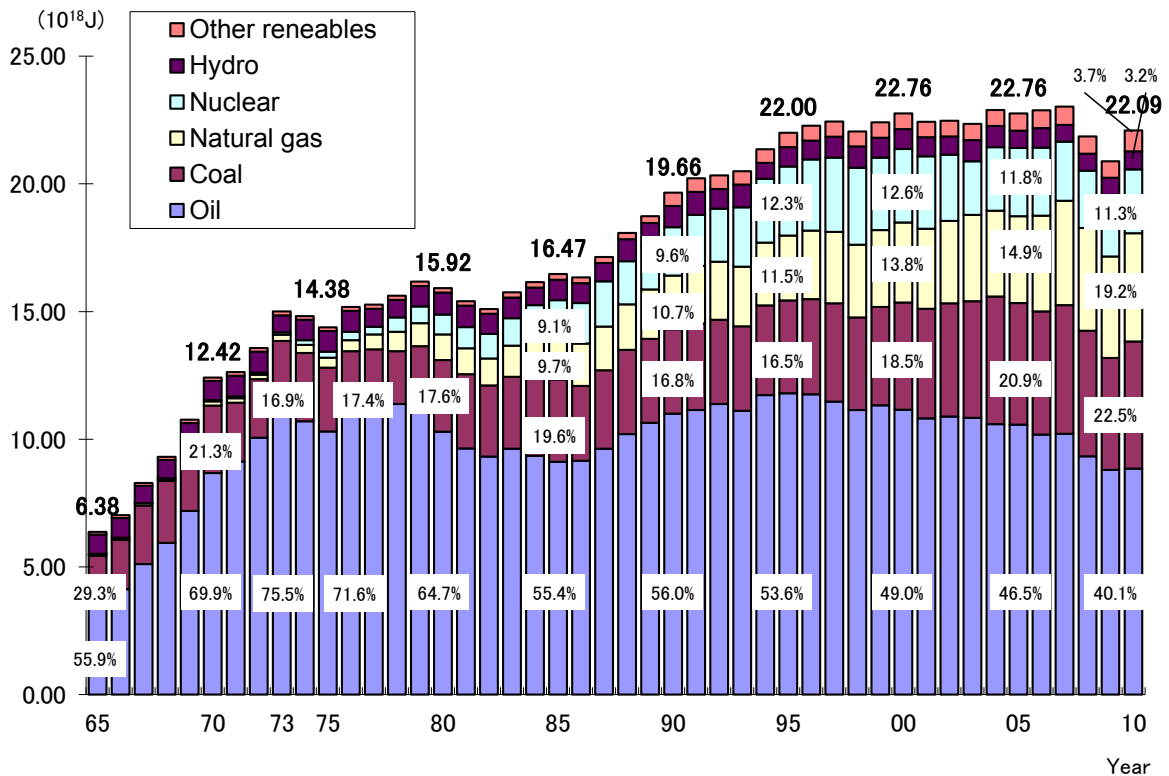


Figure 8 Primary energy supply in Japan  
Source METI (2012)

Japan’s electricity industry is dominated by 10 privately-owned, integrated power companies that act as regional monopolies, accounting for about 85% of the country’s total installed generating capacity. The remainder is generated by industrial facilities. The largest power company is the Tokyo Electric Power Company (TEPCO), which accounts for 27% of total power generation in the country. These companies also control the country’s regional transmission and distribution infrastructure. Japan’s electricity policies are managed by the Agency for Natural Resources and Environment, part of METI.

Other significant operators in the electricity market are the Japan Atomic Power Company, the first Japanese company to build a nuclear reactor in 1960, which operates four nuclear power plants with 2.6 GW total and sells electricity to the local power companies, and the Electric Power Development Company (J-Power), formerly a state-owned enterprise that was privatized in 2004. J-Power operates 16 GW of hydroelectric and thermal power plants.

### New National Energy Strategy

In light of the comprehension of domestic and international changes of the energy market environment, the Japanese government adopted the New National Energy Strategy in May 2006 with focus on energy security. The New National Energy Strategy, formulated by METI, intends to attain the following three objectives:

- Establishment of energy security measures that can trust and rely on;
- Establishment of the foundation for sustainable development through a comprehensive approach to address energy issues and environmental issues at the same time;
- Commitment to assist Asian countries and other countries in the world in addressing energy problems.

There are three points constituting the fundamental viewpoints for attaining the three objectives of the New National Energy Strategy (see Figure 9). These are:

(i) Establishing a state-of-the-art energy supply-demand structure

For Japan, with insufficient energy resources but high levels of energy consumption, the most effective measure to address diversified and multiple risk elements affecting energy supply would be the establishment of a state-of-the-art energy supply-demand structure by improving energy efficiency, diversifying and decentralizing energy resources, and retaining the strength to secure energy reserve. It is especially essential to maintain a certain level of dependence on nuclear energy which can be produced stably and does not emit carbon dioxide. In promoting the utilization of nuclear power, it is important to take all possible measures to ensure safety, focusing on quality assurance. However, after Fukushima accident, the Japanese government has reconsidered its previous strategy which aimed to expand nuclear power.

(ii) Comprehensive strengthening of resource diplomacy and energy and environmental cooperation

It is necessary to strengthen diplomatic efforts as well as energy and environmental cooperation in order to overcome tight energy supply-demand structure, and to prevent the occurrence of diversified or multiple risk factors or to minimize the adverse influence of these factors.

(iii) Enhancement of emergency response measures

In order to strengthen Japan's energy security drastically, it is essential to examine Japan's response ability to emergency.



Figure 9 Basic perspectives of the New National Energy Strategy

Source METI (2006)

Five specific targets have been set as common long-term goals to be attained jointly by the government and private entities. These are:

(i) Target of energy conservation

In the past 30 years, due to joint efforts of the government and private companies to promote energy conservation, started after the two oil crises, Japan's energy efficiency had improved about 37%. This is one of the best efficiency improvement achievements in the world. By 2030 another 30% improvement in energy efficiency was set as the new target for energy conservation.

(ii) Target of reducing oil dependence

Japan's oil dependence has been decreasing since the first oil shock and stayed about 50% at present in terms of the ratio of oil to the total supply of primary energy. By 2030, this ratio will be reduced to be lower than 40%.

(iii) Target of reducing oil dependence in transportation sector

Currently, dependence on petroleum in transportation sector is as high as almost 100%. The percentage will be reduced to around 80% by 2030.

(iv) Target on nuclear power generation

Before Fukushima accident, nuclear power was a key basic energy source in Japan, occupying about one third of total power generation. The share of nuclear power in total power generation was planned to maintain or increase at the level of 30 - 40% or more up to 2030. However after 3/11, in early July 2011, former Prime Minister Kan (Liberal Democratic Party) has urged a nuclear-free future for Japan, stating that the country should aim to develop alternative energy sources such as solar, wind and biomass. In 2012, Prime Minister Noda backpedaled from such a strong commitment to nuclear-free future, yet suggested reduction in future dependence on nuclear power. Nevertheless, this is a significant policy shift and a clear indication that the Japanese government and key policy-makers are starting to judge the future of nuclear energy in Japan dispassionately, rather than primarily on supply security grounds.

(v) Target of development of overseas energy resources

The ratio of crude oil in which Japanese companies have rights and interests to Japan's total imports of crude oil has been gradually increasing from 8% to around 15% at present in terms of oil exploration and development by Japanese companies. With global competitions for energy resources becoming fierce, this ratio is targeted to increase to around 40% by 2030.

To achieve the target of reducing oil dependency in transportation sector from nearly 100% to 80% in by 2030, the New National Energy Strategy lists up a series of action plans including the following:

- (i) Establish new fuel efficiency standards that promote fuel efficiency of passenger vehicles by 2006; make steady improvements in automobile fuel consumption; examine the octane value improvement of regular gasoline, which influences fuel consumption improvement, and report the results by 2008.
- (ii) Re-examine the regulation on the upper limit of blending oxygenated compounds that contain ethanol by 2020 via improvements of biomass-derived fuel supply infrastructure through environmental and safety countermeasures of gas stations, and by prompting automobile industry to adopt 10% ethanol mixed gasoline. Moreover, promote the use of diesel vehicles that have exhaust gas performance equal to gasoline vehicles, which is also important for the utilization of gas to liquid (GTL) technologies, and promote the use of GTL by mid of 2010.
- (iii) Examine the support policies for local efforts towards the expansion of domestic bio ethanol production and the modalities of support to the imports of biomass-derived fuels such as bio ethanol. Promote the supply of new fuels such as biomass-derived fuels and improve economic efficiency by promoting the development of high efficiency ethanol production technology and GTL technology.
- (iv) Promote the dissemination of BEVs and FCVs, which will be put into practical use very soon; work intensively on the R&D of next-generation batteries and FCVs; develop a safe, simple, efficient and low-cost hydrogen storage technology; and promote the development and practical application of next-generation vehicles.

Strategic Energy Plan of Japan

The Strategic Energy Plan of Japan, published by the Cabinet, articulates fundamental directions of energy policy in Japan. Based on the Basic Act on Energy Policy, the Strategic Energy Plan of Japan is required to be reviewed at least every three years and be revised if needed. The first Strategic Energy Plan of Japan was formulated in 2003 and revised in 2007 and again revised in 2010, taking into account the directions provided in the New National Energy Strategy described above. The basic viewpoint of the Strategic Energy Plan is to ensure energy security, environmental protection, and efficient supply. In this revision, two new viewpoints were added. They are: energy-based economic growth and reform of energy industrial structure. Japan will fundamentally change its energy supply and demand system by 2030.

The newly revised Strategic Energy Plan set up several ambitious targets up to 2030. These include: (i) Doubling of the energy self-sufficiency ratio (presently 18%) and self-developed fossil fuel supply ratio (currently 26%) and as a result raise "energy independence ratio" to



about 70% (38% at present). (ii) Raise the ratio of zero-emission energy sources to about 70% (34% at present). (iii) Reduce half of CO<sub>2</sub> emissions from residential sector. (iv) Maintain and enhance energy efficiency in the industrial sector to attain the highest level in the world. (v) Maintain or obtain global market shares of top-class energy-related products and systems. As a result, domestic energy related CO<sub>2</sub> emissions will be reduced by 30% or more in 2030 compared to the 1990 levels.

From the supply side, specific measures to achieve independent and environment-friendly energy supply structure include the following:

- (i) Expanding the introduction of renewable energy by expanding the feed-in tariff system (wind, middle-small size hydro, geothermal, and biomass in addition to photovoltaic), strengthening support for the introduction of renewable energy (R&D support, financial support, initial cost support, tax reduction for introduction, etc.) and power grid stabilization and relevant deregulation.
- (ii) Promoting nuclear power generation by building 9 new or additional nuclear plants (with the overall plant capacity utilization rate at about 85%) by 2020 and more than 14 (with the rate at about 90%) by 2030, achieving long-term cycle operations and shortening operation suspensions for regular inspections, improving the power source location subsidy system (by considering measures to promote the construction and replacement of nuclear plants and place a greater weight on electricity output in calculating subsidies), achieving the nuclear fuel cycle establishment including the development of “pluthermal” and fast breeder reactors and International cooperation for nonproliferation and nuclear safety.
- (iii) Promoting the utilization of fossil fuels by requiring to reduce CO<sub>2</sub> emissions of the plants to the integrated gasification combined cycle (IGCC) plant levels in principle when planning to construct new coal fossil power plants by the beginning of the 2020s, accelerating the CCS (carbon capture and storage) technology development for an early commercialization (around 2020s) by requiring new coal thermal plants for future planning to be CCS-ready and to be equipped with CCS technology by 2030 on the precondition of commercialization, spreading its advanced clean coal technologies overseas and promoting further technology development and demonstration domestically, enhancing electricity and gas supply systems, building the world’s most advanced next-generation interactive grid network as early as possible in the 2020s and considering specific measures to double the electricity wholesale market in three years.

From demand side, specific measures to realize a low carbon energy demand structure include the following:

- (i) Industrial sector will enhance the world’s most advanced energy efficiency through introducing the most advanced technologies for replacing equipment, enhancing energy conservation law operations and commercialize innovative technologies and enhancing support for fuel conversion, etc.
- (ii) Residential sector (i.e. households and offices) will make net-zero-energy houses available by 2020 and realize net-zero-energy houses in average by 2030, set compulsory energy-saving standards for houses and compiling compulsory standardization targets, provide support measures within this year under the

cooperation between METI and MLIT, prevail highly efficient water heaters to the amount of 80-90% of all family units in 2030 and replace 100% of lights with highly-efficient lights (including light-emitting diode (LED) and organic electroluminescence lighting) on a flow basis by 2020 and on a stock basis by 2030.

- (iii) Commercial sectors (i.e. offices) will realizing net-zero-energy buildings for new public buildings by 2020 and realize net-zero-energy buildings in average by 2030, introduce new integrated standards for energy consumption at all buildings for implementation in two years, enhancing support and regulatory measures (including top-runner standards) to diffuse energy-saving consumer electronics, energy-saving information technology equipment, heat pump water heaters, fuel cells, hybrid construction machines and other highly efficient equipment.
- (iv) Transportation sector will raising next-generation vehicles' share of new vehicle sales to up to 50% by 2020 and up to 70% by 2030 by mobilizing all possible policy measures (including 2020 fuel efficiency standards, introduction support measures and diffusion of battery chargers).
- (v) Cross-sectional efforts will consider municipal-level energy use optimization policy measures

To achieve the emissions reduction targets by 2030, the transportation sector will diffuse next-generation vehicles and improve fuel efficiency. 70% of new vehicles will be next-generation vehicles by 2030 (currently 10%). Introduction of biofuels to transportation fuels will be expanded to the maximum extent. Total investment for these two measures will be JPY 13.6 trillion (Euro 117 billion). Share of railroad and coastal shipping will increase in mid and long-distance transportation for modal shift. The emissions reduction target for the transportation sector is shown in Figure 10. Total emissions reduction will be 54 million tons.

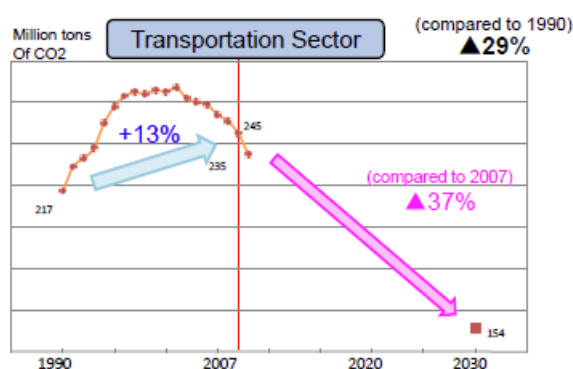


Figure 10 Emissions target for transportation sector by 2030

Source METI (2010a)

### New policy trend after the Fukushima accident

The Japanese government and electric utilities have taken several steps to ensure power supply meets demand following the Fukushima crisis. Some of these measures for thermal power stations include restoring some of the disaster-affected plants, relaxed regulations on inspections of the stations, and restarting mothballed oil-fuelled stations. Also, the government promoted power restraints for consumers in the disaster-affected areas throughout 2011, invoking a 15-percent power reduction on all consumer groups. The Energy and Environment Council concluded that the government would need to request voluntary

power saving efforts of 10% and 5%, respectively, from end users of Kansai Electric Power Company and Kyushu Electric Power Company during the summer of 2012. Also, the government requested that four western service areas with surplus capacity to cut electricity consumption by 5% in order to transfer power to the north-eastern power areas with electricity deficits.

The Japanese government, under the Prime Minister Noda, began to officially discuss the new energy policy in October of 2011, to address safety measures and the future of nuclear energy following the March 11 earthquake and tsunami and revise the Strategic National Energy Plan created in 2010. The 2010 Strategic National Energy Plan calls for at least 9 new nuclear reactors to be constructed by 2020 and the nuclear share of the electricity sector to increase to over a 50% share by 2030 as the country attempts to reduce GHG emissions. However, the Fukushima catastrophe created greater public concerns and revealed potential dangers of an aggressive nuclear policy. Currently, experts on an advisory panel to the government are in disagreement over the amount of nuclear fuel mix with proposals ranging from zero to 35% by 2030. The revised energy policy is slated to take effect in the second half of 2012 and increase the role of LNG, oil, and renewable fuels following the government's assessment of energy security for the country's power sector.

### **3.1.6 Demonstration Projects**

To implement the Dissemination Strategy under the Proposal on Full-fledged Dissemination of New Generation Vehicles (June 2007), the EV/PHEV Towns Concept was proposed by METI as a demonstration project for the business model experiment towards full-fledged dissemination of PEV. Moreover, the Strategy 2010, in particular the Infrastructure Strategy, aims to lay the groundwork for a shift from the "market preparation phase," in which the number of BEVs in use is limited due to restricted cruise range, to a "full-fledged dissemination phase" by promoting infrastructure development at a trial basis in selected EV/PHEV Towns, based on which best practices will be summarized and disseminated.

In March 2009, eight prefectures were selected in the first-phase selection of EV/PHEV Towns and in December 2010, ten additional prefectures were added in the second phase of EV/PHEV Towns (see Figure 3.11).

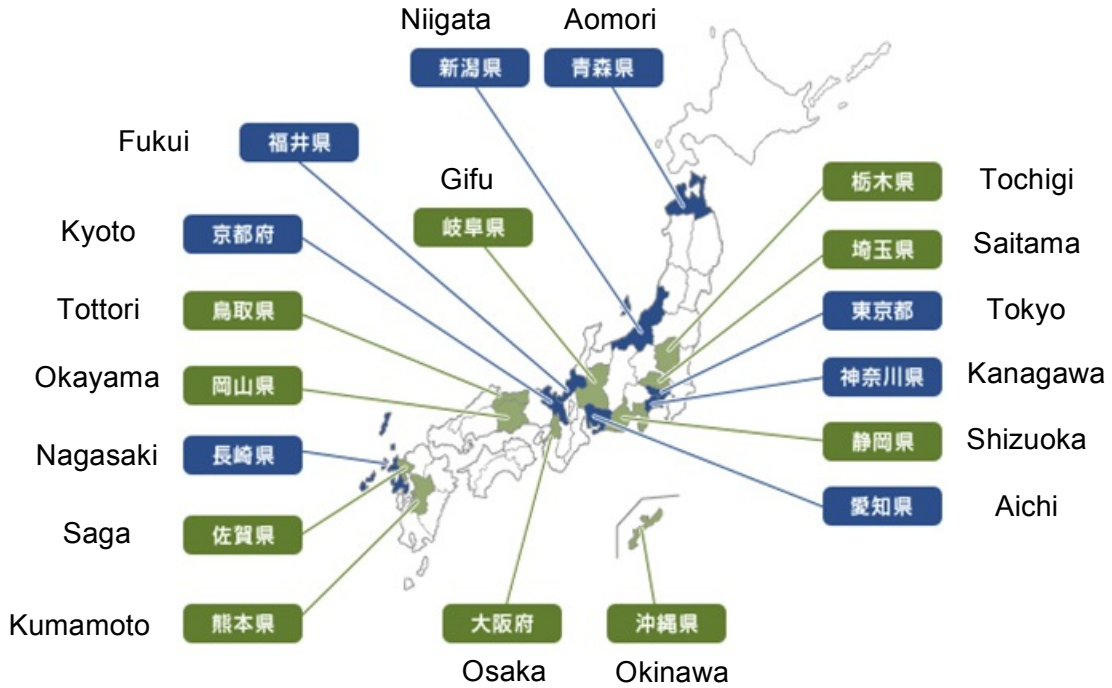


Figure 11 EV/PHEV Towns (up to December 2010)

Note: Color in blue: prefectures selected in the first phase; Color in green: prefectures elected in the second phase.

Source METI (2011)

Four priority areas have been identified to implement the EV/PHEV Towns Concept (see Figure 12), including (i) creation of initial demand; (ii) development of infrastructure; (iii) public education and awareness raising; and (iv) evaluation and improvement. Among four priority areas, creation of initial demand and development of infrastructure are critical in achieving the goals set in the strategy.

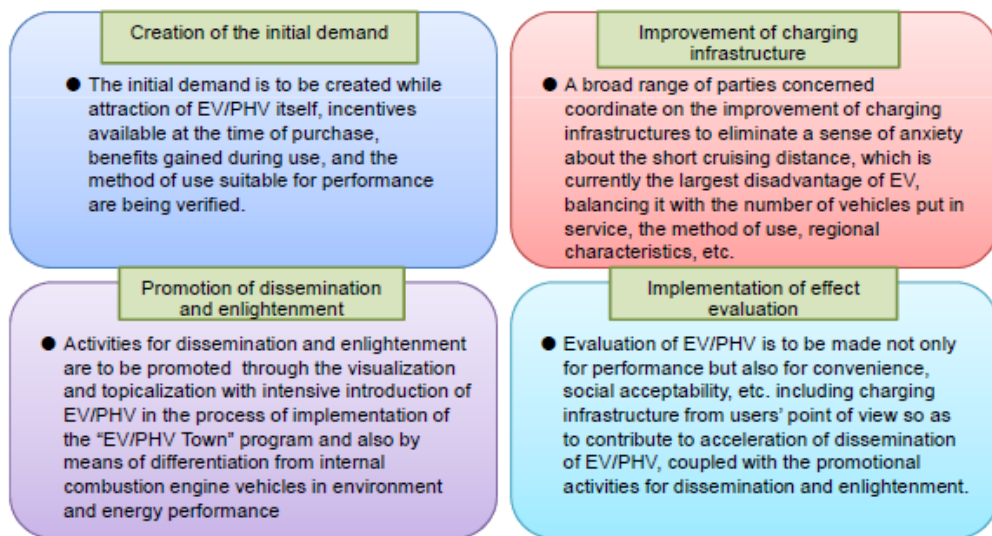


Figure 12 Outline of the EV/PHEV Towns Concept

Source METI (2010b)

### Creation of initial demand

For the creation of initial demand, many measures have been implemented in EV/PHEV Towns. These include:

(i) Introduction of PEVs as official cars for prefecture and municipalities

Almost all EV/PHEV Towns have proactively introduced PEVs as official vehicles in order to generate initial demand and promote their use within the prefecture. The number of vehicles used by both prefectures and municipalities is growing. At the end of FY2009, there were 143 BEVs used as official cars and in 2010 this was increased to 166 vehicles.

(ii) Exhibition of vehicles and test-ride events

Individual local governments utilize the introduced BEVs/PHEVs for carrying out their services. They are also used for enlightenment activities, such as exhibition and experience driving at the event, etc. Examples include: an BEV test-ride event and PHEV exhibition at the memorial park of the 2005 World Exposition in Aichi, Japan; an exhibition and test-ride event on the occasion of G8 Energy Ministers' Meeting.

(iii) Introduction of PEVs for rental car and taxi business

To gain more public recognition, PEVs have been used by the EV/PHEV towns for car sharing, rental car and taxi services. The number of BEV used as rental cars is gradually rising. In Nagasaki Prefecture, there were more than 100 PEVs for rental car and in Okinawa prefecture, there were more than 230 BEVs for rental car (as of 2010). In Kanagawa Prefecture, the prefecture collaborates with rental car companies to arrange that while BEV rental cars are used by the prefecture for official purpose on weekdays, they are rented to general users on Saturdays, Sundays and holidays to offer the opportunities for more residents to experience with BEV driving.

(iv) Activities for information dissemination through internet and implementation of activities such as environmental education

It is important to let people know that PEV has different characteristics from conventional vehicles. For people who are considering purchasing an PEV, it is important to let them see the benefits of using PEV. For example, in 80% of the cases, average daily driving distance is 40 km or less. Therefore using BEV will have no disadvantage in terms of cruise range. There are many advantages in using PEV, including low fuel costs, no need to go to the filling station, riding comfort and easy to accelerate with large torque. For those people who are using an PEV temporarily, it is important not to make them feel inconvenient. For example, it is necessary to let them know rapid charge locations and how to use them. It is also important to let them know that the driving range can be much smaller than what is mentioned in catalogues, in particular when using heater in winter. For people who have already purchased PEV, it is important to let them help build a society for the further promotion of PEV. For example, it is necessary to let them remember the characteristics of rapid chargers, where the rapid chargers are located and the way of eco-friendly driving to extend cruise range.

Many prefectures designed their logos and have been promoting the dissemination by putting the logos on PEVs, charge facilities and other publicity materials. Knowledge about PEVs has also been disseminated through environmental education at elementary schools, junior high

schools and senior high schools and through training programs at prefectural advanced technical colleges, internet and other events.

- (v) Providing supporting measures, such as tax incentives and reductions in other automobile related expenses such as parking discount and highway discounts

In order to encourage purchasing and introduction of BEVs/PHEVs, both the national government and local governments have implemented several tax incentives, including automobile acquisition tax exemption (eco-car tax reduction implemented nationwide in the period of 2009-2011), vehicle tax reduction (implemented nationwide under the Automobile Green Tax System up to 2011) and light motor vehicle tax reduction/exemption. In addition, local governments in many EV/PHEV Towns have provided subsidies for the introduction of BEVs/PHEVs by business operators, such as Taxis, buses, rental car companies, etc.

Various preferential treatment schemes are implemented, including providing priority parking spaces for PEVs, discount for using public facilities, discount for using parking lot and highway discount, etc.

In a stakeholder interview, Kanagawa Prefecture provided additional information about the EV/PHEV Towns Project implemented in the Prefecture. For the EV Sharing Model Project, the Prefecture collaborates with a car rental company. During the weekdays, EVs are reserved for government use; while during the weekends, EVs can be used privately as rental cars. For Taxi Promotion Project, currently 43 EV taxies are in service in the Prefecture. In some sightseeing spots, discount for meals and free souvenirs are offered to EV users.

### **3.1.7 Provision of infrastructure**

PEVs are expected to be used as a means to enhance energy security and to combat global warming, therefore use of nighttime electricity at home will form the basis for BEV charge. It is therefore important to build private charging environments. However, given the operational capacity of current BEVs, it is also necessary to develop public charging infrastructure outside of home to dispel worries about loss of charge. There are various types of charging infrastructure available, including 100-V (household) outlets, 200-V outlets and pole chargers, and rapid chargers.

Classification of private charging by locations of installation is shown in Table 20. Basically private charging will be installed by the purchasers themselves. However because vehicle owners cannot independently install chargers in condominium/apartment buildings and rental parking lots, installation must be based on certain procedures within a decision-making process. Moreover, because installing chargers in mechanical parking garages, which are commonly used at condominium/apartment buildings, is more expensive than at ordinary houses, it is important to arrange approaches that are acceptable to building homeowners' associations, etc. Some EV/PHEV Towns are working to solve various issues concerning condominium/apartment buildings and rental parking lots, and urging condominium/apartment building developers to install chargers.

Table 20 Classification of private charging

	Location	Parking lot type	Charging type
Private charging	House	Standard ground-level	Normal
	Condominium/apartment building	Standard ground-level/drive-in	Normal
		Mechanical (two-level/multi-level)	Normal
	Office building	Standard ground level/drive-in	Normal
		Mechanical (elevator)	Normal
	Outside parking lot	Standard ground-level	Normal

Source: METI (2011)

Some good practices include for example, Kanagawa Prefecture established a study group on the development of basic charging infrastructure, including members from developers, condominium homeowners' associations and mechanical parking garage manufacturers to promote the development of charging facilities in condominium, apartment buildings and rental parking lots. The Study Group hold dialogues to solve various issues surrounding installation of charging facilities. Aichi Prefecture urged condominium/apartment building developers to install charging facilities in their new buildings. Sales of new buildings with charging facilities have been starting in some areas.

Public charging infrastructure should be developed with considerations for the characteristics of each charging facility type, time of users' stay at the facilities, traffic flow situation and other factors. Locations at public charging installations could be versatile of different places/spots, such as convenience stores, railway stations, commercial facilities, gas stations, auto dealers shops, hotels, stations/airports, rental parking lots, municipal buildings, museums and golf courses. Usually normal chargers are low cost but require considerable time for charging while rapid chargers will take less time but more expensive. It is recommended that normal chargers would be more appropriate to be installed at golf course where users will spend longer time at the site and rapid chargers would be more appropriate for "Michi no Eki" roadside station which users on a long-distance travel can stop by for charging.

Even if public charging facilities are established, their effective uses can suffer if the users do not know where they are and how to use them. Therefore EV/PHEV Towns are studying and implementing a variety of methods for publicizing the locations of facilities. These include posting unified logos near charging facilities to draw attentions to their locations and improve their visibility, providing the information about locations of public charging facilities via websites and printing brochures for tourists, etc.

For the promotion of the installation of charging facilities, some EV/PHEV Towns provide subsidies to the installation of charging facilities to reduce related installation costs. The scope of subsidies vary from prefecture to prefecture. For example, Kanagawa, Tochigi and Tottori, etc. provide subsidies for compensating the construction expenses; Niigata provide subsidies covering only rapid chargers to be installed in the underdeveloped or priority regions; and Okayama provide subsidies for normal chargers to be installed at hotels and Japanese-style inns.

According to the new national subsidy program of FY2012, implemented for the period of 25 March 2013 – February 28 2014, the total subsidy for the promotion of EV/PHEV charging facilities provided by the national government will be JPY100.5 billion. Many local governments, including Kanagawa Prefecture, based on a voluntary basis, formulated the Promotion Vision for EV/PHEV charging facilities for their administrative jurisdiction. The Vision includes details (Vision List) about future planning for the locations and number of facilities. Purchasing and installation of facilities which match the vision list and the requirements of public use provided by the national subsidy scheme (named as Type 1 facilities) can receive subsidy covering 2/3 of their total investment (both the costs of the facility and the installation costs). There are another three types of facilities which do not match the vision list but satisfy other specific requirements of the national subsidy scheme, i.e. Type 2 facilities for public use that do not match the vision list; Type 3 facilities installed at private parking lots and condominium/apartment buildings; and Type 4 other facilities. Type 2 and 3 facilities can receive subsidy covering 50% of their total investment (purchasing costs and installation costs) and Type 4 facility can receive subsidy covering ½ purchasing costs. 2/3 of the investment is going to be covered; Kanagawa Prefecture is going to support this.

Kanagawa Prefecture provides subsidies to install quick chargers (duration of charging approximately 30 min) for municipalities and businesses and provides information on chargers (easy access website). The Prefecture set up a goal of 100 quick chargers by FY2014, which was achieved in 2011. As of April 2013, 159 quick chargers were installed. Ordinary chargers (100/200 V, 8 h charging) were installed at 366 locations (mainly restaurants and hotels).

For charging fees, the decision on whether to levy fees at public charging facilities is generally left to the business operators. However at present time, the initial phase of PEV penetration, almost no facilities charge fees. On the other hand, given that almost all rapid chargers are used currently free of charge, some issues are coming out of concern. For example, people prefer to use free public chargers in their neighbourhood charging facilities rather than charging at home. This will deviate from the main purpose of using rapid chargers as a “safety net” and impact adversely on further development of private charging environment. This will also hinder business operators in recovery of their investment and discourage of installation of rapid chargers.

Chargers in some regions are equipped with communication networking functions for identifying the condition of charger use and other data, which help to determine charger availability and to make reservations. For example, Osaka Prefecture has taken early steps to introduce a reservation and authentication system for the preparation of full-scale use of BEVs and fee charging for chargers in the future. Since March 2010 the chargers of various manufacturers have been networked through communications infrastructure, which enable the users to reserve chargers via mobile phones and to make personal authentications using FeliCa cards (the world’s first such network). A total of 35 chargers, of which 28 located in Osaka (23 rapid chargers) and 7 located in Kobe and Kyoto areas (4 rapid chargers), are operating based on interconnectivity among three system companies. Information on availability of rapid chargers is provided in real time to car navigation systems installed in Nissan Leaf cars.



### **3.1.8 Stakeholder opinions on government activities and policies**

#### Motivations of governmental support for electric vehicles

There are ecological and economical motivations of the Japanese government to support electric vehicles. Accounting for 20 % of the manufacturing and of the jobs in Japan, the automotive industry is a significant industry; the government wants to support it in sustaining its competitiveness by funding xEVs. The government also aims at reducing GHG emissions in the transport sector by 20% and considers electric vehicles as an important element of its carbon reduction strategy. After the Tsunami and the nuclear accident of Fukushima, xEVs also gained importance as an energy storage in case of disasters and blackouts. While also taking into account other future vehicle technologies, the government sees battery-electric mobility as the concept that is closest to market readiness.

#### Government strategy regarding electric vehicles

Government stakeholders see several challenges for electric mobility: the high initial purchase price, the short driving range, especially relevant for long distance trips, and the lack of charging infrastructure.

To address these challenges, the strategy to promote electric vehicles builds on different instruments, e.g. enhanced emission regulation, tax exemptions, acquisition subsidies and research funding – with a focus on monetary incentives for the purchase of vehicles.

Developed in 2010, the central pillar of the BEV-strategy is the Next Generation Vehicle Strategy which consists of six sub plans: the overall plan for the market integration of xEVs; the battery plan to develop and produce high-performance batteries; the plan on rare metals with a research focus on the reduction of the amount of rare materials needed; the plan on infrastructure with national promotion measures for a charging network; the plan on systems to integrate xEVs into the grid and use them as energy storage, and a plan to develop and unify international standards. Apart from full-sized xEVs, the government promotes small vehicles (comparable to the Renault Twizy) in its Ultra Small Vehicle Strategy.

There are also regional strategies on the prefecture level. The Kanagawa prefecture, for example, has set up targets for the initial purchase of BEVs (3,000 BEVs till 2014), that have already been reached in 2012. The strategy is part of the CO<sub>2</sub>-saving plan of the prefecture and concentrates on BEVs.

At the moment, there are no plans to set new targets or initiate new policies after reaching the initial targets.

#### Organisational Structures and Cooperation

The Next Generation Vehicle Strategy is being implemented by different Ministries and government organisations: The Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) is responsible for the field of non-commercial passenger cars, the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) is responsible for fleet vehicles, i.e. commercial vehicles, transport activities of businesses and passenger transport in form of public transport. The Ultra Small Vehicle Strategy has been developed and is being implemented by MLIT (regardless if the vehicles are for private or business purposes).

NEDO is the funding institution under METI, responsible for two main initiatives: Technologies for smart communities, and Technology and development for secondary battery and electricity storage.

In the Kanagawa prefecture, an BEV Promotion Council coordinates the different municipal, prefectural, industrial and academic stakeholders and develops the strategy for BEV promotion.

According to government experts, different stakeholders from research, industry and politics have been involved in the development of the Next Generation Vehicle Plan. They point out that the cooperation in the implementation of the plan mostly focuses on long-term technologies which are not competitive yet – e.g. battery development for 2030; thus, the cooperation between manufacturers and between research institutions and manufacturers is regarded as relatively limited.

While the Japanese government traditionally has a strong power to lead industrial developments, stakeholders see the further development of the EV-strategy also as a task of the companies to keep pace with the global development.

#### Market creation instruments

The high initial purchase price of BEVs and PHEVs is seen as a major barrier for the market development. Thus, purchase subsidies play an important role in the Japanese BEV strategy to trigger the market development and realise economies of scale that lead to a cost reduction. Government stakeholders regard the benefits of the economies of scale – meaning a dimension of about 500.000 units of a vehicle model – as more relevant for the price development than the costs e.g. of rare materials. Therefore it would be important that the government provides subsidies to trigger the market development to realise economies of scale.

The government provides acquisition subsidies for both public and private customers, differing between BEVs and PHEVs. The subsidies are limited and expected to expire in 2016. While the subsidies for private vehicles make up 75% of the price difference between conventional cars and xEVs, commercial vehicles like trucks, busses and taxis, receive higher subsidy ratios, e.g. 50% of the full price of an electric bus and 30% of the price of an electric taxi. The budget for commercial vehicle subsidies is 270 million JPY (1.5 billion JPY including supplementary subsidies).

Apart from direct subsidies, discounts of the acquisition tax for BEVs and PHEVs play a relevant role as an incentive.

On the regional level, additional incentives support the market creation. In the Kanagawa prefecture, a subsidy for BEVs was provided until 2012 – when the target number of vehicles was reached. It accounted for about  $\frac{1}{4}$  of the price difference between BEVs and conventional vehicles – together with the national subsidy,  $\frac{3}{4}$  of the price difference could be covered. With a full tax exemption from automobile tax and acquisition tax and a 50% reduction of public parking fees, BEVs are additionally incentivised by the prefecture. PHEVs do not receive additional support from the prefecture. External stakeholders mentioned that Kanagawa's incentive scheme is mainly addressed to Nissan, which is located in the prefecture, and its BEV model Nissan Leaf.

Experts from industry and consultancies mention the problem of a potential time gap in the funding system: While the subsidies on national level are said to phase out in 2016 it is not yet clear if the purchase price of EVs will have dropped enough to provide a self-sustaining market and profit from the effects of economies of scale. Thus, until 2016 the manufactures have to establish a working business model.

### *Regulatory framework*

MLIT is responsible for technological standards concerning conventional and electric vehicles. While there are no specific regulations for xEVs, the general fuel efficiency standard will be increased to 20.3 km/l, following the top-runner-approach. Additionally, strict standards on PM emissions are being implemented. According to stakeholders from MLIT, these strict standards are expected to favor xEVs.

Regarding standards for BEV safety and charging compatibility, Japan is involved in the international standardisation process. Safety standards for high voltage vehicles and batteries are already in place.

Concerning Ultra small vehicles, governmental stakeholders see difficulties to use these vehicles in the existing transport infrastructure due to safety issue.

Restrictions like clean vehicle zones or binding shares of BEVs in public fleets are not being planned by MLIT.

### *Charging Infrastructure*

National subsidies cover 50% of the investment for a charging station. According to the new national subsidy program of FY 2012, implemented for the period of March 2013 – February 2014, the total subsidy for the promotion of charging facilities provided by the national government will be JPY 100.5 billion (Euro 864.6 million)

For the implementation of charging infrastructure, national government experts see local governments as key players, since the local conditions and structures play an important role for the decision about infrastructure, and on a local level, the management can be coordinated in a better way. Some experts mention that an additional local government incentive would boost the growth of charging station installations.

Some experts suggest that station density is more important than quality (e.g. regarding charging voltage); with a given amount of money, it could be possible to improve the infrastructure density in a short term. According to a battery researcher, it is crucial for the battery lifetime to reduce charging speed when the battery is loaded by 60%. This would require intelligent charging processes which are not in place yet.

Many local governments, including the Kanagawa prefecture, formulated the Promotion Vision for PEV charging facilities, including details on future planning of locations and number of facilities. Facilities which match the vision list and the requirements of public use provided by the national subsidy scheme (“Type 1 facilities”) are eligible to receive subsidies covering 2/3 of their total investment. Further three types of facilities which do not match the vision list but satisfy other specific requirements of the national subsidy scheme are Type 2 facilities for public use, Type 3 facilities installed at private parking lots and condominium/apartment buildings, and Type 4 other facilities. Type 2 and 3 facilities can receive subsidy covering ½ of their total investment (purchasing costs and installation costs)

and Type 4 facility can receive subsidy covering ½ purchasing costs. The Kanagawa prefecture provides subsidies to install quick chargers (charging time about 30 minutes) for municipalities and businesses and provides information on charging stations. The target of 100 quick chargers by FY 2014 was already achieved in 2011. As of April 2013, 159 quick chargers were installed in the prefecture, regular chargers (100/200 V, 8 h charging) were installed at 366 locations, mainly restaurants and hotels.

The majority of charging stations are free of charge; most of them are run by hotels, restaurants, or by the government. Billing of charging is mainly limited to gasoline stations, express ways and Nissan dealers; Hotels and restaurants are offering free charging as service.

According to some experts, PEV owners that have charging facilities at home frequently occupy public charging facilities that provide electricity for free. Thus, the ability to fulfil the initial purpose of being available to PEV users, which have no home charging facilities or which are on a long distance trip, is reduced.

Many cities motivate hotels/restaurants to set up charging infrastructure for guests. Two (electricity) companies that have recently been established provide charging as a business model (i.e. charging is billed); In one case costumers are billed by charge, in the other case the costumers pay on a membership basis.

### Energy Grid Integration

Since the tsunami and the Fukushima accident in 2011, there has been a bigger awareness for energy security issues in Japan. The aim to restructure the electricity production and to increase the share of renewables goes along with net fluctuations, and earthquakes or tsunamis can lead to blackouts. xEVs are considered a possible solution to bridge such electricity gaps and work as an energy storage. In a three-step-approach, METI is planning to transfer cars into mobile power sources: In a first step, vehicles can be equipped with power outlet to charge laptops and mobile phones; these models are already available; A further step is the connection of vehicles to homes to power air condition or lighting in the house; these systems are being developed by Nissan and Toyota. The final step is to connect vehicles with the grid. PEVs can work as temporary power storage to store electricity from renewable energy and supply the grid if the demand is high. Experts see grid integration as a long term project with the need of new regulations and technologies.

NEDO, the funding institution under METI, participates in demonstration projects in overseas countries to test the grid and the system to develop smart grids (“smart community”), e.g. in Malaga and Lyon as pilot cities and Hawaii as a test area. The research is not conducted in Japan because the government and the utilities have not developed energy plans yet.

In the Kanagawa prefecture, there are subsidies for vehicle-to-house applications to support decentralized electricity storage as a part of the new smart energy program. The vehicle-to-home concept that is being tested in the prefecture aims at providing a two-way electricity flow – the vehicle battery can be charged with power from the house (e.g. from solar panels), and housing electricity can be provided by the vehicle battery in times of shortages.

In contrast to the political expectations on smart grid concepts, an expert from battery research mentioned that using the battery as an energy storage leads to relevant losses in quality and lifetime, making it unlikely that these concepts will be a success.

According to an expert from an international consultancy, Japanese electricity companies are very conservative regarding the electricity grid integration or their business model; thus, there is no relevant move towards renewables. From this point of view, grid integration of electric vehicles does not seem to be a realistic scenario for the near future.

## **3.2 Research Funding and Institutions**

### **3.2.1 Actors**

Actors in the field of research and development of electric mobility could be classified as follows by organisational type:

- (i) Universities
  - Gunma University
  - Kyoto University
  - Keio University
  - Osaka Prefectural University
  - Tokyo University, Department of Advanced Energy
  - Tokyo University, ITS Centre
  - Waseda University
- (ii) Business supporting research institute
  - Japan Automobile Research Institute
- (iii) Governmental research institute
  - National Institute for Land and Infrastructure Management

<p><b><u>Gunma University</u></b></p> <p>Address: 1-5-1 Tenjin-Cho, Kiryu-Shi, Gunma, 376-8515</p> <p>Research groups: Next Generation BEV Society</p> <p>Names of responsible persons: Hideyuki Itabashi (Professor, Gunma University)</p> <p>Website: <a href="http://www.ccr.gunma-u.ac.jp/EV/">http://www.ccr.gunma-u.ac.jp/EV/</a> (in Japanese)</p>				
<p>Tradition of research and main achievements to date: Project started in March 2009</p>				
Current research profiles	Duration the researchers are already working on special electric mobility related topics	Economic ties and independence (owners, shares of in-house and third party financing etc.)	Particular interests or close connections to interest groups as the case may be lobbies as political parties, particular social groups as labour unions or environmental protection associations, business companies such as car producers/OEM or power plant operators, religious associations	Organisational structure such as absolute size, number of researchers working on the special electric mobility related topics, business volume, etc.
<p>Research on next-generation BEV market</p> <p>Research on current trends on next-generation BEV</p> <p>Communication among industries, academia and governments about next-generation BEV technology</p> <p>Research and development focusing on next-generation BEV technology</p> <p>Foster and revitalisation of local industries based on</p>	No information is available at this moment.	No information is available at this moment.	Approximately 15 companies as well as some public agencies join in this project.	<p>Consist of three groups:</p> <p>Infrastructure</p> <p>Energy management</p> <p>Vehicle</p>

<p>next-generation BEV Promotion of collaborative research among stakeholders on next-generation BEV technology Promotion of developing new technology relevant to next-generation BEV through active introduction of external research funds Test production of micro-BEV</p>				
--	--	--	--	--



<p><b><u>Kyoto University</u></b></p> <p>Address: Room 309, Advanced Innovation Center, Kyoto University Uji District, Gokasho, Uji, Kyoto, 611-0011</p> <p>Research groups: Research and Development Initiative for Scientific Innovation of New Generation Batteries</p> <p>Names of responsible persons: Zenpachi Ogumi (Professor, Kyoto University)</p> <p>Website: <a href="http://www.rising.saci.kyoto-u.ac.jp/index.html">http://www.rising.saci.kyoto-u.ac.jp/index.html</a> (in Japanese)</p>				
<p>Tradition of research and main achievements to date: Project started in October 2009</p>				
Current research profiles	Duration the researchers are already working on special electric mobility related topics	Economic ties and independence (owners, shares of in-house and third party financing etc.)	Particular interests or close connections to interest groups as the case may be lobbies as political parties, particular social groups as labour unions or environmental protection associations, business companies such as car producers/OEM or power plant operators, religious associations	Organisational structure such as absolute size, number of researchers working on the special electric mobility related topics, business volume, etc.
As the energy density <sup>9</sup> of Li-ion batteries is almost reached to the maximum, Zinc-Air battery, which has a high volumetric energy density, was chosen as a research topic.	No information is available at this moment.	New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)	Universities (12 research institutes), governmental organisations and business enterprises including car companies (e.g. Toshiba, Mitsubishi, Honda, Toyota, Nissan )	Consist of four groups: Development of advance analysis techniques Analysis of battery reaction Innovation of materials Development of innovative storage battery

<sup>9</sup> Energy (Wh) per unit volume or weight.

<p><b><u>Keio University</u></b></p> <p>Address: Building O, Shin-Kawasaki Town Campus, 7-1, Shin-Kawasaki, Saiwai-Ku, Kawasaki, Kanagawa, 212-0032</p> <p>Research groups: Electric Vehicle Laboratory, Graduate School of Media and Governance</p> <p>Names of responsible persons: Hiroshi Shimizu (Professor, Keio University)</p> <p>Website: <a href="http://www.eliica.com/English/">http://www.eliica.com/English/</a></p>				
<p>Tradition of research and main achievements to date:</p> <p>Design and development of electric vehicle</p> <p>Development of the electric full-flat bus as requested by the Ministry of Environment</p>				
Current research profiles	Duration the researchers are already working on special electric mobility related topics	Economic ties and independence (owners, shares of in-house and third party financing etc.)	Particular interests or close connections to interest groups as the case may be lobbies as political parties, particular social groups as labour unions or environmental protection associations, business companies such as car producers/OEM or power plant operators, religious associations	Organisational structure such as absolute size, number of researchers working on the special electric mobility related topics, business volume, etc.
Development of "Eliica," large and fast BEV	Prof. Shimizu has worked in this field since 1997, although he has already retired. He has developed 15 models.	Japan Science and Technology Agency (JST)	Universities, governmental organisations and business enterprises including car companies	Number of researchers: Motor: 5 Design: 3 Break and control: 2 Business and marketing: 1 ITS: 1

<p><b><i>Osaka Prefectural University</i></b></p> <p>Address: 1-1, Gakuen-Cho, Naka-Ku, Sakai-Shi, Osaka, 599-8531</p> <p>Research groups: R&amp;D Centre for the Electric Vehicles</p> <p>Names of responsible persons: Shigeo Morimoto (Professor, Osaka Prefectural University)</p> <p>Website: <a href="http://www.ev.21c.osakafu-u.ac.jp/en/index.html">http://www.ev.21c.osakafu-u.ac.jp/en/index.html</a></p>				
<p>Tradition of research and main achievements to date: Centre established in April 2010</p>				
Current research profiles	Duration the researchers are already working on special electric mobility related topics	Economic ties and independence (owners, shares of in-house and third party financing etc.)	Particular interests or close connections to interest groups as the case may be lobbies as political parties, particular social groups as labour unions or environmental protection associations, business companies such as car producers/OEM or power plant operators, religious associations	Organisational structure such as absolute size, number of researchers working on the special electric mobility related topics, business volume, etc.
<p>Research and development of element technologies</p> <p>Development of EV made in Osaka</p> <p>Research on optimized installation of charge infrastructure, etc.</p> <p>Economic approach on BEV</p>	No information is available at this moment.	Funded by Active Osaka Promotion Fund, which is sponsored by the national and prefectural government as well as financial companies	Osaka Prefectural Government Companies / organisations who join in the consortium	Number of researchers: 12 (all belong to the Osaka Prefecture University)

<p><b><i>Tokyo University, Department of Advanced Energy</i></b></p> <p>Address: 5-1-5 Kashiwa-no-Ha, Kashiwa-Shi, Chiba, 277-8561</p> <p>Research groups: Department of Advanced Energy, Graduate School of Frontier Sciences</p> <p>Names of responsible persons: Yoichi Hori (Professor, Tokyo University)</p> <p>Website: <a href="http://hflab.k.u-tokyo.ac.jp/index.html">http://hflab.k.u-tokyo.ac.jp/index.html</a></p>				
<p>Tradition of research and main achievements to date: No information is available at this moment.</p>				
Current research profiles	Duration the researchers are already working on special electric mobility related topics	Economic ties and independence (owners, shares of in-house and third party financing etc.)	Particular interests or close connections to interest groups as the case may be lobbies as political parties, particular social groups as labour unions or environmental protection associations, business companies such as car producers/OEM or power plant operators, religious associations	Organisational structure such as absolute size, number of researchers working on the special electric mobility related topics, business volume, etc.
Control technology	Since 1993.	No information is available at this moment.	No information is available at this moment.	Six researchers in total.

<p><b><u>Tokyo University, ITS Centre</u></b></p> <p>Address: 4-6-1 Komaba, Meguro-Ku, Tokyo, 153-8505</p> <p>Research groups: ITS Centre, Institute of Industrial Science</p> <p>Names of responsible persons: Yoshihiro Suda (Professor, Tokyo University)</p> <p>Website: <a href="http://www.its.iis.u-tokyo.ac.jp/index_e.html">http://www.its.iis.u-tokyo.ac.jp/index_e.html</a></p>				
<p>Tradition of research and main achievements to date:</p> <p>Centre founded in April 2009 for the promotion of research and development of ITS-related subjects in collaboration with academic, public and private sectors</p>				
Current research profiles	Duration the researchers are already working on special electric mobility related topics	Economic ties and independence (owners, shares of in-house and third party financing etc.)	Particular interests or close connections to interest groups as the case may be lobbies as political parties, particular social groups as labour unions or environmental protection associations, business companies such as car producers/OEM or power plant operators, religious associations	Organisational structure such as absolute size, number of researchers working on the special electric mobility related topics, business volume, etc.
Analysis by means of universal driving simulator and traffic simulation models Development of next-generation vehicle and analysis of next-generation infrastructure ITS proof experiment	No information is available at this moment.	No information is available at this moment.	24 core researchers plus 64 collaborative researchers, 9 public officers and 10 business persons	No information is available at this moment.

<p><b>Waseda University</b></p> <p>Address: 1011 Aza-Okuboyama, Oaza-Nishitomita, Honjo-Shi, Saitama, 367-0035</p> <p>Research groups: Environmental Friendly Electric Vehicle Laboratory, Graduate School of Environment and Energy</p> <p>Names of responsible persons: Yushi Kamiya (Professor, Waseda University)</p> <p>Website: <a href="http://www.f.waseda.jp/kamiya/index.html">http://www.f.waseda.jp/kamiya/index.html</a> (in Japanese)</p>				
<p>Tradition of research and main achievements to date: No information is available at this moment.</p>				
Current research profiles	Duration the researchers are already working on special electric mobility related topics	Economic ties and independence (owners, shares of in-house and third party financing etc.)	Particular interests or close connections to interest groups as the case may be lobbies as political parties, particular social groups as labour unions or environmental protection associations, business companies such as car producers/OEM or power plant operators, religious associations	Organisational structure such as absolute size, number of researchers working on the special electric mobility related topics, business volume, etc.
Design, production and evaluation of advanced electric micro-bus and experimental test on the public roads Profitability evaluation of electric bus Design, production and evaluation of the micro BEV which could be used for short distance and requires more frequent charge Design, production and evaluation of PHEV	Since 1998.	No information is available at this moment.	No information is available at this moment.	Guest researcher: 6 Assistant researcher: 1

Design, production and evaluation of contactless charging device Research on judgement standard of lifetime of lithium-ion battery for BEV Evaluation of ferrous lithium-ion battery specialised for rapid charging Evaluation of BEV battery based on the driving data				
--	--	--	--	--

<p><b><u>Japan Automobile Research Institute</u></b></p> <p>Address: HQ: Nihon-Jidosha-Kaikan 12th Floor, 1-1-30, Daimon, Shiba, Minato-Ku, Tokyo, 105-0012; Research Centre: 2530, Karima, Tsukuba-Shi, Ibaraki, 305-0822</p> <p>Research groups: Department of Fuel Cell / Electric Vehicle; Department of Intelligent Transport Systems</p> <p>Names of responsible persons: No information is available at this moment.</p> <p>Website: <a href="http://www.jari.or.jp/english">http://www.jari.or.jp/english</a></p>				
<p>Tradition of research and main achievements to date:</p> <p>This research institute was founded in April 1969 as Automobile High-Speed Proving Ground Foundation, and was subsequently reorganized into an organization to conduct comprehensive research on automobiles. Since founding it has engaged in activities to develop the automobile industry and to advance automobile technology in Japan by performing neutral and public-benefit activities as a test-and-research organization and a public-service corporation that has the mission of contributing to sound progress of the automotive society.</p> <p>After entering the 21st century, diversification of automobile roles, increased environmental restrictions concerning automobiles, intensified international competition, and sophistication of automobile-related technology advanced. The importance of cooperation among a wide range of organizations beyond the conventional boundaries of technical domains and industries is therefore increasing in all social fields including sciences and industries. The Japan Electric Vehicle Association (JEVA), that had engaged in decision, diffusion, and public relations activities of standards for electric vehicles including electric automobiles, merged with the Association of Electronic Technology for Automobile Traffic and Driving (JSK), that performed research and development as well as diffusion and promotion activities for technologies to integrate vehicles and information, in July 2003.</p>				
Current research profiles	Duration the researchers are already working on special electric mobility related topics	Economic ties and independence (owners, shares of in-house and third party financing etc.)	Particular interests or close connections to interest groups as the case may be lobbies as political parties, particular social groups as labour unions or environmental protection associations, business companies such as car producers/OEM or power plant operators, religious associations	Organisational structure such as absolute size, number of researchers working on the special electric mobility related topics, business volume, etc.
Development of common bases for hydrogen society Experimental proof of hydrogen and fuel battery	No available information at this moment.	Number of researches (in 2011)  Independent: 25 Commissioned by Japan	Close connection with Japan Automobile Manufacturers Association, Inc. and Toyota Motor Corporation is expected,	Number of employees: 370



<p>Development of high quality battery system technology for next-generation vehicle Standardisation</p>		<p>Automobile Manufacturers Association, Inc.: 69          Commissioned by governments: 58          Commissioned by private companies: 225</p>	<p>judging from the board membership.</p>	
--	--	--	---	--

<p><b><u>National Institute for Land and Infrastructure Management</u></b></p> <p>Address: 1 Asahi, Tsukuba-Shi, Ibaraki, 305-0804</p> <p>Research groups: Information Technology Division, Research Centre for Advanced Information Technology</p> <p>Names of responsible persons: Koichi Shigetaka</p> <p>Website: <a href="http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/cfi.htm">http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/cfi.htm</a> (in Japanese)</p>				
<p>Tradition of research and main achievements to date: Policy Support: research and development performed to help propose policies and draft policies                  Enactment of Technical Standards: research and development concerning the enactment of technical standards in conformity with laws and regulations                  Technical Support: providing technical guidance with research and development necessary for projects executed and managed directly by the ministry (including disaster countermeasures) and for regional public bodies in accordance with laws and regulations.</p>				
Current research profiles	Duration the researchers are already working on special electric mobility related topics	Economic ties and independence (owners, shares of in-house and third party financing etc.)	Particular interests or close connections to interest groups as the case may be lobbies as political parties, particular social groups as labour unions or environmental protection associations, business companies such as car producers/OEM or power plant operators, religious associations	Organisational structure such as absolute size, number of researchers working on the special electric mobility related topics, business volume, etc.
Information distribution on charging station for BEV and PHEV	No available information at this moment.	A part of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport, and Tourism	Ministry of Land, Infrastructure, Transport, and Tourism	Budget: approximately JPY 14 billion (Euro 120 million) (FY2012)

### 3.2.2 Research Funding

Most of research funds relevant to electric mobility spent on the development of more efficient storage batteries, not on electric vehicle itself. Technology fields (besides batteries) that are important for R&D include: light-weight design, power semi-conductor with less consumption, thermal management and efficient use of the energy from the battery. For battery R&D, the government (METI) supports research on battery performance improvements in two projects. One project aims to improve the performance of Li-Ion batteries by developing an improved technology that is ready for mass production till 2020. The project targets the very near future, immediate results can be expected. The players in this project are mainly enterprises. The second project aims at developing a new type of battery. This technology will come to the market in 2030. Universities and Colleges are the key players for this long-term project. In this project the Kyoto university takes a leading role. Different technologies are considered in this project e.g. Li-Air, X-Air, air-based and solid-based.

Major national institutes which provide funds for research projects on electric mobility include the following:

#### Ministry of Economy, Trade and Industry (METI)

Advance scientific research on innovative storage battery

Total amount (FY 2012): JPY 3.5 billion (Euro 30 million)

Purpose: to formulate basic technology for improving efficiency of innovative storage batteries through research on security upgrade of lithium-ion battery and clarification of battery reaction mechanism

Main target: university and research institute

Duration: seven years

Advance technological development for application and of lithium-ion battery

Total amount (FY 2012): JPY 2.0 billion (Euro 17 million)

Purpose: to develop technologies contributing to efficiency improvement and cost reduction of storage batteries and relevant materials, and to invent the lithium-ion battery appropriate for non-vehicle use

Main target: enterprise

Duration: five years

#### New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)

List of funding projects: <http://www.nedo.go.jp/activities/introduction.html> (in Japanese)

NEDO has two major initiatives, namely, technologies for smart communities<sup>10</sup>, and technology and development for secondary battery and electricity storage. The latter initiative contains the following projects:

- Development and commercialisation of rechargeable batteries for BEVs and PHEVs by 2020

---

<sup>10</sup> Supported by the information and communication technologies, it aims to promote renewable energy use and to realize integrated optimal management of electricity, heat, water, transport, medical care and lifestyle for smart society.

- Development of stationary rechargeable batteries (local community systems) (applied research)
- Innovative batteries till 2030
- Evaluation of materials for storage batteries

The funding level has been maintained at the level of JPY 7-8 billion (Euro 60.2 million – 68.8 million) per year since 2007. With rough estimates, JPY 3 billion (Euro 25.8 million) per year goes to basic research, JPY 2 billion (Euro 17.2 million) is spent for stationary battery for product development, and the rest of JPY 2 billion (Euro 17.2 million) is allocated to BEVs for product development.

Two major projects are listed herein as follows:

Advance scientific research on innovative storage battery (named as the Research & Development Initiative for Scientific Innovation of New Generation Batteries (RISING) project)

Total amount (FY 2011): JPY 2.74 billion (Euro 24 million)

Purpose: to formulate basic technology for improving efficiency of innovative storage batteries through research on security upgrade of lithium-ion battery and clarification of battery reaction mechanism

Project Leader: Zenpachi Ogumi (Professor, Kyoto University)

Duration: seven years (since 2009)

Development of high quality storage battery system for next-generation vehicle (named as the Li-ion and Excellent Advanced Batteries Development (Li-EAD) Project)

Total amount (FY 2011): JPY 2.39 billion (Euro 21 million)

Purpose: to develop high quality lithium-ion battery and its element materials, to develop innovative battery based upon new concepts, to develop control technology for battery reaction, to clarify factors deteriorating battery reaction and to formulate safety standards and guidelines for battery experiment

Study conductor: Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Duration: five years (2007 – 2011)

In addition to the above, MEXT provides application basis research funds in general through Japan Science and Technology Agency (JST) and Japan Society for the Promotion of Science (JSPS).

MLIT, which basically focuses on infrastructure development and subsidies for purchase of electric vehicles, has also started to provide funds for the project to develop technology promoting integrated energy management in mobility and home or companies since 2012. The budget in fiscal year 2012 is approximately JPY 41 million (Euro 350,000) (MLITb, 2012).

### Clustering

Clustering of these institutions in regard to practical recommendations that could support possible lobbies

These institutions are clustered by ministry and focus:

METI: high quality storage battery

NEDO

MEXT: scientific research, basically focusing on universities  
JST and JSPS

MLIT: infrastructure  
National Institute for Land and Infrastructure Management

#### Special funding

Volume and duration of research funding that are spent on special fields of electric mobility-research

No information is available at this moments.

### **3.2.3 Status Quo of R&D**

#### **Research on vehicles, vehicle concepts, powertrain and transportation concepts**

##### Gunma University

##### Micro-EV

The micro-EV developed by the organisation is classified to a small motorcycle, which has many advantages as well as disadvantages as follows (JST, 2010a):

##### Advantages:

- Can be registered in municipality (not required by the MLIT)
- Low tax and no automobile inspection
- Smaller space necessary for parking compared to a normal compact car (approximately one-third)
- Better fuel consumption (one-thirtieth of a normal gasoline car)

##### Disadvantages:

- Limitation in size
- For only one person
- Less than 600 watt rated capacity
- Maximum speed of 60 km/h
- A normal driver's licence required

This research society developed the trial micro-EV “ $\mu$ -TT2”, financially supported by JST. Following to the share of vision within the society and consideration of layout, design and battery, the several member companies jointly made a pan-EV underbody unit on voluntary basis (Matsumura, 2011). Now, its driving distance reached to approximately 30 kilometers by one charge which takes just three hours with 100 voltage power source at home.

On this background, non-profitable organisation “Gunma Micro-EV Association” was established in March 2011 (Gunma Micro-EV Association, 2012). Its activities are extended to include dissemination of micro-EV, technical support for micro-EV development and host of relevant training courses. It also lend the “ $\mu$ -TT2” to the event for exhibition and test drive.

The research society raised several issues to be tackled further.

- Improvement of constructive safety and introduction of safety technology through information technology
- Lowering price
- Increase in seats up to minimum of two persons, which requires legal amendments

### Keio University

Eliica, EV developed by Keio University

For the better quality electric car, “Eliica” was developed to achieve maximum speed of 400 km/h: and it actually reached to 370 km/h at the end in 2004. Eight wheels and eight motors each of which has 100 horsepower enables acceleration speed of 90km/h with 0.68G at the time of start. Further technological details are written in the several documents such as Simizu (2003; 2005a; 2005b) and Yoshida and Shimizu (2005a, 2005b).

38 companies supported the development of Eliica financially and technologically. The project leader Prof. Shimizu then founded the SIM-Drive Corporation in 2009 to establish transportation infrastructure which will diminish environmental burden with the ground-breaking "in-wheel-motor" electric vehicle (Sim Drive, 2009). The overall SIM-Drive business roadmap begins with the development of prototype based on accumulated technology and then shares results and supports mass production of the electric vehicle.

### Japan Automobile Research Institute

- Energy ITS Promotion Project

This project has started in 2008 in collaboration with relevant 15 organisations financially supported by NEDO. The main objectives are to build up technology for automatic and line-up driving on highways and to develop material technology on automatic driving for energy saving (Energy ITS Research Society, 2008). The preliminary line-up driving experiments achieved targeted accuracy of controlling large trucks and revealed the possibility to save energy by doing so.

- Technological development of fast moving artificial intelligence

This is a part of the artificial knowledge project by METI conducted from 2007 to 2011, which aims to develop artificial knowledge required for autonomous activities with certainty. In this study, fast moving artificial knowledge was developed which can recognise surrounding conditions such traffic jam and dangerous zones, share information among fast moving entities and make appropriate judgements and decisions to control its motion. Its workability has been already tested and proved in 2009.

### **Research on vehicle technology and vehicle components**

According to the interviewed experts, today Japan is well positioned in battery research regarding the improvement of existing material concepts. Japan is leading in Lithium-Ion technologies and achieved great advances in this area. However, in terms of market shares for Lithium-Ion batteries, there is a strong international competition and especially South Korea is gaining shares. In general there a strong competition regarding the actual production of new technologies. Much of what has been researched and developed in Japan was finally produced in other countries, such as South Korea, Taiwan or China. Thus, the experts see a great risk for the Japanese industry, if it is not ensured that the domestic

industry will be profiting from the whole value creation of new technologies. To provide a better protection for the Japanese companies and technologies is a major challenge for the government in the future.

In basic research on batteries and the development of innovative materials, Europe is seen as leader in R&D and also the US is very active, whereas Japan is seen on a weaker position. Further, it was mentioned that there is little research cooperation with other parts of the world.

Nevertheless, Japan is very active regarding research on batteries. To improve different types of batteries a battery roadmap was developed. For the application in BEVs, research is conducted to improve the energy density of batteries. For HEVs and PHEVs improvements in power density oriented batteries are targeted. As a third research field stationary batteries are in focus, where battery lifetime is most critical. In terms of energy density oriented batteries the RISING project on innovative storage batteries is the key project that receives governmental funds. Different materials are tested within this project. By now, the project researched Zinc-Air batteries due to their high energy density. Other materials are tested as well, including air-based and solid-based technologies. Involved experts expect that these new types of batteries will probably be ready for market introduction in the 2020s. However, as these technologies are still in the research phase their market readiness is difficult to predict.

The improvement of Lithium-ion batteries is the second key project that receives considerable governmental funds. It is assumed that Lithium-ion batteries will dominate and gradual improvements are expected till 2020. One of the experts highlighted that no improvements can be expected in terms of the energy density of Lithium-ion batteries, but research will mainly focus on optimising the design of the batteries e.g. in terms of the structure of the layers. The interviewed experts acknowledged battery recycling or reuse as important topic. Currently it is not possible to evaluate the remaining life expectancy of a used battery. Thus, its resale value cannot be determined. However, research in this area is very limited. It is expected that battery disposal will gain importance in five to ten years if the EV market grows substantially.

#### *Kyoto University: Improvement of life expectancy of the lithium-ion battery*

Kyoto University is leading the RISING battery project in cooperation with the NEDO for the purpose of developing new types of batteries considering different air-based and solid-based technologies. Universities, public research institutes and industry including automobile and battery manufacturers are involved and there is often a good cooperation between industry and universities in these kinds of non-competitive projects that focus on basic research, according to the interviewed experts.

Under the RISINS project framework, Kyoto University also conducts the research on improvement of life expectancy of the lithium-ion battery. As reaction barrier at the time of pass through interface between electric poles and electrolyte is one of the major factors to deteriorate lithium-ion battery, observation of the movement of interface during battery in working order and implementation of measures to decrease reaction barrier are essential to improve life expectancy of a lithium-ion battery. This study revealed the primary process of deterioration of lithium-ion battery by means of X-ray Absorption Spectroscopy method which

can catch the specific electron composition of the materials. The research results could be utilised for coating of electric pole surfaces and inventing materials controlling resolution of electrolyte. Further technological details are written in Takamatsu et al. (2012).

*Tokyo University, Department of Advanced Energy: Control technology*

100 times more speedy control response of motors than engines enables rapid feedback control and development of a new car driving on the snow roads safely. Also, simple characteristics of torque, i.e. proportional to current, enables accurate judgement on road conditions. Several journal papers such as Ravi Teja et al. (2012) and Nam et al. (2012) are published in these regards.

This laboratory conducts above research as well as development of a new electric vehicle with experiment of control technology on the test course in collaboration with car companies.

*Osaka Prefectural University: Research and development of element technology of BEV*

Through activities of consortium consisting of this Centre, small and medium-sized companies and related organisations, research and development on element technologies such as storage batteries, motors and their peripheral technology will be conducted. The technologies developed here are utilised for the “Electric Vehicle Development Project from Osaka”.

**Research on charging technology and infrastructure**

*Osaka Prefectural University: Research on optimised installation of charge infrastructure*

The purposes of this project are to develop the method of leading to optimal installation place which should be suitable for the facility in considering arterial road based on the data on practical driving by BEV as our next step. Concrete activities include analyse of the data on practical driving after installation of the facility, and development of the simulator determining optimal installation place by making generally a judgment of topography data, road information and charged amount of batteries. Although this research was financially supported by METI for a short period in 2009, further data collection will be required.

*National Institute for Land and Infrastructure Management: Information distribution on charging station for EV and PHEV*

As the driving distance of BEV is relatively short compared to a gasoline car, information of the location of charging stations is vital for comfort and usefulness of BEV drivers. This study is going to develop a guideline of uniform formatting and operation of information collection and distribution on charging stations.

So far, this project have made and revised a draft guideline in 2010 and 2011 based upon the actual development of information collection and distribution system (see National Institute for Land and Infrastructure Management, 2012). Its proof experiment was also completed in 2011.

**Research on business models and mobility concepts**

*Osaka Prefectural University: Economic approach on BEV*



In this project, economic modelling analysis for popularisation of BEV such as the forecast of future trend of BEV development and of BEV related business is conducted by means of marketing research method.

#### *Tokyo University, ITS Centre: Kashiwa-no-Ha Project*

The socially contributing project “the model town for proof experiment of ITS in Kashiwa-no-Ha area” (JST, 2010b; Makino et al., 2012) aims to realisation of ITS smart town through introduction of low-carbon urban transportation and mobility adapted to aging society and town structure change. Concretely, this project considers and verifies the possibility of modal mix, sustainable transportation and next-generation mobility by means of advance information technology and ITS.

In doing so, this project has developed the next-generation vehicle specialised to short distance transportation from four to five kilometres, which has only one seats but can be charged by wireless system. Furthermore, the “Eco-ride”, which has no engines, motors and breaks within the vehicle to minimise the body weight, was also developed based on the technology of roller coaster, as well as the next-generation light rail, which could turn corner at a right angle. The possibility to introduce these new transportation systems is now under review.

### **3.2.4 Stakeholder opinions on the R&D landscape**

#### **Actors, cooperation and research strategy**

The public research strategy for xEVs is very much focused on battery research. As the limited range of BEVs is seen as a major inhibitor of market penetration, the government wants to address this issue by supporting research on batteries. The Ministry of Economy, Trade and Industry (METI), which provides funds for battery research, and the New Energy and Industrial Technology Development Organisation (NEDO), which organizes research funding on behalf of METI and coordinates respective projects, are the most important public actors in the Japanese R&D landscape related to xEVs. In particular, two major projects are promoted: firstly the improvement of Lithium-Ion batteries and secondly the development of innovative batteries using new materials. The former project focuses on technologies to improve the performance of Lithium-Ion batteries that should be ready for mass production till 2020. Mainly enterprises are involved in this project. However, concerning research projects that are very close to the market, the cooperation between companies that are in strong competition is in general very low. The second project aims at developing new types of batteries considering different air-based and solid-based technologies. Universities, public research institutes and industry including automobile and battery manufacturers are involved. The project is led by Kyoto University. In these kinds of non-competitive projects that focus on basic research, there is often a good cooperation between industry and universities according to the interviewed experts. Companies send their employees to the research centers to enable a close cooperation in these projects. The basic salaries of these employees are covered in the project, while the company is paying additional rewards to close the difference to the private sector salary.

While METI's activities focus mainly on vehicle components research, the 'Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism' funds very application oriented projects on electrified trucks and buses.

According to the interviewed experts, today Japan is well positioned in battery research regarding the improvement of existing material concepts. Japan is leading in Lithium-Ion technologies and achieved great advances in this area. However, in terms of market shares for Lithium-Ion batteries, there is a strong international competition and especially South Korea is gaining shares. In general there is a strong competition regarding the actual production of new technologies. Much of what has been researched and developed in Japan was finally produced in other countries, such as South Korea, Taiwan or China. Thus, the experts see a great risk for the Japanese industry, if it is not ensured that the domestic industry will profit from the whole value creation of new technologies. To provide a better protection for the Japanese companies and technologies is a major challenge for the government in the future.

In basic research on batteries and the development of innovative materials, Europe is seen as leader in R&D and also the US is very active, whereas Japan is seen on a weaker position. Further, it was mentioned that there is little research cooperation with other parts of the world.

### **Research funding**

The research funding that is provided by METI and channeled through NEDO focuses mainly on applied research. According to NEDO about JPY 7 billion (Euro 60.2 million) is spent per year on battery research by the Japanese government. Since 2007, each year the funding level ranged between seven to JPY 8 billion (Euro 68.8 million). Besides advanced Lithium-Ion batteries and innovative batteries using new materials, also research in the field of stationary batteries is conducted. As battery technology will get more important to store renewable energies, it is expected that in future additional funds will be provided to this research field.

### **Research on vehicle technology and vehicle components**

Japan is very active regarding research on batteries. To improve different types of batteries a battery roadmap was developed. For the application in BEVs, research is conducted to improve the energy density of batteries. For HEVs and PHEVs improvements in power density oriented batteries are targeted. As a third research field stationary batteries are in focus, where battery lifetime is most critical. In terms of energy density oriented batteries the RISING project on innovative storage batteries is the key project that receives governmental funds. Different materials are tested within this project. By now, the project researched Zinc-Air batteries due to their high energy density. However, Zinc-Air batteries have currently a poor lifetime and power density.

Other materials are tested as well, including air-based and solid-based technologies. Involved experts expect that these new types of batteries will probably be ready for market introduction in the 2020s. However, as these technologies are still in the research phase their market readiness is difficult to predict.

The improvement of Lithium-ion batteries is the second key project that receives considerable governmental funds. A battery research expert assumed that till 2020 Lithium-

ion batteries will dominate and gradual improvements are expected. The experts highlighted that no improvements can be expected in terms of the energy density of Lithium-ion batteries, but research will mainly focus on optimising the design of the batteries e.g. in terms of the structure of the layers. Another expert, focusing on electric vehicle engineering expects that Li-Ion batteries will prevail even longer and will be the dominant battery for the next 20 to 30 years, because the long industrialization process of new batteries. The interviewed experts acknowledged battery recycling or reuse as important topic. Currently it is not possible to evaluate the remaining life expectancy of a used battery. Thus, its resale value cannot be determined. However, research in this area is very limited. It is expected that battery disposal will gain importance in five to ten years if the BEV market grows substantially.

Besides battery research the interviewed experts mentioned power electronics (esp. power semi-conductor devices), lightweight design, thermal management and in general more energy-efficient vehicles as important research topics. In the field of power electronics new materials for semi conductors such as Silicon-Carbide and Gallium-Nitride are researched to improve power electronic modules. For lightweight design, carbon fibre is seen as promising material to reduce the vehicle weight also of mass-market cars. In the field of electric machines, a major research topic is the reduction of rare earths in permanent excited motors.

### 3.3 Economy and industry

#### 3.3.1 Actors

There are five major automobile companies who involve in electric mobility in Japan. This section will explain the detailed information about brief characterization and main products in the field of electric mobility of each companies. Data about the total production numbers of electric vehicles in Japan can be found in Table 38.

##### Daihatsu

Daihatsu company has established on 1st March 1907. The main business which are operated by Daihatsu company are manufacture and sales automobiles. In 2012, Daihatsu company has capital about JPY 28 billion (241 million Euro) and employee about 13 thousand persons. The detailed information about Daihatsu's members of board are presented in Appendix 1.1.

Table 21 Daihatsu company Profile

<b>Name</b>	<b>Daihatsu Motor Co., Ltd.</b>
Date of establishment	1st March 1907
Representative	Koichi Ina, President
Main business line	Manufacture and sales automobiles
Capital	JPY 28,404,346,601 (241 million Euro)
Fiscal year end	March 31
Number of employees (as of June 1, 2012)	12,590 persons

Source: Daihatsu Motor Co., Ltd (2012a).

The major shareholders of Daihatsu company are Toyota Motor Corporation, The Master Trust Bank of Japan, Ltd. and Japan Trustee Services bank, Ltd. who have owned share of 51% and 3%, respectively (see Appendix 1.2). As commonly type of production supply chain in Japanese automobile sectors, Daihatsu invests in several companies to supply their automobile production (see Appendix 1.3). Daihatsu company has located their plant in four plants and two major offices. The Headquarter is located in Ikeda (Osaka City) and also in Tokyo office. Daihatsu plants are located in Shiga (Ryuo), Kyoto, Orita (Kurume), and Nishinomiya. For detailed type of product of each Daihatsu plants are presented on Appendix 1.4.



Figure 13 Daihatsu outline facilities

Source Daihatsu Motor Co., Ltd (2012b)

Daihatsu company has operated in overseas mainly are located in Europe, China and Malaysian office. The first founded overseas production of Daihatsu company was located in Belgium, Europe which was founded in 1979 (see Appendix 1.5). Besides of holding production in overseas offices, Daihatsu company also invested in several overseas companies by having all or major owned shares such as in Germany, Netherland, and other countries (see Appendix 1.6).

### Honda

Honda has established in 24 September 1948. The well-known name for this company is Honda Motor Co., Ltd. At the current year, Mr. Takanobu Ito is the president of Honda Motor. The capital amount which Honda holds as March 2012 is about JPY 86 billion (740 million Euro). Honda Motor is employing approximately 188 thousand people as 31 March 2012. The main products of Honda Motor are motor cycles, automobiles, and power products (see the following table).

Table 22 Honda company profile

Company Name	Honda Motor Co., Ltd.
Head Office	1-1, 2-chome, Minami-Aoyama, Minato-ku, Tokyo 107-8556, Japan Tel: +81-(0)3-3423-1111
Established	September 24, 1948
President & CEO	Takanobu Ito
Capital	JPY 86 billion (740 million Euro) (as of 31 March 2012)
Sales	Consolidated: JPY 7,948,095 million (68 thousand Euro)
(Results of fiscal 2012)	Unconsolidated: JPY 2,740,052 million (24 thousand Euro)
Total number of	Consolidated: 187,094 (as of 31 March 2012)

employees	Unconsolidated: 24,888 (as of 31 March 2012)
Consolidated subsidiaries	378 subsidiaries (as of 31 March 2012)
Chief Products	Motorcycles, automobiles, power products

Source: Honda Motor Co., Ltd. (2012a).

Honda company has grown to become the world largest motorcycle manufacturer and one of the leading automakers. Honda is operating on business of motor cycles, power products, automobiles and robot and flight. In 2010, Honda company produced Honda Jet as maiden flight of the US. Over period 2008-2012, Honda's net sales has fluctuated. Honda's net sales decreased from year 2008 to year 2011 due to slow down of Japanese economy. However, as stated on the following table, Honda's net sales shows increasing number in 2012. The number of employee also increasing in year 2012 compare to the previous three years (see Table 23).

Table 23 Financial report of Honda Motor Co., Ltd

	2008 <sup>1</sup>	2009	2010	2011	2012
Sales and income (units: milion JPY)					
Net sales	12,002,834	10,011,241	8,579,174	8,936,867	7,948,095
	(10,3259)	(86,126)	(73,806)	(76,883)	(68,377)
Income before taxes	895,841	161,734	336,496	630,548	257,403
	(103,259)	(86,126)	(73,806)	(76,883)	(103,259)
Net income	600,039	137,005	268,400	534,088	211,482
	(5,162)	(1,179)	(2,309)	(4,595)	(5,162)
Sales progress (units: milion JPY)					
Japan	1,585,777	1,446,541	1,577,918	1,503,842	1,517,927
	(13,642)	(12,444)	(13,575)	(12,937)	(13,059)
Overseas	10,437,057	8,564,700	7,001,856	7,433,025	6,430,168
	(89,789)	(73,681)	(60,236)	(63,946)	(55,318)
Total	12,002,834	10,011,241	8,579,174	8,936,967	7,948,095
	(103,259)	(86,126)	(73,806)	(76,884)	(68,377)
Exchange rate (JPY/USD)					
Average rate during relevant terms	114	101	93	86	79
Number of employees	178,950	181,876	176,845	179,060	187,094

Note: 1. Years ended in March 2012. 2. Numbers in bracket is in million Euro.

Source: Honda Motor Co., Ltd. (2012b).

### *Infiniti*

Infiniti is luxury brand of Nissan company. In November 1985, Nissan Company created the vision to produce a new luxury automobile ethic as luxury automobile products to compete with the US and European luxury brands in the American market. In July 1987, the name of "Infiniti" is chosen with the main purpose to be always looking forward in future. In November 1989, the luxury brand name "Infiniti" was officially launched. During the period 2001 to 2011,

Nissan company has improved the technologies and facilities to improve Infiniti automobiles such as intelligent cruise control, rearview monitor, lane departure warning, lane departure prevention, blind spot intervention system (BSI), and hydraulic body motion control. In year 2012, Nissan introduced back-up collision intervention into Infiniti car. This “back-up collision intervention” is the world’s first technology which can help to protect from potential collision. In November 2003, Infiniti luxury brand car was sold as the fastest growing luxury brand in the US market.

### Lexus

Lexus is luxury brand of Toyota Company. Lexus was established in the early 1980s and was launched in 1989. Recently, Lexus is employing more than 31,000 people in the US and about 160,000 people as additional in Lexus dealers and suppliers. Total Toyota’s investment in the US is accounted about US\$ 12 billion (8.8 billion Euro). In 2005, Lexus was separated from Toyota Family.

### Mazda

Mazda has established in 30 January 1920. The headquarter offices is located in Hiroshima city, Japan. Mazda has capital amount about 187 billion Yen (1 billion Euro) (as 31 March 2012). The main business which are operating by Mazda are manufacture and sales of passengers cars and commercial vehicles (see Table 24).

Table 24 Mazda company profile

<b>Company Name</b>	<b>Mazda Motor Corporation</b>
Founded	30 January 1920
Headquarters	3-1 Shinchu, Fuchu-cho, Aki-gun, Hiroshima 730-8670 Japan
Representative	Takashi Yamanouchi, Representative Director and Chairman of the Board; President and CEO
Main business lines	Manufacture and sales of passenger cars and commercial vehicles
Stock information	Authorized: 3,000,000,000 shares Issued: 1,780,377,399 shares Number of stakeholders: 82,768
Capital	JPY 186,499,736,762 (1 billion Euro)
Employees	Unconsolidated: Male: 19,993; Female 1,754; Total:21,747 (including dispatches) Consolidated: 38,117
Research and development sites	Head Office, Mazda R&D (Yokohama), Mazda North American Operations (USA), Mazda Motor Europe (Germany), China Engineering Support Center (China).
Production sites	Japan: Hiroshima Plant (Head Office, Ujina), Hofu Plant (Nishinoura, Nakanoseki), Miyoshi Plant. Overseas: United States, China, Taiwan, Thailand, Zimbabwe, South Africa, Ecuador, Colombia
Sales companies	Japan: 264 Overseas: 130 (As of 31 December 2010)
Principal products	Four-wheeled vehicles, gasoline reciprocating engines, diesel engines, rotary engines, automatic and manual transmissions for vehicles

Source: Mazda Motor Corporation (2012).

Mazda is relying more on domestic production compare to overseas production. As in 2010, Mazda produced approximately 900 thousand units cars in Japan and only about 400 thousand units cars in overseas (see Annex 2.1). However, Mazda sell more cars in North America market compare to domestic market and other countries (see Annex 2.2). As 24 June 2011 the representative director and chairman of the board is Mr. Takashi Yamanouchi. The detailed list of directors, officers and auditors for Mazda company are listed on Annex 2.3. USA and Thailand are two major countries where Mazda company has the largest share of about 50% of total share on those companies in USA and Thailand (see Appendix 2.4).

### Mitsubishi

Mitsubishi Motor Corporation has established in 22 April 1970. It is located in Tokyo office as the headquarter office. The main shareholders for Mitsubishi Motors Corporation is The Bank of Tokyo-Mitsubishi UFJ, Ltd about 34% of outstanding common stock (see Annex 3.1). Mr. Takashi Nishioka is currently hold position as chairman of the board. In year 2011, Mitsubishi Motor Corporation sold automotive products about more than 160 countries. Mitsubishi is also operating about 6 facilities in three countries (see Annex 3.2).

Table 25 Mitsubishi corporate profile

Name	Mitsubishi Motors Corporation
Established	22 April 1970
Head office	33-8, Shiba 5-chome, Minato-ku, Tokyo 108-8410 Japan
Number of employees	Consolidated 30,777; non-consolidated 12,720
Capitalization	JPY 657,355 million (5 million Euro)
Purposes of incorporation	<p>(1) Development, design, manufacture, assembly, sales and purchase, importing and other transactions relating to automobiles and to component parts and replacement parts of said automobiles.</p> <p>(2) Development, design, manufacture, assembly, sales and purchase, importing and other transactions relating to agricultural machinery and industrial engines and to component parts and replacement parts of said agricultural machinery and industrial engines.</p> <p>(3) Sales and purchase of used automobiles as well as component parts, replacement parts and accessories of said used automobiles.</p> <p>(4) Sales of measuring equipment.</p> <p>(5) Acting as insurance agents in accordance with laws relating to property damage insurance and to automobile damage indemnity insurance.</p> <p>(6) Financing business</p> <p>(7) Any other business related to the purposes set out above.</p>
Shareholders	<p>Outstanding common stock totalled 5,537,956,840 shares</p> <p>Outstanding preferred stock totalled 437,593 shares</p> <p>Mitsubishi group: Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Mitsubishi Corporation and The Bank of Tokyo-Mitsubishi UFJ, Ltd., hold 34% of outstanding common stock.</p>
Chairman of the Board (Representative Director)	Takashi Nishioka (As of 26 June 2012)



President (Representative Director)	Osamu Masuko (As of 26 June 2012)
Board of Management	Consists of 12 members (As of 26 June 2012)
Net Sales	JPY 180.3 billion (1.5 billion Euro) (in FY2011, consolidated)
Automotive Sales	1,001 thousands units
Products Sold in	More than 160 countries
Manufacturing Facilities	7 car manufacturing facilities in 5 countries (including consolidated subsidiaries) -Plus 12 business partners' car manufacturing facilities in 11 countries and regions -Plus 8 engine, transmission and parts manufacturing facilities in 5 countries (inc. consolidated subsidiaries and business partners)
Research & Development / Design	6 facilities in 3 countries(inc. consolidated subsidiaries)
Subsidiaries and affiliates	54 consolidated subsidiaries (Plus 2 equity method subsidiaries and 24 equity method affiliates)
Global Brand	Mitsubishi Motors

Source: Mitsubishi Motor Corporation (2012b).

### Nissan

Nissan was established in 26 December 1933 which offers products in field of manufacturing, sales and related business of automotive products and marine equipment. Nissan has the headquarters in Yokohama City, Kanagawa Prefecture, Japan. As of March, 2012, Nissan is employing about 24,240 people and has the estimated value of paid-in capital about 606 million yen (5.2 million Euro) (see Table 20). As of 11 July 2012, Mr. Carlos Ghosn is Nissan's representative boards members (see Annex 4.1 and Annex 4.2).

Table 26 Nissan company profile

<b>Company Name</b>	<b>Nissan Motor Co., LTD.</b>
President and Chief Executive Officer	Carlos Ghosn
Registered Head Office	2, Takara-cho, Kanagawa-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 220-8623, Japan
Headquarters	1-1, Takashima 1-chome, Nishi-ku, Yokohama-shi, kanagawa 220-8623, Japan TEL. 81(0) 45-523-5523 <a href="http://www.nissan.co.jp">http://www.nissan.co.jp</a> <a href="http://www.nissan-global.com/JP/">http://www.nissan-global.com/JP/</a>
Business outline	Manufacturing, sales and related business of automotive products and marine equipment's
Data of Establishment	26 December 1933
Paid-in Capital	JPY 605,813 million (5.2 million Euro)
Stock Information	Number of authorized shares: 6 billion Common stock (issued and outstanding): 4.5 billion Number of shareholders: 265 thousands
Number of employee	24 thousand (non-consolidated basis) 157 thousand (consolidated basis)

Source: Nissan (2012f) and JAMA (2012b).

Nissan Company is implementing six strategies under Nissan Power 88 to achieve its mid-term plan from fiscal years 2011 to 2016. Those six strategies are brand power, sales power, enhancing quality, zero-emission leadership, business expansion and cost leadership. To achieve business expansion, in 2012, Nissan starts production at the second Huadu, China. Nissan also plans to double production capacity to about 100k units at St. Petersburg plant by 2014. In addition, Nissan also plans to build new plants at Dalian (China), Mexico and Brazil.

Nissan has two brands of portfolio which are sold worldwide. These two brands are called as NISSAN and INFINITI. The second brand name was launched as luxury brand in 1989 at North America's market. Then it expanded to the Middle East, Taiwan, Korea, Europe, China, Southeast Asian, and Latin American. Nissan established new global headquarters for INFINITI in Hongkong in 2012. Nissan also plans to continue to expand to new market globally.

In addition to the six strategies, Nissan companies also implemented strategic partnership with Boulogne-Billancourt, France-based Renault since 1999. Through this strategic partnership, Nissan and Renault sold 8 million cars in nearly 200 countries in 2011. Nissan also established strategic partnership with Germany's Daimler, China's Dongfeng, Russia's AVTOVAZ, Japan's Mitsubishi and Ashok Leyland in India. Nissan is targeting about 40% of market share in Russia and build new plant together with Germany's Daimler AG in 2014 (see Figure 14).



Figure 14 Nissan's alliance and partnership

Source Nissan (2012g)

Nissan's facilities in Japan are located mainly in Yokohama, Hokkaido, Iwaki, Tochigi, Kyushu and Aichi (see Figure 15). The detailed location for each Nissan's facilities in Japan are presented in Annex 4.3. In overseas, Nissan has facilities in North America, Europe, Asia, Oceania, Mexico, Latin America and Caribbean, Middle East and Gulf States, and Africa.

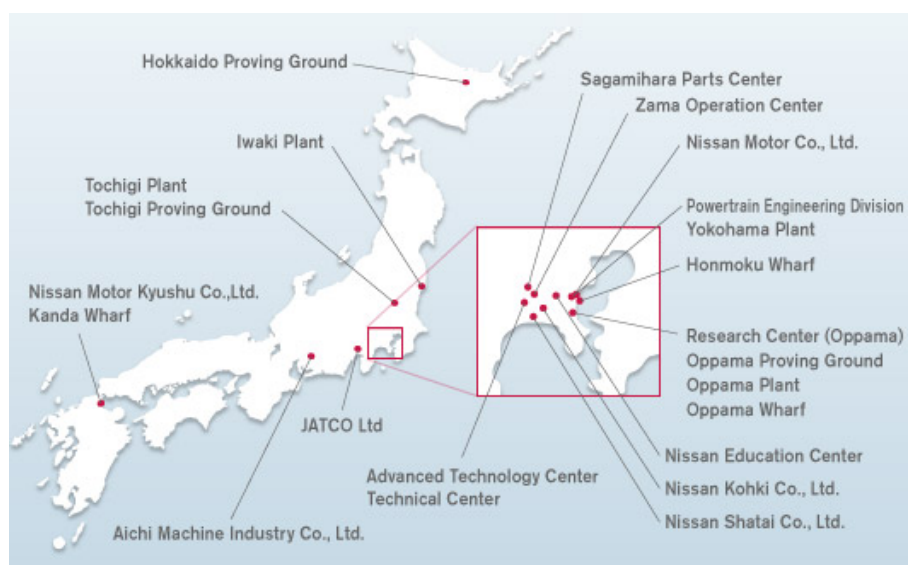


Figure 15 Global production and retail of Nissan Company

Source Nissan (2012b)

### Subaru

Subaru is the automotive division of Fuji Heavy Industries Ltd. (FHI), a comprehensive, multifaceted transport equipment manufacturer. FHI develops a range of innovative products based on reliable technology in divisions such as the Automobile Division, the Aerospace Division, the Bus Manufacturing & House Prefabricating Division, the Industrial Products Division and the Transportation & Ecology Systems Division. FHI aims to develop premium brands and be a major player on the global stage in the twenty-first century. FHI creates products full of individuality and promise by taking a pioneering stance and respecting tradition to support the future of people and the planet.

The headquarter of Subaru is located in Tokyo. The father's company of Subaru (Fuji Heavy Industries Ltd) has established on 15 July 1953. The current president of Fuji Heavy Industries is Yasuyuki Yoshinaga. The detailed list of representative board of members, officer and auditor for Fuji Heavy Industry are presented on Annex 5.1. Fuji Heavy Industry is currently employing about 12 thousand people (see Table 27). Subaru has facilities in domestic and overseas countries. In domestic, Subaru has facilities in Tokyo and Omiya. In overseas, Subaru has facilities in America, Indiana, China, and Singapore.

Table 27 Fuji Heavy Industries profile

Name	Fuji Heavy Industries Ltd.
Established	15 July 1953
Head Office	1-7-2 Nishishinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo 160-8316 Japan Tel: 03-3347- (+ direct numbers to individual divisions) Main Listed Number: 03-3347-2111
President	Yasuyuki Yoshinaga
Main Business	Aerospace Company The manufacture, repair, and sales of airplanes aerospace-related machinery and their components. Industrial Products Company

	The manufacture, repair, and sales of generators, engine-equipped machinery, agricultural machinery, construction machinery other machine tools and their components.
	Eco Technologies Company
	The manufacture, sales, repair and service of sweeper, eco-related machinery.
Paid-in Capital	JPY153,795 million (1.3 millionEuro) (as of 31 March 2012)
Number of Employees	12,359 (as of March 31, 2012)

Source: Fuji Heavy Industries Ltd. (2012).

### Suzuki

Suzuki Motor Corporation has established in March 1920 as Suzuki Loom Manufacturing Co. In June 1954, Company name was changed to Suzuki Motor Co., Ltd. In October 1990, company name was changed to Suzuki Motor Corporation. The main products of Suzuki Motor Corporation are motorcycles, automobiles, outboard motors, motorized wheelchairs, electro-scooters, and industrial equipment. The current representative director for Suzuki Motor Corporation is Mr. Osamu Suzuki. The detailed history of Suzuki Motor Corporation are presented on Annex 6.1. The headquarters of Suzuki Motor Corporation is located in Hamamatsu City, Japan. It also has some facilities or plants in several cities in Japan and overseas countries (see Annex 6.2). Suzuki Motor Corporation also has some principal subsidiaries related to manufacturing, other manufacturing and sales companies in Japan (see Annex 6.3). The detailed list of major affiliate domestic distributors and their products are presented in Annex 6.4.

Table 28 Suzuki profile

<b>Company Name</b>	<b>SUZUKI MOTOR CORPORATION</b>
Date of Incorporation	March 1920 Incorporated as Suzuki Loom Manufacturing Co. June 1954 Name changed to Suzuki Motor Co., Ltd. October 1990 Name changed to Suzuki Motor Corporation
Capital	JPY 138,014 million (1.2 millionEuro) (as of 31 March 2012)
Main Products	Motorcycles, automobiles, outboard motors, boats, motorized wheelchairs, electro-scooters, industrial equipment
Representative Directors	
Chairman & CEO	Osamu Suzuki
Representative Director and Executive Vice President	Minoru Tamura Osamu Honda Toshihiro Suzuki Yasuhito Harayama
Directors	
Director and Senior Managing Officer	Shinzo Nakanishi Toyokazu Sugimoto Masanori Atsumi Naoki Aizawa Eiji Mochizuki

Director	Masakazu Iguchi Sakutaro Tanino (*Mr. Iguchi and Mr. Tanino are the outside directors)
Auditors	
Corporate Auditor	Tamotsu Kamimura Kunio Nakamura
Corporate Auditor (non full-time)	Shin Ishizuka Masataka Osuka Norio Tanaka
Managing Officer	
Managing Officer	Shigeaki Hamada Sadayuki Inobe Masafumi Yayoshi Ichizo Aoyama Toshiaki Hasuike Hiroyasu Uchida Takashi Iwatsuki Kaoru Sato Kazuo Hakamata Hiroaki Matsuura Seichi Furusho Tsuneo Ohashi Kenichi Ayukawa Tadashi Kondo Motoo Murakami Masato Kasai

Note: As of 28 June 28, 2012.

Source: Suzuki Motor Corporation (2012a).

### Toyota

Toyota Motor Corporation has established in 28 August 1937. The headquarter office of Toyota company is located in Tokyo. The main business activities of Toyota Motor corporation are motor vehicles and sales. The capital is currently about JPY 397 billion (3 billion Euro). As of June 2012, Mr. Akio Toyoda is the president and representative director of Toyota Motor Corporation. Others list of representative executive of Toyota Motor corporation are listed in Annex 7.1. It is employing about 330 thousand people as of March 2012 (see Table 23) The detailed list and production volume of Toyota group and supplier are presented in Annex 7.2 and Annex 7.4. Toyota Motor Corporation is also operating some facilities in their regional headquarters such as in North America, Europe and Asia (see Annex 7.3).

Table 29 Toyota profile

Company Name	Toyota Motor Corporation
President and Representative Director	Akio Toyoda

Head Office	1 Toyota-Cho, Toyota City, Aichi Prefecture 471-8571, Japan Phone: (0565) 28-2121
Tokyo Head Office	1-4-18 Koraku, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8701, Japan Phone: (03) 3817-7111
Nagoya Office	4-7-1 Meieki, Nakamura-ku, Nagoya City, Aichi Prefecture 450-8711, Japan Phone: (052) 552-2111
Date founded	28 August 1937
Capital	JPY 397.05 billion (3 billionEuro) (as of 31 March 2012)
Shareholders	Shareholder Composition
Fiscal Year	From April 1 <sup>st</sup> to March 31 <sup>st</sup> of the following year
Main Business Activities	Motor Vehicle Production and Sales
Business Sites	Information on Business Sites
Number of employees (consolidated)	325,905 (as of 31 March 2012)
Number of employees (non-consolidated)	69,148 (as of 31 March 2012)

Note: As of 28 June 2012

Source: Toyota Motor Corporation (2012b).

### 3.3.2 Vehicle, vehicle concepts, powertrain and transportation concepts

#### Daihatsu

##### Main BEV Products

Daihatsu company exhibited three main HEV products at the 39<sup>th</sup> Tokyo Motor Show in October, 2005. Three main HEV products are Daihatsu HVS (Hybrid vehicle sports), UFE-III (Ultra Fuel economy), and Essence (essence of the mini vehicle greatest assets) are specified as the improved cars with the estimated about 75% of emission reduction below the 2005 Japan's standard.



Figure 16 Daihatsu HEVS, Daihatsu UFE III, Daihatsu ESSE

Source Daihatsu Motor Co., Ltd (2005)

#### Honda

##### Main BEV Products

Honda unveiled in 13 November 2012 the improved version of the Micro Commuter Prototype, a micro-sized short distance BEV commuter. This BEV car is designed with taking consideration of the initiative under Ministry of Land, Infrastructure, transport and tourism. This type of car is specifically for small children, senior citizens, home delivery services and commuting and car sharing.



Figure 17 Micro commuter prototype

Source Honda Motor Co., Ltd. (2012c)

The micro commuter prototype is using lithium-ion battery type which can recharged in less than 3 hours and its maximum output is about 15 kW (see Table 30).

Table 30 Specifications of micro commuter prototype

<b>Vehicle size (length × width × height)</b>	<b>2,500 × 1,250 × 1,445 (mm)</b>
Maximum speed	80 km/h
Maximum range	Approximately 60 km
Charging time	Less than 3 hours
Battery type	Lithium-ion battery
Maximum output	15 kW

Source: Honda Motor Co., Ltd. (2012c).

### *Infiniti*

#### Main BEV Products

##### (i) Infiniti Essense

Infiniti Essense is a concept hybrid car of luxury brand “Infiniti” which was introduced by Nissan company at the Geneva Auto Motor Show in 2009. Infiniti Essense is powered by lithium-ion battery and designed with Louis Vuitton luggage. This is first hybrid car of Nissan’s luxury brand of Infiniti.



Figure 18 Infiniti Essense

Source Paukert C (2009)

(ii) Infiniti BEV

In September 24th, 2010 Nissan Company introduced the first Infiniti EV which combined three important concepts which are stylish, high performance five-seat luxury vehicle and zero emission.



Figure 19 Infiniti BEV

Source Nissan (2010)

(iii) Infiniti M

Nissan company introduced “Infiniti M35 as Infiniti M-hybrid” as the second Infiniti luxury brand of BEV car. Infiniti M hybrid was produced based on the popular Infiniti M35 sedan. The BEV type of M35 sedan can be utilized at speeds as high as 140 km/h on trailing throttle.





Figure 20 Infiniti-M hybrid

Source Infiniti USA (2013)

#### (iv) Infiniti LE Concept

Nissan company related with Infiniti luxury brand introduced “ Infiniti LE Concept” in April 5, 2012. Infiniti LE concept is luxury brand’s first zero emission sedan type. It was designed as luxury brand which has the advanced battery technology using 24 kWh lithium-ion (Li-ion) design with a ChaDemo DC50 kw quick charger. Infiniti LE concept also equipped with the innovative and intuitive home-based wireless charging system and intelligent park assist to make easier for customer to charge battery.



Figure 21 Infiniti LE concept

Source Nissan (2012d)

## Lexus

### Main BEV Products

The first Lexus hybrid vehicle was introduced in year 2005. Until July 2012, the first Lexus hybrid car was sold about 465,000 units. Lexus hybrid is produced using full-hybrid system. It means that Lexus hybrid car does not need to be plugged-in. It is designed the hybrid battery is recharged during driving. It is possible because the electric motor acts as “electric brake”

and is able to generate electricity. Lexus hybrid cars have several types which are CT, GT, LS and RX.

Lexus announced its first hybrid car in year 2004, called Lexus hybrid RX 400h". It used a Lexus Hybrid Drive System which combines gasoline and electric motors to increase power, fuel efficiency and lower emissions). Here are the list of hybrid cars produced by Lexus from year 2004 to 2012:

(i) 2004: RX 400h



Figure 22 Lexus RX 400h

Source Lexus (2013c)

Main specification: The first hybrid version of Lexus' best-selling vehicle. This vehicle used a Lexus Hybrid Drive system which combined gasoline and electric motors for increased power, fuel efficiency, and lower emissions relative to gasoline-only equivalents.

(ii) 2006: GS 450h



Figure 23 Lexus GS 450h

Source Lexus (2013d)

Main specification: rear-wheel drive hybrid, debuted in 2006. A V6 hybrid performance sedan.

(iii) Fourth generation flagship LS line hybrid versions : LS 600h and LS 600h L

(iv) 2009: HS 250h

Main specification: A dedicated hybrid sedan for North America and Japan

(v) 2009: RX 450h

Main specification: The second generation hybrid SUV replacing the earlier RX 400h

(vi) 2010-2011: CT 200h

Main specification: A compact four-door hybrid hatchback designed for Europe.

(vii) 2012: GS 350 and GS 450h variants

Main specification: the fourth generation GS line.

(viii) CT 2013



Figure 24 2013 CT hybrid

Source Lexus (2013b)

(viii) 2013 Hybrid RX Model

In 2013, Lexus company produced three types of RX model which are RX 350, RX 350 F Sport, and RX 450 H.



Figure 25 2013 hybrid RX model

Source Lexus (2013c)

(ix) ES Model

The 2013 Hybrid ES Lexus model has two types of ES models which are ES 350 and ES 300h.



Figure 26 2013 hybrid ES

Source Lexus (2013a)

(x) 2013 GS Hybrid Car

There are three types of 2013 GS Hybrid cars which are GS 350, GS 350 F SPORT and GS 450 h.



Figure 27 2013 GS hybrid car

Source Lexus (2013d)

(xi) 2013 LS Hybrid Car

There are three types of the 2013 LS Hybrid Car which are LS 460, LS 460 F Sport and LS 600 h L.



Figure 28 LS hybrid car

Source Lexus (2013e)

## Mazda

### Main BEV Products



Figure 29 Mazda 2008 tribute hybrid-electric car

Source Paukert C (2009)

## Mitsubishi Company

### Main EV Products

Mitsubishi released the i-MIEV to the domestic market in year 2009 which was gradually introduced in the EU through cooperation with Peugeot and Citroen and in the North America. Mitsubishi sold more than 1,700 i-MIEV in Norway. The i-MIEV product has the best selling in Norway because of several factors as followings (based on the interview with Mitsubishi):

- i) Many charging stations available
- ii) EVs are exempted from registration tax and other tax reduction
- iii) Access to bus lanes, free parking, no motorway tolls
- iiii) High environmental awareness

Mainly high-income people are able to buy an EV which is usually used as a second or a third car and for commuting.

## Nissan

### Main Electro mobility Products

Nissan has targeted to provide zero-emission infrastructure to contribute to zero-emission society such as by producing zero-emission electric vehicle. Nissan started the electric vehicle since 60 years ago. In 1947, Nissan produced its first electric vehicle called "Tama Electric Vehicle" as one of manufacture of electric vehicles promoted by Japanese government. With a cruising range of 96.3 km and speed of 35.3 km/h, Tama BEV has used as taxi and similar roles until 1950 (see Figure 30)



Figure 30 The first Nissan BEV "Tama BEV"

Source Nissan (2012h)

Until 1960's, Nissan keeps passion to enhance its BEV. In 1992, Nissan started to do research and development on lithium-ion battery which has smaller size and more power and capacity compared to the previous battery. In 1997, Nissan introduced "Prairie Joy EV", as the world's first lithium-ion battery BEV. Nissan continued to develop its lithium-ion battery. In 2010, Nissan produced mass production of "Nissan LEAF" into markets of Japan, North America and Europe. In 2012, Nissan LEAF are started to sold in the global market as a cumulative 30,000 units since its first sale in late 2010. Nissan LEAF is able to deliver 80 kW/280Nm which is powered by a compact lithium-ion battery. Because Nissan LEAF has no tail pipe, Nissan LEAF does not produce CO<sub>2</sub> emissions and other greenhouse gases. Nissan LEAF has a combination of a regenerative-braking system and an innovative lithium-ion battery which enables Nissan LEAF to deliver a sufficient deliver range. Nissan also improved the charging capacity. Nissan LEAF can be charged up to 80% of its full capacity within 30 minutes of quick charger. Customer are also able to charge Nissan LEAF at home for about eight hours using 200V outlet. Nissan LEAF is also designed as clean car and supported technologies such as light-emitting diode (LED) illumination and an exclusive advanced IT system (see Figure 31)



Figure 31 Nissan LEAF for Japanese model

Source Nissan (2012e)

Nissan plans to sell the e-NV200 which will be manufactured in the Barcelona Plant in Spain. The e-NV200 is designed to provide sense of flexible and roomy for businesses and families. (see Figure 32). In total, since 1947 to the current year, Nissan has produced about 28 types of BEVs (See Annex 11).



Figure 32 Nissan e-NV200

Source Nissan (2012a)

### Toyota

#### Main Products for Electric Mobility

To improve the efficiency, Toyota developed strategies to take measures in environmental issues through implementation of three components such as proactively reduce vehicle load, improve powertrain efficiency and energy management (see Figure 33).

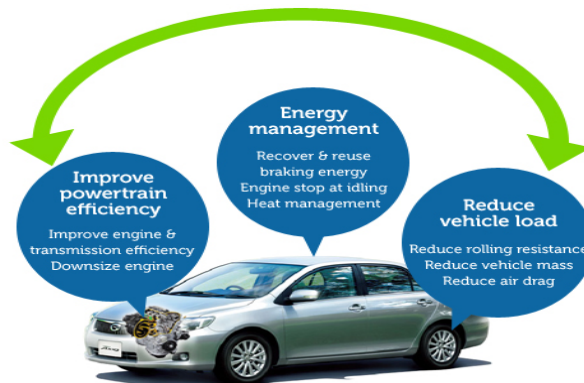


Figure 33 Toyota strategies to take measures in environment-related issues

Source Toyota Motor Corporation (2012e)

Based on Figure 34, related to environmentally-friendly cars, Toyota developed three key technologies related to Hybrid Synergy Drive which are BEV, PHEV and FCV. In BEV type car, the car only uses the battery to connect with motor as power. In PHEV and FCEV type cars, the car is using a combination between battery and either fuel tank and hydrogen tank.

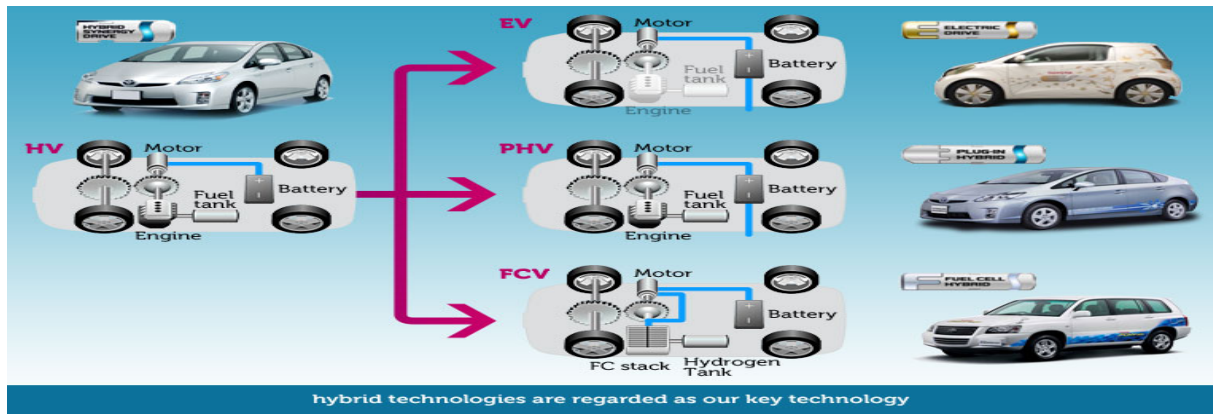


Figure 34 Toyota hybrid technologies  
Source Toyota Motor Corporation (2012e)

In detailed composition of each type BEV, PHEV and FCEV cars, Figure 35 presents that in BEV type car is used for delivery car, short commuter and motor cycle. However hybrid vehicle and plug-in hybrid vehicle is used mainly for passenger cars. FCEV type is used for route bus, HD truck and delivery truck.

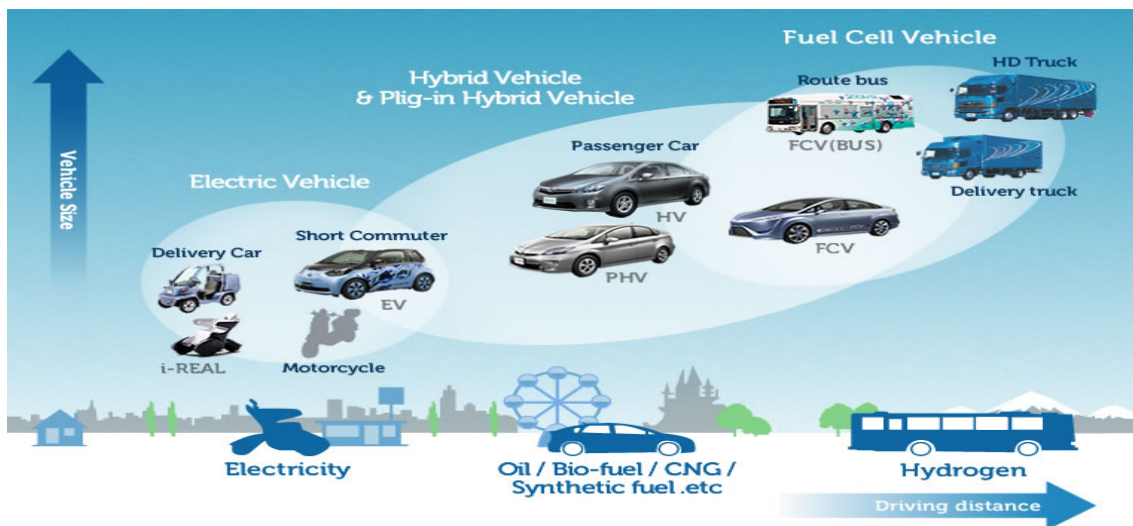


Figure 35 Size of vehicles produced by Toyota Company  
Source Toyota Motor Corporation (2012e)

For hybrid and plug-in hybrid vehicle type, Toyota uses the combination between fuel tank and battery which can be recharged at gas station and household electricity respectively (see Figure 36).



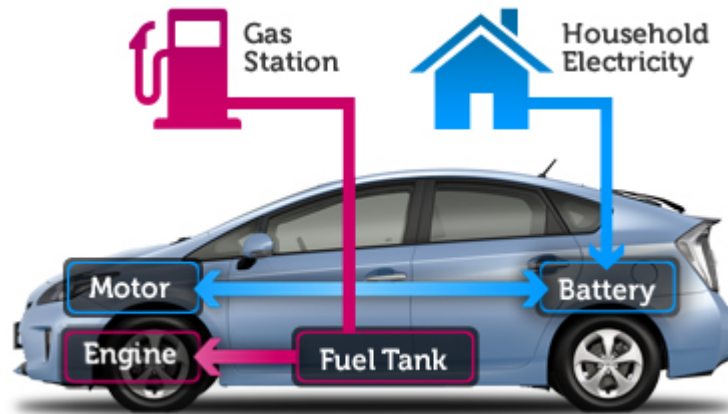


Figure 36 Toyota plug-in hybrid vehicle

Source Toyota Motor Corporation (2012c)

In BEV type, the car is using only battery connected with motor which can be recharged into household electricity (see Figure 37). For detailed list of electric vehicle and plug-in hybrid vehicles which are produced by Toyota company are presented in Annex 8.

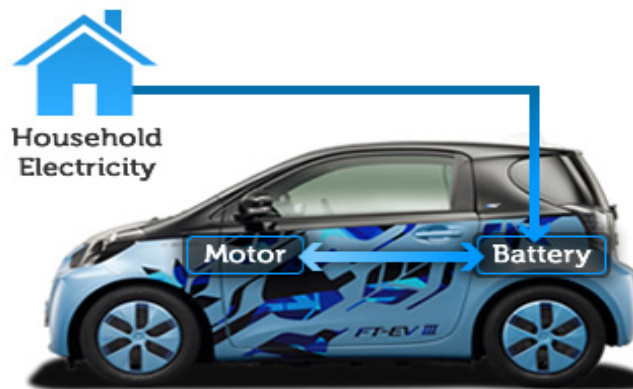


Figure 37 Toyota FT-BEV III

Source Toyota Motor Corporation (2012a)

### 3.3.3 Vehicle technology and vehicle components

According to experts from Mitsubishi, after Fukushima disaster, BEVs are increasingly seen as energy storage (importance to recharge mobile phones, etc. during disasters). This became a big issue in the BEV auto industry. There are three steps to transfer cars to mobile power sources:

- (i) Equip vehicles with power outlet to charge laptops and mobile phones or for microwave oven. Some models are already available.
- (ii) Connect vehicles to homes to power air condition or lighting in the house. Nissan and Toyota are developing vehicles to home systems.
- (iii) Connect vehicles with the grid. BEVs will be used as temporary power storage to store electricity from renewable energy. It can supply to the grid if the demand is high and be used as moving sources to supply areas where electricity is scarce. Grid integration is a long term project, some regulations need to be change and technologies need to be developed (Mitsubishi 2013).

More details of the technologies used by the Toyota company for producing Plug-in Hybrid cars are presented as follows.

(i) Secondary Battery

In PHEV type, Toyota uses lithium-ion battery as the secondary battery which can be recharged using external battery charger and household outlets. Lithium-ion battery has greater capacity for storing and discharging electrical energy compare to the conventional type of battery.

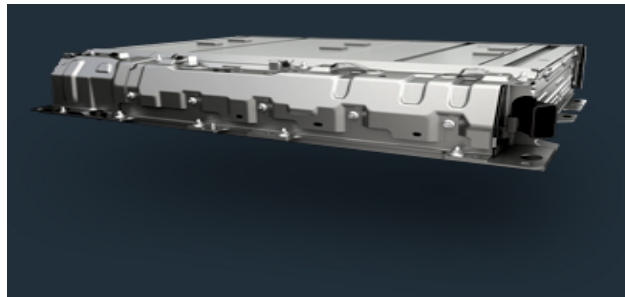


Figure 38 Secondary battery for Toyota PHEV

Source Toyota Motor Corporation (2012c)

(ii) Electric Motor

The electric motor has an important function as electricity supplier for vehicles. It consist of an AC synchronous motor and a high efficiency DC brushless motor, which has a permanent magnet aligned in a V-shape. The optimum configuration supports the maximizing of torque and power output.

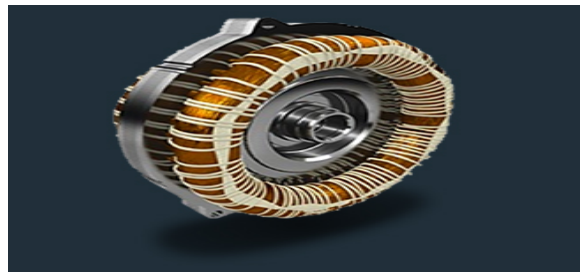


Figure 39 Electric motor for Toyota PHEV

Source Toyota Motor Corporation (2012c)

(iii) Power Control Unit

Power control unit consist an inverter to convert battery-supplied DC and a voltage booster circuit that is able to increase voltage up to 650 volts.

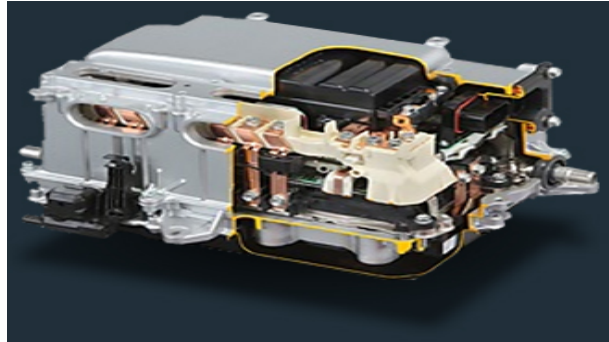


Figure 40 Power control unit for Toyota PHEV  
Source Toyota Motor Corporation (2012c)

#### (iv) Battery Charging System

Toyota also provides battery charging system to recharge battery of PHEV from external power source such as from a household electrical outlet. The required charging times are about 90 minutes at 200 VAC and about 180 minutes at 100 VAC.



Figure 41 Battery charging system for Toyota PHEV  
Source Toyota Motor Corporation (2012c)

#### (v) Battery

Toyota company has rapidly begun research in developing next-generation secondary batteries that has performance exceeds that of lithium-ion batteries. To develop next-generation secondary batteries, Toyota company engage in collaboration among stakeholders such as kyoto university, tokyo university, and National Institute of Material Science and Toyota Collaboration Center (see Figure 42).

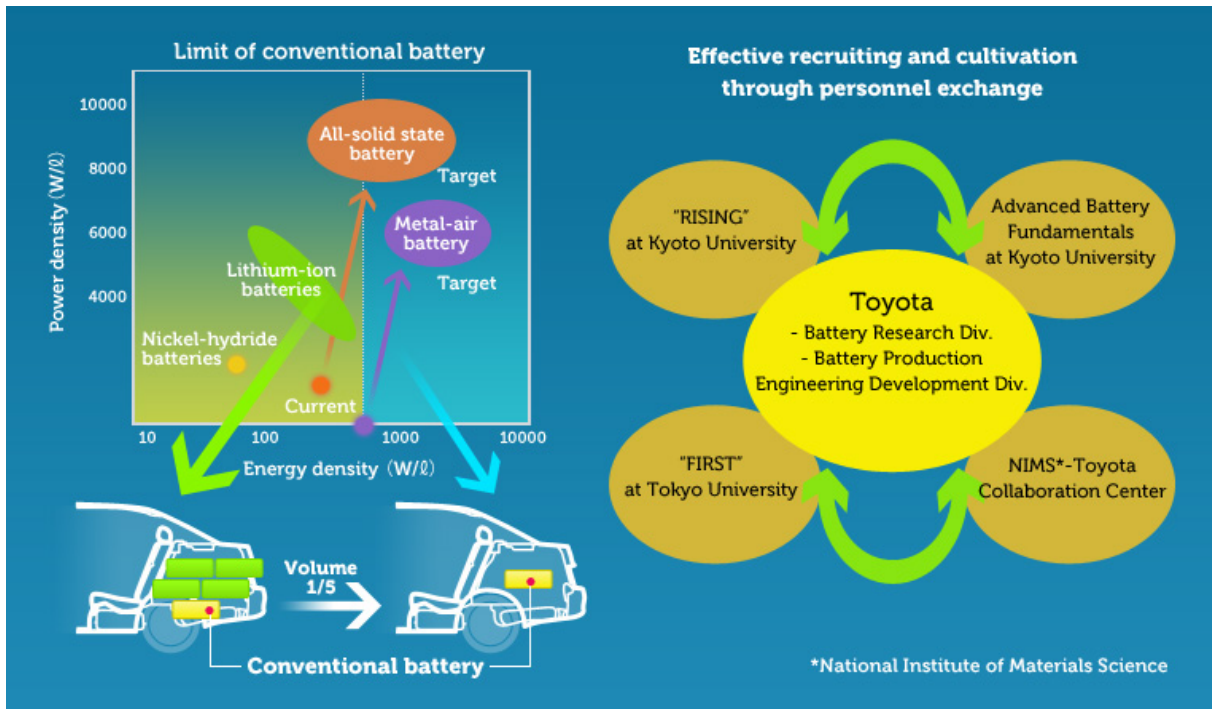


Figure 42 R&D of next-generation batteries promotion research and de facto standards for next-generation batteries with collaboration framework between R&D and production engineering

Source Toyota Motor Corporation (2012d)

Starting in 2010, Toyota company focused R&D for the next-generation battery into type of batteries which are called all-solid-state battery and lithium-air battery. All solid-state battery is modifying liquefied electrolytes into solid electrolytes which is creating a more compact packaging (see Figure 43).

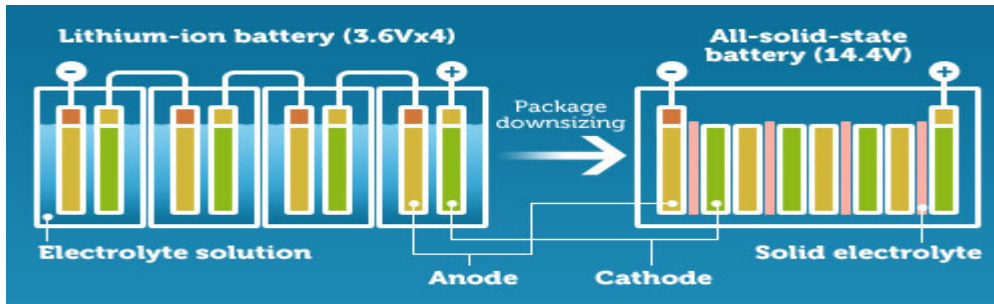


Figure 43 All- solid-state battery with directly connected cells enables smaller package

Source Toyota Motor Corporation (2012d)

For development of lithium-ion air battery, oxygen in the air is used as the cathode active material. Because negative electrode material is changed into metallic lithium, it enables the lithium-air battery to provide better energy density (see Figure 44).

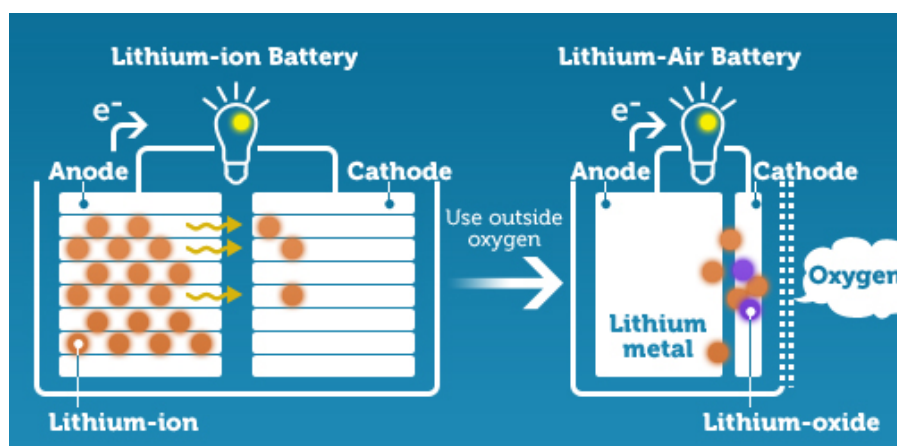


Figure 44 Lithium-ion battery

Source Toyota Motor Corporation (2012d)

For development of the next-generation batteries, there is joint venture or cooperation among Japanese companies. On the research and development for battery, Mitsubishi mainly deals with the way to improve efficiency. Mitsubishi will stick to Li-on batteries with the expectation for great improvement of vehicle technology from Germany. In addition, Mitsubishi expects 10-year life expectancy for the battery. Mitsubishi provides a warranty for 5 years. In order to reduce the risks for Li-on battery, it is advised that do smart controller and do not keep fully charged status because it can damage the battery.

For example of this joint venture is Prime Earth BEV energy battery is battery produced by joint venture between Toyota automobile company and Panasonic who have share of 80% and 20% respectively (see Table 31).

Table 31 Joint venture or cooperation for battery supplier of electric mobility in Japan\*

Battery Manufacturer	Capital
Automotive Energy Supply (AESC)	Nissan automobile 51% NEC+NEC energy devise 49%
Prime Earth EV Energy	Toyota automobile 80.5% Panasonic 19.5%
Panasonic (Sanyo Denki)	-
Toshiba	-
Hitachi peak energy	Hitachi manufacturer 65% Shin Kobe Denki 25% Hitachi Maxell Energy 10%
GS YUASA Lithium Energy Japan (LEJ)	GS Yukasa 51.0% Mitsubishi Syouji (trading) 40.7% Mitsubishi Automobile
Blue Energy	GS Yukasa 51% Honda Jiken Koujyou 49%
SB Limotive	Samsung sdi 50%

Bosch 50%

LG Chemical

-

Note: <sup>^</sup> the information is based on document from METI .

### Mitsubishi

The research on vehicle and vehicle components established in Mitsubishi mainly deals with the way to improve efficiency. Mitsubishi will stick to Li-on batteries with the expectation for great improvement of vehicle technology from Germany.

### 3.3.4 Charging technology and infrastructure

To support policies to generate demand for BEV, PHEV and HEV in domestic market, Japanese government developed two kinds of charging technologies and infrastructure which can be called as private and public charging facilities.

In addition, According to Mitsubishi mentioned in the interview, the charging infrastructure is expanded to 100,000 locations across Japan in year 2013-2014. Japanese Government allocated about 100.5 billion JPY to invest in charging infrastructure.

Table 32 presents the detailed information such as the outlet type, charging time required, location and price for each type of charging facilities available in Japan. A building bylaw for home charging facility would be favorable for EV market growth (like in France), but it is currently un-available in Japan.

Table 32 Type of charging facilities

Type of charging facility		Normal charging			Rapid charge
		Outlet		Normal pole charger	
		100V	200V		
Envisioned location (example)	Private	House, condominium/apartment building, office building, outside parking lot, etc.		Condominium/apartment building, office building, outside parking lot, etc.	(extremely limited)
	Public	Car dealers, convenience stores, hospitals, commercial facilities, pay-by-the-hour parking lots, etc.			roadside stations, gas stations, expressway service areas, car dealers, commercial facilities, etc.
Charge time	Range: 160 km	Approx. 14 hours	Approx. 7 hours		Approx. 30 minutes
	Range: 80 km	Approx. 8 hours	Approx. 4 hours		Approx. 15 minutes
Sample price of chargers (not including installation cost)		Several thousand yen		Several hundred thousand yen	1 million yen (8.6 thousand Euro) or more

Source: METI (2011).

Related to development of public charging infrastructure, Japanese government is implementing approach with taking consideration of characteristics for BEVs/PHEVs, regional characteristics, and specific characteristics of vehicle users into formulation process of town-development concept that will apply PEVs. There are two types of charging facilities which are normal chargers and quick charges. The installation of normal charges is also utilizing the existing infrastructure. However the installation of quick chargers is used for development travel tourist routes (see Figure 45).

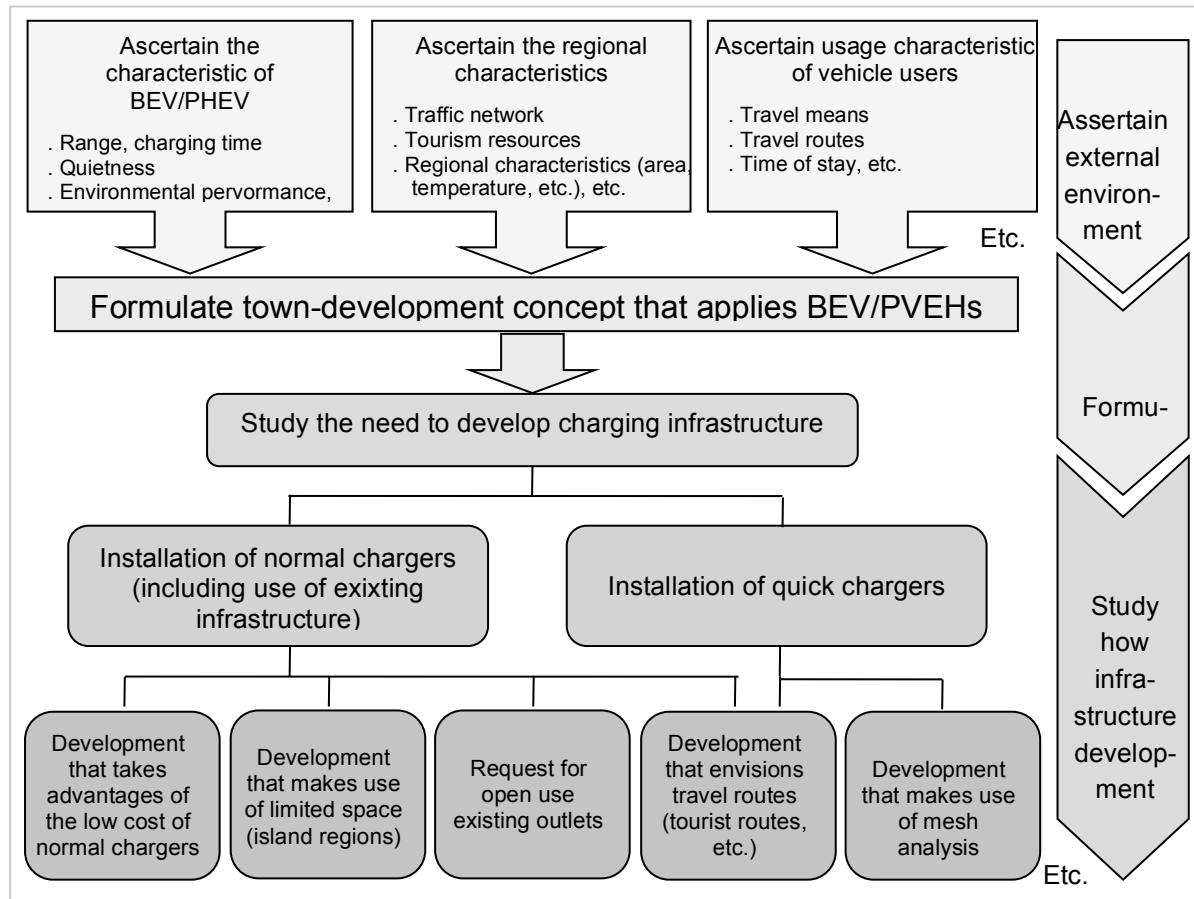


Figure 45 Approach to develop public charging infrastructure

Source METI (2011)

After hearing comments come from EV/PHEV Towns and business, it is found that is important to install quick chargers at easy-to-use locations with consideration of traffic flow and other factors. In some cases, private-sector also interests to take an initiative to install chargers at highly convenient locations to attract user (see Figure 46).

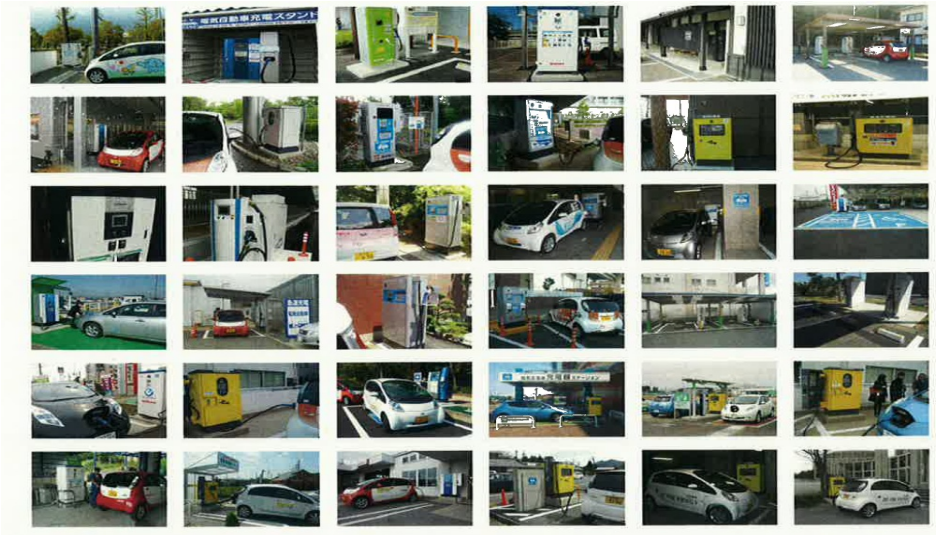




Figure 46 Examples of rapid charger installation in Japan

Source METI (2011)

As on of charging facilities, there are two types of outlets which are conventional outlet and new outlet. Table 33 presents the detailed characteristics for conventional and new outlets.

Table 33 Characteristics for conventional and new outlets

200V	Conventional outlet (Type A)	New Outlet (Type B)
	 <p>Round 20 A Outlet shape JIS C8303</p>	 <p>Flat 20 A Outlet shape JIS C8303</p>
Corresponding models (as of November 2010)	Mitsubishi Motors i-MiEV Fuji Heavy Industries Plug-in Stella Toyota Prius Plug-in Hybrid	Nissan Leaf Mitsubishi Motors i-MiEV In the future, all major automobile manufactures in Japan will utilize this Type B outlet
Accidental unplugging convert on	Rotating lock mechanism	Covering lock mechanism

Source: METI (2011).

To support the development of charging infrastructure, Japanese government also implements three approaches which are as follows:

- (i) Proactive development which is used through two forms; proactive development of public charging facilities in locations owned and managed by local governments and promotion scheme members (see Figure 47).





Figure 47 Proactive development by local developments and promotion scheme members  
Source METI (2011)

(ii) Publicity of charging facility locations through use of specific logos as shown in Figure 48. Used logo are promoted using website and other advertisement paper forms.



Figure 48 Logos used for publicity of charging facilities in Japan  
Source METI (2011)

(iii) Offering subsidy as incentive to use public charging facilities in some cities and is complemented by communication network see Table 34.

Table 34 Subsidies for the introduction of chargers in EV/PHEV Towns

	Kanagawa	Kyoto	Tokyo	Nagasaki	Niigata	Fukui	Osaka	Okayama	Gifu	Saitama	Saga	Tochigi	Tottori
Rapid chargers	△		△	□	△		△	△	△	△	○	△	△
Normal chargers		□			△	○	△	△	○	△	○		△

Δ : Provided in both FY2010 and FY2011; O : Started in FY2011; □ : Provided up to FY2010

Subsidy applicability may be limited in some cases

Source: METI (2011).

### 3.3.5 Business models and mobility concepts

To complement with demand side promotion of PEV, Japanese local government in some cities are implementing measures such as subsidy to introduce PEV taxis, partnership with nearby tourist area, and providing advertisement of special PEV taxi stands (see Figure 49).

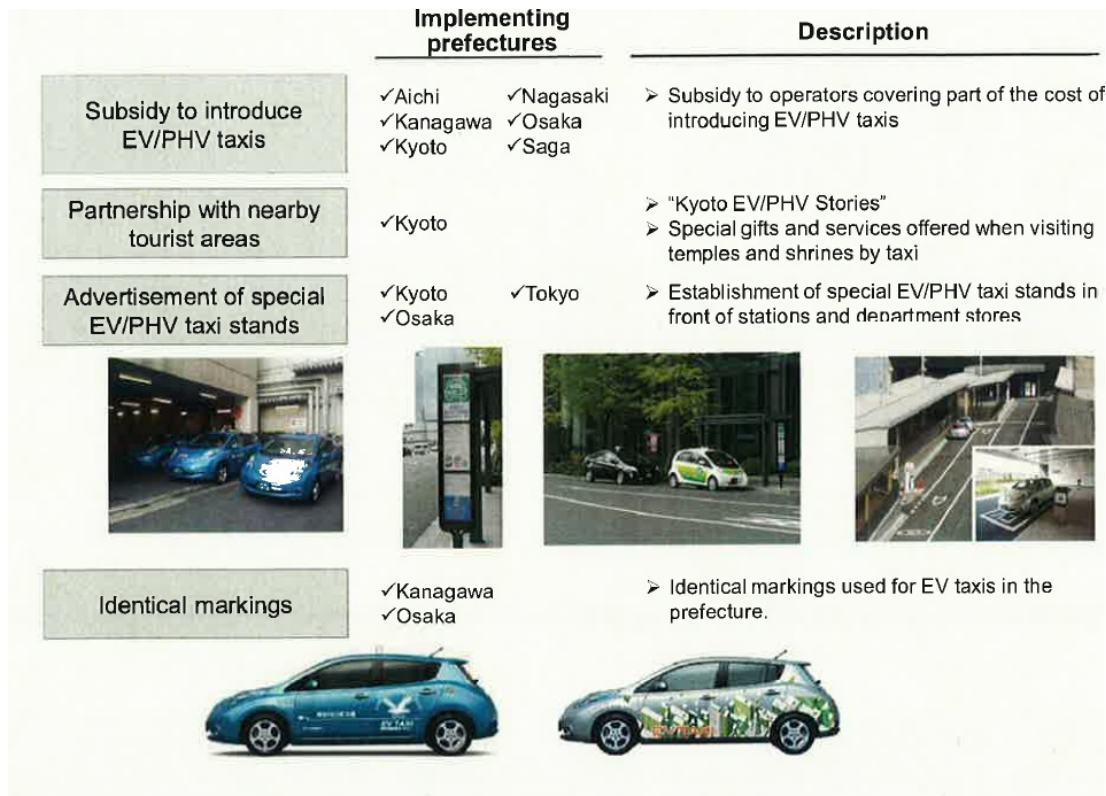


Figure 49 Promotion Measures implemented by local governments

Source METI (2011)

The diversification of business initiatives to promote supply side can be classified into three types which are PEV taxis, PEV buses, and PEV special in semi-mountainous and tourism areas.

PEV taxis which is currently promoting in some cities in Japan has some benefits and disadvantages. High praise from passengers regarding comfortable ride, lower fuel costs and enhanced company image are some of the benefits of PEV taxis. In terms of disadvantages of PEV taxis are such as shorter range on one charge, and increased burned on drivers from charging (see Table 35).

Table 35 Operator views on PEV Taxis

Benefits of introducing and operating PEV taxis	Disadvantages of introducing and operating PEV taxis	Independent approaches of PEV taxis
---	--	-------------------------------------

Benefits of introducing and operating PEV taxis	Disadvantages of introducing and operating PEV taxis	Independent approaches of PEV taxis
<ul style="list-style-type: none"> <li>• High praise from passengers regarding quietness and comfortable ride (many respondents)</li> <li>• Enhanced company image (many respondents)</li> <li>• Lower fuel costs</li> <li>• Feeling that low noise and exhaust is a good thing, particularly when operating near tourist sites with many pedestrians</li> <li>• Good for the environment, as no exhaust is emitted even when leaving the air conditioner/heater on while waiting for fares during the summer or winter</li> <li>• Passenger requests for dispatch of BEV taxis are gradually increasing</li> <li>• Cost performance is high compared to LPG taxis</li> <li>• Appreciation particularly from young people and women</li> <li>• Higher awareness about eco-friendly driving among drivers.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Shorter range on one charge (many respondents)</li> <li>• Must refuse long-distance fares, which are the most profitable for taxis (many respondents)</li> <li>• Cannot be repaired in ordinary maintenance shops; thus, getting repairs done if an abnormality occurs takes time</li> <li>• Increased burned on drivers from charging</li> <li>• “Driving to charge” that does not produce sales is required</li> <li>• Operation over long distance during winter is difficult</li> <li>• Sales do not rise, as operating conditions differ from, other taxis</li> <li>• High vehicle height hinders boarding by senior citizens and passengers wearing kimono</li> <li>• Cannot operate at night when charging occurs, which lowers operating efficiency.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wait at train stations with many short-distance passengers</li> <li>• Operate only during daytime, as vehicle problems cannot be handled during the night</li> <li>• Give priority to dispatching BEV taxis (many respondents)</li> <li>• Ordinarily wait in the taxis bay of city hall, etc.</li> <li>• Dispatch two taxis is opposing shifts, and charge the taxis not in service</li> <li>• Use for special events and city tourists</li> <li>• Dispatch to general hospitals, which have many relatively short-distance passengers</li> <li>• Give priority to dispatches to passengers who have made reservations</li> <li>• Assign specific drivers to BEV due to difference in operating characteristics</li> <li>• Give dispatch priority to long-distance passengers</li> <li>• Turn off the air conditioner when taxis is empty</li> <li>• Dispatch to short-distance passengers</li> <li>• Maximize PR effect among passengers by limiting drivers and operation to short-term tourism</li> </ul>

Source: METI (2011).

For implementing PEV buses, the route buses is designed with a portion of existing routes which will be shifted to the BEV bus and the route is planned with also taking consideration for service kilometers and charge time required. Figure 50 presents the PEV route bus in Shichihone Town, Aomori Prefecture.

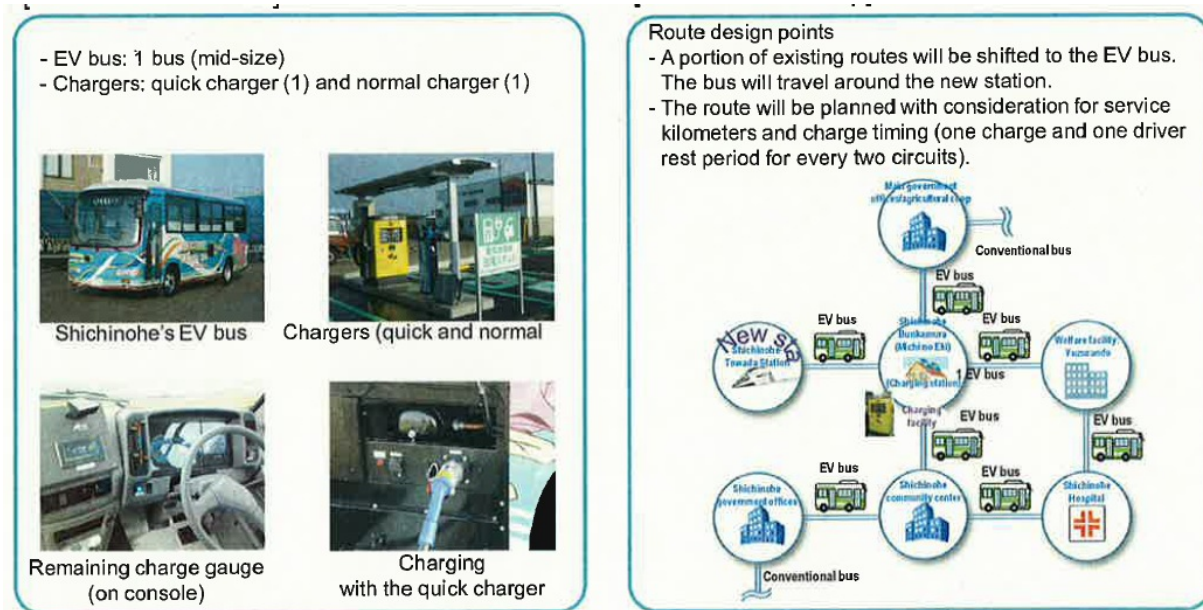


Figure 50 Route buses in Shichinohe Town, Aomori Prefecture

Source METI (2011)

For the promotion of PEV in semi-mountainous and tourism areas, it is important to emphasize the promotion of PEV which can be charged at home due to lack of gas station in semi-mountainous areas. To support the promotion of PEV in semi-mountainous and tourism areas, local government in cities are establishing cooperation among local cities as is presented on Figure 51.

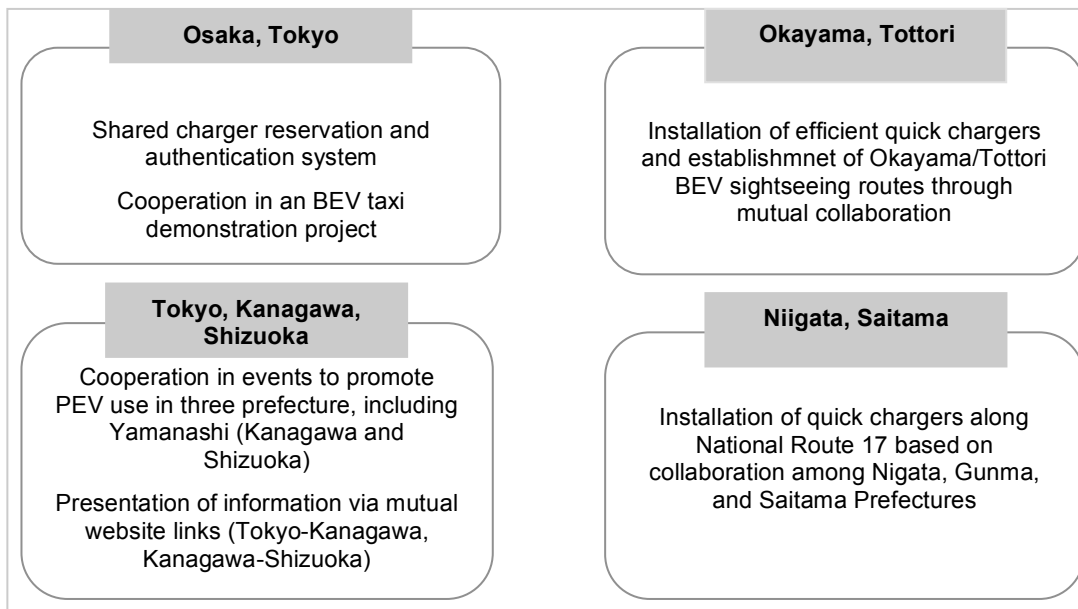


Figure 51 Partnerships scheme with neighboring local governments

Source METI (2011)

To promote use of BEV and PHEV taxis and tourism, local government of Kyoto city and taxi and rental car business cooperate each other. Local government of Kyoto city implements a scheme that offers special gifts and services (such as commemorative items, etc) for people who visit designated tempels and shrines using BEV and PHEV taxis. Taxi and rental car

business sector donate a portion of their business revenue as fund for tourism area in Kyoto (see Figure 52).



Figure 52 BEV tourism in Kyoto

Source METI (2011)

In addition, the local government in Nagasaki prefecture also proposes a scheme as demonstration project which is called “driving tourism of the future”. This scheme is supporting tourism in Nagasaki prefecture through providing the use of BEV equipped with next-generation ITS car navigation systems as rental car for tourists in Nagasaki (see Figure 53).

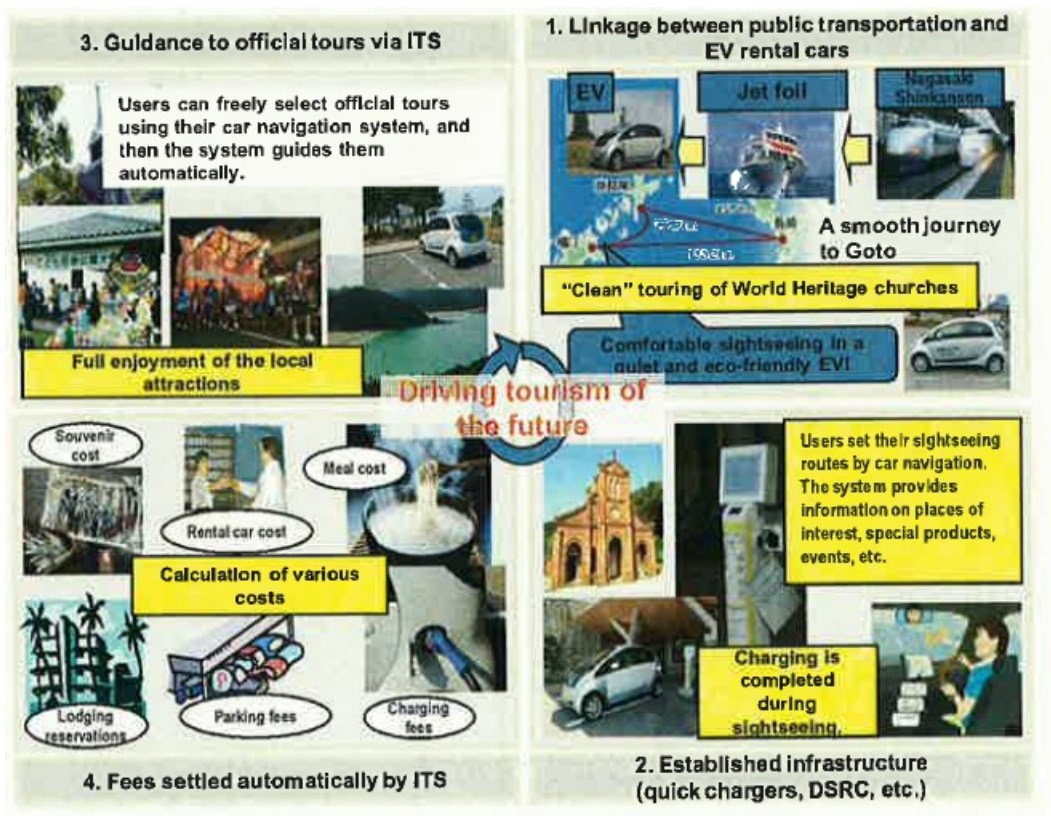


Figure 53 BEV Tourism in Nagasaki and ITS Project

Source METI (2011)

### **3.3.6 Stakeholders opinions on economy and industry**

According to the interviewed experts, the Japanese industry is highly competitive in the fields of xEV development and production. Still, the experts are not sure about the future development of electric mobility and of the perspectives of the different vehicle concepts.

Regarding vehicle concepts, an automotive research expert sees high efficiency potentials that could be realized by redesigning the vehicle architecture: A frame that contains components like the battery could lead to a more lightweight construction of the vehicle. New technologies and materials for thermal management, the inverter and the body would lead to a lighter and more efficient vehicle. Still, as an expert from consultancy pointed out, these developments high investments for the OEMs, meaning a high risk in a field of insecurity of the further market development. Thus, most OEMs go the conservative way and avoid new vehicle architectures so far.

The interviewed experts see different fields of use for different vehicle types: While (small) BEVs are most likely to fit the transport needs in urban areas, PHEVs, using a more complex technology, could make sense in larger vehicles that are used on longer distances. The required large battery size hinders the application of the BEV concept to larger vehicles. Vehicle manufactures see a need for strong advances in power electronics. If the combination of electric drive train system and internal combustion engines could be made more compact, PHEVs or REEVs could also be an option for smaller vehicle categories.

#### Components technology

Experts mention that usually there is a high degree of cooperation between OEMs and component manufacturers for BEVs, especially for batteries. Usually one OEM has a primary component manufacturer for batteries. Mitsubishi, for instance, gets its batteries mainly from Toshiba. Nevertheless, some battery manufactures deliver to different OEMs. Most of the experts mentioned the battery as a core component of xEVs, as well as the main challenge. Experts from battery research and development see Japan as worldwide leading in the battery industry, competing with Korea for reasons of lower costs, and partly with China in the field of single cells. The industry is strongly interested in the use of batteries for mobile applications such as xEVs. Although Japanese battery suppliers invested a lot and worked on new products, they are not profitable yet, according to a consultancy expert. Thus, further efforts in the field of battery improvements are not a business case today; a further hindrance is the expectation of a market consolidation of battery manufacturers.

From a technical point of view, an interviewed automotive researcher sees a big potential for a further development of Li-Ion batteries; because of this, completely new battery types are not regarded as urgent. While some experts do not see other promising technologies on the way, others expect next generation batteries within a decade.

According to the interviewed experts, the life-expectancy of Li-Ion batteries can already reach 10 years under good conditions – but full-charging, fast-charging and temperature conditions can reduce this period; a battery expert advises to charge the battery only up to the level of 80% and to use fast charging only up to 60% of the capacity. Apart from battery

developments, the experts mentioned advancements in power electronics as a crucial point for the further development of xEVs.

Some experts describe new drivetrain concepts like in-wheel motors as promising, while others think that a one-motor solution would be more efficient. A consultancy stakeholder assumes that components other than the battery are already sufficiently developed.

#### *Business models and Demonstration projects*

Although some interviewed experts admit that new business models like car sharing are not widely implemented in Japan and most of the BEVs are purchased by private users, several demonstration projects showed some niche developments for business applications of BEVs. An important base for these demonstration projects is the Japan-wide EV/PHEV Towns project. Some towns have successfully promoted the use of BEVs as taxis. Demonstration projects with BEVs for parcel or convenience delivery could gain experiences for commercial applications of BEVs – especially in view of the fact that some towns started to allow only BEVs to enter city centres. In an BEV-sharing model project in Kanagawa, the prefecture collaborates with a car rental company to allow for a double use of the vehicles: during business hours, the vehicles are reserved for government use, for the rest of the days and the weekend, they can be used by private users as rental cars. MLIT aims to collect and publish best practice cases of business models to promote the further implementation.

Some experts argue that mobility services can play a bigger role in future, especially in urban areas where parking for a private car costs 50.000 Y per month. To increase the share of BEVs in car sharing, car rental, taxi and other fleets, further regulation is regarded as necessary.

Different experts mention that principally BEVs offer a huge opportunity for business fleets due to different factors: fixed routes and distances, effective installation of charging infrastructures, and a high frequency of use.

A new business model could evolve in the field of ultra mini BEVs, which are being supported by a new strategy of METI. These vehicles, carrying two passengers, can be produced at lower costs due to less weight and technical features; The vehicles could be used by senior citizens and for daily activities in an urban environment.

Most of the interviewed experts see models of battery leasing rather sceptical. This is also due to Japanese legislation, which does not allow to sell a vehicle and the battery separately; battery rental is regarded as a risky business model.

### 3.4 Consumer and market

#### 3.4.1 Market development of electric vehicles up to now

Japanese companies started mass production and commercialisation of BEVs and PHEVs in 2009. Mitsubishi i-MiEV was sold in domestic market in 2009 and NISSAN's Leaf was introduced into market in September 2010. Table 36 is the estimated PHEVs, BEVs and HEVs in use and Table 37 is the total fleet from 2005 to 2011. In 2011, nearly 59 million passenger cars were registered in Japan, thereof about 2 million vehicles were electrified (HEV, PHEV or BEV). Among the electrified vehicles HEVs clearly dominate. With about 20,000 registered vehicles in the passenger car sector (including Kei cars) in 2011, BEV have achieved considerable higher registration numbers than PHEV (about 4,000 registrations). In addition to BEV passenger cars there are about 5,500 BEV motorcycles (two-wheeled or four-wheeled) registered in Japan as well as a small number of BEV trucks and buses.

Table 36 Estimated PHEVs, BEVs and HEVs in use from 2005-2011 in Japan

			2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
PHEVs	Passenger vehicles	Standard	0	0	0	0	165	379	4,132	17,281
		Small	0	0	0	0	0	0	0	0
BEVs	Passenger vehicles	Standard	15	11	9	11	11	4,473	13,108	24,708
		Small	258	222	194	174	129	163	158	275
	Trucks	17	11	10	6	6	7	11	25	
	Buses	1	1	0	0	11	11	15	22	
	Vehicles for special purpose	13	12	12	11	11	16	30	31	
	Kei vehicles	Passenger vehicles	126	93	117	139	1,749	4,341	6,890	9,083
		Commercial use	217	155	79	48	24	19	2,050	4,563
	Motorcycles	Four-wheel	2,282	2,068	2,026	2,211	1,880	1,696	1,509	n.a.
		Two-wheel	6,999	6,848	6,911	6,250	4,652	5,777	4,326	n.a.
	Subtotal			9,928	9,421	9,358	8,850	8,638	16,882	32,229
Estimated total for PHEVs and EVs			9,900	9,400	9,400	8,900	8,600	16,900	32,200	
HEVs	Passenger vehicles	Standard	185,673	271,998	358,147	455,601	808,998	1,170,334	1,553,163	1,951,988
		Small	67,725	65,742	63,345	69,810	162,092	233,803	459,396	881,455
	Trucks	2,583	4,185	5,676	8,050	8,857	9,717	11,118	12,204	
	Buses	323	329	241	389	583	677	738	857	
	Vehicles for special purpose	0	969	1,362	2,114	2,871	3,464	4,243	5,313	
	Light-duty vehicles	Passenger vehicles	287	287	287	231	31	1	0	0
		Commercial use	53	116	216	278	399	404	351	288
	Subtotal			256,644	343,626	429,274	536,473	983,831	1,418,400	2,029,009
Estimated total for HEVs			256,600	343,600	429,300	536,500	983,800	1,418,400	2,029,000	2,852,100



Estimated total for PHEVs, BEVs and HEVs	266,600	353,000	438,700	545,400	992,400	1,435,300	2,061,200	
--	---------	---------	---------	---------	---------	-----------	-----------	--

Source: Next Generation Vehicle Promotion Center (2013).

Table 37 Motor vehicles in use (in vehicle units)

		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Passenger Cars	Standard	16,634,529	16,714,523	16,771,502	16,748,373	16,688,645	16,890,402	17,039,684
	Small	26,254,546	25,698,303	24,921,226	24,356,113	23,919,019	23,470,003	23,143,892
	Kei	14,201,714	15,108,217	15,931,025	16,760,486	17,412,189	17,986,982	18,486,738
	Subtotal	57,090,789	57,521,043	57,623,753	57,864,972	58,019,853	58,347,387	58,670,314
Trucks	Standard	2,474,378	2,465,823	2,455,268	2,386,255	2,319,612	2,281,711	2,266,420
	Small	4,594,363	4,431,103	4,323,579	4,102,553	3,952,534	3,825,632	3,740,361
	Kei	9,665,130	9,602,484	9,495,420	9,407,694	9,288,679	9,177,282	8,963,641
	Subtotal	16,733,871	16,499,410	16,274,267	15,896,502	15,560,825	15,284,625	14,970,422
Buses	Large	109,917	109,763	109,621	109,808	108,760	108,136	107,435
	Small	121,816	121,918	121,307	120,873	119,637	119,135	118,513
	Subtotal	231,733	231,681	230,928	230,681	228,397	227,271	225,948
Special-purpose vehicles	1,630,062	1,606,934	1,585,873	1,536,160	1,515,411	1,502,593	1,646,203	
<b>Total</b>	<b>75,686,455</b>	<b>75,859,068</b>	<b>75,714,821</b>	<b>75,528,315</b>	<b>75,324,486</b>	<b>75,361,876</b>	<b>75,512,887</b>	

Production and sales of PHEVs, BEVs and HEVs from 2005-2011 in Japan are shown in Table 38 and 39. In total, more than one million electrified vehicles were produced in Japan in 2011. A strong growth in production numbers occurred between 2010 and 2011. Especially PHEV and BEV showed a strong increase in production. The production of battery electric passenger vehicles (including LDV passenger vehicles) more than doubles between 2010 and 2011 from about 16,000 vehicles to 42,000 vehicles (Table 38 ). This is linked to the launch of several BEV models in this period: the Mitsubishi i-MiEV end of 2009, Nissan Leaf in 2010 and the Minicab MiEV (Kai car) in 2011. PHEV production increased from about 250 vehicles in 2010 to 8,500 vehicles in 2011. In January 2012, the first deliveries of the Toyota Prius Plug-in started.

Linked to the availability of models on the market, sales of BEV took off in 2010 with about 7,000 passenger cars (including LDV passenger vehicles) sold and in 2011, when sales amounted to about 11,000 vehicles (Table 39). In the PHEV segment, where less vehicle models have been available on the market, sales increased from 379 to 4,132 between 2010 and 2011.

Production numbers considerably exceed the domestic sales of electric vehicles, indicating a strong role of export of EVs (Table 39). In 2011, about 27,000 standard passenger BEV and additional 15,000 passenger light duty vehicle were produced in Japan amounting to 42,000 BEVs in these categories, whereas only about 20,000 BEVs were sold domestically.

Table 38 Production of PHEVs, BEVs and HEVs from 2005-2011 in Japan

			2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
PHEVs	Passenger vehicles	Standard	0	0	0	0	515	251	8,472	35,782
		Small	0	0	0	0	0	0	0	0
BEVs	Passenger vehicles	Standard	0	0	0	0	0	7,898	27,199	25,061
		Small	0	0	0	0	0	0	0	632
	Trucks	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Buses	0	0	0	0	0	0	0	2	
	Vehicles for special purpose	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Light-duty vehicles	Passenger vehicles	1	5	18	26	1,744	8,271	14,837	4,064
		Commercial use	0	0	2	0	1	12	4,112	1,488
	Motorcycles	Four-wheel	471	184	236	470	156	129	239	
		Two-wheel	3,028	330	498	112	166	2,085	2,471	
	Subtotal			3,501	519	754	608	2,582	18,646	57,332
HEVs	Passenger vehicles	Ordinary	259,999	333,195	516,437	373,249	676,022	617,061	717,374	813,030
		Small-sized	654	78	0	34,478	145,924	112,621	310,788	431,740
	Trucks	1,503	1,831	2,092	2,983	1,464	1,244	2,088	1,988	
	Buses	37	56	82	149	197	95	64	123	
	Vehicles for special purpose	1	0	404	777	779	641	845	1,131	
	Light-duty vehicles	Passenger vehicles	0	0	0	0	0	0	0	0
		Commercial use	58	63	101	63	120	5	0	
	Subtotal			262,252	335,223	519,116	411,699	824,506	731,667	1,031,159
<b>Total</b>			265,753	335,742	519,870	412,307	827,088	750,313	1,088,491	1,315,043

Source: Next Generation Vehicle Promotion Center (2013).

Table 39 Sales of PHEVs, EVs and HVs from 2005-2012 in Japan

			2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
PHEVs	Passenger vehicles	Standard	0	0	0	0	165	214	3,753	13,149
		Small	0	0	0	0	0	0	0	0
BEVs	Passenger vehicles	Standard	0	0	0	0	2	4,459	8,634	11,682
		Small	0	0	0	0	0	52	18	133
	Trucks	0	0	0	0	1	1	0	14	
	Buses	0	0	0	0	2	4	5	3	
	Vehicles for special purpose	0	0	0	0	0	5	16	1	
	Light-duty vehicles	Passenger vehicles	1	15	60	46	1,620	2,599	2,550	2,208
		Commercial use	2	0	2	0	3	12	2,033	2,513
	Motorcycles	Four-wheel	342	313	247	470	198	126	155	
		Two-wheel	2,184	993	498	112	166	1,824	733	
	Subtotal			2,529	1,321	807	628	2,157	9,296	17,897
HEVs	Passenger vehicles	Standard	60,324	88,508	88,437	100,710	355,699	369,078	397,766	421,800
		Small	546	65	1	9,029	96,399	78,548	235,651	433,104
	Trucks	1,456	1,602	1,864	2,387	838	891	1,466	1,145	
	Buses	31	55	78	148	194	97	62	123	
	Vehicles for special purpose	0	0	404	777	779	641	845	1,131	
	Light-duty vehicles	Passenger vehicles	1	0	0	0	0	0	0	0
		Commercial use	53	63	100	62	121	5	0	0
	Subtotal			62,411	90,293	90,884	113,113	454,030	449,260	635,790
Total			64,940	91,614	91,691	113,741	456,187	458,556	653,687	887,006

Source: Next Generation Vehicle Promotion Center (2013).

### 3.4.2 User / Consumer attitude and behaviour

#### Consumer survey results

In March 2012, Deloitte Tohmatsu Consulting Co., Ltd. (herein after Deloitte) conducted a consumer survey on the attitudes towards BEVs (Deloitte, 2012). The survey was conducted from March 29<sup>th</sup>-30<sup>th</sup>, 2012 by internet. The total sample is 2,075. The selection of samples is targeted 23 districts of Tokyo, regulated cities and other areas. Among 695 interviewees in 23 districts of Tokyo, 620 interviewees have cars and 75 interviewees do not have cars. Among 690 interviewees in regulated cities, 620 have cars and 70 do not have cars. In other areas, among 690 interviewees 620 have cars and 70 do not have cars. The age distribution of interviewees are 20-24 years old (7%), 25-29 years old (13%), 30-34 years old (8%), 35-39 years old (12%), 40-44 years old (10%), 45-49 years old (10%), 50-54 years old (12%) and 55-59 years of old (8%) and over 60 years old (20%). Among all interviewees, 65% are male and 35% are female.

For the question of whether they know about BEV, among 2075 interviewees, 5% of them knew very well and 16% knew about BEV in 2011, however, these figures changed dramatically in 2012. Among 2075 interviewees, 11% knew very well and 77% knew about BEV in 2012.

When they were asked the question whether they will consider buying an BEV when they plan to change to or to buy a new car, 4% of 2075 interviewees very much want to consider and 14% of them want to consider in 2011. In 2012, though a lot of more people know about BEV, people who really consider to buy an BEV are about the same in 2011. 2% of 2075 interviewees expressed that they very much want to consider and 16% want to consider. This indicated that more people get to know BEVs, however it is difficult to make a purchasing decision.

For the question of what will be the reason(s) for buy an BEV (allowing multiple answers), 79% mentioned because BEVs are environmentally friendly, 59% mentioned because BEVs can be charged at home, 58% mentioned because BEVs can be used to supply electricity when there is an emergency such as a disaster, 54% mentioned because the characteristics and speciality of BEVs are attractive, 51% mentioned because there is subsidy and tax reduction for purchasing an BEV, and 50% mentioned because they can be used as storage battery at home and save energy (see Figure 54).

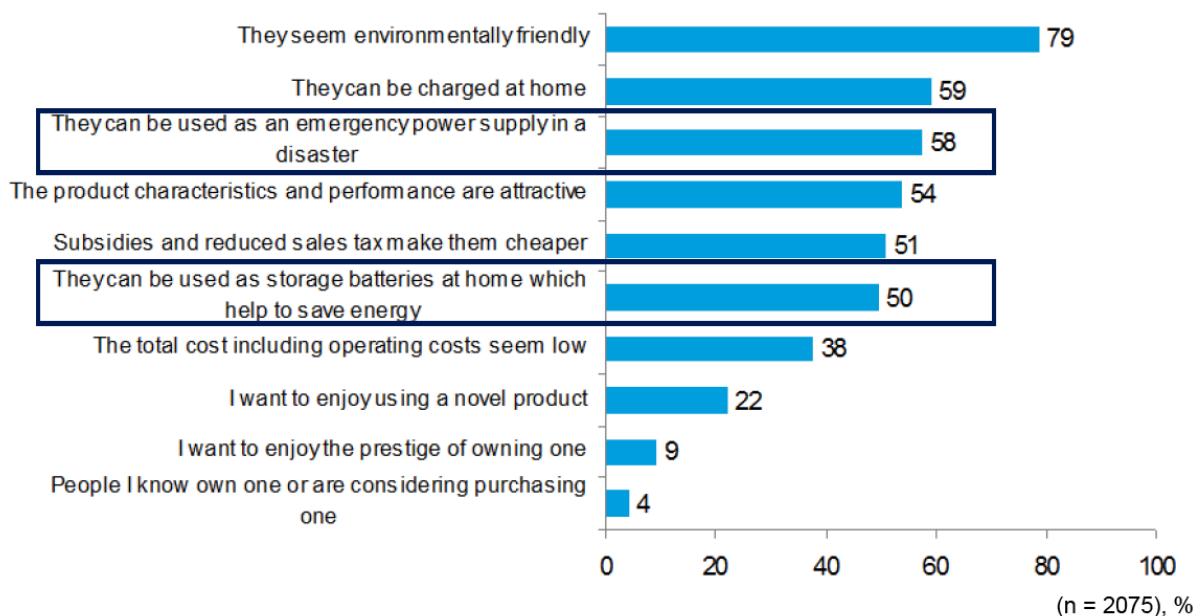


Figure 54 Reasons for Japanese consumer to consider buying an electric vehicle (multiple answers were possible) Source: Deloitte 2012

For their major concerns when they consider buying an BEV, top three concerns include high price (46%), short cruise distance (16%) and insufficient infrastructure (12%). For the price issue, when asked by the question that at what price that they will buy an BEV, most of the interviewees considered less than 2.5 million JPY (~EUR 21,500). In 2010, 69% of the interviewees considered less than 2.5 million JPY and this increased to 82% in 2011 and 90% in 2012. For cruise distance, when asked by the question how long distance they expect BEVs to run after full charge of electricity, 85% of the interviewees considered more

than 320 km in 2010, the same 85% in 2011 and 88% in 2012. This indicated that people hope BEVs can have similar cruise distance as gasoline-fuelled vehicles. For the sufficiency of charge facilities, when they are asked about whether current situation of rapid charge facilities are acceptable, 38% of the interviewees thought it is acceptable if the rapid charge facility can be around less than 1km from their homes, 35% thought it is acceptable if the distance is less than 3 km, 28% thought it is acceptable if the distance is less than 5km, 21% accepted for a distance less than 10 km, 12% accepted even for a distance more than 10km.

For different types of next-generation vehicles, people know more about BEVs and HEVs more than PHEVs and fuel-cell vehicles. When people were asked if they plan to change to or to buy a new car, which types of car, such as BEVs, HEVs, PHEVs and FCEVs, will they consider to buy? About 42% of the interviewees expressed they will select to buy HEVs, 22% expressed their wishes to buy PHEVs, 18% will consider to buy BEVs, 8% will select FCEVs. For major concerns about buying a next-generation car (allowing multiple answers), high price (72%), insufficient charge facilities (55%) and limited cruise distance (53%) are top concerns for buying an BEV, high price (72%), product line-up (34%) and possibility to charge at home (29%) are top concerns for buying a PHEV, high price (79%), insufficiency of fuel chargers (41%) and product line-up (25%) are top concerns for buying a FCEV (Figure 55).

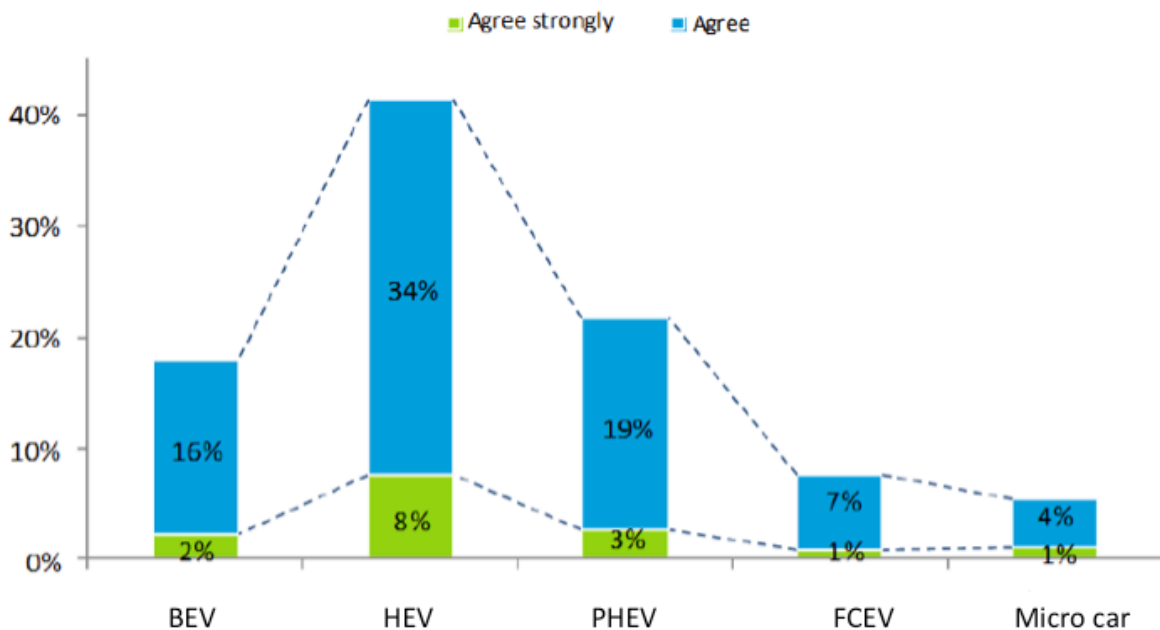


Figure 55 Preferences of Japanese costumers regarding different kinds of next generation vehicles. Source: adapted from Deloitte 2012

### Voices from the demonstration projects of EV/PHEV Towns

To promote the dissemination of BEVs, METI, together with MLIT, implemented EV/PHEV Towns as demonstration projects to explore best practices and business models. Started in 2009, 8 prefectures are selected and in 2010, another 10 prefectures joined. Based on the experiences from the demonstration projects, METI compiled the EV/PHEV Towns Concept

Best Practices Handbook II in 2011 (METI, 2011). From the Handbook, we summarized some feedback comments from the practitioners.

For the introduction of PEV as official vehicles, comments include:

- We (local governments) apply a reservation system when employees wish to use official vehicles. The PEVs are so popular that they are always booked up. They are very welcomed for their easy manageability.
- Owning PEVs as official vehicles makes it possible to use them in test-drive events and public awareness activities.

For PEV test drive events and exhibitions, comments include:

- To raise public awareness, test-drive events are more effective than exhibitions. Having people actually sit in and drive PEV helps them truly appreciate the riding comfort and drivability.

For rental cars and car-sharing, comments include:

- The BEV rental car in-operation rate is comparatively higher this year (2011) than last fiscal year (2010).
- The characteristics of BEVs must be explained carefully to customers who are renting them for the first time.
- Although some people believe that BEVs are suitable for car-sharing because driving distances tend to be short, the need to secure time for charging makes continuous lending difficult.

Comments on governmental subsidies and tax incentives for purchase include:

- Display economic benefits in a visible way can promote understanding among users.
- Establishing cooperation in data collection through questionnaires or other means as a condition for receiving subsidies can make it easier to hear what BEV/PHEV users think.
- From the viewpoint to prevent global warming, prefectures subsidize people to purchase PEV.

Points identified in the development of public charging infrastructure are as follows:

- It is important to install rapid chargers at easy-to-use locations after first considering traffic flow and other factors.
- Rapid chargers tend to be used at facilities that attract people along major thoroughfares.
- There are cases where private-sector interests take the initiatives to install chargers at highly convenient locations along major thoroughfares even without urging by local governments. The issue is to install chargers at locations where private sector does not do so independently or at locations with the potential to become key travel points.
- BEVs currently outnumber PHEVs, and therefore quick chargers tend to receive more attention. However, it is possible that demand for public normal charging facilities for PHEVs will increase when general sales of PHEVs begin.
- There are no operation bases located in outlying regions to handle malfunctioning charging facilities. As a result, repairing facilities can take a considerable amount of time.

- Attention is paid to facility safety measures, such as rain covers, wheel chocks and guards.
- As BEVs become more popular, there are cases where users are forced to wait to charge using rapid chargers. Moreover, there are locations where measures must be taken to ensure that non-charging vehicles do not occupy charging parking spaces. And measures must be taken to ensure users who have finished charging move their vehicles.

There are a variety of views concerning charging fee. For those who support charging fees suggested:

- Establishing a business model in which private enterprises can recover their investment is necessary.
- Fees should be charged based on the beneficiary-pay principle.
- We want to promote charging fees, however, we will need to study appropriate methods.
- Some business operators have said that while they appreciate free charging, having a charging fee system can remove any hesitation to provide charging services.

There are also some other voices that support free charging services during the initial stage of dissemination in order to promote the use of PEVs.

For PEV taxi operators, their views on the advantages of introducing PEVs taxis are as follows:

- High praise from passengers regarding quietness and comfortable ride;
- Enhanced company image;
- Lower fuel costs;
- Low noise and emissions particular driving near tourist sites with many pedestrians;
- Good for the environment as no emissions even with air conditioner/heater on during summer and winter;
- Passenger's requests for BEV taxi service are increasing gradually;
- Low-cost performance is better compared with LPG taxis;
- Appreciation received particularly from young people and women;
- Raising awareness about eco-friendly driving among drivers.

There are also views on the disadvantages of introducing PEV taxis:

- Shorter cruise distance by one full charge;
- Cannot provide long-distance services which however are the most profitable business for taxis;
- Cannot be repaired by ordinary maintenance shops which will take much time for repairs when abnormality occurs;
- "Driving to charge" is necessary which cannot produce any profits but extra costs to the drivers;
- High vehicle height hampers boarding by senior citizens and passengers who wear Kimono (Japanese traditional costume for woman);
- Cannot provide services at night when charging is necessary which influence operating profits.



### 3.4.3 Market perspectives

#### *Market perspectives of BEVs and PHEVs*

Based on the estimation of the Study Group on Next Generation Vehicle Strategy, market perspectives for Kei BEVs and small passenger BEVs are shown in Tables 40 and 41. The estimations are based on production plans announced by automobile manufactures.

The study estimated that BEV will experience a continuous increase in market share. In the Kei car segment the market share of BEVs is projected to increase from about 0.3 per cent in 2010 to 14.4 per cent in 2020 and 20.5 per cent in 2050. In term of small passenger cars, the projected market share is considerably smaller, but still a strong increase is projected. Till 2020, the market share of small battery electric passenger cars is seen to reach 6.2 per cent (compared to 0.1 per cent in 2010). In 2050, BEVs are projected to have a market share of 11.2 per cent in the small passenger car segment. Contrasting to the current pattern of domination of BEV, the study sees in future a higher number and market share of PHEV. For 2020, a PHEV market share of 12.7 per cent is projected, which will further increase to 26.3 per cent till 2050 (METI 2010a).

Table 40 Market perspectives for Kei BEVs

		2009 <sup>1</sup>	2010	2011	2012	2013	2014
Kei BEVs	Types of models	2	2	6	6	9	9
	No. of sales	2,500	6,250	28,500	33,750	62,400	66,000
	No. of vehicles in use	2,500	8,729	37,081	69,892	129,942	190,498
Kei vehicles	No. of sales	2,096,051	21,11,189	2,120,476	2,159,926	2,201,668	2,242,003
	Share of BEVs (%)	0.119	0.296	1.34	1.56	2.83	2.94
	No. of vehicles in use	25,387,011	25,501,186	25,746,323	26,102,592	26,525,435	26,970,766
	Share of BEVs (%)	0.0098	0.0342	0.144	0.268	0.490	0.71
		2015	2020	2030	2040	2050	
Kei BEVs	Types of models	9	9	9	9	9	
	No. of sales	159,000	336,000	450,000	424,800	435,600	
	No. of vehicles in use	339,953	1,521,194	3,816,346	4,927,379	5,509,479	
Kei vehicles	No. of sales	2,272,305	2,331,425	2,286,099	2,264,587	2,120,283	
	Share of BEVs (%)	7	14.4	19.7	18.8	20.5	
	No. of vehicles in use	27,390,898	28,170,270	28,241,926	27,974,367	27,598,732	
	Share of BEVs (%)	1.24	5.04	13.5	17.6	20	

Note1: Data for all years are governmental estimates based on the production plans announced by automobile manufactures in 2009.

Source: METI (2010a).

Table 41 Market perspectives for small passenger BEVs

		2009	2010	2011	2012	2013	2014
Small passenger BEVs	Types of models	0	2	4	7	7	8
	No. of sales	0	2,500	7,700	26,900	30,900	41,000
	No. of in use	0	2,500	10,158	36,801	66,463	104,679
Passenger vehicles	No. of sales	2,808,681	2,805,806	2,802,335	2,798,277	3,793,648	2,788,470
	Share of BEVs (%)	0	0.0891	0.275	0.961	1.106	1.47
	No. of in use	40,740,461	40,299,060	40,068,075	39,976,046	39,957,933	39,956,138
	Share of BEVs (%)	0	0.0062	0.0254	0.0921	0.166	0.262
		2015	2020	2030	2040	2050	
Small passenger BEVs	Types of models	8	8	8	8	8	
	No. of sales	43,000	170,000	278,000	240,800	264,800	
	No. of vehicles in use	142,433	667,730	2,143,868	2,863,355	3,266,433	
Passenger vehicles	No. of sales	2,782,765	2,746,947	2,645,410	2,512,667	2,360,027	
	Share of BEVs (%)	1.55	6.19	10.51	9.58	11.2	
	No. of vehicles in use	39,921,304	38,333,007	35,221,044	32,798,455	31,144,834	
	Share of BEVs (%)	0.357	1.74	6.09	8.73	10.5	

Note1: Data for all years are governmental estimates based on the production plans announced by automobile manufactures in 2009.

Source: METI (2010a).

Market perspectives of gasoline passenger PHEVs are shown in Table 42.

Table 42 Market perspectives for gasoline passenger PHEVs

		2009	2010	2011	2012	2013	2014
Passenger PHEVs	Types of models	0	2	4	9	10	14
	No. of sales	0	3,000	8,700	35,500	47,700	76,500
	No. of vehicles in use	0	3,000	11,649	46,854	92,979	165,583
Passenger vehicles	No. of sales	2,808,681	2,805,806	2,802,335	2,798,277	3,793,648	2,788,470
	Share of PHEVs (%)	0	0.1069	0.31	1.269	1.707	2.74
	No. of vehicles in use	40,740,461	40,299,060	40,068,075	39,976,046	39,957,933	39,956,138
	Share of PHEVs (%)	0	0.00744	0.0291	0.1172	0.233	0.414
		2015	2020	2030	2040	2050	
Passenger PHEVs	Types of models	15	15	15	15	15	
	No. of sales	88,500	349,000	625,000	709,000	620,200	
	No. of vehicles in use	245,786	1,312,909	4,960,330	6,938,577	7,797,487	
Passenger vehicles	No. of sales	2,782,765	2,746,947	2,645,410	2,512,667	2,360,027	
	Share of PHEVs (%)	3.18	12.71	23.6	28.2	26.3	
	No. of vehicles in use	39,921,304	38,333,007	35,221,044	32,798,455	31,144,834	
	Share of PHEVs (%)	0.616	3.43	14.08	21.2	25	

Source: METI (2010a).

### Market perspectives of batteries

Currently the price of lithium-ion rechargeable battery is JPY18,000 (Euro 154.9) per sell. According to the Low-carbon Society Achievement Action Plan, the capacity of the lithium-ion rechargeable battery will increase 1.5 times. According to METI (2010a) cost will reduce to 1/7 of current level, i.e. JPY 2,600 (Euro 22.4) per cell, in 2015 and 1/40 of current level by 2030. To satisfy the needs of passenger BEVs and PHEVs and HEV trucks and buses, the production of lithium-ion rechargeable battery is projected to be 54.2 million cells in 2015. The relation between cost reduction and production levels is shown in Figure 54. Simulation of cost levels and production levels is shown in Figure 55. Battery costs of different types of BEVs and PHEVs are shown in Figure 56.

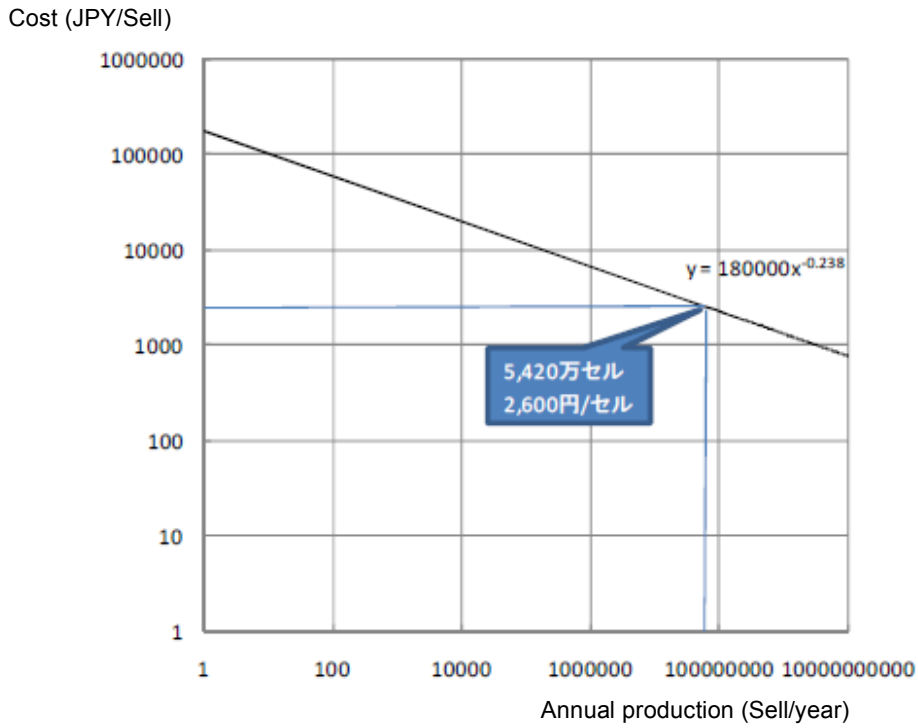


Figure 56 Relation between cost reduction and production level  
Source METI (2010a)

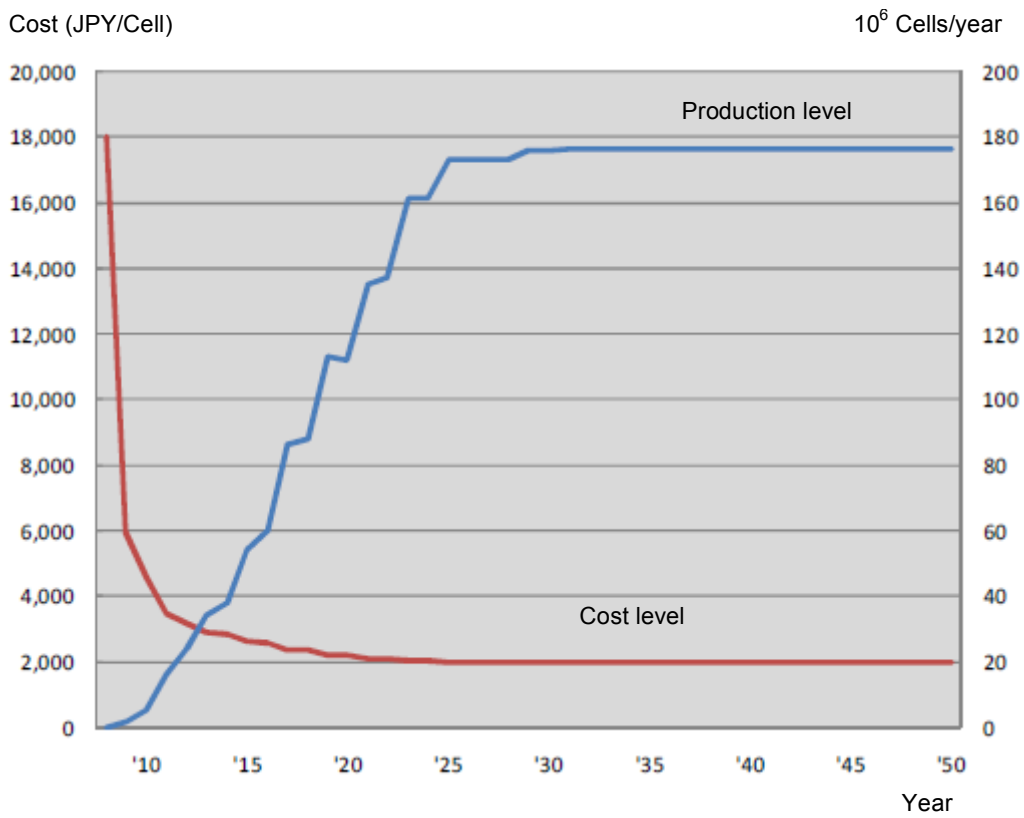


Figure 57 Simulation of cost levels and production levels  
Source METI (2010a)

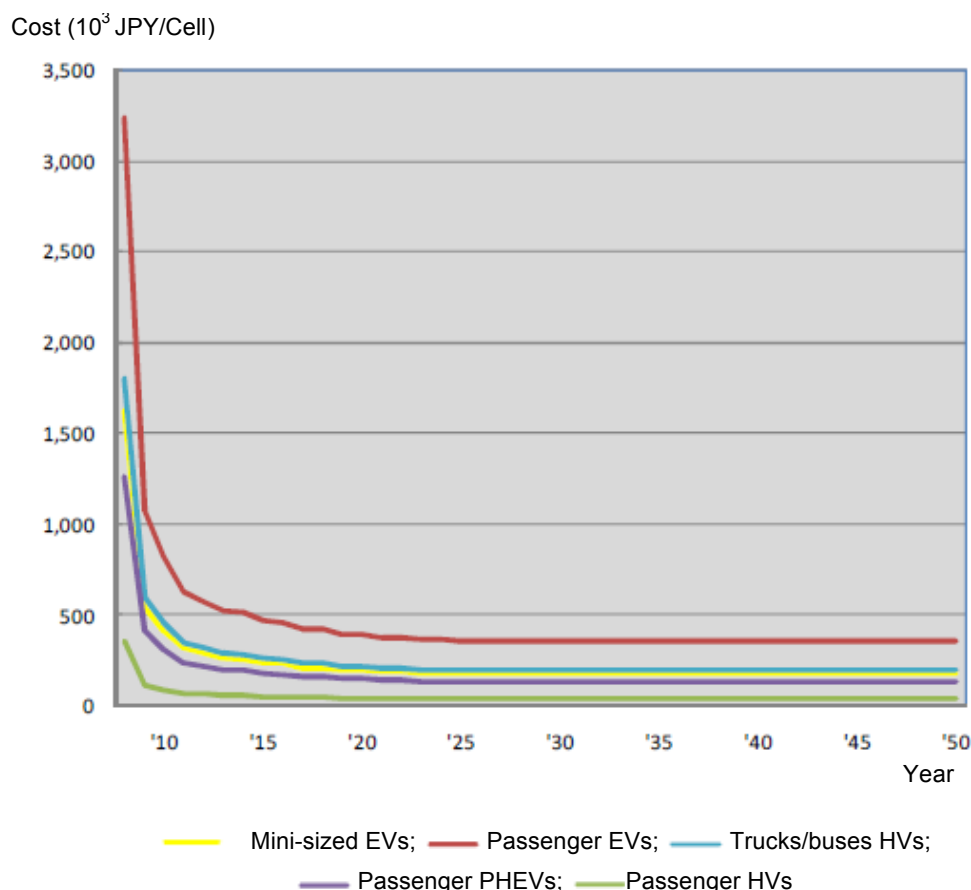


Figure 58 Battery costs of different types of BEVs and PHEVs

Source METI (2010a)

*Installation of charge facilities*

There were 65 rapid charge facilities for BEVs in the beginning of the dissemination of BEVs in 2009. In 2010, there was about 174 facilities, increased by 2.7 times. In March 2012, there was about 1,900 facilities. It is estimated that after 10 years the number of facilities will be 5,318, 30 times of the level in 2009. In 2050, there will be 13,600 facilities, each of which will have 650 chargers. Figure 57 and Table 43 present the estimations of BEVs, charge facilities and number of chargers per each facility.

Table 43 Estimation of BEVs and rapid charge facilities

	2009	2010	2020	2030	2040	2050
No. of BEVs in use (10 <sup>3</sup> )	3	11	2,089	5,960	7,791	8,776
No. of rapid charge facilities	65	174	5,318	10,560	12,583	13,602
No. of chargers per facilities	39	65	393	564	619	645

Source: METI (2010a).

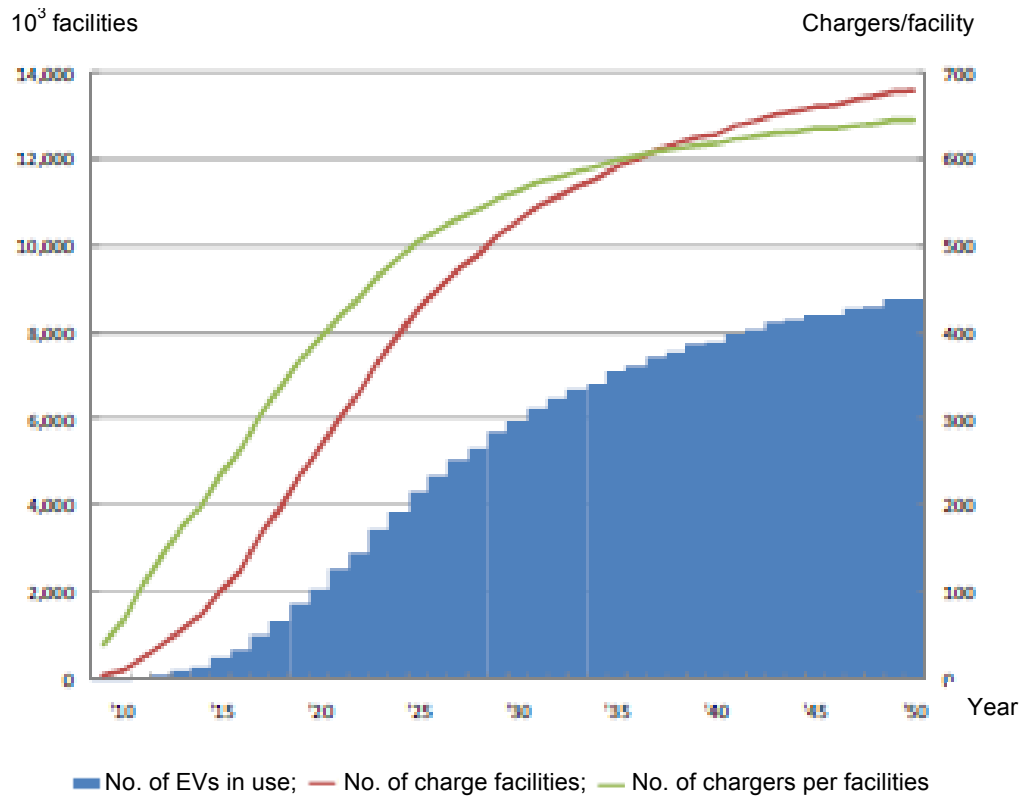


Figure 59 Estimation of BEVs and charge facilities

Source METI (2010a)

### CO<sub>2</sub> reductions by the dissemination of next-generation vehicles

By the dissemination of next-generation vehicles, CO<sub>2</sub> emissions can be expected to reduce. Compared with 2008, CO<sub>2</sub> emissions can be expected to reduce 14% through the reductions in the number of vehicles in use and fuel efficiency improvement and another 5% through the introduction of next-generation vehicles by 2020. Total reductions are estimated to be 10.9 million t-CO<sub>2</sub>. By 2050, emissions reduction can be expected to be 38% compared with 2008 through the reductions in the number of vehicles in use and efficiency improvement and another 11% through the introduction of next-generation vehicles. Total emissions are estimated to be 22.5 million t-CO<sub>2</sub>. However, the estimates were made before the Fukushima Nuclear accidents, after which all except for two nuclear stations were shut down. Nuclear has been substituted by fossil fuel-based thermal power to supply the electricity, which has negative impacts on the emissions profile. However, on the other hand, renewable energy, in particular solar PV has developed rapidly in recent two years, reaching 10 GW capacity in 2013. More renewables in the energy mix can compensate the negative impacts on GHG emissions due to the shutdown of nuclear stations.

Based on the estimation of the number of next-generation vehicles (Table 44), the estimation of the consumption of gasoline and light oil by the dissemination of next-generation vehicles is shown in Table 45.

Table 44 Estimation of the next-generation vehicles

			2009	2010	2020	2030	2040	2050
No. of next-generation vehicles (10 <sup>3</sup> )	Kei vehicles	BEV	3	9	1,421	3,816	4,927	5,509
		BEV	0	3	668	2,144	2,863	3,266
	Passenger vehicles	HEV	140	337	7,945	11,766	13,549	14,466
		PHEV	0	3	1,313	4,960	6,939	7,797
		Subtotal	140	342	9,926	18,870	23,351	25,530
	Trucks/buses	HEV	2	2	142	464	677	772
		NGV	34	34	173	512	740	842
		CDV	0	0	1,786	2,596	2,709	2,715
		Subtotal	36	37	2,101	3,572	4,126	4,329
	Total		179	388	13,448	226,258	32,404	35,369
No. of vehicles in use (10 <sup>3</sup> )	Kei vehicles		25,387	25,501	28,170	28,242	27,947	27,599
	Share of next-generation vehicles (%)		0.0098	0.0342	5.04	13.5	17.6	20
	Passenger vehicles		40,740	40,299	38,333	35,221	32,798	31,145
	Share of next-generation vehicles (%)		0.344	0.849	25.9	53.6	71.2	82
	Trucks/buses		6,937	6,804	5,983	5,224	4,715	4,448
	Share of next-generation vehicles (%)		0.52	0.54	35.1	68.4	87.5	97.3
	Total		73,064	72,604	72,486	68,687	65,461	63,191
	Share of next-generation vehicles (%)		0.244	0.534	18.6	38.2	49.5	56

Source: METI (2010a).

Table 45 Estimation of reductions in the consumption of gasoline and light oil by the dissemination of the next-generation vehicles

		2008	2009	2010	2020	2030	2040	2050
Gasoline (kL/year)	Consumption before reduction	67,143	65,262	63,773	54,274	46,405	40,823	36,836
	Change rate (%)	0.0	-2.8	-5.0	-19.2	-30.9	-39.2	-45.1
	Reductions from Kei BEVs	-	2	6	888	2,231	2,767	3,016
	Reductions from passenger BEVs	-	0	2	518	1,410	1,625	1,619
	Reductions from passenger HEVs	-	69	161	3,084	3,870	3,846	3,585
	Reductions from passenger PHEVs	-	0	2	713	2,284	2,757	2,705
	Total reductions	-	70	172	5,204	9,796	10,995	10,925
	Consumption after reduction	67,143	65,191	63,601	49,070	36,609	29,828	25,911
	Change rate (%)	0.0	-2.9	-5.3	-26.9	-45.5	-55.6	-61.4
Light oil (kL/year)	Consumption before reduction	19,528	19,577	19,628	19,625	19,145	18,535	19,788
	Change rate (%)	0.0	0.2	0.5	0.6	-2.0	-5.1	1.3
	Reductions from heavy-duty HEVs	-	1	2	123	448	701	820
	Reductions from heavy-duty NGVs	-	127	131	748	2,476	3,833	3,367
	Total reductions	-	129	133	871	2,924	4,534	5,286
	Consumption after reduction	19,528	19,448	19,495	18,781	16,221	14,001	14,501
	Change rate (%)	0.0	-0.4	-0.2	-3.8	-16.9	-28.3	-25.7

Source: METI (2010a).

Based on the estimation of reductions in the consumption of gasoline and light oil, the estimation of CO<sub>2</sub> reductions is shown in Table 46.



Table 46 Estimation of CO<sub>2</sub> reductions by the dissemination of the next-generation vehicles<sup>1</sup>

		2008	2009	2010	2020	2030	2040	2050
Gasoline (10 <sup>3</sup> t- CO <sub>2</sub> /year)	Emissions before reductions in consumption	155,883	151,516	148,059	126,005	107,737	94,778	85,521
	Change rate (%)	0.0	-2.8	-5.0	-19.2	-30.9	-39.2	-45.1
	Reductions from Kei BEVs	-	3	10	1444	3,625	4,496	4,902
	Reductions from passenger BEVs	-	0	4	842	2,292	2,642	2,631
	Reductions from passenger HEVs	-	159	375	7160	8,986	8,929	8,323
	Reductions from passenger PHEVs	-	0	4	1,514	4,849	5,853	5,742
	Total reductions	-	162	393	10,960	19,752	21,919	21,598
	Consumption after reduction	155,883	151,354	147,666	115,045	87,985	72,859	63,923
	Change rate (%)	0.0	-2.9	-5.3	-26.2	-43.6	-53.3	-59
Light oil (10 <sup>3</sup> t- CO <sub>2</sub> /year)	Emissions before reductions in consumption	51,174	51,301	51,435	51,497	50,170	48,571	46,926
	Change rate (%)	0.0	0.2	0.5	0.6	-2.0	-5.1	-8.3
	Reductions from heavy-duty HEVs	-	4	5	320	1,168	1,828	2,136
	Reductions from heavy-duty NGVs	-	58	60	341	1,129	1,748	2,038
	Total reductions	-	62	64	661	2,297	3,576	4,174
	Consumption after reduction	51,174	51,239	51,371	50,836	47,873	44,994	42,752
	Change rate (%)	0.0	0.1	0.4	-0.7	-6.5	-12.1	-16.5
Total	Emissions before reductions in consumption	207,057	202,817	199,495	177,503	157,907	143,349	132,447
	Change rate (%)	0	-2.0	-3.7	-14.3	-23.7	-30.8	-36
	Total reductions	-	224	457	11,621	22,049	25,496	25,772
	Emissions after reductions in consumption	20,7057	202,593	199,037	165,881	135,858	117,853	106,675
	Change rate (%)	0.0	-2.2	-3.9	-19.9	-34.4	-43.1	-48.5

Note: Estimates were made before the Fukushima nuclear accident.

Source: METI (2010a).

Table 47 shows the electricity consumption by passenger BEVs and PHEVs. Electricity consumption by passenger BEVs and PHEVs will be 9.2 TWh/year in 2030, 11 TWh/year in

2040 and 11.5 TWh/year in 2050. In 2007, the total electricity consumption is 176 TWh/year, therefore the electricity consumption of BEVs and PHEVs will account for about 1% of the total electricity consumption.

Table 47 Electricity consumption by BEVs and PHEVs (GWh/year)

	2009	2010	2020	2030	2040	2050
Kei BEVs	4	13	1,895	4,759	5,902	6,434
Passenger BEVs	0	5	1,106	3,009	3,468	3,454
Passenger PHEVs	0	1	435	1,392	1,681	1,649
Total	4	20	3,436	9,160	11,050	11,537

Source: METI (2010a).

### 3.4.4 Stakeholder opinions on the xEV market

#### *Market development of xEVs up to now*

Compared to the global situation, electrified vehicles have already a significant market share in Japan. According to the experts most pure battery or hybrid electric vehicles are held by private owners. Data that differentiates private and commercial xEV users is not available in Japan. HEVs have already gained high market shares, whereas the number of BEVs and PHEVs is still very limited. Nissan Leaf and Mitsubishi iMiEV are the best-selling BEVs in Japan. As supported by the data provided in section 3.4.1, currently, the penetration of BEVs is higher than the shares of PHEVs. On the one hand, this is caused by the limited availability of PHEV models on the market, as most available models were introduced only recently. On the other hand, sometimes local subsidies are in place that favour a specific technology. For instance, purchasing subsidies provided by the prefecture Kanagawa were limited to BEVs.

According to the experts, affinity for innovative technologies is the strongest motivation for today's customers of xEVs. The 'first-movers' are mainly people that are interested in the new technologies. The tradition of 'Kei cars' in Japan is seen as favourable for the acceptance of BEVs. Since the Second World War, the category of Kei cars exists. This very small vehicle class receives tax benefits and is excluded from parking space regulations in rural areas. (In Japan, car owners have to prove that they have access to a parking space, when registering a car.)

Kei Cars are limited in size and capacity and thus mainly used as a second car for commuting. Today, they have a market share of about 30%. Electric vehicles such as the Mitsubishi i-MiEV often replace conventional Kei Cars.

According to the experts, in Japanese cities there is a tendency to not own a private car. This is also influenced by the fact in cities for all cars (including Kei cars) the owners have to prove the availability of a private parking lot. In some cities parking lots are very expensive and cost up to 50,000 JPY (about xy EUR) per month.

The automobile industry seems to be optimistic about the market conditions of electric vehicles in Japan. A major Japanese electric vehicles manufacturer stated that the environment for BEVs is very favourable in Japan due to the commitment by the national and

local government and the high market share of Kei-cars, which are mainly used for commuting. Regarding to consumer attitudes, according to the industry representatives, the consumers who bought BEVs experienced that they were satisfied with the BEVs. The major concerns are driving range, charging infrastructure and price.

The Fukushima disaster indicated many new social challenges including electricity shortage after the accident, no new nuclear power plants to be built, additional thermal power plants contributing to more CO<sub>2</sub> emissions and leading to more fuel imports, increasing renewables but resulting more fluctuations. After Fukushima disaster, BEVs are increasingly seen as energy storage (importance to recharge mobile phones, etc. during disasters).

Besides the domestic market, Japanese electric vehicle manufactures mentioned the US and Europe as major markets for their products. Less potential is seen in China. In turn, the experts also see a high potential for foreign electrified vehicles on the Japanese market. Especially cars in the A segment such as the VW e-up, which can compete with conventional Kei cars, might be successful in the Japanese market.

#### *User/Consumer attitude and behaviour*

Similar to other regions, the biggest concerns regarding BEVs are the limited driving range, the lack of charging infrastructure and the high purchasing price. The interviewed experts mentioned that a dense net of charging station is an important prerequisite for market penetration, although most people in Japan charge their vehicle at home. Currently xEVs are used especially for commuting.

#### *Market perspectives*

While acknowledging that the actual penetration of BEVs and PHEVs will depend on several factors that are difficult to predict, most experts agree that these vehicles will experience a slow, gradual increase, rather than a sudden strong rise. Political commitment and governmental incentives are assumed to be very essential for the market penetration in the near future. Japanese manufacturers expect electrified vehicles like PHEVs and BEVs to be cost competitiveness compared to conventionally powered cars in 10 to 15 years. Interviewed manufactures expressed the fear that Japanese subsidies could be stopped in the next few years and thus the possible price gap could lead to a collapse of the market.

It is assumed that the different electrified vehicle concepts will substitute conventional cars for specific purposes. It is seen that BEVs will gain only small shares in the near future. Most households in Japan only own one single car, which then needs to fulfil different driving purposes. Because of the need for flexibility, the limited driving range of BEVs limits their market penetration. BEVs might be mainly used for commuting and as low speed urban vehicle. However, BEVs could offer a great opportunity to the smaller Japanese islands. There, the fuel price is partly up to 30% higher than the price on the Japanese principal island, which will make the use of electricity more attractive from a cost perspective, and range limitation are less important.

Range extended electric vehicles (REEVs) or PHEVs are seen to have a higher potential than BEV in the majority of the Japanese one-car-households. For the near future, most experts see a stronger penetration of PHEVs than of BEVs.

The strong development the battery technology is seen as crucial for the success of PHEVs and HEVs. Until new battery technology will be available (probably from 2020 on), the xEV market will be dominated by HEVs.

### **3.5 Conclusion**

There are three major challenges for the dissemination of BEVs and PHEVs in Japan, including i) higher price compared with gasoline-fuelled automobiles; ii) limited cruising range; and iii) lacking of charging infrastructure. To address these challenges and to achieve full-fledged dissemination of the next-generation vehicles, in particular of BEVs and PHEVs, Japan has taken a comprehensive approach by devoting to the R&D on batteries and charge facilities, exploring business models for the dissemination of BEVs and PHEVs and providing policy incentives to support the introduction of BEVs and PHEVs by individuals, local governments and private companies.

By achieving the objectives set in the Next Generation Vehicle Strategy 2010, i.e. having BEVs and PHEVs accounting for more than 15% of new vehicle sales by 2020 and more than 20% of new vehicle sales by 2030, the transportation sector and automobile industry in Japan will play important roles to help address national energy security challenges and climate change issues and help build up industrial competitiveness.

The public awareness on the advantages of using BEVs and PHEVs have been increasing in recent years. However there is still a long journey to transform the awareness into real purchasing decisions.

## References

- Cabinet (2008): Kyoto Target Achievement Plan (Revised). Available online: <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kakugi/080328keikaku.pdf> (accessed 05.03.2013, in Japanese)
- Daihatsu Motor Co., Ltd. (2005) 'Daihatsu Exhibits HVS Hybrid Open Sports Car and UFE-III Ultra Fuel Economy Car at the 39th Tokyo Motor Show', Available online: <http://www.daihatsu.com/news/n2005/05101101/index.html> (accessed on 15.02.2013)
- Daihatsu Motor Co., Ltd. (2012a) 'Data Book 2012', Available online: <http://www.daihatsu.com/company/databook/pdf/databook2012.pdf> (accessed on 14.02.2013)
- Daihatsu Motor Co., Ltd. (2012b) 'Major Point of Business / Sales Network', Available online: <http://www.daihatsu.com/company/outline/facilities/index.html> (accessed on 14.02.2013)
- Deloitte (2012): Deloitte Announces Results of Consumer Attitude Survey on Electric Vehicles and Next Generation Vehicles. Deloitte Tohmatsu Consulting, available online [http://www.tohmatsu.com/assets/Dcom-Japan/Local%20Assets/Documents/Press/Release/EN/jp\\_p\\_press120905\\_en\\_090113.pdf](http://www.tohmatsu.com/assets/Dcom-Japan/Local%20Assets/Documents/Press/Release/EN/jp_p_press120905_en_090113.pdf) (accessed 16.05.2014)
- Energy ITS Research Society (2008) 'Towards promotion of energy ITS' (in Japanese), Available at [http://www.jari.or.jp/resource/pdf/O13\\_its/energyITS.pdf](http://www.jari.or.jp/resource/pdf/O13_its/energyITS.pdf) (accessed 25.03.2013)
- European Central Bank, 2014. Available at [http://sdw.ecb.europa.eu/quickview.do;jsessionid=9917BAD5830B79E80EF6E5B4ACC8E618?node=2018794&SERIES\\_KEY=120.EXR.A.JPY.EUR.SP00.A](http://sdw.ecb.europa.eu/quickview.do;jsessionid=9917BAD5830B79E80EF6E5B4ACC8E618?node=2018794&SERIES_KEY=120.EXR.A.JPY.EUR.SP00.A) (accessed 13.02.2014)
- Fuji Heavy Industries Ltd. (2012) 'Overview', Available online: <http://www.fhi.co.jp/english/outline/inoutline/index.html> (accessed on 20.02.2013)
- Fuji Heavy Industries Ltd. (2013) 'Board Directors/Executive Officers', Available online: <http://www.fhi.co.jp/english/outline/inoutline/officer/index.html> (accessed on 20.02.2013)
- Gunma Micro-EV Association (2012) 'Overview of the organisation' (in Japanese), <http://gunma.meva.jp/profile> (accessed 25.03.2013)
- Honda Motor Co., Ltd. (2012a) 'Company Overview', Available online: <http://world.honda.com/profile/overview/> (accessed on 14.02.2013)
- Honda Motor Co., Ltd. (2012b) 'Financial Information', Available online: <http://world.honda.com/profile/financial/> (accessed on 28.02.2013)
- Honda Motor Co., Ltd. (2012c) 'Honda Unveils Micro-sized Electric Vehicle "Micro Commuter Prototype"', Available online: <http://world.honda.com/news/2012/4121113Micro-EV-Commuter-Prototype/index.html> (accessed on 15.02.2013)
- Infinity USA (2013) '2013 Infinity M', Available online: <http://www.infinitiusa.com/m/photos-360s> (accessed on 22.02.2013)
- Japan Automobile Manufacturers Association, Inc. (JAMA) (2012a): The Moto Industry of Japan 2012.

Japan Automobile Manufacturers Association, Inc. (2012) 'The Motor Industry Of Japan 2012', Available online: [http://www.jama-english.jp/publications/MIJ\\_2012.pdf](http://www.jama-english.jp/publications/MIJ_2012.pdf) (accessed on 06.02.2013)

Japan Science and Technology Agency (JST) (2010a) 'Development of the super small electric vehicle for one passenger' (in Japanese), [http://sangakukan.jp/journal/journal\\_contents/2010/11/articles/1011-02-4/1011-02-4\\_article.html](http://sangakukan.jp/journal/journal_contents/2010/11/articles/1011-02-4/1011-02-4_article.html) (accessed 25.03.2013)

Japan Science and Technology Agency (JST) (2010b) 'Realisation of next generation mobility and the role of universities' (in Japanese), [http://sangakukan.jp/journal/journal\\_contents/2010/11/articles/1011-02-2/1011-02-2\\_article.html](http://sangakukan.jp/journal/journal_contents/2010/11/articles/1011-02-2/1011-02-2_article.html) (accessed 25.03.2013)

Lexus (2013a) '2013 ES/Explore', Available online: <http://www.lexus.com/models/ES/explore/> (Accessed on 22.02.2013)

Lexus (2013b) 'City Hybrid 2013', Available online: <http://www.lexus.com/models/CTh/> (accessed on 22.02.2013)

Lexus (2013c) 'Introducing Lexus RX 2013', Available online: <http://www.lexus.com/models/RX/hybrid/> (accessed on 22.02.2013)

Lexus (2013d) 'Introducing The GS Hybrid 2013 GS', Available online: <http://www.lexus.com/models/GS/hybrid/> (accessed on 22.02.2013)

Lexus (2013e) 'Introducing The LS Hybrid 2013 LS', Available online: <http://www.lexus.com/models/LS/hybrid/> (accessed on 22.02.2013)

Makino, H., Koide, K., Ikeuchi, K., Kataoka, M., Koibuchi, M., Sasaki, M. (2012) A concept of local ITS center in KASHIWA ITS project. In: Seisan-Kenkyu, 64(2), 57-62.

Matsumura, S. (2011) 'Next Generation EV Society' (in Japanese), Available online: <http://www.apev.jp/aboutus/pdf/gunma-ev.pdf> (accessed 25.03.2013)

Mazda Motor Corporation (2011) 'Mazda In Brief 2011', Available online: [http://www.mazda.com/profile/outline/library/2011/pdf/2011\\_all.pdf](http://www.mazda.com/profile/outline/library/2011/pdf/2011_all.pdf) (accessed on 20.02.2013)

Mazda Motor Corporation (2012) 'Outline', Available online: <http://www.mazda.com/profile/outline/> (accessed on 14.02.2013)

Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) (2006): New National Energy Strategy: Digest. Available online: <http://www.enecho.meti.go.jp/english/report/newnationalenergystrategy2006.pdf> (accessed 11.03.2013)

Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) (2007): Proposal for Full-fledged Dissemination of New Generation Vehicles. Available online: <http://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/286890/www.meti.go.jp/press/20070629010/wg.pdf> (accessed 15.02.2013)

Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) (2010a): Next Generation Vehicle Strategy. Available online: <http://www.env.go.jp/air/report/h21-01/> (accessed 20.12.2012)

Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) (2010b): Measures for the Promotion of EV/PHEV Towns. Available online: <http://www.meti.go.jp/policy/automobile/evPHEV/town/index.html> (accessed 20.11.2012)

Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) (2011): The EV/PHEV Towns Concept Best Practices Handbook II. Available online: [http://www.meti.go.jp/policy/automobile/evPHEV/town/state/best\\_practice.html](http://www.meti.go.jp/policy/automobile/evPHEV/town/state/best_practice.html) (accessed 15.02.2013)

Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) (2012): Energy White Paper 2012. Available online: <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2012energyhtml/index.html> (accessed 11.03.2013)

Ministry of the Environment (MOEJ), Ministry of Economy, Trade and Industry (METI), Ministry of Land, Infrastructure, Transportation and Tourism (MLIT) (2012): Low Emission Vehicles Guidebook 2012 (in Japanese). Available online: [http://www.env.go.jp/air/car/vehicles2012/LEV\\_chapter3.pdf](http://www.env.go.jp/air/car/vehicles2012/LEV_chapter3.pdf) (accessed 07.03.2013)

Ministry of Land, Infrastructure, Transportation and Tourism (MLIT) (2012a): Fuel Efficiency of Automobiles 2012. Available online: [http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_fr10\\_000013.html](http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr10_000013.html) (accessed 07.03.2013, in Japanese)

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) (2012b) 'Regarding the project proposals for promoting automobile energy efficiency improvement' (in Japanese), [http://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha10\\_hh\\_000085.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha10_hh_000085.html) (accessed 25.03.2013)

Mitsubishi Motor Corporation (2012a) 'Board Members', Available online: <http://www.mitsubishi-motors.com/en/corporate/aboutus/director.html> (accessed on 26.02.2013)

Mitsubishi Motor Corporation (2012b) 'Corporate Profile', Available online: <http://www.mitsubishi-motors.com/en/corporate/aboutus/profile/index.html> (accessed on 26.02.2013)

Mitsubishi Motor Corporation (2012c) 'Manufacturing Centers and Related Facilities', Available online: <http://www.mitsubishi-motors.com/en/corporate/aboutus/facilities/index.html> (accessed on 26.02.2013)

Mitsubishi (2013): Oral information from an interview conducted in the course of the STROM project in Juni 2013 in Tokio.

Nam, K., Fujimoto, H., Hori, Y. (2012): Lateral stability control of in-wheel-motor-driven electric vehicles based on sideslip angle estimation using lateral tire force sensors. In: IEEE Transaction on Vehicular Technology, 1972-1985.

National Institute for Land and Infrastructure Management, (2012) 'Draft Specification of information distribution on EV and PHEV Charging Station, Version 1.1' (in Japanese)

Next Generation Vehicle Promotion Center (2012): Statistics: Estimated EVs in Use. Available online: <http://www.cev-pc.or.jp/tokei/hanbai1.html> (accessed 12.02.2013)



Next Generation Vehicle Promotion Center (2013): 平成 25 年度クリーンエネルギー自動車等導入促進対策費補助金業務実施細則. Available online: <http://www.cevpc.or.jp/hojo/pdf/saisoku.pdf> (accessed 15.01.2014).

New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) (2011). 'Implementation Policy for the Project on the Next Generation Vehicle High Performance Battery System R&D', Available online: <http://www.nedo.go.jp/content/100146154.pdf> (accessed on 24.01.2014)

New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) (2013). 'Implementation Policy for the Project on the Fundamental Scientific Research on the Development of Revolutionary Batteries', Available online: <http://www.nedo.go.jp/content/100534286.pdf> (accessed on 10.02.2014)

Nissan (2010) 'Infiniti Releases Sketch of Future Luxury Electric Vehicle', Available online: [http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2010/\\_STORY/100924-02-e.html](http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2010/_STORY/100924-02-e.html) (accessed on 22.02.2013)

Nissan (2012a) 'e-NV200 Concept', Available online: <http://www.nissan-zeroemission.com/EN/HISTORY/eNV200.html> (accessed on 12.02.2013)

Nissan (2012b) 'Facilities in Japan', Available online: <http://www.nissan-global.com/EN/COMPANY/PROFILE/ESTABLISHMENT/> (accessed on 6.02.2013)

Nissan (2012c) 'History', Available online: <http://www.nissan-zeroemission.com/EN/HISTORY/index.html> (accessed on 14.02.2013)

Nissan (2012d) 'Infiniti LE Concept Zero Emission Luxury Sedan Makes World Debut at New York International Auto Show', Available online: [http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2012/\\_STORY/120405-03-e.html](http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2012/_STORY/120405-03-e.html) (accessed on 22.02.2013)

Nissan (2012e) 'Nissan LEAF', Available online: <http://www.nissan-zeroemission.com/EN/LEAF/concept.html> (accessed on 12.02.2013)

Nissan (2012f) 'Outline of Company', Available online: <http://www.nissan-global.com/EN/COMPANY/PROFILE/> (accessed on 6.02.2013)

Nissan (2012g) 'Profile 2012', Available online: [http://www.nissan-global.com/EN/DOCUMENT/PDF/PROFILE/2012/Pr2012\\_E\\_All.pdf](http://www.nissan-global.com/EN/DOCUMENT/PDF/PROFILE/2012/Pr2012_E_All.pdf) (accessed on 6.02.2013)

Nissan (2012h) 'Tama Electric Vehicle', Available online: <http://www.nissan-zeroemission.com/EN/HISTORY/TAMA.html> (accessed on 12.02.2013)

Paukert C (2009) '[Geneva 2009: Consider The Show Stopped - Infiniti rolls out its Essence on a grand scale](http://www.autoblog.com/2009/03/03/geneva-2009-consider-the-show-stopped-infiniti-rolls-out-its-e/)', Available online: <http://www.autoblog.com/2009/03/03/geneva-2009-consider-the-show-stopped-infiniti-rolls-out-its-e/> (accessed on 22.02.2013)

Ravi Teja, A.V., Chakraborty, C., Maiti, S., Hori, Y. (2012): A new model reference adaptive controller for four quadrant vector controlled induction motor drives. In: Transactions on Industrial Electronics, 3757-3767.

Shimizu, H. (2003): An electric vehicle. In: Journal of the Institute of Electrical Engineers of Japan, 123(12), 809-812.

Shimizu, H. (2005a): A challenge to a high-speed electric vehicle "Eliica". In: Journal of the Society of Automotive Engineers of Japan, 59(9), 64-67.

Shimizu, H. (2005b): Electric vehicle "Eliica". In: Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers, 108, 450-451.

Sim Drive (2009) 'Vision', <http://www.sim-drive.com/english/vision/index.html> (accessed 25.03.2013)

Suzuki Motor Corporation (2012a) 'Company Profile 2012', Available online: [http://www.globalsuzuki.com/corporate/outline/pdf/company\\_profile\\_2012.pdf](http://www.globalsuzuki.com/corporate/outline/pdf/company_profile_2012.pdf) (accessed on 20.02. 2013)

Suzuki Motor Corporation (2012b) 'History', Available online: <http://www.globalsuzuki.com/corporate/history/index.html> (accessed on 25.02.2013)

Takamatsu, D., Koyama, Y., Orikasa, Y., Mori, S., Nakatsutsumi, T., Hirano, T., Tanida, H., Arai, H., Uchimoto, Y., Ogumi, Z. (2012): First in situ observation of the LiCoO<sub>2</sub> Electrode/Electrolyte Interface by Total-Reflection X-ray Absorption Spectroscopy. In: Angewandte Chemie, 51(46), 11597-11601.

Tanaka, S. (2010). Japanese Automobile Industry and Automobile Industry Policy. Available online: [http://documents.eu-japan.eu/seminars/japan/green\\_cars/presentation\\_tanaka\\_en.pdf](http://documents.eu-japan.eu/seminars/japan/green_cars/presentation_tanaka_en.pdf) (accessed 25.11.2012)

Toyota Motor Corporation (2011) 'Japanese Production and Dealer Sites', Available online: [http://www.toyota-global.com/company/profile/facilities/japanese\\_production\\_site.html](http://www.toyota-global.com/company/profile/facilities/japanese_production_site.html) (accessed on 13.02. 2013)

Toyota Motor Corporation (2012a) 'Electric Vehicle Toyota FT-EV III', Available online: [http://www.toyota-global.com/innovation/environmental\\_technology/electric\\_vehicle/](http://www.toyota-global.com/innovation/environmental_technology/electric_vehicle/) (accessed on 26.02.2013)

Toyota Motor Corporation (2012b) 'Overview', Available online: <http://www.toyota-global.com/company/profile/overview/> (accessed on 13.02.2013)

Toyota Motor Corporation (2012c) 'Plug-in Hybrid Vehicle', Available online: [http://www.toyota-global.com/innovation/environmental\\_technology/plugin\\_hybrid/](http://www.toyota-global.com/innovation/environmental_technology/plugin_hybrid/) (accessed on 26.02. 2013)

Toyota Motor Corporation (2012d) 'Research Progress : Next Generation Secondary Batteries', Available online: [http://www.toyota-global.com/innovation/environmental\\_technology/next\\_generation\\_secondary\\_batteries.html](http://www.toyota-global.com/innovation/environmental_technology/next_generation_secondary_batteries.html) (accessed on 13.02.2013)

Toyota Motor Corporation (2012e) 'Toyota's Strategy for Environmental Technologies', Available online: [http://www.toyota-global.com/innovation/environmental\\_technology/strategy\\_environmental\\_tech.html](http://www.toyota-global.com/innovation/environmental_technology/strategy_environmental_tech.html) (accessed on 12.02.2013)

Toyota Motor Sales, USA., Inc. (2013) 'New Toyota Hybrids', Available online: <http://www.toyota.com/hybrid/>. (accessed on 01.03.2013)

U.S. Energy Information Agency (USEIA) (2012): Country Analysis Briefs: Japan. Available online: <http://www.eia.gov/cabs/Japan/pdf.pdf> (accessed 11.03.2013)

Yoshida, H., Shimizu, H. (2005a): Transportation and safety in Japan: 'Eliica', the 370km/h maximum speed electric vehicle. In: International Association of Traffic and Safety Sciences, 29(2), 74-77.

Yoshida, H., Shimizu, H. (2005b): Development of high-performance electric vehicle "Eliica". In: Koyo Engineering Journal, 168E, 2-7.



**Annex**

## Annex 1 Daihatsu Company

### Annex 1. 1 Members of boards

Title	Name	Areas of Responsibility
Chairman	Katsuhiko Okumura	
President	Koichi Ina	
Executive Vice President	Masanori Mitsui	- Supervises <Domestic business: Purchasing Group, R&D Group, project Marketing Group, Production Group, Quality Group, Management Group [for TOYOTA], Sales and Marketing Group, Environmental Affairs Dept.> - Chief Officer, Management Group [for TOYOTA]
Director (Senior Managing Executive Officer)	Masahiro Takahashi	- Supervises <Corporate Planning> - Chief Officer, Group CF - Covers Overseas Business Group - Branch Manager, Tokyo Office
Director (Senior Managing Executive Officer)	Takashi Nomoto	- Senior Executive Director, P.T. Astra Daihatsu Motor - Cover Overseas Business Group
Director (Senior Managing Executive Officer)	Kenji Baba	- Chief Officer, Sales and Marketing Group - Cover Sales and Marketing Group: CS Dept., Global Sales Group, Fleet Sales Div., Customer Service Parts Div.
Director (Senior Managing Executive Officer)	Tatsuya Kaneko	- Supervises<Overseas Business> - Covers Overseas Business Group
Director (Senior Managing Executive Officer)	Naoto Kitagawa	- Chief Officer, Product Marketing Group - Covers Management Group [for TOYOTA], BR Training and Development
Director (Senior Managing Executive Officer)	Sudirman Maman Rusdi	- President, P.T. Astra Daihatsu Motor
Director (Senior Managing Executive Officer)	Hiroshi Okano	- Chief Officer, Quality Group
Director (Senior Managing Executive Officer)	Masahiro Fukutsuka	- Chief Officer, Overseas Business group - General Manager, Product Div. In Overseas Business Group - Deputy Chief Officer, Product Marketing Group
Director (Senior Managing Executive Officer)	Makoto Mizutani	- Chief Officer, Quality Generalization Group, Production group - Covers Production Group: Global Production Center, Production Control Div., Logistic Div. - Cover R&D Group: QCT and Environmental Affairs Dept.
Director (Senior Managing Executive Officer)	Shinsuke Hori	- Chief Officer, R&D Group - General Manager, R&D Div. In R&D Group
Advisor to the Board/Technical Executive	Kosuke Shiramizu	

<b>Title</b>	<b>Name</b>	<b>Areas of Responsibility</b>
Full-time Corporate Auditor	Kunihiko Morita	
Corporate Auditor	Kosuke Ikebuchi	
Corporate Auditor	Takashi Matsuura	
Corporate Auditor	Kenji Yamamoto	
Senior Executive Officer	Katsuhiro Ikoma	- Covers Overseas Business Group - General Customer Service Div. In Overseas Business Group
Senior Executive Officer	Takamasa Kurinami	- Covers Overseas Business Group - General Manager, Project Div. In Overseas Business Group
Senior Executive Officer	Hitoshi Horii	- Cover Sales and Marketing Group: Domestic Marketing Div., Domestic Sales Div.
Senior Executive Officer	Makoto Irie	- Covers Group CF, BR Training and Development
Senior Executive Officer	Yasumitsu Morita	- Assigned President, Perodua Auto Corporation Sdn. Bhd. And President, Perodua Manufacturing Sdn. Bhd. - Covers Overseas Business Group
Executive Officer	Masahiko Kawatsu	- Cover Product Marketing Group: Styling Div.
Executive Officer	Shigeru Toda	- Covers Overseas Business Group - Deputy General Manager, Project Div. In Overseas Business Group
Executive Officer	Hajime Nishimura	- Assigned Executive Vice president, P.T. Astra Daihatsu Motor
Executive Officer	Miki Ibaraki	- Assigned Esenior Managing Director, Daihatsu Motor Kyushu Co., Ltd. - Covers R&D Group
Executive Officer	Shinichi Mukoda	- Deputy Chief Officer, Production group - Cover Head (Ikada)/Kyoto Plant, Shiga (Ryuo) Plant, Production Engineering Div.
Executive Officer	Takahide Tatsumi	- Chief Officer, Purchasing Group - General Manager, Asia Purchasing Div. In Purchasing group - Covers Overseas Business Group
Executive Officer	Hiomasa Hoshika	- General Manager, Production Engineering Div. In Production Group - Cover R&D Group
Executive Officer	Toru Ueda	- General Manager, Product Planning Div. In R&D Group - Covers technical Administration Dept.
Executive Officer	Takuji Izutani	- Assigned Managing Director, Daihatsu Motor Kyushu Co., Ltd.

Source: Daihatsu Motor Co., Ltd. (2012a).

Annex 1. 2 Major shareholders at the end of March 2012

Name of Shareholder	171 <sup>st</sup> term	
	Number of shares owned (thousand shares)	Ratio of owned shares (%)
Toyota Motor Corporation	218,649	51.2
The Master Trust Bank of Japan, Ltd. (Trust account)	11,589	2.7
Japan Trustee Services bank, Ltd. (Trust account)	10,982	2.6
Japan Trustee Services bank, Ltd. (Trust account \$)	7,351	1.7
Aioi Nissay Dowa Insurance Co., Ltd.	5,833	1.4
Ohgi Shokai Co., Ltd.	4,800	1.1
The Bank of Tokyo-Mitsubishi UFJ, Ltd.	3,937	0.9
Mitsui Sumitomo Insurance Co., Ltd.	3,699	0.9
SSBT OD05 Omnibus Account-Treaty Clients	3,516	0.8
State Street bank and trust Company 505225	3,179	0.7

Source: Daihatsu Motor Co., Ltd. (2012a).



## Annex 1. 3 Major related companies

<b>Company Name</b>	<b>Founded</b>	<b>Major Product/Enterprises</b>	<b>Daihatsu's Investment Ratio</b>
Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd.	1966.5	Manufacture and sale of ship engines, land engines, gas turbines, etc. manufacturing and sales of other related parts, diesel engines, gas turbine engines, car equipment, construction machinery, door equipment, aluminum wheels	35.1%
Daihatsu Motor Kyushu Co., Ltd.	1960.6	Hi Z, Atre Wagon, Bigo/Rush*	100.0%
Aoi Machine Industry Co., Ltd.	1943.1	Manufacture of stamped vehicle body parts and parts for agricultural equipment	91.2%
AKASHI-KIKAI INDUSTRY Co., Ltd.	1946.11	Manufacture of engines, drive train system parts, parts for agricultural equipment, and hydraulic and diesel devices	81.4%
Asano Gear Co.,Ltd.	1924.3	Manufacture and sale of precision cogwheels, front and rear car wheel axle devices, acceleration and deceleration machinery, transmission machinery, machine tools	40.0%
BOLTZ CO. LTD.	2008.4	Various bolts, ball joints, etc.	35.9%
KANBISHI Corporation	1951.3	Manufacture of die cast parts, automobile door locks, switches and other functional parts, and parts for gas devices	51.0%
Daihatsu Metal Co., Ltd.	2005.2	Casting and machine tooling parts	91.3%
Daihatsu Credit	1981.5	Money lending, bill discounts, debt guarantees, leasing enterprise	100.0%

<b>Company Name</b>	<b>Founded</b>	<b>Major Product/Enterprises</b>	<b>Daihatsu's Investment Ratio</b>
Daihatsu Techner	1996.9	Development, design and manufacture of transport machinery including cars related parts	100%
Daihatsu Transportation	1971.12	Car transport service, coastal shipping, car transport enterprise	100%
BUSINESS SUPPORT CENTER CO., Ltd.	1961.3	Entrustment, dispatch, sales of car equipment and sales promotion tools, insurance agency, real estate	100%
DBS	1986.1	Wide-use engine manufacture	50.%
Namicoh	1947.1	Stamped chassis parts and other components	35.0%
Kawamura kinzoku Corporation	1954.7	Manufacture of stamped vehicle body parts	35.%
Metalart Corporation	1943.8	Casted machine tooling parts, construction equipment parts, and agricultural equipment parts	23.4%
Meisei Metal Industries Co., Ltd.	1950.9	Stamping dies, pallets, etc.	20%

Note: As of the end of March 31, 2012

\*: OEM cars

Source: Daihatsu Motor Co., Ltd. (2012a).

## Annex 1. 4 Major domestic business

Name	Address, Telephone no.	Number of employee	Site area (m <sup>2</sup> )	Building (m <sup>2</sup> )	Date of establishment	Production capacity (thousand units) FY2011 production record (thousand units)	Production items
Head Office	1994.5 Daihatsu-cho Ikeda-shi, Osaka 563-8651 072-751-8811	5,393 *1	5,211,000 *2	320,000	1965.3	- -	-
Tokyo Office	6-19-15 Shinbashi, Minatoku, Tokyo 105-0004 (Tokyo Bijyutsu Club Building 5 <sup>th</sup> Floor) 03-6430-8850	68	-		1933.6	- -	-
Head (Ikeda) Plant 1 <sup>st</sup> District	1994.5 Daihatsu-cho Ikeda-shi, Osaka 563-8651 072-751-8811	1,572 *3	197,000 *3	177,000 *3	1939.5	- -	Press parts and press mold
Head (Ikeda) Plant 2 <sup>nd</sup> District			146,000	149,000	1961.5	190 84	Copen, Boon/ Passo *4, Coo/bB *4, Be-go/Rush *5
Shiga (Ryou) Plant 1 <sup>st</sup> District	2910 Ohaza Yamanoue, Ryou-chou Gamo-gun, Shiga 520-2593 0748-57-0221	4,270 *6	711,000 *6	324,000 *6	1974.5	1,475 880	Engines, transmissions, cast parts, general-purpose engines, ect.
Shiga (Ryou) Plant 2 <sup>nd</sup> District			1,325,000 *7	256,000	1989.1	230 256	Move/Stella *5, Tanto

Name	Address, Telephone no.	Number of employee	Site area (m <sup>2</sup> )	Building (m <sup>2</sup> )	Date of establishment	Production capacity (thousand units) FY2011 production record (thousand units)	Production items
Kyoto Plant	1 Koazakitahosoike Azashimoueno, Ohyamazaki-cho Otokuni-gun, Kyoto 618-0018 075-956-1141	1,062	154,000	124,000	1973.4	170 94	Probox *4, Succeed *4, Sienta *4
Nishinomiya Plant Center	1-78-1 Hanashin Distributin Center, Yamaguchi-cho Nishinomiya-shi, Hyogo 651-1431 078-907-2207	225	53,000	74,000	1980.11	- -	-
Daihatsu Motor Kyushu Co., Ltd. Oita (Nakatsu) Plant	1 Ohazashouwashiden Nakatsu-shi, Oita 879-0107 0979-...-1230	2,247	1,300,000	1 <sup>st</sup> District 110,000 2 <sup>nd</sup> District 53,000	2004.11 2007.11	230 204 230 212	Hijet Truck/Pixis Truck *5/ Sambar Truck *5, Hijet Cargo/ Pixis Van *5/ Sambar Van *5, Altra Wagon/ Dias Wagon *5, Mira eS Mira eS/ Pixes Epoch *5, Mira Cocca, Tanto Exzelucra *5, Move Conte/ Pixis Space
Daihatsu Motor Kyushu Co., Ltd. Kurume Plant	1 Yoshimoto, Tanushimaru-machi, Kurume, Fukuoka 839-1206 0943-72-700	212	174,000	18,000	2008.8	216 282	Engines, CVT parts

Note: As of the end of March 31, 2012.

\*<sup>1</sup>Including those in the technology function and dispatched employees.

\*<sup>2</sup> Including Hokkaido Car Testing Center, Kobe Center, employee dormitories, ect.

\*<sup>3</sup> Including Div. Engineering Center.

\*<sup>4</sup> Consioned vehicles.

\*<sup>5</sup> OEM vehicles.

\*<sup>6</sup> Including Kanami Plant.

\*<sup>7</sup> Including Shioa Technical Center.

Source: Daihatsu Motor Co., Ltd. (2012a).

Annex 1.5 Overseas office at each country

<b>Malaysia</b>			
Company Name	Perodua Manufacturing Sdn.Bhd.		
Address / Phone / Fax	Perodua Automotive Centre, Sungai Choh, Locked Bag No.226, 48009 Rawang, Selangor Darul Ehsan, Malaysia TEL: +60-3-6092-8888 FAX: +60-3-6091-5698		
Production Start Date	1994.8	Number of Employees	6,406
Annual manufacturing capacity (unit: 1000) (as of March 2012)	230	Number of Cars Produced (unit: 1000)	196.6
Models Produced	MYVI, VIVA, ALZA, AVANZA		
<b>Indonesia</b>			
Company Name	P.T. Astra Daihatsu Motor		
Address / Phone / Fax	JL. Gaya Motor III No5. Sunter II. Jakarta 14330, Indonesia TEL: +62-21-6510-300 FAX: +62-21-6510-380		
Production Start Date	1992.1	Number of Employees	5,692
Annual manufacturing capacity (unit: 1000) (as of March 2012)	330	Number of Cars Produced (unit: 1000)	387.6 <sup>*1</sup>
Models Produced	TERIOS / Rush, Xenia / Avanza, GRAN MAX / Townace-liteace, LUXIO		
<b>Venezuela</b>			
Company Name	Toyota de Venezuela C.A.		
Address / Phone / Fax	AV. Francisco de Miranda, Edif. Pargue Avila Torre HP, Piso 8, Los Palos Grandes Caracas 1060, Venezuela TEL: +58-212-210-8696 FAX: +58-212-210-8742		
Production Start Date	2001.11	Number of Employees	1,899
Annual manufacturing capacity (unit: 1000) (as of March 2012)	-	Number of Cars Produced (unit: 1000)	0.9
Models Produced	TERIOS		

Note: As of June, 2012.

\*1: including entrusted/OEM cars

Source: Daihatsu Motor Co., Ltd. (2012a).

## Annex 1. 6 Companies invested in overseas

<b>Country / Area</b>	<b>Company Name</b>	<b>Founded</b>	<b>Major Product/Enterprises</b>	<b>Daihatsu's Investment Ratio</b>
	Perodua Auto Corporation Sdn.Bhd.	2001.12	Holding company of automobile manufacturing company	41%
Malaysia	Perusahaan Otomobil Kedua Sdn. Bhd.	1993.2	Holding company of automobile manufacturing/sales company	20%
	Daihatsu (Malaysia)Sdn. Bhd.	1980.4	Sales of automobiles and parts	18.5%
Indonesia	P.T. Astra Daihatsu Motor	1992.1	Manufacture of automobiles, sale and export of automobiles and automobile parts	61.75%
Germany	Daihatsu Deutschland GMBH	1988.12	Sales of automobiles and parts	100%
Nederland	Daihatsu Holland B.V.	1982.3	Sales of automobiles and parts	100%
China	DAIHATSU MOTOR (SHANGHAI) CO., LTD.	2011.3	Sales of automobiles and parts	100%

Source: Daihatsu Motor Co., Ltd. (2012a).

## Annex 2 Mazda

The company's name, "Mazda", derives from Ahura Mazda, a god of the earliest civilizations in western Asia. Ahura Mazda is the god of wisdom, intelligence and harmony, as a symbol of the origin of both Eastern and Western civilizations and also as a symbol of automotive culture. It incorporate a desire to achieve a world peace and the development of the automobile manufacturing industries. It also derives from the name of the founder, Jujiru Matsuda.

Annex 2. 1 Global production (Units)

	2006	2007	2008	2009	2010
Global	1,307,468	1,289,478	1,349,392	984,520	1,307,540
Japan	966,547	995,511	1,078,690	717,175	912,836
Overseas	340,921	293,967	270,702	267,345	394,704

Source: [http://www.mazda.com/profile/outline/library/2011/pdf/2011\\_all.pdf](http://www.mazda.com/profile/outline/library/2011/pdf/2011_all.pdf). Accessed on February 20, 2013.

Annex 2. 2 Global sales (Units)

	2006	2007	2008	2009	2010
Global	1,287,168	1,335,032	1,351,290	1,160,957	1,285,815
Japan	269,220	254,137	244,623	204,373	223,861
N. America	349,793	382,768	348,923	281,439	308,228
Europe	306,698	311,247	339,969	256,426	217,502
China	126,063	101,900	127,846	179,679	239,709
Others	235,394	284,980	289,929	239,040	296,515

Source: Mazda Motor Corporation (2011).



Annex 2.3 Directors, officers and auditors

Directors

Representative Director and Chairman of the Board		Directors
Takashi Yamanouchi		Yuji Harada
		Akira Marumoto
		Masamichi Kogai
		Hiroataka Kanazawa
Kiyoshi Ozaki		Yuji Nakamine
Seita Kanai		Ichiro Sakai
Thomas A. H. Pixton		Taizo Muta
Corporate Auditors		Corporate Auditors
Junichi Yamamoto		Isao Akaoka
Kazuyuki Mitate		Masahide Hirasawa
		Takao Hotta
Executive Officers	Person Name	Main Task
*President and CEO	Takashi Yamanouchi	
*Executive Vice President and CFO	Kiyoshi Ozaki	Assistant to President; Oversight of Corporate Planning Domain; In charge of Financial Services and Global Auditing
*Executive Vice President	Seita Kanai	Assistant to President; Oversight of Technical Domain and Quality; In charge of promoting Monotsukuri Innovation and R&D Liaison Office
*Senior Managing Executive Officers	Thomas A.H. Pixton	Assistant to President; Oversight for Ford Relationship
	Yuji Harada	In charge of CSR, Environment and Corporate Communications; Assistant to the CEO; Assistant in charge of Fleet Sales
	Akira Marumoto	In charge of Corporate Planning, Profit Control, Product Strategy, Corporate Brand Enhancement and Cost innovation
	Masamichi Kogai	Oversight of Production and Purchasing; In charge of Business Logistics and IT Solution; Assistant to the Officer in charge of promoting Monotsukuri Innovation
	Hiroataka Kanazawa	In charge of R&D; Assistant to the Officer in charge of promoting Monotsukuri Innovation; President Mazda Engineering & Technology Co., Ltd.
Managing Executive Officers	Yuji Nakamine	Oversight of Global Sales Domain; In charge of promoting Customer Tsunagari Innovation and Overseas Sales; President Mazda South East Asia Ltd.
	James J. O'Sullivan	President and CEO, Mazda Motor of America, Inc. (Mazda North American Operations)
	Keishi Egawa	In charge of New Emerging Market Operation;

---

		General Manager Latin American Operation Preparation Office
	Nobuhide Inamoto	In charge of Domestic Business and Fleet Sales
	Satoshi Tachikake	In charge of Quality Assurance
	Koji Kurosawa	In charge of Secretariat, Human Resources, Corporate Services, Compliance, Risk Management and Mazda Hospital
	Kozo Kawakami	In charge of Customer Service
	Jeffrey H. Guyton	President and CEO, Mazda Motor Europe GmbH
	Noriaki Yamada	In charge of China Business; Chairman and CEO Mazda Motor (China) Co., Ltd.
	Kazuki Imai	In charge of Purchasing
Executive Officers	Toshinori Kusuhashi	President, Auto Alliance (Thailand) Co., Ltd.
	Minoru Mitsuda	Assistant to the Officer in charge of Corporate Planning; In charge of Corporate Liaison, Oversight of Tokyo Office (Resident in Tokyo)
	Masafumi Nakano	General Manager, Hiroshima Plant
	Kiyotaka Shobuda	In charge of Production; General Manager, Production Engineering Div.; Assistant to the Officer in charge of Cost Innovation
	Kiyoshi Fujiwara	In charge of Product Planning, Program Management and Design; Assistant to the Officer in charge of Cost innovation
	Masahiro Moro	Assistant to the Officer with Oversight of Global Sales Domain and in charge of promoting Customer Tsunagari innovation; In charge of Global Marketing
	Akira Koga	Executive Vice President Mazda of America, Inc. (Mazda North American Operations)
	Takashi Furutama	General Manager, Corporate Planning Div. and Profit Control Div. Assistant to the Officer in charge of Cost Innovation
	Philip J. waring	COO, Sales & Marketing, Mazda Motor Europe GmbH
	Nariaki Uchida	General Manager, Hofu Plant
	Mitsuo Hitomi	General Manager, Powertrain Development Div.; Assistant to the Officer in charge of Cost Innovation
	Takahisa Sori	General Manager, Vehicle Development Div.; Assistant to the Officer in charge of Cost Innovation
	Masatoshi Maruyama	General Manager Quality Div.
	Takeshi Fujiga	General Manager, Human Resources Div.
	Kazuhisa Fujikawa	General Manager, Purchasing Div.; Assistant to the Officer in charge of Cost Innovation
	Kazuyuki Fukuhara	General Manager, Domestic Business Div.

---

Note: As of June 24, 2011

\* stands for the Executive Officers who also hold the post of Director

Source: Mazda Motor Corporation (2011).

---

<b>Company Name</b>	<b>Country</b>	<b>Mazda's Share</b>	<b>Business</b>
AutoAlliance International, Inc.	U.S.A.	50%	Production and sales of vehicles
AutoAlliance (Thailand) Co., Ltd.	Thailand	50%	Production and sales of vehicles
FAW Mazda Motor Sales Co.,Ltd.	China	40%	Distribution of vehicles and parts
Changan Ford Mazda Engines Co., Ltd.	China	25%	Production and sales of vehicle engines
Changan Ford Mazda Automobile Co., Ltd.	China	15%	Production and sales of vehicles

---

Source: Mazda Motor Corporation (2011).

## Annex 3 Mitsubishi

### Annex 3. 1 Mitsubishi board members

Position	Person Name
Chairman of the Board [Representative Director]	Takashi Nishioka
President [Representative Director]	Osamu Masuko
Executive Vice President [Representative Director] Corporate Planning & Finance	Hiizu Ichikawa
Executive Vice President [Representative Director] Head Officer of the Headquarters Overseas Operations Group Headquarters A In Charge of Overseas Operations Group Headquarters B In Charge of Global After Sales Group Headquarters	Hiroshi Harunari
Executive Vice President [Representative Director] Chairman of the Board, Mitsubishi Motors North America Inc.	Gayu Uesugi
Managing Director Head Officer of the Headquarters Production Group Headquarters	Tetsuro Aikawa
Managing Director Chief Business Ethics Officer Head Officer of the Headquarters CSR, Corporate Affairs, Controlling & Accounting Group Headquarters In Charge of Procurement	Shuichi Aoto
Managing Director Head Officer of the Headquarters Domestic Sales Group Headquarters	Seiichi Ohta
Head Officer of the Headquarters Product Projects & Strategy Group Headquarters Head Officer of the Headquarters Development Group Headquarters	Ryugo Nakao
Head Officer of the Headquarters Quality Affairs Group Headquarters	Takitaro Fukuda
Director (Non-Executive Director)	Mikio Sasaki Hidetoshi Yajima

Source: Mitsubishi Motor Corporation (2012a).

<b>Head Office</b>	
Head Office	33-8, Shiba 5-chome, Minato-ku, Tokyo
<b>Development/ Design Base</b>	
Tokyo Design Studio	33-8, Shiba 5-chome, Minato-ku, Tokyo
Research & Development Center	1, Aza-Nakashinkiri, Hashime-cho, Okazaki, Aichi-pref.
<b>EV</b> Research & Development Center	1-1, Aza-Kawagoe, Niki-cho, Okazaki, Aichi-pref.
Kyoto Research & Development Center	1, Tatsumi-cho, Uzumasa, Ukyo-ku, Kyoto, Kyoto-pref.
Tokachi Research & Development Center	22-1, Aza-Osarushi, Otofuke-cho, Kawato-gun, Hokkaido
<b>Vehicles production Base</b>	
Nagoya Plant	1, Aza-Nakashinkiri, Hashime-cho, Okazaki, Aichi-pref.
Mizushima Plant	1, Kaigan-dori 1-chome, Mizushima, Kurashiki, Okayama-pref.
Pajero Manufacturing Co., Ltd.	Pajero Manufacturing Co., Ltd.
<b>Powertrain / Component Production Bases</b>	
Powertrain Plant – Kyoto	1, Tatsumi-cho, Uzumasa, Ukyo-ku, Kyoto, Kyoto-pref
Powertrain Plant - Shiga	2-1, Kosuna-cho, Kosei-cho, Koka-gun, Shiga-pref.
Powertrain Plant - Mizushima	1, Kaigan-dori 1-chome, Mizushima, Kurashiki, Okayama-pref.
<b>Exhibition Facility</b>	
Head Office Show Room	33-8, Shiba 5-chome, Minato-ku, Tokyo
Okazaki Show Room	1, Aza-Nakashinkiri, Hashime-cho, Okazaki, Aichi-pref
The Mitsubishi Auto Gallery	1, Aza-Nakashinkiri, Hashime-cho, Okazaki, Aichi-pref

Source: Mitsubishi Motor Corporation (2012c).

## Annex 4 Nissan

### Annex 4. 1 Representative board members of Nissan

<b>Position</b>	<b>Person Name</b>
	Carlos Ghosn (President and Chairman)
Representative Board Members	Toshiyuki Shiga Hiroto Saikawa Greg Kelly Colin Dodge
Board Members	Mitsuhiko Yamashita Hidetoshi Imazu Jean-Baptiste Duzan Katsumi Nakamura Masahiko Aoki
Auditors	Toshiyuki Nakamura Mikio Nakura Shigetoshi Andoh

Source: Nissan (2012f).

<b>Title</b>	<b>Name</b>	<b>Areas of Responsibility</b>		
President and Chief Executive Officer	Carlos Ghosn*	President and Chairman		
		External and Government Affairs Intellectual Asset management		
Chief Operating Officer	Toshiyuki Shiga*	Design Corporate Governance Global Internal Audit TCSX (Total Customer Satisfaction Function)		
		Hiroto Saikawa*	Region: Japan, Asia Purchasing	
	Colin Dodge*	Region: AMIE (Africa, Meddle East, India, Europe) Region: Americas		
	Mitsuhiro Yamashita*	Research and Development Manufacturing		
	Hidetoshi Imazu*	SXM (Supply Chain Management) Global Product Planning Global Program Management Global Market Intelligence Global IS		
		Andy Palmer*	Global Infiniti Business Unit Global Marketing Communications Global Corporate Planning (Incl. OEM Business) Vehicle Information Technology Performance Program Director Finance Control	
			Joseph G. Peter*	IR M&A Support Global Sales Finance Business Unit Global Sales Global Aftersales Global LCV Business Unit
	Executive Vice President	Takao Katagiri*	Global Szero Emission Business Unit Global Battery Business Unit Global Datsun Business Unit Japan Marketing & Sales	
			Shiro Nakamura	Brand Champion Design
				Hitoshi Kawaguchi



Title	Name	Areas of Responsibility
		Japan Communication
		Intellectual Asset Management
		Minoru Shinohara
		Research
		Advanced
		Electronics and Powertrain Engineering
		Planning & Advanced Engineering Development Div.
		Product and Vehicle test Technology Development
	Atsushi Shizuta	Nissan PV Product Development Div. No. 2
		Nissan LCV Product Development Div.
		Vehicle Component Technology Development Div.
		Global Purchasing
	Yasuhiro Tamauchi	RNPO (Common Purchasing Dept. For Parts/Raw Materials/Services Support/Capital)
		Purchasing Strategy Dept.
	Shigeaki Kato	TCSX (Total Customer Satisfaction Function)
		Office of the CEO
		Alliance CEO Office
		Global HR
		CFT Coordination
	Greg Kelly	Legal Dept.
		Organization Development Dept.
		Secretariat
		V-up Promotion and Kaizen Support Team
		HQ Facility Management Dept.
		Japan Marketing Div.
		Japan Sales Div.
	Masaaki Nishizawa	M&S-J Strategy Dept.
		M&S-J Administration Dept.
		Fleet Business Dept.
		A manufacturing and Industrial Engineering Div.
		Oppama Plant
	Akira Sakurai	Tochigi Plant
		Yokohama Plant
		Iwaki Plant
		Nissan Plant
	Hideyuki Sakamoto	Production Engineering Div.
	Toshiaki Otani	Global Zero Emission Business Unit
		Global Battery Business Unit
	Trevor Mann	SCM Div.

<b>Title</b>	<b>Name</b>	<b>Areas of Responsibility</b>
		OC-AMI
	Johan de Nysschen	Global Infiniti (&Luxury) Business Unit)
	Asako Hoshino	
	Celso Guiotoko	
	Joji Tagawa	
	Toshifumi Hirai	
	Atsushi Hirose	
	Shunichi Toyomasu	
	Tsuyoshi Yoshimoto	
	Takao Asami	
	Vincent Cobee	
	Shohei Kimura	
	Hideto Murakami	
Corporate Vice Presidents	Shuichi Nishimura	
	Yusuke Takahashi	
	Hiroshi Karube	
	Hideaki Watanabe	
	Simon Sproule	
	Motohiro Matsumura	
	Norio Ota	
	Rakesh Kochhar	
	Toru Hasegwa	
	Keno Kato	
	Jun Seki	
	Noboru Tateishi	
	Kimio Tomita	
Fellows	Haruyoshi Kumura	

Note: As of July 1, 2012.

\* stands for Executive Committee Members

Source: Nissan (2012f).

Annex 4. 3 Major offices and facilities of Nissan in Japan

Function	Company / Office / Facility	Address	Operations Commenced	Land Area (thousand sq. Meters)	Vehicle Production 2011 *1	Number of Employee *10	Major Operations / Products
Global Headquarters	1. Nissan Motor Co., Ltd	1-1, Takashima 1- come, Nishi-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 220-8686	Aug 2009 *2	10	-	1.857	Management and strategic operation of Nissan's business activities
	2. Research Center (Oppama)	1, Natsushima-cho, Yokosuka-shi, Kanagawa 237-8523	Apr 1961	-	-	-	Basic research and development
	3. Advanced Technology Center	1-1, Morinosatoaoyama, Atsugi-shi, Kanagawa 243-0123	Jan 2004	204	-	9.309 *3	Advanced technology development, Basic research and Development
	4. Technical Center	560-2, Okatsukoku, Atsugi-shi, Kanagawa 243-0192	Nov 1981	1.153	-		Technology and product development, Design, Procurement of components
R&D	5. Powertrain Engineering Division	6-1, Daikoku-cho, tsurumi-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 230-0053	Jul 1948	72	-	-	Powertrain development and testing
	6. Tochigi Proving Ground	2500, Kamigamou, Kaminokawa-machi, Kawachi-gun. Tochigi 329-0692	Oct 1973	830	-	-	Vehicle testing and evaluation
	7. Oppama Proving Ground	1, Natsushima-cho, Yokosuka-shi, Kanagawa 237-8523	Jun 1961	420	-	-	Vehicle testing and evaluation (Including crash tests)
	8. Hokkaido Proving Ground	48-1, Aza-Rinnai, Rikubetsu-cho, Ashoro-gun,	Jan 1992	7.050	-	-	Vehicle testing and evaluation

Function	Company / Office / Facility	Address	Operations Commenced	Land Area (thousand sq. Meters)	Vehicle Production 2011 *1	Number of Employee *10	Major Operations / Products
		Hokkaido 089-4356					
	9. Nissan Motor Kyusu CO., Ltd	1-3, Shinhama-cho, Kanda-machi, Miyako-gun, Fukuoka 800-0395	Aug 2011	2.355	519.951	3.448	Seren, Teada, X-TRAIL, Murano, Rogue, Dualis, Note *11
	10. Knda Wharf	8-3, Shinhama-cho, Kanda-machi, Miyako-gun, Fukuoka 800-0395	May 1991				Vehicle shipment for domestic and overseas markets
	11. Oppama Plant	1, Natsushima-cho, Yokosuka-shi, Kanagawa 237-8523	Oct 1961	1.707 *4	284.528	2.692	Nissan LEAF, Cube, Juke *11
Production	12. Oppama Wharf	2-23, Natsushima-cho, Yokosuka-shi, Kanagawa 237-8523	May 1983			-	Vehicle shipment for domestic and overseas markets
	13. Togichi Plant	2500, Kamigamou, Kaminokawa-machi, Kawachi-gun. Tochigi 329-0692	Oct 1968	2.926 *6	159.318	4.669 *6	Skyline, Skuline Crossover, Fairlady Z, GT-R, Fuga, Fuga Hybrid, Cima, Infiniti FX, Infiniti EX, Infiniti M, Infiniti G, 370Z, Assembly of axless and machining, casting *11
	14. Nissan Shatai Co., Ltd	10-1, Amanuma, Hiratsuka-shi, Kanagawa 254-8610	Apr 1949 *7	845 *8	195.434	2.243	Patrol, Patrol Pickup, Wingroad, AD/AD Expert, Civilian, Cedric Sedan, NV200, Vanette, Caravan, Atlas, Elgrand, Patrol, Infiniti QX56,

Function	Company / Office / Facility	Address	Operations Commenced	Land Area (thousand sq. Meters)	Vehicle Production 2011 *1	Number of Employee *10	Major Operations / Products
							Quest, NV350 Caravan *9 *11
	15. Iwaki Plant	386, Shimokawa-aza-Otsurugi, Izumi-cho, Iwaki-shi, Fukushima 220-8623	Jan 1994	208	-	514	Assembly of engines and machining, casting
	16. Yokohama Plant	2, Takara-cho, Kanagawa-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 220-8623	Apr 1935	505	-	2.412	Engine and suspension assembly, machining, forging, aluminium smelting, pressing, catalyzer
	17. Zama Operation Center	10-1, Hironodai 2-chome, Zama-shi, Kanagawa 228-8502	Dec 1964	536	-	1.517	Global Production Engineering Center, Development and manufacturing of tools, jigs and production facilities, Development of forklift, Development and production of electric and electronic components, Planning, design and installation of electric vehicle technologies
	18. Honmuku Wharf	8, Nishiki-cho, Naka-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 231-8589	Jun 1967	331	-	209	Vehicles and parts shipment for overseas markets, Packing and shipping of KD units, Imports of parts

Function	Company / Office / Facility	Address	Operations Commenced	Land Area (thousand sq. Meters)	Vehicle Production 2011 *1	Number of Employee *10	Major Operations / Products
	19. JATCO Ltd.	700-1, Imaizumi, Fuji-shi, Shizuoka 417-8585	Jun 1999 *7	1.086	-	6.107	Development, production and sales of transmissions/parts
	20. Aichi Machine Industry Co., Ltd.	2-12. Kawanami-cho, Atsuka-ku, Nagoya-shi, Aichi 456-8601	May 1949 *7	402	-	1.942	Production and sales of engines and transmissions
	21. Sagamihara Parts Center	4-1, Asamizodai 1-chome, Sagamihara-shi, Kanagawa 228-8523	Apr 1972	425	-	251	Procurement and shipment of service parts for domestic and overseas markets
	22. Nissan Kohko Co., Ltd.	6-1, Okda 6-chome, Samukawa-machi, Koza-gun, Kanagawa 253-0105	Sep 1964 *7	193	-	704	Production and sales of engine, azles and engine parts for automobiles and forklifts
Other	23. Nissan Education Center	910, Ichisawa-cho, Asahi-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 241-0014	Apr 1990	66	-	114	Nissan Business College: Planning and implementation of training for Japanese sales companies; implementation of service training for Nissan's overseas network Nissan Automobile Technical College Yokohama: Training of automotive technicians Nissan Learning Center: Implementation of technology and skill

Function	Company / Office / Facility	Address	Operations Commenced	Land Area (thousand sq. Meters)	Vehicle Production 2011 *1	Number of Employee *10	Major Operations / Products
							training for Nissan and affiliated companies
<b>Sales Network of Nissan in Japan</b>							
<i>Number of Dealers</i>		<i>Outlets (incl. Those focused vehicles)</i>		<i>Service Facilities</i>		<i>Number of Employees</i>	
124		2,431 units		2,215 units		38,878 people	

Note: As of March 31, 2012.

\*1 April 2011 through March 2012.

\*2 Until Dec 1967 in Yokohama, until Aug 2009 in Ghiza.

\*3 Including Nissan global Information System Center.

\*4 Including Nissan Research Center, Oppama Proving Ground and Oppama Wharf.

\*5 including Employees of Nissan Research Center.

\*6 Including Tochigi Proving ground.

\*7 Date of Establishment.

\*8 Including Techo Center, hadono Office, Kyoto Office.

\*9 Elgrand, patrol, Infiniti QX56, Quest, and NV350 Caravan are produced t Nissan Shati Kyushu.

\*10 Excludes non-permanent workers.

\*11 As of August 31, 2012.

Source: Nissan (2012b).

Annex 4. 4 List of BEVs produced by Nissan by year

Year	Type of BEV	Description
1947	Tama BEV	The first Nissan EV, equipped with lead-batteries
1949	Tama Senior	Sold as an alternative to gasoline vehicles
1970	Nissan 315X	A concept car exhibited at the Tokyo Motor Show in 1970
1973	Nissan BEV4	Two-person riding track
1983	March BEV	The first experimental EV that adopted an introduction motor
1985	BEV Guide-II	A concept car exhibited at the Tokyo Motor Show in 1985
1985	BEV Resort	Designed for use in resorts and more than 40 units sold to resort hotels
1988	Garbage and collecting truck	Developed jointly by five Japanese vehicle manufactures. Sold mainly to Yokohama City Government
1991	President BEV	A convertible designed as a lead car in motorcades
1991	Cedric BEV	For short-range driving. Equipped with an air conditioner, power steering and other conveniences
1991	FEV	For short-range driving. A concept exhibited at the Tokyo Motor Show in 1991
1994	Avenir BEV	Sold mainly to electric power companies
1995	FEV II	A concept car exhibited at the Tokyo Motor Show in 1995. Powered by lithium-ion batteries.
1996	Prairie Joy BEV	The world's first electric vehicle equipped with a (cylindrical type) lithium-ion batteries.
1998	R'nessa BEV	Released in Japan. The Altra EV was fleet-tested and sold in state of California
2000	Hypermini	Nissan's ultra-compact electric vehicle, released in Japan
2005	PIVO	Unveiled at the 2005 Tokyo Motor Show. A next-generation concept EV and the world's first vehicle equipped with a laminated lithium-ion battery enabling a more compact layout.
2007	Mixim	Unveiled at the 2007 Frankfurt Motor Show. Powered by Nissan's "Super Motor" electric motor/generator and using compact lithium-ion batteries
2007	PIVO 2	Debuts at the 2007 Tokyo Motor Show. Its laminated lithium-ion battery has double the capacity of cylindrical batteries, giving it an extended-driving range.
2008	Electric Vehicle (Test Vehicle)	An all-electric prototype vehicle equipped with a laminated lithium-ion battery, scheduled for release in 2010.
2008	NUVU	Exhibited at the 2008 Paris Motor Show. Nissan's vision for the future of urban transportation is encapsulated in Nuvu, literary a 'new view' of the type of car.
2009	Electric Vehicle (Test Vehicle)	An all-electric prototype to demonstrate the superior driving pleasure of a pure zero-emission vehicle. The vehicle is vased on a newly developed EV platform designed for the Nissan LEAF.
2009	Nissan LEAF	An all-electric vehicle powered by laminated compact lithium-ion batteries designed for mass-market. Slated for launch in late 2010 in Japan, the United States, and Europe.
2009	Land Glider	Exhibited at the 2009 Tokyo Motor Show. The totally new concept



<b>Year</b>	<b>Type of BEV</b>	<b>Description</b>
		represents the possibility of next-generation electric vehicles.
2010	Townpod	Exhibited at the 2010 Paris Motor Show. It is designed to offer zero-emissions mobility to a future generation of home based, innovative entrepreneurs who are creative and tech-savvy.
2011	ESFLOW	Unveil at the 2011 Geneva Motor Show. It has captured the excitement of a sports car and the environmental benefits of an electric vehicle and blended them into one dramatic two-seater concept.
2011	PIVO 3	Exhibited at the 2011 Tokyo Motor Show. Building on the pioneering PIVO 1 and PIVO 2, the new PIVO 3 concept moves from the realm of imagination into a fully-evolved vehicle that envisions life in tomorrow's cities.
2012	e-NV200	The innovative Nissan e-NV200 Concept, which makes it world debut at the 2012 North American Auto Show, serves as more evidence of Nissan's leadership position in the zero-emission automotive industry.

Source: Nissan (2012c).

## Annex 5 Subaru Company

Subaru is the name of a star cluster in the Taurus constellation. Six of its stars are visible to the naked eye, but about 250 bluish stars can be seen if one uses a telescope. In the West the cluster is called Pleiades, in China, Mao, and in Japan, Subaru ("to govern" or gather together"). In Japan, it also goes by the name Mutsuraboshi ("Six Stars"), under which title it appears frequently in very old Japanese documents such as Kojiki and Manyosyu and literature such as Makura-no-soshi. Clearly, this is one of the clusters much loved by the Japanese from ancient times. What makes Subaru a true evocative name is that FHI was created by merger of six companies.

### Annex 5. 1 Boards of Director/Executive Director

<b>Position</b>	<b>Person Name</b>
Representative Director of the Board President & CEO	Yasuyuki Yoshinaga
Representative Director of the Board Deputy President	Jun Kondo
Director of the Board Corporate Executive Vice President	Akira Mabuchi Naoto Muto Tomohiko Ikeda Mitsuru Takahashi
Outside Director	Toshio Arima
Corporate Executive Vice President	Shuzo Haimoto Mitsuru Takada Hisashi Nagano
Corporate Senior Vice President	Tamaki Kamogawa Takeshi Tachimori Masahiro Kasai Hidetoshi Kobayashi Yoshio Hirakawa
Corporate Vice President	Yasuo Ueno Tatsuhiko Mukawa Yasuo Kosakai Tsuyoshi Nakai Yasunobu Nogai Masashi Takahashi Masami Iida Tomomi Nakamura Toshio Masuda Kazuo Hosoya Masaki Okawara Satoshi Maeda
Standing Corporate Auditor	Shunsuke Takagi

Hiroyuki Oikawa  
Nobushige Imai  
Takatoshi Yamamoto

Corporate Auditor

---

Source: Fuji Heavy Industries Ltd. (2013).

## Annex 6 Suzuki Company

Annex 6.1 Suzuki profile

<b>Company Name</b>	<b>SUZUKI MOTOR CORPORATION</b>
Date of Incorporation	March 1920 Incorporated as Suzuki Loom Manufacturing Co. June 1954 Name changed to Suzuki Motor Co., Ltd. October 1990 Name changed to Suzuki Motor Corporation
Capital	JPY 138,014 million (1.2 millionEuro) (as of 31 March 2012)
Main Products	Motorcycles, automobiles, outboard motors, boats, motorized wheelchairs, electro-scooters, industrial equipment
Representative Directors	
Chairman & CEO	Osamu Suzuki
Representative Director and Executive Vice President	Minoru Tamura Osamu Honda Toshihiro Suzuki Yasuhito Harayama
Directors	
Director and Senior Managing Officer	Shinzo Nakanishi Toyokazu Sugimoto Masanori Atsumi Naoki Aizawa Eiji Mochizuki
Director	Masakazu Iguchi Sakutaro Tanino <small>(*Mr. Iguchi and Mr. Tanino are the outside directors)</small>
Auditors	
Corporate Auditor	Tamotsu Kamimura Kunio Nakamura
Corporate Auditor (non full-time)	Shin Ishizuka Masataka Osuka Norio Tanaka
Managing Officer	
Managing Officer	Shigeaki Hamada Sadayuki Inobe Masafumi Yayoshi Ichizo Aoyama Toshiaki Hasuike Hiroyasu Uchida Takashi Iwatsuki Kaoru Sato Kazuo Hakamata Hiroaki Matsuura Seiichi Furusho Tsuneo Ohashi Kenichi Ayukawa

Tadashi Kondo  
Motoo Murakami  
Masato Kasai

Note: As of 28 June 2012.

Source: Suzuki Motor Corporation (2012a).

Annex 6. 2 History of Suzuki

Year	Month	Description
1909	Oct	Michio Suzuki founds Suzuki Loom Works in Hamamatsu, Shizuoka Prefecture, Japan.
1920	Mar	Company is reorganized, incorporated, and capitalized at ¥500,000 as Suzuki Loom Manufacturing Co. with Michio Suzuki as president.
1940		Takatsuka Plant is built in Kami-mura, Hamana-gun, Shizuoka, Japan.
1945	Sep	Severe war damage forces Suzuki to close plants and move its offices to the Takatsuka Plant site.
1947	May	Suzuki moves its head office to the present address.
1949	May	Suzuki lists on the Tokyo, Osaka and Nagoya stock exchanges.
1950	May	Labour difficulties cause a financial crisis for Suzuki.
1952	Jun	Suzuki enters the motor-vehicle field with the launch of the Power Free 36cc, 2-cycle motorized bicycle.
1953	Mar	Diamond Free 60cc, 2-cycle motorized bicycle debuts and its monthly production exceeds 6,000 units amid a bike boom.
1954	Jun	Company changes its name to Suzuki Motor Co., Ltd.
1955	Mar	Colleda 125cc, 2-cycle motorcycle debuts.
	Oct	Suzulight 360cc, 2-cycle minivehicle debuts, helping to usher in Japan's minivehicle age.
1957	Feb	Shunzo Suzuki is appointed as president and Michio Suzuki is appointed as adviser.
1958	Oct	Suzuki adopts the "S" mark as its corporate emblem.
1959	Aug	Colleda Sel Twin 125cc, 2-cycle, 2-cylinder with electric starter motorcycle and Suzulight 360cc, 2-cycle mini commercial vehicle debut.
1961	Apr	Suzuki Loom Works Co. is established by separation of the loom division from the motor works.
	Sep	Suzuki completes a plant for lightweight trucks in Toyokawa, Aichi Prefecture, Japan, and starts production of the Suzulight Carry 360cc, 2-cycle lightweight truck there.
1962	Mar	Suzuki adopts company creed.
	Jun	Suzuki wins the 50cc-class championship in the Isle of Man TT race.
1963	Aug	U.S. Suzuki Motor Corp. (a direct sales subsidiary) is established in Los Angeles.
1964	Dec	Ryuyo Proving Grounds are set up in Iwata, Shizuoka, Japan.
1965	Apr	Suzuki enters the outboard motor field with the launch of D55 5.5hp, 2-cycle outboard motor.
	Aug	Fronte 800 2-cycle subcompact passenger vehicle debuts.
1966	Jun	Suzuki adopts a company flag and song.
1967	Jan	K50 50cc, 2-cycle motorcycle debuts.
	Mar	Thai Suzuki Motor Co., Ltd. is established for assembly in Thailand (First motorcycle plant

		outside Japan).
	Apr	Fronte 360cc, 2-cycle minivehicle debuts.
	Aug	Iwata Plant is built for automobiles in Iwata, Shizuoka, Japan.
1968	Mar	Carry Van 360cc, 2-cycle mini full-cab van debuts.
1969	Oct	Toyama Plant is built for motorcycles in Oyabe, Toyama, Japan.

Source: Suzuki Motor Corporation (2012b).

Annex 6. 3 Head office, plants and facilities

Name	Address	Operations
Head Office	300 TAKATSUKA-CHO,MINAMI-KU,HAMAMATSU CITY,JAPAN 432-8611	Head office affairs
Takatsuka Plant	300 TAKATSUKA-CHO,MINAMI-KU,HAMAMATSU CITY,JAPAN 432-8611	Motorcycle engines assembling and machining
Toyokawa Plant	1-2, Utari, Shiratori-cho, Toyokawa-shi, Aichi	Motorcycles and outboard motor assembling
Kosai Plant	4520, Shirasuka, Kosai-shi, Shizuoka	Passenger car assembling
Iwata Plant	2500, Iwai, Iwata-shi, Shizuoka	Multi-purpose vehicle and commercial vehicle assembling
Osuka Plant	6333, Nishiobuchi, Kakegawa-shi, Shizuoka	Foundry
Sagara Plant	1111, Shirai, Makinohara-shi, Shizuoka	Automobile engines assembling
Suzuki Training Center (Inasa)	20-40, Kawana, Inasa-cho, Kita-ku, Hamamatsu-shi, Shizuoka	Education and training
Suzuki Training Center (Kangetsuen)	2925-1, Bentenjima, Maisakacho, Nishi-ku, Hamamatsu-shi, Shizuoka	Education and training
Tokyo Branch Office	23-2, Daikyo-cho, Shinjuku-ku, Tokyo	Public relations
Develop Dept.III, Yokohama Labo.	2-1, Sakuranamiki, Tsuzuki-ku, Yokohama-shi, Kanagawa	Research and development
Motorcycle Technical Center	4935, Komaba, Iwata-shi, Shizuoka	Testing and development of motorcycles
Marine Technical Center	3622-48, Nakanogou, Arai-cho, Hamana-gun, Shizuoka	Testing and development of marine products
Shimokawa Proving Grounds	34, Sannohashi, Shimokawa-cho, Kamikawa-gun, Hokkaido	Testing and development of motorcycles and automobiles
Sagara Proving Grounds	1111, Shirai, Makinohara-shi, Shizuoka	Testing and development of automobiles
Suzuki Plaza	1301, Zora-cho, Minami-ku, Hamamatsu-shi, Shizuoka	Museum for Suzuki's history and Monozukuri

Source: Suzuki Motor Corporation (2012a).

Annex 6. 4 The Suzuki group principal subsidiaries of the Suzuki group in Japan

<b>Type of Company</b>	<b>Company Name</b>
Manufacturing companies	Suzuki Auto Parts Mfg. Co., Ltd.
	Hamamatsu Pipe Co., Ltd.
	Suzuki Akita Auto Parts Mfg. Co., Ltd.
	Snic Co., Ltd.
	Suzuki Toyama Auto Parts Mfg Co., Ltd.
	Suzuki Kasei Co., Ltd.
Non-manufacturing companies	Suzuki Transportation & Packing Co., Ltd.
	Suzuki Business Co., Ltd.
	Bell Art Co., Ltd.
	Suzuki Support Co., Ltd.
	Suzuki Finance Co., Ltd.
	Suzuki Consultant Co., Ltd.
Sales companies	Suzuki Marine Co., Ltd.
	54 directly managed domestic distribution companies
	43 directly managed overseas distribution companies

Source: Suzuki Motor Corporation (2012a).

## Annex 6. 5 Major affiliate distributors

## Major domestics distributors

Name of company	Address	President	Mini vehicles	Subcompact vehicles	Motorcycles	Outboard motors	Ind. Machines & tools	Motorized wheelchairs and electro senior vehicles
Suzuki Motor Sales Hokkaido Inc.	1-1-44, Kita30jyo Higashi, Higashi-ku, Sapporo-shi, Hokkaido	Hitoshi Ishikawa	•	•			•	•
Asahikawa Suzuki Motor Sales Inc.	1-4-9, Nagayamajyo, Asahikawa-shi, Hokkaido	Nobuyuki Takahashi	•	•				•
Suzuki Motor Sales Aomori, Inc.	47-1, Takama, Ishie, Aomori-shi, Aomori	Toshiaki Koike	•	•		•	•	•
Suzuki Motor Sales Iwate Inc.	1-22-70, Minamisenboku, Morioka-shi, Iwate	Hiroshi Ikeda	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Yamagata Inc.	135, Hozumi Yamagata-shi, Yamagata	Yasunori Munezaki	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Miyagi Inc.	5-11-3, Ougi-machi, Miyagino-ku, Sendai-shi, Miyagi	Yoshihiro Kato	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Fukushima Inc.	1-76, Minami, Koriyama-shi, Fukushima	Yoshihide Suzuki	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Ibaraki Inc.	1880-1, Hirasu-cho, Mito-shi, Ibaraki	Tomoyoshi Aiso	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Tochigi Inc.	799, Kamiyokota-machi, Utsunomiya-shi, Tochigi	Yoshihiro Yanagawa	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Gunma Inc.	231, Syokanji-machi, Takasaki-shi, Gunma	Tadashi Takeyama	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Saitama Inc.	2-222-10, Yoshino-cho, Kita-ku, Saitama-shi, Saitama	Takashi Suzuki	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Nishisaitama Inc.	1588-2. Ohaza Yamada, Kawagoe-shi, Saitama	Nobuji Suzuki	•	•				
Suzuki Motor Sales	7-12-19, Tajima, Sakura-ku,	Shoutarou		Used Car				



Name of company	Address	President	Mini vehicles	Subcompact vehicles	Motorcycles	Outboard motors	Ind. Machines & tools	Motorized wheelchairs and electro senior vehicles
Kanto Inc.	Saitama-shi, Saitama	Ueno						
Suzuki Motor Sales Chiba Inc.	5-417-262, Makuhari-cho, Hanamigawa-ku, Chiba-shi, Chiba	Tatsuro Takeuchi	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Keiyo Inc.	1286-9, Miyako-cho, Chuo-ku, Chiba-shi, Chiba	Masayuki Isozaki	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Tokyo Inc.	2-10-10, Toyotamakita, Nerima-ku, Tokyo	Toshiaki Suzuki	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Minami Tokyo Inc.	1-18, Kashiwa-cho, Tachikawa-shi, Tokyo	Yoshimasa Hara	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Kanagawa Inc.	169-6, Kariba-cho, Hodogaya-ku, Yokohama-shi, Kanagawa	Satoru Shiozawa	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Syonan Inc.	6-23-2, Tamura Hiratsuka-shi, Kanagawa	Motomu Suwa	•	•				•
Suzuki Motor Sales Niigata Inc.	1-4-39, Kaname-cho, Nagaoka-shi, Niigata	Syuuji Nagase	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Shizuoka Inc.	2-20-35, Furusho, Aoi-ku Shizuoka-shi, Shizuoka	Manabu Imai	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Hamamatsu Inc.	21339, Shinohara-cho, Nishiku, Hamamatsu-shi, Shizuoka	Keizi Miyamoto	•	•			•	•
Suzuki Motorcycle Sales Inc.	300, Takatsuka-cho, Minami-ku, Hamamatsu-shi, Shizuoka	Hidenobu Hamamoto			•		•	
Suzuki Motor Sales Tokai Inc.	22-1, Miyamae, Shimoji-cho, Toyohashi-shi, Aichi	Mitostoshi Adachi	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Chubu Inc.	3-75, minamihonjigahara-cho, Owariasahi-shi, Aichi	Masanori Matsui	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Mie Inc.	5-1-3, Hinaha, yokkaichi-shi, Mie	Takayuki Sunako	•	•			•	•

Name of company	Address	President	Mini vehicles	Subcompact vehicles	Motorcycles	Outboard motors	Ind. Machines & tools	Motorized wheelchairs and electro senior vehicles
Suzuki Motor Sales Nagano Inc.	4-16-33, Chuo, Inasato-machi Nagano-shi, Nagano	Makoto Ema	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Nanshin Inc.	1289, Akaho, Komagane-shi, Nagano	Ryu Saitou	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Hokuriku Inc.	3, Kou, Yanagibashi-machi, Kanazawa-shi, Ishikawa	Toshishige Kajitani	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Toyama Inc.	416-1, Kakeo-machi, Toyama-shi, Toyama	Toshiyuki Akai	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Shiga Inc.	5-10, Akibadai, Ohtsushi, Shiga	Shunji Itadani	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Kyoto Inc.	3, Nikinomori-cho, Kisshoin, Minami-ku, Kyoto-shi, Kyoto	Kikuo Uchida	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Kinki Inc.	1-1-5, Shikitsunishi, Naniwa-ku, Osaka-shi, Osaka	Seiichi Furushou	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Kansai Inc.	1-21-6, Yagumohigashi-machi, Moriguchi-shi, Osaka	Kazumasa Taekoshi		Used Car				
Suzuki Motor Sales Hyogo Inc.	1567-1, Arise, Ikawadani-cho, Nishi-ku, Kobe-shi, Hyogo	Tatsuyoshi Okusa	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Nara Inc.	68-1, Kagi, Tawaramoto-cho, Shiki-gun, Nara	Kenaki Matsuba	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Wakayama Inc.	892, Nishihama, Wakayama-shi, wakayama	Yasuhiko Kamiya	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Kagawa Inc.	1225-1, Danshi-cho, Takamatsu-shi, Kagawa	Takayoshi Mototani	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Tokushima Inc.	72-3 Honurakami, Ronden-cho, Tokushima-shi, Tokushima	Toshimitsu Saiga	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales	183-3, Takaoka-machi, Matsuyama-	Takahisa	•	•			•	•

Name of company	Address	President	Mini vehicles	Subcompact vehicles	Motorcycles	Outboard motors	Ind. Machines & tools	Motorized wheelchairs and electro senior vehicles
Matsuyama Inc.	shi, Ehime	Katou						
Suzuki Motor Sales Kochi Inc.	845-2, Kerakou, Kochi-shi, Kocho	Nobuyuki Minami	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Tottori Inc.	266-8, Maruyama-cho, Tottori-shi, Tottori	Toru Satou	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Shimane, Inc.	1888-10, Higashitsuda-cho, Matsue-shi, Shimane	Akira Kanetsuka	•	•			•	•
Suzuki Okayama Motor Sales inc.	622-5, Hirano, Kitaku, Okayama-shi, Okayama	Toshio Aridomi	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Hiroshima Inc.	18-7, Misasakita-machi, Nishi-ku, Hiroshima-shi, Hiroshima	Kenji Kawamura	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Yamaguchi Inc.	4-101, Nishihirabara, Ube-shi, Yamaguchi	Syuji Umabayashi	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Fukuoka Inc.	2567-10, Nakabarutsuru-mashi, Kasuya-machi, Kasuya-gun, Fukuoka	Masaru Kobayashi	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Saga Inc.	2364, Ougi-machi, kase-machi, Saga-shi, Saga	Tatsuya Fukaya	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Nagasaki Inc.	40-3, Nodago Togitsu-cho, Nishisonogi-hun, Nagasaki	Hidetoshi Hirowatari	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Kumamoto Inc.	1-1-6, Hirata, Minami-ku, kumamoto-shi, Kumamoto	Toshinori Baba	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Ohita Inc.	4305-1, Moto-machi, Ohita-shi, ohita	Kousei Kume	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales Miyazaki inc.	1204, Yakata-machi, Hanagashima-cho, Miyazaki-shi, miyazaki	Atsutoshi Hirano	•	•			•	•
Suzuki Motor Sales	14-14, Shinei-cho, Kagoshima-shi,	Kouji Nakahara	•	•			•	•

<b>Name of company</b>	<b>Address</b>	<b>President</b>	<b>Mini vehicles</b>	<b>Subcompact vehicles</b>	<b>Motorcycles</b>	<b>Outboard motors</b>	<b>Ind. Machines &amp; tools</b>	<b>Motorized wheelchairs and electro senior vehicles</b>
Kagoshima inc.	Kagoshima							
Suzuki motor Sales Okinawa Inc.	531-1, Uema, Naha-shi, Okinawa	Tatsuya Hoashi	•	•		•	•	•

Note: As of April 1, 2012.

Source: Suzuki Motor Corporation (2012a).

## Annex 7 Toyota Company

### Annex 7. 1 Toyota executives

Position	Person Name	
Chairman of the board	Fujio Cho	
Vice Chairman of the board	Takeshi Uchiyamada	
President, member of the board	Akio Toyoda	
	Yukitoshi Funi	Atsushi Niimi
Executive Vice President, member of the board	Shinichi Sasaki	Satoshi Ozawa
	Nobuyori Kodaira	Mitsuhisa Kato
	Masamoto Maekawa	
Directors	Mamoru Furuhashi	Takahiko Ijichi
	Yasumori Ihara	
	Yoichiro Ichimaru	Masaki Nakatsugawa
Corporate Auditors	Masahiro Kato	Yoichi Morishita
	Akishige Okada	Kunihiro Matsuo
	Yoko Wake	
	Mamoru Furuhashi*	Takahiko Ijichi*
	Tadashi Yamashina	Yasumori Ihara*
	Yoshimasa Ishii	Takahiro Iwase
Senior Managing Officers	Hirofumi Muta	Seiichi Sudo
	Real C. Tanguay	Shigeru Hayakawa
	Hisayuki Inoue	Didier Leroy
	Keiji Masui	Hiroji Onishi
	Koei Saga	Hiroyuki Yokohama
	Kiyotaka Ise	Kenji Miura
	Shigeki Suzuki	Yasuo Kawada
	James E. Lentz	Naoki Miyazaki
	Hiroyuki Ochiai	Soichiro Okudaira
	Shigeki Terashi	Tokuo Fukuichi
	Yoichi Inoue	Shunichi Konishi
	Satoru Mouri	Osamu Nagata
	Steve St. Angelo	Koichi Sugihara
Managing Officers	Johan van Zyl	Moritaka Yoshida
	Hiroyoshi Yoshiki	Kazuya Inagaki
	Kazuhiro Kobayashi	Shuichi Koyama
	Kunihiko Ogura	Kazuo Ohara
	Satoshi Takae	Shigeki Tomoyama
	Riki Inuzuka	Shinji Kitada
	Masahisa Nagata	Takeshi Numa
	Nobuhiko Murakami	Karl Schlicht
	Kyoichi Tanada	

Note: \*Also holds the position of director.

Source: Toyota Motor Corporation (2012b).



**Toyota Group**

<b>Company Name</b>	<b>Establishment</b>	<b>Main products/activities</b>	<b>Capital (millions JPY)</b>
TOYOTA INDUSTRIES CORPORATION	Nov. 1926	Manufacture and sales of spinning and weaving machines, industrial vehicles and automobiles; logistics	80,462 (692 thousand Euro)
AICHI STEEL CORPORATION	Mar. 1940	Manufacture and sales of specialty steel, forged steel products and electromagnetic parts	25,016 (215 thousand Euro)
JTEKT CORPORATION	Jan. 2006	Manufacture and sales of machine tools, auto parts	45,591 (392 thousand Euro)
TOYOTA AUTO BODY CO., LTD.	Aug. 1945	Manufacture of auto and special vehicle bodies and parts	10,371 (892 thousand Euro)
Toyota Tsusho Corporation	July 1948	Business transactions related to various items in Japan and between foreign countries, import and export	64,936 (559 thousand Euro)
AISIN SEIKI CO., LTD.	Aug. 1965	Manufacture and sales of auto parts	45,049 (388 thousand Euro)
DENSO CORPORATION	Dec. 1949	Manufacture and sales of electrical components for automobiles and other applications, air conditioning equipment and general appliances, and electrical appliances	187,457 (1.6 million Euro)
TOYOTA BOSHOKU CORPORATION	May 1950	Manufacture and sales of vehicle interior parts, filters and power train mechanical parts and textiles	8,400 (72 thousand Euro)
Towa Real Estate Co., Ltd.	Aug. 1953	Owning, managing, buying, selling and renting out land, management and rental	23,750 (204 thousand Euro)
TOYOTA CENTRAL R&D LABS., INC.	Nov. 1960	Fundamental research and testing for technical development for the Toyota Group	3,000 (26 thousand Euro)
TOYOTA MOTOR EAST JAPAN, INC.	July 2012	Manufacture of automobiles and parts, all wheel drive powered wheelchair, automatic vehicle maintenance lift	6,850 (59 thousand Euro)
TOYODA GOSEI CO., LTD.	June 1949	Manufacture and sales of rubber, plastic and urethane products, semiconductor related products, electronic products and adhesives	28,027 (241 thousand Euro)
Hino Motors, Ltd.	May 1942	Manufacture and sales of large trucks, buses, small commercial vehicles, passenger vehicles, engines and spare parts	72,717 (626 thousand Euro)

<b>Company Name</b>	<b>Establishment</b>	<b>Main products/activities</b>	<b>Capital (millions JPY)</b>
DAIHATSU MOTOR CO., LTD.	Mar. 1907	Manufacture and sales of automobiles, specialty vehicles and parts	28,404 (244 thousand Euro)
TOYOTA HOUSING CORPORATION	Apr. 2003	Planning, sales, construction and after-sales service of housing	7,400 (63 thousand Euro)

#### **Suppliers Associations**

<b>Associations</b>	<b>Establishment</b>	<b>Number of companies</b>	<b>Remarks</b>
Kyohokai	Dec. 1943	222	Parts suppliers
Eihokai	Apr. 1983	124	Equipment and distribution suppliers
Total		346	(When companies that belong to both associations are counted only once the total is 330.)

Note: As of March 2012.

Source: Toyota Motor Corporation (2011).



Annex 7.3 Regional headquarters

Region/Country		Name	Establishment	Activities
North America	U.S.A.	Toyota Motor North America, Inc. (TMA)	Mar-96	Liaison, public relations and survey activities throughout North America
		Toyota Motor Engineering & Manufacturing North America, Inc. (TEMA)	Apr-06	R&D and overall supervision of manufacturing in North America
		Toyota Motor Sales, U.S.A., Inc. (TMS)	Oct. 1957	Supervision of sales operation throughout North America
Europe	Belgium	Toyota Motor Europe NV/SA (TME)	Oct. 2005	Coordination of Toyota's European business
Asia	Singapore	Toyota Motor Asia Pacific Pte Ltd. (TMAP-MS)	Jul-90	Parts supply to all ASEAN countries and sales support for marketing in Asia
	Thailand	Toyota Motor Asia Pacific Engineering and Manufacturing Co., Ltd.* (TMAP-EM)	Sep. 2003	Development and evaluation efforts for locally produced vehicles, as well as operational support for Toyota production affiliates in Asia, Oceania and the Middle East
	China	Toyota Motor (China) Investment Co., Ltd. (TMCI)	Jul-01	Liaison and public relations activities as well as sales of imported vehicles (Lexus) in China

Source: Toyota Motor Corporation (2011).

Name	Main products	Start of operations	Unit production (10 <sup>3</sup> vehicles)	Number of employees
Honsha Plant	Forged parts, hybrid system parts, chassis parts	Nov. 1938	-	4,133
Motomachi Plant	Crown, Mark X, Estima, LFA	Aug. 1959	62	7,273
Kamigo Plant	Engines	Nov. 1965	-	3,124
Takaoka Plant	Corolla, iQ	Sept. 1966	131	3,112
Miyoshi Plant	Transmission-related parts, forged parts, engine-related parts	Jul. 1968	-	1,483
Tsutsumi Plant	Prius, Camry, Premio, Allion, Scion tC	Dec. 1970	388	5,134
Myochi Plant	Powertrain-related parts	Jun. 1973	-	1,549
Shimoyama Plant	Engines, turbochargers, catalytic converters	Mar. 1975	-	1,739
Kinu-ura Plant	Transmission-related parts	Aug. 1978	-	3,027
Tahara Plant	LS, GS, IS, GX, RAV4, Wish, Land Cruiser, Vanguard, engines	Jan. 1979	322	8,089
Teiho Plant	Mechanical equipment, moldings for resin and casting and forging	Feb. 1986	-	1,102
Hirose Plant	Research and development and production of electronic control devices, ICs	Mar. 1989	-	1,589
TOYOTA MOTOR KYUSHU, INC.	IS, ES, HS, CT, RX, SAI, Harrier, Highlander, engines, hybrid system parts	Dec. 1992	291	7,164
TOYOTA MOTOR HOKKAIDO, INC.	Transmissions, Powertrain-related parts	Oct. 1992	-	2,320
TOYOTA MOTOR EAST JAPAN, INC.	Corolla, Aqua, Isis, Ractis, ist, Century, Comfort, Powertrain-related parts	Jul. 2012	-	7800
TOYOTA AUTO BODY CO., LTD.	Prius, Estima, Hiace, Noah, Voxy, Alphard, Vellfire, Land Cruiser, Coaster	Aug. 1945	541	11,622

Note: As of December 2011.

TOYOTA MOTOR KYUSHU, INC., TOYOTA MOTOR HOKKAIDO, INC. and TOYOTA MOTOR EAST JAPAN, INC. are 100% owned subsidiaries of Toyota

Source: Toyota Motor Corporation (2011).

Annex 7. 5 List of BEVs and PHEVs produced by Toyota

No	Name of Cars	Type
1	FT-Bh Concept	Ultra-efficient compact vehicle which is shown at the 82nd Geneva International Motor Show
2	1/X	the concept car which uses the combination of PHEV and FFV (Flexible Fuel Vehicle)
3	A-Bat	Advanced-Breakthrough Aerodynamic Truck-2008 North American International Auto Show
4	Auris HSD	Full Hybrid Concept Car which is designed for European market and equipped with Hybrid Synergy Drive
5	Camry Hybrid	the gasoline-electric hybrid powertrain concept model
6	Crown Hybrid	the line-of mid-size luxury sedans which is designed for the hybrid V6 drivetrain
7	Estima Hybrid	
8	FT-CH	Compact Hybrid which is shown at the 2011 North American International Auto Show
9	FT-HS Concept	Hybrid sports concept car- 2007 North American International Auto Show
10	Hybrid X	Design study of the next-generation Hybrid Vehicle- 77th Geneva International Motor Show
11	Prius 1	the full-hybrid electric mid-sized car
12	Prius 2	
13	Prius 3	
14	Prius V	
15	Prius C Concept	Compact Hybrid which is shown at the 2011 North American International Auto Show
16	NS4	the advanced Plug-in Hybrid Concept revealed at the 2012 North American International Auto Show (NAIAS) in Detroit
17	Yaris Hybrid	Full Hybrid- 82st Geneva International Motor Show
18	RAV4 BEV	all-electric version of the RAV4 SUV (zero emission) which is released firstly in 1997
19	FT-BEV	the micro-urban commuter EV with 50 miles range
20	TMG BEV P001	a road-legal electric vehicle powered by a 350 kg (770 lb) lithium-ceramic battery pack
21	TS030	Hybrid motor racing car which is developed under Le Mans Prototype rules
22	iQ EV	a prototype of the Toyota which was exhibited at the 2011 Geneva Motor Show
23	SAI	a hybrid electric car which has the same platform and hybrid drive train with Lexus HS and was launched in Japan on October 20,2009

Source: Toyota Motor Sales, USA., Inc. (2013).

# Regional Trends in Electric mobility

Subproject within the research  
project:

Global Perspectives and LCA of  
Electric mobility

– STROM-Assist

## Country study India

Funded by the German Federal Ministry of  
Education and Research

Funding code 13N11856

**Regional study India**

# Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

Prepared for  
The Wuppertal Institute for Climate,  
Energy and Environment, Germany

This study was carried out assigned by and in collaboration with **Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy**. The chapters that have been contributed by Wuppertal Institute are listed below.

Contributing authors from Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy are:

Thorsten Koska      thorsten.koska@wupperinst.org  
Hanna Hüging      hanna.hueging@wupperinst.org  
Lukas Korella      lukas.korella@wupperinst.org

Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy is responsible for the following chapters:

Kurzfassung

- 3.1.7 Stakeholder opinions on government activities and policies
- 3.2.4 Stakeholder opinions on the R&D landscape
- 3.3.4 Stakeholder opinions on economy and industry
- 3.4.4 Stakeholder opinions on the EV market

## Suggested format for citation

---

T E R I. 2014  
Regional Trends in Electric Mobility, Country study: India.  
New Delhi: The Energy and Resources Institute. 125 pp.  
[Project Report No. 2012UD03]

## For more information

---

Akshima T Ghate  
T E R I  
Darbari Seth Block  
IHC Complex, Lodhi Road  
New Delhi – 110 003  
India

**Tel.** 2468 2100 or 2468 2111  
**E-mail** akshima@teri.res.in  
**Fax** 2468 2144 or 2468 2145  
**Web** www.teriin.org  
India +91 • Delhi (0)11



# Table of Contents

## Contents

<b>ACKNOWLEDGMENT .....</b>	<b>9</b>
<b>PROJECT TEAM - TERI.....</b>	<b>10</b>
<b>ABBREVIATIONS.....</b>	<b>11</b>
<b>KURZFASSUNG .....</b>	<b>16</b>
<b>THE PROJECT STROM-ASSIST .....</b>	<b>29</b>
1.1 Project Background: STROM and STROM-ASSIST .....	29
1.2 Scope of the Subproject “Regional Trends in Electric Mobility” .....	29
1.3. Methodology Regional Study India .....	30
<b>THE STUDY REGION .....</b>	<b>32</b>
2.1 Classifications and Statistics in the Study Region .....	32
2.1.1 Vehicle classification.....	32
2.2 Charging infrastructure classification.....	36
<b>REGIONAL TRENDS IN ELECTRIC MOBILITY IN INDIA .....</b>	<b>37</b>
3.1 Government/Policies/Public Infrastructure .....	39
3.1.1 Actors .....	39
3.1.2 Objectives and Strategies .....	43
3.1.3 Regulatory framework .....	53
3.1.4 Financial support and incentives.....	54
3.1.5 Power generation, supply and storage .....	58
3.1.6 Provision of infrastructure.....	66
3.1.7 Stakeholder opinions on the governmental framework.....	67
3.2 RESEARCH FUNDING AND INSTITUTIONS .....	71
3.2.1 Actors .....	72
3.2.2 Research Funding.....	72
3.2.3 Status Quo in Research and Development.....	72
3.2.4 Stakeholder opinions on the R&D landscape .....	74
1.3 ECONOMY AND INDUSTRY .....	77
3.3.1 Actors .....	78
3.3.2 xEV component manufacturers .....	86
3.3.3 Business models .....	87
3.3.4 Stakeholder opinions on economy and industry .....	88
3.4 Consumer and Market .....	91



## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

3.4.1 Market development of electric vehicles up to now .....	91
3.4.2 User / Consumer attitude and behaviour.....	98
3.4.3 Market perspectives.....	105
3.4.4 Stakeholder opinions on the xEV market.....	107
3.5 CONCLUSION.....	110
References .....	112
<b>ANNEX 1 AUTOMOBILE SECTOR: KEY MINISTRIES.....</b>	<b>114</b>
<b>ANNEX 2 ELECTRICITY SUPPLY RELIABILITY INDICES .....</b>	<b>118</b>
<b>ANNEX 3 STRATEGIES FOR ELECTRICITY GENERATION AND REDUCING THE CARBON INTENSITY OF ELECTRICITY GENERATION .....</b>	<b>119</b>
<b>ANNEX 4 EV CHARGING INFRASTRUCTURE: FUTURE PLANS.....</b>	<b>125</b>
<b>ANNEX 5 KEY ACTORS IN RESEARCH RELATED TO AUTOMOBILES AND ROAD TRANSPORT SYSTEMS .....</b>	<b>126</b>
<b>ANNEX 6 KEY PLAYERS IN PASSENGER VEHICLE SEGMENT - COMPANY-WISE MARKET SHARE IN 2010-11.....</b>	<b>128</b>
<b>ANNEX 7 KEY PLAYERS IN TWO-WHEELER SEGMENT - COMPANY-WISE MARKET SHARE IN 2010-11 .....</b>	<b>129</b>
<b>ANNEX 8 DESCRIPTION OF DIFFERENT VEHICLE SEGMENTS IN PASSENGER VEHICLE AND TWO-WHEELER SEGMENTS .....</b>	<b>131</b>
<b>ANNEX 9 CONTACT DETAILS OF KEY xEV COMPANIES .....</b>	<b>133</b>
<b>ANNEX 10 DETAILS OF KEY xEV PASSENGER VEHICLE PRODUCTS IN THE INDIAN MARKET</b>	<b>135</b>
<b>ANNEX 11: EXISTING ELECTRIC TWO-WHEELER PRODUCTS IN THE INDIAN MARKET AND THEIR SPECIFICATIONS.....</b>	<b>143</b>
<b>ANNEX 12: CHALLENGES ASSOCIATED WITH HIGHER PENETRATION OF xEVs IN INDIA.</b>	<b>150</b>

## List of Tables

Table 2.1: Criteria for vehicle classification in EU and India .....	32
Table 2.2: Indian vehicle classification system and its corresponding EU vehicle categories	33
Table 2.3: Charging infrastructure classification as given in NEMMP, 2020 .....	36
Table 3.1: Overview of key Ministries/Departments involved in the automobile sector in India .....	42
Table 3.2: Projected share of electric and hybrid vehicles by 2020 .....	43
Table 3.3: Regulations for conventional and electric vehicles in India .....	53
Table 3.4: Regulations for electric vehicles .....	54
Table 3.5 : Incentive limits offered to different categories of vehicles under the Ministry of New and Renewable Energy's scheme for giving incentives to EV manufacturers .....	55
Table 3.6: Total installed capacity of the utilities in India .....	59
Table 3.7: Planned Capacity Addition during the Twelfth Five Year Plan (2012-17) (MW)...	63
Table 3.8: Planned Capacity Addition during Thirteenth Five Year Plan (2017-22) (MW).....	64
Table 3.9: Proposed Renewable capacity Addition (MW) at the end of Twelfth and Thirteenth Plan .....	64
Table 3.10: Electric mobility: prioritized research areas proposed in NEMMP 2020 .....	73
Table 3.11: Key statistics for automobile industry in India.....	77
Table 3.12: Expected developments in the xEV passenger vehicle market in India.....	83
Table 3.13: Domestic sales of just two electric two-wheeler manufacturers .....	85
Table 3.14: Key xEV component manufacturers in India .....	86
Table 3.15: Battery partners of some of the key global auto manufacturers .....	87
Table 3.16: Comparison of price and features of a regular ICE car and an electric car .....	97
Table 3.17: Domestic sales in two-wheeler segment: Share of electric two-wheelers .....	98
Table 3.18: Estimated levels of vehicle penetration per thousand population .....	99
Table 3.19: Vehicle ownership in large cities in India (as on 31 <sup>st</sup> March 2009).....	99
Table 3.20: Deciding parameters for purchase of xEV four-wheelers .....	103
Table 3.21: Deciding parameters for purchase xxEVtwo-wheelers .....	104
Table 3.22: Expanding xEV market in India: Key challenges .....	105
Table 3.23: Projected share of electric and hybrid vehicles by 2020 .....	106

## List of Figures

Figure 3.1: Potential demand for xEVs by 2020 .....	47
Figure 3.2: Demand assurance measures suggested in NEMMP 2020.....	48
Figure 3.3: Phased approach for building xEVs manufacturing capability in India.....	50
Figure 3.4: Installed Capacity, mode wise (as on 31st Dec 2012) .....	59
Figure 3.6: Electricity generation (Mode-wise) and Imports during FY 2011-12.....	61
Figure 3.7: Weighted Average Emission Rate (tCO <sub>2</sub> /MWh): Trends.....	62
Figure 3.8: Share of different vehicles produced in 2010-11 .....	78
Figure 3.9: Break-up of vehicle segments within passenger vehicles and two wheelers .....	78
Note: MPVs- Multiple Utility Vehicles, UVs –Utility Vehicles .....	78
Figure 3.10: Company-wise Market Share in passenger car segment (2010-11).....	79
Figure 3.11: Manufacturers of Motor cycles/Step-Through: Company-wise Market share (2010-11).....	79
Figure 3.12: Category-wise market share (%) of different vehicle segments in 2010-11.....	91
Figure 3.13: Vehicle sales trends: Two-wheelers and passenger vehicles .....	92
Figure 3.14: Share of different vehicle segments in passenger vehicles - 2010-11 .....	92
Figure 3.15: Domestic sales of passenger vehicles: Share of different vehicle segments/sub-segments .....	93
Figure 3.16: Share of different vehicle segments in two-wheeler sales - 2010-11 .....	93
Figure 3.17: Domestic sales of two wheelers: Share of different vehicle segments/sub-segments .....	94
Figure 3.18: Yearly growth (in percentage) in domestic sales of passenger vehicles.....	95
Figure 3.19: Yearly growth (in percentage) in domestic sales of two-wheelers.....	95
Figure 3.20: Estimated fuel-wise population of passenger vehicles as on 31st march 2011....	96
Figure 3.21: Car population vs. cars/1000 population in different countries .....	99
Figure 3.22: Typical driving distance in urban areas .....	106

## Acknowledgment

We would like to take this opportunity to thank and extend our deepest gratitude to the Wuppertal Institute for Climate, Energy and Environment, Germany for including TERI in this first-of-its-kind global study on electric mobility. Electric mobility, undoubtedly, is a solution that developed and developing economies of the world will have to explore given the increasing stress on energy, environment and climate change. We are glad to inform that this study will give an outlook on future of electric mobility in the world. We would specially like to thank Ms Hanna Hugging and Mr Thorsten Koska of the Wuppertal Institute for their clear guidance and support to the TERI team on conducting the India country study.

We would also like to thank representatives from various Ministries and government organisations whom we met during the course of this study. We are thankful to Mr. Sohail Akhtar (Ministry of New and Renewable Energy), Mr. Sajid Mubhashir (Department of Science and Technology), Mr. Vikram Gulati (National Automotive Testing and R&D Infrastructure Project), and Mr. Argya Sardar (Technology Information, Forecasting and Assessment Council) for providing their perspective on future of electric mobility in India. We would also like to express our gratitude to the industry stakeholders: Mr Vinod Pandey, GM (Government Affairs) BMW India, Mr Saurabh Rohilla, Associate Director, SIAM (Society of Indian Automobile Manufacturers), Prof R. Arockiasamy, (Retired) Professor Emeritus (Instrument design development centre) Indian Institute of Technology (IIT), Delhi, Mr Sohinder Gill, CEO, Hero Electric and Director (Corporate Affairs), Society of Manufacturers of Electric Vehicles (SMEV) and Mr Pavan Sachdeva, Head (Customer Relationship & Public Relations), Mr Kartik Gopal, GM (Business Development and Mobility Solutions) and Mr Anshuman Asthana, Manager (Sales & Marketing- North) from Mahindra REVA. TERI is extremely thankful to all of them for their valuable insights that were received as part of stakeholder interviews conducted during the study.

## Project Team - TERI

---

### Project advisor

Mr Sanjivi Sundar, Distinguished Fellow, TERI

### Project reviewer

Mr Shri Prakash, Distinguished Fellow, TERI

### Project PI

Ms Akshima Tejas Ghate, Fellow, TERI

### Project team

Mr Ramit Malhotra, Associate Fellow, TERI

Mr Alekhya Datta, Research Associate, TERI

Ms Ankita Gupta, Research Associate, TERI

Ms Megha Kumar, Research Associate, TERI

Mr Rohit Sen, Research Associate, TERI

Ms Sangeetha Ann Wilson, Research Associate, TERI

## Abbreviations

---

AFST	Alternate Fuels for Surface Transportation
AFSTP	Alternate Fuels For Surface Transportation Program
AIS	Automotive Industry Standards
AMP	Automotive Mission Plan
APDRP	Accelerated Power Development and Reform Programme
ARAI	Automotive Research Association of India
BEE	Bureau Of Energy Efficiency
BEVs	Battery Electric Vehicles Or Pure Electric Vehicles
BU	Billion Unit
CAIDI	Consume Average Interruption Duration Index
CAIFI	Consume Average Interruption Frequency Index
CAR	Collaborative Automotive R&D
CCS	Carbon Capture and Sequestration
CEA	Central Electricity Authority
CERC	Central Electricity Regulatory Commission
CNG	Compressed Natural Gas
COE	Centres of excellence
CRRI	Central Road Research Institute
CSIR	Council for Scientific and Industrial Research
CVD	Counter Vailing Duty
CVs	Commercial Vehicles
CVT	Continuously Variable Transmission

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

DG	Distributed Generation
DHI	Department of Heavy Industries
DSM	Demand Supply Management
DST	Department of Science and Technology
E2BI	Exercise Bike Generator Inverters
ECBC	Energy Conservation Building Code
EEFP	Energy Efficiency Financing Platform
EESL	Energy Efficiency Services Limited
EIG	Energy Innovation Group
ESCert	Extra Units Reduced as energy saving certificates
ESCO	of Energy Service Companies
ET	Electrotherm
EV	Electric Vehicle
FDI	Foreign Direct Investment
FY	Financial Year
GAIL	Gas Authority of India Limited
GARC	Global Automotive Research Center
GDP	Gross Domestic Product
GIFT	Green Initiative for Future Transport
HEVs	Hybrid Electric Vehicles
iCAT	International Center for Automotive Technology
ICE	Internal Combustion Engine
IEEE	Institution of Electrical and Electronics Engineer
IGCC	Integrated Coal Gasification Combined Cycle

IIMs	Indian Institute of Managements
IITs	Indian Institute of Technologies
IPR	Intellectual Property Rights
IS	Indian Standards
JNNSM	Jawaharlal Nehru National Solar Mission
LCVs	Light Commercial Vehicles
LE	Life Extension
LPG	Liquefied Petroleum Gas
MAIFI	Momentary Average Interruption Frequency Index
MiEV	Mitsubishi Innovative Electric Vehicle
MNRE	The Ministry Of New And Renewable Energy
MoCA	Ministry of Consumer Affairs
MoCIT	Ministry of Commerce Industry and Textiles
MoEF	Ministry of Environment And Forests
MoF	Ministry of Finance
MoHIPE	Ministry of Heavy Industries and Public Enterprises
MoP	Ministry of Power
MoPNG	Ministry of Petroleum And Natural Gas
MoRTH	Ministry of Road Transport And Highways
MPVs	Multi-Purpose Vehicles
MTEE	Market Transformation for Energy Efficiency
MU	Million Unit
MWh	Mega Watt Hour
NAB	National Automotive Board



## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

NAPCC	National Action Plan On Climate Change
NATIS	National Automotive Testing And Implementation Society (NATIS)
NATRAX	National Automotive Test Tracks
NATRiP	National Automotive Testing And R&D Infrastructure Project
NBEM	National Board For Electric Mobility
NCEM	National Council For Electric Mobility
NEMMP	National Electric Mobility Mission Plan
NHERM	National Hydrogen Energy Road Map
NIIT	National Institute for Automotive Inspection, Maintenance & Training
NMEEE	National Mission on Enhanced Energy Efficiency
NMEM	National Mission for Electric Mobility
NMHEV	National Mission for Hybrid and Electric Vehicles
NSDC	National Skill Development Corporation
NUTP	National Urban Transport Policy
NVH	Noise, Vibration & Harshness
OEM	Original Equipment Manufacturers
PAT	Perform Achieve and Trade
PFBR	Prototype Fast Breeder Reactor
PHEVs	Plug-in Hybrid electric vehicle
PVs	Passengers Vehicles
R- APDRP	Restructured-Accelerated Power development and Reforms Program
R&D	Research And Development

R&M	Renovation and Modernization
RE	Renewable Energy
REC	Renewable Energy Certificate
RECC	REVA Electric Car Company
REV	Range-extended Electric Vehicle
RLNG	Regasified Liquefied Natural Gas
RPO	Renewable Purchase Obligation
SAIFI	System Average Interruption Frequency Index
SERCs	State Electricity Regulatory Commissions
SIAM	Society of Indian Automobile Manufacturers
STUs	State Road Transport Undertakings
T&D	Transmission and Distribution
TCO	Total Costs of Ownership
TIFAC	Technology Information, Forecasting and Assessment Council
TMETC	Tata Motor European Technical Centre
UT	Union Territories
UVs	Utility Vehicles
VAT	Value Added Tax
VRDE	Vehicle Research and Development Establishment
WG-Infra	Working Group on infrastructure
xEV	Reliable, Affordable And Efficient Electric Vehicles

**Currency rate used in the report:**

1 INR = 0.012 Euros, as on 13 January 2014

### Kurzfassung

---

*Anmerkung: Die hier dargestellte Kurzfassung fasst die Gesamtergebnisse der Regionalstudie Indien, wie im Projektendbericht<sup>1</sup> Kapitel 5.2.6 zusammen. Die Informationen wurden zum Teil gegenüber der beauftragten Regionalstudie Indien auf Basis zusätzlicher Quellen aktualisiert und ergänzt.*

### Regierung / Politik / Öffentliche Infrastruktur

Eine Bestrebung der indischen Regierung ist es, den Anteil an alternativen Kraftstoffen in der Fahrzeugflotte des Landes zu erhöhen. Neben anderen Technologien spielt auch die Elektromobilität hierbei eine Rolle. Der indische Staat verfolgt mit der Förderung der Elektromobilität nach Expertenansicht drei Ziele: Angesichts der Abhängigkeit des Straßenverkehrs vom Erdöl soll die langfristige Versorgungssicherheit durch die Bereitstellung von alternativen Energiequellen gewährleistet werden. Zweitens soll die heimische Autoindustrie gefördert und die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie des Landes gestärkt werden. Drittens sollen die negativen Effekte des Straßenverkehrs auf die Umwelt gemindert werden; hier steht primär die Verringerung der lokalen Luftverschmutzung und weniger das Potential zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Mittelpunkt.

### Akteure

In der Förderung der Elektromobilität spielt das Ministry of Heavy Industries and Public Enterprises (MoHIPE) eine zentrale Rolle. Die dortige Abteilung für Schwerindustrie (Department of Heavy Industries) ist zuständig für die Forschungsförderung im Automobilsektor und hat zu diesem Zweck zukunftsweisende Programme, insbesondere den National Electric Mobility Mission Plan (NEMMP) 2020, aufgelegt. Weitere wichtige Akteure sind die zwei vom Ministerium gegründeten Agenturen National Council for Electric Mobility (NCEM) und das National Board for Electric Mobility (NBEM). Zusätzlich plant die Regierung den Aufbau des National Automotive Board (NAB), das die Funktion eines Beratungsorgans in technischen Fragen und des Sekretariats für das NCEM und das NBEM übernehmen wird. Gleichzeitig soll das NAB als Moderator zwischen Regierung und Industrie dienen, sowie die FuE-Aktivitäten im Sektor fördern und wird daher mit verantwortlichen Akteuren aus Ministerien bzw. Verwaltung, Forschung und Industrie besetzt.

---

<sup>1</sup> DLR und Wuppertal Institut (2014): Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität (STROM Begleitung). Abschlussbericht des DLR und des Wuppertal Instituts im Rahmen des Themenfeldes „Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM)“ an das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Stuttgart, Wuppertal, Berlin.

## Programme und Maßnahmen

Als wichtigste staatliche Programme und Strategien sind die Auto Policy von 2002, der „Automotive Mission Plan 2006-16“ und der NEMMP 2020 zu nennen.

Das Ziel der Auto Policy von 2002 war die Etablierung einer global wettbewerbsfähigen Autoindustrie in Indien und die Verdopplung ihres Beitrags zur indischen Wirtschaftskraft bis 2010. Der 12. Fünf-Jahres-Plan Indiens für den Zeitraum 2013-17 hat die Gültigkeit dieser politischen Ziele auch über 2010 hinaus bestätigt. Um die lokalen Produktionszahlen zu erhöhen und gleichzeitig die spezifische Binnennachfrage in Indien zu bedienen, unterstützte die Politik gezielt die Herstellung von Kleinwagen. Zur Zielerreichung wurden außerdem ausländische Kapitalbeteiligungen an Auto- und Komponentenherstellern von bis zu 100 % erlaubt. Zusätzlich beinhaltete die Auto Policy steuerliche und finanzielle Anreize für die Förderung von Forschung und Entwicklung in der Automobilindustrie.

Der „Automotive Mission Plan 2006-16“ wurde auf Basis der Ziele der Auto Policy von 2002 entwickelt. Der Plan bekräftigte die Absicht der Auto Policy, Indien als attraktiven Standort für Automobilentwicklung und -fertigung zu etablieren. In der Folge soll die indische Autoindustrie bis zum Jahr 2016 einen Beitrag von mehr als 10 % zum BIP liefern und 25 Mio. zusätzliche Arbeitsplätze schaffen. In einer 10-Jahres-Roadmap für die Industrie deckt der Plan sämtliche wachstumsrelevante Aspekte ab, von Fiskalpolitik, Emissions- und Sicherheitsregeln bis zu Globalisierungsaspekten hinsichtlich technischer Standards und der Verbesserung von Wettbewerbsfähigkeit und technischer Fertigkeiten. Besonderes Gewicht legt der Plan auf die Unterstützung von FuE-Initiativen. Er betont die Notwendigkeit der Eigenentwicklung oder des Erwerbs von Technologien für alternative Kraftstoffe und Hybrid-Motoren und die Wichtigkeit einer Förderung der Herstellung von sparsamen, für den indischen Markt geeigneten Fahrzeugen, z.B. Hybridfahrzeugen, um die Abhängigkeit von konventionellen Kraftstoffen zu verringern (MoHIPE 2012).

Die Auto Policy und der Automotive Mission Plan zielen somit primär auf ein generelles Wachstum der von Diesel- und Benzinantrieben dominierten Automobilindustrie ab. Es wird jedoch wegen der negativen Umwelteffekte auf die Notwendigkeit einer Stärkung von alternativen Antrieben hingewiesen.

Dagegen bezieht sich der im Februar 2013 veröffentlichte National Electric Mobility Mission Plan 2020 schwerpunktmäßig auf die Förderung der Elektromobilität. Der NEMMP formuliert das Ziel eine sich selbst tragende Elektroautomobilindustrie bis zum Auslaufen des Plans im Jahr 2020 zu etablieren. Mithilfe eines Maßnahmenkatalogs soll der Markt für Elektro- und Hybridautomobile bis 2020 auf eine Größe von fünf bis sieben Millionen Fahrzeugen anwachsen (Abb. 0.1).

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

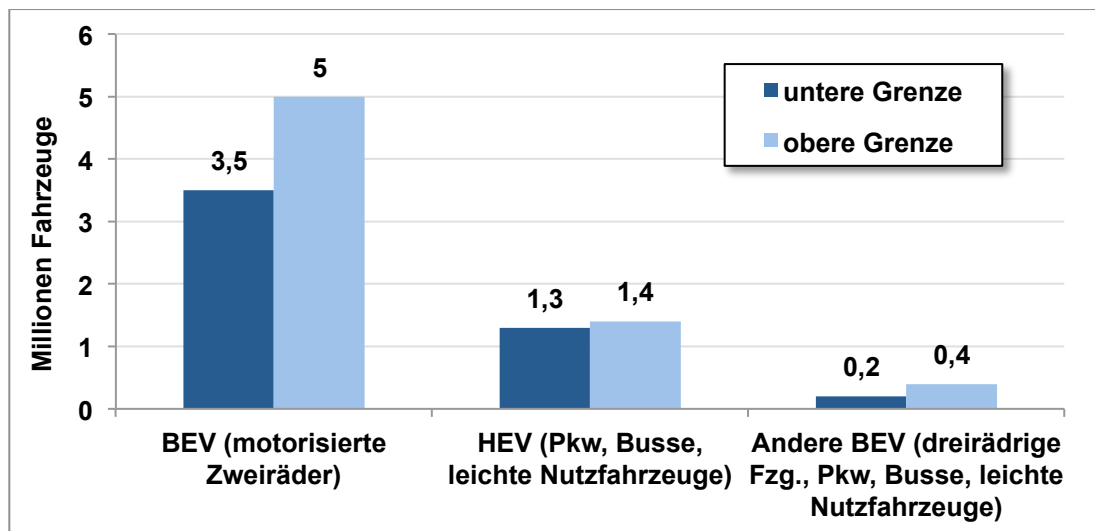


Abb. 0.1 Projizierte Nachfrage nach xEV in Indien bis 2020 laut NEMMP 2020

Quelle: Regionalstudie Indien

Der NEMMP beschreibt das Potential für elektrifizierte Fahrzeuge in Indien und benennt konkrete Maßnahmen, die nötig sind um die Marktentwicklung voranzutreiben. Die Implementierung der im NEMMP genannten Maßnahmen hängt jedoch von der Übertragung in die verschiedenen Politikinstrumente ab, die separat von der Regierung verabschiedet werden müssen.

Die prognostizierte potentielle Nachfrage (siehe Abb 0.1) nach Elektrofahrzeugen soll mithilfe eines Anreizsystems stimuliert werden, welches finanzielle Anreize in Abhängigkeit von Faktoren wie den verwendeten Technologien, Sicherheitsstandards oder dem Grad der lokalen Fertigung verteilt. Gleichzeitig soll mit weiteren nicht-monetären Maßnahmen zusätzliche Nachfrage geschaffen werden, welche wiederum einen Anreiz für Investitionen in lokalen Fertigungskapazitäten bietet. Folgende nicht-monetäre Maßnahmen werden genannt: Erwerb von Elektrofahrzeugen für die Fahrzeugflotten staatlicher Einrichtungen, Mandatierung von Elektroautos in bestimmten Gegenden und Festschreibung eines festen Anteils von elektrischen Bussen in den Flotten staatlicher Transportunternehmen. Zusätzlich empfiehlt der NEMMP 2020 vermehrte FuE-Initiativen im Elektromobilitätssektor.

Die im NEMMP vorgeschlagenen Maßnahmen haben ein erwartetes Investitionsvolumen von bis zu 233 Mrd. INR (2,79 Mrd. Euro), von denen der Großteil auf die finanziellen Anreize zur Nachfrageschaffung entfällt, gefolgt von Investitionen in FuE-Investitionen, welche zum Teil von der Industrie und zum Teil von der Regierung getragen werden sollen. Der NEMMP sieht vor, dass zusätzlich benötigte Infrastrukturinvestitionen von Industrieseite getätigt werden, wohingegen sich die Regierung nur während erster Testphasen im Infrastrukturausbau engagiert.

Von den im Rahmen der Studie interviewten Experten werden die Maßnahmen des NEMMP sehr positiv gesehen, wobei aufgrund der Unklarheit über das Wie und Wann der konkreten Umsetzung auch die tatsächlichen Auswirkungen noch unsicher sind.

## **Regulatorischer Rahmen und finanzielle Förderung**

Zurzeit sind in Indien keine Emissions- oder Kraftstoffverbrauchsstandards für Fahrzeuge in Kraft. Es wird allerdings erwartet, dass Effizienzstandards für Pkws in naher Zukunft implementiert werden. Kleinere Fahrzeuge mit einer Geschwindigkeit von weniger als 25 km/h bzw. weniger als 0,25 KW Leistung sind von der Registrierungs- und Führerscheinplicht ausgenommen. Diese Fahrzeugkategorie spielt derzeit für die Elektrofahrzeuge eine besondere Rolle insbesondere im Zweiradsegment.

Im Budget 2012-13 wurden Vergünstigungen beim Einfuhrzoll auf Hybrid- und Elektrofahrzeuge vorgesehen, sowie für zugehörige Akku-Packs.

Bis März 2012 gab es in Indien eine finanzielle Förderung für Elektrofahrzeuge: Das „Ministry of New and Renewable Energy“ zahlte unter der Voraussetzung, dass mindestens 30 % der Fahrzeugkomponenten aus inländischer Produktion stammten, finanzielle Anreize von bis zu 20 % des Kaufpreises. Nach dem Auslaufen der Subvention fielen die Verkaufszahlen für Elektrofahrzeuge um 65 %. Insgesamt wurden bis 2012 rund 47 000 Fahrzeuge gefördert. Dabei handelte es sich hauptsächlich um zweirädrige Fahrzeuge. Dreirädrige Fahrzeuge und kleine batteriebetriebene Autos, wie das Mahindra REVA-Modell, machten nur einen geringen Anteil aus.

Im NEMMP sind nun neue Kaufanreize für einen begrenzten Zeitraum vorgesehen, wobei sich der Elektromobilitätsmarkt nach einiger Zeit selbst tragen soll. Laut Regierungsexperten wird die finanzielle Förderung hierbei zwischen 25 000 und 150 000 INR (300 Euro bis 1 800 Euro), je nach Fahrzeugart, liegen. Die Förderwürdigkeit wird auf von der Regierung entwickelten Kriterien beruhen. Ein Kriterium wird der Grad der einheimischen Fertigung sein. Als weiterer Aspekt wird die Energieeffizienz der Fahrzeuge eine Rolle spielen, so dass beispielsweise Fahrzeuge mit Lithium-Ionen-Batterie höhere Fördermittel erhalten könnten. Experten zufolge sollen als weitere Kriterien Sicherheit, Emissionen, Garantien, Reichweite, Leistungsparameter, Verfügbarkeit von Service-Centern und die Gesamtbetriebskosten berücksichtigt werden.

Nachrecherche ergaben, dass das Anreizprogramm des NEMMP bis dato (Anfang 2015) noch nicht beschlossen wurde, es wird jedoch mit der Unterzeichnung der entsprechenden Gesetze im Laufe des Jahres 2015 gerechnet (The Silver Institut; Thomson Reuters GFMS 2014).

Zusätzlich zu den finanziellen Anreizen der Zentralregierung fördern bestimmte Bundesstaaten und Unionsterritorien Elektrofahrzeuge: Delhi, Rajasthan, Uttarakhand und Lakshadweep haben Elektrofahrzeuge von der Mehrwertsteuer befreit und Chandigarh, Madhya Pradesh, Kerala, Gujarat und Westbengalen bieten Vergünstigungen bei der Mehrwertsteuer (siehe Finpro 2013). Die größten Anreize für Elektrofahrzeuge bietet die Regierung von Delhi: Dort werden Steuernachlässe von bis zu 29,5 % der Kosten (15 % Bezuschussung auf den Grundpreis des Fahrzeugs, plus 12,5 % Mehrwertsteuerbefreiung, sowie eine Rückerstattung von Kraftfahrzeugsteuer- und Zulassungsgebühren von 2 %) gewährt.

Die gezielte Schaffung zusätzlicher Nachfrage ist eine zentrale Säule der Regierungsstrategie. Einige Experten sind der Meinung, dass die indische Industrie auf ebensolche Anreize wartet, um die aktuelle schwierige Marktsituation zu überwinden.

### Infrastruktur

Die derzeitige Situation der Stromerzeugung in Indien stellt eine besondere Herausforderung für die Elektromobilität in Indien dar. Die Stabilität des indischen Elektrizitätsnetzes sehen viele Experten als eine große Herausforderung beim Laden von Elektrofahrzeugen. In einigen Regionen kommt es häufiger zu Stromausfällen und große Übertragungsverluste treten auf. Zudem basiert die Stromerzeugung in Indien hauptsächlich auf Kohle, so dass Elektrofahrzeuge mittelfristig nur begrenzt zur Minderung des Kohlendioxidausstoßes beitragen können.

Einige Experten sind der Meinung, dass räumlich konzentrierte Ladekapazitäten eine Verbesserung des Netzes erfordern. Dies gilt insbesondere für räumliche Konzentration von Heimladestationen, bei denen die Ladeparameter nicht zentral gesteuert werden können. Eine weitere Option wird in der dezentralen Stromerzeugung für Ladepunkte gesehen. Andere Experten sehen diese Herausforderung jedoch als kurzfristig unbedeutend an, da die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen immer noch sehr niedrig ist und sich zunächst auf elektrische Zweiräder und Hybrid-Pkw ohne externe Stromversorgung konzentriert. Zweiräder könnten leicht zuhause ohne öffentliche Infrastruktur aufgeladen werden. Die wenigen Besitzer von Plug-in-Hybriden und reinen Elektrofahrzeugen werden voraussichtlich private Lademöglichkeiten in heimischen Garagen oder am Arbeitsplatz verwenden.

Nach derzeitigem Stand haben nur zwei Städte im Land Initiativen zur Etablierung von Ladeinfrastruktur gestartet: Neben Delhi, das an 50 seiner Umspannstationen in der Stadt Ladestationen errichtete, stattete Bangalore einige Parkplätze von Einkaufszentren und Bürogebäuden mit Ladestationen für Elektroautos aus.

### Forschungsförderung und Institutionen

Im zwölften Fünfjahresplan (2012-2017) werden etwa 7,4 Mrd. INR (88,8 Mio. EUR) als Mittel für die Forschung und Entwicklung von Elektrofahrzeugen und Hybriden bereitgestellt.

Der Automotive Mission Plan (2006-2016) benennt konkrete Empfehlungen zur Förderung von Forschung und Entwicklung im Automobilsektor: Die Bereitstellung einer 100 %-Förderung für Grundlagenforschung sowie 75 % für vorwettbewerbliche Technologien und 50 % für Produktentwicklung. Hinzu kommen Steuer- und Abgabebefreiungen.

Im NEMMP 2020 wird eine Strategie für die Forschung und Entwicklung im Bereich Elektromobilität vorgeschlagen. Der NEEMP betont die fehlenden FuE-Ressourcen der indischen Hersteller hinsichtlich Elektrofahrzeugkomponenten. Diese besitzen aktuell noch keine eigenen Patente, wohingegen in Indien ansässige ausländische Autohersteller den größten Teil ihrer FuE in ihren Heimatländern betreiben. Mittels Allianzen, Lizenzvergaben, Akquisitionen und Joint Ventures will die Regierung nun entsprechende FuE-Kapazitäten aufbauen. In fünf Forschungsfeldern soll mit besonders hoher Priorität geforscht werden:

1. Batteriezellen,
2. Batteriemanagementsysteme,
3. Leistungselektronik (insbesondere für Hybrid- und Plug-in-Hybridfahrzeuge),
4. Elektromotoren und Motoren für Hybride sowie
5. Übertragungssysteme für Hybride und die Systemintegration des Antriebsstrangs.

Außerdem wird die Notwendigkeit, die Batteriesysteme an indische Wetter- und Verkehrsbedingungen anzupassen, als besonders wichtig eingestuft.

Es wird erwartet, dass sich Universitäten und nationale Labors auf die Forschung an Batteriezellen und Elektromotoren konzentrieren und zudem Einrichtungen zum Test der entwickelten Komponenten betreiben. Für die verschiedenen Fahrzeugkategorien wurde der Investitionsbedarf durch öffentliche Mittel geschätzt (Tab. 0.1). Fahrzeug- und Komponentenhersteller sollen vor allem in den Bereichen Batteriemanagementsysteme, Leistungselektronik, Antriebsstrang-Integration und auch Elektromotoren investieren. Die Regierung will die Forschung durch Zuschüsse unterstützen und gemeinsam mit der Industrie eine entsprechende Roadmap entwickeln.

<b>Forschungsfeld</b>	<b>Zweiräder</b>	<b>Pkw</b>	<b>Busse</b>
Unterstützung von Batteriezellen-Allianzen, Technologieerwerb	2 Mrd. INR (24 Mio. EUR)	2 Mrd. INR (24 Mio. EUR)	2 Mrd. INR (24 Mio. EUR)
Entwicklung von Elektromotoren	0,5 Mrd. INR (6 Mio. EUR)	0,5 Mrd. INR (6 Mio. EUR)	0,5 Mrd. INR (6 Mio. EUR)
Komponentenvalidierung; Testeinrichtungen	0,5 Mrd. INR (6 Mio. EUR)	0,5 Mrd. INR (6 Mio. EUR)	0,8 Mrd. INR (9,6 Mio. EUR)
Komponentenentwicklung im Bereich Batteriemanagementsysteme, Leistungselektronik, Antriebsstrang	Investitionen durch OEM und Komponentenhersteller		

Tab. 0.1 Geschätzter Investitionsbedarf im Bereich Elektromobilität in Indien

Quelle: Regionalstudie Indien nach NEMMP 2020

Der Gesamtinvestitionsbedarf wird auf 16 bis 18 Mrd. INR (192-216 Mio. Euro) innerhalb der nächsten fünf Jahre geschätzt. Hiervon soll die Regierung laut NEMMP 9,3 Mrd. INR (111,6 Mio. Euro) für FuE-Zwecke beisteuern.

In den Experteninterviews wurde als eine wichtige Herausforderung für den FuE Bereich in Indien die lange Zeitspanne bis zur Veröffentlichung und Nutzbarmachung neuester Forschungsergebnisse genannt. Die von den Instituten entwickelten Technologien finden oftmals nicht den Weg bis zu marktreifen Produkten.



## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

Die Regierung plant daher die Einrichtung sogenannter 'Centres of excellence' (COE), welche die Forschungscoordination und den Austausch zwischen Forschungsinstitutionen und Industrie verbessern sollen. Die COEs sind Forschungsinstitute, die exzellente Kenntnisse in einem der folgenden spezifischen Forschungsfelder aufbauen sollen:

- Batterien und Batterieladung
- Motoren und Leistungselektronik und
- Systemintegration einschließlich Leichtbaudesign und Wärmemanagement.

Die COE sollen hierbei die Lücke zwischen Forschung und Produktentwicklung schließen und Forschungsergebnisse für die Industrie anwendbar machen.

Experten sind sich außerdem einig, dass Indien sich in den meisten Bereichen nicht auf die Grundlagenforschung fokussieren sollte, da man dort nicht mit der Erfahrung westlicher Forschungseinrichtungen konkurrieren könne. Stattdessen beabsichtigt man, sich auf angewandte Forschung und die Anpassung bestehender Technologien an indische Anforderungen zu konzentrieren. Die befragten Akteure sehen vor allem in der Weiterentwicklung von Fahrzeugkomponenten hinsichtlich der spezifischen Anforderungen an Robustheit, unkomplizierter Wartung und den klimatischen Bedingungen in Indien die Notwendigkeit weiterer Forschung. Das Wärmemanagement ist hierbei ein zentrales Forschungsthema, um den indischen Klimabedingungen gerecht zu werden. In diesem Bereich gelten die Integration der Batterie- und Motorkühlung als ein Kernthema der Forschung. Große Potentiale werden auch in der Forschung und Entwicklung von Leistungselektronik und der Software-Forschung gesehen.

Das NATRiP (National Automotive Testing And R&D Infrastructure Project) ist eine zentraler Akteur im Bereich der indischen FuE Tätigkeiten im Bereich elektrifizierter Fahrzeuge. Es wurde gegründet, um Forschung und Entwicklung zu fördern, sowie Freigaben und Tests im Automobilsektor durchzuführen. Das Programm wird für einen begrenzten Zeitraum vom Staat finanziell unterstützt und soll langfristig als Koordinierungsstelle für Testaktivitäten und als Datenzentrum dienen, mit dessen Hilfe Forschung betrieben werden kann.

Als bedeutende Institutionen, die in Indien Forschung im Automobilsektor betreiben, wurden das Indian Institute of Technologies (IITs), das Council for Scientific and Industrial Research (CSIR), die Automotive Research Association of India (ARAI) und das Indian Institute of Petroleum, identifiziert. In einer durch die ARAI entworfenen Roadmap ist der Aufbau von FuE-Kapazitäten und Kompetenzen geplant, um kostengünstige und an indische Verhältnisse angepasste Technologielösungen zu entwickeln. Neben Leichtbau-Personenbussen liegt der Fokus der Entwicklung auf Hybridfahrzeugen.

## Wirtschaft und Industrie

Die Automobilindustrie ist ein wichtiger Wirtschaftszweig in Indien, insbesondere seitdem der Automobilsektor 1991 vollständig für Auslandsdirektinvestitionen geöffnet wurde. Die Fahrzeugproduktion stieg von zwei Mio. Einheiten in 1991 auf über 20 Mio. in 2011/2012 an (siehe (MoHIPE 2006) und (MoHIPE 2012)). 75 % der in Indien hergestellten Fahrzeuge sind Zweiräder, gefolgt von Pkw mit einem Anteil von 17 %, sowie Nutzfahrzeugen und Dreirädern mit jeweils 4 %.

Der Automobilsektor hat heute einen Anteil von ca. 6 % am BIP. In 2010/2011 betrug der Anteil des Sektors an der industriellen Wertschöpfung 22 %. Direkt und indirekt bietet die Branche Beschäftigung für mehr als 13 Mio. Menschen (MoHIPE 2012).

Derzeit existieren in Indien 19 Hersteller von Pkw und Mehrzweckfahrzeugen und 16 Hersteller von Zwei- und Dreirädern. Hierunter sind neben nahezu allen großen globalen Autoherstellern auch indische Unternehmen. Im Pkw-Segment hat die Maruti Udyog Ltd. den höchsten Marktanteil (49 %), gefolgt von Hyundai (18 %) und Tata Motors (13 %). Bei den Zweirädern ist dagegen die Hero MotoCorp Ltd. mit 55 % Marktanteil in 2010/2011 vor der Bajaj Auto Ltd. (27 %), sowie der Honda Motorcycle and Scooter India (Pvt) Ltd. und der TVS Motor Company Ltd. mit jeweils 7 % der führende Hersteller.

Im Segment der elektrifizierten Pkw sind derzeit nur sehr wenige Marktakteure vertreten:

- Mahindra REVA e2o – seit 2013 verfügbar ) als BEV mit einer Reichweite von 100 km und einem Preis ab 700 000 INR (8 400 Euro) (ein Nachfolgemodell des REVA/ G-Wiz, welcher 2001 auf dem Markt gebracht wurde und 2008 vom REVAi / G-Wiz i abgelöst worden war)
- Toyota Prius – seit 2010 auf dem indischen Markt verfügbar, aber aufgrund des hohen Preises von rund 3 Mio. INR kaum Absatz auf dem indischen Markt
- Toyota Camry Hybrid – seit Sommer 2013 für ca. 3 Mio. INR auf dem Markt verfügbar; Fertigung in Indien

Der Civic Hybrid von Honda, der Mitte 2008 auf den indischen Markt gebracht wurde, wurde aufgrund schwacher Verkaufszahlen trotz einer Preissenkung von 2,2 Mio. INR auf 800.000 INR wieder vom Markt genommen. Viele Hersteller haben die Einführung von Fahrzeugen auf dem indischen Markt für die nahe Zukunft angekündigt.

Viele internationale Hersteller, vor allem aus Japan und Südkorea, produzieren aktuell bereits konventionelle Pkw in Indien. Einige befragte Experten erwarten, dass diese Unternehmen Hybrid-Autos für den indischen Markt herausbringen werden. Im Gegensatz dazu werden Premiumhersteller aufgrund des kleinen Marktsegments wahrscheinlich keine Autos speziell für den indischen Markt entwickeln. Ein Produktionsstandort in Indien ist für internationale Hersteller hierbei von hoher Bedeutung, da erwartet wird, dass in den geplanten Anreizsystemen für Elektroautos ein Anteil von 30 % an lokaler Fertigung vorausgesetzt wird.

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

Ein besonderes Merkmal von Indiens Elektrofahrzeug-Industrie ist die Dominanz von Zweirädern. Die befragten Experten sehen Zweiräder als das wichtigste Segment für die Elektrifizierung in den kommenden Jahren. Im Pkw-Bereich wird ein Potential für Hybridfahrzeuge (HEV) gesehen.

Auf dem Markt für elektrische Zweiräder ist die Firma Hero Electric Marktführer und stellt eine breite Palette von Elektro-Zweirädern her. Electrotherm (India) Ltd. vermarktet elektrische Zweiräder unter der Marke YObykes in Indien und ist der drittgrößte Zweirad-Hersteller Indiens. Ebenso bietet die TVS Motor Company verschiedene elektrische Zweirad-Modelle an.

Die elektrischen Zweiräder haben in der Regel eine Bleisäure-Batterie und haben eine Reichweite von 40-45 km pro Ladung, wodurch sie geeignet sind für tägliche kurze bis mittellange Wege. Diese Zweiräder werden für 15 000-30 000 INR (180-360 Euro) verkauft und haben mit INR 0.1/km sehr geringe Betriebskosten. Der Batteriewechsel kostet rund 5 000-7 000 INR (60-84 Euro).

Zurzeit gibt es noch keine bewährten Geschäftsmodelle für den Verkauf von Elektroautos in Indien, allerdings haben Mahindra REVA und Hero Electric vor kurzem Batterie-Leasing-Modelle vorgestellt. Der E-Zweirad-Hersteller Hero Electric hat sein Batterie-Miet-Modell bereits für Großkunden eingeführt; ein Batterietauschmodell mit einem Netz an Tauschstationen ist in Planung.

Die Erwartungen an die weitere Entwicklung der E-Auto-Branche in Indien sind stark abhängig von den noch zu verabschiedenden Politikinstrumenten, insbesondere den Kaufanreizen. Nach Ansicht vieler Experten warten die Hersteller angesichts aktueller niedriger Verkaufszahlen auf das Anreizsystem der Regierung. Da es eine zeitliche Lücke zwischen der alten und der bevorstehenden Subventionsregelung gibt, ist die derzeitige Strategie der Elektrofahrzeughersteller nicht auf Wachstum, sondern auf das Überleben ausgerichtet. Aufgrund dieser unsicheren Situation haben die Hersteller herkömmlicher Fahrzeuge in Indien kaum Interesse an Investitionen in Elektromobilität. Darüber verfügen die meisten inländischen Hersteller nicht über die erforderlichen Überschüsse, um in FuE für Elektroautos investieren zu können.

Robustheit und Einfachheit sind die zentralen Merkmale bestehender indischer Elektrofahrzeuge. Anstelle von technologischer Neu- und Weiterentwicklung werden bestehende und bewährte Komponenten verwendet und funktionell kombiniert. Dies ermöglicht Automobilherstellern und Lieferanten den relativ leichten Eintritt in den Markt der Elektromobilität. Für die Zukunft erwarten Experten viele technische Weiterentwicklungen, wie z.B. den Einsatz von dauermagneterregten Elektromotoren. Außerdem gehen Experten davon aus, dass die elektrische Spannung der indischen Elektroautos, aufgrund geringerer Kosten und höherer Sicherheit, niedriger als in anderen Märkten sein wird. Die niedrigere Spannung ermöglicht auch eine einfachere Wartung in den für Indien typischen relativ simplen Werkstätten.

Eine Anpassung der Komponenten an die lokalen Klimabedingungen und Nutzungsmuster ist laut Experten nötig. Problematisch sei jedoch, dass der indische Markt sehr begrenzt ist, so dass nicht immer eine ausreichend große Menge dieser Technologien nachgefragt wird.

Die momentane Batterietechnologie in Indien beschränkt sich auf herkömmliche Bleisäurebatterien, Obwohl Mahindra REVA bereits eine eigene Lithium-Ionen Batterie für den e2o entwickelt hat, wird erwartet, dass fortschrittlichere Li-Ion-Akkus aufgrund der relativ hohen Kosten keine relevante Rolle im indischen Markt der näheren Zukunft spielen werden.

## **Verbraucher und Marktentwicklung**

Indien ist derzeit zweitgrößter Zweirad-Markt und siebtgrößter Pkw-Markt der Welt (ICRA 2011). Weiteres starkes Wachstum wird für die Zukunft erwartet.

Neben den dominierenden Zweirädern sind Pkws das zweite wichtige Segment auf dem indischen Markt. Innerhalb dieses Segments sind Kompakt- und Kleinwagen der Kategorien A2 (3401-4000 mm) und A1 (bis 3400 mm) die meistverkauften Modelle. Es gibt ein starke Präferenz indischer Kunden für kleine, günstige und verbrauchsarme Autos. Allerdings erlebte auch die Nachfrage nach Luxusautos ausgehend von einem sehr niedrigen Niveau seit 2005/2006 ein beispielloses Wachstum.

In Indien werden jährlich ca. 2.5 Millionen Neuwagen (inkl. Pkws und Mehrzweckfahrzeugen) abgesetzt. Die indischen Konsumenten fragen überwiegend Fahrzeuge mit Benzinmotor nach (Marktanteil von 77 %). Vollständige Daten für den Marktanteil von Elektrofahrzeugen sind für Indien nicht verfügbar. Aus Verkaufszahlen einzelner Hersteller oder Modelle lässt sich jedoch ableiten, dass Elektrofahrzeuge nur einen sehr geringen Anteil der verkauften Fahrzeuge auf dem indischen Markt ausmachen. Beispielsweise wurden vom REVA, Indiens einzigem reinen Elektro-Auto, im Januar 2011 nur rund 50 Einheiten verkauft, was bei 184 332 abgesetzten Neuwagen in diesem Monat nur einen Anteil von 0,027 % darstellt. Auf dem Markt für Zweiräder waren von etwa 13 Millionen verkauften Einheiten in 2010/2011 rund 85 000 bzw. 0,65 % mit Elektroantrieb ausgestattet (Deloitte 2011). Die Entscheidung der indischen Verbraucher für ein Fahrzeug beruht generell auf den Faktoren Anschaffungs-, Betriebs- und Wartungskosten, Leistung, sowie der Eignung für die eigenen Bedürfnisse und die Verkehrsbedingungen. In Indien spielt der Kaufpreis eine wichtige Rolle, während die Gesamtbetriebskosten (TCO) von den Verbrauchern unterbewertet werden. Auch wenn Elektroautos niedrigere TCO als herkömmliche Fahrzeuge haben, bevorzugen die meisten Verbraucher herkömmliche Fahrzeuge aufgrund ihres geringeren Kaufpreises. Elektroautos gelten als untermotorisiert und zu teuer. Die sehr preissensiblen indischen Verbraucher sind außerdem nicht bereit, für technologische Innovation einen Preisaufschlag zu bezahlen. Laut der Verbraucherbefragung im NEMMP 2020 waren die Verbraucher bereit, eine Prämie von bis zu 10 bis 20 % für Hybridfahrzeuge zu zahlen, wenn sie von niedrigeren Betriebskosten innerhalb von 2-3 Jahren ausgeglichen würden.

Die Umweltfreundlichkeit ist hingegen für viele Kunden kein entscheidendes Kriterium, wie auch eine Verbraucherbefragung im Rahmen des NEMMP 2020 bestätigt. Dennoch ermittelte die

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

Verbraucherbefragung eine hohe latente Nachfrage nach Elektroautos: Etwa 25 bis 30 % der befragten Verbraucher äußerten eine starke Präferenz für Elektroautos, allerdings unter der Voraussetzung, dass Preis- und Leistungserwartungen angemessen erfüllt werden. Hybridfahrzeuge werden von 14 bis 15 % der Befragten bevorzugt, gefolgt von Plug-Ins (9-10 %), wohingegen nur 5 % sich für reine batteriebetriebene Fahrzeuge entscheiden würden. Aufgrund wirtschaftlicher Vorteile haben im Zweirad-Segment sogar 55 bis 60 % der Befragten eine hohe Präferenz für batteriebetriebene Zweiräder.

In der Folge ist die momentane Kundenbasis für Elektrofahrzeuge sehr klein. Elektro-Pkw werden vor allem von gehobenen Kunden genutzt. Darüber hinaus werden Elektrofahrzeuge oft lediglich als Zweit- oder Drittwagen der Familie verwendet, da sie aufgrund eines Mangels an Vertrauen in die neue Technologie nicht als Erstwagen infrage kommen (Finpro 2013).

Ähnlich ist es im Segment der Zweiräder, allerdings wurde in Folge der Anreizsetzung zur Nachfragegenerierung durch die MNRE-Regelungen ein Anstieg der Verkäufe insbesondere von Elektrozweirädern beobachtet. Diese profitieren von einem relativ großen Angebot durch regionale Hersteller und davon, dass Fahrzeuge mit Motorleistung von weniger als 250 W und Spitzengeschwindigkeit von 25 km/h von der Registrierung und Kfz-Steuer befreit sind und ohne Führerschein gefahren werden können.

Der NEMMP rechnet, basierend auf Verbraucherbefragungen, Expertendiskussionen und eines TCO-Modells, mit einer Marktdurchdringung von 14 bis 16 % von Elektro- und Hybridfahrzeugen bis 2020. Die projizierte Marktdurchdringungsrate basiert auf der Annahme einer Implementierung von starken Nachfrageschaffungsmaßnahmen, wie sie im NEMMP vorgesehen sind.

Die meisten Experten sehen die hohen Kosten als die größte Herausforderung für die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen in Indien. Die befragten Experten bestätigen die Annahme, dass die indischen Verbraucher viel sensibler als europäische Kunden auf Preisunterschiede reagieren. Experten aus der Industrie erwähnten, dass die Verbraucher erhebliche Preisnachlässe auf Elektromobile mittels staatlicher Subventionen erwarten. In der Vergangenheit hatten bereits geringe Anreize große Auswirkungen auf die Marktdurchdringung von Elektromobilen im Zweirad-Segment. Die befragten Experten gehen davon aus, dass in Indien – insbesondere in Ballungsräumen - ein erhebliches Potenzial für leichte, einfache und kleine Fahrzeuge besteht, die für kurze Strecken geeignet sind. Ein Regierungsexperte plädierte dafür, Elektrofahrzeuge in Indien insbesondere im öffentlichen Verkehr als Busse, Transporter oder Taxis einzusetzen, da das Potenzial für privat gehaltene Elektrofahrzeuge begrenzt sei.

Im Vierrad-Segment sehen die befragten Stakeholder ein erhebliches Potenzial nur für Hybridfahrzeuge. Da die Kosten für Mild-Hybride vergleichsweise niedrig sind, gehen die Experten davon aus, dass diese in drei bis vier Jahren sehr häufig in Indien zu finden sein werden. Künftige Kraftstoffeffizienznormen für Pkw könnten die Verbreitung der Hybride steigern. Hinsichtlich der Entwicklung bei Fahrzeugen mit einem höheren Grad an Elektrifizierung unterscheiden sich die Expertenmeinungen: Einige sehen eine Schritt-für-Schritt-Elektrifizierung

von Hybriden über Plug-Ins zu reinen Elektromobilen, andere erwarten eine parallele Verbreitung, wobei reine Elektromobile hauptsächlich für Nischenanwendungen eingesetzt werden. In der Regel wird relativ wenig Potenzial für rein batterieelektrische Pkw in Indien gesehen, während das Potential für rein elektrische Zweiräder deutlich höher eingeschätzt wird. Laut Expertenmeinung werden 75 bis 80 % der elektrifizierten Fahrzeugen im Jahr 2020 batteriebetriebene Zweiräder sein.

### **Fazit - Gesamtbetrachtung des Status quo der Elektromobilität in Indien**

Indien verfügt über einen stark wachsenden Kraftfahrzeugmarkt, gleichzeitig leiden viele indische Städte unter massiver Luftverschmutzung. Die Entwicklung der Elektromobilität befindet sich in Indien jedoch noch im Anfangsstadium. Dies betrifft sowohl die derzeitige Verfügbarkeit elektrifizierter Fahrzeuge und das Technologielevel heimischer Produkte als auch die politischen Rahmenbedingungen und die Reife des Marktes. Auch im Bereich der Forschung und Entwicklung von elektrifizierten Fahrzeugen liegt Indien weit hinter etablierten Herstellernationen zurück und leidet an einer fehlenden Integration zwischen Forschung und Industrie.

Die Regierung zeigt jedoch Ambitionen, Elektromobilität in Indien voranzutreiben, insbesondere durch die Entwicklung des ‚National Electric Mobility Mission Plan 2020‘. Die darin formulierte Strategie beruht insbesondere auf der Entwicklung des Marktes durch monetäre Kaufanreize, sowie der Stärkung heimischer Industrie und der Forschung und Entwicklung. Auch wenn einige der im NEMMP genannten Maßnahmen bereits implementiert werden, sind zentrale Elemente wie beispielsweise Kaufanreize noch nicht verabschiedet. Aktuell ist noch unklar, inwieweit die Regierung den im Plan ausgearbeiteten Vorstellungen folgt.

Indische Verbraucher reagieren sehr sensibel auf den Kaufpreis angebotener Fahrzeuge. Dass Kaufanreize das Potential haben, den indischen Markt für Elektrofahrzeuge signifikant zu beeinflussen, hat sich in der Vergangenheit durch das mittlerweile ausgelaufene Subventionsprogramm des MNRE gezeigt. Um den Ansprüchen der Nutzer gerecht zu werden, konzentrieren sich die indischen FuE Aktivitäten und die Produktentwicklung der heimischen Industrie auf simple, kostengünstige und robuste elektrifizierte Fahrzeuge, die den lokalen Ansprüchen entsprechen.

Es ist zu erwarten, dass auch unter positiven Voraussetzungen, d.h. Implementierung von Kaufanreizen, Indien kurzfristig in erster Linie einen signifikanten Markt für elektrische Zweiräder darstellt. Diese sind im Betrieb und hinsichtlich der ökonomischen Rahmenbedingungen für die Nutzer attraktiver als elektrifizierte Pkw. Während Hybrid-Pkw mittelfristig Absatz bei der aufstrebenden indischen Mittelschicht finden könnten, wird der Einsatz von Plug-in Hybriden und rein elektrischen Pkw auch durch eine fehlende Infrastruktur eingeschränkt. Ein signifikanter Ausbau der Ladeinfrastruktur ist durch fehlende finanzielle öffentliche Mittel und Anreize für Investoren sowie ein überlastetes Stromnetz mittelfristig kaum zu erwarten.

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

Die Situation der Elektromobilität in Indien unterscheidet sich stark von der in Europa, USA oder Japan und steht in einigen Punkten exemplarisch für weitere Schwellen- und Entwicklungsländern. Produkte, die den speziellen Ansprüchen des indischen Marktes entsprechen, könnten auch in anderen Schwellenländern Absatz finden.

### Literaturverzeichnis Kurzfassung

Deloitte. „Gaining traction: Will consumers ride the electric vehicle wave? India results, Deloitte, August 2011.“ 2011.

Finpro. Electric Mobility in India 2013. 2013. <http://de.scribd.com/doc/202761422/Finpro-Electric-Mobility-in-India-2013> (Zugriff am 19. 09 2014).

ICRA. Indian Passenger Vehicle Industry: Growth Momentum to Continue. 2011. <http://www.icra.in/Files/ticker/PV-Industry-201103.pdf> (Zugriff am 19. 09 2014).

MoHIPE. Automotive Mission Plan 2006-2016. 2006. [http://dhi.nic.in/Final\\_AMP\\_Report.pdf](http://dhi.nic.in/Final_AMP_Report.pdf) (Zugriff am 19. 09 2014).

—. Report of the Working Group on Automotive Sector for the 12th Five Year Plan (2012-2017). 2012. [http://planningcommission.nic.in/aboutus/committee/wrkgrp12/wg\\_auto1704.pdf](http://planningcommission.nic.in/aboutus/committee/wrkgrp12/wg_auto1704.pdf) (Zugriff am 19. 09 2014).

The Silver Institut; Thomson Reuters GFMS. „World Silver Survey - A Summary.“ Washington, 2014.

### 1.1 Project Background: STROM and STROM-ASSIST

The German Federal Ministry of Education and Research is funding the Project STROM, in which 18 electric mobility projects are being executed by several agencies.<sup>2</sup> Project STROM is accompanied with the research project, STROM-Assist that aims at identifying key technologies for the deployment of electric vehicles in the future. The total program has a funding sum of around € 180 million. The project consortia include vehicle manufacturers, tier-1 and tier-2 suppliers, universities and research institutes. The program has a strong approach towards applied concepts and practices with a high market potential in the future. The STROM-projects cover the following categories (technology cluster):

- [[ Vehicle Concept
- [[ Lightweight Construction
- [[ Electric Engine
- [[ Thermo Management of Batteries and Motors
- [[ Power Electronics
- [[ Range Extender

The projects in this program focus on the technical development of such technologies. STROM-Assist accompanies these projects by reflecting national research efforts within the context of developments in electric mobility in different global regions.

### 1.2 Scope of the Subproject “Regional Trends in Electric Mobility”

The subproject “Regional Trends in Electric Mobility” aims at identifying and analysing major trends in the field of electric mobility. The trend analysis aims to monitor research efforts and upcoming technologies, policies, products and market developments in different focus regions around the world continuously to enable a systematic analysis of global trends. The regional trend analysis for electric mobility is a major keystone for the success of Project STROM.

Objects of analysis in the subproject “Regional Trends in Electric Mobility” include various forms of battery-electric, road-based vehicles ranging from e-bikes to electric buses; the focus however is more on electric passenger cars. The analysis covers vehicles that have electric assisted drive systems as well as vehicles that derive all power from batteries. Furthermore, associated technologies, infrastructures, business models and mobility concepts are under investigation. The analysis covers not only well-known vehicle technologies and mobility concepts, but also includes innovative approaches for electric mobility.

---

<sup>2</sup> Information on programs funded by the Federal Ministry: <http://www.bmbf.de/en/14706.php>



### 1.3. Methodology Regional Study India

The results presented in this document are based on desktop research, on a review of scientific literature and grey literature as well as on interviews with local stakeholders. A researcher team consisting of representatives the Wuppertal Institute, TERI and DLR conducted the interviews in May 2013. Most of the interviews took place in Delhi. The consultation of local experts served to obtain information that complemented the result of the literature review. The interviews provided additional information especially concerning ongoing developments and related to topics, which are insufficiently covered in public documents. In addition, current experiences and expert assessments and opinions on the further development of electric mobility in India were collected.

The interviews within the framework of the regional study India focused on four branches:

- Policy framework and strategies (e.g. funding programmes and budgets, standards and regulations, infrastructure and electricity industry, adequacy of the current policy framework)
- Focus areas of research and development (e.g. research topics, organisation of the electric mobility research, cooperation between different actors)
- Economy and industry (e.g. main manufacturers of electric vehicles, strategies and business models in the broader sense)
- Consumer and markets (trends, acceptance of electric vehicles, current users)

Representatives of twelve different institutions were interviewed. Among these institutions were automobile associations or respective umbrella organisations, industrial companies, research institutes, ministries and agencies (Table 1). Often, experts from different departments within the respective institutions took part in the interviews.

**Table 1: Overview about the interview partners of the research trip to India**

Institution	Department	Field of expertise
BMW India	Government Affairs	Industry
Society of Indian Automobile Manufacturers (SIAM)		Association
National Automotive Testing and F&E Infrastructure Project (NATRiP)	Operations	Association
Ministry of New and Renewable Energy	Battery Operated Vehicles	Policy
Hero Electric	Global Business	Industry
Society of Manufacturers of Electric Vehicles (SMEV)	Corporate Affairs	Association

Technology Information, Forecasting and Assessment Council (TIFAC)	Collaborative Automotive Research	Research, policy
Department of Science & Technology	Technology Platform Electric Mobility	Research, policy
Daimler India		Industry
Mahindra REVA	Business Development and Mobility Solutions	Industry
TVS Motor Company	Advanced Engineering	Industry
Indian Institute of Technology, Delhi		Research

The results were reviewed and structured according to the four fields of investigation. The outcomes of the interviews are used anonymously in the regional study and are summarized at the end of each thematic field.

## THE STUDY REGION

### 2.1 Classifications and Statistics in the Study Region

#### 2.1.1 Vehicle classification

Vehicle classifications in EU and India vary significantly as different criteria are used to categorize vehicles in defined categories. Table 2.1 indicates these differences in the case of classification of passenger vehicles i.e. cars and two-wheelers in EU and India. It could be noted from the table that while in EU, maximum mass and seating capacity are used to categorize passenger cars, in India length and shape of the car are additional criteria for classifying passenger cars.

Table 2.1: Criteria for vehicle classification in EU and India

EU vehicle classification		Indian vehicle classification**	
Vehicle category	Vehicle classification criteria	Vehicle category	Vehicle classification criteria
<b>Category M</b> - Motor vehicles having at least four wheels and for the carriage of passengers  <b>M1 to M3</b>	Maximum mass and seating capacity	<b>Passenger vehicles</b> <b>A:</b> Passenger cars <b>B:</b> Utility vehicle <b>C:</b> Multi-purpose vehicle	A: length and shape of vehicles  B; C: Maximum mass and seating capacity
<b>Category L</b> - Mopeds, motorcycles, motor tricycles and quadricycles  Moped: L1e, L2e Motorcycles: L3e, L4e Motor tricycles: L5e Quadricycles: L6e, L7e	Moped: No. of wheels, design speed, engine capacity and power  Motorcycles: Sidecar, engine capacity, design speed  Motor tricycles: : No. of wheels, design speed, engine capacity  Quadricycles: No. of wheels, design speed, engine capacity and power	<b>Two Wheelers</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>A:</b> Scooter/scooterettee</li> <li>• <b>B:</b> Motor cycles/step-throughs</li> <li>• <b>C:</b> Mopeds: Engine capacity</li> <li>• <b>D:</b> Electric two wheelers</li> </ul>	A;B;C: wheel size and engine capacity  D: Fuel technology

\*\* Indian vehicle classification is provided by the Society of Indian Automobile Manufacturers (SIAM)

As could be noted in table 2.1, the criteria for classifying vehicles into different categories vary in EU and India. Table 2.2 provides Indian vehicle classification along with its corresponding EU vehicle category.

Table 2.2: Indian vehicle classification system and its corresponding EU vehicle categories

Indian vehicle classification**	Corresponding EU vehicle classification	Remarks
<b>Passenger vehicles</b>	<b>Category M</b> - Motor vehicles having at least four wheels and for the carriage of passengers	
<b>A: Passenger cars</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ A1 (Mini - (Up to 3400 mm))</li> <li>○ A2: Compact (3401-4000mm)</li> <li>○ A3 Mid-size (4001-4500 mm)</li> <li>○ A4 Executive (4501-4700 mm)</li> <li>○ A5 Premium (4701-5000 mm)</li> <li>○ A6 Luxury (5001mm &amp; above)</li> </ul>	<b>M1</b> - Vehicles for the carriage of passengers and comprising not more than eight seats in addition to the driver's seat	Though the Indian vehicle classification only provides length as a criteria to categorize vehicles, it is understood that under India's 'A' category of passenger cars, the seating capacity would be lower than nine seats in total, and hence this category corresponds to EU's M1 vehicle category
<b>B: Utility vehicle</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ B1: Max Mass <math>\leq 3.5</math> tonnes <ul style="list-style-type: none"> <li>• a: No. of seats including driver <math>\leq 7</math></li> <li>• b: No. of seats including driver <math>&gt;7</math> but <math>\leq 9</math></li> </ul> </li> <li>○ B2: Max. Mass <math>\leq 5</math> tonnes (a) : No. of seats including driver <math>\leq 13</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ B1: <b>M1</b></li> <li>○ B2: <b>M2</b> - Vehicles for the carriage of passengers, comprising more than eight seats in addition to the driver's seat, and having a maximum mass not exceeding 5 tonnes</li> </ul>	<p>India's B1 passenger car category has been matched with EU's M1 category as the seating capacity in B1 category is less than or equal to 9, as is required by the EU classification. However, in addition to seating capacity, the Indian vehicle classification also has a criterion of maximum mass.</p> <p>The B2 category of passenger cars as per the Indian vehicle classification has been matched with EU's M2 category as both the classifications specify that the vehicle should be not more than 5 tonnes in mass. In addition to vehicle mass, EU's M2 classification has one more criteria, i.e. the seating capacity should be more than 9 (including the driver). However, Indian vehicle classification limits this seating capacity to less than or equal to 13. It should also be noted that the B category of passenger cars in case of Indian classification only refers to utility vehicles which is not the case with EU's M1 and M2 vehicle categories.</p>

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

Indian vehicle classification**	Corresponding EU vehicle classification	Remarks
<b>C : Multi-Purpose Vehicles (MPVs)</b> - Van type vehicles & Max Mass ≤ 3.5 tonnes	<b>M1 and M2</b>	The criteria for categorizing C category of passenger cars as per the Indian vehicle classification are the vehicle shape and mass. Since the maximum mass of C category of passenger cars as per Indian vehicle classification has to be less than or equal to 3.5 tonnes, this therefore could correspond to EU's M1 or M2 vehicle category as the M1 category has only seating capacity as criteria and M2 category has vehicle mass (which should be less than or equal to 5 tonnes) and the seating capacity as criteria.
<b>Two wheelers</b>	<b>Category L - Mopeds, Motorcycles, Motor Tricycles and Quadricycles</b>	
<b>A: Scooter/Scooterette</b> : Wheel size ≤ to 12" <ul style="list-style-type: none"> <li>○ A1: Engine Capacity &lt; 75 cc</li> <li>○ A2: Engine Capacity ≥75 cc and &lt; 125 cc</li> <li>○ A3: Engine Capacity ≥125 cc and &lt; 250 cc</li> </ul>	Corresponding EU classification not available	-
<b>B: Motor cycles/Step- Throughs</b> : Big Wheel size more than 12" <ul style="list-style-type: none"> <li>○ B1: Engine Capacity &lt; 75 cc</li> <li>○ B2: Engine Capacity ≥75 cc and &lt; 125 cc</li> <li>○ B3: Engine Capacity ≥125 cc and &lt; 250 cc</li> <li>○ B4: Engine Capacity ≥250</li> </ul>	B1: <b>Closest is L3e</b> - Two-wheel vehicles without a sidecar; fitted with an engine having a cylinder capacity of more than 50 cm <sup>3</sup> if of the internal combustion type and/or having a maximum design speed of more than 45 km/h.  B2: <b>L3e</b>  B3: <b>L3e</b>  B4: <b>L3e</b>	The criteria for categorizing Motor cycles/Step- throughs vary significantly for India and EU. The only close match for India's B category of two-wheelers is EU's L3e. The first criterion for Indian classification is the wheel size. This criteria is absent in case of the EU classification. The B category in case of Indian classification is divided into four categories – B1 to B4, on the basis of engine capacity. In case of the closest EU category i.e. L3e, the first criterion for classification is the absence of a sidecar. The other criteria are engine capacity and maximum design speed. The criteria of design speed and absence of sidecar do not exist in case of Indian classification. So, the Indian and EU vehicle classification have been matched only on the basis of engine

Indian vehicle classification**	Corresponding EU vehicle classification	Remarks
		<p>capacity. India's B2, B3 and B4 categories of two-wheelers correspond to EU's L3e category as their engine capacity is more than or equal to 75 cc, which meets the criteria of L3e's engine capacity of more than or equal to 50cc.</p> <p>In case of India's B1 category, the engine capacity specified is less than or equal to 75 cc. Therefore, only those motor cycles/Step-throughs in B1 category whose engine capacity is more than or equal to 50cc would correspond to EU's L3e category.</p>
<p><b>C: Mopeds: Engine capacity &lt; 75 cc &amp; with fixed transmission, big wheel size &gt; 12"</b></p>	<p><b>C: Closest is L1e</b> - Two-wheel vehicles with a maximum design speed of not more than 45 km/h and characterised by an engine whose:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• cylinder capacity does not exceed 50 cm<sup>3</sup> in the case of the internal combustion type, or</li> <li>• maximum continuous rated power is no more than 4 kW in the case of an electric motor</li> </ul>	<p>The criteria for categorizing mopeds vary significantly in case of India and EU. The Indian classification is based on engine capacity, transmission type and wheel size of the moped, whereas the closest EU vehicle category, i.e. L1e, is classified on the basis of maximum design speed, engine capacity and continuous rated power of the moped. Since, engine capacity is the only common criteria between the two classifications, therefore this criteria has been used to derive closest EU vehicle category for Indian vehicle categories. As per the Indian classification, the C category of two-wheelers should have engine capacity less than 75 cc whereas in case of EU's L1e, the engine capacity of a moped should be less than 50cc. Therefore, all Indian mopeds with engine capacity less than 50cc would correspond to EU's L1e category.</p>
<p><b>D: Electric Two Wheelers</b></p>	<p>Corresponding EU standard not available</p>	<p>-</p>

\*\* Indian vehicle classification is provided by the Society of Indian Automobile Manufacturers (SIAM).

## 2.2 Charging infrastructure classification

Charging infrastructure classification for India is provided in the National Electric Mobility Mission Plan (NEMMP) 2020. Table 2.3 gives an overview of this classification system as provided in the NEMMP, 2020.

Table 2.3: Charging infrastructure classification as given in NEMMP, 2020

Terminal	Description	Time taken for charging	Cost	Suitability	Preferred Location
<b>Level-I</b>	Regular chargers	6-8 hours	Inexpensive	Where vehicle is likely to be parked for long time	Residences/office buildings/parking lots
<b>Level-II</b>	Fast chargers	3-4 hours	Expensive	Where vehicle is parked for substantial duration	Commercial areas - shopping complexes/malls; airports/railway stations/parking lots
<b>Level-III</b>	Rapid chargers	30 minutes	Very expensive	At convenient locations	Petrol pumps/ charging stations

Source: NEMMP, 2020

## REGIONAL TRENDS IN ELECTRIC MOBILITY IN INDIA

---

Year 1991 was an important milestone for the automotive industry in India. The automotive sector was opened to 100 per cent Foreign Direct Investment (FDI) after de-licensing. The automotive industry has since seen fast growth in vehicle production with the entry of major global automotive manufacturers in Indian market. Today, the Indian automotive industry is one of the largest and fastest growing automotive industries globally. India surpassed France, UK and Italy to become the sixth largest vehicle manufacturer globally<sup>3</sup>. This has primarily happened as a result of increase in the number of manufacturing facilities since 1991; the production of vehicles has seen a dramatic increase from about 2 million in 1991 to more than 20 million in 2011-12<sup>4</sup>

The contribution of the automotive sector to the National Gross Domestic Product (GDP) has risen from 2.8% in 1992-93 to about 6% now. The sector has grown at a compounded annual growth rate of over 15% during the last 5-7 years and its contribution to the manufacturing GDP and the excise duty was 22% and 21%, respectively in 2010-11. The sector provides direct and indirect employment to over 13.1 million people.<sup>5</sup> The current trends of growth are expected to continue in the future and the government has been drafting key policies and plans periodically to steer this growth. However, the growth of the automobile industry has also brought along challenges related to growing dependence on petroleum products and negative impacts on the environment due to vehicular emissions. The government has hence been looking for solutions that can promote 'clean' mobility. There have been several initiatives to promote sustainable transport modes in urban areas. The National Urban Transport Policy (NUTP), which was released in 2006 has been guiding the city governments to plan for sustainable and 'clean' mobility solutions.

**"India is the largest manufacturer of tractors, second largest manufacturer of two wheelers, 5th largest manufacturer of commercial vehicles and the 4th largest passenger car market in Asia "**

While the NUTP lays more emphasis on public transport and non-motorized transport, there is a growing realization that in addition to promoting these sustainable modes of transport, it would also be necessary to make our vehicles more 'clean'. Some of the interventions implemented to achieve this objective include implementation of emission standards, promotion of clean fuels (Compressed Natural Gas and Liquefied Petroleum Gas) in a few cities, and establishment of a mechanism to monitor pollution level of in-use vehicles. Government of India also aims to notify fuel efficiency standards for passenger cars and lay future roadmap for emission standards.<sup>6</sup> While all these interventions are expected to reduce the environmental impacts of motorization, the increasing dependence on petroleum products and vehicular pollution will still be areas of great concern. Several studies indicate increasing consumption of petroleum products and levels of vehicular pollution in future even after implementation of these measures. A need for alternative fuel vehicles having zero-tailpipe exhaust is hence strongly felt.

---

<sup>3</sup> [http://planningcommission.nic.in/aboutus/committee/wrkgrp12/wg\\_auto1704.pdf](http://planningcommission.nic.in/aboutus/committee/wrkgrp12/wg_auto1704.pdf)

<sup>4</sup> Automotive Mission Plan (2006-2016) and NEMMP

<sup>5</sup> [http://planningcommission.nic.in/aboutus/committee/wrkgrp12/wg\\_auto1704.pdf](http://planningcommission.nic.in/aboutus/committee/wrkgrp12/wg_auto1704.pdf)

<sup>6</sup> The current roadmap for emission standards in India was only till 2010.



Electric vehicles have the potential to achieve the twin objectives of reducing dependence on petroleum products and reducing vehicular pollution. The market for electric vehicles in India is at a very nascent stage. The penetration of electric vehicles is hardly significant, a trend that is expected to change now with the launch of the 'National Electric Mobility Mission Plan (NEMMP) 2020'. The Government of India launched this Plan in February 2013. The Plan gives a push to electric mobility and aims to create an enabling environment for electric mobility industry to be able to sustain on its own by the end of the Plan period i.e. 2020. The Plan targets penetration of 5-7 million electric and hybrid vehicles including cars, two-wheelers, buses, three wheelers and Light Commercial Vehicles (LCVs) by 2020 by laying down a clear roadmap of interventions to achieve the same.

The scenario for electric mobility is going to change significantly in India with NEMMP. It hence becomes interesting to understand the current situation and expected changes in electric mobility sector in India to be able to foresee the likely developments and the challenges for the electric vehicle industry. This paper under the STORM-Assist research framework is intended to achieve this. The paper describes and analyzes the current key trends in electric mobility sector in India from the following perspectives:

- || The direction provided by government strategies and policies with regard to promotion of electric mobility
  - Key government actors
  - Key policies and plans of government
  - Regulatory framework
  - Financial support
- || Power situation and charging infrastructure
  - Situation of electricity generation and supply
  - Strategies with regard to generation of electricity and reducing the carbon intensity of electricity generation
  - Electricity grid infrastructure
  - Role of electric vehicles in compensation of fluctuations caused by renewable energy supply and need for Smart Grids
  - Availability of charging infrastructure
- || Research and Development in electric mobility
  - Research on electric vehicles - Key actors
  - Research funding
  - Research in electric vehicles: Recommendations of NEMMP 2020
- || Electric vehicle industry
  - Auto industry in India
  - Electric vehicle market in India

- EV component manufacturers
- Consumers and market
  - Current travel pattern in Indian cities
  - Consumer patterns
  - Attitudes, expectations, preferences and behavior of consumers/users with regard to electric vehicles

Several of the above listed points were discussed with key stakeholders in this sector. The opinions of stakeholders are also discussed in the paper.

## 3.1 Government/Policies/Public Infrastructure

### 3.1.1 Actors

In India, different Cabinet Ministries are involved simultaneously in matters related to the automobile sector. The Ministry of Heavy Industries and Public Enterprises (MoHIPE) is the key nodal Ministry related to matters concerning the automobile industry. The other important ministries include the Ministry of Road Transport and Highways (MoRTH), the Ministry of Petroleum and Natural Gas (MoPNG), the Ministry of Finance (MoF), the Ministry of Power (MoP), and the Ministry of Environment and Forests (MoEF). The Ministry of New and Renewable Energy (MNRE), and the Ministry of Science and Technology have a role in automotive sector in terms of promoting use and R&D of alternative/clean auto fuels and technologies.

Under the **Ministry of Heavy Industries and Public Enterprises**, the Department of Heavy Industries (DHI) is involved in matters related to the automobile industry, specifically, formulation of policies and facilitation of R&D in the sector. The DHI has come up with policies like the Auto Policy 2002, the Automotive Mission Plan (AMP) 2006-16 and the National Electric Mobility Mission Plan (NEMMP) 2020, to guide the growth of the automobile industry.

In order to promote electric mobility in the country and to deal specifically with the issues related to promotion of electric vehicle (EV) industry (including hybrid vehicles), DHI has set up two new agencies, namely the National Council for Electric Mobility (NCEM) and the National Board for Electric Mobility (NBEM). The government also plans to set up the National Automotive Board (NAB) to assist NCEM and NBEM. The roles and composition of these agencies are discussed below.

#### National Council for Electric Mobility (NCEM)

NCEM has been established with 18 members, which include 8 Cabinet Ministers. The Minister of Heavy Industries and Public Enterprises is the Chairman of NCEM. The Council has five nominated members, which are people of eminence and expertise from the area of automobile industry, academia and research and development (R&D). The Council has tenure of two years and can also co-opt additional members from the state governments, as may be required.

NCEM is conceived to be the apex body in deciding matters relating to EV mobility. It has adopted the National Electric Mobility Mission Plan 2020 (NEMMP 2020), which lays the vision and sets targets for promoting electric mobility.

### National Board for Electric Mobility (NBEM)

NBEM has been set up to aid the NCEM in its functioning. NBEM consists of 25 members including Secretaries of all stakeholder Central Ministries/Departments and representatives from industry and academia. NBEM can also co-opt members, as may be required and has a tenure of two years. The Board is chaired by the Secretary, Department of Heavy Industries.

### National Automotive Board (NAB)

NCEM and NBEM will be supported by the National Automotive Board (NAB). The Board will have representation from various nodal ministries/ departments, academia and the industry. The NAB, after its establishment, will be the technical advisor and secretariat for both the NCEM and NBEM. It will be responsible for acting as facilitator between the government and the industry and promoting R&D activities in the sector. NAB will be responsible for sustainable development of the Indian auto sector. The members would be from the Department of Heavy Industry, Planning Commission and from various Ministries, including Road Transport and Highways, Science and Technology, and Environment and Forests besides representatives from the academia and the industry. The NAB would be made self-sufficient with funds made available from the Automotive Cess administered by the Development Council for Auto and Allied Industries under the Department of Heavy Industry. Till the NAB is created, NCEM and NBEM will be supported by the NATRiP<sup>7</sup> (National Automotive Testing and R&D Infrastructure Project) Implementation Society (NATIS).

### Further Ministries involved in EV policies

The **Ministry of Road Transport and Highways (MoRTH)** is the apex Ministry in India that decides on the rules and regulations related to road transport systems. The Ministry is entrusted with the task of formulating and administering policies for road transport, National Highways and transport research with a view to increasing the mobility and efficiency of the road transport system in the country. The Ministry has two wings: Roads Wing and Transport Wing. The Roads Wing deals with the development and maintenance of National Highways in the country while the Transport Wing deals with the matters relating to road transport. The key responsibilities of the Transport Wing that have a bearing on the automobile industry include:

- || Carrying out Amendments to the Motor Vehicle legislation
- || Administration of the Motor Vehicles Act, 1988
- || Taxation of motor vehicles
- || Compulsory insurance of motor vehicles
- || Evolving road safety standards in the form of a National Policy on Road Safety and by preparing and implementing the Annual Road Safety Plan.

---

<sup>7</sup> The National Automotive Testing and R&D Infrastructure Project (NATRiP) is the largest and one of the most significant initiatives in automotive sector in India so far. An initiative of the MoHIPE, it represents a unique joining of hands between the Government of India, a number of State Governments and the Indian Automotive Industry to create a State of the Art Testing, Validation and R&D infrastructure in the country.

The **Ministry of Finance (MoF)** has a key role in deciding the budgetary allotments for the automobile sector. The Ministry's decisions on taxes, customs, and excise duty have direct bearing on the auto/auto-component manufacturers and consumers.

The **Ministry of Petroleum and Natural Gas (MoPNG)** is responsible for the production, supply distribution, marketing and pricing of petroleum including natural gas and petroleum products, making it a vital stakeholder for the automobile sector. The Auto Fuel Policy, 2003 of the Ministry had set the emission norms for motor vehicles and laid down a roadmap (till 2010) for the implementation of the same. The automobile industry has to adhere to these norms, the implementation of which is the responsibility of the MoRTH. MoPNG has the responsibility of ensuring the availability of the right auto fuel quality to ensure implementation of the emission norms roadmap. The Ministry has recently initiated the process of formulation of Auto Fuel Policy 2025, which will define the future regime of emission norms and auto fuel quality.

The **Ministry of Power (MoP)** is concerned with perspective planning, policy formulation, processing of projects for investment decision, monitoring of the implementation of power projects, training and manpower development and the administration and enactment of legislation with regard to thermal, hydro power generation, transmission and distribution. The **Bureau of Energy Efficiency (BEE)** set up under the Ministry is responsible for setting up and notifying the fuel efficiency standards for motor vehicles. BEE is expected to notify the fuel efficiency standards for cars in 2013.

The **Ministry of Environment and Forests (MoEF)** is the nodal agency for the planning, promotion, co-ordination and overseeing the implementation of India's environmental and forestry policies and programmes. The Central Pollution Control Board, which provides technical services to the Ministry has a nation-wide program for the prevention, control or abatement of air pollution and lays down National Ambient Air Quality Standards that need to be adhered to. Though, these standards do not have direct bearing on automobile industry, the declining quality of air in urban areas indicates the increasing vehicular pollution and has an impact on policies/standards related to emission norms for vehicles that influence the automobile manufacturers.

The **Ministry of New and Renewable Energy (MNRE)** is the nodal Ministry of the Government of India for all matters relating to new and renewable energy. The broad aim of the Ministry is to develop and deploy new and renewable energy for supplementing the energy requirements of the country. The Alternate Fuels for Surface Transportation Program (AFSTP) of the Ministry has played an important role in promoting electric mobility in the country through incentives and subsidies being offered to buyers of electric vehicles.

The Department of Science and Technology (DST), the integral part of the **Ministry of Science and Technology** rolls out funding schemes for R&D in all industries including the automotive industry to promote R&D activities.

Table 3.1 summarizes the key Ministries/Departments involved in the automobile sector in India with respect to the strategies, policies or programs that they are involved in. **Annex 1** provides a detailed list of these Ministries along with the name of the key persons and official addresses.

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

Table 3.1: Overview of key Ministries/Departments involved in the automobile sector in India

Strategy/Policy/Program	Nodal Ministries/Departments	
National-level policies, plans and strategies for automotive sector	Department of Heavy Industries (DHI) of the Ministry of Heavy Industries and Public Enterprises	
Dedicated agencies established for electric mobility	National Council for Electric Mobility (NCEM), National Board for Electric Mobility (NBEM), National Automotive Board (NAB)*	
National policy/strategy on auto fuels	Ministry of Petroleum and Natural Gas (MoPNG)	
National policy/strategy for renewable electricity generation	Ministry of New and Renewable Energy (MNRE)	
National electricity grid infrastructure	Ministry of Power	
Decentralized electricity production from renewables	Ministry of New and Renewable Energy	
Implementation of all rules related to use of motor vehicles	Ministry of Road Transport and Highways (MoRTH)	
<b>Standards related to motor vehicles and auto fuels</b>	<b>Formulation of standards</b>	<b>Implementation of standards</b>
- Vehicle safety standards	MoRTH	MoRTH
- Emission standards for vehicles	MoPNG	Regional Transport Offices under State Transport Departments
- Fuel efficiency standards**	BEE	MoRTH
- Auto fuel quality standards	MoPNG	MoPNG
Registration and road taxes on motor vehicles	MoRTH	
Taxes like excise duty, custom duty, VAT, etc. on motor vehicles	Ministry of Finance	
Supply of petroleum products	MoPNG	
Supply of electricity	State Electricity departments	
Promotion of renewable sources of energy for auto sector	MNRE	
Public infrastructure for electric vehicles (e.g. charging stations)	As of now, no specific agency is responsible for this	
Programmes and funding of research and development of electric vehicles	DHI, MNRE, MoST	
Policies and measures to promote the market penetration of electric vehicles	DHI, MNRE, MoF	

\* Yet to be established. Till the NAB is established, NATRiP (National Automotive Testing and R&D Infrastructure Project) Implementation Society (NATIS) will carry out the key functions of NAB.

\*\*The first set of fuel efficiency standards in the country (for passenger cars) are expected to be notified soon.

## 3.1.2 Objectives and Strategies

### Policies and plans related to automobiles

Given the important contribution of the automobile sector to the Indian economy, the government has been developing policies, strategies and mission plans to direct the growth of the sector in the right direction. The key policies and plans of the government for the auto sector include the Auto Policy 2002, the Automotive Mission Plan 2006-16, and the National Electric Mobility Mission Plan 2020 (NEMMP). While the Auto Policy and the Automotive Mission Plan guide towards overall growth of the automobile industry, which mainly includes automobiles propelled by petrol and diesel, the policies also indicate the need for higher penetration of vehicles propelled by energy sources other than hydrocarbons, primarily to address the energy and environment concerns. The recommendations of these two policies are being realized through the National Electric Mobility Mission Plan that targets increased penetration of electric and hybrid vehicles (5-7 million new electric and hybrid vehicles) on India's roads. The Plan projects 14-16% penetration of electric and hybrid vehicles by 2020 (Table 3.2).

Table 3.2: Projected share of electric and hybrid vehicles by 2020

Vehicle segment	Two/wheelers	Four wheelers	Buses	Total
Electric and hybrid vehicles by 2020 (in million)	4.8	1.6-1.7	0.002	5-7
Total vehicle sales (in million)	32.0	9.0	-	43
Penetration of electric and hybrid vehicles (percentage share)	15%	18-19%	-	14-16%

Source: NEMMP 2020

### Auto Policy 2002

In order to create a more investor friendly and competitive environment for the auto sector, the Department of Heavy Industry, Ministry of Heavy Industries and Public Enterprises, the nodal government department for automobile sector in India, announced the Auto Policy in 2002. Though targeting 2010 as the policy horizon year, the vision statement of the Policy, "To establish a globally competitive automotive industry in India and to double its contribution to the economy by 2010", highlights the long-term goals for the sector of global positioning and emerging as a key contributor to Indian economy. Targeting integrated, phased, enduring and self-sustained growth of the Indian automotive industry, the policy objectives are indicative of the country's aspirations in the automotive sector.<sup>8</sup> The main objectives of the policy are stated below.<sup>9</sup>

- Exalt the sector as a lever of industrial growth and employment and to achieve a high degree of value addition in the country;

<sup>8</sup> [http://planningcommission.nic.in/aboutus/committee/wrkgrp12/wg\\_auto1704.pdf](http://planningcommission.nic.in/aboutus/committee/wrkgrp12/wg_auto1704.pdf)

<sup>9</sup> <http://dhi.nic.in/autopolicy.aspx>

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

- [[ Promote a globally competitive automotive industry and emerge as a global source for auto components;
- [[ Establish an international hub for manufacturing small, affordable passenger cars and a key center for manufacturing tractors and two-wheelers in the world;
- [[ Ensure a balanced transition to open trade at a minimal risk to the Indian economy and local industry;
- [[ Conduce incessant modernization of the industry and facilitate indigenous design, research and development;
- [[ Steer India's software industry into automotive technology;
- [[ **Assist development of vehicles propelled by alternate energy sources;**
- [[ Development of domestic safety and environmental standards at par with international standards.

The 12<sup>th</sup> Five Year Plan of India for the period 2013-17 has acknowledged the relevance of these policy objectives even after the policy horizon period of 2010 and has suggested revisiting the policy in terms of envisioning a growth strategy beyond 2010.

The 2002 Policy identified investments, tariffs, duties and imports as key instruments to achieve the Policy objectives. The Policy also suggested increased resource allocation to the highways sector to ensure collateral up gradation and development of road infrastructure in step with the increase in the population of vehicles. An appropriate regulatory framework for smooth movement of traffic and promoting safe and environment-friendly vehicles was also suggested.

Approval for foreign equity investment up to 100% of manufacture of automobiles and components was permitted in the Policy. The Policy suggested fixing of the import tariff in a manner so as to facilitate development of manufacturing capabilities as opposed to mere assembly, encourage indigenous industry to attain global standards, and give maximum fillip to manufacturing in the country. The Policy also prescribed the need for compliance with safety and environmental regulations and checking of dumping/imports of polluting vehicles.

A key intent of the Policy was to promote local demand in order to drive the volumes of production. To cater to the domestic demand, the Policy promoted manufacture of small cars<sup>10</sup>. The Policy also recommended fiscal and financial incentives for encouraging Research & Development in the automotive industry.

Recognizing the environmental responsibility of the automotive sector, the Policy promoted the use of low emission fuel auto technology. The Policy provided significant attention to clean vehicle technologies by stating the need to support the development and introduction of vehicles propelled by energy sources other than hydrocarbons. In order to tap the potential of clean and alternative vehicle technologies, like hybrid vehicles and vehicles operating with batteries and fuel cells, the Policy suggested establishment of an appropriate long-term fiscal structure.

---

<sup>10</sup> Cars not exceeding 3.80 meters in length

The Auto Policy 2002 was the one of the first initiatives of the government to provide a definitive direction to the automobile sector in the country. The goals set by the policy chalked out a clear roadmap for the automotive industry, which then aligned itself to scale up the manufacturing capacity of automobiles, both for domestic consumption and exports. A clear message that the government gave through this policy was that the automobile sector was expected to contribute to the economic growth and employment generation, for which it would have to evolve and emerge as a global player, matching global standards of technology, safety, and environment among others. From the perspective of promoting clean vehicles, while the Policy provided due emphasis on reducing environmental impacts of automobiles running on conventional fuels, it also indicated the need to transition to alternative vehicle technologies that are not dependent on fossil fuels. **The Automotive Mission Plan 2006-16 was evolved and structured based on the policy objectives of the 2002 Policy. The Plan also calls for the need to promote alternative fuel vehicle technologies and reducing dependence on conventional transport fuels.**

### *Automotive Mission Plan 2006-16*

With a driving objective of establishing India as a global automotive hub, the Ministry of Heavy Industries and Public Enterprises prepared a comprehensive Automotive Mission Plan, for a ten year horizon period – 2006 to 2016. The Plan vision reiterated the intent of the Auto policy 2002 and stated the need to emerge as the destination of choice in the world for design and manufacture of automobiles and auto components with a contribution of more than 10% to the GDP and additional employment to 25 million people by 2016. The Plan laid down a 10-year roadmap for the industry covering every aspect of its growth ranging from broad direction on fiscal policies, emissions, safety and globalization in terms of technical standards, enhancing competitiveness, skill development, testing and homologation, R&D etc<sup>11</sup>.

The Plan visualizes that by 2016, India 'would continue to enjoy its eminent position of being the largest tractor and three wheeler manufacturer in the world and the world's second largest two wheeler manufacturer. By 2016, India would emerge as the world's seventh largest car producer (as compared to the eleventh largest currently) and retain 4th largest position in world truck manufacturing sector'<sup>12</sup>. The government is expected to play a key enabling role in facilitating infrastructure creation, creating a favourable and predictable business environment, attracting investments and promoting R&D. The Industry is expected to contribute in designing and manufacturing products of world-class quality standards at competitive cost, achieving scale and enhancing R & D initiatives and capabilities.

The Plan lays significant focus on supporting R&D initiatives. It highlights the need for supporting development and acquisition of appropriate technology for alternative fuels and hybrid engines and encouraging manufacture and assembly of fuel efficient and hybrid vehicles appropriate for Indian market. The plan also encourages introduction of hydrogen as an energy source in transport sector.

---

<sup>11</sup> [http://planningcommission.nic.in/aboutus/committee/wrkgrp12/wg\\_auto1704.pdf](http://planningcommission.nic.in/aboutus/committee/wrkgrp12/wg_auto1704.pdf)

<sup>12</sup> Automotive Mission Plan (2006-2016)



Seventh year into the Plan, the government in association with the industry has begun to think of goals for automobile sector beyond 2016. The Automotive Mission Plan - II (2017-27) is expected to be laid out by 2014-15 to define the growth strategy beyond 2016. Additionally, the government has come up with an important Plan that will influence the growth pattern in automobile sector; **National Electric Mobility Mission Plan 2020 was unveiled in early 2013 to promote a significant shift towards hybrid and electric vehicles.** The push provided by the Automotive Mission Plan 2006-16 on alternate fuel vehicles is considered as driving force behind launching of this Plan. Automotive Mission Plan - II is expected to include the recommendations/roadmap suggested in NEMMP 2020 and indicate the future course of the automobile sector.

### *National Electric Mobility Mission Plan 2020*

In order to meet the latent demand for environment-friendly electric vehicle technologies, the Ministry of Heavy Industries and Public Enterprises has prepared the National Electric Mobility Mission Plan (NEMMP) 2020. The Plan aims to provide upfront and continued support for promoting electric vehicle technologies in the country. The vision statement of NEMMP is mentioned below:

“To encourage reliable, affordable and efficient electric vehicles (xEV) that meet consumer performance and price expectations through Government-Industry collaboration for promotion and development of indigenous manufacturing capabilities, required infrastructure, consumer awareness and technology; thereby helping India to emerge as a leader in the xEV two wheeler and four wheeler market in the world by 2020, with total xEV sales of 6-7 million units thus enabling Indian automotive industry to achieve global xEV manufacturing leadership and contributing towards national fuel security.”

The vision in NEMMP is aligned with AMP 2006-16 with the common objective being global leadership in manufacturing of vehicles and expansion of domestic market. NEMMP focuses on hybrid and electric vehicles only, while AMP covers all range of goods and passenger vehicle technologies.

NEMMP has two basic intertwined objectives linked to country's energy security and growth of domestic manufacturing capabilities for xEVs. It targets giving the initial boost that can create demand for xEVs, which then stimulates manufacturing of these vehicles in larger volumes. The four key principles that guide the future roadmap for xEVs penetration include:

1. Creating consumer acceptability for xEVs
2. Developing infrastructure to support ownership and use of xEVs
3. Development/acquisition of xEV technology
4. Creation of local manufacturing capability

The Plan projects the total potential demand for the whole range of electric vehicles (mild hybrids to full electric) to be in the range of 5-7 million units in new vehicle sales by 2020. The bulk of this demand is expected to come from (pure) electric two-wheelers, followed by hybrid electric vehicles (HEVs) and pure electric vehicles or battery electric vehicles (BEVs) (figure 3.1).

As of beginning of 2014, the incentive programme proposed under the NEMMP has not been enacted. However, it is expected that the incentive programme will be signed into law in April 2014.<sup>13</sup>

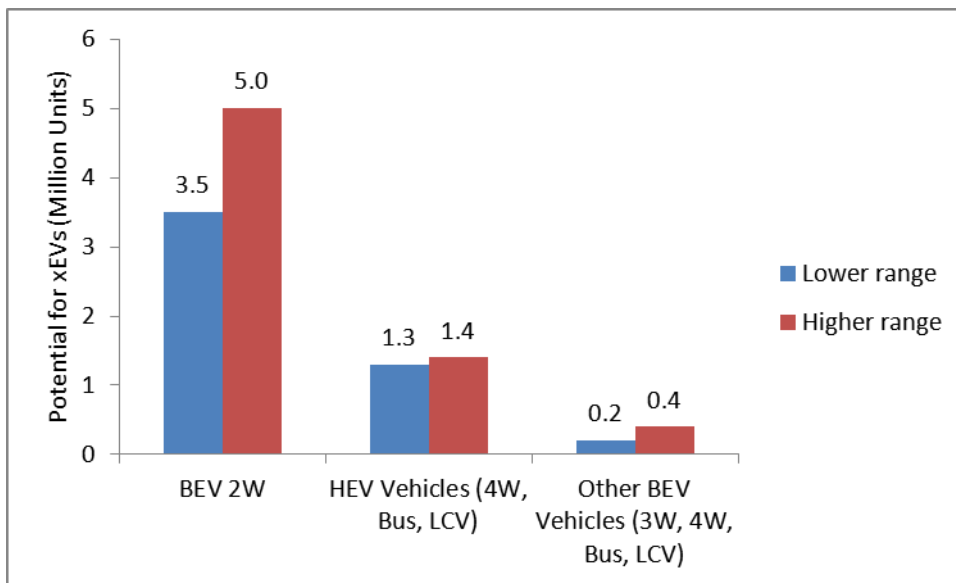


Figure 3.1: Potential demand for xEVs by 2020

Source: NEMMP 2020

### *Demand creation*

Identifying a latent demand of 5-7 million units of xEVs by 2020, NEMMP suggests demand creation measures to tap this demand. A demand incentive strategy has been proposed in the Plan for future consideration, detailing and approval. It proposes linkage of demand incentive decisions to vehicle parameters like battery size, technology and minimum performance criteria. Linkage of incentive strategy for different vehicle segments to these criteria is expected to lead to substantial variation in incentives. It is also proposed that the vehicle manufacturers will have to comply with time/volume phasing, minimum localization conditions and assure minimum quality, durability and safety standards in order to be eligible for demand incentives.

In addition to incentives, the Plan proposes to put in place some demand assurance measures to ensure creation of adequate levels of demand. Measures like procurement of xEVs for Central and state government vehicle fleets, mandating xEVs in certain areas/location, mandating a certain share of electric buses in bus fleets of State Road Transport Undertakings (STUs), etc. have been suggested (figure 3.2). Such demand assurance measures and incentives are expected to generate demand volumes that encourage investments in local manufacturing.

<sup>13</sup> <http://insideevs.com/by-april-india-hopes-to-roll-out-incentive-program-for-purchase-of-evs/>

Vehicle Segment	Two Wheelers	Three Wheelers	Four Wheelers	Buses	LCVs
Demand (2020)	4.8 million	20,000-30,000	1.4-1.6 million	2600-3000	30,000-50,000
Assessment of mandates required	Sufficient Demand, no mandates required	Insufficient Demand, similarity with 2W will drive localization; free additional permits will be useful	Insufficient Demand, mandate like govt. vehicle fleet procurement may be required	Insufficient Demand, mandate like procurement by STUs would be required coupled with pilot projects	Insufficient Demand, City fleet could be mandated to be xEV starting 2015

Figure 3.2: Demand assurance measures suggested in NEMMP 2020

Source: NEMMP 2020

Some key proposals in the Plan for demand incentive strategy are:

#### Cars

1. More incentives for PHEVs and BEVs as compared to HEVs
2. Higher incentives to high performance<sup>14</sup> BEVs

#### Two wheelers

- [[ Higher incentive for higher battery size
- [[ Higher incentive for better performing<sup>15</sup> two wheelers within same battery size
- [[ Higher quantum of incentives for certain types of two wheelers in the initial years (2012-14)

#### Buses

- [[ Higher incentive for larger battery size (translates into higher incentives for PHEVs (Plug-in HEVs) and BEVs)
- [[ Front loading of incentives in terms of volumes to drive early adoption and then a phase out
- [[ Demand assurance measures - Mandating xEVs in new purchases of public city buses, feeder buses for metro rail systems

<sup>14</sup> High performance in terms of pickup and top speed

<sup>15</sup> Higher speed and durability

## LCVs

- [[ Higher incentive for larger battery size
- [[ Higher incentive for BEVs
- [[ Reserving portion of incentives for BEVs

## General recommendations

- [[ Distribution of incentives based on technology type - Reserving certain portion of demand incentives for BEVs
- [[ Essential qualifying conditions/boundary parameters for grant of demand incentives - time/volume phasing; minimum localization condition; and assured minimum quality, durability, homologation and safety standards
  - No incentives for imported xEV vehicles
  - Phasing out current import duty benefits for xEV components and aligning them with normal auto component tariffs
  - Annual volume caps for demand incentives recommended
  - Incentives proposed to be phased out in five years
  - Requirement for meeting quality & safety standards, minimum performance criterion and warranty requirements. Standards may include parameters like -
    - Fuel efficiency,
    - Range,
    - Minimum battery life,
    - Minimum top speed,
    - Minimum passenger carrying capacity, etc.
  - NEMMP proposed establishing the standards, regulations and necessary testing infrastructure for enforcing the standards.
- [[ NEMMP also recommends retrofitting existing liquid fuel (IC engine) driven vehicles with HEV kits that improve their fuel efficiency levels significantly. Interventions have been suggested to popularize these kits; these include demand incentives for initial years and ensuring minimum quality standards

## R&D

In addition to recommending demand incentives to tap the latent demand for xEVs, NEMMP 2020 also recommends increased R&D initiatives in electric mobility sector. The Plan highlights the lack of R&D capabilities in Indian OEMs with regard to xEV components. Indian component manufacturers have no patents as yet and foreign OEMs and manufacturers carry out most of the R&D in their home country. The Plan therefore recommends building R&D capability in the following areas:

- [[ Battery cell technologies - battery cells and battery management systems

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

- || xEV Powertrain system integration
- || Transmission systems (hybrid)
- || Electric motors
- || Power electronics (especially for HEVs and PHEVs)
- || Optimized xEV powertrain integration

The recommendations of NEMMP with regard to building R&D capacity for xEVs are also discussed in the R&D section later.

### *Supply incentives*

NEMMP recommends a phased approach for building the manufacturing capability in India (figure 3.3). The first phase focuses on strengthening the R&D and manufacturing capability and phase 2 entails developing indigenized products and moving from research to manufacturing and assembly. Phase 3 focuses on developing technologies that suit Indian conditions and use and phase 4 targets exports of xEVs.

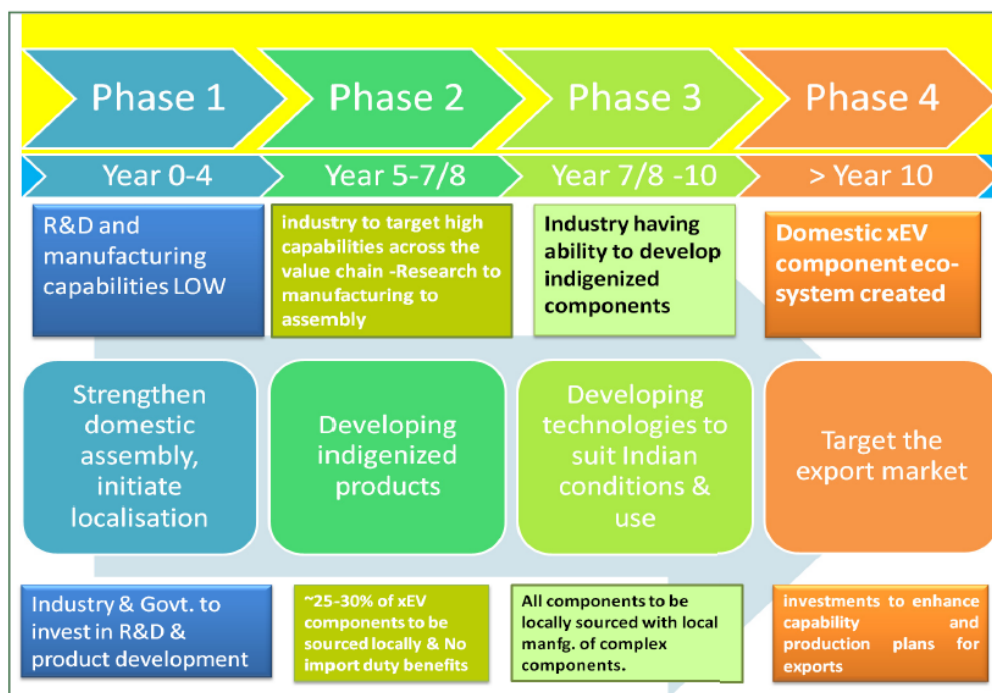


Figure 3.3: Phased approach for building xEVs manufacturing capability in India

Source: NEMMP 2020

### *XEV infrastructure*

The NEMMP recommends a three phased approach for infrastructure roll-out to support xEV penetration. Phase 1 focuses on evaluation of options for xEV infrastructure including prioritizing the options and developing the required framework (standards, laws, policies, etc.) to implement the prioritized option/s. Phase 2 focuses on implementation of pilot projects and development of business models and phase 3 focuses on large-scale roll out of xEV infrastructure.

### *Investment implications*

The strategies proposed in the NEMMP are expected to require investments up to INR 233 billion (2.79 billion Euros) by 2020. The majority of the investment requirements are for demand creation, followed by R&D initiatives that will be shared between the government and the industry. The investments required for infrastructure creation are expected to come from the industry and the government is expected to invest only during pilot stages of infrastructure roll-out. Among various vehicle segments, two-wheelers will require maximum investment support, followed by cars and buses.

### **Policies and plans related to climate change**

In 2009, the Government of India released the first-ever national plan on climate change - the 'National Action Plan on Climate Change (NAPCC)' - with an aim to reduce India's carbon emissions. The plan has eight missions that define the broad policy directions for reducing India's emission intensity. The Mission on Sustainable Habitat in the NAPCC outlines the measures to reduce emissions from transport sector. The Mission proposes "better urban planning and modal shift to public transportation" in order to move towards low carbon transport systems. The Mission also proposes promotion of alternate fuels like biofuels and suggests the need for research and development in biofuels. Hydrogen has also been recognised in the mission as a potential energy source for transport sector in future. The Mission, however, doesn't expect large scale penetration of hydrogen propelled vehicles in the next few decades. While the NAPCC specifically does not promote the use of hybrid and electric vehicles, the National Mission on Sustainable Habitat prepared under the ambit of NAPCC recommends promotion of low carbon fuels and vehicle technologies for transport sector, including battery operated vehicles and hybrid vehicles. The Mission recommends use of battery operated vehicles (BEVs) and hybrid vehicles (HEVs) for niche applications like replacing conventional fossil fuel driven vehicles in bio-sphere reserves, zoos, sanctuaries, hospitals, etc. The Mission suggests the use of HEVs for general use as they offer better performance in terms of speed and range, when compared to BEVs. The Mission stresses the need for advancement in vehicle technology of BEVs and HEVs to promote them for general use. It states the need to develop high energy and power density, light weight and inexpensive batteries along with improving overall performance, reliability and durability of such vehicles. The Mission also recommends measures like lower road taxes for hybrid and new vehicles in order to address air pollution and promote use of clean vehicles.

The Government of India had established an Expert Group on low carbon strategies for Inclusive growth. The Committee was expected to recommend low carbon strategies for the Indian economy. The interim report of the committee released in 2011 has recommended specific strategies to reduce GHG emission intensity of critical sectors of Indian economy including the transport sector. For the transport sector, the Committee suggests measures like modal shift from road and air to rail and water along with improving efficiency of individual modes. The Committee also mentions the need to improve share of public and non-motorised transport modes within road passenger sector. However, no specific role has been envisaged for electric vehicles in terms of helping reduce CO<sub>2</sub> emissions.

### Anchorage of electric vehicles in other key government policies/plans/ programs

#### *National Urban Transport Policy (NUTP), 2006*

The NUTP was adopted by the Government of India in 2006. The policy aims at ensuring safe, affordable, quick, comfortable, reliable and sustainable access for the growing number of city residents to jobs, education, recreation and such other needs within the cities. The Policy promotes use of cleaner technology. It suggests that clean vehicle technologies like electric cars, two-wheelers, electric trolley buses, battery operated cycle rickshaws, should be encouraged to address the problem of vehicular pollution in cities. The policy also recommends encouraging the use of renewable energy sources in transport sector. The policy suggests government's role in encouraging research and development and commercialisation of clean technology for transport sector.

#### *Auto Fuel Policy, 2002*

India established its first Auto Fuel policy in 2002. The Policy gave recommendations on issues related to vehicular emissions, vehicle technology and quality of auto fuels. The Policy aims at diversifying the sources of auto fuels and reducing dependence on any single source of supply. It recommends accelerated development of alternate fuel vehicles including battery powered vehicles, hydrogen and fuel cell vehicles. The Policy also recommends promoting research and development to support ethanol/biofuels technology from different renewable energy sources.

The horizon period of Auto Fuel Policy, 2002 is over. The government has now established a new committee to draft Auto Fuel Policy-2025. The committee is expected to look into alternate fuels for vehicles that minimise impact on environment. However, it is not clear as of now whether or not the committee would recommend electric or hybrid vehicles in the new Auto Fuel Policy.

#### *Integrated Energy Policy, 2006*

The Government of India had come up with an Integrated Energy Policy in 2006. The Policy also recommends promotion of hybrid vehicles and electric vehicles and suggests that efforts should be made to develop low weight and high density batteries. The policy also emphasises on promoting hybrid vehicles in India (which are available commercially), and commercially available flexi-fuel vehicles, which run on varying proportions of ethanol-blended fuels. The Policy proposes fiscal incentives for automotive industries, which work towards commercialisation of hybrid and battery operated vehicles in India.

#### *Alternate Fuels for Surface Transportation (AFST) Programme*

The AFST programme of the Ministry of New and Renewable Energy promoted all types of BEVs, PHEVs, HEVs and Electric/ Exercise Bike Generator Inverters (E2BI). The programme aimed at providing support for dissemination of such vehicles, their research and development, pilot projects, and awareness related activities. The programme has been offering Central Financial Assistance to all such vehicles since 2010. The programme came to an end in 2012-13; however, it is expected to be renewed, given the government's interest in promoting electric vehicles, as has been stated in the National Electric Mobility Mission Plan 2020.

## National Hydrogen Energy Road Map – 2006

The Government of India drafted the National Hydrogen Energy Road Map (NHERM) in 2006. As per the NHERM, even though adoption of hydrogen technology for auto fuels is posed with technological challenges, hydrogen fuel has been envisaged to play important role in meeting the energy needs of the country. The Road Map has proposed the use of hydrogen as an auto fuel, as one of the important applications of hydrogen in future. To promote hydrogen energy for auto-sector, the Road Map identifies areas of research and emphasizes the need to promote/initiate demonstration projects. The Road Map has also laid down a Green Initiative for Future Transport (GIFT) aimed at developing and demonstrating hydrogen powered IC engines and fuel cell based vehicles ranging from small two/three wheelers to heavy vehicles through different phases of development.

### 3.1.3 Regulatory framework

Tables 3.3 and 3.4 give an overview of the regulatory framework for conventional and electric vehicles in India.

Table 3.3: Regulations for conventional and electric vehicles in India

	Relevant Acts/Rules/Standards	Agencies responsible	
		Formulation of regulation	Implementation of regulation
Emission norms	Emission norms recommended in the Auto Fuel Policy 2002	Ministry of Petroleum and Natural Gas (MoPNG)*	Ministry of Road Transport and Highways (MoRTH)
Safety standards	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chapter V of Central Motor Vehicles Rules 1989</li> <li>Compliance with relevant Indian Standards (IS) and Automotive Industry Standards (AIS) for auto components</li> <li>State Motor Vehicles Rules</li> </ul>	MoRTH, Bureau of Indian Standards (BIS), State Transport Departments	MoRTH, State Transport Departments
Fuel efficiency norms	Fuel efficiency norms for passenger cars are expected to be notified soon	Bureau of Energy Efficiency (BEE)**	MoRTH
Rules and regulations for operations (license, registration of motor vehicles, control of traffic, construction & maintenance of motor vehicles, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Motor Vehicles Act 1988</li> <li>Central Motor Vehicles Rules 1989</li> </ul>	MoRTH, BIS	MoRTH

\*In consultation with MoRTH, MoEF, industry, etc.

\*\*In consultation with MoRTH, Industry, etc.



Table 3.4: Regulations for electric vehicles

Relevant Acts/Rules/Standards		Agencies responsible	
		Formulation of regulation	Implementation of regulation
Vehicle type approval	Central Motor Vehicles Rules 1989	MoRTH	Automotive Research Association of India (ARAI)
Regulations on registration of electric vehicles*	Central Motor Vehicles Rules 1989	MoRTH	MoRTH, State Transport Departments

\* **Regulations on registration of electric vehicles** - Under the Central Motor Vehicles Rules 1989, a battery operated vehicle is not deemed to be a motor vehicle, under the following conditions:

- (i) The thirty minutes power of the motor is less than 0.25 kW
- (ii) The maximum speed of the vehicle is less than 25 km/h

The battery operated vehicles complying with the above conditions are exempt from registration and obtaining a license to drive them. Every electric vehicle in India must be tested by ARAI. Automotive manufacturers are required to get their two-wheelers, three-wheelers and four-wheelers mandatorily approved by ARAI for getting the vehicle approval and for getting the vehicle exemption from licence and registration. For obtaining vehicle exemption for low speed electric bikes, the maximum speed of the vehicle with a single person load (75Kg) should not be more than 25 kmph and maximum power delivered at the wheel should not exceed 250W power. If these conditions are met, then the vehicle is certified for exemption from licence and registration. These low speed vehicles can be driven by children below 18 years.

As indicated in NEMMP 2020, in addition to the above-discussed regulations, several new regulations are expected to be soon formulated specifically for electric vehicles.

### 3.1.4 Financial support and incentives

#### Central budgetary support

The budgetary support for the automobile sector in India is allocated through the Five Year Plans and the Annual Financial Budgets. The Five Year Plans set out the initiatives and strategies to be taken up by the government (along with financial allocation for the same) to promote the growth in various sectors of the economy including the automotive sector. The

Tenth, Eleventh and Twelfth Five Year Plans have laid substantial emphasis on the automobile sector; therefore the key initiatives in these Plans for the automotive sector are discussed below.

### Tenth Five Year Plan (2002-07)

The emphasis in the Tenth Five Year Plan was to enable the institutions to achieve higher levels of self-sufficiency and to provide only project-based support. A key initiative taken up during the Tenth Five Year Plan was the setting up of National Automotive Testing and R&D Infrastructure Project (NATRiP) to enable the institutions to achieve higher levels of self-sufficiency. NATRiP was set up to cater to the homologation and testing needs of the automotive industry. The seven centres of NATRiP were proposed to be set up in different locations in the country where manufacturing activities are concentrated; the project was expected to be completed by the Eleventh Five Year Plan (2007-12). The individual centres were proposed to be managed by the industry with assistance from the government once the centres are established. **NATRiP has played a key role in formulation of the National Electric Mobility Mission Plan 2020.**

### Eleventh Five Year Plan (2007-12)

During the Eleventh Plan period (in November 2010), the Ministry of New and Renewable Energy announced to offer incentives to Electric Vehicle (EV) manufacturers during the remaining period of 2010-11 and for the entire period of 2011-12 to increase the sale of electric vehicles. The scheme set aside a fund of INR 950 million (11.4 million Euros) under the Eleventh Five Year Plan and gave incentives up to 20% on ex-factory prices of vehicles. The maximum incentive limits offered to each type of vehicles under the scheme are given in Table 3.5<sup>16</sup>.

Table 3.5 : Incentive limits offered to different categories of vehicles under the Ministry of New and Renewable Energy's scheme for giving incentives to EV manufacturers

Electric vehicle type	Incentive cap
Low-speed electric two-wheelers	INR 4,000 (48 Euros)
High-speed electric two-wheelers	INR 5,000 (100 Euros)
Electric cars	INR 1,00,000 (1200 Euros)

The subsidy under the above stated scheme of the Ministry of New and Renewable Energy (MNRE) was given to the customers by the manufacturers who then claimed it from the government. But to avail this incentive, the manufacturers had to meet certain criteria set by the government. The main three criteria were: (i) the manufacturer must have significant presence in the retail side of the industry, (ii) minimum 30% of the manufactured vehicle was required to

<sup>16</sup>[http://www.business-standard.com/article/companies/govt-extends-mnre-scheme-to-incentivise-sales-of-electric-vehicles-112083000033\\_1.html](http://www.business-standard.com/article/companies/govt-extends-mnre-scheme-to-incentivise-sales-of-electric-vehicles-112083000033_1.html)

have indigenous components, and (iii) the ability of the manufacturer to provide after sales service through its own outlets. MNRE had announced to give subsidy to 140 electric cars, 10,000 electric high-speed two-wheelers, 20,000 electric low-speed two-wheelers and 100 electric three-wheelers during 2010-11. The scheme led to an upsurge in the sales of electric vehicles, however, it came to an end in March 2012 and as a result, a 65% decline in the sales of electric vehicles was observed. It was therefore decided that the MNRE subsidy would be extended till August 2012 till proposals under the National Mission for Electric Mobility (NMEM) were implemented.

### Twelfth Five Year Plan (2012-17)

The initiatives proposed in the Twelfth Five Year Plan aim to facilitate the creation of an environment, which will facilitate the automotive industry to grow, promote domestic competition and motivate innovation to achieve operational efficiency. An amount of INR 25.41 billion (304.92 million Euros) has been planned to be spent on the automobile sector during the Plan period. Some of the initiatives proposed to be implemented during the Twelfth Plan period include:

- || A stable import tariff structure consonant with the AMP (Automotive Mission Plan 2006-16) that encourages investments rather than trade in fully built vehicles.
- || **Continuation of lower excise duty (in future GST) for manufacture of vehicle types that are a national priority for the country.**
- || Ensuring that the Free Trade Agreements being entered into with other countries do not distort markets for Indian automobile and auto component manufacturers.
- || Auto component industry needs to be supported by the Government by easing access to capital, logistic and infrastructure development in auto component hubs and so on.

The Twelfth Five Year Plan also talks about preparing a strategy paper on utilisation of different fuels in the transport sector that will meet national concerns of emission control, fuel efficiency and energy security. The government will also prepare emissions and fuel availability road map beyond 2010.

The Twelfth Five Year Plan also highlights the significance of electric vehicles and indicates that by 2020, they will represent a major share in the global car sales. The Plan recommends deepening competencies in manufacturing of fuel efficient cars and electric vehicles including the hybrid segment and providing user incentives for adoption of electric vehicles. The Twelfth Five Year Plan will provide funding for research and development related to electric vehicles and hybrids; an amount of about INR 7.4 billion (88.8 million Euros) has been set aside for the same. The amount will be used only to fund the research activities; manufacturing will be funded by the industry. The fund will be used for developing new technologies for electric and hybrid vehicles by the industry in collaboration with national institutes and foreign technical collaborators. Under National Automotive Testing and R&D Infrastructure Project (NATRiP), research facilities for electric vehicles are planned to be set up at the seven government-run auto homologation and testing centres.

## Annual Budget 2010-11<sup>17</sup>

Budget 2010-11 gave tax concessions on electric vehicles to promote electric mobility in the country. A nominal duty of 4% on electric vehicles was imposed to relieve the manufacturers from some of the duty paid on vehicle components. Also, some critical parts/components were given concessional Counter Vailing Duty (CVD) of 4% and exempted from basic customs duty and special additional duty subject to actual user conditions. "Soleckshaw"<sup>18</sup>, a product developed by the Council of Scientific and Industrial Research (CSIR) to replace manually-operated cycle rickshaws were given concessional excise duty of 4% and its key parts and components were exempted from customs duty.

## Annual Budget 2011-12

The Budget 2011-12 was important from the perspective of promoting electric vehicles and other alternative fuel vehicles in India. The Budget encouraged Compressed Natural Gas (CNG), Liquefied Petroleum Gas (LPG) and other hybrid and alternative fuels cars in the country. The Budget included an announcement to form dedicated mission and bodies to promote electric mobility in the country. The then Finance Minister announced the formation of a dedicated inter-ministerial mission – "National Mission for Hybrid and Electric Vehicles" (NMHEV) to promote EV mobility. This initiative was designed to act as a focal point for all the industry's needs on infrastructure, R&D and new incentives. The Mission was to be headed by the Ministry of Heavy Industry & Public Enterprises and stakeholders including Ministries like Urban Development, New and Renewable Energy, and Power and the private stakeholders (industry), through the formation of two bodies, namely the National Council for Electric Mobility (NCEM) and National Board for Electric Mobility (NBEM). The setting up of these agencies has been discussed in the previous sections.

Incentives for electric vehicles (EVs) and hybrids were also announced in the Budget to increase their share in the market. The Budget proposed extending basic customs duty exemption and concessional rate of Central Excise duty (4%) on specific parts such as imported batteries for electric vehicles and concessional rate of 5 % on excise duty on hybrid vehicles to incentivize their domestic production. The excise duty on hybrid kits that convert traditional vehicles into more fuel-efficient machines was reduced to 5% from 10%. A concessional excise duty of 10% was also proposed for vehicles with fuel cell or hydrogen cell technology and the concessional excise duty of 10% was extended to hybrid vehicles.

## Annual Budget 2012-13

Budget 2012-13 gave concessions to hybrid and electric vehicles and battery packs for such vehicles from basic customs duty and also special CVD being extended to certain items imported for their manufacture. This initiative was taken up as a means to improve environment quality. Some specified manufacturing parts of hybrid vehicles were also proposed to enjoy full exemption from basic customs duty and special CVD with concessional excise duty of 6%<sup>19</sup>.

---

<sup>17</sup> <http://indiabudget.nic.in/ub2010-11/bh/bh1.pdf>

<sup>18</sup> Soleckshaw is a battery-powered and pedal-assisted dual-powered tricycle. The batteries in soleckshaws are charged using solar energy.

<sup>19</sup> <http://pib.nic.in/archieve/budget/gbudget2012/budgeteng2012.pdf>

### Financial support by states

In addition to the incentives offered by the central government, certain states and union territories (UT) offer additional incentives to electric vehicles<sup>20</sup>. Delhi, Rajasthan, Uttarakhand and Lakshadweep do not levy any Value Added Tax (VAT) on electric vehicles and Chandigarh, Madhya Pradesh, Kerala, Gujarat and West Bengal offer partial subsidy on VAT. In Maharashtra state, the VAT was reduced from 12.5% to 5% and in Tamil Nadu, it was reduced from 12.5% to 4%<sup>21</sup>. Maharashtra state has also decided not to impose road tax on electric vehicles; it is 9 per cent for petrol cars and 11 per cent for diesel cars. The state of Karnataka has also cut VAT on electric vehicles from 14 to 5% The highest incentives for electric vehicles are given by the Delhi government; tax rebates up to 29.5% of the cost (15% subsidy on the base price of the vehicle, along with 12.5% VAT exemption, and road tax and registration charge refund (2%)) are given for electric cars. The costs of such subsidies are funded by Air Ambience Fund, which is created from the environment cess of 25 paise<sup>22</sup> (0.003 Euros) per litre of diesel sold in the UT of Delhi.

### 3.1.5 Power generation, supply and storage

#### Situation of electricity generation and supply

The Indian power sector is one of the most diversified in the world. Sources for power generation range from commercial sources like coal, lignite, natural gas, oil, hydro and nuclear power to other viable non-conventional sources like wind, solar and agriculture and domestic waste. India accounts for 4.5% of world's total electricity production<sup>23</sup>. Due to India's economic rise, the demand for energy has also been growing. In order to meet the increasing requirement of electricity, massive addition to the installed generation capacity in the country is required.

The power sector in India is mainly governed by the Ministry of Power. The Ministry is involved in perspective planning, policy formulation, processing of projects, monitoring of implementation of projects, etc. The Ministry had set a goal of 'Power for All' by 2012 i.e. the end of the Eleventh Five Year Plan. The installed generation capacity of power utilities in India, as of 31st March 2012, was 199.88 GW and gross generation in 2011-12 was 871 BU. Renewable sources accounted for 23.04% of the total capacity addition during 2011-12. The energy shortage in the country was recorded at 8.5%, while the peak deficit was recorded at 11.1% during 2011-12<sup>24</sup>. The following sections give an overview of the Indian power sector, electricity generation and supply and strategies and policies adopted for generation so as to reduce CO<sub>2</sub> emissions.

#### Existing generation capacity

The total installed generating capacity of the utilities in India was 199,877 MW (as on 31<sup>st</sup> March 2012) representing an increase of 15.12% from the previous year. As on 31<sup>st</sup> December 2012, the total installed capacity of the utilities stood at 210,952 MW (Table 3.6).

<sup>20</sup>[http://194.100.159.181/NR/rdonlyres/EB951714-9966-4647-A351-C601F7F94126/13585/Finpro\\_Electric\\_Mobility\\_in\\_India\\_2013.pdf](http://194.100.159.181/NR/rdonlyres/EB951714-9966-4647-A351-C601F7F94126/13585/Finpro_Electric_Mobility_in_India_2013.pdf)

<sup>21</sup> [http://www.smev.in/images/big\\_milestone.jpg](http://www.smev.in/images/big_milestone.jpg)

<sup>22</sup> 1INR=100 paise

<sup>23</sup> International Energy Agency, Key World Energy Statistics, 2012

<sup>24</sup> Central Electricity Authority, Government of India

Table 3.6: Total installed capacity of the utilities in India

Ownership Sector	Mode-wise Break-up (Installed Capacity in MW as on 31 <sup>st</sup> Dec 2012)						
	Coal	Gas	Diesel	Nuclear	Hydro	RES	Total
State Sector	49,623	5,215	603	0	27,395	3,570	86,406
Private Sector	29,195	6,986	597	0	2,595	22,286	61,659
Central Sector	42,055	6,702	0	4,780	9,349	0	62,887
Total	120,873	18,903	1,200	4,780	39,339	25,856	210,952

Source: Central Electricity Authority, Government of India  
[http://www.cea.nic.in/reports/monthly/inst\\_capacity/dec12.pdf](http://www.cea.nic.in/reports/monthly/inst_capacity/dec12.pdf)

The installed capacity comprises 140,976 MW of thermal power (coal, gas, and diesel), 39,339 MW of hydropower, 4,780 MW of nuclear power, and 25,856 MW of renewable sources. The installed generation capacity in India continues to be dominated by thermal power with a share of 65% in the total installed capacity. Coal continues to be the mainstay of thermal generation, accounting for nearly 85% of the total thermal installed capacity in the country (figure 3.4).

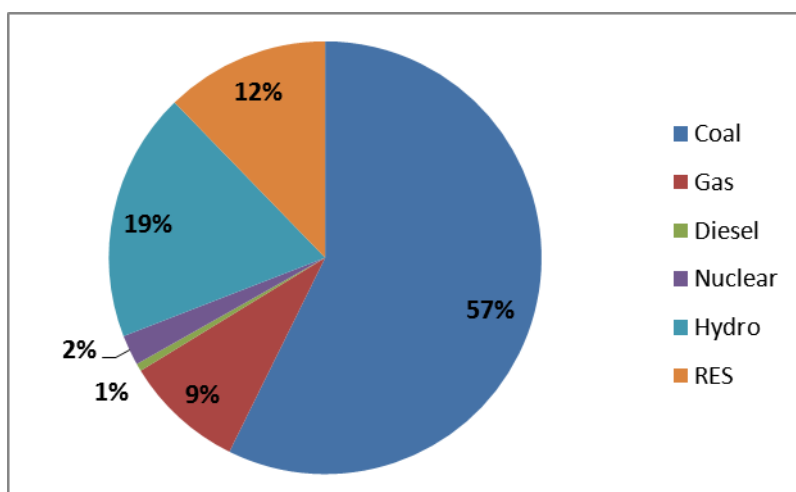
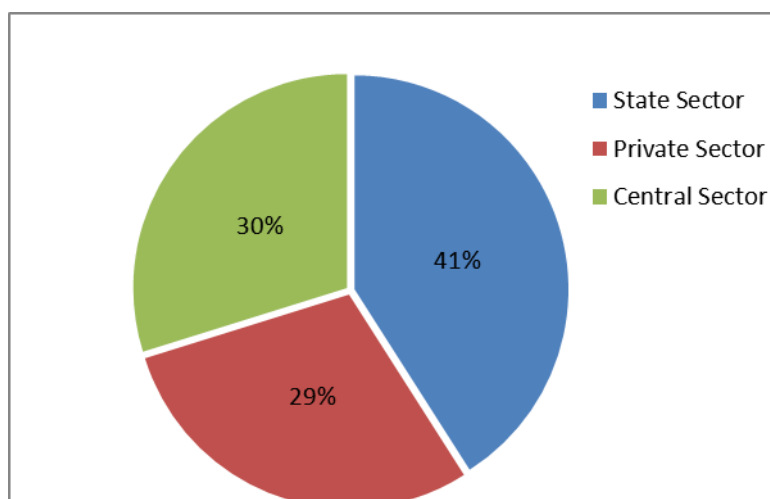


Figure 3.4: Installed Capacity, mode wise (as on 31st Dec 2012)

Out of the total installed capacity, the highest share is contributed by the state sector (41%), followed by the central sector (30%), while the private sector contributed the rest (29%) as shown in figure 3.5.

Figure 3.5: Installed Capacity, Sector-wise (as on 31st Dec 2012)



Private sector participation in power sector has increased tremendously over the past few years. Out of the total 26,250 MW capacity addition during 2011-12, nearly two-thirds was contributed by the private sector. Central and State sector contributed 20% and 13%, respectively towards the installed capacity addition during 2011-12.

### Electricity generation

Thermal generation continues to be the mainstay of the total power generation in the country, contributing nearly 81% (709 BU) of the total power generated in the country during FY 2011-12. Hydro (130 BU) and Nuclear Power (32 BU) contributed the remaining share in electricity generation (figure 3.6)<sup>25</sup>. India also imports electricity from Bhutan; electricity imported during FY 2011-12 was around 5 BU. The electricity generation for the year 2011-12 was targeted around 855 BU (including imports of 5.5 BU) and electricity generation of 877 BU was achieved during the year i.e. around 2.5% more than the target.

<sup>25</sup> Central Electricity Authority, Government of India  
[http://www.cea.nic.in/reports/monthly/executive\\_rep/mar12/6.pdf](http://www.cea.nic.in/reports/monthly/executive_rep/mar12/6.pdf)

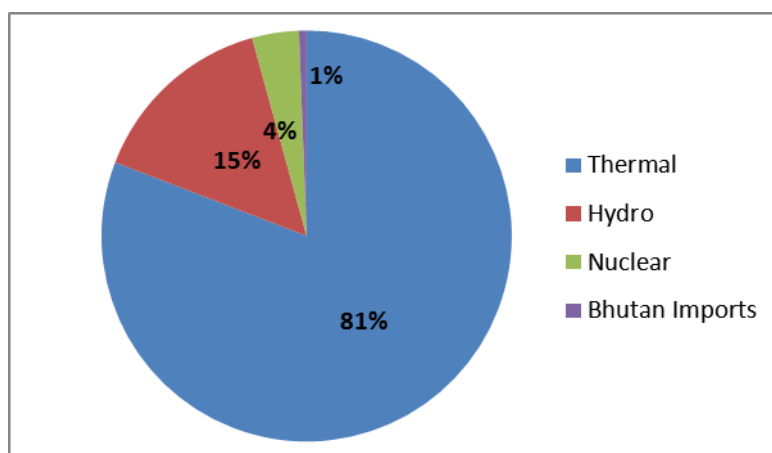


Figure 3.6: Electricity generation (Mode-wise) and Imports during FY 2011-12

### Average CO<sub>2</sub> emissions

The energy sector CO<sub>2</sub> emissions comprise of emissions due to fuel combustion in electricity generation, solid fuel manufacturing, petroleum refining, transport, residential & commercial activities, agriculture & fisheries. It also includes the fugitive emissions due to coal mining, and handling of oil and natural gas. In 2007, the largest chunk of CO<sub>2</sub> emissions was from electricity generation amounting to 719.31 million tons of CO<sub>2</sub>-equivalent, which represented 65% of the total CO<sub>2</sub> equivalent emissions from the energy sector.<sup>26</sup> If only CO<sub>2</sub> emissions are looked at, then the electricity sector accounted for 51% of the total CO<sub>2</sub> emissions (715.38 million tons of CO<sub>2</sub>).

Figure 3.7 shows India's CO<sub>2</sub> emission rate (tCO<sub>2</sub>/MWh). It can be noted that CO<sub>2</sub> emission rate reduced during the period 2003-04 to 2007-08. However, during the years 2008- 09 and 2009-10 there has been a marginal increase primarily due to addition of more coal based power stations as compared to hydro stations.

<sup>26</sup>Low Carbon Strategies for Inclusive Growth, An Interim Report (May 2011), Planning Commission, Government of India.



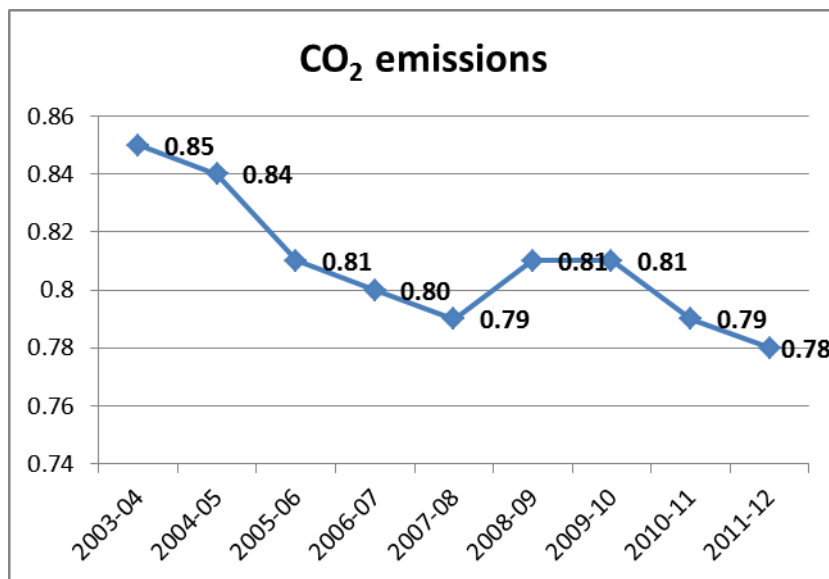


Figure 3.7: Weighted Average Emission Rate (tCO<sub>2</sub>/MWh): Trends

Source: Central Electricity Authority, Government of India,  
[http://www.cea.nic.in/reports/planning/cdm\\_co2/cdm\\_co2.htm](http://www.cea.nic.in/reports/planning/cdm_co2/cdm_co2.htm)

National Electricity Plan (January 2012), volume I-Generation, Government of India

### Reliability of electricity supply

Reliability of electricity supply refers to the ability of the power system components to deliver electricity to all points of consumption, in the quantity and with the quality demanded by the consumer.

Reliability analysis requires large amount of data related to consumer interruptions such as number of consumer affected, duration of interruptions and the type of power cuts viz. scheduled or unscheduled. The Accelerated Power Development and Reform Programme (APDRP) of the Government of India has focused on creation of the data base, which is a prerequisite for reliability monitoring so as to identify the trouble some consumer and system elements. The electric utility industry uses the standard Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) reliability indices like CAIDI, SAIFI, SAIDI to track and benchmark reliability performance. These indices are explained in Annex 2.

Reliability and quality of supply were rarely an issue till recent past and little or no attention was paid to the reliability and quality of power supply. Hence, there is not much data available in India regarding outages and blackouts. But a change in attitude has been observed in the supplier as well as takers of energy and a customer friendly definition of reliability and benchmarking of performance has been laid down. Sufficient information is not available regarding the reliability of electricity supply in India.

## Strategies with regard to generation of electricity and reducing the carbon intensity of electricity generation

### *Key strategies*

The Mission of the Government of India is to provide quality power to all at reasonable rates. The enactment of the Electricity Act in June 2003 was a major milestone, which paved the way for development of the power sector within a competitive and liberal framework while protecting the interests of the consumers, as well as creating a conducive environment for attracting investments in the sector. The National Electricity Policy and the National Tariff Policy were finalized by the Government to steer the evolution of the power sector within the ambit of the Electricity Act.

A two pronged strategy has been adopted whereby on one hand, continuous efforts are being made to augment the supply of clean and green power, and on the other, emphasizing the need for demand side management and energy efficiency measures. Energy Efficiency and Demand Side Management has assumed great importance in view of the need to conserve depleting energy resources as well as to minimize the carbon footprint of the power sector.

The National Electricity Policy aims at making power available to all, supplying reliable and quality power in an efficient manner and at reasonable rates, increasing per capita availability of electricity to over 1000 units by 2012, and a minimum lifeline consumption of 1 unit/household/day as a merit good by 2012. The other key strategies of the government with regard to generation of electricity and reducing the carbon intensity of electricity generation are summarised in Annex 3.

### Planned Electricity Generation Capacity

The capacity addition requirement during the Twelfth Plan period (2012-17) works out to be 75,785 MW. In accordance with the Low Carbon Growth Strategy of the country, priority has been accorded to renewable energy sources, hydro and nuclear generation capacity. The capacity addition planned during the 12th Plan is given in table 3.7.

Table 3.7: Planned Capacity Addition during the Twelfth Five Year Plan (2012-17) (MW)

Sector	Hydro	Coal	Lignite	Gas	Nuclear	Total
Central	5,632	10,600	0	826	2,800	19,858
State	1,456	12,080	0	260	0	13,796
Private	2,116	40,015	0	0	0	42,131
Total	9,204	62,695	0	1,086	2,800	75,785

Source: Report of the Working Group on Power for Twelfth Plan (2012-17), Government of India. Ministry of Power (January 2012)

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

The above capacity addition requirement during the Twelfth Plan is based on the likely capacity addition of 62,374 MW during the Eleventh Plan (2007-12). In addition, a grid interactive renewable capacity addition of about 18,500 MW during Twelfth Plan comprising of 11,000 MW wind power, 1,600 MW small hydro power, 2,100 MW biomass power and 3,800 MW solar power has been considered for the generation planning studies.

The peak demand and energy requirement during the terminal year of Thirteenth Plan (2021-22) would be 289,667 MW and 1993 BU, respectively. The capacity addition requirement during the Thirteenth Plan period (2017-22) to meet this demand is estimated to be 123,900 MW as given in table 3.8.

Table 3.8: Planned Capacity Addition during Thirteenth Five Year Plan (2017-22) (MW)

Type of Capacity	Planned Capacity Addition
Thermal	63,400
Hydro	12,000
Nuclear	18,000
Wind	11,000
Small Hydro	1,500
Biomass	2,000
Solar	16,000
Total	123,900

Source: Report of the Working Group on Power for Twelfth Plan (2012-17), Government of India. Ministry of Power (January 2012)

The projected renewable capacities at the end of Twelfth and Thirteenth Plan by the Ministry of New and Renewable Energy (MNRE) are as mentioned in table 3.9.

Table 3.9: Proposed Renewable capacity Addition (MW) at the end of Twelfth and Thirteenth Plan

Resource	Twelfth Plan projection	Thirteenth Plan Projection	Total Projected Capacity by 2022
Wind Power	11,200	11,200	38,500
Small Hydro (up to 25 MW)	1,600	1,600	6,600
Biomass	500	1,000	2,525

Resource	Twelfth Plan projection	Thirteenth Plan Projection	Total Projected Capacity by 2022
Co-generation Bagasse	1,400	700	3,916
Waste to Energy	200	500	824
Solar	3,800	16,000	20,000
Total	18,700	31,000	72,400

Source: 'Renewable Energy in India: Progress, Vision and Strategy', MNRE, Government of India

### Role of electric vehicles in compensation of fluctuations caused by renewable energy supply and need for Smart Grids

High carbon intensity of electricity generation in India, as discussed earlier, indicates that EVs may not necessarily be less carbon emitting than conventional vehicles, especially given the high Transmission and Distribution (T&D) losses of the electricity sector in India, although the centralized nature of the emissions may ease the application of emission control measures. For EVs to be truly environment friendly, the use of renewable energy becomes a necessity, but as has emerged in the previous sections, the penetration of renewables in India's power sector is likely to remain small in the short and medium terms.

For EVs to not threaten India's power situation, **it is imperative that any charging infrastructure is not overly dependent on grid supply. Decentralized electricity generation at the charging outlets is therefore the need of the hour.** Using diesel electricity generation for this purpose, however, will again negate the point of using EVs. Any decentralized generation will, therefore, have to be based on renewable energy. Renewable energy sources, of course, have their own set of problems. Primary among these is the intermittent and unreliable nature of the generation. To ensure that a steady supply of electricity is available, a storage system will be necessary, perhaps along with a diversification in the sources, with more than one renewable energy source being utilized. Synchronization of all the different sources with each other, and also with the varying load imposed by the charging outlets, in real time, is a challenge that **requires the use of smart grids.**

Smart-grid technology can enable the EV-charging load to be shifted to off-peak periods, thereby flattening the daily load curve and significantly reducing both generation and network investment needs. However, the complexity of the grid operation means that the development of standards that ensure interoperability of the diverse components both on the supply and demand sides becomes essential. This is more so because EVs can represent not just a load for smart grids, but also a source. In the long run, it has been postulated that EVs can function as distributed energy storage devices, feeding back electricity stored in their batteries to the grid. This mode of operation, known as vehicle-to-grid (V2G) supply, will see EVs absorb extra energy when power demand is low, and release it back to the grid when the demand is high. V2G operation is not yet commonplace, but its groundwork has already been laid. In 2009, the US state of Delaware passed a bill, which would compensate owners of EVs for electricity sent back to the grid at the same rate at which they were charged for drawing power. Consumers

will be 'net metered', meaning that they will only be charged for the net amount of electricity that they draw from the grid.

The NEMMP 2020 recommends that innovative electric charging business models like smart metering and grid powering should be examined and developed. The Plan highlights that EVs can be more effective in the long run if batteries in EVs are used for storage of energy and also for load balancing of the grid i.e. feeding electricity back to the grid when the EVs are not in use. The Plan hence recommends studies for the impact assessment of EV charging on the micro grids and possibility of using EVs to power/stabilize the grid and act as an energy storage medium in remote areas powered by renewable energy. The Plan also recommends introduction of standards for vehicle to grid interface before a large scale charging infrastructure plan is rolled out in the country.

### 3.1.6 Provision of infrastructure

The Indian market for electric vehicles (EVs) is at a nascent stage. The government and industry realize that both the battery technology and **charging infrastructure need to improve** to meet the customers' expectations of range, recharging and affordability and promote a shift to EVs.

As a clean, zero-emissions mode of transport, EVs are expected to gain popularity in the future. But at present, fully charging them is a time-consuming process that can take several hours using a household power supply. In addition, EVs are only able to drive short distances compared to gasoline-engine vehicles. To resolve these issues, a charging infrastructure at a national scale is essential.

#### EV charging infrastructure: Efforts

There have been plans in the past to develop a network of charging stations in a few cities of the country. In 2010, the Delhi Government announced that it would provide a network of charging stations in the city, but only after several EVs were ready for launch in the country. This reflects one of the problems with EVs in general: infrastructure developers are reluctant to invest in this area until there is a sizable population of EVs on the roads, while vehicle manufacturers are unwilling to launch their models in India due to the lack of charging stations. Till recently, only two cities in the country had taken some initiatives to establish charging infrastructure. Delhi had established charging ports in 50 of its sub-stations in the city and Bangalore had equipped some parking spaces in malls and offices with charging points for electric cars.

#### Comparison with Compressed Natural Gas (CNG) infrastructure

The experience of CNG distribution in India may be a pointer to the future of EV infrastructure. In 1998, the Indian Supreme Court directed that the Gas Authority of India Limited (GAIL) should expand their CNG distribution network in Delhi from 9 to 80 outlets by 2000 so that a re-fuelling infrastructure for autos, taxis and public buses becomes available. Despite initial teething problems, today this infrastructure is fairly well developed in Delhi. However, expansion to other cities is still an expensive affair. GAIL has estimated that expanding the network to 298 cities by 2014 will require an investment of INR 371.7 billion (4.46 billion Euros). This compares with an estimate of INR 80-90 billion (0.9-1.08 billion Euros) being required to be spent on R&D and country-wide infrastructure for EVs. The essence here is that given the large

initial investment that is required for setting up any infrastructure, be it for CNG vehicles or EVs, Government support becomes essential.

### EV charging infrastructure: Future plans

As stated, the EV market in India is at a very early stage, which in turn has deterred any large-scale investments in charging infrastructure for EVs. However, this situation is expected to change by 2020 if the recommendations of NEMMP 2020 are fully implemented and realized. The Plan recommends a detailed strategy on roll-out of charging infrastructure in the country. It states that large parts of investments in charging infrastructure can be channelized through private sector, but it stresses that initial investments for pilot projects would be required to be aided by the government. The government would also be required to set up necessary framework for the same. The Mission Plan recommends setting up of standards for batteries and various other recharging components, to ensure successful and effective implementation (rolling out) of recharging infrastructure. The Plan has further suggested a three-phased approach for rolling out of charging infrastructure. The phase one will be the initial preparatory phase, followed by the second phase in which pilot projects and business models would be taken up for testing and implementation, and the final phase would involve the roll out of infrastructure. **Annex 4** describes this phased approach in detail.

## 3.1.7 Stakeholder opinions on the governmental framework

### Motivations of governmental support for electric vehicles

According to the interviewed stakeholders from governmental institutions and other actors, the government support for electric vehicles has three central motives: firstly, the provision of energy security, in the context of oil dependency of road transport; secondly, to support the domestic automotive industry, and by that, an investment in technology and competitiveness of the country; and thirdly, the mitigation of environmental impact of road transport. The last aspect addresses mainly local air pollution. Most experts do not see CO<sub>2</sub>-emission reduction potential as relevant driver for electric mobility in India. The motivation to support the economy is underlined by a cost-benefit-analysis in the NEMMP, that calculates INR 2.5 (0.05 Euros) benefit per INR (0.012 Euro) of investment.

The release of the NEMMP is considered as an important intervention in an atmosphere of insecurity about the future development of electric mobility.

### Government strategy regarding electric vehicles and the NEMMP

The NEMMP is regarded as an important step that indicates the government strategy on electric vehicles. The process to set-up the NEMMP was launched following a 2011 study by SIAM and the Ministry of Heavy Industry with an aim of identifying future key technologies.

Several ministries have contributed in the development process: Department of Heavy Industry (coordinating), Department of Science and Technology, Department of Renewable Energy, etc. Apart from governmental actors, stakeholders from the automotive industry have also participated in the plan preparation process. The official approval of the schemes and budgets under the NEMMP was still pending at the time of the interviews.

Most of the experts consider NEMMP as a good mission plan with a holistic approach that takes into account the potential of electric mobility and defines specific measures. Experts consider NEMMP to be a better approach as it brings together different aspects of electric mobility together in an integrated manner as compared to the past isolated efforts to promote electric mobility.

While the strategy laid down in NEMMP is regarded very positive, several experts mention that its implementation and execution is still to begin. The implementation is expected to be flexible and modifications will be needed to adapt to new knowledge and future developments; governmental actors explained that course corrections would be planned on an annual basis.

As it is still unclear how and when the different schemes proposed under the NEMMP will be implemented, its actual effects are still unclear. Industry stakeholders point out that a fast implementation within the year 2013 is necessary in order to support the industrial development – still, some experts expect delays in the further process.

### Organisational structures

With regard to organisational structures, experts emphasise the importance of the creation of a common platform for electric mobility by the NEMMP that brings together actors from different ministries, governmental institutions, research and industry.

The National Council on Electric Mobility (NCEM), with delegates from various ministries, industry and academics, develops recommendations that will be binding for all ministries; a level below, the National Board on Electric Mobility (NBEM) with secretaries from various ministries and members from industry and academia leads different working groups on the different thematic fields – like R&D, incentives, infrastructure etc.

As an independent actor, the National Automotive Board (NAB) will be established; it will act as a technical advisor for the NCEM and NBEM (under the Department of Heavy Industry). Despite of these coordinating structures, some experts mention the conflicts between ministries on the issue of responsibilities.

### Market creation instruments

A central pillar of the governmental strategy is the market creation. Experts regard it as an instrument to escape a vicious circle of lack of demand and high costs due to low volumes, and to boost the xEV market. Several experts mentioned that the Indian xEV industry is waiting for incentives to overcome the difficult market situation.

A former purchase incentive scheme for electric vehicles ended in 2012-13. The scheme was originally designed for government, institutions and companies, but due to lack of demand, it was opened for every customer. According to the experts, many 2-wheeler manufacturers have benefited from the incentives under the old scheme. Only few three-wheelers and small BEV cars (mainly Mahindra REVA) have received subsidies. In total 47,000 vehicles were supported, as per information given by the interviewed stakeholders.

The NEMMP suggests purchase incentives for electric vehicles for a limited period of time and it proposes that after a while the electric mobility market should be self-sustaining. According to governmental experts, the individual sum of incentives will probably range between INR 25,000 and INR 150,000 (300 Euros and 1800 Euros, respectively) for different types of vehicles.

The incentives will be based on different criteria that will still be developed by the government. One of the criteria will be a certain degree – proposed are 30% - of manufacturing taking place in India. Another aspect will be the fuel efficiency of the vehicle – e.g., vehicles with Li-Ion batteries are likely to receive higher funds. According to NATRiP experts, further criteria will take into account safety, emissions, warranty, range, performance parameters, availability of service centres, and total cost of ownership; vehicles that are already economically viable would not be incentivised.

Experts expect a major funding demand for 2-wheelers; among 4-wheelers, HEVs are likely to be dominant. Stakeholders like SIAM will be involved in the further design of the funding scheme.

Such a long-term countrywide funding scheme as proposed under the NEMMP is seen as an important requirement for the penetration of xEVs in India as it would provide planning security for manufacturers. Experts mention that the phase-out of the incentives needs to be timed right and synchronized with the state of product development and market availability.

As of beginning of 2014, the incentive programme proposed under the NEMMP has not been enacted. However, it is expected that the incentive programme will be signed into law in April 2014.<sup>27</sup>

Apart from purchase incentives, experts consider public procurement and xEV targets for public transport or commercial vehicles as a relevant measure; similar as CNG has been successfully introduced in Delhi through buses, rickshaws and light commercial vehicles. A possible target could be 20% share for xEVs in government fleets according to experts.

Another indirect instrument to push the market penetration of xEVs could be the air pollution regulations. Some experts argued that a tight emission standard would give hybrids a high importance. For BEVs, CO<sub>2</sub> based regulations would not be favourable since the average CO<sub>2</sub> emission level of the electricity is very high. In this regard a regulation based on fuel efficiency would have a larger effect on BEVs.

## Charging infrastructure

Most of the interviewed experts argued that infrastructure is not a relevant issue yet since at the beginning 2-wheelers and hybrid 4-wheelers will dominate the market – while 2-wheelers can be charged at home without public infrastructure, HEVs do not need charging at all. Single PHEV and BEV users are expected to use private charging in garages at home or at their workplace. As soon as PHEVs and BEVs, equipped with Li-Ion batteries, start playing a bigger role in India, the development of a charging infrastructure – including fast charging - would become more important.

For the setup of a public charging infrastructure, the interviewed experts consider a cooperation of different actors as necessary; standards need to be set by the government, but have not been specified yet. The government also needs to provide public space and create the legal framework, e.g. for the possibility for private companies to sell electricity. Power companies and electric industries need to participate in the implementation and service of charging infrastructure. An implementation by public private partnerships could take place as soon as

---

<sup>27</sup> <http://insideevs.com/by-april-india-hopes-to-roll-out-incentive-program-for-purchase-of-evs/>



## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

the market is big enough and the companies can expect revenues. Up to now, automotive companies do not see charging as a business case. For the reason of high costs, the interviewed experts also do not expect fast charging infrastructure to be implemented soon.

Some experts mention that public charging infrastructure might be installed at petrol stations; a plan by MNRE foresees the development of charging infrastructure for E-cycle-rickshaws at public places.

To achieve a dense charging infrastructure in a longer perspective, the experts recommend regulations that oblige new buildings to have charging infrastructure.

Experts see the stability of the Indian electricity grid as a major challenge for mass charging of PEVs (BEVs and PHEVs), and especially for home charging where the charging parameters cannot be centrally controlled. Currently, the grid is very unstable; further capacities for charging, especially if concentrated in certain areas, would require an upgrading of the grid. Other experts consider this as a minor challenge in the short term, since the demand is still very low. An option to balance the grid instabilities by energy storage at charging stations could be a potential option that could be tested. Further ideas regarding smart grid solutions are under discussion, but far from being implemented. Even though several ideas regarding charging infrastructure have been mentioned, it seems that no definite plans for the installation of stations exist.

## 3.2 RESEARCH FUNDING AND INSTITUTIONS

The Government of India plans to support manufacturing competitiveness and development of technology through supporting research and development in the automobile sector. As stated earlier, the government has already established the NATRiP program to facilitate R&D, homologation and testing in the sector at various locations across the country. The program is expected to have time bound help from the government to complete its various phases. After completion, NATRiP will be the coordinating agency for testing activities and will also act as a data centre enabling agencies to carry out research. Other than NATRiP, the government has also identified different institutions and machine tool industries to conduct research activities. They will basically conduct research to develop new technologies and facilitate creation of Intellectual Property Rights (IPR) to meet stringent regulations and in general improve manufacturing process and improve the quality of vehicles and their components. The different institutions/organizations identified by the government to conduct research in the auto sector are Indian Institute of Technologies (IITs), Council for Scientific and Industrial Research (CSIR), independent bodies such as Automotive Research Association of India (ARAI) and Indian Institute of Petroleum. As another step in this endeavour, the government is also planning to develop and modernise the laboratory facilities in the IITs and also planning to introduce a modular programme in IITs and IIMs to encourage R&D.

The need to synergize various initiatives and optimize output has been identified and therefore various areas of research have been identified., Some of which are technology for alternative fuels and hybrid engines, use of advanced, materials, design and styling, innovative alternative cost effective materials, etc. The government is also planning to set up different centres for this purpose like an Advanced Research Centre, Centre for Automotive Design and a Technical organisation to handle Indian regulations. A Technology Modernization Fund will also be created.

In a road map created by the ARAI, it is planned to develop R & D capabilities in terms of competency, capacity in terms of facilities, and develop cost effective and appropriate technology solutions for Indian conditions. One of the key development programmes that the agency has decided to work on with the focus on Hybrid Electric Vehicles; the other is on Light Weight Passenger Buses. The cost of R&D related to these two programs is expected to be around INR 1-1.2 billion (12-14.4 million Euros). The six major automotive technology / engineering areas like Power Train, Vehicle Structure/ Dynamics, Noise, Vibration & Harshness (NVH), Safety, Electronics and Light Weight Materials will be covered in both the programmes. The outcome of this research is expected to be reduced weight, increased fuel economy, cost efficient technologies and increased vehicle/component life.

Specifically with regard to R&D in electric vehicles, the government has proposed a detailed strategy in NEMMP 2020. The government plans to build R&D capacity through licensing/alliances, acquisitions, joint ventures, etc. The Plan indicates that the high priority research areas in electric vehicles in India are battery cells, battery management systems, powertrain system integration, transmission systems (hybrid), electric motors, and power electronics (specially for HEV/PHEVs). The need to customise battery systems for Indian weather and traffic conditions has also been identified as of outmost priority. Another such R&D topic is localised power electronics and their integration, which can yield better performance at lower cost and cheaper motors.

### 3.2.1 Actors

The following are the key government actors in research related to automobiles (including electric vehicles).

- National Automotive Testing and R&D Infrastructure Project (NATRiP)
- Global Automotive Research Center (GARC)
- Vehicle Research and Development Establishment (VRDE)
- National Automotive Test Tracks (NATRAX)
- International Center for Automotive Technology (iCAT)
- Automotive Research Association of India (ARAI)
- National Institute for Automotive Inspection, Maintenance & Training (NIIT)
- National Centre for Vehicle Research & Safety, NCVRS
- Council for Scientific and Industrial Research (CSIR)
- Central Road Research Institute (CRRI)

Details related to these agencies i.e. addresses, key resource persons, etc. are given in Annex 5.

### 3.2.2 Research Funding

Within the framework of the Automotive Mission Plan 2006-16, the government has made specific recommendations to facilitate and fund R&D activities in the automotive sector. These include:<sup>28</sup>

- Providing a 100% grant for fundamental research, 75% for pre-competitive technology / application and 50% for product development
- Promoting technology acquisition (for manufacturing) through tax / levy exemption, zero taxes / levies on technology transfers (products, features, alternate fuel, etc.)
- Increased weighted deduction for expenditure incurred on R&D from 150% to 200%. The scope of deduction will be extended to all R&D expenditure whether incurred in-house or externally. This facility could continue to be made available in addition to any other incentive being offered
- Provide excise duty concession for 'Made in India' products

### 3.2.3 Status Quo in Research and Development

#### Recommendations of NEMMP 2020

Within the framework of NEMMP 2020, the Indian government has given out the tender to identify battery cell technologies and power train technologies as key focus areas for R&D

---

<sup>28</sup> Automotive Mission Plan

related to electric vehicles. They will specifically include battery cells, battery management systems powertrain system integration, transmission systems (hybrid), electric motors and power motors (for Hybrid electric vehicle (HEVs) / Plug-in Hybrid electric vehicle (PHEVs)). Beside these areas, R&D in light weighting, reduction of rolling resistance in tyres, downsizing of engines and other traditional areas of automotive research is also proposed to be encouraged. Table 3.10 highlights the prioritized research areas in electric mobility, as recommended in NEMMP 2020.

Table 3.10: Electric mobility: prioritized research areas proposed in NEMMP 2020

Priority	Research area
Priority 1	Battery cell
Priority 2	Battery management systems
Priority 3	Power electronics (hybrids)
Priority 4	Electric motor
Priority 5	Transmission system (hybrids)

As suggested in the NEMMP, the government is going to encourage Original Equipment Manufacturers (OEM), universities and national labs to take up these research areas. It is expected that universities and national labs can work on battery cells and electric motors and OEMs and component manufacturers can take up research on battery management systems, power electronics, powertrain integration and electric motors. The government will be financing the research through consortia and grants. Battery management systems, power electronics and transmission technologies are expected to be developed as in-house products by industry and will require investments from OEMs and manufacturers; government will assist research in areas like research on battery cells and electric motor technologies. The research will be taken up by the government and the industry jointly and a common roadmap is going to be brought out. R&D capability will be increased through different ventures such as licensing, alliances, acquisitions, joint ventures, etc. The existing scheme used by Collaborative Automotive R&D (CAR) under Technology Information, Forecasting and Assessment Council (TIFAC) / Department of Science and Technology (DST) regarding project consortia may be used along with other possible models as may be deemed appropriate.

NEMMP 2020 estimates that research on four wheelers, two wheelers and buses will each require an investment of INR 2 billion (24 million Euros) by the government and the industry both to support battery cell alliances and technology acquisition. In the next five years, an additional INR 0.5 billion (6 million Euros) will be required individually for four wheelers, two wheelers and buses for R&D and product development of electric motors. INR 0.5 billion (6 million Euros) will be needed for four wheelers and two wheelers and INR 0.8 billion (9.6 million Euros) for buses for developing component validation and vehicle testing facilities. The total investment required is estimated to be INR 16-18 billion (192-216 million Euros) (investments by government and OEMs) in the next five year period. Out of this, the government will be required to provide INR 9.3 billion (111.6 million Euros) for R&D purposes.

The sources of the funds for R&D will be as per the Industries Development Act (1951) according to which cess on automobiles will be levied and this will be made available to the Department of Heavy Industries (DHI) for initiatives in the sector. NEMMP 2020 also proposes that the DHI will also support R&D on electric mobility from its budgetary allocations.

The funding programs on electric mobility R&D will be done through the common platform of NCEM, NBEM and NAB. Organizations such as NATIS, NAB, and allied agencies that have expertise will be the implementation agencies and assist NCEM/NBEM in project approval, review and monitoring process. TIFAC/DST will also play an important role in providing technology foresight and project nucleation while NATIS/NAB and DHI will be focussing on project implementation.

### 3.2.4 Stakeholder opinions on the R&D landscape

#### Actors, cooperation and research strategy

The interviewed experts agreed that there are strong deficits in the automotive research landscape in India. Research activities by the automotive industry are very limited. Foreign automotive companies and subsidiaries thereof dominate the Indian automobile industry. These companies usually do not conduct research in India, but at the locations of the parent OEMs. The research activities of the domestic automotive companies are also limited. According to a major electric two-wheeler manufacturer in India, the company conducts only little research and is not structured in a strategic manner, but rather in form of 'trail and error' research. Regarding research, only little collaboration with suppliers exists.

As discussed in section 3.2.1, apart from the automotive industry, there are several institutes in India that conduct automobile related research. However, experts from industry and government regard these research activities as insufficient. The industry criticises that it takes a long time till research results are published and available to the industry. By then, the results are regarded as irrelevant. Often, new technologies that are developed at these institutes do not find their way as ready-to-market products.

On the one hand, experts see a general lack of research institutes and governmental labs that could support the automotive industry in developing advanced components. On the other hand, according to experts, currently the industry does not support external research. In addition, it was mentioned that a tradition for R&D consortia does not exist in India. Besides a limited collaboration of academic research and industry, experts from public institutions also see a deficit in the connection of the various research labs.

To address these issues, the government intends to develop a research structure comparable to the Fraunhofer Society in Germany, with a focus on applied research. The government is planning to set up so-called 'Centres of excellence' (COE), which are intended to structure and coordinate the research and bring together research institutions and industry. The COEs are R&D institutes that are supposed to have excellent knowledge in a specific field. According to the experts, a COE will be designated for each key research topic; these key topics are: i) batteries and recharging, ii) motors and power electronics and iii) system integration (including lightweight design and thermal management). The COEs are intended to fill the gap between research and product development and to make results adaptable for the industry. The

Technology Information, Forecasting and Assessment Council (TIFAC) under the Department of Science and Technology (DST) will identify the COEs based on the institutes' current research work. TIFAC has the task to develop a R&D-policy scheme to specify the NEMMP. At the time of the STROM-assist study tour, a COE on motors and power electronics had already been identified in Hyderabad. The COEs will receive government funds and will be responsible to organise R&D cooperation with other institutes and industry.

The interviewed experts recognized that in terms of automotive related research, India is lagging behind other countries (especially USA, Europe and Japan). Government institutions differentiate four steps in automotive research and development: i) basic research, ii) prototype development, iii) pilot systems, and iv) mass production. Prototype development and mass production are seen as the responsibility of OEMs, whereas basic research and pilot systems are mainly the responsibility of civil research institutes. However, it is seen that India does not have a research tradition in all these categories and related to the different vehicle concepts and components. In most fields, India is currently only assembling existing technologies. Experts from industry-related organisations and government institutions agree that in most fields India should not focus on basic research as the activities are not competitive with western research experiences. Instead, it is intended to focus on applied research and on the adaptation of existing technologies to the Indian requirements.

### Research funding

As outlined in sections 3.2.2 and 3.2.3, within the NEMMP it was estimated that R&D investments of about INR 16-18 billion (192-216 million Euros) are required in the next five years, funded equally by the government and the industry. Civil research institutes and universities can obtain funding rates up to 100%. For private companies, the governmental funding rate is usually 50% for research projects in a semi-commercial state; projects of special strategic importance can obtain up to 70%. Market oriented development is not directly funded, but low-rate loans are offered by the government. According to the interviewed experts, the government plans to focus its support on collaborative projects that research application oriented technologies. OEMs as well as component and motor manufactures can apply for funding.

### Research on vehicle technology and vehicle components

The interviewed actors recognized the need for research especially in the advancement of vehicle components (batteries, power electronics, electric motors, transmission systems for hybrid electric vehicles, etc.) that are to be adapted to the specific requirements of India concerning robustness, easy maintenance and climatic conditions.

Furthermore the interviewed experts see a high potential related to electric motors in India. Currently motors for electric vehicles are not produced in India, but imported. However, existing knowledge and capacities are available from the application of electric motors in pumps, ventilators and other products. In terms of battery research, little experience is available in India and technological experts see very limited potential. The research will focus on proven battery materials such as lithium-ion batteries. A key focus might be the improvement of battery packs to suit the Indian climate conditions. Higher potential is seen for R&D related to power electronics and software research. Another important research topic is thermal

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

management. The battery has to be thermo-regulated and the passenger cabin requires strong cooling and heating powers to suit Indian climate conditions. The integration of battery and engine cooling was mentioned as a key research topic in this field.

Lightweight design is seen as an important research topic to improve the vehicle efficiency. However, currently research efforts are limited. According to the experts there is little traction for lightweight design and materials among the OEMs, but it is expected that the importance of this topic will increase with reduced battery weight (e.g. due to the phase-out of lead-acid batteries that currently prevail in India). Regarding lightweight materials, research on high strength steel is ongoing. Aluminium is also relevant, as India has large aluminium production capacities. Indian research institutes are also participating in an international research project on composite materials, but especially in India, recyclability of these materials is a considerable challenge.

## 1.3 ECONOMY AND INDUSTRY

The automotive sector is one of the key drivers of India's economy, accounting for around 6% of India's GDP and contributing 5% to India's industrial production.<sup>29,30</sup> The sector generates direct and indirect employment for around 13.1 million people and is expected to continue being a key driver of India's economy. There has been a significant growth in automobile production in the country; about 18 million automobiles were manufactured in India in 2010-11 (table 3.11).

Table 3.11: Key statistics for automobile industry in India

	2009-10	2010-11
Production (numbers)	14,057,064	17,916,035
Domestic sales (numbers)	12,295,397	15,513,156
Exports (numbers)	1,804,426	2,339,333
Gross Turnover (INR in millions)	2,034,916 (24419 Euros)	2,694,810 (32338 Euros)
R & D expenditure (INR in millions)	29,599 (355 Euros)	35,551 (427 Euros)

Source: Automobile Industry in India 2010-11, SIAM, 2012

In 2010-11, the Indian automobile industry manufactured close to 3 million passenger vehicles and more than 13 million two-wheelers.<sup>31</sup> Two wheelers are the dominant auto-product manufactured in India, with a share of 75%, followed by passenger vehicles (17%), commercial vehicles (4%) and three wheelers (4%) (figure 3.8). Figure 3.9 shows the break-up of vehicle segments within passenger vehicles and two wheelers.

<sup>29</sup> Automotive sector comprises of automobile and auto component sub sectors.

<sup>30</sup> FICCI, available at: <http://www.ficci-b2b.com/sector-overview-pdf/sector-automotive.pdf>

<sup>31</sup> SIAM 2012



## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

Figure 3.8: Share of different vehicles produced in 2010-11

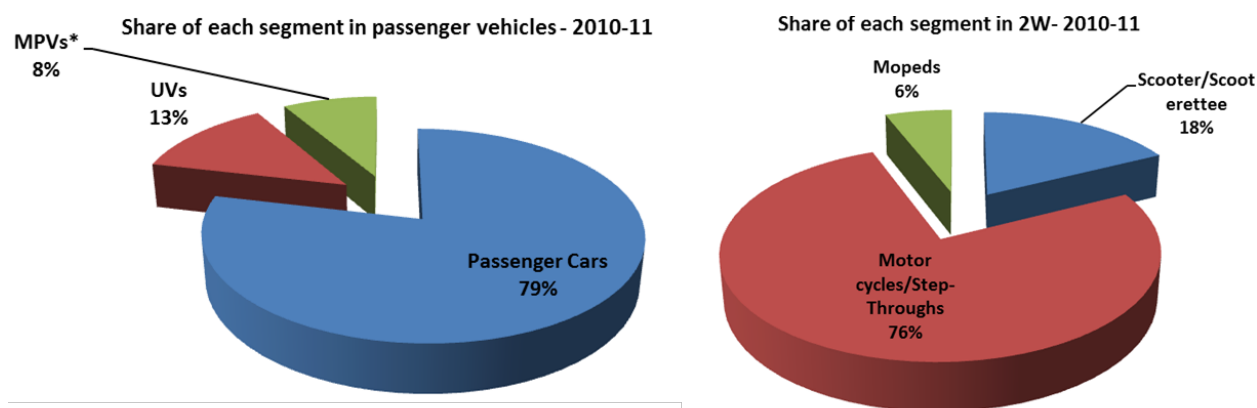
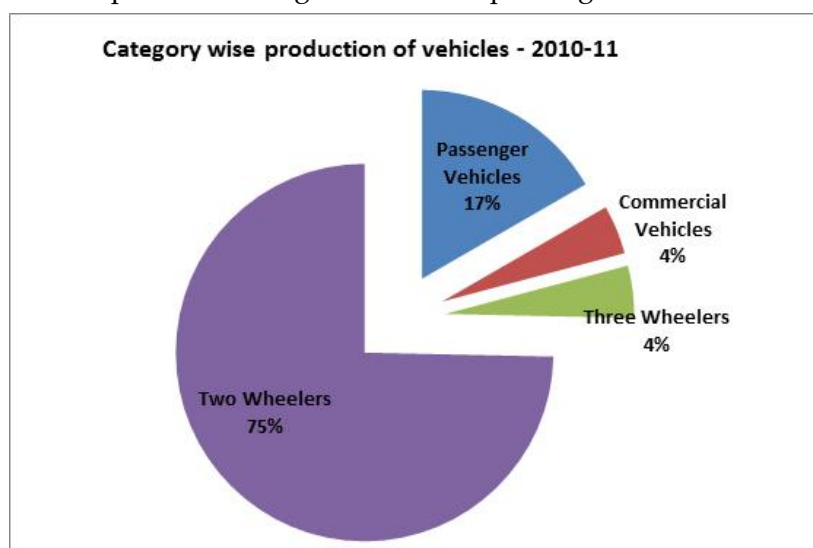


Figure 3.9: Break-up of vehicle segments within passenger vehicles and two wheelers



Note: MPVs- Multiple Utility Vehicles, UVs –Utility Vehicles

### 3.3.1 Actors

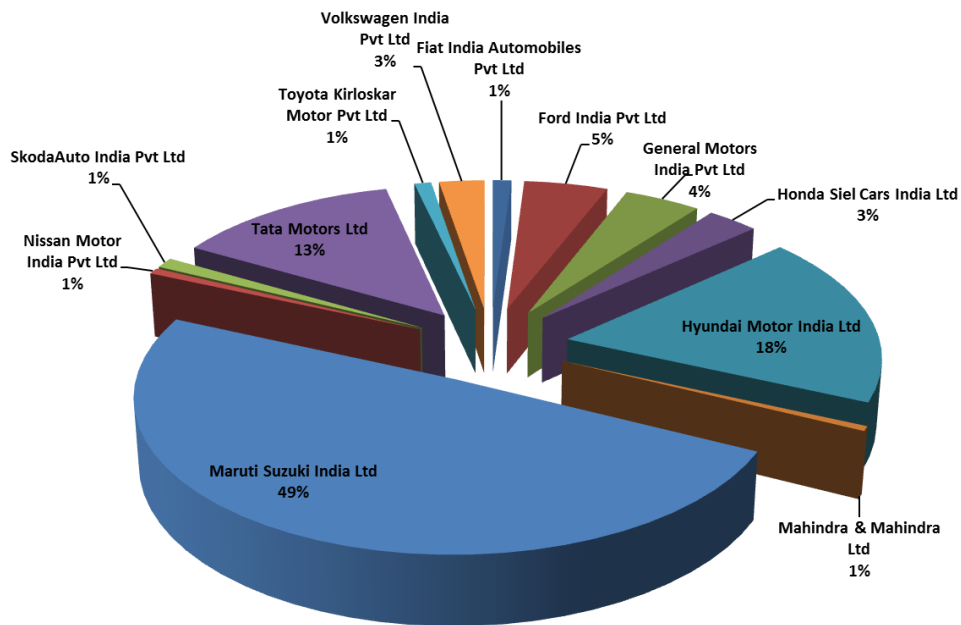
#### Key players in passenger vehicle and two-wheeler segment

At present, there are 19 manufacturers of passenger cars & multi utility vehicles, 14 manufacturers of commercial vehicles, 16 of two and three wheelers and 12 of tractors besides 5 manufacturers of engines in India. This includes virtually all the major global Original Equipment Manufacturers (OEMs) and also home grown companies. In 2010-11, India surpassed France, UK and Italy to become the 6th largest vehicle manufacturer globally. Today, it is the largest manufacturer of tractors, second largest manufacturer of two wheelers, 5th largest manufacturer of commercial vehicles and the 4th largest passenger car market in Asia.

Annex 6 and 7 give the market share of the key auto manufacturers in passenger vehicle and two-wheeler segments.

Figure 3.10 lists some of the major players in passenger car segment along with their market share. It can be observed that in the passenger car segment, Maruti Udyog Ltd. has the highest market share (49%) followed by Hyundai (18%) and Tata Motors (13%).

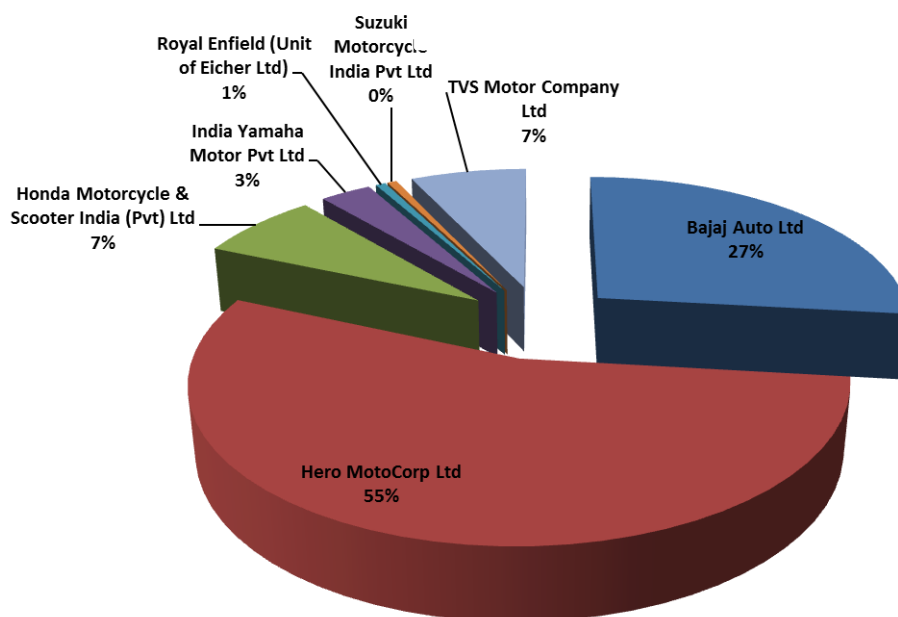
Figure 3.10: Company-wise Market Share in passenger car segment (2010-11)



Within the two-wheeler segment, motor-cycles/step-through have the highest market share of 76%. Figure 3.11 shows some of the major players in this segment along with their market share. In 2010-11, Hero MotoCorp Limited occupied 55% market share, followed by Bajaj Auto limited (27%), Honda Motorcycle and Scooter India (Pvt) Limited (7%), and TVS Motor Company limited (7%).

Figure 3.11: Manufacturers of Motor cycles/Step-Through: Company-wise Market share (2010-11)

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India



### Electric vehicle market in India

Electric vehicle market is at a nascent stage in India and electric vehicles account for a very miniscule proportion of total volume of sales. Reva, India's only electric car, sold around 50 units in January 2011. This represented about 0.027% of the total car sales in January, 2011 (184,332 cars were sold across India in January 2011). Same is the case with the electric two-wheelers; out of about 13 million units sold in 2010-11, just 85,000 or 0.65% were electric two-wheelers.<sup>32</sup>

### Existing players in Electric passenger vehicles segment

In the electric passenger vehicles segment, currently there are a very few players but many players are developing or planning products to be launched in the Indian market in the near future. The key players in xEV passenger vehicle segment that are currently present in the Indian market (or were present till recently) are Mahindra REVA, Toyota and Honda. Contact details related to these three companies are given in **Annexure 9**.

#### 1. Mahindra REVA

Founded in 1994, the REVA Electric Car Company (RECC) was launched as a joint venture between the Maini Group of Bangalore and Amerigon Electric Vehicle Technologies (AEVT Inc.) of USA. With global patents in energy management, remote diagnostics and battery management to their credit, the company unveiled the two-seater REVA electric vehicle in Bangalore in 2001. Subsequently, the same electric car was launched in London as the G-Wiz (2004). In May 2010, the company was acquired by the Mahindra Group and rechristened

<sup>32</sup> Deloitte, 2011

Mahindra REVA Electric Vehicles Pvt Ltd. Today Mahindra REVA has one of the largest deployed fleets of electric cars in the global market.<sup>33</sup>

**Key information: Mahindra Reva<sup>34</sup>**

- Year of establishment: 1994
- Mahindra acquired REVA in 2010
- Presence across 24 countries including in Europe, Asia, South and Central America; largest deployed fleet of electric cars on the road, with 3500 cars.
- **Key competence**
  - Electric vehicles and mobility solutions,
  - Technology licensing, and
  - Licensed manufacturing and distribution
- **Employees: 310**
- **Facilities and infrastructure**
  - Bangalore plant opened in 2012; Capacity – 30,000 vehicles/year
- **Existing Products: REVAi**
- **Recently launched product: e2o (launched in March 2013)**

**Products of Mahindra REVA**

- **Existing product: REVAi**
  - Reva Technical Specifications:
    - Type: Two-door hatchback
    - Payload: 2 Adults & 2 Children (227 kg)
    - Top Speed : 80 km/h plus
    - Charge Time : 80% charge in 2.5 hours; 100% in 8 hours
  - Price:
    - On-road price: 3.5 lac to 5.5 lacs
    - Running cost per km (fuel): INR 0.4 per km
  - Production:
    - Annual production: 400-500 cars/year
    - Annual sales: Approx. 500/year (last 2-3 years)
    - Annual growth of sales: REVAi is not in production since June 2012; the stock has been liquidated since last year

---

<sup>33</sup> Source: official website of Mahindra REVA- <http://www.mahindrareva.com/Reva-Wwr.html>

<sup>34</sup> Source: Interview with Mahindra Reva officials

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

- Variants of REVAi
  - REVAi Standard  
48cc, Automatic, Electric (Battery), 80.0 km/hr, Price - INR 3,59,000
  - Reva i A/C  
48cc, Automatic, Electric (Battery), 80.0 km/hr, Price - INR 4,09,000
  - Reva i Classe  
48cc, Automatic, Electric (Battery), 80.0 km/hr, Price - Rs. 4,38,000
- **Mahindra REVA's recently launched new car: e2o**

The **Mahindra e2o** is an urban electric car hatchback manufactured by Mahindra Reva Electric Vehicles. The e2o is the REVA G-Wiz successor and was developed using REVA's technology, and has a range of 100 km (62 miles). The electric car was launched in India in March 2013 at a price between INR 700,000 (8400 Euros) to INR 850,000 (USD 10,200) depending on the city and before any subsidy. Mahindra also plans to launch the e2o in the European market during the last quarter of 2013.

More details of the products of Mahindra REVA are provided in **Annexure 10**.

### 2. Toyota

Toyota Motor Corporation is an automaker in the Aichi region of Japan. It employs 317,734 people worldwide. Toyota started its operations in India in 1997. It invested INR 7 billion (840 million Euros) in the company. The Toyota Motor Company has 89% of equity shares and the Kirloskar Group has 11% equity shares in Toyota Kirloskar Motor Company. Toyota is a Japanese company while Kirloskar is an Indian Company. Since its inception in India in 1997, Toyota Kirloskar Motor has witnessed a steady growth in the Indian automotive market. Contact details of Toyota Motors, India have been provided in **Annexure 9**.

Electric vehicle of Toyota:

- **Toyota Prius 1.8**

Toyota Prius is world's first mass production hybrid petrol-electric vehicle. The Prius is sold in almost 80 countries and regions; its largest markets are the United States, Japan, and Europe. It is the most successful hybrid car globally. Prius was first launched in Japan in 1997. In India, Prius was launched in 2010. Despite powerful features, Prius could not succeed in Indian market because of its extremely high cost, at around INR 3,000,000. Only five Prius were sold in April-Aug 2012 (SIAM, 2012).

More details of Toyota's xEV product in Indian market, Toyota Prius, are given in **Annexure 10**.

### 3. Honda

Honda Motor Company Ltd. is a Japanese public multinational corporation primarily known as a manufacturer of automobiles and motorcycles. Honda has been the world's largest motorcycle manufacturer since 1959, as well as the world's largest manufacturer of internal combustion

engines measured by volume, producing more than 14 million internal combustion engines each year. In 2001, Honda became the second-largest Japanese automobile manufacturer. Honda was the eighth largest automobile manufacturer in the world behind General Motors, Volkswagen Group, Toyota, Hyundai Motor Group, Ford, Nissan, and PSA in 2011. In Indian market, Honda's first xEV product was Honda Civic Hybrid. The contact details of Honda Motors, India are provided in **Annexure 9**.

Electric vehicle of Honda:

- **Honda Civic Hybrid**

Honda civic hybrid was launched in India in mid-2008. Honda Civic Hybrid was not well received in Indian market because of its high price of INR 2,200,000. Later, Honda slashed down the price of the hybrid car by INR 800,000 to boost the sales. But, the model was soon withdrawn because of weak sales.

More details related to this product are given in **Annexure 10**.

### xEV market: Expected players in the near future

Many auto-makers are planning to enter Indian market with their xEV products. Table 3.12 provides details of these auto-makers along with their plans/products which they target to launch in the Indian market.

Table 3.12: Expected developments in the xEV passenger vehicle market in India

Company	Plans
Renault	<ul style="list-style-type: none"> <li>• It is planning to enter the electric vehicle segment in India by 2015</li> <li>• Renault plans to bring cars to India first as completely build units and may later setup local assembly of manufacturing</li> </ul>
Pininfarina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Italy-based company is planning to launch an electric car in the Indian market by 2014</li> <li>• The battery driven car will run for 250 kms in one charge</li> </ul>
Bavina Cars India	<ul style="list-style-type: none"> <li>• It is planning to launch its first electric car soon</li> <li>• It will invest INR 3689 million (44.3 million Euros) to build a factory in Tamil Nadu, which will be capable of producing 25,000 electric cars per annum</li> </ul>
Mitsubishi Motors	<ul style="list-style-type: none"> <li>• It has already launched Mitsubishi Innovative Electric Vehicle (MiEV) in Japan and Hong Kong and plans to launch an electric car in India soon</li> </ul>
Ajanta Manufacturing Limited	<ul style="list-style-type: none"> <li>• It is planning to launch cheapest electric car in India, OREVA, with the help of Chinese technology</li> <li>• The electric car is expected to offer a range of 200-250 kilometers (124-155 miles) per charge</li> <li>• Expected price INR 85,000 (1020 Euros)</li> </ul>
Hyundai Motor India Ltd.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• It plans to launch the electric version of its car brand i10 in India</li> </ul>

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

Company	Plans
General Motors India Ltd.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• It has decided to launch the electric version of its car brand Chevrolet Spark</li> <li>• It will also launch the electric version of the Chevrolet Volt</li> </ul>
Tata Motors Ltd.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tata Motors is planning to launch electric version of its car model - Indica; work for the same is in advanced stage and its initial version has been launched in Norway.</li> <li>• It uses motor supplied by TM4, a subsidiary of Hydro-Québec, government-owned public utility, Canada. Initial battery supply is from Korean company Energy Innovation Group (EIG)</li> <li>• It will also look at launching electric version of its car model - Nano. It will be called e-Nano</li> </ul>
Nissan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nissan is expected to launch its successful electric car 'Leaf' in India</li> </ul>
Ford Motor Company	<ul style="list-style-type: none"> <li>• It has formed a joint venture with Magna International to launch an electric car in India</li> <li>• It will be a zero-emission lithium-ion battery operated electric vehicle (BEV), which is being developed as a sedan</li> </ul>
Hero Electric	Hero Electric and Electrovaya have formed a partnership for the electrification of two-wheeler vehicles using Electrovaya's Lithium Ion Super Polymer(R) battery technology
TATA Motors Ltd.	Tata and Electrovaya have formed a partnership for the electrification of Tata Indica's electric version using Electrovaya's Lithium Ion Super Polymer(R) battery technology
Tata Motor European Technical Centre (TMETC)	A UK Subsidiary of Tata Motors, TMETC acquired 50.3% holding in MiljøGrenland/Innovasjon, Norway, which specializes in development of innovative solutions for electric vehicles

Sources: <http://evworld.com/article.cfm?storyid=1549>, Presentation on "Electric Vehicle India", Salvi R., Nambiar S., O&N India, Finpro, date not available, Presentation on "Electric Vehicle India", Salvi R., Nambiar S., O&N India, Finpro, date not available

### Electric Two-wheelers

As per SIAM (2012), total electric two-wheelers sold in India were 29,792 in 2006-07, which reduced to 2,711 in 2009-10. However, SIAM lists only two manufacturers of electric two-wheelers – Electrotherm (India) Ltd and TVS Motor Company Ltd (table 3.13). But, as per TERI's research there are several other players in the electric two-wheeler market in India, like

Hero electric, Avon, BSA, etc. However, there are no compiled statistics on the total production of electric two wheelers by all these players. As per an interview<sup>35</sup>, Mr Sohinder Gill, CEO, Hero Electric, mentioned that the annual sales of electric two-wheelers touched peak with 1,10,000 sales in 2010.

Table 3.13: Domestic sales of just two electric two-wheeler manufacturers

Manufacturer	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10
Electrotherm (India) Ltd	29,762	16,853	16,763	2,482
TVS Motor Company Ltd	-	215	9,682	229
Total Electric Two Wheelers	29,762	17,068	26,445	2,711

## Key players in electric two-wheeler segment

### 1 Hero Electric

Hero Electric is an Indian electric vehicle manufacturer. It is a 100% subsidiary of the Hero Group. Hero electric is a pioneer and market leader in the Indian electric two-wheeler industry and manufactures eco-friendly, cost-effective and a diverse range of electric two-wheelers.

Hero Electric offers a wide range of high range and high speed electric two-wheelers manufactured in its state-of-the-art manufacturing facility at Ludhiana and has a widespread network of Exclusive Sales and Service outlets across the country.

### 2 Electrotherm (ET)

Electrotherm (India) Ltd launched electric two-wheelers under the brand name of YObykes in India. Electrotherm (India) Ltd has already established a state-of-the-art manufacturing facility with capacity to produce 288,000 units per annum at Kutch in Gujarat state. In-house R&D facility & production of key components provides edge to ET to launch newer high powered electric two wheelers to meet the requirements of global consumers.

### 3 TVS

TVS Motor Company is the third largest two-wheeler manufacturer in India and one among the top ten in the world with annual turnover of more than 730 million Euros in 2008-2009, and is the flagship company of the TVS Group. It manufactures motorcycles, scooters, mopeds and auto rickshaws in India. Within the two-wheeler segment, TVS Motor currently manufactures a wide range of two-wheelers from mopeds to racing inspired motorcycles. TVS has also ventured into electric vehicles segment and currently has many electric two-wheeler models.

### 4 BSA Motors

BSA Motors is the two-wheeler division of Tube Investments of India, the flagship company of Murugappa Group. In 2008, the company launched the largest range of electric scooters on Indian roads. The company has a state-of-the art plant near Chennai, which has a production

<sup>35</sup> "Electric Motorbikes In India: Six Questions For The CEO of Hero Electric", dated 1/07/2013

Available at: <http://www.forbes.com/sites/davidferris/2013/01/07/electric-motorbikes-in-india-six-questions-with-the-ceo-of-hero-electric/>



## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

capacity of 100 electric scooters a day. It has over 120 retail outlets spread across 10 states and 1 union territory.

### 5 AVON Cycles

Incorporated in 1951, Avon Cycles Limited is AVON Group's flagship company. The Company's Head Office and manufacturing units are located in Ludhiana, a buzzing industrial city in the northern state of Punjab. Beyond the Indian shores, AVON goes to more than 80 countries worldwide. The company today offers a hundred plus models of bicycles in its old line of business established since 1952. Electric bikes of half a dozen descriptions, catering to various segments, are a more recent addition.

Contact details related to these companies are provided in **Annexure 9**. The key electric two-wheeler products currently in the Indian market along with their specifications are provided in **Annexure 11**.

### 3.3.2 xEV component manufacturers

Table 3.14 provides a list of some of the key xEV component manufacturers in India.

Table 3.14: Key xEV component manufacturers in India

S.No.	Manufacturer	Component	Base (city)
1	Exide	Battery Manufacturer	Kolkata
2	Crompton Greaves	Motors of EV	Mumbai
3	Axiom	EV Chargers	Hyderabad
4	Hinode Technology Pvt Ltd.	Simulation	Delhi
5	Fiem Industries	EV Lights	Haryana
6	Rotomag	Motors of EV	Anand
7	NEC	Semi-Conductor	Bangalore
8	Texas Instrument	Semi-Conductor	Bangalore
9	Tafe	Battery Manufacturer	Chennai
10	Toshiba	Battery Manufacturer	Delhi
11	Amaraja	Battery Manufacturer	Chennai
12	UL India Pvt. Ltd	Certification & Testing	Bangalore

Source: [www.smev.in](http://www.smev.in)

Table 3.15 provides names of battery partners of some of the key global auto manufacturers.

Table 3.15: Battery partners of some of the key global auto manufacturers

Model	Battery Partner	Vehicle Type	Expected price (unsubsidized)
Toyota	Panasonic	PHEV	Unannounced
GM/Chevy Volt	LG Chem/ Compact Power	PHEV	29200 Euros
Volkswagen/Golf Twin Drive; E-Up	Sanyo	PHEV	Unannounced
Ford	JCI-Saft	PHEV	Unannounced
Nissan Leaf	NEC	PHEV	21900 Euros
Chrysler Dodge Circuit	A123-Systems	BEV	Unannounced
Mitsubishi/ i-MiEV	GS Yuasa	BEV	34310 Euros
BYD Auto/F3DM	BYD	PHEV	14600 Euros unannounced
Tata Motors/ Indica EV	Electro-vaya	BEV	Unannounced
Tesla Motors/Roadster; Model S	Multiple	BEV; BEV	79570 Euros; 41902 Euros
Peugeot	Mitsubishi	BEV	34310 Euros
Daimler/ Smart EV	Tesla	BEV	Unannounced

Source: <http://www.eai.in/ref/ct/ev/ev.html>

### 3.3.3 Business models

Though there are no well-trying business models for selling electric cars in India, Mahindra REVA and Hero Electric have recently announced their battery leasing models. In the Mahindra REVA's battery leasing model, customer would be charged only for the electric car, minus the battery pack, which runs the electric motor in the electric car. This would reduce the upfront cost of car significantly, as battery is one of the costliest components of an electric car.

The e-two wheeler player, Hero electric, has also recently introduced battery rent model and battery swap model. Details of the two models have been discussed below.

- **Battery Rent Model**  
Hero electric offers a battery rent option in the case of institutional sales<sup>36</sup>. Under the battery rent model, the responsibility of battery maintenance and replacement lies with the company. The consumer has to pay only the upfront acquisition cost of the vehicle excluding the cost of the battery. Additionally he/she has to pay a monthly rental similar to the fuel cost he would be paying in case of an ICE driven vehicle. This way the acquisition cost of the vehicle is reduced drastically, making the xEV competitive in comparison to an ICE driven vehicle. Also the monthly rental, which the consumer has to pay, is lower than the monthly fuel expenses he would otherwise be incurring in case of an ICE driven vehicle. Mahindrar REVA hopes that this model would make xEV a highly competitive option in future, both in terms of acquisition cost and the running cost.
- **Battery Swap Model (Not functional)**  
Hero electric is also proposing to develop a battery swapping model wherein battery swapping stations would be installed at the metro stations. The metro station would have around 20 electric two-wheelers, thus enabling the journey from and to the metro station to be completely pollution-free. Under this model, a battery would be swapped 3-4 times a day in the battery swapping station.

### 3.3.4 Stakeholder opinions on economy and industry

#### xEV industry and vehicle developments in India

A specific characteristic of the India xEV -industry is the dominance of two-wheelers. All interviewed experts consider 2-wheelers as the most important vehicle segment for electrification in the coming years.

In India, the young automotive industry already has a share of 22 per cent of the manufacturing GDP, according to NATRiP. Many international manufacturers, especially from Japan and South Korea, produce in India. Some interviewed experts expect these companies to launch HEVs for the Indian market. In contrast, premium manufacturers are not likely to develop specific cars for India due to the small market segment. A manufacturing base in India is relevant for international manufacturers since the upcoming incentive schemes require a 30 per cent domestic manufacturing share.

The expectations for the further development of the xEV industry in India highly depend on the upcoming policies, especially on the purchase incentives. According to several experts, manufacturers are facing a lack of sales and are waiting for the governmental incentive scheme. As there is a time gap between the old subsidy scheme and the upcoming one, currently the strategy of xEV manufacturers is not focused on growth, but on survival. Due to this uncertain situation, conventional vehicle manufacturers from India are barely interested in electric mobility investments. Additionally, most of the manufacturers don't have the necessary surplus to invest in R&D for xEVs.

---

<sup>36</sup> Institutional sales are defined as purchase of 5 or more products.

The robustness and simplicity is a key characteristic of Indian electric vehicles. Instead of relying upon new and further technological development, existing and proven components are used and combined most functionally. This enables automobile manufacturers and suppliers to enter the market of electric mobility. For the future, experts expect further technical developments, as for example the use of permanently magnet excited electric motors. Many experts expect that the voltage of India xEV s will be on a lower level compared to other xEV markets, due the lower costs and security reasons – the lower voltage allows for an easier maintenance in the basic garages which are typical for India.

The latest Indian BEV, Mahindra REVA's e2o, has been introduced into the market in spring 2013. In contrast to typical Indian vehicle developments that focus on price and utility, the e2o addresses environmental conscious customers by a high degree of efficiency, recyclability and a promotion of solar charging. According to experts from the company, Mahindra Reva is planning to enter the European market with a modified version of e2o that features a higher voltage, better driving dynamics and a higher efficiency.

### Vehicle components

According to experts from the Department of Science and Technology, the automotive components sector in India shows a stronger growth (15%) as compared to the automobile sector (10%). Thus, experts regard the component production as an opportunity for entering Indian market, especially in the fields of electronics and subsystems. Experts see a strength in the integration of existing components and in the adaptation of components for the Indian conditions, like temperature and water resistance, robustness and simple maintenance.

For example, Chinese lead-acid batteries have been used for Indian two-wheelers in the past, but which were not durable and were not designed for Indian weather conditions. Two-wheeler batteries are under stress as they are usually fully charged and depleted on a daily basis. Recently, Indian manufacturers adapted batteries from Chinese production or started to produce own batteries for two-wheelers. Mahindra REVA developed its own battery for the e2o. Though, battery technology focuses on conventional lead-acid batteries; advanced Li-Ion batteries are not expected to play a relevant role in the Indian market in the nearer future due to the relatively high costs.

In the field of electric motors, experts don't regard Indian manufacturers as competitive yet; for this reason the motors are mostly imported from China. Indian manufacturers focus on the development of power electronics that combine the different components to fit best to Indian conditions.

One promising development is seen in the combination of generator and starter in an integrated device, which can support the conventional engine. This allows for the integration of all three hybrid modes – start/stop, boost and recuperation – into the drive trains of two and three-wheelers.

As a challenge for the development strategy of adaptation of components to climate conditions experts see the needs for a sufficient volume of these technologies; the Indian market is limited, and the conditions of climate and use patterns in other parts of the world are different.

### Business models

Regarding business models that replace ownership with service, most interviewed experts don't see a strong market potential. Currently, the experts don't know of any existing models for e-car-sharing or e-scooter-sharing. One possible explanation is the young and growing vehicle market in India with a strong preference to own a vehicle. For this reason, models of battery rental or leasing don't seem promising for most of the interviewees.

An exception is a model of the two-wheeler manufacturer Hero that offers battery rents for costumers that buy more than 5 vehicles. Another available option is a deferred payment of the battery for Hero scooters on a monthly basis, so that the customer owns vehicle and battery but the initial costs are lowered.

### 3.4 Consumer and Market

Currently India is the second largest two-wheeler market and the seventh largest passenger vehicle market in the world, larger than markets in some of the developed countries like United Kingdom and France.<sup>37</sup> The Indian auto market is expected to further witness a rapid growth as the country continues on the path of rapid economic growth leading to rise in disposable incomes of the population. The country also has highly favourable demographics. Today, over half the population is less than 25 years of age and has the highest proportion of population below the age of 35 years. In addition, the expanding middle class, an improving dependency ratio, etc. have all resulted in higher savings and increased ability to purchase vehicles.

#### 3.4.1 Market development of electric vehicles up to now

##### *India's vehicle market - market share of different vehicle segments*

Indian auto-market is dominated by two-wheeler segment with two-wheelers accounting for 76% of the market share followed by passenger vehicles occupying 16.25% share in 2010-11 (figure 3.12). Domestic sales of two wheelers for financial year 2010-11 were 11.8 million whereas domestic sales of passenger vehicles were 2.5 million (figure 3.13).

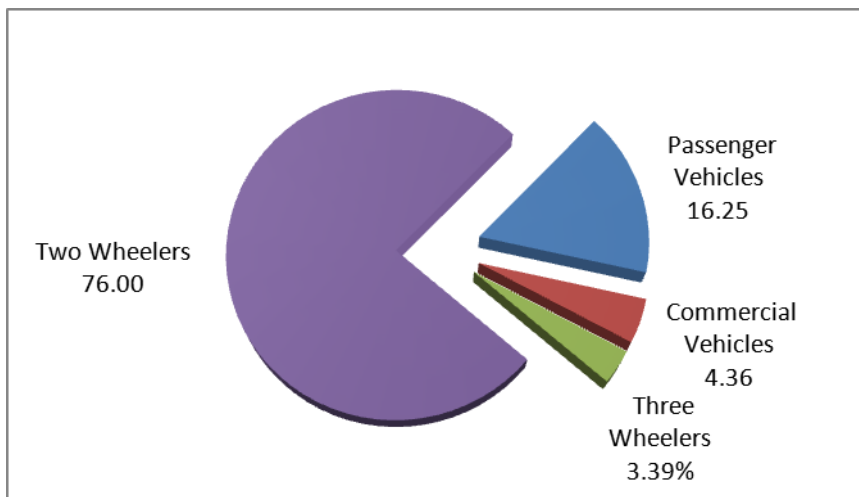


Figure 3.12: Category-wise market share (%) of different vehicle segments in 2010-11

<sup>37</sup> ICRA, 2011

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

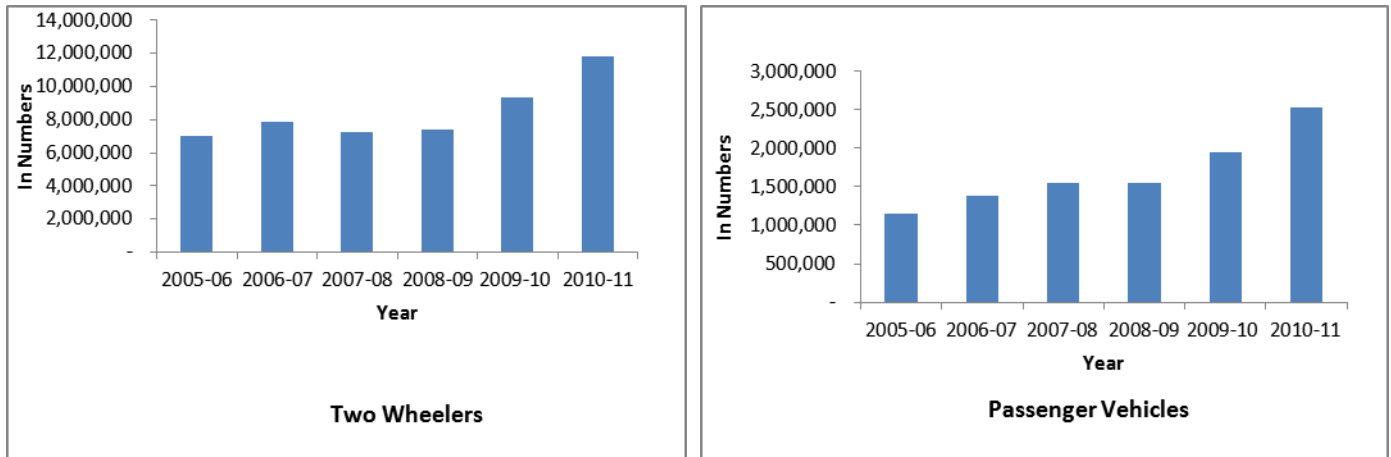


Figure 3.13: Vehicle sales trends: Two-wheelers and passenger vehicles

### *Passenger vehicle sales*

Passenger cars have the highest share (79%) among the total passenger vehicle sales in India (figure 3.14). Within passenger cars, sales are dominated by compact and mini cars i.e A2 (3401-4000 mm) and A1 (Up to 3400 mm) categories of passenger cars, indicating the preference of Indian consumers for small, cheaper and fuel efficient cars (figure 3.15). **Annex 8** gives description of different vehicle segments in passenger vehicles.

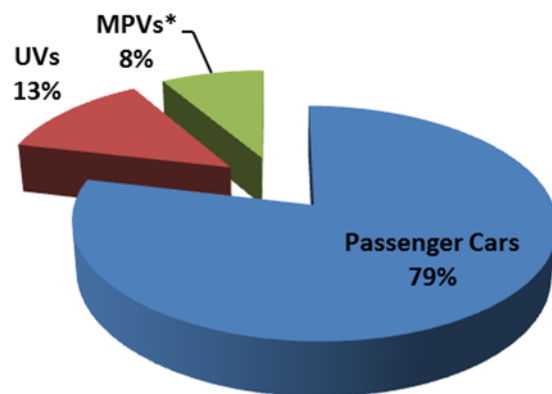


Figure 3.14: Share of different vehicle segments in passenger vehicles - 2010-11

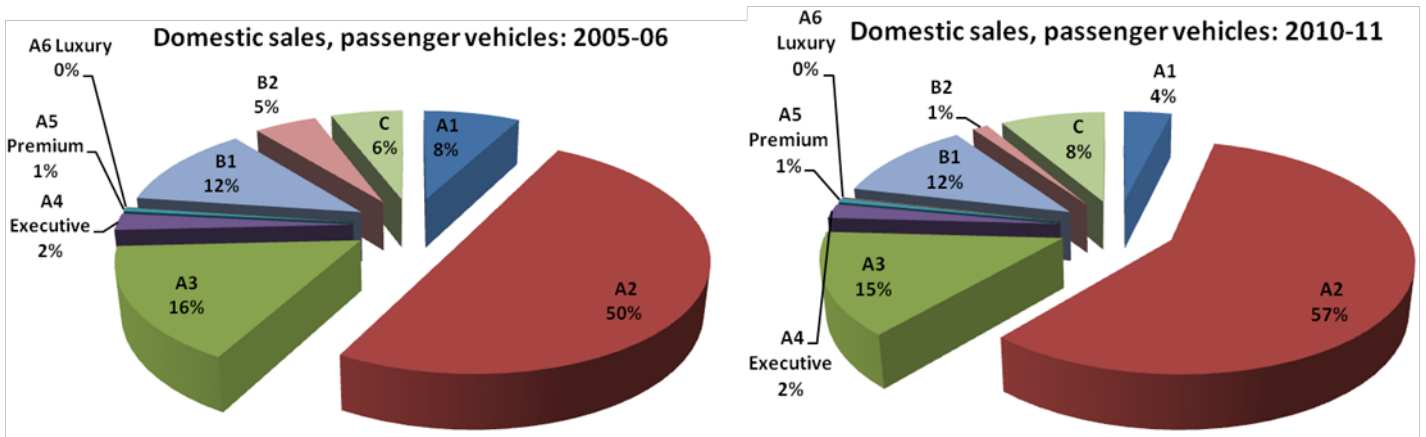


Figure 3.15: Domestic sales of passenger vehicles: Share of different vehicle segments/sub-segments

### Two-wheeler sales

In two-wheeler segment, highest market share is occupied by motor cycles (76%) (figure 3.16). Within motorcycles (B segment), motor cycles with engine capacity  $\geq 75$  cc and  $< 125$  cc (B2 sub-segment) and with engine capacity  $\geq 125$  cc and  $< 250$  cc (B3 sub-segment) had the highest share in 2010-11 (figure 3.17). Interestingly, the share of B2 sub-segment has declined in the last few years while the share of B3 category of motor cycles has gone up. Also, within total two-wheeler sales, there has been a gradual increase in the share of scooters/scooterettes (A2 sub-segment) with engine capacity  $\geq 75$  cc and  $< 125$  cc. Annex 5 gives description of different vehicle segments in two-wheelers.

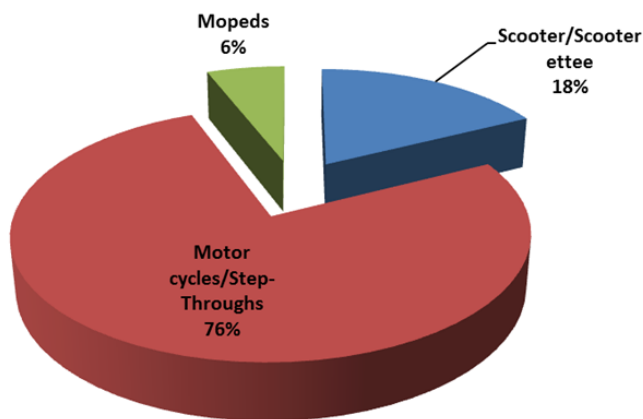


Figure 3.16: Share of different vehicle segments in two-wheeler sales - 2010-11



**Regional Trends in Electric Mobility Country study: India**

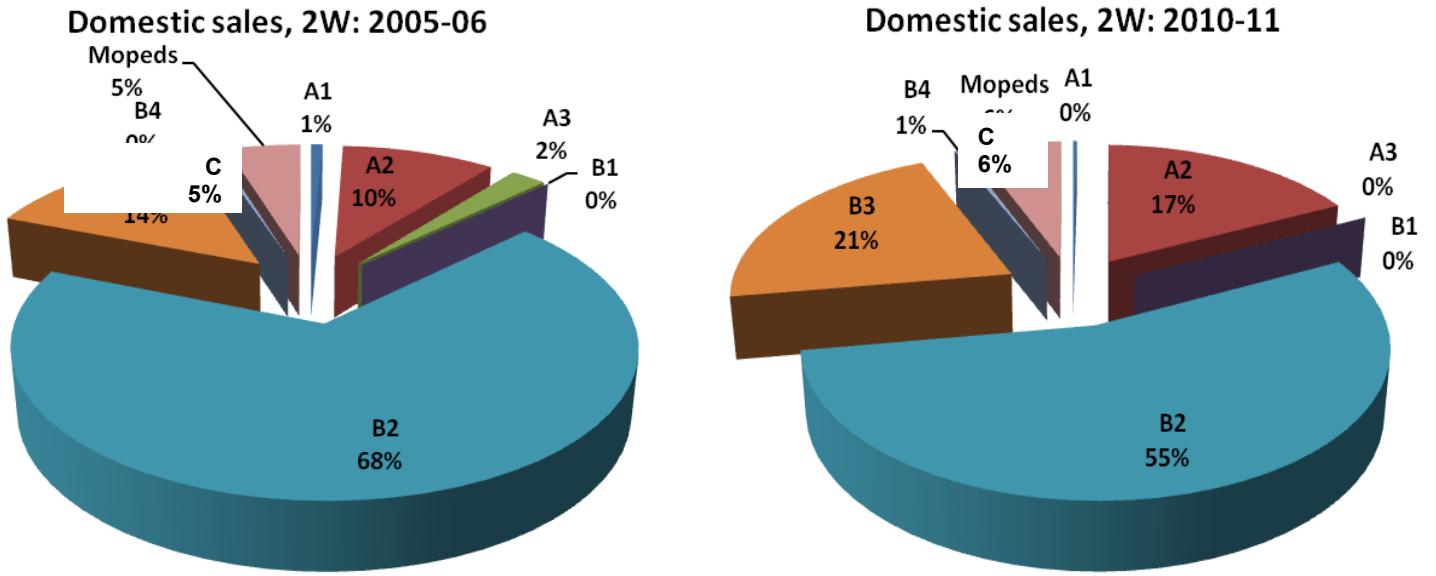


Figure 3.17: Domestic sales of two wheelers: Share of different vehicle segments/sub-segments

*Growth trend of passenger vehicles and two-wheelers*

In passenger vehicles segment, high levels of annual growth have been witnessed by passenger cars in A2, A1 and A3 sub-segments, especially in the last few years, highlighting the preference for mini, compact and mid-size cars by Indian consumers (figure 3.18). The demand for luxury cars saw an unprecedented growth from 2005-06 to 2007-08, as it started from a very low base.

Overall, India’s passenger car market has been growing at a fast rate; growth rate of almost 30% was witnessed for financial year 2010-11. The domestic sales of two-wheelers have also been growing at very fast rates; growth of 25% was witnessed between 2009-10 and 2010-11 (figure 3.19).

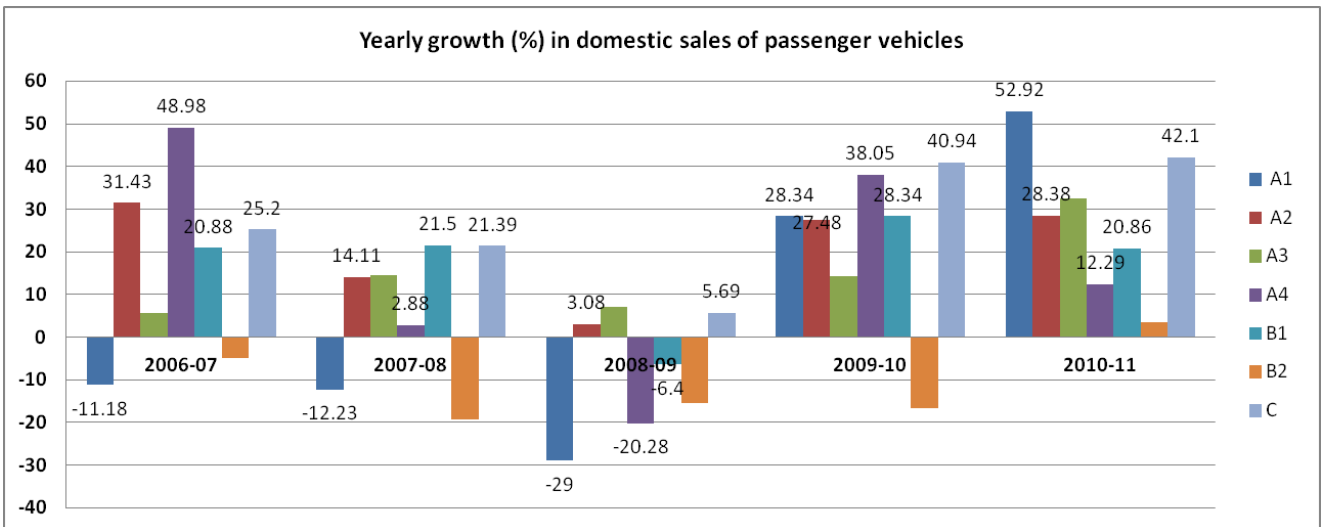


Figure 3.18: Yearly growth (in percentage) in domestic sales of passenger vehicles

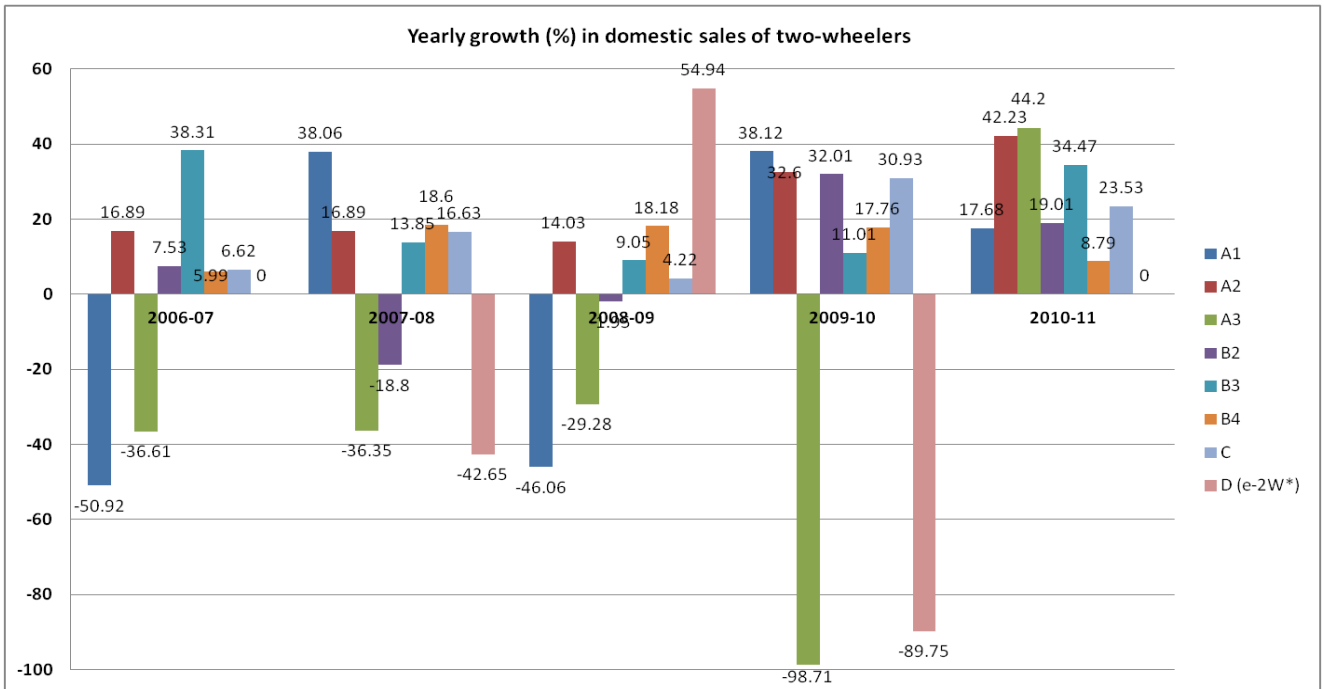


Figure 3.19: Yearly growth (in percentage) in domestic sales of two-wheelers

\* It should be noted that SIAM gives data for electric two-wheelers for only two manufacturers. It hence doesn't represent the entire electric two-wheeler market in India.

*Preference for vehicle fuel technology*

Consumers in India have higher demand for petrol-driven vehicles and as per estimates of SIAM (2012), almost 77% of passenger vehicles in India are petrol-driven (figure 3.20).

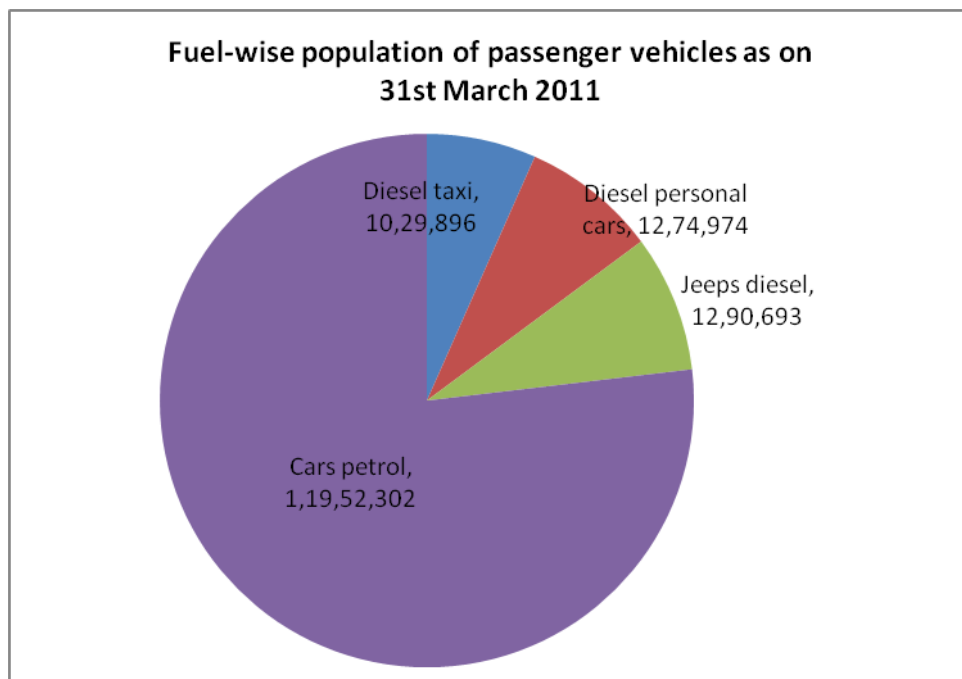


Figure 3.20: Estimated fuel-wise population of passenger vehicles as on 31st march 2011

In the two-wheeler segment the majority of vehicles sold are petrol-driven and there is only a miniscule proportion of electric two-wheelers.

### *Status of the xEV vehicle market in India*

There is enormous potential for electric vehicles in India. The foremost driver of electric vehicles is the concern related to India's energy security. Rising prices of petroleum are a huge economic burden as government is facing high fiscal deficit. This is evident in the fact that 80% of the crude oil is imported in the country. Apart from this, environment degradation has also become a key concern for the government. Transport sector is a key contributor to GHG emissions and local pollution. Economic growth has further added to the rapid increase in the road transport activity. The trends in last decade have especially been challenging as the country witnessed an explosive growth in the number of vehicles registered.

In a situation where personal mobility demand are increasingly sharply, there is a need to evolve personal mobility solutions which are clean as well as efficient. In this respect, electric vehicles can offer a clean solution for individual mobility, as they generate zero emissions at tail-pipe and can address energy security concerns, if they are run on electricity generated by renewable sources of energy. However to make electric vehicles popular, several issues like price of vehicles, their performance, user experience, etc. need to be dealt with. The decision of the consumer regarding which vehicle he wants to buy would be typically dependent on the relative advantages of the vehicle, which may be in terms of:

- || Cost of vehicle
- || Operational and maintenance expenses of vehicle
- || Performance
- || Ease of use
- || Suitability: How well the vehicle will serve his/her travel needs, suitability to traffic condition in his/her city, etc.

In this list, environment friendliness may feature but it may not be a key deciding factor. Results of a consumer survey in NEMMP 2020 also bring out similar insights, indicating that environmental benefits of electric vehicles are not an important buying criterion for consumers.

### *Situation till now*

Electric vehicles (EVs) form a very small proportion of the total volumes of vehicle sales in India. As stated earlier, Reva, India's only electric car, sold only around 50 units in January 2011. That represented about 0.027% of the total car sales in January, 2011 (184,332 cars were sold across India in January, 2011). Consumers have lower preference for xEVs, as on a similar purchase price, an internal combustion engine (ICE) vehicle offers better features and convenience of use (table 3.16). Same is the case with two-wheelers; out of about 12 million units sold last year, just 85,000 or 0.69% were electric two-wheelers.<sup>38</sup> However, an increase was

---

<sup>38</sup> Deloitte, 2011

observed in the sales of electric two-wheelers due to the demand generated as a result of incentives offered by the MNRE scheme (discussed earlier).

Table 3.16: Comparison of price and features of a regular ICE car and an electric car

	Basic model of Maruti Alto (in Bangalore city)	Basic model of REVA (in Bangalore city)
Price	INR 237,000 (2844 Euros)	INR 299,000 (3588 Euros)  (after 20% government subsidy, about INR 75,000 (900 Euros) on ex-factory price)
Seating capacity	Four adults	Two adults + two children
Ease of use	Runs on petrol – extensive infrastructure to support ICE cars	Requires frequent charging – inconvenient to use due to absence of charging infrastructure in Indian cities

### Increase in penetration of electric two-wheelers

In the last few years, it has been observed that the penetration of electric-two wheelers has increased. This can be mainly attributed to MNRE subsidy offered on electric vehicles, emergence of the regional manufacturers and easy ownership of electric two-wheelers, as most of them fall outside the purview of Motor Vehicles Act and do not require registration. Any vehicle with motor less than 250 W and top speed of 25kmph is exempt from registration, road tax and is license-free<sup>39</sup>. The electric two-wheelers run on lead acid batteries and have a range of 40-45 km/charge, rendering them useful for daily short to medium length trips. These two-wheelers are priced between INR 15,000-30,000 (180-360 Euros) and a full charge consumes only one unit of electricity, making the running cost INR 0.1/km<sup>40</sup>. The battery replacement costs around INR 5,000-7,000 (60-84 Euros). This makes an electric two-wheeler a highly economical and an attractive product for daily use, especially in smaller cities and towns. However, some expert interviews indicate that electric two-wheelers in this range have performed poorly due to poor quality of batteries used in the vehicles. These vehicles have also encountered problems with regard to the electric kit, spare parts and servicing. The poor quality electric two-wheelers have created a negative perception about this product in the market. Higher quality electric two-wheelers offering power more than 500W, top speed of 40-60kmph, and range of 50-80km are present in the market, but cost of such products is more than INR 30,000 (360 Euros).

The majority of of two-wheelers sold are still petrol-driven and there is only a miniscule proportion of electric two-wheelers (table 3.17). In year 2009-10, electric two-wheelers constituted only 0.03% of the total sales in two-wheeler segment. However, as mentioned earlier, it should be noted that SIAM gives data for electric two-wheelers for only two

<sup>39</sup> Licence-free implies that there is no obligation on the part of user to be a licence-holder to drive the vehicle

<sup>40</sup> Considering price of electricity is INR 4/unit

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

manufacturers. It hence doesn't represent the entire electric two-wheeler market in India. Compiled data on sales of all electric two-wheelers is not available.

Table 3.17: Domestic sales in two-wheeler segment: Share of electric two-wheelers

	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11
Total two wheeler sales	7,052,391	7,872,334	7,249,278	7,437,619	9,370,951	11,790,305
Total Electric two wheeler sales*	-	29,762	17,068	26,445	2,711	-
Proportion of electric two wheelers in in total two wheeler sales (%)	-	0.38	0.24	0.36	0.03	-

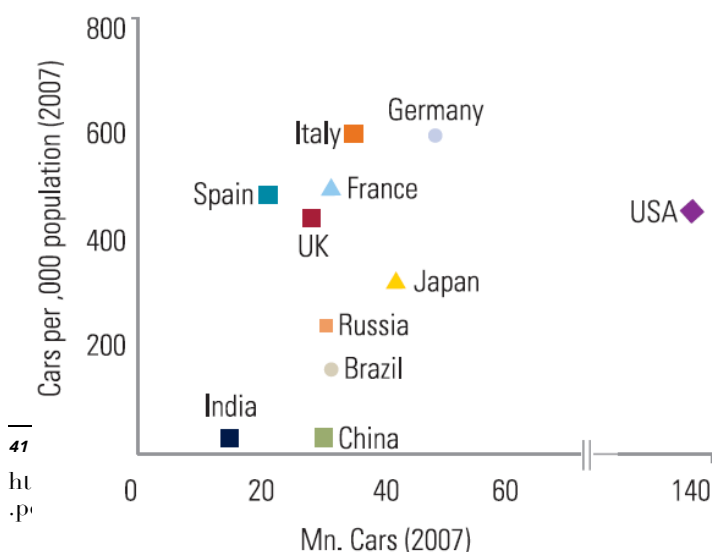
Source: SIAM, Statistical Profile of Automobile Industry in India 2010-2011, 2012

\* It should be noted that SIAM gives data for electric two-wheelers for only two manufacturers. It hence doesn't represent the entire electric two-wheeler market in India.

### 3.4.2 User / Consumer attitude and behaviour

#### Vehicle ownership

Levels of vehicle penetration are extremely low in India. Even though India ranks next only to China in population, less than 1% of population in India owns automobile<sup>41</sup>. Car ownership level in India is about 13 cars per 1,000 persons, while ownership level for two-wheelers is about 66 two-wheelers per 1,000 persons. Penetration level of passenger vehicles is also relatively lower when compared with other emerging markets like China and South Korea (figure 3.21).



\_oai/documents/webcontent/tg\_oai\_003756

Figure 3.21: Car population vs. cars/1000 population in different countries

Source: Report on “The Indian Automotive Industry: Evolving Dynamics”, KPMG, 2010

Table 3.18: Estimated levels of vehicle penetration per thousand population

Years	Two Wheelers	Cars, Jeeps and Taxis
1991	17	3
2001	37	7
2011	66	13

Source: SIAM, Statistical Profile of Automobile Industry in India 2010-2011, 2012

Despite low average vehicle ownership levels at the country level (table 3.18), the rate of growth of vehicle ownership is increasing. Also, the large cities in the country have much higher car ownership levels (table 3.19). The demand for passenger vehicles is rising not only in large urban centres but also in small towns and rural areas. This can primarily be attributed to growing disposable incomes in small towns and rural areas.<sup>42</sup>

Table 3.19: Vehicle ownership in large cities in India (as on 31<sup>st</sup> March 2009)

City	Population size	Taxis/1000 persons	Two Wheelers/1000 persons	Cars/1000 persons	Jeeps/1000 persons	Passenger Vehicles/1000 persons
Delhi	1,61,11,929	3.1	238.7	111.9	4.9	116.8
Mumbai	1,23,76,805	4.6	73.5	39.1	2	41.1
Bangalore	77,19,422	14.4	252.2	75.1	0.9	76
Hyderabad	60,07,259	4.9	305.7	69.6	1.5	71
Ahmedabad	50,81,960	1.3	258.3	43.1	2.9	45.9
Chennai	46,11,564	12.8	437.6	108.3	2.6	110.9

<sup>42</sup> ICRA, 2011

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

City	Population size	Taxis/1000 persons	Two Wheelers/ 1000 persons	Cars/1000 persons	Jeeps/1000 persons	Passenger Vehicles/ 1000 persons
Kolkata	45,03,787	7.3	38.6	69.7	0	69.7
Surat	39,52,592	0.3	217.3	24.5	1.7	26.2
Kanpur	30,74,631	0.1	169	24.1	1.8	25.8
Pune	29,90,398	3.5	277.9	43.4	5.8	49.2
Jaipur	29,05,919	5.1	356.5	56.3	14.2	70.5
Lucknow	26,76,603	1.6	308.3	48.3	5.1	53.4
Nagpur	23,30,189	0.9	364.9	30.6	10.1	40.7
Indore	18,52,137	13.9	420.4	53.5	2.4	55.9
Bhopal	17,17,472	7.9	289.8	34.1	0.9	35
Patna	16,14,459	3.2	220.5	38.8	0	38.8
Vadodara	15,87,414	4.5	514.9	64.2	2.9	67.1
Visakhapatnam	15,45,266	4.1	293.7	30.8	2.2	32.9
Varanasi	11,78,985	1	370.6	28.1	3.4	31.6
Coimbatore	10,33,945	9.6	808.1	101.3	5	106.3
Madurai	9,98,639	10.8	394.3	28.2	1.5	29.7
Kochi (Cochin)	6,13,910	10.3	224.7	123.1	9.5	132.6
Total	8,64,85,289	5.4	250.6	64.7	3.3	68

Source: SIAM, Statistical Profile of Automobile Industry in India 2010-2011, 2012

### *Consumer preference for EVs compared to ICE driven vehicles*

As discussed earlier, ICE driven vehicles are more popular in India and the electric vehicles form a very small share in Indian auto-market. Though electric vehicles have high environmental benefits and can be instrumental in reducing pollution from road transportation,

consumer preference for these vehicles is extremely low. This is primarily due to the higher purchase price of EVs and their lower utility when compared to ICE-run vehicles.

There is a need to create favourable environment for electric vehicles in the country for consumers as well as manufacturers. A consumer research<sup>43</sup> has revealed that there is a high latent demand for xEV cars and almost 25-30% of surveyed consumers in a survey carried out during preparation of NEMMP 2020 stated a strong preference for EVs to traditional ICE four-wheelers, provided price and performance expectations are suitably met.

#### *Preference for type of EVs*

A number of variants are available in xEVs. The most common variants are:

- Hybrid Electric Vehicle (HEV)
- Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)
- Range-extended Electric Vehicle (REV)
- Battery Electric Vehicle (BEV)

Though BEVs offer highest environmental benefits as they generate zero tail-pipe emissions, their use is highly dependent on electricity from the grid and public charging infrastructure. In absence of public charging infrastructure and reliable power supply, consumer preference for BEVs is low. Apart from extensive charging requirement, BEVs perform poorly when compared to ICE-driven vehicles, as they have lower pick-up, lower speed and lesser range.

On the other hand, HEVs and PHEVs have limited dependence over public charging infrastructure and they also offer performance comparable to ICE-run vehicles. Thus, in the current scenario, consumers have higher preference for HEVs and PHEVs than for BEVs. As per NEMMP 2020, amongst the xEV four-wheelers, HEVs are the most preferred, with 14-15% of the respondents in favour of HEVs, followed by PHEVs, preferred by approximately 9-10% of the respondents and only 5% of the respondents choosing BEVs.<sup>44</sup>

As compared to electric cars, consumers are more willing to use electric two-wheelers. This could be attributed to their lower purchase price and highly economical running cost.

Additionally, two-wheelers are generally used for short to medium distance travel, typically within 40-50 km of travel range. Such journeys can easily be performed by electric two-wheelers as they offer similar travel range per charge, thus rendering them suitable for undertaking daily trips, for short to medium distance travel. As per NEMMP-2020, 2012, approximately 55-60% respondents expressed high preference for battery operated two-wheelers.

#### *Main objectives of buying sEVs/Why xEVs are favoured*

##### **i. Doesn't consume fuel**

Despite higher performance of ICE vehicles, rising fuel prices are becoming a deterrent for people to buy/use ICE vehicles. Higher fuel prices can be extremely favourable for building a consumer base for xEVs, as it can act as an effective push measure for ICE vehicle users. A

---

<sup>43</sup> NEMMP-2020, Department of Heavy Industry, Ministry of Heavy Industries and Public Enterprises, Government of India, 2012

<sup>44</sup> Survey carried out during preparation of NEMMP 2020



## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

study by Deloitte (2011) in India shows people would consider xEVs as an alternative to ICE-run vehicles, when fuel costs reach high of 130%-150% of existing fuel prices<sup>45</sup>.

### ii. Ease of use

Electric cars are easy to handle. For instance, Reva has no gear, no clutch system and thus it can be easily manoeuvred in congested traffic conditions. It has been observed that women show higher preference for xEVs due to easy handling<sup>46</sup>.

### iii. Ease of owning electric two-wheelers

As per the Motor Vehicle Act, any vehicle running with motor less than 250W and top speed of 25kmph is exempt from registration, road tax and does not require a driver license to be operated; also, it can be driven by children above 16 years of age. This makes some of the electric wheelers extremely convenient to own and use.

### iv. Suitable for traffic conditions prevalent in Indian cities

As discussed previously, traffic conditions in Indian cities are characterized by low speeds, mixed traffic conditions, start-stop conditions. Speed of traffic remains considerably low on major roads of cities. The average journey speed varies between as low as 17kmph in >8 million population cities, to as high as 26kmph on the major corridors of cities with size <0.5 million<sup>47</sup>. An ICE-driven vehicle becomes inefficient in such situations, as it consumes more fuel and generates higher emissions. On the other hand, an electric vehicle is unaffected by such conditions. Thus, a xEV is suitable for such traffic conditions.

## Key consumer purchase criterion

Indian market is dominated by consumers who demand value for money products. There is high demand for powerful and fuel efficient vehicles at competitive prices. In India, purchase price plays an important role and concept of lifecycle cost is undervalued by the consumers. Even though xEVs have lower lifecycle cost than an ICE-run vehicle, Indian consumers have higher preference for ICE-run vehicles due to their lower purchase price. As a result, there is a wide perception that xEVs are expensive, underpowered vehicles<sup>48</sup>.

The consumers who have purchased xEVs are aware of the features and benefits of xEVs<sup>49</sup>. Most important purpose of owning a xEV for them is savings on fuel and maintenance costs. Apart from cost criteria, performance offered by a xEV is the second most important parameter, which

---

<sup>45</sup> INR 85/litre (130% of Rs 63/litre at time of survey conducted in Feb/March 2011) was stated as a mental benchmark of fuel price at which respondents would consider opting for a EV

<sup>46</sup> Presentation on "Electric Vehicle India", Salvi R., Nambiar S., O&N India , Finpro, date not available

<sup>47</sup> Wilbur Smith Associates, (2008) Study on Traffic and Transportation Policies and Strategies in Urban Areas in India Ministry of Urban Development, New Delhi, India

<sup>48</sup> Presentation on "Electric Vehicle India", Salvi R., Nambiar S., O&N India , Finpro, date not available

<sup>49</sup> Presentation on "Electric Vehicle India", Salvi R., Nambiar S., O&N India , Finpro, date not available

a consumer looks into. As per NEMMP 2020, the most important factors considered while purchasing a xEV four and two-wheeler are (in the order of their priority):

- Maintenance cost
- Battery cost
- Pick-up
- Top-speed, and
- Charging time

*Expected price range of EV*

**i. Expected purchase price of xEV after government incentives**

Since Indian consumers are driven by value for money, lower price for EVs becomes a pre-condition. A study by Deloitte (2011) states that 77% of people surveyed in their study expected purchase price of a four-wheeler xEV to be below INR 400,000 (4800 Euros). This price range corresponds to higher-end models in A1 sub-segment (mini-car) and entry-level A2 sub-segment (compact car) in the ICE car segment. In India, about 75% of the cars sold fall in this price-band. So, the expected price range for xEVs is similar to current trends of highest sales of car in the same price-range.

**ii. Acceptable price premium**

Price premium on electric vehicles translates into additional cost for consumers. Indian consumers being extremely cost-conscious do not appreciate the concept of paying extra price for technological innovation. As per the consumer survey in NEMMP-2020, consumers were willing to pay a premium of up to 10-20% for HEVs, as it was balanced by lower operating cost of the vehicle, provided the cost of premium is recovered in 2-3 years.

Consumer studies also reveal that only a small proportion of consumers would be willing to pay a premium for owning an xEV. Only 20% of the customers were willing to pay additional 10% as a premium in study carried out by Deloitte (2011).

**iii. Sensitivity to different parameters**

Indian consumers are highly sensitive to purchase price as well as running cost of xEVs. This implies that lowering the purchase price and improving the fuel efficiency of xEVs can play a critical role in expanding the market for xEVs.

Table 3.20: Deciding parameters for purchase of xEV four-wheelers

4W HEV	Critical area	Effective levers for intervention	4W BEV	Critical area	Effective levers for intervention
--------	---------------	-----------------------------------	--------	---------------	-----------------------------------

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

4W HEV	Critical area	Effective levers for intervention	4W BEV	Critical area	Effective levers for intervention
<b>Price</b>	Acquisition cost	Demand incentive	<b>Price</b>	Acquisition cost	Demand incentive
<b>Running cost</b>	Fuel efficiency	Fuel efficiency	<b>Range</b>	Battery size	Battery cost

Source: "Electric vehicles: Driving towards a greener future", IDFC Policy Group quarterly, No 9/September 2010

Government can play an instrumental role in lowering down purchase price by offering subsidies, tax rebates and cutting down import duties on electric vehicles and their components. Pressing need for a long-term and reliable demand incentive policy is necessitated by the fact that most of the consumers prefer direct cash or tax incentive on the acquisition cost of an EV. The same is brought out by the consumer interviews in NEMMP 2020, which reveal that most (58%) of the respondents would prefer direct cash or tax incentive followed by an indirect subsidy like that on batteries.

In case of electric two-wheelers also, purchase price of is the most critical deciding factor, followed by recharging time for the xEV. This shows that for electric two-wheelers, reduced price for the end consumer along with developing quick charging facilities would be critical.

Table 3.21: Deciding parameters for purchase xxEVtwo-wheelers

2W	Critical area	Effective levers for intervention
<b>Price</b>	Acquisition cost	Acquisition cost
<b>Recharge time</b>	Charging infrastructure	Charging infrastructure
<b>Running cost</b>	Fuel efficiency	Fuel efficiency
<b>Range</b>	Battery size	Battery cost

Source: "Electric vehicles: Driving towards a greener future", IDFC Policy Group quarterly, No 9/September 2010

### *Limited awareness*

There is a limited market for xEVs in India, primarily because of lack of awareness about xEVs. There are many myths and misconceptions about xEVs. Currently there is limited understanding of xEV technologies amongst the consumers.<sup>50</sup>

<sup>50</sup> NEMMP 2020

### *Acceptability of xEVs in Indian Market*

Though customers are open to xEVs in India<sup>51</sup>, the same does not imply a ready market, as xEVs are faced with a number of barriers (discussed in the next section). Amongst electric vehicles, there is higher preference for electric two-wheelers.<sup>52</sup>

Currently the consumer base of xEVs is very narrow. xEVs are primarily used by upscale customers, especially in case of four-wheelers. Moreover, xEVs are being used as second or third vehicle of the family<sup>53</sup>. People are not considering xEVs as an option for their first car; this may be due to lack of trust in the new technology. As the technology in xEVs will progress, it is expected that such a trend would fade away.

### *Challenges*

Despite a number of benefits offered by xEVs, they have not been well received by the consumers in India. This is because there are serious challenges surrounding acquisition and use of xEVs. Some of the key challenges, which prevent the expansion of xEV market in India have been discussed in table 3.22.

Table 3.22: Expanding xEV market in India: Key challenges

<b>Category</b>	<b>Issues</b>
Technology	High cost, limited battery life, high battery replacement cost, high battery charging time, limited range
Infrastructure	Electricity generation and distribution infrastructure, Charging infrastructure
Government support	Policy
Other factors	Lack of successful business models, inadequate investment in research and development

These challenges are discussed in detail in annexure 12.

## **3.4.3 Market perspectives**

### *Suitability of EVs – Preference according to city-size*

<sup>51</sup> Deloitte, 2011

<sup>52</sup> NEMMP 2020

<sup>53</sup> Presentation on “Electric Vehicle India”, Salvi R., Nambiar S., O&N India , Finpro, date not available

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

Most of the electric two-wheelers have a range of around 50km / charge<sup>54</sup> and four-wheelers have a range limited to 80km / charge<sup>55</sup>. This makes xEVs highly suitable for intra-urban travel for which trip lengths are confined to distances, which could easily be covered by the travel range of xEVs. A consumer survey revealed that the typical driving distance of 61% respondents in the survey was limited to 80km / day (figure 3.22).<sup>56</sup>

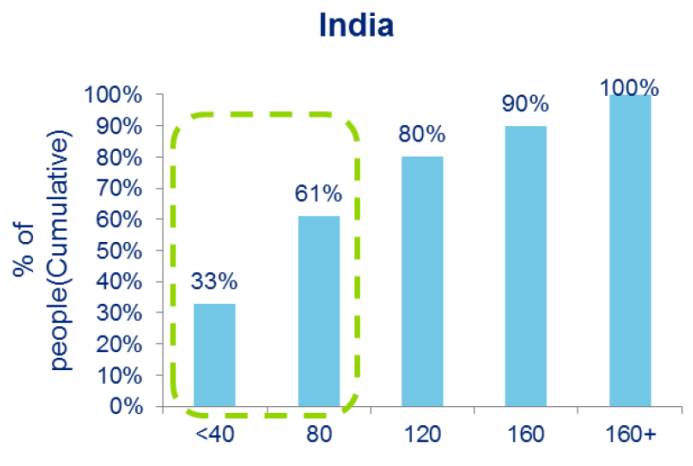


Figure 3.22: Typical driving distance in urban areas

Source: Report on “Gaining traction: Will consumers ride the electric vehicle wave? India results”, Deloitte, 2011

As per NEMMP 2020, there is a higher demand for four-wheeler and two-wheeler xEVs in tier-I and tier-II cities, as compared to tier-III and tier-IV cities. This may be ascribed to higher income levels in tier-I and tier-II cities<sup>57</sup> and potential for optimum usage of xEVs in these cities.

The NEMMP projects 14-16% penetration of electric and hybrid vehicles by 2020 (Table 3.20). The market penetration scenarios that were developed for the NEMMP are based on consumer surveys, focus group discussion (e.g. with ministries, OEMs, research institutes) and a TCO-Model. The projected xEV penetration rates are based on the assumption that a strong demand creation scheme is implemented such as it has been suggested in the NEMMP.

The highest penetration rate is projected for four-wheelers. However, as the total fleet of two-wheelers by far outnumbers the four-wheelers fleet, in terms of total numbers the vast majority of xEVs that are sold are two-wheelers. It also has to be noted that it is projected that the majority of electrified four-wheels will be HEV. In contrast, the 4.8 million two-wheelers, which are to be sold in 2020, are mainly BEV.

Table 3.23: Projected share of electric and hybrid vehicles by 2020

<sup>54</sup> Based on Product list compiled

<sup>55</sup> Reva has a range of 80km/charge

<sup>56</sup> Deloitte, 2011

<sup>57</sup> NEMMP 2020 does not provide the Tier classification. The Tier I category denotes cities with higher population size and Tier III category implies cities with lower population.

Vehicle segment	Two/wheelers	Four wheelers	Buses	Total
Sales of electric and hybrid vehicles in 2020 (in million)	4.8	1.6-1.7	0.002	5-7
Total vehicle sales (in million)	32.0	9.0	-	43
Penetration of electric and hybrid vehicles (percentage share)	15%	18-19%	-	14-16%

Source: NEMMP 2020

### 3.4.4 Stakeholder opinions on the xEV market

#### Market development of xEVs up to now

As outlined in section 3.4.1, the xEV market is very limited in India. For electric cars nearly no market exists and on the supply side, the number of models that are available is very limited (see section 3.3). Regarding electric two-wheelers, the market is better developed but in the overall two-wheeler sales, the proportion of electric ones is still minuscule. According to the interviewed experts, today the purchasers of xEVs are mainly private buyers. An expert from industry mentioned similar challenges for the penetration of xEV in India, as are prevalent in other regions, which are purchase price or total cost of ownership, range anxiety and vehicle performance. In addition, the absence of charging infrastructure and the lack of clarity on the future development also hinders penetration of xEVs. Similar to other countries, range anxiety is a major concern from a consumer perspective. In the two-wheeler segment, according to experts, this often turns out to be an unnecessary fear. Experts see similarities to the introduction of CNG vehicles; the consumer attitude towards these vehicles was first very sceptical, but after introduction users got used to the technology.

#### User / Consumer attitude and behaviour

Most experts believe that the high costs of electric vehicles are the main challenge to market penetration of xEVs in India. Economic viability plays a major role in purchasing decisions. The interviewed experts assumed that the Indian consumer reacts much more sensitively to price differences than European costumers. The experts disagreed whether the Indian consumer reacts more sensitively to the total costs of ownership (TCO) or the initial acquisition costs. One of the interviewed experts argued that the concept of TCO is not very established in India. An expert from the two-wheeler segment mentioned that costumers decide to buy an electric two-wheeler only if the costs are below 90% of a conventional one. To address economic considerations, some xEV manufactures focus on the cost recovery for the extra investments in their marketing strategy. Uncertainties regarding the lifetime of the battery are also an important issue in cost considerations of consumers. According to a governmental expert, consumer related barriers for market penetration of xEVs can be easily overcome with the introduction of incentives. Experts from industry mentioned that the consumer expects substantial discounts on xEVs via subsidies. In the past, a low level of incentives had a huge impact on the market penetration of xEVs in the two-wheeler segment.

Besides economic factors, several experts mentioned the lack of awareness as a barrier to a wider introduction of xEVs. The technology as well as the advantages and disadvantages of xEVs are unknown to many consumers. The activities of India xEV manufacturers in raising awareness of xEVs were seen as rather limited by an industry expert. However, it is also seen that environmental concerns range low among Indian consumers, but economic factors will always dominate purchasing decisions. One of the experts also mentioned the role of vehicles as status symbol. This puts a disadvantage on BEVs, which are usually smaller in size and engine power. To own a second car is not very common in India, thus it is expected that xEVs will be used as single car per household and therefore would have to fulfil the related expectations.

### Market perspectives

Stakeholders from science and government see considerable potential for xEVs in India. Favourable conditions for xEVs are created by the high mobility needs in India and a strong growth in transport demand can be expected in the coming decades. Further, it was mentioned that range limitations are of limited relevance, as BEVs can meet the range needed for short distance commuting. For long distance trips, Indian consumers favour to hire a car and a driver. The interviewed expert assumes that in India especially lightweight, simple and small vehicles, suitable for short distances have a considerable potential. An industry expert mentioned that although the future market might be mainly in metropolitan areas, it has to be noted that in larger Indian cities driving distances are rather long. Experts see only a niche market for xEVs in the short-term. Electrified vehicles will not be able to compete with regular cars soon. The replacement of auto-rickshaws was seen as early market for xEVs. A governmental expert mentioned that the potential for private xEVs might be limited in India, but xEVs should be used in public transport for buses, vans or as taxis. It was said that strengthening public transport and using electrified vehicles in this sector is important for India to reduce the transport related CO<sub>2</sub> emissions.

According to an interviewed stakeholder, the projected demand of 5 to 7 million xEVs presented in the NEMMP, was verified by a consultation process with vehicle manufacturers in India. Experts related to the automotive industry highlighted the importance of subsidies to achieve a market penetration of xEVs. According to an expert from an industry association, the manufacturers even expect that the future sales might surpass the projections, as many vehicles were ready for commercialisation. Due to the high prices for electric four-wheelers, it is expected that most costumers will not accept the extra costs. Thus, in future four-wheelers will continue to play a minor role compared to electric two-wheelers. Governmental support was seen to be essential especially in the four-wheeler segment. It was said that the demand of about 1.7 million four-wheeled xEVs outlined in the NEMMP, might be surpassed if strong incentives were available for electrified four-wheelers.

In the four-wheeler-segment, the interviewed stakeholders see a considerable potential only for hybrid electric four-wheelers. As the costs are comparably low for mild hybrids, the experts assume that these vehicles will be very common in three to four years. Fuel efficiency norms for passenger cars, which are to be introduced very soon, might also boost hybridization. The experts' opinions differed regarding the development of vehicles with a higher degree of electrification. Some see a step-by-step electrification from HEV over PHEV to BEV, whereas others see a parallel introduction of HEV and BEV, which BEV are mainly used for niche applications. In general relative little potential is seen for BEV in India.

All experts agreed that there is a higher potential for battery electric two-wheelers as outlined in the NEMMP; 75 to 80% of the electrified vehicles in 2020 will be BEV two-wheelers.



### 3.5 CONCLUSION

Electric mobility in India is at a nascent stage, whether it is the penetration of xEVs, maturity of the market for such products, R&D efforts, or the government policies. In all these areas, electric mobility has just started to get attention, which implies that India is not expected to witness a sudden jump in electric mobility in the near future.

As far as industry is concerned, there are limited xEV players and that too in niche market of two wheelers and cars. In the passenger car segment, Mahindra REVA is the only Indian manufacturer in the market with a fully electric car. International manufacturers like Toyota and Honda did launch their hybrid products in the market, but due to their high upfront cost and other reasons, such products did not do well and were subsequently withdrawn from the Indian market. Very recently a few manufacturers have introduced/announced hybrid models of their existing car models and some have also indicated introduction of complete electric vehicles in the future.

Contrary to the passenger car segment, the electric two-wheeler segment has more industry actors; a large number of domestic manufacturers emerged between 2006-09 with their electric two-wheeler models. However, later many of these fly-by-night manufacturers disappeared from the market. This had a direct relation with the market demand, which in turn was induced by demand incentives that were offered by the government between 2010 and 2012 and which made electric two-wheelers, especially, the low power<sup>58</sup> ones very attractive for the consumers. This demand almost died with the removal of government incentives.

The penetration level of electric two-wheelers is also higher than the electric four wheelers indicating that there is a higher consumer acceptability and also suitability of electric two wheeler products than electric cars. The study shows that upfront cost to the consumer is the prime consideration for purchase of a vehicle. This is also evident from the success of government's Alternate Fuels for Surface Transportation (AFST) Program (2010-12), which provided financial assistance on purchase of xEVs. As soon as the financial subsidy was withdrawn, the xEV market experienced a downfall in the sales.

The government is now making sincere efforts to promote electric mobility in the country and has recently launched the National Electric Mobility Mission Plan (NEMMP) 2020. The NEMMP 2020 sets the vision, targets and also suggests measures, which should be undertaken by different stakeholders, like, the government, industry and academia for promoting xEVs. Through the Mission Plan, the government aims to address the issue of national energy security, environmental concerns related to vehicular pollution along with developing domestic xEV manufacturing capabilities in the country. The interaction with the industry indicates that the industry players are positive about electric vehicle market in the country. Most of them feel that if incentives suggested by NEMMP are implemented, it will definitely increase the acceptability of xEV products and hence electric mobility in the country. However, charging infrastructure and power deficiency, higher cost of xEV technology and lack of consumer awareness with regard to xEV products are some of the key barriers, which need to be tackled in order to promote electric mobility. It is expected that NEMMP 2020 will take a holistic view

---

<sup>58</sup> Below 250W motor power

at all such barriers and will set out an integrated and comprehensive approach to promote electric mobility in the country. The implementation of NEMMP 2020 in the next few years hence will be critical for the future of electric mobility in India

## References

1. Article on “electric vehicles unplugged”, Outlook, April 2011, <http://business.outlookindia.com/article.aspx?271198>
2. Article on “Oreva: India's Cheapest Electric Car” Available at <http://evworld.com/article.cfm?storyid=1549>
3. Auto Policy, Department of Heavy Industry, Ministry of Heavy Industries and Public Enterprises, Government of India, 2002
4. Automotive Mission Plan (2006-2016), Department of Heavy Industry, Ministry of Heavy Industries and Public Enterprises, Government of India, 2006
5. Central Electricity Authority, Government of India [http://www.cea.nic.in/reports/monthly/executive\\_rep/mar12/6.pdf](http://www.cea.nic.in/reports/monthly/executive_rep/mar12/6.pdf)
6. Central Electricity Authority, Government of India, [http://www.cea.nic.in/reports/planning/cdm\\_co2/cdm\\_co2.htm](http://www.cea.nic.in/reports/planning/cdm_co2/cdm_co2.htm)
7. Constestabile M., Offer G. and North R., Electric vehicle: A synthesis of the current literature with a focus on economic and environmental viability, LCA works, 2012
8. Electric Motorbikes In India: Six Questions For The CEO of Hero Electric”, dated 1/07/2013, Available at: <http://www.forbes.com/sites/davidferris/2013/01/07/electric-motorbikes-in-india-six-questions-with-the-ceo-of-hero-electric/>
9. Electric vehicles: Driving towards a greener future, IDFC Policy Group quarterly, No 9/September 2010
10. Electric Vehicles: Potential, Technology and Government Initiatives”, available at <http://www.eai.in/ref/ct/ev/ev.html>
11. [http://www.business-standard.com/article/companies/govt-extends-mnre-scheme-to-incentivise-sales-of-electric-vehicles-112083000033\\_1.html](http://www.business-standard.com/article/companies/govt-extends-mnre-scheme-to-incentivise-sales-of-electric-vehicles-112083000033_1.html)
12. <http://www.ficci-b2b.com/sector-overview-pdf/sector-automotive.pdf>
13. [http://www.smev.in/images/big\\_milestone.jpg](http://www.smev.in/images/big_milestone.jpg)
14. Information on programs funded by the Federal Ministry, available at <http://www.bmbf.de/en/14706.php>
15. International Energy Agency, Key World Energy Statistics, 2012
16. Karnik S. and Sukh N., “Electric vehicles: Challenges and opportunity in India”, Yes Bank and TERI (BSCD), 2013
17. Kayitha R. Dr. Jalihal S.A., Dr Reddy T.S., Traffic characteristics of India, Proceeding of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp. 1009 – 1024, 2005
18. Key features of Budget 2010-2011, available at <http://indiabudget.nic.in/ub2010-11/bh/bh1.pdf>
19. Little A.D., Future of mobility 2010 – the automotive industry in upheaval? Available at: [http://www.adlittle.com/downloads/tx\\_adlreports/ADL\\_Future\\_of\\_Mobility\\_2020.pdf](http://www.adlittle.com/downloads/tx_adlreports/ADL_Future_of_Mobility_2020.pdf)
20. Low Carbon Strategies for Inclusive Growth, An Interim Report (May 2011), Planning Commission, Government of India.

21. Ministry of Urban Development, Study on Traffic and Transportation Policies and Strategies in Urban Areas in India, 2008, New Delhi, India
22. National Electric Mobility Mission Plan-2020, Department of Heavy Industry, Ministry of Heavy Industries and Public Enterprises, Government of India, 2012
23. National Electricity Plan (January 2012), Volume I- Generation, Government of India
24. Official website of SMEV, available at [www.smev.in](http://www.smev.in)
25. Paper on "Indian Passenger Vehicle Industry: Growth Momentum to Continue", ICRA, 2011, available at <http://www.icra.in/Files/ticker/PV-Industry-201103.pdf>
26. Paper on "The Indian Automotive Market", available at [http://www.trade.gov/mas/manufacturing/oaai/build/groups/public/@tg\\_oaai/documents/webcontent/tg\\_oaai\\_003756.pdf](http://www.trade.gov/mas/manufacturing/oaai/build/groups/public/@tg_oaai/documents/webcontent/tg_oaai_003756.pdf)
27. Presentation on "Electric Vehicle India", Salvi R., Nambiar S., O&N India , Finpro, available at: [http://www.tekes.fi/Global/Ohjelmat%20ja%20palvelut/Ohjelmat/EVE/Selvitykset/fipro\\_electric\\_mobility\\_in\\_india\\_2013.pdf](http://www.tekes.fi/Global/Ohjelmat%20ja%20palvelut/Ohjelmat/EVE/Selvitykset/fipro_electric_mobility_in_india_2013.pdf), date not available
28. Renewable Energy in India: Progress, Vision and Strategy', MNRE, Government of India
29. Report of the Working Group on Automotive Sector for the 12th Five Year Plan (2012,2017), Department of Heavy Industry, Ministry of Heavy Industries and Public Enterprises, Government of India
30. Report of the Working Group on Power for Twelfth Plan (2012-17), Government of India. Ministry of Power (January 2012)
31. Report on "Gaining traction: Will consumers ride the electric vehicle wave? India results", Deloitte, August 2011
32. Sharma R.D., Jain S. and Singh K., Growth rate of Motor Vehicles in India -Impact of Demographic and Economic Development, Journal of Economic and Social Studies, Vol-1,No.2, 2011
33. Union Budget 2012-13 Highlights, available at Key features of Budget 2010-2011, available at <http://indiabudget.nic.in/ub2010-11/bh/bh1.pdf>
34. Varun M and Chaitra Kumar, Problems in electric vehicles, International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering, Vol-2, Issue-1, 2012

## Annex 1 Automobile sector: Key ministries

Name of the Ministry	Description	Minister <sup>59</sup>	Address
1 Department of Heavy Industry, Ministry of Heavy Industries and Public Enterprises (MoHIPE)	The Department of Heavy Industry works towards bolstering profit making Public Sector Enterprises as well as restructuring and reviving sick and loss making Public Sector Enterprises under its administrative control. The Department seeks to achieve its vision of global automotive excellence through creation of state-of-the-art Research and Testing infrastructure through the National Automotive Testing and R&D Infrastructure Project (NATRIP). It seeks to achieve its vision by providing necessary support to the Auto, Heavy Engineering, Heavy Electricals and Capital Goods Sector.	Mr Praful Patel	Udyog Bhawan, New Delhi
2 Ministry of Road Transport and Highways (MoRTH)	The Ministry is the apex body for the formulation and administration of the rules, regulations and laws relating to road transport, national highways and transport research.	Shri Oscar Fernandes	Ministry of Road Transport & Highways Transport Bhavan 1, Parliament Street New Delhi-110001
3 Ministry of Finance (MoF)	The ministry deals with taxation, financial legislation, financial institutions, capital markets, centre and state finances, and the Union Budget.	Mr P. Chidambaram	Ministry Of Finance Room No.134 North Block New Delhi, 110001
4 Ministry of Petroleum and Natural gas (MoPNG)	It is responsible for the exploration, production, refining, distribution, marketing, import, export, and conservation of petroleum, natural gas, petroleum products, and liquified natural gas in India.	Mr Veerapa Moily	Ministry Of Petroleum & Natural Gas Shastri Bhawan, Dr Rajender Prasad Road, New Delhi : 110001

<sup>59</sup> List of Cabinet Ministers (as on 21.12.2013), available at: [http://cabsec.nic.in/council\\_ministersofstate.php](http://cabsec.nic.in/council_ministersofstate.php)

Name of the Ministry	Description	Minister <sup>59</sup>	Address
5 Ministry of New and Renewable Energy (MNRE)	The Ministry is mainly responsible for research and development, intellectual property protection, and international cooperation, promotion, and coordination in renewable energy sources such as wind power, small hydro, biogas, and solar power. The broad aim of the Ministry is to develop and deploy new and renewable energy for supplementing the energy requirements of India.	Dr Farooq Abdullah	Block-14, CGO Complex, Lodhi Road, New Delhi-110 003
6 Ministry of Power (MOP)	The ministry is charged with overseeing electricity production and infrastructure development, including generation, transmission, and delivery, as well as maintenance projects.	Mr Jyotiraditya Madhavrao Scindia	Ministry Of Power Head Office 201 Shram Shakti Bhavan New Delhi : 110001
7 Ministry of Environment and Forest (MoEF)	The Ministry is responsible for planning, promoting, coordinating, and overseeing the implementation of environmental and forestry programmes in the country. The main activities undertaken by the ministry include conservation and survey of the flora of India and fauna of India, forests and other wilderness areas; prevention and control of pollution; afforestation, and land degradation mitigation. Central Pollution Control Board comes under MoEF.	Shri M. Veerappa Moily	Ministry of Environment & Forests Room No 318, Paryavaran Bhavan, CGO Complex, Lodhi Road New Delhi : 110003
8 Ministry of Science and Technology (MoST)	The Ministry is charged with formulation and administration of the rules and regulations and laws relating to science and technology in India.	Dr Jaipal Reddy	Department of Science & Technology, Technology Bhavan, New Mehrauli Road, New Delhi - 110016
<b>Other Ministries having influence on automotive sector</b>			
9 Ministry of Urban Development (MoUD)	The Ministry is the apex body for formulation and administration of the rules and regulations and laws relating to the housing and urban development	Mr Kamal Nath	Ministry of Urban Development & Poverty Alleviation Nirman Bhawan

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

Name of the Ministry	Description	Minister <sup>59</sup>	Address
	in India.		Maulana Azad Road New Delhi - 110011
10 Ministry of Commerce Industry (MoCI)	The mandate of the Department of Commerce is regulation, development and promotion of India's international trade and commerce through formulation of appropriate international trade & commercial policy and implementation of the various provisions thereof. The basic role of the Department is to facilitate the creation of an enabling environment and infrastructure for accelerated growth of international trade. The Department is also entrusted with responsibilities relating to multilateral and bilateral commercial relations, Special Economic Zones, state trading, export promotion and trade facilitation, and development and regulation of certain export oriented industries and commodities.	Mr Anand Sharma	Ministry Of Textiles Room No 127,Udyog Bhawan CP, New Delhi - 110001
10 Ministry of Consumer Affairs (MoCA)	The Department of Consumer affairs administers the policies for Consumer Cooperatives, Monitoring Prices, availability of essential commodities, Consumer Movement in the country and Controlling of statutory bodies like Bureau of Indian Standards(BIS) and Weights and Measures.	K.V. Thomas	Krishi Bhawan, Dr. Rajendra Prasad Road,New Delhi,110001





## Annex 2 Electricity supply reliability indices

---

The electric utility industry uses the standard Institution of Electrical and Electronics Engineer (IEEE) reliability indices like CAIDI, SAIFI, SAIDI to track and benchmark reliability performance. These indices are explained below.

- **SAIDI (System Average Interruption Duration Index)**

SAIDI is more commonly known as “average customer minutes off supply” and is generally reported over a one-year period. It is the total of interruption duration in minutes per year per customer experienced by customers for both planned and unplanned interruptions.

A SAIDI of 200 minutes means that customers connected to the feeder or supply area being measured experience in average 200 minutes off supply in 12 months.

- **SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)**

SAIFI is a measure of how often an average customer loses supply during one year. A SAIFI of 3 means that the average customers connected to the feeder or supply area being measured on average lost supply thrice during the past 12 months.

- **CAIDI (Consume Average Interruption Duration Index)**

It is a measure of average duration of interruption calculated based on on the total number of sustained interruptions in a year. It is the ratio of the total duration of interruptions to the total number of interruptions during the year.

- **CAIFI (Consume Average Interruption Frequency Index)**

It is average number of interruptions for consumers who experience interruptions during an year. It is the ratio of the annual number of interruptions to the number of consumers affected by the interruptions during the year.

- **MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index)**

It is the average number of momentary (less than 5 minutes) interruptions per consumer during the year. It is the ratio of the annual number of momentary interruptions to the number of consumers.

## Annex 3 Strategies for electricity generation and reducing the carbon intensity of electricity generation

---

Strategy of **Distributed Generation (D.G.)** has been adopted in India wherein electricity is generated at consumer end and there by avoids transmission and distribution costs. The concept of D.G. has been taken as decentralized generation and distribution of power especially in the rural areas. The D.G. technologies in India relate to turbines, micro turbines, wind turbines, biomass, and gasification of biomass, solar photovoltaics, and hybrid systems. However, most of the decentralized plants are based on wind power, hydro power and biomass and biomass gasification. The technology of solar photovoltaics is costly and fuel cells are yet to be commercialized. In around 18,000 villages located in remote and inaccessible areas, the extension of grid power is not going to be economical. Decentralized plants based on biomass, gasification of biomass, hydro power and solar thermal power and solar photovoltaics have been adopted as an appropriate solution for these areas.

The strategy adopted by the Ministry of New and Renewable Energy (MNRE) for 2011-17 aims at promoting concept of small power plants at tail-end of grid for both solar and biomass, development of entrepreneurship for rural electrification through biomass wastes, rice husk, solar, etc., incremental improvements in technologies for achieving greater efficiencies, developing new financial instruments including Risk Guarantee Fund, promoting energy plantations of fast growing species of bamboo/ other trees to provide feedstock for small capacity biomass power plants for captive/ local use etc.

At the macro-economy scale, India is a low-intensity CO<sub>2</sub> emissions generator. Its per-capita CO<sub>2</sub> emissions are among the lowest in the world with about 1 metric ton per person compared with 4.5 for the world average and 20 for the United States. But, India is faced with the challenge of sustaining its rapid economic growth while dealing with the challenge of climate change and hence mitigating greenhouse gas emissions to the extent possible. Hence, the **National Action Plan on Climate Change (NAPCC)** was formulated by the Government of India, as has been described in the report.

NAPCC outlines India's strategy to meet the challenge of climate change and to enhance the ecological sustainability of India's development path. Eight National Missions form the core of the National Action Plan, representing multi-pronged, long term and integrated strategies for achieving key goals in the context of climate change, two out of which are Jawaharlal Nehru National Solar Mission (JNNSM) and National Mission on Enhanced Energy Efficiency (NMEEE).

### *Jawaharlal Nehru National Solar Mission (JNNSM)*

The National Solar Mission is a major initiative of the Government of India and State Governments to promote environmentally sustainable growth while addressing India's energy security challenge. It will also constitute towards a major contribution by India to the global effort of mitigating CO<sub>2</sub> emissions. Solar energy is environmentally friendly as it has zero

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

emissions while generating electricity or heat. JNNSM will help reduce CO<sub>2</sub> intensity of power generation in India.

The Mission targets deployment of 20,000 MW of solar power and installing 20 million solar lighting systems for rural areas by 2022. It will also promote programs for off grid applications, reaching 1,000 MW by 2017 and 2,000 MW by 2022. The key driver for promoting solar power, under this Mission will be Renewable Purchase Obligation (RPO) mandated for power utilities with a specific solar component. This will drive utility scale power generation, whether solar PV or solar thermal. The Solar Purchase Obligation will be gradually increased while the tariff fixed for solar power purchase will decline over time. The Mission also aims at ensuring that applications, domestic and industrial, below 80 °C are solarized. For this, solar heaters will be made mandatory through building byelaws and incorporation in the National Building Code.

Electricity Act 2003 provides for regulatory interventions for promotion of renewable energy (RE) sources through a) determination of tariff; b) specifying renewable purchase obligation (RPO); c) facilitating grid connectivity; and d) promotion of development of market. Ministry of Power (MoP) has also amended para 6.4(1) of the Tariff Policy and has fixed minimum percentage of total consumption of electricity in a distribution licensee's area to be produced/procured from solar energy in accordance with the National Solar Mission strategy. The National Tariff Policy was amended in January 2011 to prescribe solar-specific RPO to be increased from a minimum of 0.25 per cent in 2012 to 3 per cent by 2022.

### *National Mission on Enhanced Energy Efficiency (NMEEE)*

The NMEEE is one of the eight missions under the NAPCC. NMEEE aims to introduce a market based approach for developing energy efficiency opportunities, which are estimated to be about Rs 740 billion. The Mission envisages saving fuel in excess of 23 million tonnes of oil equivalent (MTOE) annually, avoiding power generation capacity addition of 19,000 MW and mitigating the carbon emissions by 98 MT per year, by 2014-15. The NMEEE consists of four initiatives discussed below.

- **Perform Achieve and Trade (PAT)** – PAT is a market based mechanism to enhance the cost effectiveness of improvements in energy efficiency for large energy intensive industries. The basic idea of PAT is that the units which have exceeded their energy saving target can sell the extra units reduced as energy saving certificates (ESCert) to those units who have failed to achieve their energy saving target. PAT's investment has been pegged at Rs 300 billion and it is envisaged to save 10 MTOE of fuel, avoid power generation capacity addition by 5,623 MW and lower the greenhouse emissions by 26.21 MT. The Bureau of Energy Efficiency (BEE) is the nodal agency for the implementation of PAT.
- **Market Transformation for Energy Efficiency (MTEE)** – The MTEE involves leveraging international funds for promoting energy efficiency and implementation of clean development mechanism roadmap. The Bachat Lamp Yojana programme is already functional under MTEE under which 20 million CFL's have been distributed and 13 agreements signed between BEE investors and discoms. The Standards and Labelling Programme for equipment and appliances is another prominent initiative under the MTEE.

- **Energy Efficiency Financing Platform (EEFP)** – The EEFP aims to ensure the availability of finances at reasonable rates for energy efficiency project implementation through Energy Efficiency Services Limited (EESL), a joint venture between Ministry of Power, National Thermal Power Corporation, Power Grid Corporation and Power Finance Corporation. It also aims to help create a demand for energy efficient products through awareness, public policy etc.
- **Framework for Energy Efficient Economic Development (FEEED)** – The FEEED has the following key features:
  1. To provide partial risk guarantee to the lenders of Energy Service Companies (ESCO) projects through the Partial Risk Guarantee Fund
  2. To provide incentives to CPSUs to undertake energy efficiency through Energy Efficiency Performance Index
  3. To promote tax and duty exemptions for energy efficiency initiatives such as graded excise duty for star rated equipment, tax incentives to ESCOs and providing infrastructure status to ESCO business

Following are a few measures being considered to reduce carbon intensity of power generation during the Twelfth & Thirteenth Five Year Plans (2012-2022).

#### *Promote Hydro Power Development*

A large number of hydro project sites have been allocated to public & private companies for development. These projects are likely to be commissioned during Twelfth & Thirteenth Plans. Central Electricity Authority (CEA) has been monitoring the progress of survey & investigation and preparation of Detailed Project Reports and construction for these projects in close coordination with the developers. Based on the status of various hydro projects, it has been estimated that a capacity of about 9,200 MW could materialize during Twelfth Plan. In view of inherent advantages of hydro projects, they have been considered as must run in the planning exercise.

#### *Promote Renewable Energy including Solar Power*

Solar energy is environmentally friendly as it has zero emissions while generating electricity or heat. Hence, Jawahar Lal Nehru National Solar Mission (JNNSM) is an initiative through which CO<sub>2</sub> emissions can be reduced. The key driver for promoting solar power will be the Renewable Purchase Obligation (RPO) that has been notified by different State Electricity Regulatory Commissions (SERCs) for respective states. RPO is the obligation mandated by the SERC under the Electricity Act to purchase minimum level of renewable energy out of the total consumption in the area of a distribution licensee. Feed in tariff for renewable energy has been notified by Central Electricity Regulatory Commission (CERC) and a number of SERCs for different types of renewable generation. To promote use of renewable energy, Renewable Energy Certificate (REC) mechanism has been proposed by CERC. REC is a market based instrument to promote renewable energy and facilitate renewable purchase obligations (RPO). REC mechanism is

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

aimed at addressing the mismatch between availability of RE resources in state and the requirement of the obligated entities to meet the renewable purchase obligation (RPO).

### *Promoting New Gas based projects with a mix of indigenous Gas and imported regasified liquefied natural gas (RLNG)*

A need to develop gas based generation capacity has been identified in the country in order to meet our growing demand of power and reduce CO<sub>2</sub> emissions. Besides being environmentally benign, the gas projects have high efficiency, low gestation period, low capital cost and require less land and water. Gas projects are ideally suited for meeting peaking requirements.

### *Early notification of CEA regulation on construction of power plants indicating mandatory minimum efficiency levels*

CEA's technical regulation for construction of electrical plants and lines have been prepared and submitted to Ministry of Power. These regulations indicate mandatory minimum efficiency level of power plants and transmission equipment.

### *Retirement of Old and Inefficient Coal based Generating units*

Retirement of Old and Inefficient thermal plants and replacing them with new and more efficient units is an effective way of using the fuel and minimizing GHG emissions. A capacity of about 4000 MW is proposed to be retired during the Twelfth and Thirteenth Plans (including the remaining units of coal & lignite under 100 MW, gas plants more than 30 years old (1987 & before) and some coal based units of 110 MW capacity).

### *Implementation of National Enhanced Efficiency Renovation and Modernization (R&M) Program.*

National Enhanced Efficiency Renovation and Modernization Program was prepared by the Central Electricity Authority (CEA) for implementation during the Eleventh Plan and has also been continued for the Twelfth 12th Plan. This covers R&M of capacity of 18965 MW during Eleventh Plan and 4971 MW during Twelfth Plan. R&M and Life Extension (LE) of existing old power stations provide an opportunity to get additional generation at low cost in short gestation period. Besides generation improvement, it results in reduction of environmental emissions and improvement in availability, safety and reliability. To incentivize States, 50% of generation capability of the unit just before shut down for R&M is proposed to be compensated by way of additional allocation from unallocated quota during the normative period of shut down. Low interest rate financing for enhanced efficiency based R&M has also been initiated.

### *Adoption of Clean Coal Technology*

As per Low Carbon Growth Strategy prepared by the Expert Group on low carbon strategies for Inclusive growth (also discussed in previous chapter), adoption of clean coal technology, which includes addition of Super Critical units, promotion of IGCC, CFBC technology is being

adopted for future plans. During the Twelfth Plan, about 50% of Coal based capacity is being planned on super critical and in Thirteenth Plan, it has been proposed that all coal based capacity is to be based on super critical technology. In this regard following actions have been taken/are required to be taken.

- a. Creation of Indigenous manufacturing capacity for super critical equipment
- b. Incentivizing Indigenous Manufacturers to ensure transfer of Super Critical Technology
- c. Bulk tendering for 11x660 MW Super Critical units with mandatory indigenous manufacturing in progress. To initiate Bulk Tendering for 800 MW size units shortly after finalizing orders for 660 MW.
- d. Ministry of Environment and Forests may be advised not to clear any Coal based projects w.e.f. 01-04-2012 on Sub-critical technology. No coal linkages for Sub-critical plants in Thirteenth Plan.
- e. It is proposed that on Super Critical Plants there should not be any custom duty and excise duty i.e. the same exemption for excise duty and custom duty as applicable to Mega Power Projects.

#### *Nuclear Power Generation*

Department of Atomic Energy plans to put up a total installed nuclear power capacity of 20,000 MW by the year 2020 in the country. As of now, the first stage program based on indigenous fuel is in progress and has reached a stage of maturity. A beginning has been made of the 2nd stage program with construction of 500 MW PFBR (Prototype Fast Breeder Reactor). This is expected to be followed by four more 500 MW units by the year 2020. Thereafter it will be followed by a number of FBRs. When the capacity through FBRs builds up to a reasonable level, the deployment of thorium for power generation through third stage will begin and get realized in the long term. Although nuclear energy can make only a modest contribution over the next 15 years, long-term consideration of even a modest degree of energy self-sufficiency suggests the need to pursue the development of nuclear power using thorium. India can erect and run nuclear plants to a capacity of 60GW by 2031-32. With the signing up of the '123 Agreement' on nuclear cooperation between USA and India, and NSG's waiver for supply of nuclear fuel to India, it is expected that some nuclear plants with foreign technology from friendly countries would be set up in the country. The availability of imported nuclear fuel and technology to India will help in accelerated capacity addition from nuclear power plants. Commencement of construction of reactors with imported technology during 11th/12th Plans is expected which will get commissioned from Thirteen Plan onwards. Development of nuclear parks with Mega capacity is also anticipated. Integrated Energy Policy indicates two scenarios of nuclear capacity addition of about 48,000 MW in low nuclear scenario and 68,000 MW in high nuclear scenario by 2031-32.

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

### *Reduction of Transmission and Distribution (T&D) losses to be accorded high priority*

All India T&D Losses are very high- of the order of 29.24%. To reduce T&D losses, implementation of Restructured-Accelerated Power development and Reforms Program (R-APDRP) to reduce technical and commercial losses has been accorded highest priority. Privatization and franchisee of distribution is being encouraged as these measures are expected to help in reducing AT&C Losses.

### *Implementation of BEE Programs*

Bureau of Energy Efficiency (BEE) has launched various programs to promote efficiency in use of electrical energy as per details given below:

- Implementation of Energy Conservation Building Code (ECBC) in states
- Demand Supply Management (DSM) in municipal services, agriculture and buildings
- Enforcement of energy intensity standards in energy intensive industries and trading of emission reduction certificates.
- CFL *Bachat* Lamp Yojna
- Agriculture (Ag DSM) Pump efficiency improvement through ESCO (Energy Service Company).
- Labeling of Appliances
- Labeling of Inverters on priority

There are several technology options to improve the combustion efficiency and lower CO<sub>2</sub> emissions. **Super critical plants** operate at higher temperatures leading to net heat rate of 2235 kCal per kWh and specific emission of 0.83 kg per net kWh. The technology is available globally and the cost is almost the same as sub-critical plants. As per recent guidelines and projections, super-critical power plants would account for 60% of thermal capacity to be built in the Twelfth Plan and 100% in Thirteenth Plan. Super critical units could thus contribute up to 50 GW by 2020. **Ultra super critical power plants** operate at still higher temperatures leading to net heat rate of 1986 kCal per kWh and specific CO<sub>2</sub> emissions of 0.74 kg per kWh. However, the technology is still not ready for large scale adoption. The high temperatures impose stringent material challenges. It is unlikely that such plants would be installed before 2020.

**Integrated Coal Gasification Combined Cycle (IGCC)** is another promising technology, which can attain higher efficiencies and lower CO<sub>2</sub> emissions and also produce synthetic chemical fuels such as diesel and hydrogen. However, initial estimates under Indian conditions of high ash coal show very high auxiliary power consumption and hence the overall efficiency is comparable with sub critical units at almost double the cost. While we should pursue research in IGCC, commercial deployment of IGCC is unlikely before 2020.

**Carbon Capture and Sequestration (CCS)** is being considered in several countries with large coal based power. However, there are several technical, economic and regulatory challenges in its role as a commercially viable low carbon option. It is hence unlikely that the technology will penetrate in India during this decade.

## Annex 4 EV charging infrastructure: Future plans

---

The NEMMP 2020 recommends setting up of standards for batteries and various other recharging components, to ensure successful and effective implementation (rolling out) of recharging infrastructure. The Plan has further suggested a three-phased approach for rolling out of charging infrastructure. The phase one will be the initial preparatory phase, followed by the second phase in which pilot projects and business models would be taken up for testing and implementation, and the final phase would involve the roll out of infrastructure.

The phase-I aims at achieving short term objectives (first year). This would include evolving and putting in place suitable framework, enabling policies, charging infrastructure standards, laws and detailed studies required for rolling out the infrastructure. Developing standards would ensure safe and quality components of charging infrastructure. The process of standardization would include assessment of testing infrastructure requirements, identification of testing and certifying agencies and also building testing infrastructure. Strategies adopted around the world to develop charging infrastructure would need to be studied and their application in Indian case would need to be evaluated. Developing infrastructure for charging may call for changes in the legislative framework, for instance, modifications in the Electricity Act may be required. Assessment of various incentives for setting up of charging infrastructure, like tax breaks, grants, soft loans etc. would need to be carried out. Business models suitable to Indian context like, battery leasing, battery swapping, smart metering, grid powering from batteries etc. would be evaluated. The phase-II would involve achieving medium term objectives, and would extend over the time frame of one to three years. The phase-II would further build upon the work done in phase-I. This phase would include deeper impact assessment studies and programmes, undertaking pilot projects, EV infrastructure consortium building activities, development of possible business models, etc. This phase will focus on finalization of guidelines and specifications framed for charging infrastructure, carrying out required modifications in the legislation or developing new legislation to facilitate development of charging infrastructure. This phase would also aim at enabling rolling out of EV charging infrastructure as pilot projects in various cities of India. This phase would also identify various possible strategies for designing optimal recharging infrastructure and for decoupling the cost of batteries from the purchase of EVs. To fully realize the benefits of electric mobility, this phase would establish link between electric mobility initiative and the national renewable energy generation efforts. The third and the final phase would focus on achieving medium to long term objectives and is expected to last from third year to 2020. This phase would aim at ensuring reliable and regular supply of electricity, ensuring availability of adequate recharging infrastructure, including provision for rapid recharging, development of EV charging as a business entity and linking EV charging infrastructure with renewable energy generation infrastructure. As various stakeholders would be involved for rolling out EV charging infrastructure, a Working Group on infrastructure (WG-Infra) has been constituted. The Working Group is a permanent body, which will represent all the stakeholders involved in developing key interventions and making key recommendations for consideration of NCEM/NBEM.

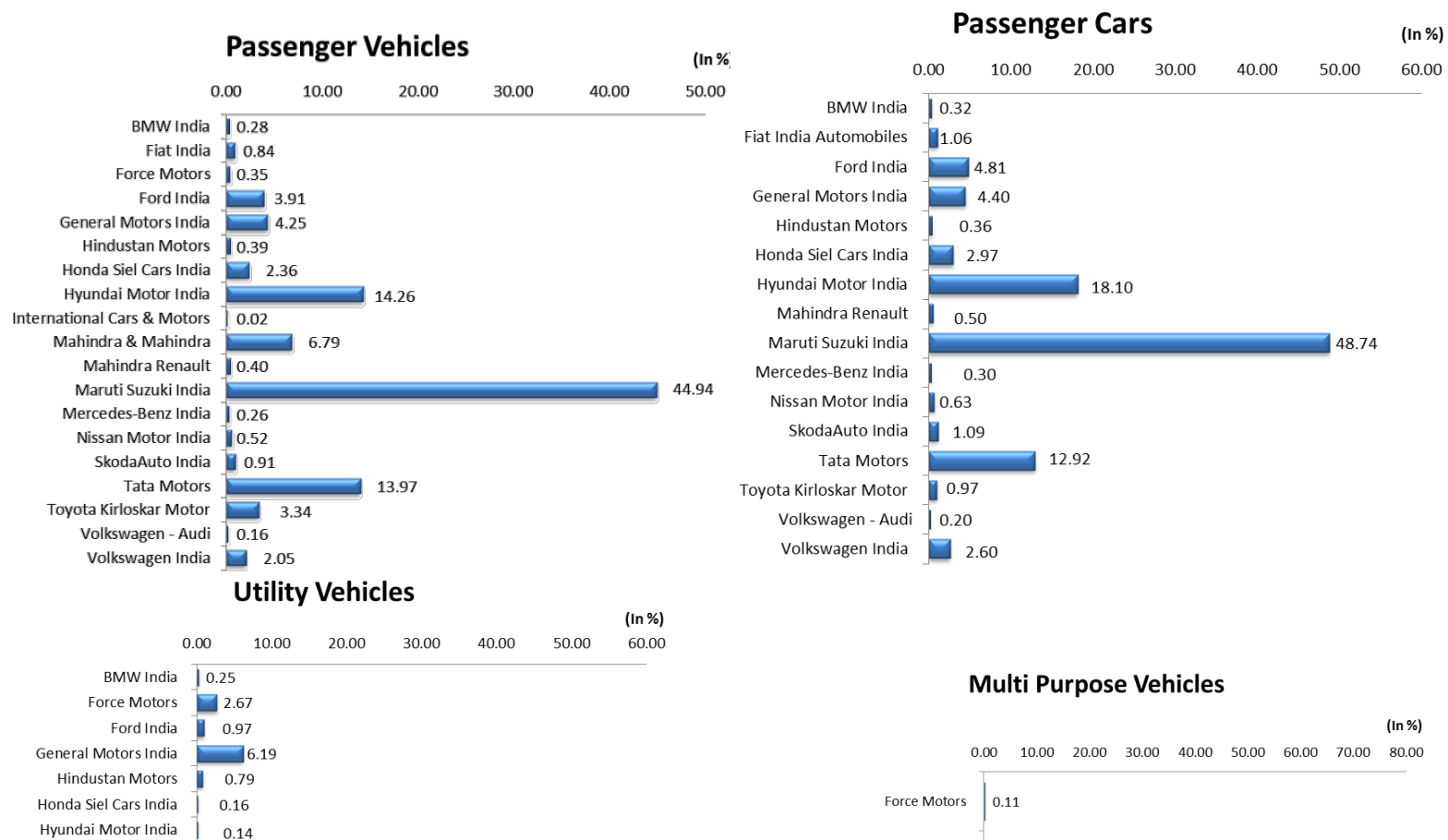


## Annex 5 Key actors in research related to automobiles and road transport systems

Government of India facilities	Address	Key person	Email, Contact
<b>National Automotive Testing and R&amp;D Infrastructure Project (NATRiP)</b>	NATRiP, NBCC Place, South Tower, 3rd Floor, Bhishma Pitamah Marg, Pragati Vihar. Lodhi Road. New Delhi - 110003	Shri. Nitin R. Gokarn, CEO	eam@natrip.in Tel:011-49215555, 24368222
<b>Global Automotive Research Center (GARC)</b>	GARC, SIPCOT Industrial Growth Center, Orgadam, Chennai	Shri M.V Ramachandran (Deputy Director & Site Head)	mv.rama@natrip.in, Tel no:044-27190816
<b>Vehicle Research and Development Establishment (VRDE)</b>	Vehicle Research & Development Establishment Vahannagar (PO), Ahmednagar (MS) – 414 006	Shri Manmohan Singh	director@vrde.drd o.in Telephone: +91-241 – 2548401, Fax: +91-241-2548410
<b>National Automotive Test Tracks (NATRAX)</b>	Indore	Dr. N. Karuppaiah (Addl. Director & Site Head)	n.karu@natrip.in, Tel:0729-2256110
<b>International Center for Automotive Technology (iCAT)</b>	International Centre for Automotive Technology Plot - 26, Sector - 3, IMT Manesar, Gurgaon - 122050.	Shri Dinesh Tyagi (Director iCAT)	dinesh.tyagi@icat.in,team@icat.in, Tel no: 0124-4586111
<b>Automotive Research Association of India (ARAI)</b>	Survey No. 102, Vetal Hill, Off Paud Road, Kothrud, Pune - 411 038 P.B. No. 832, Pune - 411 004	Shrikant Marathe, Director	director@araiindia.com, info@araiindia.com, www.araiindia.com

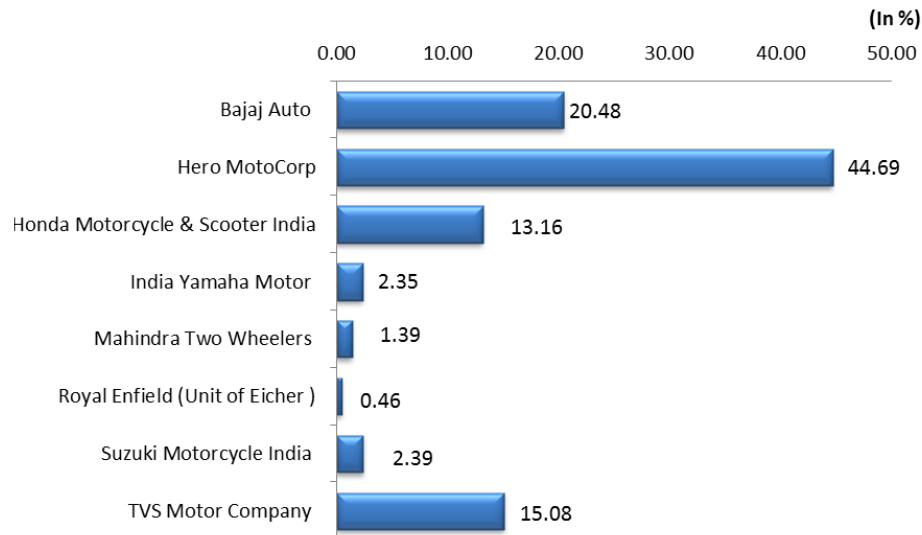
Government of India facilities	Address	Key person	Email, Contact
<b>National Institute for Automotive Inspection, Maintenance &amp; Training (NIIT)</b>	Dholcherra, Silichar	Shri Rajendra Singh (OSD)	rajendra.singh@natrip.in, Tel:03841-280036
<b>National Centre for Vehicle Research &amp; Safety, NCVRS</b>	Rae Bareli in Uttar Pradesh	-	-
<b>Council for Scientific and Industrial Research (CSIR)</b>	Council of Scientific and Industrial Research, Anusandhan Bhawan, 2 Rafi Marg, New Delhi-110001, India	Prof. Samir. K. Brahmachari (Director General)	dgcsir@csir.res.in, dg@csir.res.in Fax: 011-23710618
<b>Central Road Research Institute (CRRI)</b>	Central Road Research Institute, Delhi-Mathura Road, P.O. CRRI, New Delhi - 110 020	Dr. Subhamay Gangopadhyay (Director General)	Phone: +91-11-26848917, director.crri@nic.in

## Annex 6 Key players in passenger vehicle segment - company-wise market share in 2010-11

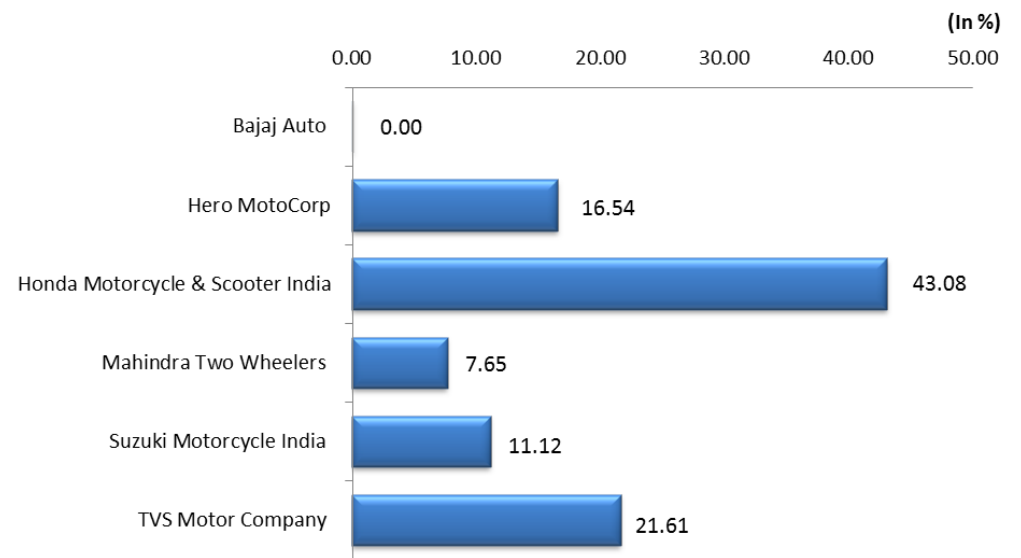


# Annex 7 Key players in two-wheeler segment - company-wise market share in 2010-11

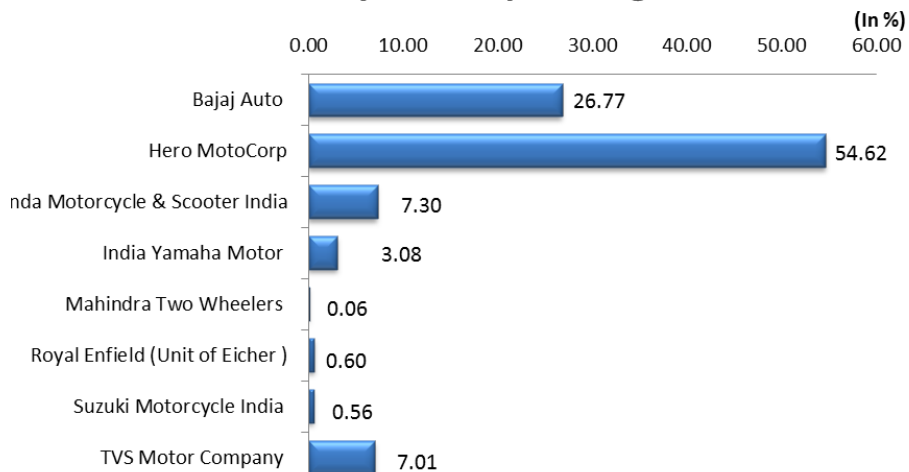
### Two Wheelers



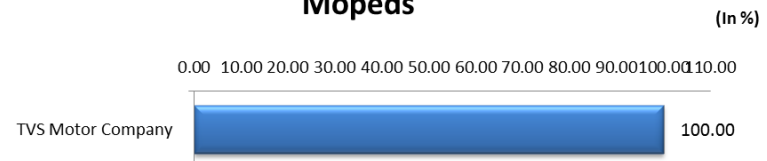
### Scooter /Scooterettee



### Motorcycles/Step Throughs



### Mopeds





# Annex 8 Description of different vehicle segments in passenger vehicle and two-wheeler segments

---

## Passenger vehicles

- **A: Passenger cars**
  - A1 (Mini - (Up to 3400 mm))
  - A2: Compact (3401-4000mm)
  - A3 Mid-size (4001-4500 mm)
  - A4 Executive (4501-4700 mm)
  - A5 Premium (4701-5000 mm)
  - A6 Luxury (5001mm & above)
- **B: Utility vehicle**
  - B1: Max Mass  $\leq$  3.5 tonnes
    - a: No. of seats including driver  $\leq$  7
    - b: No. of seats including driver  $>$ 7 but  $\leq$  9
  - B2: Max. Mass  $\leq$  5 tonnes (a) : No. of seats including driver  $\leq$  13
- **C : Multi-Purpose Vehicles (MPVs) - Van type vehicles & Max Mass  $\leq$  3.5 tonnes**

## Two Wheelers

- **A: Scooter/Scooterette : Wheel size  $\leq$  to 12"**
  - A1: Engine Capacity  $<$  75 cc
  - A2: Engine Capacity  $\geq$ 75 cc and  $<$  125 cc
  - A3: Engine Capacity  $\geq$ 125 cc and  $<$  250 cc
- **B: Motor cycles/Step- Throughs : Big Wheel size more than 12"**
  - B1: Engine Capacity  $<$  75 cc
  - B2: Engine Capacity  $\geq$ 75 cc and  $<$  125 cc
  - B3: Engine Capacity  $\geq$ 125 cc and  $<$  250 cc
  - B4: Engine Capacity  $\geq$ 250
- **C: Mopeds: Engine capacity  $<$  75 cc & with fixed transmission, big wheel size  $>$  12"**
- **D: Electric Two Wheelers**



## Annex 9 Contact details of key xEV companies

---

### 1. Mahindra Reva

Contact Point - Mr Anshuman Asthana,  
Manager (Sales & Marketing), North  
2B-Mahindra Tower, Bhikaji Cama Place,  
New Delhi

#### Head office

Mahindra Reva Electric Vehicles Pvt. Ltd.  
122 E, Bommasandra Industrial Area,  
Bangalore 560 099, India  
Tel: + 91 80 40723999  
Toll Free: 1800 209 6006  
Fax: + 91 80 41120956  
Email: CONTACTUS@mahindrareva.com

### 2. Toyota Motors

#### Head Office

Toyota Automobile Company Limited  
Sana Plaza, 21/14A,  
MG Road,  
Bangalore - 560001  
Karnataka  
Tel: +91-(0)80-66553300, 66292929  
Email: voc@toyota-kirloskar.co.in  
Website: <http://www.toyotabharat.com>

### 3. Honda Cars India Ltd.

Plot No. A-1, Sector 40/ 41,  
Surajpur-Kasna Road,  
Greater Noida Industrial Development Area,  
Distt. Gautam Budh Nagar, U.P. 201 306  
Zonal Office: ( North & East Zone sameas above)



## **Regional Trends in Electric Mobility Country study: India**

(Tel)0120 - 234 1313/ 1321/ 1327/ 1801/ 1806; (Fax) 0120 - 2341261

### **4. Hero Electric Ltd.**

Corporate Office

50 Okhla Industrial Estate (Phase III)

New Delhi – 110020, India

Tel: +91-11-41820000

Fax: +91-11-41820001

### **5. Electrotherm**

Corporate office - Electrotherm (India) ltd

72, Palodia (via Thaltej),

Ahmedabad 382116,

Gujarat, India

Phone: +91-2717-660550, 660618, 234553 to 57

Fax: +91-2717-237870

E-mail: yo@electrotherm.com

### **6. AVON Cycles**

Head office

G.T. Road, Ludhiana-141003, Punjab, (INDIA)

Tel: 91-161-4684800,99

Fax: 91-161-2511493

E-Mail:avon@avoncycles.com

### **7. BSA Motors**

Post Bag No: 5

Ambattur, Chennai – 600053

Tamil Nadu, India.

Phone: 044-42879410

### **8. TVS Motor Company**

Registered Office:

TVS Motor Company

Jayalakshmi Estates V Floor

8, Haddows Road Chennai - 600006

Ph: 044-28272233 Fax: 044-28257121

# Annex 10 Details of key xEV passenger vehicle products in the Indian Market

---

## 1. Mahindra REVA

Existing product: REVAi

### Model configuration

Reva Technical Specifications

Type: Two-door hatchback

Payload: 2 Adults & 2 Children (227 kg)

Top Speed : 80 km/h plus

Charge Time : 80% charge in 2.5 hours; 100% in 8 hours

Reva Integrated Power System

Motor: High torque (52 Nm), AC Induction motor, 3 phase 13 kW peak

Controller: 350 Amp microprocessor based with regenerative braking

Charger: 220 V, 2.2 kW, high Frequency switch mode type (optional 100-120V)

EMS: Microprocessor-based battery management system

Power Pack : 48 V, 200 Amp-hr, EV lead acid batteries

Reva Dimensions

Length: 2638 mm

Width: 1324 mm

Height: 1510 mm

Ground Clearance: 150 mm

Wheel Base: 1710 mm

Turning Radius: 3503 mm

Curb Weight: 700 kg

### Price

On-road price: 3.5 lac to 5.5 lacs

Running cost per km (fuel): INR 0.4 per km

Maintenance cost: Insignificant

Other annual costs (insurance premium): Rs 15,000 (on ex-showroom)

### Production

Annual production: 400-500 cars/year

Annual sales: Approx. 500/year (last 2-3 years)

Annual growth of sales: REVAi is not in production since June 2012; the stock has been liquidated since last year

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

### Variants of Revai

- **REVAi Standard**

48cc, Automatic, Electric (Battery), 80.0 km/hr, Price - INR 3,59,000

- **Reva i A/C**

48cc, Automatic, Electric (Battery), 80.0 km/hr, Price - INR 4,09,000

- **Reva i Classe**

48cc, Automatic, Electric (Battery), 80.0 km/hr, Price - Rs. 4,38,000

### Mahindra REVA's recently launched new car: e2o

The **Mahindra e2o** is an urban electric car hatchback manufactured by Mahindra Reva Electric Vehicles. The e2o is the REVA G-Wiz successor and was developed using REVA's technology, and has a range of 100 km (62 miles). The electric car was launched in India in March 2013 at a price between INR 700,000 (8400 Euros) to INR 850,000 (USD 10,200) depending on the city and before any subsidy. Mahindra also plans to launch the e2o in the European market during the last quarter of 2013.

#### Details related to e2o car

Technical	
Type	Two door hatchback
Seating Capacity	Four adults
Motor	3 Phase Induction Motor
Power	19 kW @ 3750 rpm
Torque	53 N-m @ (0-3400 rpm)
Battery	48V maintenance-free Lithium-ion
Steering Mechanism	Rack & Pinion
Transmission	Fully Automatic
Suspension: Front	MacPherson strut - Gas filled
Suspension: Rear	Gas filled shock absorber with coil springs.
Brake: Front	Disc: 215 mm
Brake: Rear	Drum: 180mm
Tyre (Front & Rear)	155 / 70 R 13, Tubeless Low Resistance
Dimensions	
Length x Width x Height	3280 mm x 1514 mm x 1560 mm
Wheelbase	1958 mm

Technical	
Ground Clearance	180 mm
Turning Radius	3.9 M
Kerb Weight	830 kgs
Body	
Panels & Bumpers	Color Impregnated and Dent resistance body panel
Frame/Chassis	Welded Tubular structure & 3-crumple zones complying to European safety norms
Performance	
Top Speed	81 kmph
Range	100 km in one full charge under test conditions
Charging time	5 hours to full charge; 1 hr for 20 km range from a standard 220V 15 A socket

Source: <http://www.mahindrae2o.com/specifications.htm>

## 2. Toyota Motors

### Toyota Prius 1.8

Toyota Prius is world's first mass production hybrid petrol-electric vehicle. The Prius is sold in almost 80 countries and regions; its largest markets are the United States, Japan, and Europe. It is the most successful hybrid car globally. Prius was first launched in Japan in 1997. In India, Prius was launched in 2010. Despite powerful features, Prius could not succeed in Indian market because of its extremely high cost, at around INR 3,000,000. Only five Prius were sold in April-Aug 2012.<sup>60</sup>

Details related to Toyota Prius

<b>Car Body Type:</b>	<b>Sedan</b>
ENGINE SPECIFICATIONS	
Displacement:	1798cc, 60KW Motor (Hybrid)
Engine Type:	Petrol
Maximum Power:	98 Bhp @ 5200 rpm
Maximum Torque:	142 Nm @ 4000 rpm

<sup>60</sup> SIAM 2012

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

<b>Car Body Type:</b>	<b>Sedan</b>
<b>DIMENSIONS</b>	
Length:	4480 mm
Width:	1745 mm
Height:	1525 mm
Headroom:	936.00 mm
Rear Leg Room:	927 mm
Rear Seat Width:	0.00 mm
<b>OTHER SPECIFICATIONS</b>	
Seating Capacity:	5
Tyre Size:	195/65 R15
Suspension:	McPherson struts, Torsion beam
Turning Circle:	5.20 mtrs.
Steering:	Tilt
Brakes:	Front Ventilated, Rear Disk
Gears:	6 Automatic
Ground Clearance:	135.00 mm
Kerb Weight:	1385.00 kgs.
Fuel Tank:	45.00
Trip Meter:	2

Source: <http://autos.maxabout.com/cars/toyota/prius>  
<http://cleantechnica.com/2010/06/09/toyota-overwhelmed-by-demand-for-prius-in-india/>  
<http://www.motorbeam.com/cars/toyota-prius/is-toyota-planing-local-assembly-of-prius/>

### 3. Honda Motors

## Annex 10

### Honda Civic Hybrid

Honda civic hybrid was launched in India in mid-2008. Honda Civic Hybrid was not well received in Indian market because of its high price of INR 2,200,000. Later, Honda slashed down the price of the hybrid car by INR 800,000 to boost the sales. But, the model was soon withdrawn because of weak sales.

Details related to Honda Civic Hybrid

Engineering	
Engine Type	In-Line 4-Cylinder
Engine Block/Cylinder Head	Aluminum-Alloy
Displacement (cc)	1339
Horsepower @ rpm	110 @ 6000
Torque (lb.-ft. @ rpm)	123 @ 1000-2500
Redline (rpm)	6300
Bore and Stroke (mm)	73 x 80
Compression Ratio	10.8:1
Valve Train	8-Valve SOHC i-VTEC®
Multi-Point Fuel Injection	Standard
Drive-by-Wire™ Throttle System	Standard
Front-Wheel Drive	Standard
CARB Emissions Rating	AT-PZEV
Direct Ignition System with Immobilizer	Standard
Immobilizer Theft-Deterrent System	Standard
100K +/- Miles No Scheduled Tune-Ups*	Standard
Electric Motor / Generator	
Permanent Magnet Motor	Standard

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

Engineering	
Power Output	20 hp / 76 lb.-ft.
Motor Width (mm)	70
Electric Power Storage	Hybrid
Nickel Metal Hydride (Ni-MH) Battery	Standard
Output (Volts)	158
Rated Capacity	5.5 Ah
Transmissions	
Continuously Variable Transmission (CVT)	Standard
Body/Suspension/Chassis	
Unit-Body Construction	Standard
MacPherson Strut Front Suspension	Standard
Multi-Link Rear Suspension	Standard
Stabilizer Bar (mm., front/rear)	24.2 / 12.0
Steering Wheel Turns, Lock-to-Lock	2.71
Steering Ratio	13.52
Turning Diameter, Curb-to-Curb (ft.)	34.8
Wheels	15" Lightweight Alloys
All-Season Tires	P195 / 65 R15 89S
Compact Spare Tire	Standard
Exterior Measurements	
Wheelbase (in.)	106.3
Length (in.)	176.7
Height (in.)	56.3

## Annex 10

Engineering	
Width (in.)	69
Track (in., front/rear)	59.1 / 60.2
Interior Measurements	
Cargo Volume (cu. ft.)	10.4
Passenger Volume (cu. ft.)	90.9
Seating Capacity	5
Epa Mileage Estimates/Capacities <sup>†</sup>	
CVT (City/Highway)	40/45 (mpg) or 16.94/19.23 (km/l)
Crankcase (qt.)	4
Fuel (gal.)	12.3
Required Fuel	Regular Unleaded
Other Features	
Idle-stop feature	Yes
Honda Satellite-Linked Navigation System with Voice Recognition	Yes
160-Watt AM/FM/CD Audio System with 6 Speakers	Yes
Average Fuel Consumption Indicator	Yes
Hybrid technology featuring Integrated Motor Assist IMA	Yes

Source: <http://lifestyle.iloveindia.com/lounge/honda-civic-hybrid-2463.html>





## Annex 11: Existing Electric two-wheeler products in the Indian Market and their specifications

Electric Mopeds														
S.no	Make	Model	Range	Top Speed	Weight	Motor	Wattage	Batteries	Voltage	Charger	Charge Time	Brakes	Wheels	Extra features
1	Ampere vehicles	Ampere Adya	55 km	25 Km/h	93 kg (+100 kg paylo)	BLDC 250W	250W	60V, 20AH			6-8 hours			
2	Petra	Petra Krono	40-50 Km / charge	30 km/h	48 Kgs	DC Brushless Hub Motor, rear wheel	250W, 48V, 15A	Sealed Maintenance Free Lead Acid Battery, 10AH, 12V*4	36V	220V, 1.6A - 1.8A	6-8 hours	Cantilever brake, band brake	20 inches	
3	Avon	Avon e-plus 081 EB		24 Km / hr	53 kg	BLDC hub motor	230W					Drum		
4	Hero Electric	Hero Dash	45 km	25 km/h	47 kg, max load 75kg	Rear wheel hub motor, Ultra Motors	<250W	Sealed Lead Acid, 36V 15AH	36V	36V, 2A			20" x 2.125", spokes	
5	Hero Electric	Hero Easy	45 km	25 km/h	46 kg, max load 75kg	Rear wheel hub motor	<250W	Sealed Lead Acid, 36V 15AH	36V	36V, 2A			20" x 2.125", spokes	
6	Hero Electric	Hi-moto	55 km	25 km/h	50 kg, max load 90kg	Rear wheel hub	<250W	Sealed Lead Acid, 36V	36V	36V, 2A			20" x 2.125", spokes	

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

Electric Mopeds														
motor							15AH							
Electric motorcycles														
S.no	Make	Model	Range/Autonomy	Top Speed	Weight	Motor	Batteries	Voltage	Charger:	Brakes	Wheels	Wattage	Charge Time	Extra Features
1	GENXT POWER INDIA LTD	GENXT PowerX	Upto 70 km/charge	60 Kms / hr	80 Kg	48 Volt, DC Motor.	4 x 12V Sealed Lead Acid Maintenance Free Battery	48 V	Self-contained on-board charger	Front & Rear hand brakes.	Spoked Wheels			
2	GENXT POWER INDIA LTD	GENXT Evera +	Upto 40 km/charge	55 Kms / hr	100 Kg	48 Volt, DC Motor.	4 x 12V Sealed Lead Acid Maintenance Free Battery	48 V	Self-contained on-board charger	Front & Rear hand brakes.	Spoked Wheels.			
3	GENXT POWER INDIA LTD	GENXT Evera	Upto 40 km/charge	40 km/h	65 Kg	24V DC Motor	2 x 12V Sealed Lead Acid Maintenance Free Battery	24V	Self-contained on-board charger	Front & Rear hand brakes.	Spoked Wheels			

**Annex 11**

Electric Mopeds														
Electric Scooters														
S.no	Make	Model	Range/ Autonomy	Top Speed	Weight	Motor	Batteries	Voltage	Charger	Brakes	Wheels	Wattage	Charge Time	Extra Features
1	Green Electric	Ultra Motor Velociti	50 km	40 km/h	50 kg, max load 75kg	Rear wheel hub motor	Sealed Lead Acid, 48V 24AH	48V			10"	500W		
2	Green Electric	Green Electric Flamz	70-90 Km	< 25 Km/hr		Brushless Hub Motor	Maintenance-free VRLA 48V, 20AH	48 V			16	< 250 W	6 - 8 hours	
3	Paradise Electro Auto	myEbike Classic	100 km	25 Kms / hr	78kg, 120kg payload	48 Volt, DC Motor	4 x 12V-24Ah	48 V	2.8A	Front & Rear Drum	16" x 3"	< 250W	6-8 hours	
4	Paradise Electro Auto	myEbike Foton												
5	Paradise Electro Auto	myEbike Sporty	100 km/charge	25 Kms / hr	78 kg, 120kg payload	48 Volt, DC Motor	4 x 12V, 24AH Sealed Lead Acid Maintenance Free Battery	48 V	56V - 2.8A	Front & Rear Drum	16" x 3"	< 250 W	6-8 hours	
6	Electrotherm	YO Xplor	70 km	25 km/h	91 kg (+75 kg payload)	BLDC 250W	24AH, 48V	48V				250W	6-8 hours	
7	Ampere Vehicles	Ampere Visva DD	50 km	25 km/h	90 kg (+100 kg payload)	Differential Drive Central	48V, 20AH	48V				250W	6-8 hours	

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

Electric Mopeds												
Motor												
8	Ampere Vehicles	Ampere V60	55 km	25 km/h	100 kg, +100kg paylo	BLDC 250W	60V, 20AH	48V			250W	6-8 hours
9	Ampere Vehicles	Ampere Prince	50 km	25 km/h	100 kg payload	BLDC	48V, 20AH	48V			250W	6-8 hours
10	Ampere Vehicles	Ampere Bobo Retro	50 km	25 km/h	115 kg (+80 kg paylo	BLDC 250W	48V, 20AH	48V			250W	6-8 hours
11	Ampere Vehicles	Ampere Bobo	55 km	25 km/h	81 kg (+90 kg payloa	BLDC 250					250W	
12	Green Electric	Green Windz	70 km	25 km/h		BLDC 250W	48V, 20AH				<250W	
13	Hero Electric	Hero Cruz	70 km	25 km/h		BLDC 250W	48V, 20AH				250W	
14	Hero Electric	Hero Zion	45 km	25		BLDC 250W	48V, 20AH	48V	Drum	16x3	250W	6-8 hours
15	Hero Electric	Hero Optima Plus	70-100km	45 km/h		BLDC	48V, 20AH	48V	Drum	16x3"	<250W	8 hrs
16	Hero Electric	Hero E-Sprint	65 km	45 km/h	140kg payload	Rear wheel hub motor	Sealed Lead Acid, 48V 33AH	48V			800W (1500 Peak)	
17	Hero Electric	Hero Electric Wave DX	70 km	25 km/h	60 kg, max load 75kg	Rear wheel hub motor	Sealed Lead Acid, 48V 24AH	36V	36V, 3A	10"	<250W	

Annex 11

Electric Mopeds												
18	Electroth erm	YO EXL	70-75 km @ 75 kg (at Econom y Mode)	55 km / hr	130 g carrying cap	Permane nt Magnet DC Motor	40Ah Mainten ance- free VRLA Deep Discharg e	48 V		3.50 – 10.51 J.4P.R - Front & Rear	1800 W peak	6 - 8 hours
19	Ultra Motors	Ultra Motors Maratho n	100 km	25 km/h	82 kg,	Rear wheel hub motor	Sealed Lead Acid, 48V 24AH	48V			250W	
20	Electroth erm	YO Speed	75 to 80 km @ 70kg & 55 to 60 @ 130 kg	45 Km/hr	130 Kg carrying capa	Permane nt Magnet BLDC Motor	VRLA 33Ah x 4	48 V		3.00 * 10.00"	750 W	6 - 8 hours
21	TVS	TVS Scooty Teenz Electric	50 km	40 km/h		Rear wheel BLDC hub motor	Sealed Lead Acid, 48V 20AH	48V	48V portable	2.75 x 10, 2.75 x 10	800W	
22	Electroth erm	Electroth erm Yo Spark	70 km	45 km/h	114 kg (+130 kg payl	BLDC 900W	48V, 33AH	48V			900W	6-8h
23	Electroth erm	Electroth erm Yo Style ER	95 km	25 km/h	105 kg	BLDC 250W	33AH, 48V	48V			250W	6-8 hours
24	Electroth erm	Electroth erm Yo Style	70	25 km/h	94 kg (+75 kg payloa	BLDC 250W	24AH, 48V	48V			250W	6-8 hours
25	Lovenssa Motors	Lovenssa Super	70-80 km	25 km/h		BLDC Hub motor	48V, 20Ah Lead Acid	48V		16"x3.00 (chinese)	<250W	5-6 hours

## Regional Trends in Electric Mobility Country study: India

Electric Mopeds													
26	EBike India	EbikeIndia Hirun	40 km	25 km/h	70 kg load	240W	48V, 14AH	48V		240W	4-6 hours		
27	EBike India	EbikeIndia Work Horse	50 km	45 km/h	100 kg load	240W	48V, 14AH	48V		240W	4-6 hours		
28	Hero Electric	Hero Electric Maxi	70 km	25 km/h	65 kg, max load 90kg	Rear wheel hub motor	Sealed Lead Acid, 48V 20AH	48V	48V, 3A	16" x 3", alloy wheel	<250W		
29	Electrotherm	YO Spin	55 Km	< 25 Km/hr	75 Kg carrying capac	Permanent Magnet DC Motor	Maintenance-free VRLA Deep Discharge, 12Ah	36 V		18' 'X 2.125"	< 250 W	6 - 8 hours	Special Features: Intelligent Braking System (With electronic sensors) •Electronic Accelerator •Pollution Free •Aerodynamic Shape •Large Under seat Space •Alloy Wheels •Electronic Controller

## Annex 11

Source: [www.heroelectric.in](http://www.heroelectric.in), <http://www.avoncycles.com/ebikes/default.asp>, <http://www.tvsmotor.in/techno-ecodynamism.asp>, [www.electrotherm.com](http://www.electrotherm.com), [www.ebikeindia.com](http://www.ebikeindia.com), <http://lovenssamotor.webs.com/>, <http://ultramotor.com/en>, [www.greenelectricvehicle.in/](http://www.greenelectricvehicle.in/), [www.ampvl.com](http://www.ampvl.com)/<http://www.paradise-electro.com/paradisegroup.htm>[www.evfuture.com](http://www.evfuture.com)





DLR Institut für Verkehrsforschung  
Institut für Fahrzeugkonzepte



Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt



## **STROM – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität**

Arbeitspapier der STROMbegleitung  
**Analyse der STROM-Projekte zur inhaltlichen Ausrichtung der  
Begleitforschung und des Technologie-Monitorings**

Benjamin Frieske, Matthias Klötzke  
Arne Höttl, Markus Mehlin

DLR Institut für Verkehrsforschung (DLR-VF)  
Rutherfordstraße 2  
12489 Berlin

DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK)  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

Juli 2012



<b>I.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>II.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inhalte des Arbeitspapiers .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Analyse der STROM-Einzelprojekte .....</b>	<b>6</b>
2.1	ÜBERBLICK ÜBER DIE STROM-EINZELPROJEKTE .....	6
2.2	DATENGRUNDLAGE UND VORGEHENSWEISE.....	8
2.3	STRUKTURELLER RAHMEN DER PROJEKTE.....	8
<b>3</b>	<b>Ergebnisse der Projektanalyse.....</b>	<b>11</b>
3.1	THEMATISCHE SCHWERPUNKTE DER PROJEKTE .....	11
3.2	TECHNOLOGIE-CLUSTER UND SUCHFELDER.....	11
3.3	SCHLÜSSELPARAMETER .....	13
3.4	FAHRZEUGKONZEPTE .....	15
3.5	ERGÄNZENDE INFORMATIONEN ZU DEN PROJEKTEN.....	18
3.5.1	<i>Zielgruppen.....</i>	<i>18</i>
3.5.2	<i>Normierung, Standardisierung und Patentierung.....</i>	<i>18</i>
3.5.3	<i>Internationaler Vergleich von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten.....</i>	<i>19</i>
<b>4</b>	<b>Fazit der Projektanalyse .....</b>	<b>21</b>
<b>III.</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>23</b>



## I. Abkürzungsverzeichnis

<b>AP</b>	Arbeitspaket
<b>BMBF</b>	Bundesministerium für Bildung und Forschung
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlenstoffdioxid
<b>DLR</b>	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
<b>EURO NCAP</b>	European New Car Assessment Programme
<b>F&amp;E</b>	Forschung und Entwicklung
<b>FVK</b>	Faserverstärkter Kunststoff
<b>IGBT</b>	Insulated Gate Bipolar Transistor
<b>Li-Ion</b>	Lithium-Ionen
<b>NPE</b>	Nationale Plattform Elektromobilität
<b>OEM</b>	Original Equipment Manufacturer
<b>ÖPNV</b>	Öffentlicher Personennahverkehr
<b>STROM</b>	Förderprogramm des BMBF: Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität

### STROM-Projekte:

<b>1PeFZ</b>	Umsetzung eines neuartigen Einpersonen-Elektroleichtfahrzeuges im Sinne eines Gesamtsystemansatzes
<b>E2V</b>	Elektromobilitätskonzepte mit teilautonomen Fahrzeugen
<b>e generation</b>	Schlüsseltechnologien für die nächste Generation der Elektrofahrzeuge
<b>E-Komfort</b>	Innovative Klimatisierungs- und thermische Komfortkonzepte zur Optimierung der Reichweite von Elektrofahrzeugen
<b>ELANi</b>	Elektrischer Antrieb Niedervolt
<b>e-MoSys</b>	Entwicklung und prototypische Umsetzung eines anforderungsgerechten modularen Antriebs- und Fahrwerksystems für ein Elektrofahrzeug
<b>EMOTOR</b>	Energiespeicher-Monitoring für die Elektromobilität
<b>e production</b>	Produktionsforschung zu Hochvoltspeichersystemen für die Elektromobilität
<b>Go Innvelo</b>	Innovatives Fahrzeugkonzept für Ballungszentren
<b>HI-Level</b>	Hochstromleiterplatten als Integrationsplattform für Leistungselektronik von Elektrofahrzeugen
<b>HotPowCon</b>	Fügewerkstoff-, Verfahrens- und Anlagenentwicklung zum Aufbau neuer elektronischer Leistungsbaugruppen für elektrische Antriebs- und Energiemanagementkonzepte mit Betriebsspitzentemperaturen bis 300°C für Elektrofahrzeuge
<b>iFlux</b>	Innovative Antriebe und Leistungselektronik für künftige Elektrofahrzeuge
<b>KAIROS</b>	Keramische Aufbau- und Integrationstechnik für robuste Signal- und Leistungselektronik
<b>MHF4EV</b>	Modularer Hochfrequenzumrichter für die nächste Generation von Elektrofahrzeugen
<b>P&amp;P Range Extender</b>	Erforschung eines Plug & Play Range Extender Moduls zur onboard Stromerzeugung in Elektrofahrzeugen
<b>ResCar 2.0</b>	Robuster Entwurf von Standardkomponenten für Anwendungen in der Automobilelektronik/Elektromobilität
<b>RoBE</b>	Robustheit für Bonds im E-Fahrzeug
<b>SEB</b>	Schnelladesysteme für Elektrobusse im ÖPNV
<b>STROMbegleitung</b>	Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität
<b>VeloCité</b>	Schlüsselkomponenten für die Mikroelektromobilität im innerstädtischen Individualverkehr
<b>VisioM</b>	Visionäres Fahrzeugkonzept für die urbane Elektromobilität



## II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Leitung der STROM-Projekte .....	9
Abbildung 2: Verteilung der Fördersumme auf die Forschungsbereiche.....	10
Abbildung 3: Thematische Schwerpunkte der STROM-Projekte .....	11
Abbildung 4: Projektanalyse – Parameter "Fahrzeugkonzepte" (Auszug) .....	14
Abbildung 5: Projektanalyse – Parameter "Elektromotor" und "Leistungselektronik" (Auszug).....	15
Abbildung 6: Fahrzeugkonzept-Datenbank – Marktliche Indikatoren (Auszug).....	17
Abbildung 7: Fahrzeugkonzept-Datenbank – Technologische Indikatoren (Auszug) .....	17
Abbildung 8: Zielgruppen der STROM-Forschung .....	18
Abbildung 9: STROMbegleitung – Technologie-Radar (Illustration) .....	23
Abbildung 10: Laufzeiten der STROM-Projekte.....	24
Abbildung 11: Interview-Leitfaden Projektanalyse .....	25



## 1 Inhalte des Arbeitspapiers

Die „Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität“ (im Folgenden „STROMbegleitung“ genannt) wird im Rahmen der im Jahr 2009 veröffentlichten BMBF-Förderbekanntmachung Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM) durchgeführt und dient der wissenschaftlichen Begleitung und Beforschung der im Rahmen dieser Bekanntmachung gestarteten F&E-Projekte. Das BMBF initiierte mit der Förderbekanntmachung STROM Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich Gesamtfahrzeugsysteme, Batterieentwicklung und -integration, Energiemanagement sowie der entsprechenden Werkstoff- und Materialforschung. STROM war, nach Fördervorhaben im Rahmen des Konjunkturpaketes II, die erste Maßnahme zur Umsetzung des „Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität“. Die Themen orientieren sich an Empfehlungen externer Experten und sind konsistent mit den Inhalten und Zielen der Arbeitsgruppen „Antriebstechnologie und Fahrzeugintegration“ und „Batterietechnologie“ der im Jahr 2010 ins Leben gerufenen „Nationalen Plattform Elektromobilität“ (NPE)<sup>1</sup>.

### Ziele der STROMbegleitung

Im Rahmen der STROMbegleitung werden unterschiedliche Ziele verfolgt, die zusammen ein umfassendes Bild über den Stand der Technik und die Potenziale vielversprechender technologischer Lösungen der Elektromobilität ermöglichen sollen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Identifikation und Analyse aktueller und zukünftiger Trends der Fahrzeugkonzept- und Technologieentwicklung sowie in der Einordnung der deutschen Aktivitäten in den internationalen Kontext. Im Detail orientiert sich die Begleitforschung an den folgenden Forschungsfragen:

- Welche generellen technologischen und marktlichen Trends zeichnen sich bei Schlüsseltechnologien der Elektromobilität sowie elektrifizierten Fahrzeugkonzepten ab?
- Was ist der State-of-the-art bei den Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und welches zukünftige Entwicklungspotenzial besitzen diese?
- Wie tragen die im Rahmen der STROM-Ausschreibung geförderten Projekte zur Technologieentwicklung bei? Welche Herausforderungen, Grenzen und Hürden bestehen bei der Entwicklung spezieller technischer Lösungen?
- Welchen Stand hat die Technologieentwicklung im nationalen und internationalen Vergleich?
- Welche Förderschwerpunkte können in den verschiedenen Weltregionen identifiziert werden und welche Zielgruppen werden adressiert?
- Welche ökonomischen, ökologischen und technischen Auswirkungen haben die Schlüsseltechnologien auf das zukünftige Gesamtsystem Fahrzeug?
- Wie sehen die Ökobilanzen für Treibhausgasemissionen und Schadstoffemissionen („Well-to-Wheel“) der Schlüsseltechnologien und Fahrzeugkonzepte aus?

Die wissenschaftlich fundierte Beantwortung der genannten Aspekte und Fragen wird es u.a. erlauben, das Förderprogramm STROM und die beforschten Schlüsseltechnologien in die internationalen Forschungsaktivitäten einzuordnen und Empfehlungen für die weitere Ausgestaltung staatlicher Förderprogramme und für andere politische Entscheidungen zu geben.

---

<sup>1</sup> Die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) hat zum Ziel, den Markteintritt innovativer Elektrofahrzeuge in systemischer, markt-orientierter und technologieoffener Form zu beschleunigen. Deutschland soll dabei bis zum Jahr 2020 Leitanbieter und Leitmarkt der Elektromobilität werden.



## Aufgaben der Projektpartner zur STROMbegleitung

Das DLR Institut für Verkehrsforschung (DLR-VF, Berlin) bearbeitet ausgewählte Aspekte des Technologie-Monitorings und beteiligt sich am Arbeitspaket zu den Perspektiven der Elektromobilität (Roadmaps, Förderbindungen) in den USA. Das DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK, Stuttgart) ist hauptverantwortlich für die Durchführung des globalen Technologie-Monitorings und die Erstellung technologischer Trend- und Marktanalysen. Das Wuppertal Institut analysiert Förderprogramme, Perspektiven und Marktentwicklungen in den Regionen OECD-Amerika/USA, OECD-Asien/Japan, OECD-Europa/Europäische Union, China, Rest der Welt/Indien und erarbeitet zudem detaillierte Ökobilanzen zu Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und zukünftigen Fahrzeugkonzepten.

## 2 Analyse der STROM-Einzelprojekte

### 2.1 Überblick über die STROM-Einzelprojekte

Zur inhaltlichen Ausrichtung der STROMbegleitung wurden in einem ersten Schritt alle 14 Projekte analysiert, die an der STROM-Kick-Off-Veranstaltung am 17.10.2011 in Bonn teilgenommen haben und dem BMBF Referat 523 „Elektroniksysteme, Elektromobilität“ zugeordnet sind. Diese Projekte sind vom BMBF in drei übergeordnete Bereiche zusammengefasst worden und umfassen im Einzelnen:

- **Gesamtsystem:**
  - E2V: Elektromobilitätskonzepte mit teilautonomen Fahrzeugen
  - 1PeFZ: Umsetzung eines neuartigen Einpersonen-Elektroleichtfahrzeuges im Sinne eines Gesamtsystemansatzes
  - ELANi: Elektrischer Antrieb Niedervolt
  - Go Innvelo: Innovatives Fahrzeugkonzept für Ballungszentren
- **Energie- und Thermomanagement:**
  - E-Komfort: Innovative Klimatisierungs- und thermische Komfortkonzepte zur Optimierung der Reichweite von Elektrofahrzeugen
  - KAIROS: Keramische Aufbau- und Integrationstechnik für robuste Signal- und Leistungselektronik
  - HotPowCon: Fügwerkstoff-, Verfahrens- und Anlagenentwicklung zum Aufbau neuer elektronischer Leistungsbaugruppen für elektrische Antriebs- und Energiemanagementkonzepte mit Betriebsspitzentemperaturen bis 300°C für Elektrofahrzeuge
  - MHF4EV: Modularer Hochfrequenzumrichter für die nächste Generation von Elektrofahrzeugen
  - HI-Level: Hochstromleiterplatten als Integrationsplattform für Leistungselektronik von Elektrofahrzeugen
  - P&P Range Extender: Erforschung eines Plug & Play Range Extender Moduls zur onboard Stromerzeugung in Elektrofahrzeugen
- **Antriebsystem:**
  - iFlux: Innovative Antriebe und Leistungselektronik für künftige Elektrofahrzeuge
  - e-MoSys: Entwicklung und prototypische Umsetzung eines anforderungsgerechten modularen Antriebs- und Fahrwerksystems für ein Elektrofahrzeug
  - ResCar 2.0: Robuster Entwurf von Standardkomponenten für Anwendungen in der Automobilelektronik/Elektromobilität
  - RoBE: Robustheit für Bonds im E-Fahrzeug



Im Forschungsbereich Gesamtsystem werden unterschiedliche ein- oder zweispurige Fahrzeugkonzepte entwickelt und erprobt. Dabei soll eine hohe Energieeffizienz bei einer möglichst geringen Fahrzeugmasse und niedrigen Herstellungskosten erzielt werden. Im Rahmen des Karosseriebaus spielt die Materialwahl für den Leichtbau und die Crashesicherheit eine wichtige Rolle. Es werden in diesem Bereich von dem Projekt ELANi zweirädrige, von Go Innvelo und E2V dreirädrige und von 1PeFZ vierrädrige Ein- bzw. Zweipersonenfahrzeuge als Demonstratoren entwickelt. Über die Entwicklung hinaus werden von diesen Projekten unterschiedliche Nutzungskonzepte für private und dienstliche Zwecke untersucht.

Die Forschungsschwerpunkte im Bereich Energie- und Thermomanagement sind Schnittstellentechnologien zwischen dem Antriebssystem und der Leistungselektronik. Neben der Forderung nach einem leistungsstarken Antrieb muss das Antriebssystem temperaturbeständig sein, was wiederum Anforderungen an das Material und die Kühltechnik stellt. Dazu werden in den Projekten KAIROS, MHF4EV und HI-Level hocheffiziente Leistungselektronikkomponenten und Verfahren zur Herstellung von temperaturbeständigen Leistungsbaugruppen erforscht. Ziel ist es, eine hohe Zuverlässigkeit der Bauteile für das Gesamtfahrzeugkonzept sicherzustellen. Die Integration von Range Extendern spielt neben der Leistungselektronik, der Batterie und dem Getriebe eine wichtige Rolle für das Gesamtfahrzeugkonzept und wird im Projekt Plug&Play Range Extender untersucht. Wie man am speziellen Beispiel des Projekts E-Komfort sieht, kann neben der Effizienzsteigerung in der Fahrzeugelektronik Energie auch bei der Wärmezufuhr in der Fahrgastzelle eingespart werden.

Im Bereich Antriebssysteme spielt bei den projekten ResCar 2.0 und RoBE die Robustheit der Schaltelektronik eine wesentliche Rolle. Für die hochkomplexen Bauteile der Leistungselektronik muss eine Mindestlebensdauer gewährleistet sein und Ausfallraten müssen reduziert werden. Im Projekt iFlux werden in Verbindung mit der Leistungselektronik neuartige Antriebsaggregate für den Einsatz in Elektrofahrzeugen erprobt, in diesem Fall die Transversalflossmaschine. Wesentliche Herausforderung hierbei ist die Wahl eines geeigneten Materials und einer geeigneten Bauweise der Antriebseinheit mit der Realisierung einer hohen Leistungsdichte bei geringem verfügbarem Bauraum zu verbinden. Wie das Projekt e-MoSys zeigt, stellt der Fahrzeugaufbau eines Elektroautos auch neue Anforderungen an Prüfstände, welche bisher auf Verbrennungsmotoren ausgelegt waren.

In einem zweiten Schritt wurden weitere fünf STROM-Projekte in die Analyse integriert. Diese sind erst nach der STROM-Kick-Off-Veranstaltung gestartet, so dass die STROMbegleitung erst Kontakte zu den jeweiligen Projektleitungen etablieren und geeignete Informationen zu Projektinhalten und -zielen gewinnen musste, bevor eine sinnvolle Analyse durchgeführt werden konnte.

Das Projekt „VisioM: Fahrzeugkonzept für die urbane Elektromobilität“ startete im März 2012. Aus den zur Verfügung gestellten Informationen der Antragssteller ging hervor, dass als Versuchsträger des Projekts das Fahrzeugkonzept MUTE genutzt wird. Auf diesem Konzept aufbauend werden im Projekt VisioM technologische Entwicklungen u.a. in den Schwerpunktbereichen Leichtbau, Sicherheit und Thermomanagement angestrebt. Es wurde von der STROMbegleitung nachträglich in die Projektanalyse aufgenommen.

Zu den Projekten e generation (Projektstart: Januar 2012) und e production (Dezember 2011) waren bis zum Abschluss des Arbeitspakets und der Projektanalyse keine ausreichenden Informationen verfügbar, sodass deren Analyse auf einen noch späteren Zeitpunkt verschoben werden muss. Die STROMbegleitung wird weiterhin versuchen den Kontakt zu den jeweiligen Projektleitern herzustellen und – falls möglich – die Projektinhalte sinnvoll in das Konzept des Technologie-Monitorings zu integrieren.

Die Projekte „Schnelladesysteme für Elektrobusse im ÖPNV“ (SEB) und „Schlüsselkomponenten für die Mikroelektromobilität im innerstädtischen Individualverkehr“ (VeloCité) starteten ebenfalls erst nach dem STROM-Kick-Off (Februar 2012 bzw. Dezember 2011) und wurden deshalb im späteren Verlauf der Projektanalyse betrachtet. SEB thematisiert Aspekte des elektrischen Antriebs von städtischen Linienbussen und deren Energiespeichern. Betrachtet werden hier hauptsächlich Konzepte zur Aufladung von Energiespeichern in Bussen während der Fahrt. Das Projekt VeloCité befasst sich im Bereich „Klein-Elektrofahrzeuge“ Komponenten eines Leichtbaufahrrads aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK). Im



Fokus steht hier auch die Demonstration eines innovativen Antriebs für ein Elektro-Fahrrad, der auf einem Transversalflussmotor basiert. Dieser ist für die Entwicklung technologischer Antriebslösungen im Bereich Elektromobilität zwar generell relevant, stellt aber durch den speziellen Einsatz im Bereich der Mikroelektromobilität andere Anforderungen an das Antriebssystem und ist deshalb technologisch nur schwer mit elektrifizierten PKW-Fahrzeugkonzepten vergleichbar. Da diese beiden Projekte thematisch außerhalb des Forschungsschwerpunkts der STROMbegleitung liegen (siehe auch Fazit der Projektanalyse), werden die speziellen technologischen Lösungen nicht intensiver wissenschaftlich beforscht. Trotzdem sollen auch diese Projekte begleitet und z.B. zu den geplanten Workshops und Veranstaltungen eingeladen werden.

Mit diesem Überblick lässt sich festhalten, dass die STROM-Projekte sehr unterschiedlichen Forschungsfeldern im Bereich der Elektrofahrzeuge zuzuordnen sind. Eine Aussage über die Relevanz einzelner Technologien ist allein mit diesen Informationen schwer zu treffen. Aus diesem Grund wurden die Projekte einer genaueren Analyse unterzogen. Diese wird im Folgenden näher erläutert.

## **2.2 Datengrundlage und Vorgehensweise**

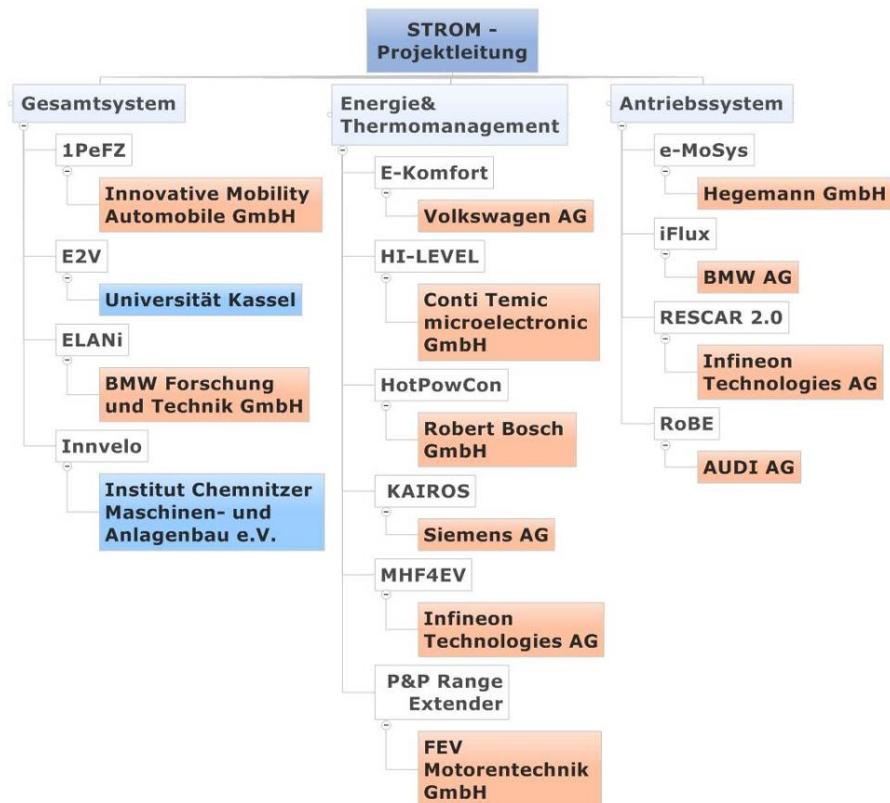
In einem ersten Schritt der Projektanalyse wurden die Projektpräsentationen der STROM-Kick-Off Veranstaltung herangezogen und z.T. ergänzende Informationen über Veröffentlichungen, Projektbeschreibungen oder Pressemitteilungen genutzt, um ein umfassendes Bild der Projektinhalte zu generieren. Der Detailgrad des verfügbaren Materials war allerdings sehr unterschiedlich, so dass technische Details zu beforschten Technologien beispielsweise im Projekt HI-Level einfacher zu identifizieren waren als im Projekt E-Komfort. Die gewonnenen Informationen über die einzelnen Projekte wurden strukturiert, in eine Datenbank übertragen und kontinuierlich ergänzt, sobald weitere Informationen gesichtet werden konnten.

In einem weiteren Schritt wurden Gespräche mit den Projektleitern gesucht, um das Verständnis für die jeweiligen Projektinhalte wo nötig zu vertiefen und die beforschten Schlüsseltechnologien eindeutiger benennen zu können. Hierzu sind leitfadengestützte Telefon-Interviews mit den Einzelprojekten vereinbart worden, die bei insgesamt 9 von 14 analysierten STROM-Projekten durchgeführt werden konnten. Der Interview-Leitfaden ist im Anhang in **Abbildung 11** dargestellt. Das Gespräch mit den Projektleitern wurde darüber hinaus genutzt, um das Konzept der STROMbegleitung näher zu erläutern und auf die geplanten Workshops aufmerksam zu machen.

## **2.3 Struktureller Rahmen der Projekte**

Die jeweilige Projektleitung obliegt mehrheitlich OEMs in den Projekten ELANi, E-Komfort, iFlux und RoBE oder Zulieferern der Automobilindustrie in den Projekten 1PeFZ, HI-Level, HowPowCon, KAIROS, MHF4EV, P&P Range Extender, e-MoSys und RESCAR 2.0. Ausnahmen stellen die Projekte E2V und Go Innvelo dar, bei denen eine Universität bzw. ein Forschungsinstitut das Konsortium leitet. **Abbildung 1** zeigt eine Übersicht, welche Institutionen als Projektleiter in den einzelnen STROM-Projekten fungieren.





**Abbildung 1:** Leitung der STROM-Projekte

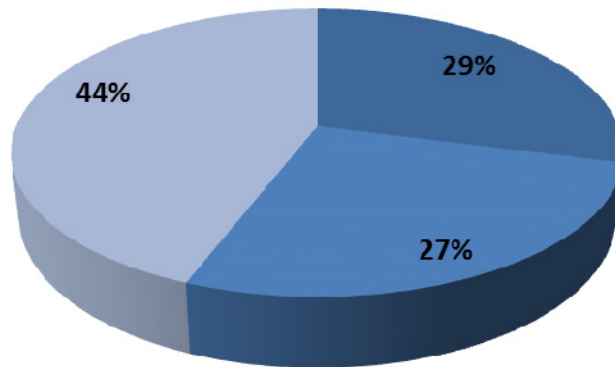
Insgesamt sind von 27 Unternehmen und Instituten der Konsortien im Bereich „Gesamtsystem“ fünf nicht-industrielle Partner. Im Bereich „Energie- und Thermomanagement“ sind es acht von insgesamt 32 Partnern und im Bereich „Antriebssysteme“ drei von 25 Partnern. Es ist jedoch in jedem Konsortium mindestens eine Forschungseinrichtung vertreten.

Im Anhang (**Abbildung 10**) sind die Laufzeiten der Projekte in einer Tabelle gegenüber gestellt. Die STROM-Projekte laufen alle parallel im Zeitraum Oktober 2011 bis August 2013. Die STROMbegleitung wird diesen Zeitraum zur Planung und Durchführung der Workshops und der Regionalstudien nutzen, um (Zwischen-)Ergebnisse und relevante Informationen aus den begleitenden Analysen rückzuspiegeln und möglichst allen STROM-Einzelprojekten zur Verfügung zu stellen.

Das Gesamtfördervolumen des STROM-Förderprogramms im Referat 523 beläuft sich auf 85 Mio. € (Stand Dezember 2011). Zur Veranschaulichung wurde die Summe auf die drei Forschungsbereiche umgelegt:



■ Gesamtsystem ■ Energie-/Thermomanagement ■ Antriebssystem



**Abbildung 2:** Verteilung der Fördersumme auf die Forschungsbereiche

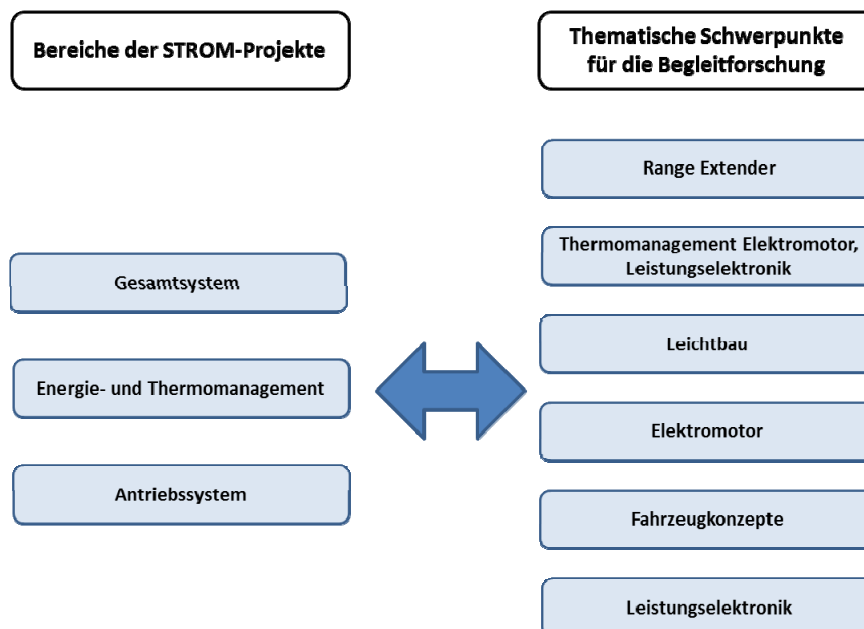
Es ist erkennbar, dass der Großteil der Fördermittel im Bereich Antriebssystem verortet ist (insgesamt 37,5 Mio. €) und sich der Restbetrag gleichmäßig auf die Bereiche Energie-/ Thermomanagement (22,8 Mio. €) und Gesamtsystem (24,7 Mio. €) verteilt. Bei Gegenüberstellung des jeweiligen Projektvolumens mit den drei Forschungsbereichen stellt sich heraus, dass das Thema Leistungselektronik in vielen Projekten eine wichtige Rolle spielt und dementsprechend stark monetär gefördert wird. Materialforschung, Antriebssysteme und das Thermomanagement scheinen insgesamt weniger aber untereinander ähnlich intensiv gefördert zu werden.



### 3 Ergebnisse der Projektanalyse

#### 3.1 Thematische Schwerpunkte der Projekte

Ein wesentliches Ziel der Projektanalyse war es, die STROM-Projekte thematisch in der Weise zu strukturieren, dass eine sinnvolle und effiziente Begleitung durch das Technologie-Monitoring ermöglicht wird. Aufbauend auf der Analyse der individuellen Inhalte, Ziele und Forschungsschwerpunkte der Einzelprojekte wurden deshalb die thematischen Schwerpunkte in den drei Bereichen „Gesamtsystem“, „Energie und Thermomanagement“ sowie „Antriebssystem“ identifiziert. Teilweise beforschen einzelne Projekte mehrere Schwerpunkte, so thematisiert beispielsweise das Projekt ELANi Technologien im Bereich Fahrzeugkonzepte, Elektromotoren, Leistungselektronik und Leichtbau. **Abbildung 3** stellt die thematischen Schwerpunkte der STROM-Projekte grafisch dar.



**Abbildung 3:** Thematische Schwerpunkte der STROM-Projekte

#### 3.2 Technologie-Cluster und Suchfelder

##### Technologie-Cluster

Insgesamt bilden nun 6 thematische Bereiche das komplette Spektrum der Schlüsseltechnologien in den STROM-Projekten – mit Ausnahme des Batteriesystems – ab.<sup>2</sup> Diese Bereiche werden im Weiteren als „Technologie-Cluster“ bezeichnet und definieren sowohl die generellen inhaltlichen Stoßrichtungen als auch die Leitplanken, innerhalb derer das Technologie-Monitoring durchgeführt wird. Die STROMbegleitung plant für jeden Cluster u.a. Analysen zu übergeordneten technologischen und marktlichen Trends sowie regional differenzierten Förderbedingungen zu generieren.

<sup>2</sup> Das Batteriesystem als weitere Schlüsseltechnologie wird von der Begleitforschung „EMOTOR“ behandelt.



## Suchfelder

Tiefergehend werden innerhalb jedes Clusters einzelne Schlüsseltechnologien im Detail betrachtet. Hierfür sind v.a. diejenigen technologischen Lösungsansätze relevant, für die im Rahmen der STROM-Einzelprojekte konkrete Entwicklungsziele definiert oder die vom DLR und den Interviewpartnern zusätzlich als relevant erachtet wurden. Sie werden im Folgenden als „Suchfelder“ bezeichnet. Auszugsweise sind einige Cluster und dazugehörige Suchfelder in dem im Anhang abgebildeten STROM-Technologie-Radar dargestellt (**Abbildung 9**). Ziel der STROMbegleitung ist es, für jedes Suchfeld und die dazugehörige Schlüsseltechnologie Informationen zum Stand der Technik, zum Entwicklungspotenzial, zu technologischen Herausforderungen, Grenzen und Hürden sowie wesentlichen globalen Akteuren und Förderstrategien zu gewinnen. Hierfür werden unter anderem detaillierte Patent- und Publikationsanalysen sowie Experten-Interviews und Workshops durchgeführt.

Die Aufteilung in übergeordnete Cluster und untergeordnete Suchfelder ermöglicht es der STROMbegleitung insgesamt, die z.T. stark heterogenen Projektziele strukturiert und effizient zu beforschen. So können Informationen zu technologischen Entwicklungen und Trends generiert werden, die sowohl den Interessen des Fördergebers als auch den einzelnen STROM-Projekten gerecht werden.

Im Rahmen der durchgeführten Telefon-Interviews wurden die vom DLR aus der Projektanalyse abgeleiteten Cluster und Suchfelder gezielt zur Diskussion gestellt, um so die Richtigkeit und Vollständigkeit der Analysen zu validieren. Auch Konzepte, die nicht direktes Ziel einer konkreten Technologieentwicklung im Rahmen der STROM-Einzelprojekte sind, jedoch als konkurrierende technologische Lösungen mit hohem Innovationsgehalt identifiziert wurden, kamen zur Diskussion. Diese sind vom DLR und den Interviewpartnern zum großen Teil für eine vergleichende Analyse technologischer Potenziale als relevant bewertet worden, so dass sie ebenfalls – jedoch gegebenenfalls mit geringerem Detailgrad – im Rahmen des Monitorings betrachtet werden sollen.

Die einzelnen Suchfelder innerhalb der 6 Technologie-Cluster werden nachfolgend aufgezählt. Kursiv gekennzeichnet sind diejenigen Felder, die sich aus der Diskussion ergaben und über die eigentlichen Projektziele hinausgehen bzw. diese ergänzen.

- **Fahrzeugkonzepte**
  - Antriebsstrang-Architektur, Crashesicherheit
  - *Conversion Design & Purpose Design, (Teil-) Autonomes Fahren, „Connectivity“ & „Car-to-X-Communication“*
- **Range Extender**
  - 3-Zylinder Reihenmotor, 2-Zylinder Reihenmotor, 1-Zylinder Motor, 2-Zylinder Boxermotor, 2-Zylinder V-Motor, Wankelmotor, Brennstoffzelle
  - *Freikolbenlineargenerator, Mikrogasturbine, Hüttlin-Kugelmotor*
- **Elektromotoren**
  - Gleichstrommotor, Asynchronmotor, Synchronmotor, Transversalflussmaschine, Material Rotor & Stator, Einsatz Permanentmagnete
  - *Reluktanzmotor, Außenläufermotor*
- **Leistungselektronik**
  - Halbleiter, Hochstromleiterplatten, Wandler, Aufbau- und Verbindungstechnik, Bonds, Keramikplatinen, Diffusionspasten



- **Leichtbau**
  - Materialien (Stahl, Aluminium, Magnesium, Kunststoff, Faserverstärkter Kunststoff), Beschichtungen, Bauweisen (Spaceframe, Strangpressprofil, Rahmenstruktur)
- **Thermomanagement**
  - Zeolithkühlung, Flächenheatpipes, GraviThermRail, Luftkühlung, Wasserkühlung

### Zusammenfassung

Insgesamt befassen sich 9 von 15 Projekten mit der direkten Entwicklung oder Beforschung eines Teilaspekts des **Clusters Fahrzeugkonzepte**. Insbesondere relevant ist hierbei die Antriebsstrang-Architektur<sup>3</sup> von hybrid- und vollelektrischen Fahrzeugen, aber auch das Design (Conversion/ Purpose Design) und die Crashesicherheit sind beforschte Suchfelder.

Ein Projekt befasst sich mit der Bewertung und ggfs. Entwicklung verschiedener **Range Extender** Technologien wie z.B. 2-Zylinder Verbrennungskraftmaschinen oder Wankelmotoren.

Fünf Projekte haben die Beforschung von Technologien im **Cluster Elektromotoren** zum Ziel. Mehrheitlich ist hierfür die Synchronmaschine im Fokus der Forschung, aber auch Technologien wie die Transversalflussmaschine oder der Einsatz neuer Materialien für Rotor und Stator werden beforscht.

Neun von 15 Projekten forschen im **Cluster Leistungselektronik**. Insbesondere Entwicklungen in den Suchfeldern „Halbleiter“ und „Wandler“ sind Ziel einzelner Projekte. Weitere Suchfelder umfassen beispielsweise das Thema „Aufbau- und Verbindungstechnik“, „Bonds“ sowie „Hochstromleiterplatten“.

Fünf Projekte befassen sich mit dem **Leichtbau**. Schlüsseltechnologien hier sind v.a. der Einsatz neuartiger Materialien (z.B. Aluminium, Magnesium, Kunststoff) und Bauweisen.

Weitere fünf Projekte thematisieren Aspekte im **Cluster Thermomanagement** für Elektromotor und Leistungselektronik. Hierzu zählen beispielsweise die Zeolithkühlung, Flächenheatpipes sowie neue Lösungen für die Luft- und Flüssigkeits-basierte Kühlung von Komponenten.

### 3.3 Schlüsselparameter

Damit eine objektive, quantifizierbare und vergleichende Bewertung der einzelnen Schlüsseltechnologien stattfinden kann, müssen technologische (Leistungs-)Parameter definiert werden, anhand derer sowohl der aktuellen Stand als auch Grenzen und Entwicklungspotenziale aufgezeigt werden können. Diese sind vom DLR auf Basis von Literaturrecherchen und Experteninterviews vordefiniert und im Rahmen der Telefon-Interviews mit den STROM-Projektleitern gezielt zur Diskussion gestellt worden, um so die Richtigkeit und Vollständigkeit der Analysen zu gewährleisten und Präferenzen abzubilden.

Die einzelnen Parameter werden im Laufe des Monitorings nicht nur genutzt, um den aktuellen Entwicklungsstand relevanter Technologien abzubilden, sie dienen gleichzeitig auch als Inputgrößen bei den geplanten Patent- und Publikationsrecherchen.

Auf eine enumerative Aufzählung der einzelnen Parameter wird auf Grund der Vielzahl an dieser Stelle verzichtet. Jedoch sind in **Abbildung 4** und **Abbildung 5** einige Beispiele in den Bereichen „Fahrzeugkonzepte“ sowie „Elektromotoren“ und „Leistungselektronik“ aufgezeigt. Blau eingefärbte

---

<sup>3</sup> Die Antriebsstrang-Architektur ist definiert durch die individuelle Auslegung, den Aufbau, die Positionierung und das Zusammenspiel relevanter, zum Vortrieb des Fahrzeugs notwendiger Technologien (z.B. Verbrennungsmotor, Range Extender, E-Maschine, Generator, Batterie, Getriebe).

Punkte kennzeichnen diejenigen Parameter, die zusätzlich von den STROM-Projektleitern vorgeschlagen und während der Telefon-Interviews diskutiert wurden. Diese sollen im Rahmen des Technologie-Monitorings nach Möglichkeit aufgegriffen und ebenfalls berücksichtigt werden.

**Schlüsselparameter Fahrzeugkonzepte**

	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>
	<b>1PeFZ</b>	<b>E2V</b>	<b>ELANi</b>	<b>go-Innvelo</b>
<b>Fahrzeugkonzepte:</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
Wirkungsgrad	x			x
Bauraum	x			x
Gewicht				x
Anzahl Komponenten	(x)			
Komplexität Komponenten	(x)			
Anordnung Komponenten	(x)			x
Herstellkosten	x			x
<i>Crashsicherheit NCAP</i>	x			
<i>Ergonomie</i>	x			
<i>Alltagstauglichkeit</i>	x			
<i>Kompaktheit</i>		x		
<i>Wendigkeit</i>		x		
<i>Temperatur der Fahrgastzelle</i>				
<i>Batteriegröße</i>				x
<i>Nutzerfreundlichkeit</i>				

**Abbildung 4:** Projektanalyse – Parameter "Fahrzeugkonzepte" (Auszug)

Insbesondere der Wirkungsgrad des Fahrzeugkonzepts wurde als herausragend relevanter Parameter und übergeordnetes Ziel der Forschungen definiert, v.a. bei den Projekten 1PeFZ und Go Innvelo. Er bestimmt letztendlich den zur Fortbewegung des Fahrzeugs notwendigen Energieeinsatz und damit auch den Verbrauch. Weitere Präferenzen liegen auf der Verbesserung der Parameter Bauraum und Gewicht, auch die Herstellkosten werden in die Definition der Projektziele einbezogen. Anzahl, Komplexität und Anordnung der Komponenten werden erfasst, um die Antriebsstrang-Architektur umfassend abzubilden und vergleichend zu bewerten.

Die blau eingefärbten Vorschläge der Projektleiter zur Definition von Parametern wie z.B. „Ergonomie“, „Alltagstauglichkeit“ sowie „Nutzerfreundlichkeit“ sind zur optimalen Befriedigung bestehender Kundenbedürfnisse zwar relevant, für eine objektive und vergleichende Bewertung im Rahmen des Technologie-Monitorings jedoch weniger geeignet. Diese Aspekte sollen trotzdem im Arbeitspaket 3 „Regionale Übersicht zum Monitoring der Elektromobilitätsarena“ (Regionalstudien) aufgenommen und im internationalen Kontext diskutiert werden.



## Schlüsselparameter Elektromotoren und Leistungselektronik

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
	1PeFZ	EZV	ELANi	go-Innvelo	E-Komfort	HI-LEVEL	HotPowCon	KAIROS	MHF4EV	P&P Range Extender
<b>Elektromotor:</b>	x	x	x	x						
Wirkungsgrad	x									
Leistungsgewicht	x									
Herstellkosten	x			x						
Skalierbarkeit	x			x						
Bauraum/ Packaging	x									
Noise Vibration Harshness	x									
Regel-/ Steuerbarkeit	x									
Zuverlässigkeit	x			x						
Lebensdauer	x									
Überlastbarkeit	x									
Überlastungsschutz thermisch	x			x						
<b>Leistungselektronik:</b>		x	x			x	x	x	x	
Wirkungsgrad						x		x		
Bauraum/ Packaging								x		
Integrationsdichte								x		
Gewicht								x		
Volumen						x		x		
Temperatur (Entwärmung, Temperaturwechselbeständigkeit: Ausdehnungskoeffizient)								x		
Spannung						x				
Skalierbarkeit						x				
Herstellkosten								x		
Robustheit (Temperatur, Spannung, Schwingung, Feuchtigkeit)						x				
Leistungsdichte (Wandler)						x		x		
Topologie (Wandler)								x		
Schaltfrequenz (Wandler)								x		
Taktfrequenz (Wandler)								x		
Regel-/ Steuerbarkeit (Wandler)								x		
Lebensdauer (Wandler)						x		x		

Abbildung 5: Projektanalyse – Parameter "Elektromotor" und "Leistungselektronik" (Auszug)

Bei den Elektromotoren wurden alle vom DLR vordefinierten Parameter als relevant erachtet. Hohe Priorität hat hier ebenfalls der Wirkungsgrad der E-Maschine, aber auch das Leistungsgewicht, die Herstellkosten, Skalierbarkeit und Zuverlässigkeit sind Ziel technologischer Entwicklungen im Rahmen der STROM-Einzelprojekte. Bei der Leistungselektronik war aufgrund der heterogenen Forschungsziele eine Priorisierung der Parameter schwierig. Auch hier ist die Verminderung von Wirkungsgradverlusten Ziel einzelner Projekte (z.B. HI-Level und KAIROS). Wichtige Hinweise bekam die STROMbegleitung zu Möglichkeiten der Bewertung der Parameter „Temperatur“ und „Robustheit“.

### Zusammenfassung

Auf Basis der zum jetzigen Zeitpunkt generierten Informationen sind sowohl die Technologie-Cluster, die Suchfelder als auch die zur Technologiebewertung notwendigen Parameter in vollständigem Umfang definiert. Jedoch sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass das Technologie-Monitoring über die gesamte Projektlaufzeit flexibel gehandhabt werden soll, so dass auch neuartige Entwicklungen und Erkenntnisse in die Bewertung aufgenommen werden und Anpassungen des Recherche-Rasters stattfinden können. Die Definition sowohl von Suchfeldern als auch Schlüsselparametern kann somit im Laufe der Forschung – in enger Abstimmung mit den STROM-Einzelprojekten – noch angepasst werden.

### 3.4 Fahrzeugkonzepte

Der Cluster „Fahrzeugkonzepte“ nimmt im Rahmen der Forschungen aufgrund des systemischen, übergeordneten Charakters eine Sonderstellung ein. So münden letztlich alle technologischen Entwicklungen in den Bereichen Elektromotor, Range Extender, Leistungselektronik, Leichtbau und Thermomanagement in Veränderungen des gesamten Fahrzeugkonzepts. Die STROMbegleitung trägt dem dadurch Rechnung, dass nicht nur aktuelle und zukünftige Technologieentwicklungen erfasst sowie technologieorientierte Trendanalysen durchgeführt, sondern auch vergangene und aktuelle marktliche



Entwicklungen sowie zukünftige Markttrends identifiziert und abgeleitet werden. In späteren Arbeitspaketen sind zudem die Auswirkungen technologischer Entwicklungen einzelner Komponenten auf das Gesamtfahrzeug zu simulieren und abzubilden.

Zur Bearbeitung des Clusters „Fahrzeugkonzepte“ wird vom DLR Institut für Fahrzeugkonzepte eine umfangreiche Fahrzeugkonzept-Datenbank entwickelt. Diese fokussiert sowohl auf die Technologien und Komponenten, die im Rahmen der STROM-Projekte beforscht werden, als auch auf weitere, marktliche Entwicklungen. Das Ziel besteht darin, alle alternativen, elektrifizierten Studien, Prototypen, Konzept-, Vorserien- und Serienfahrzeuge ab dem Jahr 2001 in der Datenbank anhand definierter Indikatoren zu erfassen, abzubilden und zu quantifizieren.

Statistische Auswertungen der erfassten Informationen sollen letztlich Aussagen sowohl zu generellen Markttrends elektrifizierter Fahrzeugkonzepte in unterschiedlichen Weltregionen als auch zu speziellen technologischen Trends, die auf die o.g. Technologie-Cluster fokussieren und zusätzliche auch das Technologiefeld „Batterie“ umfassen, liefern.

Obwohl das Batteriesystem nicht von der STROMbegleitung sondern von EMOTOR beforscht wird, soll auf Grund der Relevanz der Batterie für das elektrifizierte Gesamtfahrzeugkonzept und mögliche Trenddarstellungen auch diese in die Betrachtung mit einbezogen werden. Die STROMbegleitung strebt dabei an diese Schnittstelle zur zweiten Begleitforschung aktiv zu nutzen, um einen kontinuierlichen Austausch der Begleitforschungen zu ermöglichen.

Beispielhaft sind in **Abbildung 6** und **Abbildung 7** einige marktliche und technologieorientierte Indikatoren der Fahrzeugkonzept-Datenbank abgebildet.





STROM - Fahrzeugkonzept-Datenbank		
Stand: 21.03.2012		
		
Indikatoren		
Fahrzeugdaten allgemein		
Hersteller	Mitsubishi	
Bezeichnung	I-EV	
Jahr	2007	
Messe	IAA	
Fahrzeugsegment	x	
Mini (<3000mm)		
Klein (<3700mm)	x	
Kompakt (<4200mm)		
Mittel (<4500mm)		
Groß (<4800mm)		
Luxus (>4800mm)		
Weltregion	x	
Alle	x	
Europa		
Amerika		
Asien mit Japan/ China		
Indien mit Rest of World		
Fahrzeugaufbau	x	
Limousine	x	
Cabrio		
Coupe		
Kombi		
Nutzungskonzept	x	
Conversion Design		
Purpose Design	x	
City	x	
Autobahn		
All-Zweck		
Gelände		
Hybrid-Architektur		
parallel		
seriell		
kombiniert		
Elektrifizierung	x	
Micro-Hybrid		
Mild-Hybrid		
Voll-Hybrid		
Plug-In-Hybrid		
Range-extended Electric Vehicle		
Battery Electric Vehicle	x	
Entwicklungsstatus	x	
Konzept	x	
Prototyp		
Mock-Up		
Vorserie		
Serie		
Zielgruppe		
Markteinführung (geplant)		
Alle		
Europa	2010	
Amerika		
Asien mit Japan/ China	2009	
Indien mit Rest of World		
Zielkosten (EUR)	35.000	
Quelle	Sprint 01/2008	
Fahrzeugdaten technisch		
Systemleistung (kW)	47	
Höchstgeschwindigkeit (km/h)	130	
Beschleunigung 0-50 (s)	4,5	
Beschleunigung 0-100 (s)	<13	
Leergewicht (kg)	1080	
Anzahl Sitzplätze	4	
Anzahl Türen	4	
Maße (mm)	x	
Länge	3.395	
Breite	1.475	
Höhe	1.600	
Kofferraum (l)	150 + 405	
Tankinhalt (l)	-	

Abbildung 6: Fahrzeugkonzept-Datenbank – Marktliche Indikatoren (Auszug)

Technologische Indikatoren		
Range Extender		
Technologie	-	
3-Zylinder Reihe	-	
2-Zylinder Reihe	-	
1-Zylinder	-	
2-Zylinder Boxer	-	
2-Zylinder V	-	
Wankelmotor	-	
Brennstoffzelle	-	
Mikrogastrurbine	-	
Lineargenerator	-	
E-Motor		
Bauart E-Motor	x	
Gleichstrommotor		
Synchronmotor	x	
Asynchronmotor		
Reluktanzmotor		
Einbauort E-Motor	x	
Zentralmotor	x	
Achsmotor		
Radnabenmotor		
Anzahl E-Motoren	1	
Leistung (kW)	x	
Nennleistung	47	
Öko-Modus	32	
Drehmoment (Nm)	180	
Gewicht (kg)		
Batterie		
Technologie Batterie	x	
Lithium-Ionen	x	
Lithium-Eisen-Phosphat		
Lithium-Schwefel		
Nickel-Metall		
Zink-Luft		
Einbauort Batterie	x	
Kofferraum		
Unterboden	x	
Mittelstrang		
Verteilt		
Anzahl Zellen	88	
Spezifische Leistung (kWh)	16 + 20	
Energiedichte (Wh/kg)		
Leistungsdichte (W/kg)		
Kapazität (Ah)		
Spannung (V)	330	
Haltbarkeit		
Ladezyklen		
Ladegerät Spannung (V)	220	
Ladegerät Leistung (kW)	50	
Ladezeit (h)	x	
Normal	7	
Schnellladung	0,5	
Gewicht (kg)	200	
Leistungselektronik		
Gleichrichter		
Gleichrichter Schaltungsarchitektur		
Einwegschaltung		
Brückenschaltung		
Mittelpunktschaltung		
Wechselrichter		
Wechselrichter Schaltungsarchitektur		
Einphasenschaltung		
Zweiphasenschaltung		
Dreiphasenschaltung		
Spannung		
Leichtbau		
Materialien	x	
Stahl		
Aluminium	x	
Magnesium		
FKK		
Crashsicherheit (stars out of 5)	4	
Frontal impact (points)	9,9	
Side impact car (points)	7	
Side impact pole (points)	6	
Rear impact (whiplash) (points)	3,3	
Struktur	x	
Integralbauweise		
Differentialbauweise		

Abbildung 7: Fahrzeugkonzept-Datenbank – Technologische Indikatoren (Auszug)



### 3.5 Ergänzende Informationen zu den Projekten

Neben den Ergebnissen zu den Technologie-Clustern sollten mit der Projektanalyse noch einige zusätzliche Fragen beantwortet werden:

- Wer wird als Zielgruppe der Forschung verstanden?
- Wird eine Normierung oder Standardisierung der Ergebnisse angestrebt?
- Worin besteht besonderes Interesse, wenn es um den internationalen Vergleich von Forschung und Entwicklung geht?

Diese Fragen wurden während der telefonischen Interviews mit den STROM-Projektleitern gestellt. Auf die Antworten wird im Folgenden näher eingegangen.

#### 3.5.1 Zielgruppen

Für die Technologien der STROM-Projekte konnten 4 verschiedene Zielgruppen bzw. -nutzer ermittelt werden: Tier-1 und Tier-2 Zulieferer, OEMs und der Endanwender. Als Endanwender wurden potenzielle private oder dienstliche Nutzer von Fahrzeugen verstanden. Bei etwa der Hälfte der interviewten Projekte kann davon ausgegangen werden, dass zum Ende des STROM-Programms Fahrzeugkonzepte mit fortgeschrittenem Entwicklungsstatus bereit stehen. In den übrigen Projekten wird überwiegend an Einzelkomponenten für Fahrzeugkonzepte geforscht, um so z.B. eine Steigerung des Wirkungsgrads zu erreichen. **Abbildung 8** zeigt die Zuordnung der Projekte zu den einzelnen Zielgruppen.



**Abbildung 8:** Zielgruppen der STROM-Forschung

#### 3.5.2 Normierung, Standardisierung und Patentierung

Von neun interviewten Projekten gaben sieben an, eine Normierung oder Patentanmeldung der Forschungsergebnisse anzustreben. Dies war insbesondere auf Grund des hohen Innovationspotentials der STROM-Forschungen zu erwarten. Allerdings wurde häufig darauf hingewiesen, dass die Patentierbarkeit stark vom Endergebnis oder dem Entwicklungsstand abhängt, der am Ende erreicht wird. Davor gilt es zu



prüfen, ob das Konzept die aktuellen Standards (z.B. zur Straßenzulassung) erfüllt. Wenn eine Normierung als Ziel genannt wurde, stand dies im Zusammenhang mit einer daraus resultierenden Kostenreduktion für die Hersteller. In einigen Interviews stellte sich heraus, dass sich Projektteilnehmer bereits in sogenannten Normierungskreisen (Zusammenschlüsse von Zulieferern und OEMs, insbesondere der Leistungselektronik) engagieren, um gemeinsame Standards für zukünftige Entwicklungen festzulegen.

Das STROM-Projekt 1PeFZ, gab beispielsweise als Ziel an, das entwickelte Fahrzeugkonzept den Anforderungen der EG-Fahrzeugklasse „L7e“ für leichte Elektrofahrzeuge (Leermasse  $\leq 400$  kg ohne Batterie, max. Nutzleistung 15 kW) entsprechen zu lassen. Als ein wesentliches Ziel wurde von den Projekten VisioM, Innvelo und 1PeFZ die Einhaltung von Standards zur Crashesicherheit (Anforderungen des Euro NCAP) im Bereich Leichtbau genannt.

### **3.5.3 Internationaler Vergleich von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten**

Wenige STROM-Projektleiter konnten eine konkrete Weltregion nennen, die aus ihrer Sicht für das Monitoring besonders interessant sein könnte. Die am häufigsten genannten Regionen mit hohem Entwicklungspotenzial im Bereich Elektromobilität waren China, Korea und Japan. Aus diesen Regionen gäbe es allerdings wenig bis keine Informationen zu Einzeltechnologien bzw. zum aktuellen Entwicklungsstand der Konzepte. Besonders relevant wäre es aus Sicht der Projektleiter zu erfahren, wie nahe am Markt bzw. wie alltagstauglich die dort erarbeiteten Fahrzeugkonzepte sind. Daraus leitet sich auch die Frage ab, ob ausländische Konzepte europäische Standards erfüllen können und dadurch überhaupt vergleichbare Entwicklungen darstellen.

Damit eine vergleichende Bewertung von Fahrzeugkonzepten im globalen Umfeld stattfinden kann, zieht die STROMbegleitung deshalb objektive, quantifizierbare Indikatoren heran.

Beispielhaft werden im Folgenden weitere Themenkomplexe genannt, die von den STROM-Projektleitern im Rahmen des internationalen Vergleichs von F&E-Aktivitäten als besonderes relevant erachtet wurden.

#### **Marktwahrscheinlichkeit**

Es wurde darauf hingewiesen, dass zwar auf Messen vorgestellte Fahrzeugkonzepte z.T. bekannt sind, es jedoch keine weiterführenden Informationen über die Alltagstauglichkeit (Reichweite, Leistung, Akzeptanz) gibt. Dabei spielt es eine wichtige Rolle, ob es sich um reine Forschungsfahrzeuge, Prototypen im Vorserienstatus oder bereits marktreife Produkte handelt. Ein verworfenes Konzept könnte Hinweise darüber liefern, auf was man bei der zielführenden Entwicklung achten muss.

Die STROMbegleitung greift diese Hinweise auf und wird im Rahmen der Fahrzeugkonzept-Datenbank deshalb auch den Entwicklungsstand der einzelnen Fahrzeugkonzepte erfassen.

#### **Konzepte zum Gesamtsystem**

Geplante oder einsatzbereite Elektrofahrzeuge, welche z.B. in den öffentlichen Verkehr integriert werden, könnten zum Vergleich interessant sein. Die Projekte E2V und Go Innvelo befassen sich mit diesem Ansatz für zwei deutsche Städte. Daran schließt die Frage an, für welchen Bereich sich Elektrofahrzeuge einsetzen lassen und ob sich daraus für STROM-Entwicklungen neue Zielgruppen definieren lassen. Relevante Informationen zur Bewertung der Systeme wären dann beispielsweise Leistung, Stückzahlen oder Fahrgastraum der Fahrzeuge.

Auch Informationen zu geplanten oder möglichen Zielgruppen in Verbindung mit dem Aufbau des Fahrzeugs (Sitzplätze, Anzahl Türen, etc.) werden deshalb in der Fahrzeugkonzept-Datenbank, falls möglich, erfasst. Ebenso sollen Informationen zu geplanten Stückzahlen generiert und abgebildet werden.

#### **Verfahren zur Herstellung und Recycling von Materialien**



Insbesondere Materialforschern im Bereich Leichtbau oder Leistungselektronik stellt sich die Frage nach Verfahren zur Herstellung von robusten Bauteilen unter Verwendung von unterschiedlichen Materialkombinationen. Eine Herausforderung ist hierbei die Erfüllung der Crashesicherheit der Fahrzeuge, die Temperaturbeständigkeit der Elektronikbauteile und Definition möglicher End-of-Life Konzepte, z.B. über Recycling. Einige Projekte aus Europa konnten zu diesen Themen genannt werden, weltweite Forschungsergebnisse waren nicht bekannt.

Die STROMbegleitung erfasst den Stand der Technik und das Entwicklungspotenzial unterschiedlicher Materialien im Leichtbau sowie im Bereich Leistungselektronik (Halbleiter). „Robustheit“ wurde als Schlüsselparameter definiert und soll im Rahmen der Analysen quantifiziert werden. Die Betrachtung unterschiedlicher Recycling-Konzepte ist integraler Bestandteil der vom Wuppertal Institut geplanten Ökobilanzierungen.

### **Synergieeffekte und Schnittstellen**

Die Vernetzung von OEMs, Zulieferern und Forschungsinstituten zur technologischen Weiterentwicklung von Elektrofahrzeugen wird in Deutschland mit öffentlichen Förderprogrammen eingeleitet und zielorientiert unterstützt. Von den Projektleitern angeregt wurde die Untersuchung ergänzender Formen der Vernetzung, so z.B. zwischen Nur-Industrieunternehmen in speziellen Bereichen der Leistungselektronik oder zwischen Industrie und Forschung im Rahmen eines internationalen Vergleichs. Innovationen entstünden gerade aus dieser interdisziplinären Zusammenarbeit, wie ein Projektleiter hervorhob.

Analysen von Förderstrategien und -schwerpunkten im globalen Umfeld werden über die von der STROMbegleitung durchgeführten Regionalstudien abgedeckt. Hierbei sollen ebenfalls exemplarische Projekte mit Leuchtturmcharakter identifiziert und wenn möglich die Struktur von Projektverbänden aufgezeigt werden.

### **Standards für Neuentwicklungen**

Fehlende Information zu Standards für Elektrofahrzeuge macht aus Sicht der Projekte die Vergleichbarkeit der eigenen Forschungsarbeiten schwer. Es gäbe grundsätzlich wenig Felderfahrung mit Elektromobilität, auf welche man zurückgreifen könnte. Hersteller und Zulieferer in Deutschland müssten laut den Projektverantwortlichen hohe Anforderungen für die Zulassung ihrer Produkte erfüllen, was unter Umständen nicht für alle Weltregionen gilt. Großes Interesse besteht auch daran, ob Informationen über jeweilige Regelungen und Bestimmungen im europäischen und globalen Umfeld für Elektrofahrzeuge existieren, beispielsweise zum Thema Fahrersicherheit und Leistungsbereiche.

Auch diese Aspekte sollen in den Regionalstudien in Arbeitspaket 3 thematisiert werden.



## 4 Fazit der Projektanalyse

Grundsätzlich wurde erkannt, dass die Forschungsschwerpunkte der STROM-Projekte sehr unterschiedlich sind und das Konzept des Technologie-Monitorings individuell angepasst und flexibel gehandhabt werden muss, um wissenschaftlich fundierte Ergebnisse zu generieren. Die STROM-Einzelprojekte thematisieren sowohl Entwicklungen im Bereich Gesamtfahrzeugkonzepte als auch einzelner Fahrzeugkomponenten. Relevante Komponenten umfassen hierbei z.B. die Leistungselektronik, den Range Extender, das Thermomanagement und den Elektromotor. Beispielsweise werden aber auch Lösungen für die Regel- und Steuerbarkeit, die Klimatisierung, die Karosserie und die Fahrgastzelle beforscht. Diese Heterogenität erschwerte zunächst die sinnvolle Einordnung der Projekte nach ihren Schwerpunkten, auch weil einige Projekte nicht nur an einer sondern an mehreren Technologien forschen. Die STROMbegleitung konnte die Telefon-Interviews nutzen, um eine Priorisierung der Technologien im direkten Gespräch abzubilden. Diese Informationen wurden verwendet, um die wesentlichen Forschungsbereiche (Technologie-Cluster) zu identifizieren.

- ➔ Die STROM-Projekte haben überwiegend das Ziel, Technologien für ein energieeffizientes elektrifiziertes Gesamtfahrzeug zu entwickeln, das z.T. individuelle Nutzerbedürfnisse berücksichtigt. Die STROMbegleitung legt den **Fokus der Analysen zu elektrifizierten Fahrzeugkonzepten auf Konzepte für den Individualverkehr, die hohes Marktpotential** besitzen und klammert mittlere bis schwere Nutzfahrzeuge sowie Konzepte für den öffentlichen Personenverkehr aus der Betrachtung aus.
- ➔ Die erforschten Technologien der Projekte E-Komfort, SEB und VeloCité werden nicht mit der gleichen wissenschaftlichen Intensität beforscht, da sie außerhalb der Struktur des Technologie-Monitorings und des inhaltlichen Schwerpunkts der STROMbegleitung liegen. Sie sollen dennoch mit Informationen und Ergebnisse der Begleitforschung versorgt sowie zu den geplanten Veranstaltungen und Plattformen zum Experten-Austausch eingeladen werden.
- ➔ Für die Projekte e generation und e production liegen noch nicht ausreichend Informationen vor, um sie sinnvoll in das Monitoring-Konzept einzuordnen. Mit den Projekten wird der Kontakt gesucht, um ausreichend Material für eine detaillierte Analyse der beforschten Schlüsseltechnologien gewinnen zu können.

Die Ergebnisse der Projektanalyse bilden den Grundstein für die weiteren Arbeiten der STROMbegleitung. Sie schließen mit der Definition relevanter Technologie-Cluster, Suchfelder und Schlüsselparameter nahtlos an die Arbeitsschritte des Technologie-Monitorings an. Als nächster Schritt werden intensive Recherchen zu markt- und technologieorientierten Fahrzeugdetails durchgeführt, um die für STROM relevanten Informationen zu identifizieren und in der Fahrzeugkonzept-Datenbank abzubilden. Mit diesen Informationen können zurückliegende marktliche und technologische Entwicklungen abgebildet und Trenddarstellungen zur zukünftigen Fahrzeugentwicklung durchgeführt werden.

- ➔ Bezüglich der Forschungsansätze konnten zwei Projektkategorien identifiziert werden: Zum einen Projekte, die einen stark **technischen Fokus** haben und konkrete technologische Entwicklungsziele anstreben und zum anderen Projekte, deren Fokus auf der Umsetzung **innovativer Fahrzeugkonzepte** unter Verwendung bereits bestehender – möglicherweise individuell angepasster – Fahrzeugtechnologien und -komponenten liegt. Für die STROMbegleitung bedeutet dies, dass für Projekte der ersten Kategorie umfangreiche Rechercharbeiten durchgeführt werden, um eine präzise Bewertung der Technologien über Patent- und Publikationsanalysen durchführen zu können. Für die Projekte der zweiten Kategorie soll ein Vergleich mit international verfügbaren Fahrzeugkonzepten durchgeführt werden, um zu erfolgsversprechenden Technologien Stellung zu nehmen.
- ➔ Die STROMbegleitung setzt sich zum Ziel, neben den technologieorientierten auch **marktorientierte Analysen zu elektrifizierten Fahrzeugkonzepten** ab dem Jahr 2001 durchzuführen. Hierfür wird eine umfangreiche Datenbank zu Fahrzeugkonzepten mit über 75 Indikatoren entwi-



ckelt, anhand derer die Entwicklung und Verbreitung von Elektrofahrzeugen sowie verwendeter Komponenten abgebildet werden kann. Die Anzahl der Indikatoren kann sich im Laufe der Forschungsarbeiten noch ausweiten.

- Das Technologie-Monitoring soll Daten zum **Stand der Technik, zu technologischen Entwicklungstrends und Potenzialen** von insgesamt 38 einzelnen Konzepten und Technologien in 6 thematischen Clustern liefern. 8 Suchfelder werden mit geringerem Detailgrad der Analysen in die Forschung mit einbezogen.

Es besteht eine Vielzahl möglicher Anwendungsfelder für Elektrofahrzeuge und viele Nutzungsformen werden in den STROM-Projekten diskutiert. Die STROMbegleitung wird Regionalstudien durchführen, um Informationen zu zentralen Veranstaltungen, führenden Institutionen, bestehenden Förderbedingungen, Kunden und internationalen Märkten zu erfassen und möglicherweise neues Nutzungspotential aufzuzeigen. Für diesen Ansatz wird in fünf Ländern eine die jeweilige Weltregion repräsentierende Studie durchgeführt.

- Ergebnisse der Projektanalyse dienen der **internationalen Beforschung zum Potenzial der Technologien in STROM**. Es gilt festzustellen, inwieweit die Inhalte der STROM-Technologie-Cluster in anderen Ländern einen Forschungsschwerpunkt darstellen. Die internationalen Rechercheergebnisse werden mit den STROM-Inhalten gespiegelt und innovative Mobilitäts- oder Geschäftskonzepte verglichen. Die Intensität von Kooperationen zwischen der öffentlichen Hand, der Industrie und der Forschung können Auskunft über den Innovationsgrad im Bereich Elektromobilität geben.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der STROMbegleitung ist es, Workshops mit den STROM-Projekten des Referats 523 durchzuführen. Die Veranstaltungen sollen zum einen dem gegenseitigen Austausch der Einzel-Projekte und der STROMbegleitung sowie der Vernetzung der STROM-Teilnehmer dienen. Zum anderen will die Begleitforschung die Workshops nutzen, um Experten-Aussagen zu technologischen Potenzialen sowie Chancen und Herausforderungen der Technologie- und Fahrzeugkonzept-Entwicklung zu generieren. Hauptdiskussionspunkt des ersten STROM-Workshops bildeten deshalb die recherchierten STROM-Schlüsseltechnologien und deren Potenziale im Vergleich zu ähnlichen technologischen Lösungen.

- Das DLR und das Wuppertal Institut haben am 25.06.2012 am Institut für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart einen ersten Workshop mit dem Thema **„Monitoring der STROM-Technologien: Chancen und Herausforderung für Fahrzeugkonzepte von morgen“** durchgeführt. In den einzelnen Sessions wurden u.a. die beforschten Schlüsseltechnologien diskutiert. Die Workshop-Teilnehmer haben aus ihrer Perspektive Einschätzungen abgegeben, welches die wesentlichen technologischen Herausforderungen für die beforschten Schlüsseltechnologien sind und Empfehlungen für einen zukünftigen Fokus der Forschungen in den jeweiligen Technologie-Clustern diskutiert. In einer abschließenden Plenumsdiskussion wurden mögliche Auswirkungen der technologischen Entwicklung auf das Gesamtfahrzeugkonzept im Kontext der STROM-Projekte thematisiert.
- Die Workshopreihe der STROMbegleitung soll in den weiteren Veranstaltungen als **Kommunikations- und Austauschplattform** dienen, um die Projekte über globale Trends und Entwicklungen in der Fahrzeugkonzept-Forschung zu informieren. Mit der Begleitforschung zu Batterietechnologien (EMOTOR, BMBF Referat 511), durchgeführt vom Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, wurde ein kontinuierlicher Austausch zu den Schnittstellenthemen sowie gegenseitige Teilnahmen an den jeweiligen Veranstaltungen der Begleitforschungen vereinbart.



### III. Anhang

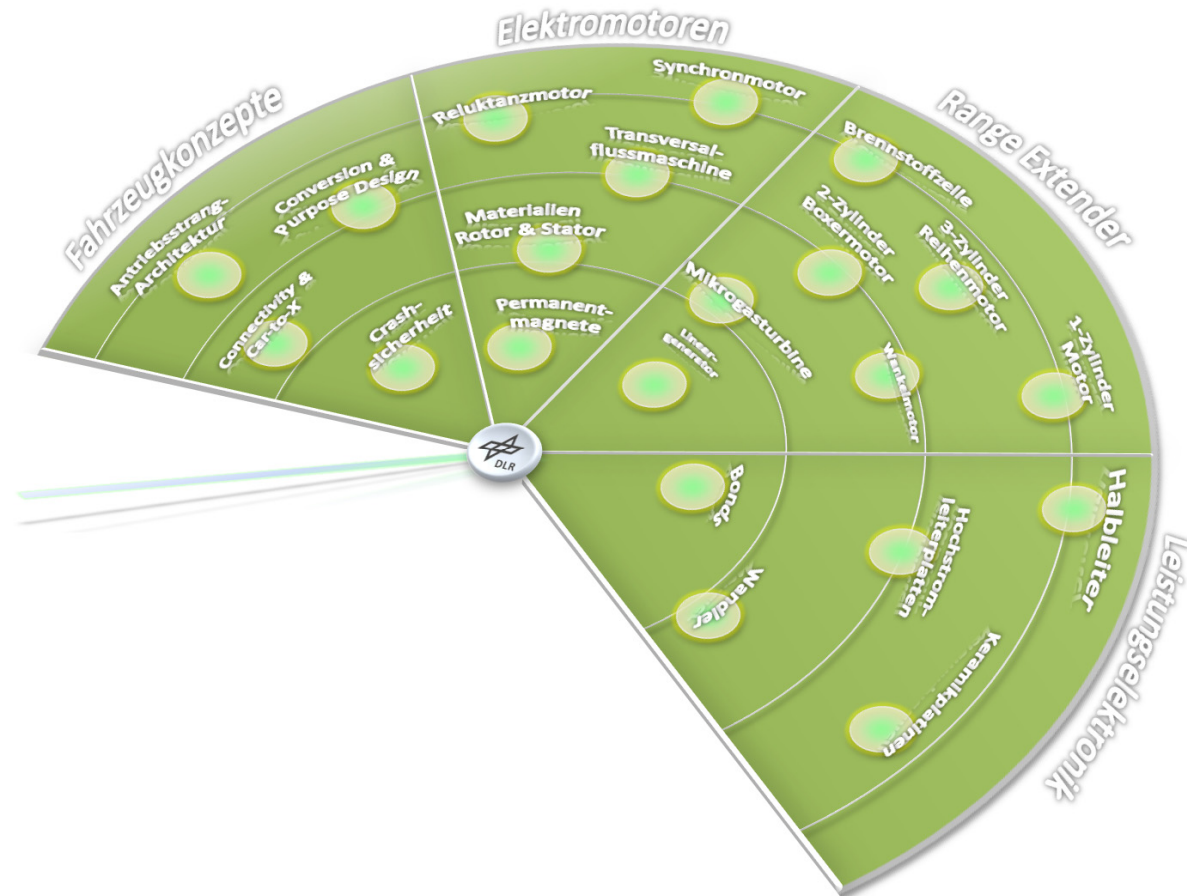


Abbildung 9: STROMbegleitung – Technologie-Radar (Illustration)<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Das Technologie-Radar dient der STROM-Begleitforschung im weiteren Projektverlauf als Erkennungszeichen. Es illustriert öffentlichkeitswirksam Ausschnitte der beforschten Technologie-Cluster und Suchfelder, dient jedoch nicht der inhaltlichen Detaillierung der Arbeiten.







1.	Wen verstehen Sie als Zielgruppe ihrer Forschung? (Endanwender, Hersteller, Dienstleistungsunternehmen etc.)
2.	Streben sie die Entwicklung eines serienreifen Produktes an?
3.	Wir haben die STROM-Projekte in 6 thematische Cluster eingeteilt: Fahrzeugkonzepte, Range Extender, Elektromotoren, Leistungselektronik, Leichtbau und Thermomanagement. Ihr Projekt haben wir dem Clustern <<xxx>> zugeteilt. Ist diese Zuordnung aus Ihrer Sicht passend?
4.	Für die STROM-Projekte haben wir die folgenden Schlüsseltechnologien erfasst: << Nennung der für das Projekt identifizierten Schlüsseltechnologien >> Sehen sie weitere Technologien, die nicht aufgezählt wurden aber deren Forschungs- & Entwicklungs-Ergebnisse für sie relevant sind?
6.	Welche Parameter (z.B. Wirkungsgrad, Leistungsdichte, Gewicht etc.) wollen Sie in ihrem Projekt konkret verbessern? Was ist das Ziel?
7.	Welche Methoden, Software oder Hardware wenden Sie für die Projektarbeit an (z.B. Demonstratoren, Entwicklung eines Herstellungsverfahrens, Befragungen etc.)?
8.	Wird die Normierung oder Standardisierung der Ergebnisse angestrebt? Patentanmeldung? In welchen Bereich?
9.	Worin besteht bei Ihnen besonderes Interesse wenn es um den internationalen Vergleich der F&E Anstrengungen geht?
10.	Wir haben im Voraus folgende Informationen über ihr Projekte erhalten: Präsentation des STROM-Kick-Offs, Steckbrief. Haben Sie weitere Informationsquellen, wo sich die Begleitforschung ein näheres Bild zu ihren Arbeiten machen könnte (z.B. AP-Beschreibung, Zeitplan)? Existieren öffentlich zugängliche Informationen zu Ihrem Projekt? (Website, Broschüre etc.)
11.	Planen Sie Teilergebnisse zu veröffentlichen? In welcher Form? Wie oft?
12.	Um die Inhalte der STROM-Begleitforschung zu optimieren und koordinieren, möchten wir Sie in diesem Jahr zu einem Workshop einladen. Ziel des (ersten) Workshops ist es, einen Austausch der STROM-Fachexperten untereinander zu ermöglichen, Fortschritte des Projekts zu kommunizieren, aber auch aktuelle technologische Engpässe und Herausforderungen zu beschreiben. Über Ihre Teilnahme an dem Workshop würde wir uns sehr freuen und Sie bitten, die Teilnahme eines Projektmitarbeiters an diese Veranstaltung miteinzuplanen (Termin wird noch bekannt gegeben).

**Abbildung 11:** Interview-Leitfaden Projektanalyse



## **STROM – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität**

Dokument zur internen Verwendung für die STROM-Projekte  
„Schlüsseltechnologien der Elektromobilität“ des BMBF

Arbeitspapier der STROMbegleitung  
**Ergebnisse der Forschungseise Nordamerika**

Matthias Klötzke<sup>1</sup>, Arne Höltl<sup>2</sup>, Stefan Trommer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK)  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

<sup>2</sup>DLR Institut für Verkehrsforschung (DLR-VF)  
Rutherfordstraße 2  
12489 Berlin

November 2013

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Durchführung der Reisen .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>5</b>
3.1	Erkenntnisse zu den Rahmenbedingung der Elektromobilität in Nordamerika.....	5
3.1.1	Rolle und Aufgaben der Regierung bei der Markteinführung .....	5
3.1.2	Fahrzeuge und Marktentwicklung.....	7
3.1.3	Geschäftsmodelle und Fahrzeugnutzung.....	7
3.1.4	Kaufanreize.....	9
3.1.5	Ladeinfrastruktur.....	10
3.1.6	Exkurs: Kalifornien .....	12
3.1.7	Exkurs: Kanada .....	13
3.2	Technologien .....	14
3.3	Erkenntnisse zu den Schlüsseltechnologien .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
3.3.1	Elektrische Maschinen .....	14
3.3.2	Leistungselektronik .....	15
3.3.3	Leichtbau .....	16
3.3.4	Fahrzeugkonzepte.....	16
3.3.5	Exkurs: Brennstoffzellenfahrzeuge?.....	17
<b>4</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>18</b>

# 1 Einleitung

Im Rahmen der STROM-Begleitforschung fand eine Forschungsreise nach Nordamerika statt. Vertreter des DLR führten dort Interviews mit regionalen Akteuren der Elektromobilität durch. Die Forschungsreisen, die auch in weiteren Regionen durchgeführt werden (Japan, Europa, China, Indien), sind zentrale Elemente zweier Themenbereiche der STROM-Begleitforschung: Zum einen der Trendanalyse zu Fahrzeugtechniken und –konzepten, die spezifisch auch die internationalen Trends in der Fahrzeugtechnik betrachtet, und zum anderen des weltweiten Monitorings der Elektromobilitätsarena, welches detaillierte Regionalstudien in den entsprechenden Ländern umfasst.

Entsprechend der verschiedenen Inhalte der beiden Themenbereiche wurden unterschiedliche Akteure interviewt. Die Interviews, die im Rahmen der Forschungsreise Nordamerika geführt wurden, fokussierten auf folgende vier Bereiche

- Politischer Rahmen und Strategien (z.B. Förderprogramme und –budgets, Standards und Regularien, Infrastruktur und Stromwirtschaft)
- Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte (z.B. Forschungsthemen, Organisation der Elektromobilitätsforschung, Kooperation zwischen den Akteuren)
- Wirtschaft und Industrie (z.B. zentrale Hersteller von Elektroautos, Fahrzeugmodelle, Strategien, Geschäftsmodelle der Elektromobilität im weiteren Sinne)
- Marktstruktur Verbraucher (z.B. derzeitige Bestand von Elektrofahrzeug und Verkaufstrends, Akzeptanz von Elektrofahrzeugen, derzeitige Nutzer)

Im Rahmen der Regionalstudie dienen die vor Ort geführten Interviews zum einen dazu Informationen zu erhalten, die über die, von den Regionalpartnern erstellten, Studien hinausgehen. Insbesondere in Themenfeldern, die nur zum Teil durch öffentliche Dokumente abgedeckt werden können, sind die Interviews eine wichtige Erkenntnisquelle. Zum anderen werden bisherige Erfahrungen und Einschätzungen zur weiteren Entwicklung in den Themenfeldern abgefragt.

Die Interviews, die im Rahmen des internationalen Technologiemonitorings geführt wurden, thematisierten insbesondere Fragestellungen zur Forschungslandschaft, zu Trendentwicklungen und zum Stand der Technik verschiedener Schlüsseltechnologien der Elektromobilität in der spezifischen Weltregion und im Vergleich zu weiteren Weltregionen. Die Schlüsseltechnologiefelder umfassen:

- Fahrzeugkonzept (mit detaillierten Fragen z.B. zu Antriebsstrang-Architekturen)
- Leistungselektronik (z.B. Halbleiter-Materialien)
- Elektrische Maschine (z.B. Substitution Permanentmagnete)
- Thermomanagement (z.B. Luftkühlung) und
- Leichtbau (z.B. Bauweisen und Materialien)

Neben diesen Schwerpunktfeldern wurden je nach Interviewpartner z.T. auch Fragestellungen zu Brennstoffzellen-Systemen und Traktionsbatterien aufgegriffen.

Die Ergebnisse der Interviews dienen dazu, die im Rahmen des Technologie-Monitorings identifizierten Forschungsschwerpunkte einzuordnen und bewerten zu können. Weiterhin dienen die Ergebnisse dazu, die Ausrichtung des Monitorings für die weitere Projektlaufzeit zu fokussieren oder ggfs. auf weitere, neuartige technologische Lösungen erweitern zu können. Die im Rahmen des Technologie-Monitorings durchgeführten Interviews haben einen hohen technischen Detailfokus, gehen damit über die in den beauftragten Regionalstudien identifizierten Fragestellungen hinaus und ergänzen diese auf technologischer Ebene.

Nachfolgend wird ein Überblick über die Interviewpartner von verschiedenen Institutionen gegeben und die Expertenaussagen zusammengefasst.

## **2 Durchführung der Reisen**

Im Zeitraum vom 07.10. – 25.10.2013 wurde in Nordamerika mit insgesamt 28 Vertretern von 20 verschiedenen Institutionen gesprochen. Dabei handelte es sich um Automobilhersteller bzw. Automobilverbände und Dachorganisationen, Forschungsinstitute sowie Ministerien und öffentliche Verwaltungen. Die Interviews fanden zum Teil im Rahmen der Plug-In 2013 Konferenz in San Diego sowie der EVVÉ 2013 in Ottawa statt. Darüber hinaus wurden einige Interviews bei verschiedenen Institutionen vor Ort an der amerikanischen Westküste sowie in Washington D.C. durchgeführt. Die Ergebnisse werden anonymisiert behandelt und spiegeln nicht zwangsläufig die Meinungen und Aussagen aller Interviewpartner sowie der durch sie vertretenen Institutionen wider.

## **3 Ergebnisse**

Die Entwicklung der Elektromobilität hat in Nordamerika (USA und Kanada) in den vergangenen Jahren große Fortschritte gemacht. Insgesamt befinden sich in den USA derzeit ca. 130 000 Elektrofahrzeuge auf der Straße. Insbesondere im Bundesstaat Kalifornien aber auch in vielen Großstädten in den USA und Kanada werden Elektrofahrzeuge zunehmend nachgefragt. Hierbei ist eine beachtliche Stückzahl der Fahrzeuge in privater Hand. Eine Vielzahl an Maßnahmen wurde in den USA in die Wege geleitet, um privaten Käufern die Nutzung von Elektrofahrzeugen attraktiv zu machen. Zusätzlich wurden große Summen in Forschungs- und Entwicklungsprogramme investiert.

Es gibt bei den Experten unterschiedliche Meinungen zur Wirkung von einzelnen Maßnahmen wie beispielsweise Kaufanreize oder gezielter Förderung von Industriezweigen und welche Maßnahmen in welchem Umfang auch in Zukunft bestehen sollten.

Nachfolgend werden zunächst die auf den Interviews basierenden Erkenntnisse zu den Rahmenbedingungen für Elektromobilität in den USA und Kanada dargestellt und im Weiteren Einblicke hinsichtlich der einzelnen Technologiefelder gegeben.

### **3.1 Erkenntnisse zu den Rahmenbedingungen der Elektromobilität in Nordamerika**

Die amerikanische Regierung hat ambitionierte Ziele für die Elektromobilität in den USA ausgegeben: Bis 2015 sollen eine Millionen Elektrofahrzeuge auf US-Straßen fahren. Hierbei werden solche Fahrzeuge gezählt, welche die Möglichkeit haben, rein-elektrisch zu fahren. Also Plug-In Hybride, Batterie-Elektrische sowie Brennstoffzellen-Fahrzeuge. Dass dieses Ziel wohl nicht erreicht wird, darüber sind sich die Experten größtenteils einig. Bei der Frage nach dem realistisch möglichen Zeitpunkt, wann dieses Ziel erreicht werden kann, gibt die Mehrzahl der Experten einen Zeitraum zwischen 2018 und 2020 an. Nur wenige sind der Meinung, dass eine Millionen Fahrzeuge schon vor 2018 oder erst nach 2020 auf der Straße vorhanden seien. Dennoch wird der Tatsache, dass dieses ambitionierte Ziel in dieser Form verkündet wurde, viel Bedeutung zugesprochen. So wurde die Elektromobilität Gegenstand der politischen und technologischen Diskussion, was dabei half, sie zum zentralen Punkt zukünftiger Verkehrsplanungen sowie zum Leitgedanken vieler Industrie-Unternehmen zu machen.

#### **3.1.1 Rolle und Aufgaben der Regierung bei der Markteinführung**

Bei der Markteinführung und Entwicklung von neuen Elektrofahrzeugen in den USA nimmt die nationale Regierung eine steuernde und regulierende Rolle ein. Der Kauf eines Elektrofahrzeugs wird durch die Regierung in Abhängigkeit der Batteriegröße durch Steuervergünstigungen gefördert, maximal mit 7.500 USD. Der Fahrzeugkauf von Modellen eines Herstellers wird für die Höchstzahl von insgesamt 200.000 Fahrzeugen bezuschusst. Käufer von zwei- und dreirädrigen Elektrofahrzeugen mit einer Batterie von mindestens 2.5 kWh werden mit bis zu 2.500 USD unterstützt. Bis Ende 2013 wurden Privatkäufer von Ladestationen mit bis zu 1.000 USD gefördert, Unternehmen erhalten bis zu 30.000 USD für den Aufbau einer eigenen Ladeinfrastruktur. Für das Aufstellen der Ladestation muss eine Genehmigung eingeholt werden, wofür die Kosten bis zu 700 USD betragen können. Da es ca. 40.000 lokale Behörden sind, welche diese Genehmigungen ausstellen, ist es laut den interviewten Experten eine große Herausforderung für die Regierung, für einfache und einheitliche Genehmigungsprozesse zu sorgen. Einige dieser nationalen Förderungen liefen 2013 oder laufen 2014 aus. Verschiedene Verbände aus Herstellern und Dienstleistern bemühen sich zurzeit um eine Verlängerung der Maßnahmen sowie eine generell längere Laufzeit von Förderprogrammen.

Auf Grund der Erfahrungen mit einer ersten Markteinführung von Elektrofahrzeugen in den 90er Jahren und dem darauf folgenden Abschwung sehen viele Amerikaner Reglementierungen grundsätzlich sehr kritisch. Damals war das „Zero Emission Vehicle Mandate“ (ZEV) des Air Resource Board (ARB) einer der Hauptgründe für die Entwicklung und Markteinführung von Elektrofahrzeugen. Oft wird das Motto, „der Markt soll es richten“ genannt, wenn man die Rolle der Regierung anspricht. Zu strenges und frühes Regulieren ist laut den meisten Experten eher kontraproduktiv. Grundsätzlich setzt sich die Regierung zurzeit sehr stark für Lösungen ein, welche zu einer Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern führen und sieht eine größere Anzahl an Fahrzeugkonzepten mit alternativen Antrieben als probates Mittel, um dieses Ziel zu erreichen. Auch für die Einhaltung der CAFE Standards können Elektrofahrzeuge für die Hersteller einen wichtigen Beitrag leisten.

Die Möglichkeit von einzelner Bundesstaaten oder Stadtverwaltungen, die Marktentwicklung positiv zu beeinflussen, wird als größer eingeschätzt da die Bundesstaaten eine sehr selbständige Energiepolitik verfolgen. Die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Durchsetzung der Elektromobilität unterscheiden sich in den, in vielerlei Hinsicht sehr unterschiedlichen, Bundesstaaten der USA stark. Begünstigende Standortfaktoren sind laut den Experten eine insgesamt innovative Industrie, eine hohe Kaufkraft und geringe bürokratische Strukturen. In besonders pro-aktiven Gemeinden vereinigen sich Energieversorger, Fahrzeughändler und politische Entscheidungsträger, um gemeinsam Strategien und Handlungsempfehlungen für die Nutzer von Elektrofahrzeugen auszuarbeiten. Als Ergebnis solcher Prozesse entstehen Roadmaps, welche den Nutzern online zur Verfügung stehen und ihnen bei den Schritten vom Elektroauto bis zur Lademöglichkeit helfen. Die nationale Regierung wird bei ihrer Formulierung von übergreifenden politischen Strategien von sogenannten National Laboratories unterstützt, welche im Auftrag der Regierung das Potential von besonders relevanten Forschungsergebnissen abschätzen und daraus Empfehlungen für politische (Förder-)Maßnahmen formulieren. Ein Experte beschrieb den Einfluss solcher wissenschaftlichen Einrichtungen, welche über das ganze Land verteilt sind, als sehr groß. Durch die Identifikation von potentiellen Schlüsseltechnologien sollen diese Technologien, deren Entwicklung und die Hersteller solcher technischen Entwicklungen besonders gefördert werden, um langfristig eine Kostenreduktion zu erzielen. Dies gilt aktuell insbesondere für die Batterieforschung, da die Batterie zurzeit noch der größte Kostenfaktor von Elektrofahrzeugen ist. Auf die Förderung von einzelnen Firmen mit hohen Summen, wie es in der Vergangenheit der Fall war, soll nach Ansicht der Experten verzichtet werden. Es soll möglichst der Eindruck vermieden werden, dass die Regierung bestimmte Hersteller bevorzugt.

Bezüglich der Förderung von Elektrofahrzeugen wird die aktuelle Förderstrategie seitens der nationalen Regierung als zu kurzfristig gesehen. Die Kaufprämien für Elektrofahrzeugkäufer werden beispielsweise nicht für einen längeren Zeitraum garantiert, sondern laufen ohne Folgefinanzierung aus. Die fehlende Planungssicherheit verunsichere die Käufer und Hersteller gleichermaßen, denn die Prämien sind ein wichtiger Erfolgsfaktor für die Marktentwicklung. Eine langfristige Zusicherung von Fördermitteln würde sich laut Experten positiv auf die weiteren Marktentwicklungen auswirken.

Die Autoindustrie hat als Arbeitgeber für junge Leute nicht mehr dieselbe Attraktivität wie dies früher der Fall war, wie ein Experte verrät. Sie gälte als wenig innovativ und veraltet. Um mehr für zukunftssträchtige und innovative Produkte zu tun, bilden sich Kooperationen zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen, insbesondere im Bereich der Materialforschung. Die amerikanische Rüstungsindustrie wird als bedeutender Geldgeber für Projekte zu Schlüsseltechnologien von Elektrofahrzeugkonzepten gesehen. .

### 3.1.2 Fahrzeuge und Marktentwicklung

Die CAFE (Corporate Average Fuel Economy) Standards müssen Fahrzeughersteller in den USA erfüllen, um keine Strafzahlungen wegen zu hohem Flottendurchschnittsverbrauch zu leisten. Dies trägt mitunter dazu bei, dass Hersteller auf alternative Antriebe setzen, um beispielsweise mit Elektrofahrzeugen einen geringeren Durchschnittsverbrauch zu erzielen. Zurzeit sind Elektrofahrzeuge in den USA und Kanada noch am ehesten in den Klein- und Mittelklassensegmenten zu finden. Unter den interviewten Experten war man sich nicht einig, ob die Nachfrage an kleineren Fahrzeugen in Zukunft zunehmen wird und somit die heutigen E-Fahrzeugmodelle im Trend liegen. Zwar ist der Nissan Leaf heute das am meisten verkaufte Fahrzeug in Atlanta und der Toyota Prius in ganz Kalifornien (Stand September 2013). Dennoch besteht in Nordamerika weiterhin eine sehr große Nachfrage nach SUVs und Pick-Ups. Mehrere Hersteller haben angekündigt, in naher Zukunft (Plug-in) Hybridmodelle für Geländewagen und Sportwagen anbieten zu wollen. Somit soll der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch gesenkt und der Anteil an elektrifizierten Antrieben in der Flotte erhöht werden. Neben den gesetzlichen Vorgaben tragen auch der Wertewandel sowie die Verknappung fossiler Kraftstoffe dazu bei, dass Hersteller die Entwicklung von alternativen Fahrzeugen weiter vorantreiben. In den 90er Jahren war es das „ZEV Mandate“ in Kalifornien, was bei einigen OEMs zur Entwicklung von massentauglichen EVs führte.



**Abbildung 1: Pick-Up des Herstellers Dodge mit Elektroantrieb**

Was die heutigen Verkaufszahlen in den USA angeht, so werden diese als durchweg zufriedenstellend gesehen. Es wird erwartet, dass der Anteil an Plug-In Hybriden auf dem Fahrzeugmarkt insgesamt stetig wachsen wird. Plug-In Hybride werden die reinen Hybridfahrzeuge in Zukunft ablösen, so ein Experte. Zudem wird erwartet, dass der Preis für Batteriezellen in naher Zukunft unter 125 USD/kWh sinken wird.

### 3.1.3 Geschäftsmodelle und Fahrzeugnutzung

In Städten wie San Diego oder San Francisco etablieren sich zunehmend Car Sharing Fahrzeuge als Alternative zum Fahrzeugbesitz. In diesen beiden Städten existieren bereits Car Sharing Flotten, welche auch Elektrofahrzeuge beinhalten. Beispiele sind die Smart e-drive Fahrzeuge von Car2Go, BMW ActiveE Fahrzeuge von DriveNow oder Nissan Leaf Fahrzeuge von CityCarShare. Kalifornische Großstädte fördern Car Sharing als alternatives Mobilitätskonzept, und die Nutzungszahlen steigen stetig. Elektrofahrzeuge



bieten sich als Carsharing Fahrzeuge zum einen an, weil man an den Abgabeorten bei dem sogenannten standortgebundenen Carsharing Ladestationen aufstellen kann. An solchen Carsharing Stellen können optional auch andere Fahrzeuge genutzt werden, falls die Reichweite eines Elektrofahrzeugs für eine Fahrt nicht ausreicht. Es bietet sich also eine gewisse Flexibilität für den Nutzer um jede alltägliche Strecke zurücklegen zu können. Auch manche Fahrzeughersteller bieten Geschäftsmodelle an, in welchen Besitzer von Elektrofahrzeugen für Langstrecken ein konventionelles Fahrzeug vergünstigt anmieten können. Das Netz an Carsharing Stationen ist in San Francisco bereits sehr weit ausgebaut. Typischer Carsharing Nutzer, welcher Elektrofahrzeuge auswählen, sind laut den Experten meist gut ausgebildete, alleinlebende Städter in jüngerem Alter. Kinderfamilien ziehen oft aus Kostengründen aus den Großstädten in die Vororte, sind anschließend auf ein eigenes Fahrzeug angewiesen und daher keine regelmäßigen Carsharing Nutzer. Als ein Vorteil des Carsharing Konzepts wird gesehen, dass das Fahrzeug im Voraus online gebucht werden kann und, falls es an einer Ladesäule steht, auch entsprechend automatisch vorkonditioniert werden kann. In besonders kalten oder warmen Regionen kann das Erwärmen oder Abkühlen des Fahrgastraums vor dem Fahren die Batteriekapazität entlasten und somit die erzielbare Reichweite erhöhen. Die zunehmende Sichtbarkeit von Carsharing, nicht nur in Nordamerika, könnte dazu beitragen, dass auch Elektrofahrzeuge sichtbarer im Straßenbild werden.

Immer mehr Arbeitgeber nutzen Elektrofahrzeuge in ihren Dienstwagenflotten. Somit erhalten die eigenen Mitarbeitern die Möglichkeit, sich an Elektrofahrzeuge zu gewöhnen. Es wurde erwähnt, dass sich viele Kaufinteressenten gerade nach dem Testen solcher Dienstwagen für den privaten Kauf entschieden haben. Das „Raising Awareness“ (Sichtbarkeit erhöhen) wird als wichtiger nächster Schritt gesehen, um die Verbreitung von Elektroautos zu unterstützen. Meist gehen Interessenten davon aus, dass man mit Elektrofahrzeugen die alltäglichen Wege nicht abdecken kann. Mit Plug-In Hybridmodellen ist dies allerdings möglich. Trotzdem können viele der innerstädtischen Wege rein elektrisch gefahren werden. Für viele Experten geht es daher darum, möglichst viele Menschen über diese Eigenschaften von Elektrofahrzeugen aufzuklären um keine Reichweitenangst aufkommen zu lassen. Die meisten der heute verkauften Elektrofahrzeuge werden über Leasingverträgen verkauft. Ein Experte vermutete, dass sich die Hersteller die gebrauchten Fahrzeuge gerne zurücknehmen, um die Abnutzung dieser Fahrzeuge analysieren zu können. Die Kaufmotive für Elektrofahrzeuge in den USA sind laut Expertenmeinung sehr schwer zu voraussagen, was an der Spontanität der amerikanischen Fahrzeugkäufer liegt.

Erste Studien haben gezeigt, dass die Käufer des Nissan Leaf mehrheitlich jüngeren Alters sind und ein geringes Einkommen haben. Um neue Käufergruppen anzusprechen ist es, wie bereits erwähnt, notwendig die Sichtbarkeit der Elektromobilität zu verbessern. Die meisten Nutzer müssten über die Möglichkeiten und Vorteile von Elektrofahrzeugen aufgeklärt werden. Dazu organisieren Besitzer von Elektrofahrzeugen beispielsweise sogenannte Ride&Drives (etwa Probieren und Fahren) an Orten, wo möglichst eine große Anzahl von Interessenten die Möglichkeit bekommen sollen, ein Elektrofahrzeug testen zu können. Das Ziel solcher Aktionen ist es unter anderem, die Vorteile von Elektroautos, wie z.B. das gute und sehr dynamische Fahrverhalten oder auch geringere bzw. wegfallende Spritkosten sowie geringere Wartungskosten dem potentiellen Käufer aus erster Hand näherzubringen. Auch können so Erfahrungen zur benötigten Lademöglichkeit, deren Verfügbarkeit oder den notwendigen Bewilligungsprozess für das Aufstellen einer solchen Lademöglichkeit am Wohnort direkt weitergegeben werden.



**Abbildung 2: Ride&Drive vor einem Einkaufszentrum (San Diego, Kalifornien)**

Die bereits genannten Einschränkungen von Elektrofahrzeugen, insbesondere die geringere Reichweite, werden als Grund dafür gesehen, dass viele Käufer sich ein Elektrofahrzeug als Zweit-, oder Drittfahrzeug anschaffen um flexibel zu bleiben. Den zurzeit noch recht hohen Anschaffungskosten stehen im Vergleich zum konventionellen Fahrzeug geringere operative Kosten gegenüber. Zwar werden Elektrofahrzeuge, zumindest ohne Subventionen, in Bezug auf die Anschaffungskosten kurz und mittelfristig nicht die günstigste Alternative, allerdings sind diese Fahrzeuge im Unterhalt oftmals deutlich günstiger. Dies spricht nach Expertenmeinung eher für das Leasinggeschäft und eine monatliche Zahlung inklusive der Rückgabe des Fahrzeugs am Ende der Leasingzeit.

### **3.1.4 Kaufanreize**

Als einen der wichtigsten Punkte für die bisherige positive Entwicklung der Elektromobilität wird von den Experten das Vorhandensein von finanziellen Kaufanreizen gesehen. Diese Kaufanreize, welche sich sowohl aus landesweiten wie auch regionalen und lokalen Subventionen zusammensetzen können, sorgen dafür, dass sich E-Fahrzeuge im Anschaffungspreis auf einem ähnlichen Niveau bewegen können, wie vergleichbare, konventionelle Fahrzeuge. Zurzeit kann der Elektrofahrzeugmarkt in den USA nicht ohne diese Kaufanreize auskommen, hierin sind sich die Experten einig. Momentan (Stand Oktober 2013) erhält der Käufer eines Elektrofahrzeugs eine Steuervergünstigung von insgesamt 7.500 USD. Hinzu kommen weitere Vergünstigungen, welche durch die Bundesstaaten festgesetzt werden. Kalifornien vergibt unter allen Bundesstaaten die höchsten Steuervergünstigungen an Elektrofahrzeugbesitzer. Die Vergünstigungen können von der Steuer abgesetzt werden, was dazu führt dass die Verkaufszahlen für Elektrofahrzeuge zum Ende eines Jahres stark ansteigen, da sich die Vergünstigung in der Steuererklärung im Januar auswirkt. Die Kaufsubventionierung als Steuerungsmittel der Nachfrage nach E-Fahrzeugen wird derzeit diskutiert, weil sie auf absehbare Zeit ein notwendiges Mittel für die Marktentwicklung bleiben wird. Einige Experten befürchten, dass es für die Politik wichtiger sein könnte, die Ausgaben für die Kaufsubvention in naher Zukunft zu senken, als für einen nachhaltigen Absatz an E-Fahrzeugen zu sorgen. Zudem werden die Subventionsmittel in manchen Fällen nur recht kurzfristig bewilligt, was die Planung für Hersteller und Händler erschwert. Dies gilt insbesondere zu Zeiten, in denen

bewilligte Mittel nahezu aufgebraucht und neue noch nicht frei gegeben sind. In etwa 10 Jahren könnten allerdings Subventionen auf Grund des dann bestehenden technischen Fortschritts nicht mehr notwendig sein.

Neben den finanziellen Kaufanreizen werden Haltern von E-Fahrzeugen in den USA noch weitere Privilegien eingeräumt. So bekommen Halter von Plug-In Hybriden und batterie-elektrischen Fahrzeugen einen freien Zugang zu den sogenannten Car-Pool- oder HOV-Lanes (High Occupied Vehicles, Fahrspuren, welche für Fahrzeuge mit 2 Personen (in manchen Fällen auch 3 oder mehr) reserviert sind). Besonders in Städten mit starker Verkehrsbelastung wie Los Angeles und gerade zu Hauptverkehrszeiten ist die Nutzung von HOV Lanes ein wesentlicher Anreiz für die Nutzung von Elektrofahrzeugen. Auch gibt es in vielen Städten freie Parkplätze für die Halter von E-Fahrzeugen. In manchen Fällen haben die nicht-finanziellen Vorteile nach Aussage der Experten sogar einen größeren Einfluss auf die Kaufentscheidung als rein finanzielle Kaufanreize. Dies wird auch dadurch deutlich, dass ein beachtlicher Teil der Kunden, welche sich das „Model S“ der Firma Tesla gekauft haben, die finanziellen Vergünstigungen nicht, oder zumindest nicht in vollem Umfang abgerufen haben. Einschränkend muss man zu diesen Kunden jedoch sagen, dass es sich zum einen bei dem Fahrzeug um ein Premium-Fahrzeug handelt und zum anderen um eine Kundengruppe, die sehr früh neue, „hippe“ Technologien anschafft und nicht vordergründig auf den Preis eines Produkts achtet.

Neben den hier genannten Kaufanreizen wird sich der zukünftige Sprit- und Strompreis stark auf die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen auswirken. Der durchschnittliche Strompreis in den USA liegt weit unter dem Preis in Deutschland, gleiches gilt für den Spritpreis (Stand 2013). Die Ölindustrie hat für die USA eine wichtige wirtschaftliche Bedeutung, und die Nutzung von alternativen Energieträgern für Straßenfahrzeuge würde hier Einbußen mit sich ziehen. Bezahlbare Kraftstoffpreise sehen viele U.S. Bürger als notwendig an, um mit dem eigenen Fahrzeug mobil bleiben zu können da viele Menschen privat sowie wirtschaftlich vom Auto abhängig sind. Eine Steuererhöhung für die Kraftstoffe Benzin und Diesel würde zwar Elektrofahrzeuge als Alternative attraktiver machen, hätte jedoch einen sehr großen Einfluss auf die Mobilität vieler Menschen in den USA. Die Regierung hat die schwere Aufgabe, sowohl die weitere Verbreitung von emissionsärmeren Fahrzeugen voran zu treiben und gleichzeitig die Mobilität der Leute zu sichern.

Es lässt sich festhalten, dass sowohl finanzielle als auch nutzungsbezogene Anreize eine wichtige Rolle bei für die Markteinführung von Elektrofahrzeugen spielen. Wie man am Beispiel der USA erkennen kann, sind unterstützende politische Maßnahmen sehr wichtig für eine erfolgreiche Markthochlaufphase. Die zukünftigen Preisentwicklungen und Fahrzeugnutzungskosten bestimmen maßgeblich mit, ab welchem Zeitpunkt Elektrofahrzeuge einen wesentlichen Anteil am Fahrzeugbestand ausmachen werden.

### **3.1.5 Ladeinfrastruktur**

Ein sehr wichtiges Thema in den Diskussionen rund um die Elektromobilität in den USA ist die Ladeinfrastruktur. Die heute zahlreich vorhandenen Elektrofahrzeuge in Kalifornien haben dazu geführt, dass sich an einzelnen Ladesäulen bereits Warteschlangen bilden wie ein Experte uns aus eigener Erfahrung berichtet. Die Ladeinfrastruktur muss verschiedene Anforderungen erfüllen, beispielsweise muss sie auf die Schwankungen in der Auslastung reagieren können. Benötigt werden Ladestationen in allen Bereichen der täglichen Verkehrswege: am Wohnort, an der Arbeitsstelle und im öffentlichen Raum. Es werden auch die Auswirkung verschiedener Ansätze auf das Strom-Netz kontrovers diskutiert. Im Gegensatz zu Deutschland ist in den USA eine Spannung im Hausnetz von 110 V (Level 1) der Standard. Somit verfügt auch ein Teil der Ladeinfrastruktur lediglich über eine Spannung von 110 V. Da dies, gerade

bei Fahrzeugen mit großen Batterien, einen langen beziehungsweise verlustreichen Ladevorgang zur Folge hat, werden sowohl im privaten wie auch im öffentlichen Bereich Ladestationen mit einem 220 V-Anschluss, sogenannte Level 2 Charger, angeboten. Jedoch ist es, insbesondere bei Häusern mit einem alten Leitungsnetz, zum Teil nicht möglich, die dafür erforderliche Peripherie zu installieren. Auch der Weg zu einer Genehmigung einer privat aufgestellten Lademöglichkeit ist je nach Bundesstaat sehr unterschiedlich. In eigenen Gemeinden informieren Behörden interessierte Kunden anhand Broschüren darüber, wie sie die Genehmigung für eine Lademöglichkeit einholen müssen. Die Kosten für solch eine Genehmigung fallen sehr unterschiedlich aus. Der Ausbau der Ladeinfrastruktur wird sehr lokal organisiert, was auch an der Vielzahl der verschiedenen Stromanbieter liegt. Die Nutzer von Elektrofahrzeugen befürworten solch eine dezentrale Organisation und sehen Regulieren eher als Hindernis. Sie bevorzugen daher die Auswahl der Standorte von Ladestationen eher durch private Anbieter.

Die Einführungsphase der Elektrofahrzeuge in den USA hat gezeigt, dass die Mehrheit der Nutzer ihre Elektrofahrzeuge entweder zu Hause oder am Arbeitsplatz aufladen. Der Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur wie z.B. Ladesäulen am Straßenrand oder auf Parkplätzen wird zwar vorangetrieben. Die Mehrheit der Experten ist sich jedoch einig, dass eine staatliche Förderung von Lademöglichkeiten am Arbeitsplatz oder zu Hause der rentablere Weg sei. Die längeren Standzeiten am Arbeitsplatz und zu Hause sind hier ausschlaggebend und sprechen gegen eine stark ausgebaute öffentliche Infrastruktur. Durch die Konzentrierung der Ladezeiten zu Hause und am Arbeitsplatz ergeben sich offensichtliche Stromnachfragespitzen. Um eine gleichmäßige Belastung des Netzes zu erreichen, können die Ladezyklen einzelner Fahrzeuge gesteuert und auf einen festen Zeitraum verteilt werden. Hierzu gibt es bereits Anbieter eines solchen intelligenten Lademanagements. In Bezug auf die verschiedenen Ladestandards haben bisherige Erfahrungen gezeigt, dass gerade Kunden, welche ein batterieelektrisches Fahrzeug kaufen, auch eine Level 2 Ladestation installieren möchten. Käufer von Plug-In Hybriden geben sich in vielen Fällen auch mit einer Level 1 Ladestation zufrieden, da die Reichweitenproblematik bei Hybridfahrzeugen nicht in dem Maß besteht, wie es bei batterieelektrischen Fahrzeugen der Fall ist.

Den Stromverbrauch am Wohnort kontrollieren viele Nutzer in den USA bereits über einen intelligenten Stromzähler (Smart Meter). Damit kann der Nutzer den Stromverbrauch des Fahrzeugs genau zuordnen. Ein Experte erwähnte, dass sich sein Stromverbrauch zu Hause bei regelmäßiger Aufladung des Elektrofahrzeugs etwa verdoppeln würde. Für Elektrofahrzeugbesitzer, die in Mehrfamilienhäusern in Großstädten wohnen und über keine eigene Lademöglichkeit besitzen, sind gemeinschaftlich genutzte Ladestationen die einzige Möglichkeit über Nacht das Fahrzeug zu laden. Laut den Experten sind hier insbesondere Stadtverwaltungen gefragt, um Anreize für Hausbesitzer zu schaffen, Lademöglichkeiten für Elektrofahrzeuge zu installieren. Bisher sind die meisten Eigentümer von Elektroautos auch Besitzer einer eigenen Lademöglichkeit am Wohnort. Andere kommen unter Umständen vom Kauf eines Elektrofahrzeugs ab, weil der Hausbesitzer nicht bereit ist, eine Ladesäule am Wohnort aufzustellen. Beispielsweise arbeitet die Stadt Toronto an einem Programm, welches dieses Problem der Ladestationen in Mehrfamilienhäusern aufgreift.

Die interviewten Experten waren sich einig darüber, dass die Sichtbarkeit und die Standorte einer Lademöglichkeit einen starken Einfluss auf die Kaufentscheidung haben. Immer mehr Firmen integrieren darüber hinaus Elektrofahrzeuge in ihre Fahrzeugflotten. Besonders Fahrzeughersteller und Technologiefirmen bieten so ihren eigenen Mitarbeitern an, Elektrofahrzeuge zu testen und den Prozess des Aufladens am Arbeitsplatz auszuprobieren. Viele Käufer, so gaben einige Interviewte an, sind gerade durch die Sichtbarkeit der Elektrofahrzeuge am Arbeitsplatz von einem Kauf überzeugt worden. Daher wird die Regierung von Arbeitgeberseite dazu aufgerufen, den Aufbau der Ladestruktur am Arbeitsplatz

in Zukunft gezielt zu fördern, um den Effekt der erhöhten Sichtbarkeit für die weitere Markteinführung zu nutzen.



**Abbildung 3: Google Mitarbeiterparkplatz mit Ladesäule**

In den USA entstand durch die zahlreichen Elektrofahrzeugtypen zunehmend die Herausforderung, die eine Ladeinfrastruktur für die unterschiedlichen Standards von Ladesteckern zu ermöglichen. Dies gilt insbesondere für Schnellladesäulen, welche in Zukunft eine immer höhere Relevanz haben werden. Tesla betreibt ein eigenständiges Gleichstrom-Supercharger-Netz in Kalifornien, japanische Hersteller nutzen den sogenannten CHAdeMO-Standard und wiederum andere Elektrofahrzeuge den SAE-J1772 Standard. Laut einem Experten wurde seitens der Regierung zu früh davon ausgegangen, dass sich der Typ CHAdeMO durchsetzen wird. Aus diesem Grund wurde zunächst die Ladeinfrastruktur dieses Typs gefördert. Nun ist man bestrebt, neue Ladesäulen aufzustellen welche die unterschiedlichen Standards bedienen können. Ein solches Netz aus kombinierten Ladesäulen ist in den Niederlanden beispielsweise schon vorhanden.

### **3.1.6 Exkurs: Kalifornien**

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass die US-Bundestaaten sehr unterschiedliche Perspektiven für die Einführung von Elektrofahrzeugen aufweisen. Dies liegt unter anderem an der sich unterscheidenden Umwelt- und Energiepolitik, sowie der Motivation Kaufanreize für Elektrofahrzeuge einzusetzen. Kalifornien nimmt unter den Bundesstaaten der USA eine gewisse Sonderrolle ein. Insgesamt werde 40% aller rein batteriebetriebenen Elektrofahrzeuge in den USA hier abgesetzt, jährlich sind es zurzeit rund 17.000 Fahrzeuge (Stand: 2013). Der Toyota Prius war das am meisten verkaufte Fahrzeug (ca. 60.000 Fahrzeuge, Stand 2013), was die geringe Verbundenheit der Kalifornier zu amerikanischen Herstellern verdeutlicht.

Laut Experten hängt die frühe Markteinführung in Kalifornien mit der Einstellung der Bevölkerung zu neuen Technologien zusammen: Kalifornier nehmen laut der Expertenmeinung eine Pionier- bzw. Vorreiterrolle ein, wenn es um den Test und die Nutzung neuer Technologien geht. Ein Experte: „was

Kalifornien an Gesetzen und Bestimmungen umsetzt, wird sich auch in anderen Staaten durchsetzen“. Das Innovationspotential in den kalifornischen Regionen ist im Vergleich zu den anderen Staaten sehr hoch, nicht zuletzt durch die Technologiezentren im Silicon Valley. Auch die Elektromobilität profitiert von Innovationen der Firmen und Forschungsinstituten in dieser Region. . In Kalifornien gibt es, mit Ausnahme des Herstellers Tesla, keine eigene Autoindustrie. Wenige Arbeitsplätze sind direkt mit großen Herstellern verknüpft. Dazu hat der Bundesstaat einen für amerikanische Verhältnisse schadstoffarmen Energie-Mix der dazu führt, dass der Strom sauberer ist als in vielen anderen Staaten. Für Kalifornien wird bis 2020 ein Anteil von insgesamt 33% an erneuerbaren Energien angestrebt.



Abbildung 4: Batterie-elektrisches Post-Zustellfahrzeug der Firma FedEx in San Diego, CA

### 3.1.7 Exkurs: Kanada

Die Elektromobilität wird in Kanada, wie es auch in den USA der Fall ist, meist als Konzept der urbanen Mobilität gesehen. Die Voraussetzungen zur Umsetzung der Elektromobilität in Kanada sind vergleichbar mit jenen von den meisten Großstädten der USA. Es gibt in Kanada einige wenige extreme Einsatzgebiete von Elektrofahrzeugen, welche diskutiert werden: beispielsweise den Tagebau zur Förderung von Rohstoffen mittels elektrisch betriebenen Transportfahrzeugen (ein bedeutender Industriezweig für Kanada) oder der Einsatz von Elektromotorschlitten in abgelegenen Gebieten im Norden. Für Herausforderungen zur Alltagsmobilität der Stadtbevölkerung unterscheiden sich die Fragestellungen nicht sonderlich im Vergleich zu Deutschland oder den USA. Die großen Distanzen in Kanada sind für den Einsatz von Elektrofahrzeugen für Langstrecken eher ungeeignet. Der Aufbau eines Netzes aus Ladestationen zwischen einzelnen Ballungsräumen ist nicht vorgesehen. Für kanadische Großstädte geht man davon aus, dass der Fahrzeugbesitz stark abnehmen wird da die öffentlichen Nahverkehrsnetze gut ausgebaut sind und die Kosten für das Abstellen des Autos in der Stadt hoch sind. Car Sharing wächst zurzeit sehr stark in Städten wie Vancouver oder Toronto. Wie dies in den USA der Falls ist, geht man auch in Kanada davon aus, dass sich die Fahrzeugflotte in den kommenden Jahren verkleinern wird.

Als Produktions- und Entwicklungsstandort spielt Kanada für US-Firmen eine wesentliche Rolle. Rund 75% aller kanadischen Exporte gehen in die USA. Viele in Kanada gefertigten Fahrzeuge, darunter auch Elektrofahrzeuge, sind ausschließlich für den US Markt vorgesehen und werden in Kanada nicht geführt. In Kanada werden mehr kleine und mittelgroße Fahrzeuge abgesetzt als dies in den USA der Fall ist. General Motors und Ford betreiben in Kanada eigene Forschungsstandorte und kooperieren vor Ort mit Forschungsinstituten und Universitäten. Unter den gemeinsamen Forschungsbereichen spielt insbesondere der Leichtbau eine wichtige Rolle, was wiederum relevant für Elektrofahrzeugkonzepte ist. Auch kanadische Universitäten sind in vielen Kooperationen vertreten, in welchen an Schlüsseltechnologien der Elektromobilität geforscht wird.

Laut den Experten aus Kanada ist man insgesamt mit der Einführung von Elektrofahrzeugen nicht ganz so zufrieden, wenn man die Entwicklungen mit jenen in den USA vergleicht. Die Anzahl der verkauften Fahrzeuge ist eher enttäuschend. Viele Käufer schreckt die geringe Reichweite ab. Deshalb werden sich in Kanada Plug-In Hybride als Elektrofahrzeugkonzept durchsetzen. Allerdings muss dazu die Ladeinfrastruktur noch weiter ausgebaut werden. Die Provinzen, vergleichbar mit den Bundesstaaten in den USA, zeigen wiederum eine unterschiedliche Bereitschaft zur Einführung der Elektromobilität. Besonders Quebec und British Columbia bemühen sich um die starke Förderung der Elektromobilität. Quebec als Provinz hat einen hohen Anteil an Wasserkraft und wenige Arbeitsplätze in der Autoindustrie. Das Öl für Kraftstoffe muss importiert werden. Die Provinz hat daher ein hohes Interesse an Fahrzeugen mit alternativen Antrieben. Den Strom bezieht man Kanada größtenteils aus Wasserkraft und das Land hat nach Norwegen den höchsten Anteil an Erneuerbaren Energien in ihrem Strom-Mix. Die nationale Regierung in Kanada hat sich zum Ziel gesetzt, insbesondere Forschungsaktivitäten in den Bereichen Leichtbau und Antriebssysteme zu investieren. Die Regierung setzt weniger auf den Einsatz von hohen Kaufprämien wie dies in den USA der Fall ist. Laut eines Experten könnten in Kanada bis zu 500.000 Elektrofahrzeuge bis zum Jahr 2020 auf den Straßen in Kanada fahren, möglich ist ein Anteil von 0,5% an rein batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen in der Fahrzeugflotte.

## **3.2 Erkenntnisse zu den Schlüsseltechnologien**

**An einem Punkt sind sich alle Experten einig. Technologien, die dazu beitragen, der Elektromobilität zu ersten Erfolgen zu verhelfen, existieren zum größten Teil schon in ausreichender Qualität. Interessanter wird es hier bei der Frage, welche Technologien für nächste und übernächste Generation notwendig sind und gegebenenfalls noch entwickelt werden müssen. Hierbei gibt es vor allem ein großes Thema. In vielen Komponenten und Technologien wird der Materialforschung viel Bedeutung für zukünftige Anwendungen zugesprochen. Die wichtigste Komponente ist hierbei ohne Frage die Batterie. Viele Befragte sehen in der Batterie die Komponente, mit der die Elektromobilität nachhaltig zu einer Erfolgsgeschichte werden, an welcher sie aber auch genauso scheitern kann.**

### **3.2.1 Elektrische Maschinen**

Neben den Batterien können noch weitere Komponenten von Fortschritten in der Materialforschung profitieren. Im Bereich der elektrischen Maschinen sollen neue Materialien helfen, seltene Erden in den Permanentmagneten zu reduzieren und im besten Fall vollständig darauf zu verzichten. Denn die Vorteile, die permanent erregte Maschinen bieten, werden wohl von fremderregten, zumindest mittelfristig, nicht ausgeglichen werden können. Hier stehen die Effizienz sowie die Leistungsdichte und die damit

verbundene kompakte Bauweise, welche bei permanent erregten Maschinen positiv ausgeprägt sind, im Mittelpunkt. Allerdings wird die Thematik rund um die seltenen Erden aufgrund der Versorgungssituation sehr kritisch gesehen. Um gegen etwaige Engpässe gewappnet zu sein, wird auch die Notwendigkeit der Weiterentwicklung alternativer E-Maschinenkonzepte als wichtig eingestuft. Bei der Frage, welcher der Wege, ob alternative Materialien für Permanentmagnete oder alternative Maschinenkonzepte, der erfolgsversprechendere oder bessere ist, herrscht Uneinigkeit. Es zeigt sich, dass wohl so lange beide Pfade verfolgt werden, bis eine der Varianten einen technologischen Durchbruch und damit signifikante Verbesserungen hervorbringt. Hierbei ist auch eine Mischung von neuartigen Konzepten in Verbindung mit neuen Permanentmagnet-Materialien eine der Lösungen, die viele Experten für sinnvoll halten. Dabei wird insbesondere das thermische Verhalten der Materialien immer wieder erwähnt. Durch die Erhöhung der Currie-Temperatur könnten die Maschinen weniger anfällig gegenüber Überhitzung werden, wodurch eine höhere Dauerleistung eingestellt werden könnte bzw. die Anforderungen an das Thermo-Management geringer werden. Im Idealfall könnte gänzlich auf ein aktives Thermomanagement bei den elektrischen Maschinen verzichtet werden.

### **3.2.2 Leistungselektronik**

Das thermische Verhalten spielt auch im Bereich der Leistungselektronik eine Rolle. Derzeit muss bei vielen Anwendungen im Automobilbereich ein recht enger Temperaturbereich für die Leistungselektronik sichergestellt werden. Hierfür ist oftmals ein aufwendiges, aktives Thermomanagement notwendig. Besonders bei hohen Leistungen, wie sie beim Beschleunigen, Rekuperieren aber auch während eines Schnellladevorgangs auftreten können, müssen die Bauteile gekühlt werden. Ein breiteres Temperaturspektrum, in welchem die Leistungselektronik zuverlässig arbeiten kann, würde auch dabei helfen, die Packaging-Eigenschaften zu verbessern. Neben dem Thermomanagement und den Packaging-Eigenschaften, welche bei einer Mehrheit der Experten die wichtigste Rolle für zukünftige Leistungselektronikkomponenten spielen, wird immer wieder auch eine Erhöhung der Schaltfrequenzen als Anforderung für zukünftige Bauteile erwähnt. Technologisch vielversprechende sind hierbei Bauteile aus Siliziumkarbid (SiC), die helfen könnten, die Anforderungen zukünftiger Systeme zu erfüllen. Allerdings merken die Experten an, dass ein flächendeckender Einsatz dieser Bauteile erst dann erfolgen wird, wenn sich die Kosten in einem ähnlichen Bereich bewegen, wie es für heutige Bauteile der Fall ist.

Neben den Anforderungen, die im Betrieb des Fahrzeugs an die Leistungselektronik gestellt werden, sollte dem Lademodul nach Meinung der Experten eine große Bedeutung in der zukünftigen Entwicklungsarbeit zukommen. Hierbei werden 2 Themen immer wieder genannt:

Zum einen gibt es gesteigerte Anforderungen an die Ladeinheit, wenn Fahrzeuge in sogenannte Smart-Grids integriert werden. Hierbei dient das Fahrzeug, bzw. die im Fahrzeug befindliche Batterie, als Speicher für Strom aus dem Netz. Sinn dieser Anwendung ist, dass zu den Zeiten, in welchen mehr Strom verfügbar ist als benötigt wird, bzw. Strom besonders günstig bezogen werden kann, dieser in der Batterie gespeichert wird. Zu Zeiten, wenn viel Strom benötigt oder dieser teuer ist, soll er wiederum aus der Batterie in das Netz eingespeist werden. Daraus folgt, dass der Strom nicht nur in eine Richtung durch das Lademodul fließen muss, nämlich beim Laden der Batterie. Das Lademodul muss zudem in der Lage sein, den Strom wieder an das Netz abzugeben. Hierbei werden sogenannten Micro-Grids, also kleine, weitestgehend autarke Netze, welche mit viel erneuerbarer Energie versorgt werden, in den Fokus gerückt.

Zum anderen mahnen die Experten an, dass man sich in Zukunft auf Standards einigen muss. Insbesondere bei Schnellladesystemen stellt dies derzeit ein Problem dar, da einige Hersteller eigene Lösungen am Markt platzieren, die nicht mit den Systemen anderer Hersteller kompatibel sind. Auf der einen Seite kann, solange es keine öffentliche Ladeinfrastruktur gibt, ein Hersteller sicherstellen, dass die



von ihm finanzierten Ladesäulen auch nur von seinen Kunden und mit seinen eigenen Produkten genutzt werden kann. Auf der anderen Seite ist es auf Dauer nicht zielführend, wenn jeder Hersteller sein eigenes Konzept installiert, da dadurch eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme langfristig koexistieren müsste.

### **3.2.3 Leichtbau**

Ein leichteres Fahrzeug bringt nicht nur für Elektrofahrzeuge Vorteile. Auch konventionelle, mit Verbrennungsmotor betriebene Fahrzeuge können Energie einsparen, wenn sie leichter sind. Aus diesem Grund mahnen Experten, den Leichtbau auch in Zukunft weiter engagiert voran zu treiben und ihn nicht im Zuge der Entwicklung von elektrischen Komponenten aus dem Auge zu verlieren. Viele der Technologien sind schon sehr weit ausgereift, da sie schon im großen Maßstab Anwendung finden. Ein Thema, das sich in Zukunft stärker in der Automobilproduktion durchsetzen könnte, sind Faserverstärkte Kunststoffe, wobei den Kohlefasern hierbei am meisten Potential zugesprochen wird. Für eine flächendeckende Anwendung sehen die Experten noch Bedarf in den Produktionsverfahren. Auch im Bereich der Simulation, insbesondere der Simulation von hochdynamischen Vorgängen, wie sie zum Beispiel im Crash-Fall auftreten, gibt es noch einen erheblichen Forschungsbedarf. Um, über den Betrieb des Fahrzeuges hinausgehend, eine positive Lebenszyklusanalyse dieser Bauteile gewährleisten zu können, sollten auch nachhaltige Recyclingkonzepte in zukünftigen Überlegungen immer eine Rolle spielen.

### **3.2.4 Fahrzeugkonzepte**

Bei einem Vergleich von Fahrzeugen auf amerikanischen Straßen und Fahrzeugen, wie sie in Europa gefahren werden, ist vor allem die Fahrzeuggröße ein herausstechender Unterschied. Während in Europa viele Kompaktwagen und Mittelklasselimosinen das Bild bestimmen, sind es in Nordamerika große Fahrzeuge, oftmals SUVs und Pick-Ups, welche einen Großteil ausmachen. Je größer und schwerer ein Fahrzeug ist, desto mehr Energie benötigt es und desto größer muss, bei einem rein-elektrischen Fahrzeug, die Batterie ausgelegt sein, um eine ausreichende Reichweite sicherstellen zu können. Da das mit erheblichen Kosten verbunden ist, dreht sich vieles um die Frage, wie zukünftige Fahrzeuge, besonders elektrifizierte Fahrzeuge, in Nordamerika ausgestaltet sein werden. Hierbei geht die Meinung der Experten weit auseinander.

Auf der einen Seite ist man der Meinung, dass die Fahrzeuge auch in Zukunft ähnliche, wenn nicht gar größere Ausmaße annehmen werden, wie das heute schon der Fall ist. Hierbei geht man davon aus, dass der Anteil an rein-elektrischen Fahrzeugen eher gering sein wird und der Markt vielmehr von Hybrid-Fahrzeugen bestimmt wird. Konzepte, wie das Model S der Firma Tesla werden hierbei nicht als ein Massenmarkt-fähiges Fahrzeug angesehen. Vielmehr werden derartige Fahrzeuge auch in Zukunft Kunden ansprechen, die über ein gewisses Vermögen und einen gesellschaftlichen Status verfügen.

Auf der anderen Seite sind viele Experten davon überzeugt, dass die Käufer in Nordamerika in Zukunft kleinere, kompakte Fahrzeuge kaufen werden, die zu einem erheblichen Anteil hochgradig elektrifiziert sein werden. Hierbei spielen rein-elektrische und Range-Extender Fahrzeuge eine sehr wichtige Rolle.

Einigkeit herrscht hingegen bei der Meinung, dass es deutlich einfacher und auch wirtschaftlich sinnvoller sei, mit kleineren elektrifizierten Fahrzeugen zu fahren.

Zwei Entwicklungsrichtungen können bezüglich dem Elektrofahrzeugkonzept unterschieden werden: das Purpose Design und Conversion Design. Unter den Experten war man sich nicht einig, welches Designkonzept erfolgsversprechender ist: die komplette Neukonzeptionierung eines Elektroautos bzw. der wesentlichen Fahrzeugkomponenten wie im Purpose Design oder das Zurückgreifen auf bestehende Fahrzeugkarosserien, wie es im Conversion Design gehandhabt wird. Für das Entwickeln eines neuen

Fahrzeugkonzepts spräche, dass das Elektrofahrzeug an sich ein völlig neues Mobilitätserlebnis für die Nutzer ist, welches auf Basis der Bedürfnisse der Nutzer entwickelt werden sollte. Auch der Vorteil, dass ein komplett neues Fahrzeugdesign einen äußerlichen Wettbewerbsvorteil bringt, wurde genannt. Hierbei war vor allem die Tatsache, dass ein Fahrzeug direkt als Elektrofahrzeug und damit als neu, modern und innovativ erkannt werden kann, genannt.

Das sogenannte Conversion Design, welches keine Neuentwicklung der Fahrzeugkarosserie vorsieht, ist in der Entwicklung wesentlich kostengünstiger. Auf Grund der geringeren Entwicklungskosten beim Conversion Design wäre diese Alternative zum jetzigen Zeitpunkt wirtschaftlich sinnvoller, meinten Befürworter. Sie argumentierten auch, dass man durchaus vorhandene Fahrzeugmodelle als Basis nutzen sollte, da Kunden altvertraute Modelle bevorzugen würden. Zudem könnte auf bestehende Produktionslinien zurückgegriffen werden, wodurch eine hohe Auslastung und damit eine kosteneffiziente Produktion sichergestellt werden. Lediglich für den Antriebsstrang und seine Komponenten müssten separate Produktionen aufgebaut werden. Als allgemeine Prognose zur Entwicklung der Fahrzeugvarianten wurde geäußert, dass in den nächsten 10 bis 15 Jahren wohl verschiedene Antriebsarten in der gleichen Modellbaureihe koexistieren werden.

### **3.2.5 Exkurs: Brennstoffzellenfahrzeuge?**

Kontrovers wird auch in Nordamerika über das Thema Wasserstoff diskutiert. Dass Wasserstoff ein geeigneter Energieträger wäre, um Fahrzeuge umweltfreundlich betreiben zu können, ist für den größten Teil der Experten keine Frage. Ob dies jedoch technologisch und wirtschaftlich kurz- bis mittelfristig möglich sein wird, ist wohl noch lange nicht geklärt. Sicher scheint zu sein, dass es keine Konzepte mehr geben wird, bei welchem Wasserstoff in einem Verbrennungsmotor verbrannt wird. Neben der Entwicklung von wirtschaftlichen, kompakten und robusten Brennstoffzellensystemen steht die Industrie besonders bei der Infrastruktur vor ungelösten Problemen. Einige Experten sind der Meinung, dass es erst ein weitflächig ausgebautes Wasserstofftankstellen-Netz geben muss, bevor die Fahrzeuge im großen Stil am Markt angeboten werden können. Andere Experten vertreten den Standpunkt, dass schon eine kleine, lokal begrenzte Anzahl an Wasserstofftankstellen ausreichen würde, um die ersten Fahrzeuge an private Kunden verkaufen zu können. Das Tankstellen-Netz müsste dann gemächlich mit der steigenden Zahl von Fahrzeugen im Markt vergrößert werden. Neben diesen beiden Ansichten gibt es auch Stimmen, die sagen, dass Wasserstofffahrzeuge kurz- und mittelfristig überhaupt keine Option für Privatkunden darstellen werden. Lediglich Zulieferfahrzeuge und Fahrzeuge, die in einem sehr eingeschränkten Areal betrieben werden, könnten mit Brennstoffzellen-Antrieben ausgestattet werden, wobei die Versorgung über eine zentrale Tankstelle sichergestellt werden sollte.

Auch die Möglichkeit, große LKWs, welche hauptsächlich lange Strecken zurücklegen, mit Brennstoffzellensystemen auszustatten, stößt auf geteilte Meinungen. Für einige Experten stellt das eine kurz- bis mittelfristige Alternative dar, für andere Experten kommt das nicht in Frage, da auf der einen Seite das Brennstoffzellen- sowie das Wasserstoff-Tank-System sehr teuer würden und auf der anderen Seite der Einsatz dieser Fahrzeuge auf Strecken begrenzt sei, die eine ausreichende Wasserstoffinfrastruktur aufweisen können. Das bloße Installieren von Wasserstofftankstellen reicht dabei nicht aus. Diese müssen auch mit den entsprechenden Mengen Wasserstoff versorgt werden. Ob Pipelines hierbei die einzige Lösung sind, darauf wollten sich die Experten nicht festlegen. Auch wenn weitere Lösungen (Transport des Wasserstoffs per LKW, Erzeugung des Wasserstoffs vor Ort) wohl nicht praktikabel seien.

## 4 Fazit

Nach Meinung der nordamerikanischen Elektromobilitäts-Experten hatten die monetären und nicht-monetären staatlichen Fördermaßnahmen, welchen den Kunden beim Kauf eines elektrifizierten Neufahrzeugs unterstützen, den größten Einfluss auf die positive Entwicklung der Elektromobilität. Neben den gewährten finanziellen Zuschüssen wurde hier besonders der Zugang zu Fahrspuren, welche sonst nur von Fahrzeugen genutzt werden dürfen, die mit mehreren Personen genutzt werden, hervorgehoben.

Dennoch darf nicht außer Acht gelassen werden, dass auch im Bereich der Forschung und Entwicklung große Anstrengungen unternommen wurden. Es wurden Technologien entwickelt, welche Fahrzeuge hervorgebracht haben, die den Bedürfnissen der Kunden gerecht werden.

Die Neugier nach Neuem und der Drang zum Neuen helfen, besonders in Kalifornien, neue Technologien im Markt zu platzieren. So schafft man mit einer schon recht breiten, innovativen Kundengruppe, eine frühe Sichtbarkeit für alternative Fahrzeuge, wodurch diese in den Alltag integriert werden, was hilft, Vorbehalte konservativerer Kunden frühzeitig abzubauen.

Wie sich die Elektromobilität in Zukunft entwickeln wird, kann nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden. Gerade die Unsicherheit bei staatlichen Maßnahmen zur Schaffung von Kaufanreizen lässt die Experten bei Vorhersagen und Prognosen zögern. Dennoch sind sich alle einig, dass die Elektromobilität auf lange Sicht eine Erfolgsgeschichte darstellt. Ob die Fahrzeuge dabei rein batterie-elektrisch, als Hybride oder mit Brennstoffzellen-Antrieb über die Straßen rollen werden, hängt von vielen Faktoren ab. Hauptsächlich wohl von der technischen Entwicklung bei Batterie-Systemen, der Brennstoffzellen und der Wasserstoffinfrastruktur.

Bei Fragen und/ oder Anregungen wenden Sie sich jederzeit gerne an

Matthias Klötzke

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Institut für Fahrzeugkonzepte | Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

Telefon +49 (0)711 6862 8092

Telefax +49 (0)711 6862 258

[Matthias.Kloetzke@dlr.de](mailto:Matthias.Kloetzke@dlr.de)

Arne Hörtl

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Institut für Verkehrsforschung | Personenverkehr  
Rutherfordstraße 2  
12489 Berlin

Telefon +49 (0)30 67055-267

Telefax +49 (0)30 67055-283

[Arne.Hoelt@dlr.de](mailto:Arne.Hoelt@dlr.de)



## **STROM – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität**

Dokument zur internen Verwendung für die STROM-Projekte  
„Schlüsseltechnologien der Elektromobilität“ des BMBF

Arbeitspapier der STROMbegleitung  
**Ergebnisse der Forschungseise Japan**

Benjamin Frieske<sup>1</sup>, Matthias Klötzke<sup>1</sup>, Hanna Hüging<sup>2</sup>, Thorsten Koska<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK)  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

<sup>2</sup>Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie  
Döppersberg 19  
42103 Wuppertal

August 2013

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Durchführung der Reisen .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>5</b>
3.1	Erkenntnisse zu den Rahmenbedingung der Elektromobilität in Japan.....	5
3.2	Erkenntnisse zu den Schlüsseltechnologien .....	8
<b>4</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>10</b>

# 1 Einleitung

Im Rahmen der STROM-Begleitforschung fand eine Forschungsreise nach Japan statt. Vertreter des DLR und des Wuppertal Instituts führten dort Interviews mit regionalen Akteuren der Elektromobilität durch. Die Forschungsreisen, die auch in weiteren Regionen durchgeführt werden (USA, Europa, China, Indien), sind zentrale Elemente zweier Themenbereiche der STROM-Begleitforschung: Zum einen der Trendanalyse zu Fahrzeugtechniken und –konzepten, die spezifisch auch die internationalen Trends in der Fahrzeugtechnik betrachtet, und zum anderen des weltweiten Monitorings der Elektromobilitätsarena, welches detaillierte Regionalstudien in den entsprechenden Ländern umfasst.

Entsprechend der verschiedenen Inhalte der beiden Themenbereiche wurden unterschiedliche Akteure interviewt.

Die Interviews, die im Rahmen der Regionalstudie Japan geführt wurden, fokussierten sich dementsprechend auf folgende vier Bereiche

- Politischer Rahmen und Strategien (z.B. Förderprogramme und –budgets, Standards und Regularien, Infrastruktur und Stromwirtschaft)
- Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte (z.B. Forschungsthemen, Organisation der Elektromobilitätsforschung, Kooperation zwischen den Akteuren)
- Wirtschaft und Industrie (z.B. zentrale Hersteller von Elektroautos, Fahrzeugmodelle, Strategien, Geschäftsmodelle der Elektromobilität im weiteren Sinne)
- Marktstruktur Verbraucher (z.B. derzeitige Bestand von Elektrofahrzeug und Verkaufstrends, Akzeptanz von Elektrofahrzeugen, derzeitige Nutzer)

Im Rahmen der Regionalstudie dienen die vor Ort Interviews zum einen dazu Informationen zu erhalten, die über die von den Regionalpartnern erstellten Studien hinausgehen. Insbesondere in Themenfeldern, die nur zum Teil durch öffentliche Dokumente abgedeckt werden können, sind die Interviews eine zentrale Erkenntnisquelle. Zum anderen werden bisherige Erfahrungen und Einschätzungen zur weiteren Entwicklung in den Themenfeldern abgefragt.

Die Interviews, die im Rahmen des internationalen Technologiemonitorings geführt wurden, thematisierten insbesondere Fragestellungen zur Forschungslandschaft, zu Trendentwicklungen und zum Stand der Technik verschiedener Schlüsseltechnologien der Elektromobilität in der spezifischen Weltregion und im Vergleich zu weiteren Weltregionen thematisiert. Die Schlüsseltechnologiefelder umfassen:

- Fahrzeugkonzept (mit detaillierten Fragen z.B. zu Antriebsstrang-Architekturen)
- Leistungselektronik (z.B. Halbleiter-Materialien)
- Elektrische Maschine (z.B. Substitution Permanentmagnete)
- Thermomanagement (z.B. Luftkühlung) und
- Leichtbau (z.B. Bauweisen und Materialien)

Neben diesen Schwerpunktfeldern wurden je nach Interviewpartner z.T. auch Fragestellungen zu Brennstoffzellen-Systemen und Traktionsbatterien aufgegriffen.

Die Ergebnisse der Interviews dienen dazu, die im Rahmen des Technologie-Monitorings identifizierten Forschungsschwerpunkte einzuordnen und bewerten zu können. Weiterhin dienen die Ergebnisse dazu, die Ausrichtung des Monitorings für die weitere Projektlaufzeit fokussieren oder ggfs. auf weitere, neuartige technologische Lösungen erweitern zu können. Die im Rahmen des Technologiemonitorings durchgeführten Interviews haben einen hohen technischen Detailfokus, gehen damit über die in den

beauftragten Regionalstudien identifizierten Fragestellungen hinaus und ergänzen diese auf technologischer Ebene.

Nachfolgend wird ein Überblick über die Interviewpartner von verschiedenen Institutionen gegeben und die Expertenaussagen werden zusammengefasst.

## **2 Durchführung der Reisen**

Im Zeitraum vom 02.06. – 07.06.2013 wurde in Japan mit insgesamt 36 Vertretern von 14 verschiedenen lokalen Institutionen gesprochen. Dabei handelte es sich um Automobilhersteller bzw. Automobilverbände und Dachorganisationen, Forschungsinstitute sowie Ministerien und öffentliche Verwaltungen. Neben Interviews in Tokio wurden einige der Interviews bei Unternehmen, Forschungseinrichtungen vor Ort im Großraum Nagoya und Kyoto durchgeführt. Die Ergebnisse der Interviews werden anonymisiert behandelt.



### **3 Ergebnisse**

Die Entwicklung der Elektromobilität ist in Japan schon sehr weit fortgeschritten. Zum einen kam das erste wirkliche Volumen-Hybrid-Fahrzeug mit dem Toyota Prius aus Japan, zum anderen wird die Marktdurchdringung durch Kaufanreize von der Regierung gefördert ; auf diese Weise konnte die Akzeptanz für diese Technologien gesteigert werden.

Nachfolgend werden zunächst die auf den Interviews basierenden Erkenntnisse zu den Rahmenbedingung für Elektromobilität in Japan dargestellt und im Weiteren Einblicke hinsichtlich der einzelnen Technologiefelder gegeben.

#### **3.1 Erkenntnisse zu den Rahmenbedingung der Elektromobilität in Japan**

Die japanische Regierung hat sich ambitionierte Ziele für die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen gesetzt. Bis 2020 sollen BEV und PHEV einen Anteil von 15% an den Verkäufen neuer Fahrzeuge haben. Zurzeit liegt ihr Anteil bei 1% bis 2%. Weiterhin wurden hohe Ziele für die Entwicklung der Ladeinfrastruktur gesetzt. Bis 2020 sollen 2 Millionen reguläre Ladepunkte und 5.000 Schnellladepunkte in Japan entstehen. Bislang hat Japan mit ca. 1700 öffentlichen Schnellladepunkten schon eine vergleichsweise hohe Anzahl.

Als Hauptmotiv für die Förderung von Elektromobilität wird, von den befragten Interviewpartner aus dem politischen Bereich, insbesondere eine erhöhte Energiesicherheit genannt. Daneben sind die Stärkung der nationalen Automobilindustrie sowie Klima- und Umweltschutzaspekte weitere Treiber. Die Motivation dazu, Elektromobilität voranzutreiben ist nach der Katastrophe von Fukushima weiter gestiegen. Elektrofahrzeuge werden als möglicher zukünftiger Stromspeicher gesehen, um im Fall von Stromausfällen eine Notversorgung bereitzustellen. Im Rahmen dieses „Vehicle-to-X“ Konzeptes wird zunächst eine Versorgung für einzelne Geräte (z.B. Laptop, Handy etc.) gesehen, weiter wird die Versorgung von einzelnen Haushalten oder Gebäuden gesehen. Eine Netzintegration von Elektrofahrzeugen wird erst sehr langfristig erwartet. Nach Fukushima wurde die Kernenergie in Japan in Frage gestellt. Bis heute gibt es allerdings keine verabschiedete Strategie welche Energiequellen zukünftig zur Stromerzeugung genutzt werden sollen.

Um die ambitionierten Ziele hinsichtlich der Elektromobilität zu erreichen, setzt die japanische Regierung in erster Linie auf Subventionen. Kaufanreize für Elektrofahrzeuge sollen dazu beitragen, dass Skaleneffekte bei der Produktion erzielt werden können um somit die Kosten für Elektrofahrzeuge langfristig zu senken.

Für rein batterieelektrische und Plug-in-Hybrid-Pkw werden Subventionen im Umfang von 50% der Kostendifferenz zu einem konventionellen Auto beim Kauf von Elektrofahrzeugen angeboten. Neben Pkw werden auch Taxis und Busse bezuschusst, wobei diese sogar 30% bzw. 50% des Gesamtkaufpreises (nicht nur der Kostendifferenz) erhalten. Nationale Zuschüsse werden in einigen Präfekturen noch durch regionale Zuschüsse aufgestockt. Insbesondere in diesen Präfekturen stieg die Zahl der registrierten Elektrofahrzeuge in der Vergangenheit deutlich an. Neben Kaufanreizen haben einige Präfekturen auch Anreize durch Steuererleichterungen oder Reduktion von Park- oder Mautgebühren für Elektrofahrzeuge geschaffen. Diese Anreize spielen laut der befragten Experten bei den Käufern allerdings eine untergeordnete Rolle. Besonders aktiv sind die Präfekturen, die am Demonstrationsprojekt „EV/PHEV Town Concepts“ teilnehmen. Zurzeit nehmen 18 Präfekturen mit verschiedenen Modellprojekten an dem zentralen japanischen Demonstrationsprojekt teil.

Auch bezüglich des Ausbaus der Ladeinfrastruktur setzt Japan auf Subventionen. Auf nationaler Ebene werden bis zu 50% der Investitionskosten über Subventionen abgedeckt. Dazu hat die Regierung im

Steuerjahr 2012 100 Milliarden JPY (ca. 760 Millionen EUR) ausgegeben. Die nationalen Subventionen werden wiederum in einigen Städten oder Präfakturen durch zusätzliche Zuschüsse aufgestockt. Derzeit sind die Ladestationen in erster Linie in den Städten des „EV/PHEV Town Concepts“ installiert. In Japan wird ein Großteil der öffentlichen Ladesäulen von Privatunternehmen betrieben. Die Hälfte der bestehenden Schnellladestationen ist bei Autohändlern installiert. Bei Regierungsgebäuden und Stromversorgern sind ca. jeweils 10% der Stationen aufgestellt. Schnellladestationen an Tankstellen und an Autobahnen machen einen eher geringeren Anteil aus. Der verbleibende Anteil der Stationen befindet sich vor allem bei Hotels, Restaurants oder Supermärkten (Abbildung 1). Hierbei nutzen viele Unternehmen zum Beispiel die Möglichkeit, über Schnellladestationen Kunden in ihre Geschäfte zu locken. So stellt beispielsweise der Einzelhändler „7Eleven“ Schnellladestationen auf seinen Kundenparkplätzen auf, welche genutzt werden können, um während dem Einkauf das Elektrofahrzeug aufzuladen. An den Stationen von Hotels, Restaurants oder Geschäften ist das Laden meist kostenlos, so dass diese Stationen auch häufig genutzt werden auch wenn Heimplademöglichkeiten zur Verfügung stehen.



Abbildung 1: Öffentliche Schnellladestation auf einem "7eleven" Supermarktparkplatz

Im Bereich von Standards für Elektrofahrzeuge hat Japan internationale Standards übernommen. Ein Standard für Hochvoltssysteme in Fahrzeugen ist bereits in Kraft und ein Standard für Batteriesicherheit wird zeitnah implementiert.

Im Vergleich zu dem hohen Budget für Kaufanreize und Ladeinfrastruktur sind die Fördermittel für Forschung und Entwicklung geringer. Fördermittel für Elektrofahrzeuge werden in erster Linie durch das Wirtschaftsministerium (METI) bzw. durch NEDO, welches die Forschungsfinanzierung organisiert, vergeben. Im Steuerjahr 2011 wurden ca. 10,5 Mrd. JPY (ca. 80 Mio. EUR) vom Wirtschaftsministerium für Forschungsprojekte zu Elektrofahrzeugen (v.a. Batterieforschung) bereitgestellt. Insbesondere werden zwei große Projekte zur Entwicklung von innovativen Batterien (Metall-Luft-Batterien) und zur Verbesserung von Li-Ionen Batterien gefördert. Nach Einschätzung der befragten Experten ist Japan in der

Batterieforschung gut bei der Verbesserung von bestehenden Materialkonzepten, aber wenig stark aufgestellt bei der Entwicklung von innovativen Materialien. Bei diesen wird insbesondere die Forschung in Europa als führend angesehen.

Im Bereich der Grundlagenforschung gibt es häufig gute Kooperation zwischen Industrie und universitärer Forschung. Für Forschungsprojekte senden Unternehmen ihre Mitarbeiter zu den Forschungszentren. Die Grundgehälter dieser Mitarbeiter werden dann über die Fördermittel der Regierung getragen und durch die Unternehmen aufgestockt. Bei Forschungsthemen, die näher an der Marktreife sind, ist die Kooperation durch den starken Wettbewerb zwischen den Unternehmen gering.

Es besteht außerdem ein starker internationaler Wettbewerb hinsichtlich der Anwendung von neuen Technologien. Vieles, was in Japan erforscht und entwickelt wurde, wurde letztendlich in anderen Ländern, wie Südkorea, Taiwan oder China, produziert. Die Experten sehen eine große Gefahr für den japanischen Industrie- und Wirtschaftsstandort durch die fehlende Wertschöpfung aus den neu entwickelten Technologien in Japan. Hier einen besseren Schutz für die japanischen Unternehmen zu ermöglichen, ist nach Meinung der Experten eine große Herausforderung für die Zukunft.

Für die japanischen Hersteller von Elektrofahrzeugen stellen neben dem inländischen Markt vor allem die USA und Europa bedeutende Märkte dar. Die Hersteller erwarten bezogen auf die Fahrzeugkosten eine Konkurrenzfähigkeit von PHEV und BEV erst in 10 bis 15 Jahren. Es besteht die Befürchtung, dass die japanischen Subventionen jedoch bereits in den nächsten Jahren eingestellt werden und somit eine Lücke entsteht, die zum Einbruch des Marktes führen könnte.

Im Jahr 2012 waren 20% der neuzugelassenen Pkws in Japan elektrifiziert, wobei es sich dabei zum Großteil um HEV handelt. Genauere Zahlen liegen für 2011 vor: ca. 640.000 HEV, ca. 14.000 BEV und 4.000 PHEV wurden in diesem Jahr zugelassen. Die meisten rein elektrischen oder Plug-In-Hybridfahrzeuge werden dabei privat genutzt. Umweltbewusstsein und Technikaffinität seien laut Experten die stärksten Motivationen der Käufer. Die zukünftige Rolle der verschiedenen elektrifizierten Fahrzeugkonzepte im japanischen Markt muss differenziert betrachtet werden. Generell gibt es in Japan eine Tradition kleiner Autos. Seit dem zweiten Weltkrieg gibt es die sogenannten „Kei Cars“. Diese Fahrzeugklasse erhält Steuervergünstigungen und ist in ländlichen Gegenden von der Pflicht ausgenommen, bei der Registrierung einen Parkplatz für das Auto nachweisen zu müssen. Kei Cars sind in ihrer Größe und Hubraum beschränkt. In Japan werden Kei Cars hauptsächlich als Zweitwagen zum Pendeln genutzt und haben einen Marktanteil von rund einem Drittel. Elektrofahrzeuge wie der Mitsubishi i-Miev ersetzen häufig Kei Cars. Jedoch haben die meisten Haushalte in Japan nur ein Auto, welches dann verschiedenen Einsätzen gerecht werden muss. Wegen dem vielseitigen Einsatz der Fahrzeuge könnte es schwierig werden, hier reine batterieelektrische Fahrzeuge einzusetzen. So wird erwartet, dass die Mehrheit dieser Fahrzeuge, zumindest in der näheren Zukunft, Range-Extender oder PHEVs sein könnten. Aus diesem Grund sieht man für Tokio eher größere und vielseitige Fahrzeuge für die Zukunft auf den Straßen. Jedoch gibt es insbesondere in den Ballungsräumen auch eine Tendenz kein Auto zu besitzen. Das wird auch dadurch beeinflusst, dass man dort einen Parkplatz nachweisen muss, um sich ein Auto anschaffen zu können, egal ob Kei-Car oder größere Autos. Ein Parkplatz kostet in einigen Städten bis zu 50.000 JPY (ca. 380 EUR) im Monat. Bei Car-sharing Anbietern machen Elektrofahrzeuge derzeit nur ca. 1% der Fahrzeuge aus. Gute Einsatzmöglichkeiten für BEV bieten sich auf den kleineren japanischen Inseln. Dort liegt der Kraftstoffpreis zum Teil bis zu 30% über dem der japanischen Hauptinseln, wodurch die Stromer auch von einer Kostenperspektive attraktiv werden. Zudem fällt spielt die limitierte Reichweite dort kaum eine Rolle.

## 3.2 Erkenntnisse zu den Schlüsseltechnologien

Gestützt von Entwicklungen bei der Elektrotechnik in anderen Bereichen hat sich in Japan eine starke Elektrofahrzeug-Industrie entwickelt. Dabei wird die generelle Bedeutung von grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung für eine zukunftsfähige Automobilindustrie als sehr hoch eingeschätzt.

### Leistungselektronik

Bei der Leistungselektronik als Schlüsseltechnologie der Elektromobilität sind verschiedene Forschungsschwerpunkte erkennbar. Das primäre Ziel von japanischen Tier-1-Lieferanten im Bereich Leistungselektronik liegt in der Reduzierung von Volumen und Masse des Systems sowie der Steigerung des Wirkungsgrads und der Temperaturbeständigkeit. So soll in zukünftigen elektrifizierten Fahrzeugen insbesondere die Hochintegration von E-Maschine und Leistungselektronik in einem zentralen System realisiert werden, um Komplexität und Kosten der Verkabelung im Fahrzeug zu reduzieren. Auch Boardnetz-Spannungen auf Seiten der elektrischen Maschinen von bis zu 1000V sind nach Meinung der Experten durchaus vorstellbar. Somit sollen Verluste und damit auch der Kühlaufwand der Leistungselektronik reduziert werden. Mit Hilfe von neuen Halbleiterelementen soll dabei die Notwendigkeit, die Leistungselektronik kühlen zu müssen, gänzlich wegfallen. Hierbei können die japanischen Lieferanten auf ihre langjährige Erfahrung im Bereich der Halbleiter-Technologie zurückgreifen. Leichtere und effizientere Leistungselektronik-Bauteile versprechen sich die Experten insbesondere von der Entwicklung und dem Einsatz neuer Halbleitermaterialien, die als wichtigste „Enabler“ zukünftiger Leistungselektronik-Module gelten. Insbesondere relevant sind dabei Silicium-Carbid (SiC) und Gallium-Nitrid (GaN).

Auch aufgrund der frühzeitigen Förderung dieser Technologie sehen sich japanische Zulieferer im internationalen Vergleich als technologisch führend an. Sehr stark werden dabei die eigene technologische Position sowie die Marktfähigkeit bewertet im Vergleich zu China und Indien, immer noch stark die Position im speziellen Vergleich mit Deutschland. Auf einem ähnlichen Level wird die derzeitige Marktfähigkeit im Vergleich zu den USA eingeschätzt, bei aktuellen und zukünftigen F&E-Aktivitäten wird allerdings ein leichter Nachteil in der Entwicklungsfähigkeit und –geschwindigkeit gesehen. Ein rapider Markthochlauf für leistungselektronische Bauelemente auf SiC-Basis wird bei Hybrid Electric Vehicles (HEV) und Battery Electric Vehicles (BEV) ab dem Jahr 2016 prognostiziert.

Die größten Herausforderungen in der Technologieentwicklung werden neben der Verringerung von Masse und Volumen in der Steigerung der Stromdichte, der Temperaturbeständigkeit sowie der Schaltfrequenzen gesehen, während die Kühlung leistungselektronischer Module auf SiC-Basis dann als unproblematisch angesehen wird. Notwendig ist zudem eine um drei- bis viermalige Reduzierung der Herstellkosten, um so das Niveau konventioneller Si-Module zu erreichen.

Die Forschungslandschaft und -struktur im Bereich Leistungselektronik in Japan wird als nicht optimal angesehen. Universitäten, Forschungseinrichtungen sowie Industrie arbeiten hier nicht eng genug zusammen, sondern forschen oft unabhängig voneinander an speziellen Einzellösungen. Forschungen werden meist losgelöst von konkreten, produktorientierten Anwendungszielen geleistet.

### Elektrische Maschinen

Im Bereich „Elektrische Maschine“ als Schlüsseltechnologie der Elektromobilität werden verschiedene Forschungsschwerpunkte verfolgt, die vor allem die schrittweise Optimierung von bestehenden Traktionsmotoren zum Ziel haben. Die Entwicklung neuer Technologien und alternativer Bauweisen wie z.B. der Transversalflussmaschine sowie Experimente mit Prototypen oder neuartiger Materialien findet im Gegensatz dazu relativ wenig statt. Das Hauptaugenmerk der Forschungen liegt dabei in der Reduzierung oder Substitution von Seltenen Erden in der E-Maschine sowie der Hochintegration von E-Motor und

Leistungselektronik. So wurde beispielsweise bei Nissan der Anteil von Dysprosium im Elektromotor der aktuellen Generation um über 40% im Vergleich zur vorherigen reduziert.

Für zukünftig elektrifizierte Antriebskonzepte werden in Japan zwei verschiedene Forschungsstränge verfolgt, die zum einen auf die Entwicklung von Elektromotoren für relativ kleine und günstig zu produzierende Fahrzeuge („low-cost type“) sowie für große und/oder sehr sportliche Fahrzeuge („performance type“) abzielen. Während bei ersterem der Fokus auf der Optimierung von permanentmagneterregten Synchronmaschinen (PMSM) liegt, um insbesondere den Anteil an Seltenen Erden signifikant zu reduzieren, wird bei letzterem der Forschungsschwerpunkt stark auf die Optimierung der fahrdynamischen Eigenschaften, hoher Effizienz sowie Leistungsdichte gesetzt. Hierbei spielen v.a. sehr kompakte und leistungsstarke Radnabenmotoren eine große Rolle, die über „torque vectoring“ Funktionen herausragende Fahrdynamiken ermöglichen. Zudem wird sehr stark im Bereich der konzentrierten Wicklungen geforscht, da davon ausgegangen wird, dass die Realisierung einer hohen Leistungsdichte der entscheidende Faktor für die Wahl des Traktionsmotors ist. Während Asynchronmaschinen im elektrifizierten Fahrzeug zukünftig in Japan keine Rolle spielen werden, sind stromerregte Synchronmaschinen nur dann eine Option für die Zukunft, wenn die Preise für Seltene Erden zu stark ansteigen. Über eine kontinuierliche Reduktion des Anteils an Seltenen Erden im Elektromotor können diese ab dem Jahr 2030 signifikant an Relevanz gewinnen. Der geschalteten Reluktanzmaschine wird aufgrund von Nachteilen im Bereich NVH (Noise, Vibration, Harshness), Steuerbarkeit und schwieriger Massenproduktion ebenfalls kein Markterfolg prognostiziert.

Im internationalen Vergleich sieht sich Japan im Bereich F&E für Elektromotoren stark bis sehr stark aufgestellt. So wird der Vorsprung gegenüber den USA, China, Deutschland und insbesondere Indien in der technologischen Position generell gesehen, vor allem aber in Forschungen zur Anwendung und Substitution von Seltenen Erden (Neodym) sowie der Analyse und Optimierung des magnetischen Felds und Flusses.

Generell liegen die größten Herausforderungen in der Technologieentwicklung neben der Verringerung von Masse und Volumen in der Steigerung des Wirkungsgrads über einen weiten Drehzahlbereich, der Leistungsdichte und erhöhten Temperaturbeständigkeit. **Leichtbau**

Beim Leichtbau gibt es in Japan ein ähnliches Meinungsbild wie in Deutschland. Aktuell werden in Japan schon erste Komponenten aus Faserverbund hergestellt, hauptsächlich bei Sportwagen der Oberklasse. Der Markt wird allerdings noch eindeutig von metallischen Werkstoffen dominiert. Für die Zukunft sehen die Entwickler aber ein großes Potential, gerade für CFK zusammen mit anderen, oftmals weiterhin metallischen Werkstoffen, in einem intelligenten Materialmix, auch bei Fahrzeugen im Massenmarkt zur Gewichtsreduzierung beizutragen. Um dies zu erreichen müssen die Produktionsprozesse günstiger und stabiler werden sowie die Simulation, gerade von hochdynamischen Vorgängen, wie sie beim Crash vorkommen, verbessert werden.

### **Fahrzeugkonzepte**

Für die Fahrzeugkonzepte können in Japan einige Interessante Erkenntnisse gewonnen werden. Fahrzeugen mit Wasserstoff-Antrieb werden in Japan gute Chancen, auch auf dem Massenmarkt erfolgreich zu sein, eingeräumt. Neben den Fahrzeugen, die von zahlreichen japanischen Unternehmen, teilweise in Kooperation mit anderen Unternehmen aus Übersee, entwickelt werden, soll im Großraum Tokio in naher Zukunft ein flächendeckendes Wasserstoff-Tankstellen-Netz aufgebaut werden.

## 4 Fazit

Die Einführung der Elektromobilität ist in Japan im Vergleich zu Deutschland schon wesentlich weiter fortgeschritten. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass die ersten Hybrid- und Batterie-Elektrischen Fahrzeuge, die in großer Stückzahl auf dem Neuwagenmarkt verfügbar waren, von japanischen Herstellern kamen. Zum anderen ist auch der Aufbau der Ladeinfrastruktur in Japan weiter vorangeschritten als in Deutschland. Technologisch gesehen hat Japan den Vorteil, dass, gerade im Bereich der Leistungselektronik, viele Technologieführer in Japan zu finden sind. Generell sieht sich Japan sehr gut gerüstet im Hinblick auf zukünftige Herausforderungen im Zusammenhang mit der Elektromobilität. Allerdings sehen die japanischen Experten auch die Gefahr, dass die Technologien, welche in Japan entwickelt werden, nicht in Japan sondern in anderen asiatischen Ländern, wie China, Taiwan oder auch Südkorea, ihren Weg in Produkte finden könnten, wodurch die japanische Wirtschaft nicht an der Wertschöpfung teilhaben könnte, wie es in der Vergangenheit schon des Öfteren vorgekommen ist.

Zur Unterstützung und Einführung der Elektromobilität hält die Regierung zahlreiche Programme bereit. Zum einen werden Käufe von elektrifizierten Fahrzeugen finanziell unterstützt. Zum anderen gibt es Förderprogramme für die Industrie, um neue Technologien und Produkte zu entwickeln. Neben der staatlichen Maßnahmen haben sich in Japan schon einige Geschäftsmodelle rund um die Elektromobilität entwickelt. Ein Großteil der Schnelllade-Infrastruktur wird von Unternehmen aufgebaut, welche diese auf ihren Kundenparkplätzen bereithalten und Kunden ein sehr kostengünstiges Aufladen der Batterie während dem Aufenthalt z.B. im Supermarkt oder Restaurant anbieten. Neben der Infrastruktur für Elektrofahrzeuge arbeitet Japan auch an einem Auf- und Ausbau der Infrastruktur für Wasserstoff, um auch Brennstoffzellenfahrzeuge für den Massenmarkt attraktiv zu machen. Auch hier haben Hersteller schon erste Fahrzeugvarianten, welche in kürze in großem Stil eingeführt werden soll.

Durch die große Anzahl an Automobilherstellern, die eine steigende Anzahl an Elektrofahrzeugen in ihrem Angebot haben, sowie den voranschreitenden Aufbau der Infrastruktur, sind in Japan in naher Zukunft große Erfolge in der Marktdurchdringung elektrifizierter Fahrzeugkonzepte zu erwarten.

Bei Fragen und/ oder Anregungen wenden Sie sich jederzeit gerne an

Matthias Klötzke

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Institut für Fahrzeugkonzepte | Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

Telefon +49 (0)711 6862 8092

Telefax +49 (0)711 6862 258

[Matthias.Kloetzke@dlr.de](mailto:Matthias.Kloetzke@dlr.de)

Hanna Hüging

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie  
Forschungsgruppe 2: Energie-, Verkehrs- und Klimapolitik  
Döppersberg 19  
42103 Wuppertal

Telefon: + 49 202 24 92-246

Telefax: + 49 202 24 92-250

[hanna.hueging@wupperinst.org](mailto:hanna.hueging@wupperinst.org)



## **STROM – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität**

Dokument zur internen Verwendung für die STROM-Projekte  
„Schlüsseltechnologien der Elektromobilität“ des BMBF

Arbeitspapier der STROMbegleitung  
**Ergebnisse der Forschungseise China**

Matthias Klötzke<sup>1</sup>, Stefan Trommer<sup>2</sup>, Philipp Hillebrand<sup>3</sup>

<sup>1</sup>DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK)  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

<sup>2</sup>DLR Institut für Verkehrsforschung (DLR-VF)  
Rutherfordstraße 2  
12489 Berlin

<sup>3</sup>Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie  
Döppersberg 19  
42103 Wuppertal

Juli 2014



<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Durchführung der Reisen</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>5</b>
3.1	Erkenntnisse zu den Rahmenbedingung der Elektromobilität in China .....	5
3.2	Erkenntnisse zu den Schlüsseltechnologien .....	9
<b>4</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>14</b>

# 1 Einleitung

Im Rahmen der STROM-Begleitforschung fand eine Forschungsreise nach China statt. Vertreter des DLR und des Wuppertal Instituts führten dort Interviews mit regionalen Akteuren der Elektromobilität durch. Die Forschungsreisen, die auch in weiteren Regionen durchgeführt werden (USA, Europa, Japan, Indien), sind zentrale Elemente zweier Themenbereiche der STROM-Begleitforschung: Zum einen der Trendanalyse zu Fahrzeugtechniken und -konzepten, die spezifisch auch die internationalen Trends in der Fahrzeugtechnik betrachtet, und zum anderen des weltweiten Monitorings der Elektromobilitätsarena, welches detaillierte Regionalstudien in den entsprechenden Ländern umfasst.

Entsprechend der verschiedenen Inhalte der beiden Themenbereiche wurden unterschiedliche Akteure interviewt.

Die Interviews, die im Rahmen der Regionalstudie China geführt wurden, fokussierten sich dementsprechend auf folgende vier Bereiche

- Politischer Rahmen und Strategien (z.B. Förderprogramme und -budgets, Standards und Regularien, Infrastruktur und Stromwirtschaft)
- Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte (z.B. Forschungsthemen, Organisation der Elektromobilitätsforschung, Kooperation zwischen den Akteuren)
- Wirtschaft und Industrie (z.B. zentrale Hersteller von Elektroautos, Fahrzeugmodelle, Strategien, Geschäftsmodelle der Elektromobilität im weiteren Sinne)
- Marktstruktur Verbraucher (z.B. derzeitige Bestand von Elektrofahrzeug und Verkaufstrends, Akzeptanz von Elektrofahrzeugen, derzeitige Nutzer)

Im Rahmen der Regionalstudie dienen die vor Ort durchgeführten Interviews zum einen dazu, Informationen zu erhalten, die über die von den Regionalpartnern erstellten Studien hinausgehen. Insbesondere in Themenfeldern, die nur zum Teil durch öffentliche Dokumente abgedeckt werden können, sind die Interviews eine zentrale Erkenntnisquelle. Zum anderen werden bisherige Erfahrungen und Einschätzungen zur weiteren Entwicklung in den Themenfeldern abgefragt.

Die Interviews, die im Rahmen des internationalen Technologiemonitorings geführt wurden, thematisierten insbesondere Fragestellungen zur Forschungslandschaft, zu Trendentwicklungen und zum Stand der Technik verschiedener Schlüsseltechnologien der Elektromobilität in der spezifischen Weltregion und im Vergleich zu weiteren Weltregionen thematisiert. Die Schlüsseltechnologiefelder umfassen:

- Fahrzeugkonzept (mit detaillierten Fragen z.B. zu Antriebsstrang-Architekturen)
- Leistungselektronik (z.B. Halbleiter-Materialien)
- Elektrische Maschine (z.B. Substitution Permanentmagnete)
- Thermomanagement (z.B. Luftkühlung) und
- Leichtbau (z.B. Bauweisen und Materialien)

Neben diesen Schwerpunktfeldern wurden je nach Interviewpartner z.T. auch Fragestellungen zu Brennstoffzellen-Systemen und Traktionsbatterien aufgegriffen.

Die Ergebnisse der Interviews dienen dazu, die im Rahmen des Technologie-Monitorings identifizierten Forschungsschwerpunkte einzuordnen und bewerten zu können. Weiterhin dienen die Ergebnisse dazu, die Ausrichtung des Monitorings für die weitere Projektlaufzeit fokussieren oder ggfs. auf weitere, neuartige technologische Lösungen erweitern zu können. Die im Rahmen des Technologie-Monitorings durchgeführten Interviews haben einen hohen technischen Detailfokus, gehen damit über die in den

beauftragten Regionalstudien identifizierten Fragestellungen hinaus und ergänzen diese auf technologischer Ebene.

Nachfolgend wird ein Überblick über die Interviewpartner von verschiedenen Institutionen gegeben und die Expertenaussagen werden zusammengefasst.

## **2 Durchführung der Reisen**

Im Zeitraum vom 13.04. – 18.04.2014 wurde in China mit insgesamt 19 Vertretern von 9 verschiedenen lokalen Institutionen gesprochen. Dabei handelte es sich um Automobilhersteller bzw. Automobilverbände und Dachorganisationen, Forschungsinstitute sowie Ministerien und öffentliche Verwaltungen. Neben Interviews in Shanghai wurden einige der Interviews bei Unternehmen und politischen Einrichtungen vor Ort in Peking durchgeführt. Darüber hinaus nahm das Wuppertal Institut an einer Delegationsreise der Energieagentur NRW teil. Die Ergebnisse der Interviews werden anonymisiert behandelt und spiegeln nicht zwangsläufig die Meinungen und Aussagen aller Interviewpartner sowie der durch sie vertretenen Institutionen wider.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Erkenntnisse zu den Rahmenbedingungen der Elektromobilität in China

China ist der weltweit größte Markt für motorisierte Fahrzeuge. Aktuell sind ca. 126 Millionen Fahrzeuge zugelassen und jährlich werden ca. 20 Millionen neue Fahrzeuge verkauft. Es wird erwartet, dass die Verkaufszahlen bis 2020 auf 31 Millionen Neufahrzeuge steigen wird, während sich der Bestand auf 281 Millionen Fahrzeuge mehr als verdoppelt.

Der Status der Elektromobilität ist in China stark abhängig von der Region sowie dem Fahrzeugsegment. Zum einen gibt es zukunftsorientierte, innovative Regionen, in welchen es bereits einen hohen Anteil an elektrifizierten Fahrzeugen im öffentlichen Verkehr (wie z.B. Busse und Taxen) gibt, um die Umweltauswirkungen des öffentlichen Personentransports zu reduzieren. Hierfür werden häufig Mittel des Regierungsprogramms „10/25 Städte - 1.000 Einheiten“ („10 cities and 1000 units“) verwendet. Im Vergleich zum privaten Bereich, konnten die Kaufanreize zehnmal höhere Verkaufszahlen von elektrifizierten Fahrzeugen anregen.

Ein weiterer wichtiger Markt in China sind die kleinen drei- und vierrädrigen Fahrzeuge, so genannte „Low-Speed-Fahrzeuge“. Diese Fahrzeuge finden einen sehr weit verbreiteten Einsatz im Personen- und Gütertransport in Entwicklungs- und Schwellenländern wie China. Derzeit sind ungefähr 100.000 dieser „Low-Speed-Fahrzeuge“ in China zugelassen.

Der Bereich der alternativen Antriebe wird in China „New Energy Vehicles“ (NEV) genannt. Hierzu zählen rein Batterie-elektrische Fahrzeuge (BEV), Plug-In Hybrid-Fahrzeuge (PHEV) sowie Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV). Hierbei benötigen PHEVs in den meisten Provinzen eine Reichweite von mindestens 50km. Anfang 2014 waren insgesamt 40.000 NEVs registriert, wovon 20.000 in 2013 neu zugelassen wurden.

#### **Die Motivation hinter der Markteinführung von NEVs**

Bei den Motiven für die Elektromobilität in China sind sich die Experten größtenteils einig. Im Augenblick steht nicht die Reduktion der Treibhausgasemissionen im Fokus. Vielmehr soll die chinesische Automobilindustrie verbessert und wettbewerbsfähiger gemacht werden. Die Möglichkeit, eine Technologie-Führerschaft bei einer der Schlüsselkomponenten (Batterie, Leistungselektronik und elektrische Maschine) zu übernehmen ist der am häufigsten genannte Grund. Zudem wird die Abkehr von der Abhängigkeit von Rohöl sowie die Minderung von Emissionen, insbesondere in urbanen Räumen mit hoher Luftverschmutzung, häufig genannt.

Die Experten vertreten die Einschätzung, dass die Elektromobilität einen positiven Einfluss auf die Sicherheit der Energieversorgung haben wird. Aktuell ist China stark abhängig von Rohölimporten. Ein Experte verwies zudem darauf, dass die Möglichkeiten aus dem Fracking, zehn Jahre nach den ersten Förderungen, inzwischen schon weitestgehend ausgeschöpft seien. Durch einen höheren Anteil von erneuerbaren Energiequellen könnte sich ein positiver Effekt noch verstärken, insbesondere hinsichtlich der Verminderung der Luftverschmutzung in den Ballungsräumen. So verwiesen manche Experten auf die regionale Abhängigkeit des Einflusses der Elektromobilität auf die Luftverschmutzung. In den drei größten Regionen Chinas fällt 80% des gesamten straßengebundenen Transportvolumens an. In diesen Regionen könnte somit die Elektromobilität gemeinsam mit einem Ausbau von erneuerbaren Energien den größten Einfluss haben. Im Augenblick ist die Stromerzeugung hauptsächlich durch Kohle realisiert, wobei im Süden ein größerer Anteil an erneuerbaren Energien im Strom-Mix zu finden ist, als im Norden. Ein Grund, warum einige Experten Skepsis gegenüber den Auswirkungen der Elektromobilität auf die

Luftverschmutzungen haben, ist, dass die direkten Auswirkungen auf die Luftqualität durch Kraftwerke und Fabriken als weitaus höher eingeschätzt werden als die Emissionen aus dem Verkehrssektor.



Abbildung 1: Eine Smartphone App zur Anzeige der Luftverschmutzung in Peking

Die Frage, ob China eine Technologie-Führerschaft im Bereich der Entwicklung und Produktion der Schlüsselkomponenten übernehmen könnte, führte zu angeregten Diskussionen. China könne, so die Einschätzung der Experten, weltweit führend im Bereich von Technologien werden, bei denen die Anforderung an Qualität und Performance nicht so hoch seien. Solche Technologien haben einen großen Marktanteil im Transportsektor in Entwicklungs- und Schwellenländern.

### **Kundenanforderungen und erste Märkte**

In China gibt es ungefähr 120 Millionen Roller und Motorräder. Da es hier, dank politischer Vorgaben, bereits einen hohen Anteil an elektrifizierten Fahrzeugen gibt, sind die Menschen schon an die Elektromobilität gewöhnt. Durch bezuschusste Strom-Lieferungen für Privathaushalte ist es ökonomisch sinnvoll, sich elektrisch fortzubewegen. Jedoch sind die Anforderungen an elektrische Autos andere. Selbst bei Kunden aus dem Oberklasse-Segment haben nur 5-10% eine Garage oder einen eigenen, fest zugewiesenen Parkplatz, welcher ein wichtiges Kriterium für die Anschaffung eines Elektroautos darstellt. Zudem sind die Fahrprofile chinesischer Kunden stark schwankend und die Verbreitung von Führerschein in der Bevölkerung ist deutlich geringer als in anderen Ländern. Darüber hinaus besitzen viele Haushalte lediglich ein Fahrzeug, wodurch viele der Fahrten spontan durchgeführt werden und schwer zu planen sind. Hierbei muss auch das eine Fahrzeug im Besitz allen Anforderungen gerecht werden. Da eine öffentliche Ladeinfrastruktur noch nicht flächendeckend vorhanden ist und durch die hohen Anforderungen der Kunden an die Flexibilität, scheinen Batterie-elektrische Fahrzeuge im Augenblick noch ein Nischenprodukt zu sein. Da Plug-In Hybride nicht von der Ladeinfrastruktur abhängen, wird ihnen von Seiten der Experten ein großes Potential voraus gesagt.

Aufgrund der bei Privatkunden in naher Zukunft nur schwachen Nachfrage, sehen die meisten Experten öffentliche Flotten als ein sinnvolles Mittel, die Elektromobilität in China zu etablieren und wie es in einigen Regionen durch staatliche Programme unterstützt (bei z.B. Bussen und Taxen), schon passiert ist. Allein zwei Millionen Fahrzeuge sind in China auf die Regierung zugelassen. Diese staatliche Flotte wurde in den letzten Jahren nur sehr zögerlich elektrifiziert. Jedoch wird von der Zentralregierung inzwischen der

Druck erhöht, diesen Anteil zu steigern, wodurch die Experten erwarten, dass bei neuen Fahrzeugen für diese Flotten der Anteil an NEVs signifikant steigen wird. So plant Peking einen Anteil von 30% in seiner Regierungsflotte.

### **EV Vorgaben und Richtlinien**

Schon 2001 hat die chinesische Regierung ein großes Pilot-Programm aufgesetzt, um in zehn großen Städten die Erforschung und Entwicklung sowie die Markteinführung von Elektrofahrzeugen voran zu treiben. 2010 wurde dieses Programm auf 25 Städte ausgeweitet. Hiervon wurden sechs Städte ausgewählt, in welchen der private Kauf von NEVs finanziell unterstützt wird. 2012 wurden NEVs als einer von sieben neuen strategischen Industriezweigen identifiziert, wodurch umgerechnet mehrere Milliarden Euro in das Programm fließen. Um die lokale Industrie zu schützen werden nur solche Fahrzeuge bei Kaufanreizen berücksichtigt, welche in China gefertigt werden. Die Höhe der Anreize unterscheidet sich von Stadt zu Stadt. Kunden in Hangzhou können umgerechnet bis zu 15.000 Euro für BEVs und etwas weniger für PHEVs von regionalen sowie der zentralen Regierungseinrichtungen erhalten. Einige Städte haben dabei sehr strenge Regulierung für die Neuzulassung von Fahrzeugen, so kann z.B. in Peking eine Person nur ein Fahrzeug anmelden oder die Anmeldung, wie in Shanghai, umgerechnet bis zu 8.000 Euro kosten und es gibt Vergabelotterien für neue Zulassungen. Die Ausnahme von NEVs von diesen Regulierungen, beziehungsweise eine deutliche Besserstellung gegenüber konventionellen Fahrzeugen, ist ein hoher Anreiz für den Kauf von NEVs. So können Kunden in Shanghai, anstatt mehrere Jahre auf die Möglichkeit, ein neues Fahrzeug zu zulassen zu warten, einfach ein BEV anmelden und gleichzeitig noch die Zulassungsgebühren sparen.

Trotz dieser Maßnahmen haben die meisten Städte ihre Ziele noch nicht erreichen können. Insbesondere ist der private Sektor noch deutlich hinter den Erwartungen zurück geblieben. 2012 wurde vom Staatsrat der „Energy Saving and New Energy Vehicle Industry Development Plan“ verabschiedet. Die chinesische Regierung verfolgt dabei das Ziel, bis 2015 500.000 NEVs und bis 2020 fünf Millionen NEVs im Fahrzeugbestand zu haben. Umgerechnet ca. 12 Milliarden Euro an Fördergeldern sollen dabei helfen, diese Ziele zu erreichen.

Die finanzielle Unterstützung für Elektrofahrzeuge wurde im September 2013 reformiert und im Februar 2014 noch einmal angepasst. Die neuen Regelungen für die Anreize, welche durch das Ministerium für Industrie und Informationstechnologie (Ministry of Industry and Information Technology of the Peoples Republic of China, MIIT), das Finanzministerium (Ministry of Finance of the Peoples Republic of China, MOF), das Wissenschafts- und Technologieministerium (Ministry of Science and Technology of the Peoples Republic of China, MoST) und die Nationale Entwicklungs- und Reformkommission (National Development and Reform Commission of the Peoples Republic of China, NDRC) getragen werden heißen zusammengefasst „Inform about the popularization and application of new energy vehicles 2013 ~ 2015“. In den folgenden zwei Jahren nach 2013 liegt der Fokus auf der Verbreitung und Nutzung von NEVs, jedoch nicht nur in den sechs Pilotstädten, sondern im speziellen in Mega-Städten oder Metropolregionen wie der Region Peking-Tianjin-Hebei, dem Yangtze-Delta (Shanghai, Hangzhou, Wuxi und Suzhou) oder dem Perfluss-Delta (Gungzhou, Shenzhen und Hongkong).

Die Demonstrations-Städte müssen einige Bedingungen erfüllen, um eine finanzielle Unterstützung zu erhalten. So muss eine Mega-Stadt zwischen 2013 und 2015 mehr als 10.000 NEVs vorweisen, andere Städte mindestens 5.000. Zudem müssen mehr als 30% nicht-lokaler Hersteller am Markt vertreten sein. So soll sichergestellt werden, dass nicht nur Kunden von regionalen Herstellern, wie es zum Beispiel BYD in Shenzhen ist, von den Förderungen profitieren können. Allerdings werden Fahrzeuge, die nicht in China produziert wurden, weiterhin von der Förderung ausgeschlossen. Auch muss die lokale Regierung

Pläne für die Beschaffung von NEVs und Bussen sowie für den Aufbau von Infrastruktur entwickeln. Städte, die diese Kriterien erfüllen, hatten die Möglichkeit, bis zum 15. Oktober 2013 ihre Pläne einzureichen.

Die finanzielle Förderung hängt bei den Fahrzeugen nicht mehr länger von der Batteriekapazität, sondern von der Reichweite von NEVs ab. Sie sind in drei Kategorien unterteilt (<150km, <250km, >250km). Es existieren auch Fördermaßnahmen bei Bussen (anhängig von der Bus-Länge) sowie für FCEV und PHEV. HEV, also Hybridfahrzeuge ohne externe Lademöglichkeit der Batterie, sind von der Förderung ausgeschlossen.

Die Summe für die Förderung wird von Jahr zu Jahr verringert. 2014 und 2015 werden die Mittel gegenüber 2013 auf 95% bzw. 90% reduziert und sollen im Jahr 2020 komplett auslaufen. Lediglich Busse erhalten über die gesamte Zeit eine konstante Förderung. Diese beläuft sich auf umgerechnet 18.200 Euro für Superkondensator- und Schnellladebusse.

Der Grund, warum China derzeit noch hinter seinen Zielen zurück bleibt, ist nach Ansicht der Experten vor allem auf die fehlende Ladeinfrastruktur zurück zu führen. Auch deshalb halten einige der Experten es für sinnvoll, weiter den öffentlichen Verkehr anstelle des privaten Verkehrs zu elektrifizieren.

Auch nannten einige Experten die Unsicherheit, inwieweit die Regulierungen beibehalten werden und Befürchtungen, dass kurzfristige Änderungen vorgenommen werden können sowie die regional spezifischen Anpassungen als weitere Gründe für die zurückhaltende Marktdurchdringung. Das macht es auch für die Hersteller schwierig, passende Produkte anzubieten. So werden interessierte Kunden eventuell abgeschreckt und greifen doch lieber wieder auf konventionelle Fahrzeuge zurück.



Abbildung 2: Feierabendverkehr an einem Wochentag in Peking

## 3.2 Erkenntnisse zu den Schlüsseltechnologien

Ein großer Teil der Elektrofahrzeuge, die derzeit in China entwickelt und produziert werden, kommen aus chinesisch-westlichen Joint Ventures. Um für die Kaufanreize zugelassen zu werden und um mögliche Strafzölle zu umgehen, muss mindestens eine der Schlüsselkomponenten (Batterie, Leistungselektronik oder elektrische Maschine) direkt innerhalb des Joint Ventures entwickelt und gefertigt werden.

### Leistungselektronik

Die größten Herausforderungen und den bedeutendsten Aufholbedarf bei Elektrofahrzeugen sehen die Experten im Bereich der Leistungselektronik. In der Regel wird diese Komponente aktuell vom westlichen Partner in das Joint Venture eingebracht. In vielen Fällen wird, nach Aussage der Experten, die Leistungselektronik überdimensioniert. Somit wirken die Fahrzeuge sehr innovativ und leistungsfähig, auch da sehr hohe Spannungen erwartet werden (Bauteile haben zum Teil ein mögliches Spannungslevel von 1 kV). Jedoch sind diese Niveaus eher als Reserve zu verstehen, da das Verhalten der Leistungselektronik sehr komplex ist. Insbesondere bei Sicherheitsanforderungen oder im Zusammenhang mit elektromagnetischem Verhalten. Um Bauteile vor Versagen aufgrund von zu hohen Spannungen oder Strömen zu schützen, werden diese oftmals deutlich größer dimensioniert, als es eigentlich notwendig wäre. Auch ein thermisches Versagen soll auf diese Weise ausgeschlossen werden. Somit wird es aber auch deutlich schwieriger, wenn nicht unmöglich, die Leistungselektronik, in, z.B. die elektrische Maschine, zu integrieren, was wiederum zu Lasten der Packaging-Eigenschaften geht. Durch die Überdimensionierung können auch die Produktionskosten höher ausfallen, als das bei einem optimierten System der Fall wäre.

In einigen auf dem chinesischen Markt verfügbaren Fahrzeugen können aber reale Spannungsniveaus von 450V, in Spitzenlastfällen auch bis 500V, identifiziert werden. Die Experten erwarten, dass das Spannungsniveau in den nächsten Jahren weiter ansteigen wird, um effizientere Antriebsstränge möglich zu machen.

Neuartige Technologien und Materialien, wie Silizium-Carbid (SiC) sind laut Experten derzeit nicht Gegenstand der Entwicklungen. Sollten jedoch andere Märkte beginnen, SiC-Bauteile im großen Stil zu verbauen, wodurch die Preise sinken würden, werden auch chinesische Hersteller sehr schnell auf diese Bauteile umsteigen. Hier wird der Vorteil im thermischen Verhalten, welcher sich positiv auf die Anforderungen des Thermomanagements auswirkt, vordergründig genannt. Die Möglichkeit des Bidirektionalen Ladens, also das Rückspeisen der Energie aus der Batterie in das Strom-Netz, wird in naher Zukunft für chinesische Fahrzeuge keine große Rolle spielen, so die Experten. Die Anforderungen an die Leistungselektronik sowie die höhere Belastung für die Batterie sind neben dem erforderlichen Strom-Netz die genannten Hauptgründe.

### Elektrische Maschinen

Einige Experten vertreten die Meinung, dass elektrische Maschinen nicht sondern anspruchsvoll sind. Nach ihrer Ansicht sind die Maschinen von chinesischen Herstellern von der gleichen Qualität wie die Maschinen von Herstellern aus Industrienationen. Dem gegenüber stehen die Einschätzungen von anderen Experten, dass die Anstrengungen, welche im Augenblick von chinesischen Herstellern unternommen werden, hauptsächlich darauf abzielen, existierende Konzepte und Technologien zu verstehen und mit ihnen umgehen zu können. So könnte es noch eine ganze Zeit dauern, bis ausreichende Kompetenzen aufgebaut sind, um Neu- und Weiterentwicklungen im großen Maßstab zu realisieren. Jedoch sind sich die Experten auch nicht sicher, ob es für die chinesische Industrie überhaupt notwendig ist, neue,



fortgeschrittene elektrische Maschinen für die Elektromobilität zu entwickeln. In diesem Zug wird der chinesischen Industrie in manchen Aussagen ein eher geringes Innovationsvermögen bescheinigt. Durch das niedrige Preisniveau auf dem chinesischen Markt sowie die große Anzahl schlecht vernetzter Hersteller, steht, mit wenigen Ausnahmen, nur ein geringes Forschungs- und Entwicklungsbudget zur Verfügung.

Jedoch müssten die elektrischen Maschinen auch nur „gut genug“ sein, um bei einer bestimmten Anwendung zum Einsatz zu kommen. Wie andere Bauteile auch, unterliegen die elektrischen Maschinen einem starken Preisdruck. Zwar befindet sich die chinesische Industrie durch die Versorgungssituation mit seltenen Erden im Vorteil gegenüber internationalen Wettbewerbern im Bereich der Permanentmagneten und somit bei permanent-erregten elektrischen Maschinen, jedoch wird dies nicht als entscheidend angesehen. Neben den Kosten gibt es weitere Kriterien, welche bei der Entwicklung und Auslegung von elektrischen Maschinen eine wichtige Rolle spielen. Laut den Experten sind die Widerstandsfähigkeit, der Komfort (genauer das NVH-Verhalten (Noise-Vibration-Harshness)) und die Leistungsfähigkeit die wichtigsten Aspekte, wobei die Leistungsfähigkeit zum Teil durch eine Überdimensionierung realisiert werden kann. Die Leistungsdichte (sowohl volumetrisch wie auch gravimetrisch), welche sich wiederum auf die Größe und das Gewicht der Maschine auswirkt, spielen eher eine untergeordnete Rolle. Die Effizienz der Maschinen spielt nach Aussage der Experten keine Rolle im Entwicklungsprozess der Fahrzeuge. Hier sollte jedoch erwähnt werden, dass bei permanent-erregten elektrischen Maschinen, wie sie in China häufig zum Einsatz kommen, die Leistungsdichte und die Effizienz im Vergleich zu anderen Konzepten schon sehr gut ist.

Durch eine künstliche Verknappung beim Export von seltenen Erden könnte China Druck auf die konkurrierenden Industrienationen ausüben. Die Experten würden aufgrund der Weiterentwicklung von fremd-erregten Maschinen sowie der Erforschung von Substitutionsmaterialien hierdurch jedoch keinen allzu großen Effekt erwarten. Wegen der Situation in China, welche eine Verfügbarkeit von seltenen Erden weitestgehend sicherstellt, erwarten die befragten Experten keine großen Aktivitäten, weg von permanent-erregten Maschinen hin zu alternativen Konzepten wie Asynchronmaschinen, auch wenn diese in einigen Fahrzeugen eingesetzt werden.

### **Leichtbau**

Nach Aussage der Experten spielt Leichtbau in der Chinesischen Automobilindustrie keine große Rolle. Insbesondere werden keine großen Aktivitäten im Bereich von Faserverbundwerkstoffen erwartet.

### **Fahrzeugkonzepte**

Das uneinheitlichste und widersprüchlichste Meinungsbild zeigte sich auf die Frage nach dem richtigen Fahrzeugkonzept für den chinesischen Markt.

Die Einschätzungen nach einem beobachtbaren Trend bei der Größe von Fahrzeugen gehen weit auseinander. Einige vertreten die Ansicht, dass Fahrzeuge aufgrund der angespannten Verkehrssituation in Zukunft eher kleiner werden. Das wird durch die Tatsache unterlegt, dass ein Verkehr zwischen den Metropolregionen, verglichen mit westlichen Ländern, nur sehr schwach existiert. Da Fahrzeuge aber auch als Statussymbol gelten und allen Anforderungen, die ein Kunde an ein Fahrzeug stellt, gerecht werden müssen, gehen andere befragte Experten davon aus, dass diese auch in Zukunft weiter wachsen werden. Das wiederum geht einher mit der Tatsache, dass chinesische Kunden oftmals Langversionen der Fahrzeuge kaufen, wie sie z.B. in Europa nicht einmal angeboten werden. Einige deutsche OEMs bieten die normalen, kurzen Versionen, wie man sie von deutschen Händlern kennt, in China nicht einmal an.

Hinsichtlich des geeigneten Antriebsstrangs sind sich die interviewten Experten weitestgehend einig, dass diese in Zukunft elektrifiziert sein werden, auch, wenn man konventionelle Verbrennungsmotoren noch eine ganze Weile am Markt sehen wird. Durch die Tatsache, dass die öffentliche Ladeinfrastruktur derzeit noch nicht ausreichend ausgebaut ist, dass nur wenige Menschen einen eigenen Parkplatz haben, an dem sie laden könnten und dass ein einziges Fahrzeug allen Anforderungen des Mobilitätsverhaltens gerecht werden muss, sehen die Experten ein großes Potential bei Plug-In Hybriden in naher und mittelfristiger Zukunft. So werden Plug-In Hybride wohl in allen Segmenten angeboten, doch für die mittleren und großen Segmente werden höhere Anteile von elektrifizierten Antriebssträngen erwartet als dies in kleinen Segmenten der Fall sein wird. Aufgrund des Platzbedarfs für den zusätzlichen Verbrennungsmotor werden bei den kleineren Segmenten eher rein Batterie-elektrische Fahrzeuge erwartet.

Einige Interview-Teilnehmer brachten ihre Ansicht zum Ausdruck, dass, zumindest zu Beginn der Entwicklung, eher Fahrzeuge aus dem Luxus-Segment voll elektrifiziert werden. Ein gern genommenes Beispiel ist das Model S von Tesla. Hierbei wird argumentiert, dass Kunden, welche sich ein Elektrofahrzeug leisten können, das auch zeigen wollen. Da auch Kunden aus dem mittleren Segment schon oft einen Chauffeur haben, sollte in jedem Fall bei diesen Fahrzeugen das Platzangebot im hinteren Bereich des Fahrzeugs ausreichend ausfallen.



Abbildung 3: Elektrifiziertes Dreirad im Straßenverkehr

Durch die Richtlinien zu Kaufanreizen wird man elektrifizierte Fahrzeuge hauptsächlich in den Metropolregionen sehen, wo Kunden durch die Bevorzugung bei der Vergabe der Zulassung sowie den hohen finanziellen Unterstützungen profitieren können.

Wie schon zu Beginn erwähnt, sind neben den Autos auch sogenannte „low-speed“ oder „Nachbarschaftsfahrzeuge“, welche eine recht geringe Höchstgeschwindigkeit aufweisen, sowie Roller weit verbreitet in China. In diesem Segment sieht die chinesische Industrie ein großes Potential, diese Fahrzeuge auch global anzubieten. Die niedrigen Produktionskosten werden hierbei hauptsächlich als entscheidender Vorteil genannt. Der Hauptgrund, warum sich diese Fahrzeuge in China so großer Beliebtheit erfreuen können, ist die Tatsache, dass man keinen Führerschein benötigt. Auch sind sie in der Anschaffung und im Unterhalt recht günstig.

Generell wird die Reichweite als ein, aus Kundensicht, sehr wichtiges Kriterium eingeschätzt. Daneben gilt das Beschleunigungsverhalten, insbesondere die Elastizität bei Überholvorgängen, als wichtiger Parameter. Die absolute Höchstgeschwindigkeit sowie Sicherheit spielen nach Ansicht der Experten eine eher untergeordnete Rolle bei den generellen Anforderungen an die Fahrzeuge in China. Die ersten Kunden, welche sich für ein Elektrofahrzeug entscheiden, sind, wie man es in vielen Regionen der Welt beobachten kann, auch in China weniger kostensensibel. Allgemein sind Kosten aber ein sehr wichtiges Kriterium für chinesische Neuwagenkunden. Betriebs- und Gesamtkosten gewinnen zunehmend an Bedeutung, sind aber nach wie vor eher untergeordnet.

Bezüglich des Designs von Elektrofahrzeugen sehen die befragten Experten keinen übermäßigen Vorteil von Fahrzeugen im Purpose Design, also solchen Fahrzeugen, die sofort als Elektrofahrzeug erkennbar sind. Obwohl somit die Sichtbarkeit von EVs erhöht werden kann, werden die notwendigen Investitionen in Entwicklung und Fertigung dieser Fahrzeuge als zu hoch eingeschätzt.

Brennstoffzellenfahrzeuge sind noch weit entfernt von einer flächendeckenden Markteinführung in China, so die Experten. Der Erfolg, den diese Fahrzeuge zukünftig am Markt haben könnten, hängt demzufolge stark von der Entwicklung im Bereich der Batterie-Technologien ab.

### **Infrastruktur**

Wie schon erwähnt, wird der verlässliche Zugang zu einer ausreichenden Infrastruktur als einer der wichtigsten Schlüssel für den Erfolg der Elektromobilität in China angesehen. Jedoch müssen hierfür noch einige Hindernisse überwunden werden.

Hierbei wird erwartet, dass es keinen positiven Business-Case für die Installation und den Betrieb einer Ladeinfrastruktur unter den gegebenen Rahmenbedingungen geben wird. Der Strom für Privathaushalte wird in China subventioniert und der Staats-eigene Netzbetreiber „State Grid Corporation of China“ dominiert den Markt und macht einen offenen Wettbewerb fast unmöglich. In der Vergangenheit wurden die Ladesäulen nach Vorgaben von oben aufgestellt und werden, aufgrund ihrer Lage oder weil sie schlicht nicht mehr funktionieren, nur sehr wenig genutzt.



Abbildung 4: Wasserstofftankstelle in Shanghai

Zudem sind die genauen Umstände, insbesondere der Zustand des Leitungsnetzes nur sehr vage bekannt. Einige Experten berichten, dass selbst in neuen Gebäuden die Qualität des Leitungsnetzes derart gering sei, dass sie skeptisch sind, ob ein ausreichendes Netz von öffentlichen Ladestationen überhaupt installiert werden könnte. Es gibt keinen Zweifel, dass dieses Netz in Metropolregionen sehr wichtig wäre, auch wenn die wichtigsten Ladepunkte jene zu Hause sind. Doch nur wenige Haushalte verfügen über eigene Parkplätze mit der Möglichkeit, Ladesäulen zu installieren. Viele der Fahrzeuge müssen am Straßenrand abgestellt werden. Leider werden oftmals die Hausverwaltungen als schwache Unterstützung für potentielle EV-Kunden, die versuchen die Möglichkeit auszuloten, eine Ladestation an einem Parkplatz aufzustellen, angesehen. Die Hausverwaltungen scheuen oftmals die mit der Installation verbundenen Kosten sowie die Auswirkungen auf das Hausstromnetz.

## 4 Fazit

Neben den Elektrorollern und den „Nachbarschaftsfahrzeugen“, ist die Elektromobilität in China noch in einem sehr frühen Stadium. Eine große Herausforderung ist der fehlende Bezug der chinesischen Gesellschaft zur Elektromobilität. In einigen Provinzen wurden Programme zur Beschleunigung der Entwicklung und des Markthochlaufes von der Regierung aufgesetzt. Oftmals wird hierbei die Möglichkeit, überhaupt ein Fahrzeug zulassen zu können, wenn man ein NEV kauft, als wichtigster Vorteil gegenüber konventionellen Fahrzeugen eingestuft. Mit einem großen Volumen an finanziellen Kaufanreizen versucht die chinesische Regierung bis 2020 fünf Millionen NEVs auf die Straße zu bringen. In Metropolregionen wie Peking ist die Luftverschmutzung einer der Treiber für die Elektromobilität, auch wenn die positiven Effekte oftmals in Frage gestellt werden. Übergeordnet verfolgt die chinesische Regierung durch die Elektromobilität das Ziel, die erforderliche Menge an Rohölimporten zu reduzieren.

Wie in anderen Weltregionen wird die Installation einer in der Fläche ausreichend ausgebauten Ladeinfrastruktur als einer der Hauptherausforderungen für China angesehen. Deshalb wird vor allem der Plug-In Hybrid als eines der wichtigsten Konzepte für die kurz- bis mittelfristige Zukunft eingestuft.

In der Regel müssen Fahrzeuge für den chinesischen Markt in China produziert werden. Deshalb haben viele westliche OEMs Joint Ventures mit chinesischen Herstellern gebildet. Somit wird sichergestellt, dass zumindest Teile der EV-Technologien in China von chinesischen Unternehmen entwickelt und gefertigt werden, was der chinesischen Industrie helfen soll international attraktiv und wettbewerbsfähig zu sein.

Batterien aus chinesischer Produktion wird schon jetzt eine hohe Qualität bescheinigt und bei elektrischen Maschinen geht man davon aus, dass diese in naher Zukunft international konkurrenzfähig sein werden. So bleiben einige Herausforderungen im Bereich der Leistungselektronik, zumindest bezüglich innovativer Technologien, Komponenten und Lösungen.

Generell sieht sich China mit ähnlichen Herausforderungen und Hindernissen wie andere Regionen in dieser Welt bei der Einführung der Elektromobilität konfrontiert. Diese sind zum Beispiel Kosten, Reichweiten, Komfort, Sicherheitsbedenken, Komplikationen mit Batterien und eine nicht ausreichende Ladeinfrastruktur.

Schlussendlich erwarten alle befragten Experten, dass das Ziel der chinesischen Regierung, fünf Millionen Fahrzeuge, die von einer gestärkten chinesischen Automobilindustrie produziert werden, auf die Straße zu bringen, zwar erreicht wird, jedoch sehr ambitioniert ist und vollständig von den Rahmenbedingungen abhängt.

Bei Fragen und/ oder Anregungen wenden Sie sich jederzeit gerne an

Matthias Klötzke

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Institut für Fahrzeugkonzepte | Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

Telefon +49 (0)711 6862 8092

Telefax +49 (0)711 6862 258

[Matthias.Kloetzke@dlr.de](mailto:Matthias.Kloetzke@dlr.de)



## **STROM – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität**

Arbeitspapier der STROMbegleitung  
**Zwischenergebnisse der Fahrzeugkonzept-Datenbank**

Benjamin Frieske, Matthias Klötzke, Florian Mauser

*Dokument zur internen Verwendung für die STROM-Projekte,  
„Schlüsseltechnologien der Elektromobilität“ des BMBF*

DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK)  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

Februar 2013



<b>1</b>	<b>STROMbegleitung.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Die Fahrzeugkonzept-Datenbank .....</b>	<b>4</b>
2.1	ERFASSTE PARAMETER .....	5
2.2	BEISPIELHAFTE AUSWERTUNGEN .....	6
2.2.1	<i>Fahrzeug und Markt.....</i>	<i>6</i>
2.2.2	<i>Batterie.....</i>	<i>8</i>
2.2.3	<i>Elektrische Maschine .....</i>	<i>10</i>
<b>3</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>11</b>



# 1 STROMbegleitung

Die „Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität“ (im Folgenden „STROMbegleitung“ genannt) wird im Rahmen der im Jahr 2009 veröffentlichten BMBF-Förderbekanntmachung Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM) durchgeführt und dient der wissenschaftlichen Begleitung und Beforschung der im Rahmen dieser Bekanntmachung gestarteten F&E-Projekte. Das BMBF initiierte mit der Förderbekanntmachung STROM Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich Gesamtfahrzeugsysteme, Batterieentwicklung und -integration, Energiemanagement sowie der entsprechenden Werkstoff- und Materialforschung. STROM war, nach Fördervorhaben im Rahmen des Konjunkturpaketes II, die erste Maßnahme zur Umsetzung des „Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität“. Die Themen orientieren sich an Empfehlungen externer Experten und sind konsistent mit den Inhalten und Zielen der Arbeitsgruppen „Antriebstechnologie und Fahrzeugintegration“ und „Batterietechnologie“ der im Jahr 2010 ins Leben gerufenen „Nationalen Plattform Elektromobilität“ (NPE)<sup>1</sup>.

## Ziele der STROMbegleitung

Im Rahmen der STROMbegleitung werden unterschiedliche Ziele verfolgt, die zusammen ein umfassendes Bild über den Stand der Technik und die Potenziale vielversprechender technologischer Lösungen der Elektromobilität ermöglichen sollen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Identifikation und Analyse aktueller und zukünftiger Trends der Fahrzeugkonzept- und Technologieentwicklung sowie in der Einordnung der deutschen Aktivitäten in den internationalen Kontext. Im Detail orientiert sich die Begleitforschung an den folgenden Forschungsfragen:

- Welche generellen technologischen und marktlichen Trends zeichnen sich bei Schlüsseltechnologien der Elektromobilität sowie elektrifizierten Fahrzeugkonzepten ab?
- Was ist der State-of-the-art bei den Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und welches zukünftige Entwicklungspotenzial besitzen diese?
- Wie tragen die im Rahmen der STROM-Ausschreibung geförderten Projekte zur Technologieentwicklung bei? Welche Herausforderungen, Grenzen und Hürden bestehen bei der Entwicklung spezieller technischer Lösungen?
- Welchen Stand hat die Technologieentwicklung im nationalen und internationalen Vergleich?
- Welche Förderschwerpunkte können in den verschiedenen Weltregionen identifiziert werden und welche Zielgruppen werden adressiert?
- Welche ökonomischen, ökologischen und technischen Auswirkungen haben die Schlüsseltechnologien auf das zukünftige Gesamtsystem Fahrzeug?
- Wie sehen die Materialintensitäten der Schlüsseltechnologien und Fahrzeugkonzepte aus?

Die wissenschaftlich fundierte Beantwortung der genannten Aspekte und Fragen wird es u.a. erlauben, das Förderprogramm STROM und die beforschten Schlüsseltechnologien in die internationalen Forschungsaktivitäten einzuordnen und Empfehlungen für die weitere Ausgestaltung staatlicher Förderprogramme und für andere politische Entscheidungen zu geben.

---

<sup>1</sup> Die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) hat zum Ziel, den Markteintritt innovativer Elektrofahrzeuge in systemischer, markt-orientierter und technologieoffener Form zu beschleunigen. Deutschland soll dabei bis zum Jahr 2020 Leitanbieter und Leitmarkt der Elektromobilität werden.

## Aufgaben der Projektpartner zur STROMbegleitung

Das DLR Institut für Verkehrsforschung (DLR-VF, Berlin) bearbeitet ausgewählte Aspekte des Technologie-Monitorings und beteiligt sich am Arbeitspaket zu den Perspektiven der Elektromobilität (Roadmaps, Förderbindungen) in den USA. Das DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK, Stuttgart) ist hauptverantwortlich für die Durchführung des globalen Technologie-Monitorings und die Erstellung technologischer Trend- und Marktanalysen. Das Wuppertal Institut analysiert Förderprogramme, Perspektiven und Marktentwicklungen in den Regionen OECD-Amerika/USA, OECD-Asien/Japan, OECD-Europa/Europäische Union, China, Rest der Welt/Indien und erarbeitet zudem detaillierte Materialintensitätsanalysen zu Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und zukünftigen Fahrzeugkonzepten.

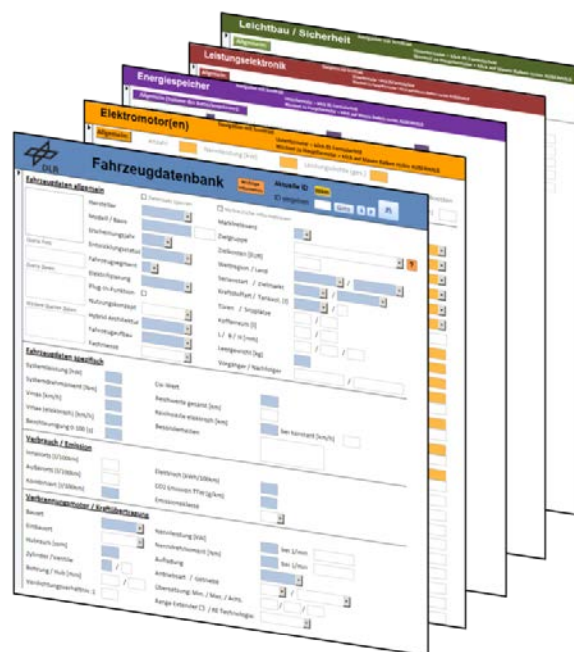
## 2 Die Fahrzeugkonzept-Datenbank

Mit diesem Arbeitspapier wollen wir den STROM-Teilnehmern einige ausgewählte Zwischenergebnisse aus der Fahrzeugkonzept-Datenbank vorstellen und eine Vorstellung davon geben, welche Ergebnisse in Zukunft darstellbar sind und wie diese aussehen können.

Die Fahrzeugkonzept-Datenbank wird im Rahmen des Technologie-Monitorings vom DLR Institut für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart entwickelt. Das Ziel besteht darin, alle elektrifizierten Antriebskonzepte der Jahre 2002-2012 zu erfassen und hinsichtlich detaillierter technischer Aspekte auszuwerten, um so Hinweise zu vergangenen und aktuellen Trends sowie dem Stand der Technik zu bekommen.

Der Fokus der Rechercharbeiten liegt dabei eng an den im Rahmen der einzelnen STROM-Projekte erforschten Technologien und umfasst so u.a. die elektrische Maschine, die Leistungselektronik, das Thermomanagement für E-Maschine und Leistungselektronik, Leichtbauweisen sowie Range-Extender-Konzepte. In Ergänzung zu diesen Technologiebereichen wird auch die Batterie als Schlüsseltechnologie der Elektromobilität im Detail erfasst. Weitere, allgemeine Angaben zu marktorientierten Aspekten und zum Fahrzeugkonzept an sich runden die Datenbank ab. Für jedes Fahrzeug sind so insgesamt über 200 Eingabemöglichkeiten definiert. Mild-Hybrid Electric Vehicles (HEV), Full-HEV, Plug-In-HEV, Range Extended Electric Vehicles (REEV) und Battery Electric Vehicles (BEV) werden in der Datenbank über verschiedene Weltregionen (z.B. Europa, USA, Asien) abgebildet. Ein Schwerpunkt der Analysen liegt dabei auch im Vergleich technischer Aspekte von Konzept- und Prototypfahrzeugen mit Serienfahrzeugen.

Der aktuelle Stand der Datenbank umfasst ca. 350 identifizierte Fahrzeuge, die in noch sehr unterschiedlichem Detaillierungsgrad abgebildet sind. Während bei einigen Fahrzeugen technische Details zu fast 100% abgebildet sind, erweist sich die Recherche bei anderen Fahrzeugen als schwierig, so dass nur 3-4% bislang erfasst werden konnten. Recherchen konzentrierten sich bislang v.a. auf die Bereiche „Fahrzeug und Markt“, „Elektrische Maschine“ und „Batterie“. Insgesamt sind zum jetzigen Zeitpunkt ca. 20% aller Eingabemöglichkeiten realisiert. Die Arbeiten im Rahmen des Technologie-Monitorings laufen kontinuierlich weiter bis September 2014. Updates zur Datenbank sollen Ihnen regelmäßig zur Verfügung gestellt werden.





## 2.1 Erfasste Parameter

Die erfassten Details zu den elektrifizierten Fahrzeugen lassen sich in verschiedene Bereiche und unterschiedliche Relevanz unterteilen. Beispielhaft sollen im Folgenden einige Parameter in den Bereichen „Fahrzeug und Markt“, „Elektrische Maschine“ und „Batterie“ aufgezeigt werden.

Im Bereich der allgemeinen Angaben zu **Fahrzeug und Markt** wurden 73 Eingabemöglichkeiten definiert, hiervon sind 20 Parameter priorisiert, z.B.:

- Hersteller (Bezeichnung)
- Fahrzeugmodell (Bezeichnung)
- Fahrzeugsegment (A-S)
- Zielmarkt (Weltregion)
- Zielkosten (Euro)
- Entwicklungsstatus des Fahrzeugs (z.B. Mock-Up, Konzept, Prototyp, Vorserie, Serie) Zeitpunkt der Vorstellung Konzeptfahrzeug (Jahr)
- Zeitpunkt der Einführung Serienfahrzeug (Jahr)
- Ort der Vorstellung/ Einführung (z.B. Automobilkonferenz)
- Grad der Elektrifizierung (Mild-, Voll-, Plug-In-HEV, REEV, BEV)
- Hybridarchitektur (z.B. parallel, seriell, kombiniert)
- Systemleistung/ elektrische Leistung (kW)
- $V_{max}$ /  $V_{max}$  elektrisch (km/h)
- Reichweite/ Reichweite elektrisch (km)
- Beschleunigung 0-100km/h (s)
- Fahrzeugmasse (kg)
- Kraftstoffverbrauch (l/100km, NEFZ)
- CO<sub>2</sub> Emissionen (g/km)

Im Bereich „**Elektrische Maschine**“ sind je Fahrzeug 5 Motoren/ Generatoren erfassbar und somit insgesamt 183 Eingabemöglichkeiten realisiert, 18 Parameter je E-Maschine wurden priorisiert, z.B.:

- Bauart (z.B. Synchronmaschine, Asynchronmaschine)
- Einbauort (z.B. Getriebe, Radnabe)
- Erregungsart (z.B. fremderregt)
- Nennleistung (kW)
- Nenndrehmoment (Nm)
- Masse (kg)
- Thermomanagement (z.B. Flüssigkeits-/ Luftgekühlt)

Im Bereich „**Batterie**“ sind 2 Module erfassbar und somit insgesamt 95 Eingaben pro Fahrzeug möglich. 21 Parameter je Modul wurden priorisiert, z.B.:

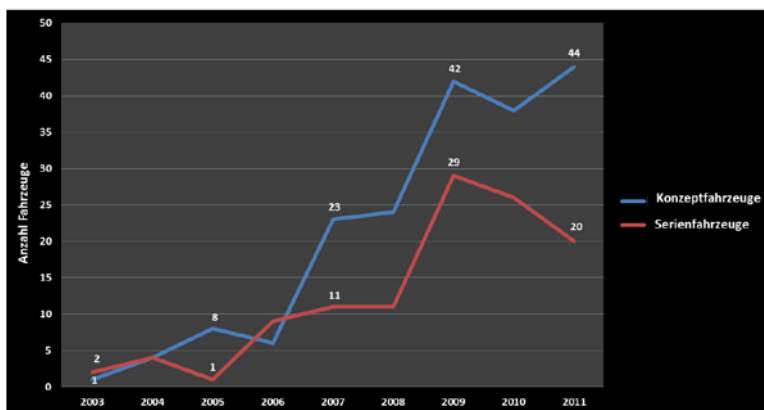
- Technologie (z.B. Lithium-Ionen, Nickel-Metall-Hydrid)
- Einbauort (z.B. Unterboden, Kofferraum)
- Spezifische Energie (Wh/kg)
- Spezifische Leistung (W/kg)
- Energiedichte (Wh/l)
- Kapazität (Ah)
- Spannung (V)
- Thermomanagement (z.B. Flüssigkeits-/ Luftgekühlt)

## 2.2 Beispielhafte Auswertungen

Die folgenden Abbildungen stellen Zwischenergebnisse im Februar 2013 dar. Sie sollen vor allem eine Vorstellung über mögliche zukünftige Auswertungen geben und die verschiedenen Dimensionen aufzeigen, anhand derer Trends und Stand der Technik dargestellt werden können. Der Fokus der textlichen Beschreibung liegt zunächst auf der reinen Darstellung, nicht auf einer Interpretation der Ergebnisse.

### 2.2.1 Fahrzeug und Markt

#### Vorgestellte Konzept- und Serienfahrzeuge 2003-2011

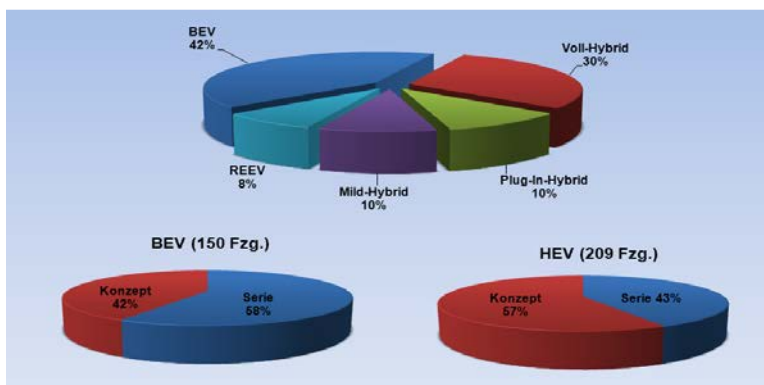


Zwischen den Jahren 2003 und 2011 nahm die Anzahl weltweit vorgestellter elektrifizierter Fahrzeugkonzepte insgesamt zu, wobei insbesondere ab dem Jahr 2006 Aktivitäten verstärkt zu beobachten sind. **Konzeptfahrzeuge** konnten dabei im genannten Zeitraum einen Anstieg von 2 auf 44 verzeichnen.

Mit einer zeitlichen Verzögerung von ca. 2 Jahren folgen HEV und BEV im **Serienstatus** diesem Trend bis zum Jahr 2009. Allerdings nahm

die Zahl dann kontinuierlich bis zum Jahr 2011 bis auf 20 Fahrzeuge ab, während der Trend bei Konzeptfahrzeugen nach einer Abnahme im Jahr 2010 wieder ansteigt.

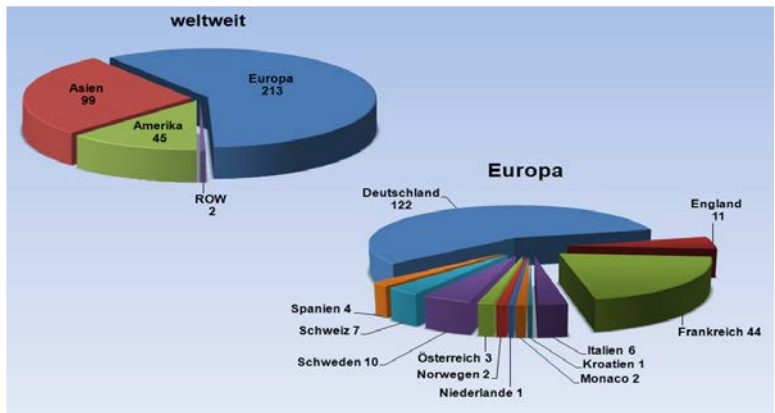
#### Gesamtanzahl elektrifizierter Fahrzeuge



Die Analyse aller erfassten elektrifizierten Fahrzeugkonzepte der letzten Jahre (2002-2012; 359) zeigt auf, dass insgesamt mehr Hybrid- (209, 58%) als batterieelektrische (150, 42%) Fahrzeuge entwickelt wurden. Bei den Hybridfahrzeugen hat der Voll-Hybrid mit 63 Fahrzeugen den größten Anteil (30%), gefolgt von Plug-In- und Mild-HEVs (je 10%) sowie REEVs (8%).

Weiterhin lässt sich beobachten, dass bei BEVs mehr Serien- als Konzeptfahrzeuge existieren, während bei den HEVs Fahrzeuge im Konzept- oder Prototypenstatus dominieren. Zu den Fahrzeugen im Serienstatus werden im Rahmen der Auswertung auch Kleinserien gezählt.

### Gesamtanzahl elektrifizierter Fahrzeuge nach Weltregion

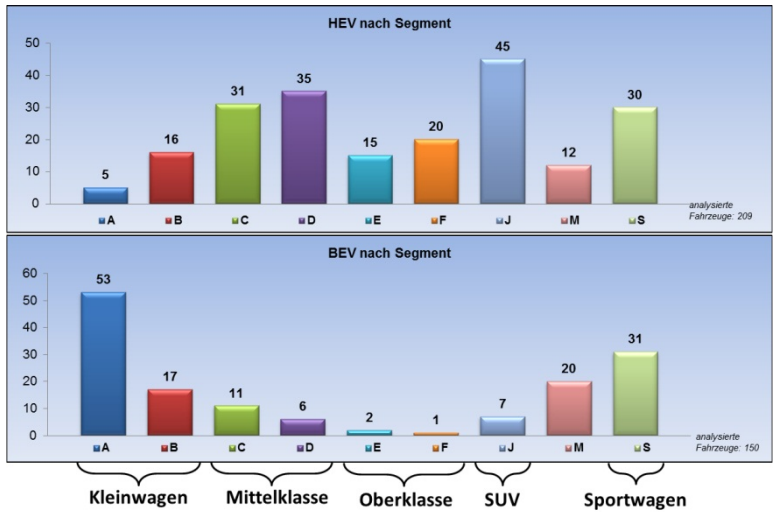


Europa dominiert im internationalen Vergleich bei der Anzahl an entwickelten Konzept- und Serienfahrzeugen. Über die Jahre 2002 bis 2012 wurden insgesamt 213 (60%) elektrifizierte Fahrzeuge in Europa entwickelt und vorgestellt bzw. in Serienstatus produziert. Asien folgt mit 99 elektrifizierten Fahrzeugen (27%), die USA mit 45 (13%).

Innerhalb der Weltregion Europa haben deutsche Hersteller mit 122 Fahrzeugen (57%) den mit Abstand größten Anteil, gefolgt von Frankreich (44 Fahrzeuge; 21%), England (11; 5%) und Schweden (10; 5%).

Innerhalb der Weltregion Europa haben deutsche Hersteller mit 122

### Gesamtanzahl elektrifizierter Fahrzeuge nach Segment

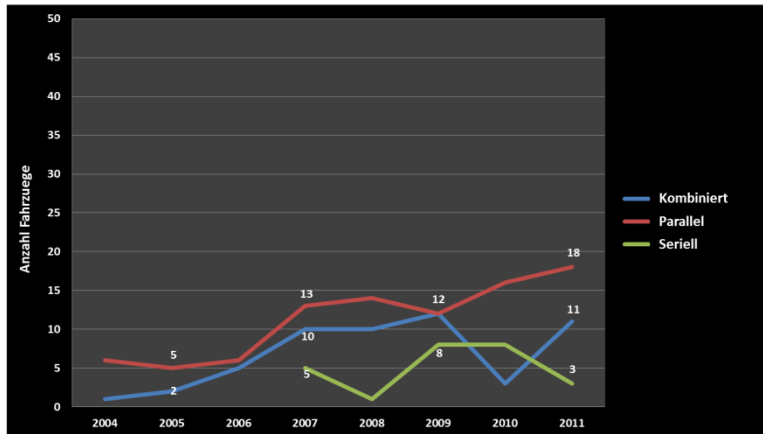


Die Analyse aller weltweit vorgestellten Konzept- und Serienfahrzeuge über die Jahre 2002-2012 ergibt eine eindeutige Fokussierung batterieelektrischer Fahrzeuge auf das Kleinwagensegment (70 Fahrzeuge, Segment A+B) sowie auf Sportwagen (31, Segment S). In der Oberklasse (Segmente E+F) sind insgesamt nur 3 Fahrzeuge vorgestellt worden, in der Mittelklasse (Segment C+D) 17.

Hybridelektrische Fahrzeuge sind verstärkt im Bereich Mittelklasse (66) sowie bei den SUVs (45, Segment J) anzufinden. Auch Oberklasse-Fahrzeuge (35) wurden über den betrachteten Zeitraum hybridisiert. Bei Sportwagen haben HEVs (30) eine ähnliche Relevanz wie BEVs (31).

Hybridelektrische Fahrzeuge sind verstärkt im Bereich Mittelklasse (66) sowie bei den SUVs (45, Segment J) anzufinden.

## HEV Antriebsarchitekturen 2004-2011



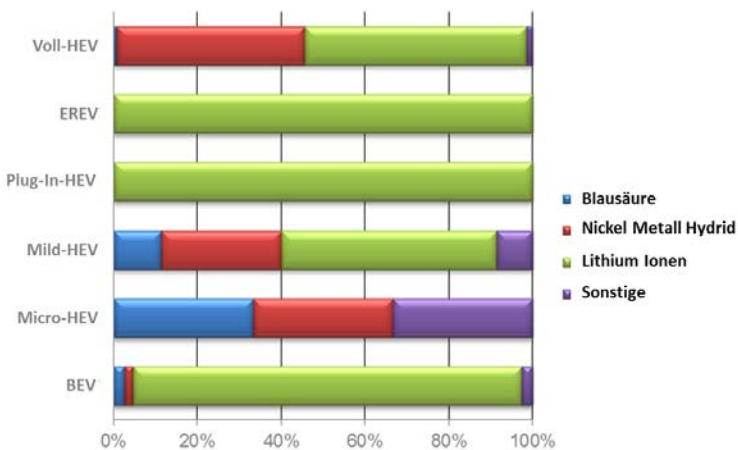
In den Jahren 2004 bis 2009 waren Hybridfahrzeuge mit **paralleler** und **kombinierter** Antriebsarchitektur jeweils ähnlich stark vertreten. Ab dem Jahr 2009 ist sowohl bei Konzept- als auch Serienfahrzeugen die parallele Architektur dominant, während die kombinierte insbesondere im Jahr 2010 an Relevanz verliert, sich aber ab dem Jahr 2011 wieder auf einem ähnlichen Niveau einpegelt.

Die grüne Linie steht für die **serielle** Antriebsarchitektur und spielt im

Vergleich bislang eine untergeordnete Rolle. Sie wird ausschließlich bei Range Extended Electric Vehicles (REEV) eingesetzt.

### 2.2.2 Batterie

#### Batterietechnologie und Elektrifizierungsgrad

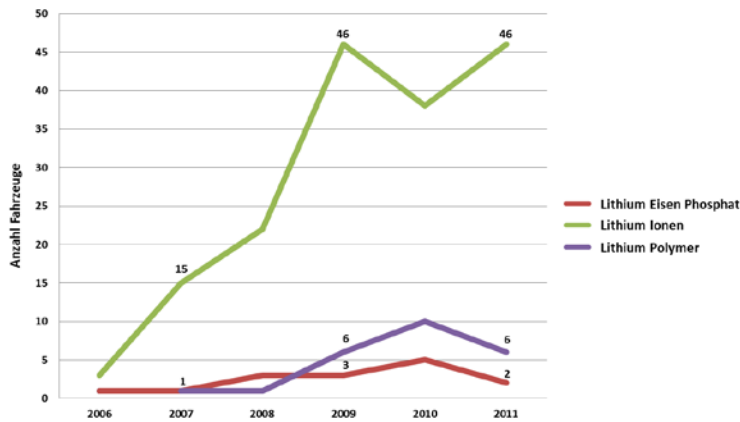


**Lithium Ionen (Li-Ion) Batterien** dominieren Range Extended Electric Vehicles und Plug-In-HEVs in Gänze. Auch bei batterieelektrischen Fahrzeugen ist der Fokus in der Batterietechnik klar zu erkennen: Fast 95% aller Konzept- und Serienfahrzeuge nutzt die Li-Ion Batterietechnik.

Voll-Hybride nutzen **Nickel Metall Hybrid (Ni-Mh)** und Li-Ion Batterien zu beinahe ausgeglichenen Anteilen von 50:50. Bei Mild-HEVs werden zusätzlich auch **Blausäure** sowie **sonstige Energiespeicher** eingesetzt,

wie z.B. Supercapacitors oder Schwungradspeicher. Bei Micro-HEVs ist der Einsatz von Li-Ion Batterien nicht erkennbar, dafür sind die Anteile von Blausäure und sonstigen Batterietechnologien im Vergleich höher.

### Genutzte Batterietechnologie 2006-2011

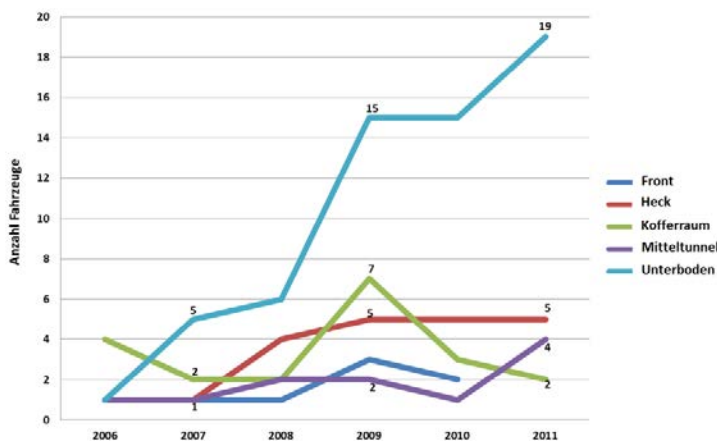


Über den Zeitraum der Jahre 2006 bis 2011 ist ein starker Anstieg im Einsatz von **Li-Ion Batterien** zu erkennen. Während im Jahr 2006 nur 3 Konzept- und Serienfahrzeuge Batterien des Typs nutzten, waren es im Jahr 2011 insgesamt 46 neu vorgestellte Fahrzeuge.

Der Einsatz von **Lithium Eisen Phosphat Batterien** blieb in einem Bereich von 1 bis 3 Fahrzeugen über die Jahre relativ gering, aber konstant. **Lithium Polymer Batterien** nahmen

ab dem Jahr 2008 zu und erreichten einen Spitzenwert von 10 Fahrzeugen im Jahr 2010.

### Batterie-Einbauorte 2006-2011

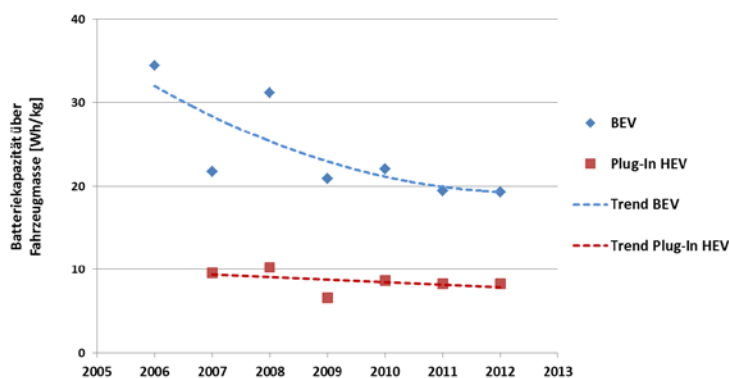


Betrachtet man den Einbauort der Batterie im elektrifizierten Fahrzeug, so ist der **Unterboden** die mit Abstand bevorzugte Stelle. Im Jahr 2011 folgt auf den Unterboden der Bereich des **Fahrzeugecks** mit 5 Fahrzeugen sowie der **Mittelunnel** mit 4 Nennungen, der vom Jahr 2010 an einen starken Anstieg verzeichnen kann.

Der **Kofferraum** als Einbauort verliert ab dem Jahr 2009 kontinuierlich an Bedeutung. Der **vordere Bereich des Fahrzeugs** spielt bis zum Jahr 2010

eine untergeordnete Rolle und wird im Jahr 2011 nicht mehr genutzt.

### Batteriekapazität im Verhältnis zur Fahrzeugmasse 2006-2012

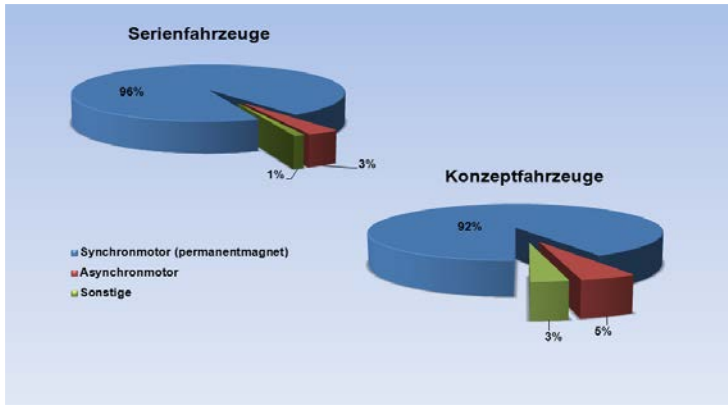


Im Zeitraum von 2006 bis 2012 konnte bei **BEVs** ein deutlicher Trend für die Batteriekapazität pro Fahrzeugmasse beobachtet werden. Trotz Schwankungen zwischen 2006 und 2009 nimmt die Batteriekapazität pro Fahrzeugmasse im Mittel klar ab und pendelt sich bei einem Wert von ca. 19 Wh/kg<sub>Fahrzeugmasse</sub> ein, was in etwa 200 km Reichweite im NEFZ entspricht. Auch bei **Plug-In HEVs** ist ein Trend zu erkennen: Hier zeigt

sich ein annähernd konstanter Wert von ca. 9 Wh/kg<sub>Fahrzeugmasse</sub> über die Jahre.

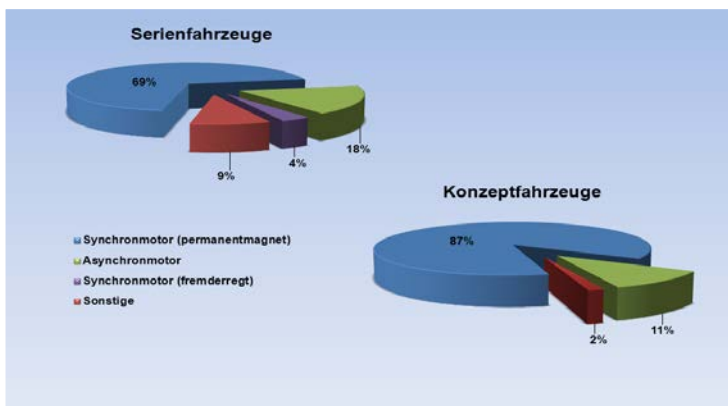
## 2.2.3 Elektrische Maschine

### Verwendete Bauarten HEV



Bei den elektrischen Maschinen konnte für die untersuchten elektrifizierten Fahrzeuge ein deutliches Übergewicht für permanent-erregte Maschinen identifiziert werden. Bei HEV Konzeptfahrzeugen gab es zwar auch noch einen merklichen Anteil an anderen Bauarten, allerdings haben auch hier die permanent-erregten Maschinen einen Anteil von über 90%.

### Verwendete Bauarten BEV

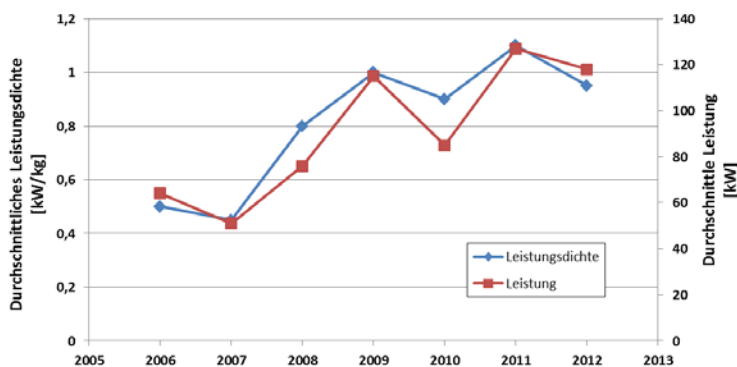


Bei batterieelektrischen Fahrzeugen sind deutlich mehr andere Bauarten zu verzeichnen. Knapp ein Fünftel der Serienfahrzeuge ist mit einem Asynchronmotor ausgerüstet. Aber auch hier entfällt mehr als zwei Drittel der Motoren auf permanent-erregte Maschinen.

Im Gegensatz zu den HEVs ist bei BEVs der Anteil von permanent-erregten Maschinen bei Konzeptfahrzeugen sogar noch höher als bei Serienfahrzeugen. Hier sind annähernd 90% der Fahrzeuge mit einem permanent-erregten Motor ausgestattet. Gut 10% entfallen auf Asynchronmotoren. Andere Bauarten spielen hier fast keine Rolle.

Im Gegensatz zu den HEVs ist bei BEVs der Anteil von permanent-erregten Maschinen bei Konzeptfahrzeugen sogar noch höher als bei Serienfahrzeugen.

### Entwicklung der Leistungsdichte



Für die durchschnittliche **Leistungsdichte** der elektrischen Maschinen zeigen die Analysen eine deutliche Steigerung von 0,5 kW/kg auf zwischenzeitlich über 1 kW/kg im Jahr 2011 auf.

elektrischen Maschine und dem dazugehörigen Leistungsdichte als technische Weiterentwicklungen für den Verlauf verantwortlich.

Gleichzeitig wurde allerdings auch die durchschnittliche **Leistung** der elektrischen Maschinen gesteigert. Hierbei ist wohl eher ein funktionaler Zusammenhang zwischen der Leistung der



### 3 Ausblick

Die vorgestellten Auswertungen aus der Fahrzeugkonzept-Datenbank sind als Zwischenergebnisse zu verstehen und sollen insbesondere dazu dienen, den STROM-Teilnehmern eine Vorstellung von Inhalt und Darstellungsform möglicher zukünftiger Auswertungen zu geben. Die STROM-Begleitforschung wird Feedback in der Ausgestaltung weiterer Auswertungen gerne aufgreifen, um Ergebnisse an die spezifischen Wünsche und Vorstellungen der STROM-Teilnehmer wo möglich anzupassen.

Recherchearbeiten zur Befüllung der Datenbank fokussierten bislang v.a. auf die Bereiche „Fahrzeug und Markt“, „Elektrische Maschine“ und „Batterie“. Die Recherchen werden in der weiteren Projektlaufzeit intensiviert und auf die Technologiebereiche „Leistungselektronik“, „Thermomanagement“ und „Leichtbau“ ausgedehnt, um so bis September 2014 aussagekräftige Ergebnisse zu Entwicklungstrends und Stand der Technik zu bekommen.

Der jetzige Stand erlaubt Darstellungen insbesondere in den allgemeinen Bereichen, die sich auf einen Vergleich von Fahrzeugkonzepten an sich und auf den Markt beziehen. Auf detaillierte, Technologie- und Parameter-bezogene Darstellungen wird nun und im Laufe der weiteren Arbeiten fokussiert. Die Zwischenergebnisse zu „Batteriekapazität im Verhältnis zu Fahrzeugmasse“ und „Entwicklung der Leistungsdichte E-Maschine“ geben einen guten Eindruck, was hier in Zukunft im Rahmen des Technologie-Monitorings angestrebt wird.

Sehr gerne würden wir Ihren direkten Input zu weiteren – möglicherweise spezifischen oder für Sie besonders relevanten – Auswertungen erfahren und für die Ausgestaltung der weiteren Arbeiten nutzen. Die STROM-Begleitforschung freut sich jederzeit sehr über Hinweise hierzu.

Bei Fragen und/ oder Anregungen wenden Sie sich jederzeit gerne an

#### **Benjamin Frieske**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Institut für Fahrzeugkonzepte | Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

Telefon +49 (0)711 6862 623  
Telefax +49 (0)711 6862 258  
[Benjamin.Frieske@dlr.de](mailto:Benjamin.Frieske@dlr.de)

und

#### **Matthias Klötzke**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Institut für Fahrzeugkonzepte | Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

Telefon +49 (0)711 6862 8092  
Telefax +49 (0)711 6862 258  
[Matthias.Kloetzke@dlr.de](mailto:Matthias.Kloetzke@dlr.de)



## **STROM – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität**

Arbeitspapier der STROMbegleitung  
**Ergebnisse der Forschungsreise Indien**

Dokument zur internen Verwendung für die STROM-Projekte,  
„Schlüsseltechnologien der Elektromobilität“ des BMBF

Matthias Klötzke<sup>1</sup>, Julian Veitengruber<sup>1</sup>,  
Hanna Hüging<sup>2</sup>, Thorsten Koska<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK)  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

<sup>2</sup>Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (WI)  
Döppersberg 19  
42103 Wuppertal

August 2013

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Durchführung der Reisen .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>10</b>

# 1 Einleitung

Im Rahmen der STROM-Begleitforschung fand eine Forschungsreise nach Indien statt. Vertreter des DLR und des Wuppertal Instituts führten dort Interviews mit regionalen Akteuren der Elektromobilität durch. Die Forschungsreisen, die auch in weiteren Regionen durchgeführt werden (USA, Europa, China, Japan), sind zentrale Elemente zweier Themenbereiche der STROM-Begleitforschung: Zum einen der Trendanalyse zu Fahrzeugtechniken und –konzepten, die spezifisch auch die internationalen Trends in der Fahrzeugtechnik betrachtet, und zum anderen des weltweiten Monitorings der Elektromobilitätsarena, welches detaillierte Regionalstudien in den entsprechenden Ländern umfasst.

Entsprechend der verschiedenen Inhalte der beiden Themenbereiche wurden unterschiedliche Akteure interviewt.

Die Interviews, die im Rahmen der Regionalstudie Indien geführt wurden, fokussierten sich dementsprechend auf folgende vier Bereiche

- Politischer Rahmen und Strategien (z.B. Förderprogramme und –budgets, Standards und Regularien, Infrastruktur und Stromwirtschaft)
- Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte (z.B. Forschungsthemen, Organisation der Elektromobilitätsforschung, Kooperation zwischen den Akteuren)
- Wirtschaft und Industrie (z.B. zentrale Hersteller von Elektroautos, Fahrzeugmodelle, Strategien, Geschäftsmodelle der Elektromobilität im weiteren Sinne)
- Marktstruktur Verbraucher (z.B. derzeitige Bestand von Elektrofahrzeug und Verkaufstrends, Akzeptanz von Elektrofahrzeugen, derzeitige Nutzer)

Im Rahmen der Regionalstudie dienen die vor Ort Interviews zum einen dazu Informationen zu erhalten, die über die vom Regionalpartner TERI erstellten Studien hinausgehen. Insbesondere in Themenfeldern, die nur zum Teil durch öffentliche Dokumente abgedeckt werden können, sind die Interviews eine zentrale Erkenntnisquelle. Zum anderen werden bisherige Erfahrungen und Einschätzungen zur weiteren Entwicklung in den Themenfeldern abgefragt.

Die Interviews die im Rahmen des internationalen Technologiemonitorings geführt wurden thematisierten insbesondere Fragestellungen zur Forschungslandschaft, zu Trendentwicklungen und zum Stand der Technik verschiedener Schlüsseltechnologien der Elektromobilität in der spezifischen Weltregion und im Vergleich zu weiteren Weltregionen thematisiert. Die Schlüsseltechnologiefelder umfassen:

- Fahrzeugkonzept (mit detaillierten Fragen z.B. zu Antriebsstrang-Architekturen)
- Leistungselektronik (z.B. Halbleiter-Materialien)
- Elektrische Maschine (z.B. Substitution Permanentmagnete)
- Thermomanagement (z.B. Luftkühlung) und
- Leichtbau (z.B. Bauweisen und Materialien)

Neben diesen Schwerpunktfeldern wurden je nach Interviewpartner z.T. auch Fragestellungen zu Brennstoffzellen-Systemen und Traktionsbatterien aufgegriffen.

Der Großteil der Interviews wurde in Delhi durchgeführt. Daneben reisten die Mitarbeiter des DLR zudem nach Bangalore, um dort mit Mitarbeitern von Industrieunternehmen, welche Produkte und Technologien im Bereich der Elektromobilität anbieten, zu sprechen.

## 2 Durchführung der Reisen

Im Zeitraum vom 15.05. – 25.05.2013 wurden in Indien mit insgesamt Vertretern von 12 Institutionen gesprochen. Dabei handelte es sich um Automobilverbänden bzw. Dachorganisationen, Industrie, Forschungsinstitute, Ministerien oder Ämter. Häufig nahmen von der jeweiligen Institution mehrere Experten aus unterschiedlichen Abteilungen am Interview teil. Zudem konnten die Standorte von TVS, in welcher elektrifizierte 2- und 3-Räder gebaut und entwickelt werden, sowie von Mahindra REVA, in welcher der neue e2o gefertigt wird, besichtigt werden. Die Ergebnisse der Interviews werden anonymisiert behandelt.

## 3 Ergebnisse

Obleich Indien über einen stark wachsenden Kraftfahrzeugmarkt verfügt, spielt Elektromobilität bislang nur eine untergeordnete Rolle. Zum einen besteht im globalen Vergleich großer Nachholbedarf der indischen Forschung und Entwicklung zur Elektromobilität; zum anderen ist der indische Kraftfahrzeugmarkt sehr preissensibel, so dass für Elektrofahrzeuge aufgrund ihres hohen Preises nur geringe Absatzchancen bestehen. Eine besondere Bedeutung nehmen aktuell und mittelfristig Zweiräder ein, deren Elektrifizierung technisch weniger aufwendig ist.

### Politische Rahmenbedingungen

Um die Forschung, Entwicklung und Markteinführung von Elektrofahrzeugen zu fördern, hat die indische Regierung unter Leitung des Ministry of Heavy Industries and Public Enterprises seit 2010 den National Electric Mobility Mission Plan (NEMMP) erarbeitet. Dieser wurde im Februar 2013 veröffentlicht, dessen endgültige Verabschiedung steht allerdings noch aus. Bei der Initiierung und Entwicklung des Plans waren relevante Industrieunternehmen und –verbände beteiligt. Die befragten Akteure bewerten den Plan als große Chance für die Entwicklung der Elektromobilität in Indien.

Ein Ziel des Plans ist es, dass Hybrid- und Elektrofahrzeuge bis 2020 einen Neuwagenanteil von rund 15% für 2- und 3-rädrige Fahrzeuge sowie Pkw erreichen sollen. Es wird weiterhin angenommen, dass der Markt insgesamt stark wächst. In 2020 sollen 32 Million 2-rädrige und 9 Millionen 4-rädrige Fahrzeuge in Indien verkauft werden. Dies entspräche ca. einer Verdreifachung der heutigen Verkaufszahlen. Unter Berücksichtigung von verschiedenen Szenarien geht der NEMMP davon aus das somit 5 bis 7 Mio. elektrifizierte Fahrzeugen in 2020 in Indien verkauft werden könnten. Der Großteil soll dabei auf rein elektrisch betriebene Zweiräder (3,5 bis 5 Millionen) entfallen. Im Bereich der 4-rädrigen Fahrzeuge handelt es sich in erster Line um Hybridfahrzeuge ohne externe Lademöglichkeit (1,3 – 1,4 Millionen) und nur um wenige BEV oder PHEV (0,2 bis 0,4 Millionen).

Dazu sind eine Neuauflage von Kaufanreizen sowie Steuerermäßigungen für die verschiedenen Fahrzeugtypen und Elektrifizierungsgrade vorgesehen; mit ähnlichen Subventionen war bereits in den letzten Jahren der Kauf von Elektrofahrzeugen unterstützt worden. Der NEMMP empfiehlt, dass die Kaufanreize für Elektrozweiräder an die Batteriekapazität gekoppelt wird. Bei PKW wird in den nächsten Jahren der Schwerpunkt der Förderung auf Hybridfahrzeugen liegen, da diese eine höhere Akzeptanz aufweisen. Gleichzeitig soll wird aber empfohlen, dass ein bestimmter Anteil der Fördersumme für auch für rein elektrische Pkw reserviert wird. Es ist vorgesehen, dass die Kaufanreize an die inländische Produktion der Fahrzeuge gekoppelt wird (zur Förderfähigkeit soll 30% des Fahrzeuges in Indien produziert werden). Damit wird sowohl den indischen Marktpotenzialen als auch der indischen Produktion Rechnung getragen. Zusätzlich zu den Kaufanreizen auf nationalstaatlicher Ebene bestehen in verschiedenen Bundesstaaten Steuererleichterungen.

Neben den finanziellen Kaufanreizen umfasst der NEMMP auch Maßnahmen zur Forschungsförderung. In den Bereichen Batterietechnologie, Elektromotoren sowie Leistungselektronik und Integration von Komponenten sollen „Centres of excellence“ aufgebaut werden, welche angewandte Forschung in den Bereichen koordinieren und mit weiteren Forschungseinrichtungen kooperieren sollen. Der Staat unterstützt die Forschung und Entwicklung hierbei durch Zuschüsse.

Durch die Zusammenarbeit verschiedener Ministerien und Behörden sowie die Einbeziehung von Industrie und Forschungseinrichtungen soll der Plan auch dazu beitragen, Synergien zwischen den bislang häufig unkoordiniert arbeitenden Akteuren zu schaffen.

### **Ladeinfrastruktur**

Neben der Herausforderung, marktfähige Fahrzeuge zu entwickeln und einzuführen, steht Indien vor dem gleichen Problem, dass überall auf der Welt im Hinblick auf die Elektrifizierung des straßengebundenen Verkehrs besteht. Eine bisher noch kaum existierende Ladeinfrastruktur muss installiert werden. Zum Teil begegnet man dieser Problematik in Indien damit, dass bei zweirädrigen Fahrzeugen der Akku recht leicht zu entnehmen ist und somit zu Hause am bestehenden Hausstromnetz geladen werden kann.

Programme zum Aufbau einer Ladeinfrastruktur bestehen bislang erst in Form von Pilotprojekten, etwa in Delhi oder Bangalore. Da für die zweirädrigen elektrifizierten Fahrzeuge und die Hybrid-Pkw keine Ladeinfrastruktur benötigt wird, sieht der NEMMP einen gezielten Infrastrukturaufbau erst mittelfristig ab 2017 vor.

Mit Blick auf ein zukünftiges Marktwachstum für batterieelektrische Fahrzeuge besteht in Indien ein Problem, das in Europa in dieser Form nicht existiert: die unzureichende Kapazität und Stabilität des Stromnetzes. Während in Deutschland das Netz mit einer mittleren Auslastung von ca. 35% ausreichenden Puffer für Verbrauchsspitzen zur Verfügung stellt, wird das indische Stromnetz im Mittel mit 80 % der Kapazität genutzt. Dadurch kommt es aufgrund von Überlastung immer wieder zu Netzausfällen.

Daher spielen beim Aufbau der fehlenden Ladeinfrastruktur innovative Ansätze eine besondere Rolle, die eine vom Netz autarke Versorgung anbieten: Ein Hersteller bietet als Zusatz zum Elektrofahrzeug passende Möglichkeiten in Form von Solaranlagen an. Hierbei kann neben einem solaren Laden des Fahrzeugs auch das häusliche Stromnetz versorgt werden um bei Netzausfällen ausreichend Energie aus der Fahrzeugbatterie zu verfügen. Diese dezentralen Systeme bieten zudem das Vorteil, dass Strom aus Erneuerbaren genutzt werden kann. Da der Strom in Indien zum Großteil in Kohlekraftwerken erzeugt wird, besteht für die Elektromobilität in Indien derzeit kaum ein Klima- oder Umweltschutzpotential.

### **Forschungslandschaft**

Bei der eigenen Entwicklung von neuen Komponenten und Technologien sieht man in Indien noch einen großen Nachholbedarf. Zwar gibt es an einigen Forschungsinstituten Projekte zur Entwicklung neuer Technologien, allerdings finden diese in der Regel nicht den Weg in marktfertige Produkte. Auch wird von allen Experten die Zusammenarbeit zwischen Industrie und Forschungsinstituten bemängelt. So gibt es gelegentlich Kooperationen, allerdings handelt es sich in vielen Fällen eher um ein Sponsoring von Projekten durch die Industrie, als um inhaltliche Zusammenarbeit. Durch die vom Forschungsministerium geförderte Gründung anwendungsorientierter „Centres of Excellence“ soll die Forschung zu Elektromobilität gestärkt und koordiniert werden.

Für die Periode von 2012 bis 2017 sind bislang bislang staatliche Mittel in Höhe von 95 Mio. € zur Förderung von F&E vorgesehen; laut NEMMP werden für die kommenden 5 Jahre 230 Mio. € benötigt, von denen die Hälfte vom Staat, die Hälfte von der Industrie aufzubringen wäre.

Zukunftspotenziale werden von den befragten Akteuren insbesondere in der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung gesehen, bei der Fahrzeugkomponenten (Batterien, Leistungselektronik, Elektrische Motoren, Getriebesysteme für Hybridfahrzeuge) an die Bedürfnisse indischer Fahrzeuge hinsichtlich Robustheit, einfacher Wartung und der klimatischen Bedingungen angepasst werden.

## Entwicklung des Kraftfahrzeugmarktes

Der indische Automobilmarkt unterscheidet sich in einigen Punkten signifikant von den Märkten, die man aus Europa oder auch den USA kennt; ca. drei Viertel der Flotte sowie der Neuwagenverkäufe entfallen auf 2-rädrige Fahrzeuge. Dies entspricht ca. 10 Millionen 2-rädrigen Fahrzeugen, die jährlich abgesetzt werden. Demgegenüber mit ca. 2 Millionen jährlichen Absatzes eine relativ geringe Anzahl von Pkw, bei denen Kompaktwagen deutlich dominieren. Traditionell sind in Indien auch 3-rädrige Fahrzeuge, wie bspw. Rickshaws oder Leichtkrafträder stark vertreten (Abbildung 1). Zudem kostet die Hälfte der vierrädrigen Neufahrzeuge weniger als 6.000 US\$. Um diese Preise realisieren zu können, lassen die meisten der Fahrzeuge, die auf den Märkten in der EU und den USA derzeit als Standard geltenden, Sicherheitseinrichtungen vermissen. Ein Großteil der Fahrzeuge besitzt weder ABS, ESP noch einen Airbag. Allerdings kann man auch auf dem indischen Markt innovative Entwicklungen beobachten. So werden auf Delhis Straßen die Busse und Taxen, hierzu zählen auch die 3-rädrigen motorisierten Rickshaws, mit CNG angetrieben. Diese Maßnahme infolge eines Gerichtsentscheids eingeführt, um die Luftverschmutzung der Hauptstadt Delhi in den Griff zu bekommen. Aufgrund der Erfolge wurde dieses Programm auf weitere Städte ausgeweitet.

Elektrofahrzeuge spielen bei der Minderung von Luftschadstoffemissionen in Indien bislang noch keine relevante Rolle. Der Marktanteil von Elektrozweirädern lag 2008/2009 bei immerhin 0,3 Prozent, was durch die seinerzeit bestehenden staatlichen Kaufzuschüsse zu erklären ist; bei Auslaufen der Regelung ging der Anteil deutlich zurück. Die Stückzahlen verkaufter Elektro- oder Hybrid-Pkw sind dagegen zu vernachlässigen.

Hinsichtlich der Marktentwicklung für Elektrofahrzeuge erwartet die indische Regierung in einer Potenzialstudie, dass der Anteil elektrischer Zweiräder im Neuwagenmarkt 2020 bei 15% liegen könnte, für Pkw wird ein Anteil von 18 - 19% (HEV, PHEV und BEV) für möglich gehalten.

Die befragten Akteure deuten an, dass diese Ziele nur durch eine konsequente Subventionierung der entsprechenden Fahrzeuge erreicht werden könne.



Abbildung 1: „Indian Helicopter“ - ein Rickshaw-Taxi mit CNG Antrieb in Delhi (eigene Aufnahme)

### **Technologie und Industrie**

Bei den Entwicklungen indischer Elektrofahrzeuge sticht in erster Linie die Robust- und Einfachheit der Fahrzeuge ins Auge. So wird, anstatt auf eine technologische Neu- oder Weiterentwicklung zu setzen, auf bestehende und bewährte Komponenten zurückgegriffen und diese möglichst funktional kombiniert. In den Interviews wurde hierbei oftmals auf bestehendes Know-how in Indien verwiesen. Beispielhaft wurde dabei der Technologietransfer im Bereich der Elektromaschinen hervorgehoben. In Indien wird der wartungsarme, preisgünstige und robuste Asynchronmotor als Antrieb für diverse Anwendungen bei Pumpen, Lüftern und anderen Massenwaren verwendet. Die vorhandenen Produktionsanlagen und Industrien sollen den Einstieg in die Elektromobilität gewährleisten. Da auch für elektrische Maschinen im Fahrzeug die Kosten und die Robustheit im Vordergrund stehen, werden derzeit hauptsächlich Asynchronmaschinen in den elektrifizierten Konzepten verwendet. Hierbei kann die Industrie von den Erfahrungen von den angesprochenen Industrieanwendungen profitieren. Hierbei spielt auch der vergleichsweise simple Herstellungsprozess eine wichtige Rolle. Für die Zukunft können sich die Experten aber durchaus vorstellen, dass auch permanenterrregte Maschinen Anwendung finden, da diese in der Regel einen besseren Wirkungsgrad und eine höhere Leistungsdichte besitzen als die Asynchronmaschinen. Da diese Maschinen, auch aufgrund der benötigten seltenen Erden, teurer sind, sieht man sie eher bei teureren Fahrzeugen, als bei günstigen Varianten. Die kostenintensive aber effiziente permanenterrregte Synchronmaschine, weltweit über eine lange Zeit für den Traktionsantrieb der Zukunft gehandelt, wird in Indien wie auch in Europa bezüglich der Abhängigkeit von in Monopolregionen geförderten Rohstoffen als kritisch beurteilt. Dennoch greifen Hersteller auf dieses Magnetmaterial zurück und entwickeln BLDC-Motoren mit permanentmagnetischer Erregung.

Ein Vertreter eines Fahrzeugherstellers mit Asynchronmotor stellt hierbei der Mahindra REVA mit dem e2o dar, dem neuesten Elektrofahrzeugmodell, das derzeit seine Markteinführung in Indien hat. Das Konzept des Unternehmens sowie des Produktes beschreitet hierbei einen für den indischen Markt sehr untypischen Weg. Generell legt der indische Kunde mehr Wert auf Preis und Nutzen des Fahrzeugs als auf Umweltaspekte wie beispielsweise Effizienz und Recyclingfähigkeit wie etwa in Europa. Die Marke Mahindra REVA setzt auf neue umweltbewusste Kunden in Indien und bietet neben einem stark recyclingfähigen Fahrzeug auch auf eine umweltbewusste Produktion samt Batterieerladung aus Solarstrom.





Abbildung 2: Parkplatz mit Solarladeeinrichtung vor dem Produktionsstandort von Mahindra REVA in Bangalore (eigene Aufnahme)

Neben der Variante für den indischen Markt plant Mahindra REVA auch ein leicht modifiziertes Fahrzeug für den europäischen Markt zu produzieren. Neben einer höheren Leistung soll auch die Boardnetz-Spannung des europäischen Modells über der des indischen liegen. So soll neben der Fahrdynamik auch die Effizienz gegenüber dem ursprünglichen Modell verbessert werden.

Im Bereich des Spannungsniveaus gibt es generell die Ansicht, dass diese für den indischen Fahrzeugmarkt niedrig gehalten werden muss. Das Spannungsniveau von 48V – 60V wird auch für die Zukunft wohl nicht flächendeckend überschritten werden können. Neben den höheren Kosten für Hochspannungs-Bordnetze spielt hier auch die sehr geringe Dichte an Fachwerkstätten eine wichtige Rolle. Der größte Teil der indischen Fahrzeuge wird direkt auf der Straße oder in einer provisorischen Hinterhofwerkstatt repariert (Abbildung 3). In einem solchen Umfeld mit Hochspannungsnetzen zu arbeiten scheint schon allein aus Sicherheitsgründen unmöglich.



Abbildung 3: Kleine Autowerkstatt am Straßenrand in Delhi (eigene Aufnahme)

Ein niedriges Spannungsniveau sagen auch die verschiedenen Experten für die Fahrzeuge, die am indischen Massenmarkt zu finden sein werden, für die Zeit bis 2020 voraus. Dass sich das bis 2030 signifikant ändern könnte, wird in der Regel nicht erwartet. Für Premium-Fahrzeuge, die allerdings einen verschwindet geringen Anteil am Neuwagenmarkt ausmachen, sind höhere Spannungsniveaus durchaus vorstellbar, allerdings sind das Fahrzeuge, die von ausländischen Firmen entwickelt und nach Indien importiert werden und somit in der Entwicklungsphase nicht auf die Anforderungen in Indien angepasst werden. Des Weiteren bieten Premiumhersteller ein flächendeckendes Netz an Servicewerkstätten welche schneller über HV-geschultes Personal verfügen können als freie Werkstätten.

Fahrzeuge mit Wasserstoff, so die Meinung der Experten, werden in Indien keine große Rolle spielen. Hier sieht man den Aufbau der Infrastruktur als größtes Hindernis.

Eine so klare Entwicklungsrichtung, wie man sie in Europa erkennen kann, dass Hybride vermehrt bei großen und schweren Fahrzeugen, Batterie-Elektrische Fahrzeuge eher im Kleinwagenbereich und bei Sportwagen vorkommen, sieht man in Indien nicht. Wegen der vielen 2- und 3-rädrigen Fahrzeuge, werden viele Hybride auch in sehr kleinen Varianten angeboten. Laut Experten erwartet man den Einstieg in die Elektromobilität in Indien im Bereich kleiner Fahrzeuge. Da Batterien teuer und die Technologien noch nicht ausgereift sind, versucht man dort vorhandene Fahrzeuge zu modifizieren. Ein großes Potential verspricht hierbei die Zusammenführung der Lichtmaschine und des Anlassers in einer kombinierten Einheit. Diese kann über geeignete Ansteuerung neben den Funktionen eines Starters und Stromerzeugers, den konventionellen Motor unterstützen. Die drei wesentlichen Hybridmodi: Start&Stop, Boosten und Rekuperation können somit leicht in bestehende Antriebsstränge von 2- und 3-Rädern adaptiert werden. So entwickelt TVS, ein Hersteller von 2- und 3-rädrigen Fahrzeugen, einen Plug-In-Hybrid-Roller mit paralleler Hybridarchitektur und Radnabenantrieb auf der Hinterachse zu Unterstützung des Verbrennungsmotors. Bei dessen Entwicklung wurde den marktspezifischen Wünschen in Indien Sorge getragen. So kann der Hybrid-Roller entweder konventionell, rein elektrisch oder im hybriden Betriebsmodus betrieben werden. Die Systeme sind so getrennt, dass beim Ausfall eines der Teilsysteme das andere System die Funktionen vollständig aufrecht halten kann. Somit kann für den indischen Kunden der gewünschte Nutzen und die Verlässlichkeit sichergestellt werden.

## 4 Fazit

Die Situation der Elektromobilität unterscheidet sich in Indien stark von den anderen Untersuchungsregionen und steht dabei jedoch in einigen Punkten exemplarisch für viele Schwellen- und Entwicklungsländer. Mit stark wachsenden Fahrzeugzahlen wird Indien mittelfristig zu einem relevanten Markt. Gleichzeitig leiden viele indische Städte schon heute unter massiver lokaler Luftverschmutzung. Neben den CNG-Antrieben, welche in einigen Großstädten für Taxen und Busse vorgeschrieben sind, können hier elektrifizierte Antriebe einen großen Beitrag zur Reduktion der verkehrsbedingten Luftverschmutzung leisten. Allerdings unterscheiden sich die Lösungen, die man hierbei auf dem indischen Markt findet, deutlich von den elektrifizierten Fahrzeugen, die derzeit z.B. in Europa, den USA oder Japan vorhanden sind. Auf Indiens Straßen sind vorrangig zwei- und dreirädrige Fahrzeuge zu finden. Doch auch diese werden aktuell in Indien schon mit elektrifizierten Antrieben ausgestattet. Zudem dominiert in Indien die Einfachheit und Robustheit über den technologischen Innovationen. Ein Grund hierfür sind neben den Kosten, auf welche der indische Neuwagenkäufer äußerst sensibel reagiert, die mangelnde Forschungsinfrastruktur und vor allem die mangelnde Zusammenarbeit zwischen Forschung und Industrie. Um diesem Hindernis zu begegnen werden in Indien verschiedene „Centre of Excellence“ gegründet, deren Ziel es ist, Forschung und Industrie zusammen zu bringen und Forschungsvorhaben zu koordinieren. Neben den Mitteln, welche die indische Regierung für Forschung und Entwicklung vorgesehen hat, sollen auch wieder Programme aufgesetzt werden, die den Kauf von Elektrofahrzeugen subventionieren. Derartige Programme haben in Indien in der Vergangenheit schon zu ersten Erfolgen geführt. Für die Zukunft kann man gespannt sein, wie und mit welchen Lösungen es auf dem indischen Markt gelingt, elektrifizierte Antriebskonzepte zu etablieren.

Bei Fragen und/ oder Anregungen wenden Sie sich jederzeit gerne an

### **Matthias Klötzke**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Institut für Fahrzeugkonzepte | Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung  
Pfaffenwaldring 38-40 70569 Stuttgart  
Telefon +49 (0)711 6862 8092  
Telefax +49 (0)711 6862 258  
[Matthias.Kloetzke@dlr.de](mailto:Matthias.Kloetzke@dlr.de)

### **Thorsten Koska**

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie  
Döppersberg 19  
42103 Wuppertal  
Telefon +49 202 2492-123  
Telefax +49 202 2492-263  
[Thorsten.Koska@wupperinst.org](mailto:Thorsten.Koska@wupperinst.org)



## **STROM – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität**

Dokument zur internen Verwendung für die STROM-Projekte  
„Schlüsseltechnologien der Elektromobilität“ des BMBF

Arbeitspapier der STROMbegleitung  
**Ergebnisse der Forschungsreisen**

Matthias Klötzke<sup>1</sup>, Hanna Hüging<sup>3</sup>, Thorsten Koska<sup>3</sup>, Stefan Trommer<sup>2</sup>, Benjamin Frieske<sup>1</sup>, Arne Höltl<sup>2</sup>, Philipp Hillebrand<sup>3</sup>

<sup>1</sup>DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK)  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

<sup>2</sup>DLR Institut für Verkehrsforschung (DLR-VF)  
Rutherfordstraße 2  
12489 Berlin

<sup>3</sup>Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie  
Döppersberg 19  
42103 Wuppertal

Oktober 2014

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Durchführung der Reisen .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>5</b>
3.1	Nordamerika .....	5
3.1.1	Erkenntnisse zu den Rahmenbedingungen der Elektromobilität in Nordamerika.....	5
3.1.2	Erkenntnisse zu den Schlüsseltechnologien .....	14
3.1.3	Fazit.....	18
3.2	Japan .....	18
3.2.1	Erkenntnisse zu den Rahmenbedingung der Elektromobilität in Japan.....	18
3.2.2	Erkenntnisse zu den Schlüsseltechnologien .....	21
3.2.3	Fazit.....	24
3.3	China.....	24
3.3.1	Erkenntnisse zu den Rahmenbedingung der Elektromobilität in China .....	24
3.3.2	Erkenntnisse zu den Schlüsseltechnologien .....	28
3.3.3	Fazit.....	33
3.4	Indien .....	34
3.4.1	Erkenntnisse zu Rahmenbedingungen der Elektromobilität .....	34
3.4.2	Erkenntnisse zu Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität in Indien .....	37
3.4.3	Fazit.....	41

# 1 Einleitung

Im Rahmen der STROM-Begleitforschung fanden Forschungsreisen nach China, Indien, Japan, USA und Kanada statt. Vertreter des DLR und des Wuppertal Instituts führten dort Interviews mit regionalen Akteuren der Elektromobilität durch. Die Forschungsreisen sind zentrale Elemente zweier Themenbereiche der STROM-Begleitforschung: Zum einen der Trendanalyse zu Fahrzeugtechniken und -konzepten, die spezifisch auch die internationalen Trends in der Fahrzeugtechnik betrachtet, und zum anderen des weltweiten Monitorings der Elektromobilitätsarena, welches detaillierte Regionalstudien in den entsprechenden Ländern umfasst.

Entsprechend der verschiedenen Inhalte der beiden Themenbereiche wurden unterschiedliche Akteure interviewt.

Die Interviews fokussierten sich dementsprechend auf folgende vier Bereiche

- Politischer Rahmen und Strategien (z.B. Förderprogramme und –budgets, Standards und Regularien, Infrastruktur und Stromwirtschaft)
- Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte (z.B. Forschungsthemen, Organisation der Elektromobilitätsforschung, Kooperation zwischen den Akteuren)
- Wirtschaft und Industrie (z.B. zentrale Hersteller von Elektroautos, Fahrzeugmodelle, Strategien, Geschäftsmodelle der Elektromobilität im weiteren Sinne)
- Marktstruktur Verbraucher (z.B. derzeitige Bestand von Elektrofahrzeug und Verkaufstrends, Akzeptanz von Elektrofahrzeugen, derzeitige Nutzer)

Im Rahmen der Regionalstudie dienen die vor Ort durchgeführten Interviews zum einen dazu, Informationen zu erhalten, die über die von den Regionalpartnern erstellten Studien hinausgehen. Insbesondere in Themenfeldern, die nur zum Teil durch öffentliche Dokumente abgedeckt werden können, sind die Interviews eine zentrale Erkenntnisquelle. Zum anderen werden bisherige Erfahrungen und Einschätzungen zur weiteren Entwicklung in den Themenfeldern abgefragt.

Die Interviews, die im Rahmen des internationalen Technologiemonitorings geführt wurden, thematisierten insbesondere Fragestellungen zur Forschungslandschaft, zu Trendentwicklungen und zum Stand der Technik verschiedener Schlüsseltechnologien der Elektromobilität in der spezifischen Weltregion und im Vergleich zu weiteren Weltregionen thematisiert. Die Schlüsseltechnologiefelder umfassen:

- Fahrzeugkonzept (mit detaillierten Fragen z.B. zu Antriebsstrang-Architekturen)
- Leistungselektronik (z.B. Halbleiter-Materialien)
- Elektrische Maschine (z.B. Substitution Permanentmagnete)
- Thermomanagement (z.B. Luftkühlung) und
- Leichtbau (z.B. Bauweisen und Materialien)

Neben diesen Schwerpunktfeldern wurden je nach Interviewpartner z.T. auch Fragestellungen zu Brennstoffzellen-Systemen und Traktionsbatterien aufgegriffen.

Die Ergebnisse der Interviews dienen dazu, die im Rahmen des Technologie-Monitorings identifizierten Forschungsschwerpunkte einzuordnen und bewerten zu können. Weiterhin dienen die Ergebnisse dazu, die Ausrichtung des Monitoring fokussieren oder ggfs. auf weitere, neuartige technologische Lösungen erweitern zu können. Die im Rahmen des Technologie-Monitorings durchgeführten Interviews haben einen hohen technischen Detailfokus, gehen damit über die in den beauftragten Regionalstudien identifizierten Fragestellungen hinaus und ergänzen diese auf technologischer Ebene.

## **2 Durchführung der Reisen**

Im Zeitraum vom April 2013 bis April 2014 wurde in den vier Regionen mit insgesamt 85 Vertretern von 53 verschiedenen Institutionen gesprochen. Dabei handelte es sich um Automobilhersteller bzw. Automobilverbände und Dachorganisationen, Forschungsinstitute sowie Ministerien und öffentliche Verwaltungen. Die Ergebnisse der Interviews werden anonymisiert behandelt und spiegeln nicht zwangsläufig die Meinungen und Aussagen aller Interviewpartner sowie der durch sie vertretenen Institutionen wider.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Nordamerika

Die Entwicklung der Elektromobilität hat in Nordamerika (USA und Kanada) in den vergangenen Jahren große Fortschritte gemacht. Insgesamt befinden sich in den USA derzeit ca. 130 000 Elektrofahrzeuge auf der Straße. Insbesondere im Bundesstaat Kalifornien aber auch in vielen Großstädten in den USA und Kanada werden Elektrofahrzeuge zunehmend nachgefragt. Hierbei ist eine beachtliche Stückzahl der Fahrzeuge in privater Hand. Eine Vielzahl an Maßnahmen wurde in den USA in die Wege geleitet, um privaten Käufern die Nutzung von Elektrofahrzeugen attraktiv zu machen. Zusätzlich wurden große Summen in Forschungs- und Entwicklungsprogramme investiert.

Es gibt bei den Experten unterschiedliche Meinungen zur Wirkung von einzelnen Maßnahmen wie beispielsweise Kaufanreize oder gezielter Förderung von Industriezweigen und welche Maßnahmen in welchem Umfang auch in Zukunft bestehen sollten.

Nachfolgend werden zunächst die auf den Interviews basierenden Erkenntnisse zu den Rahmenbedingungen für Elektromobilität in den USA und Kanada dargestellt und im weiteren Einblicke hinsichtlich der einzelnen Technologiefelder gegeben.

#### 3.1.1 Erkenntnisse zu den Rahmenbedingungen der Elektromobilität in Nordamerika

Die amerikanische Regierung hat ambitionierte Ziele für die Elektromobilität in den USA ausgegeben: Bis 2015 sollen eine Millionen Elektrofahrzeuge auf US-Straßen fahren. Hierbei werden solche Fahrzeuge gezählt, welche die Möglichkeit haben, rein-elektrisch zu fahren. Also Plug-In Hybride, Batterie-Elektrische sowie Brennstoffzellen-Fahrzeuge. Dass dieses Ziel wohl nicht erreicht wird, darüber sind sich die Experten größtenteils einig. Bei der Frage nach dem realistisch möglichen Zeitpunkt, wann dieses Ziel erreicht werden kann, gibt die Mehrzahl der Experten einen Zeitraum zwischen 2018 und 2020 an. Nur wenige sind der Meinung, dass eine Millionen Fahrzeuge schon vor 2018 oder erst nach 2020 auf der Straße vorhanden seien. Dennoch wird der Tatsache, dass dieses ambitionierte Ziel in dieser Form verkündet wurde, viel Bedeutung zugesprochen. So wurde die Elektromobilität Gegenstand der politischen und technologischen Diskussion, was dabei half, sie zum zentralen Punkt zukünftiger Verkehrsplanungen sowie zum Leitgedanken vieler Industrie-Unternehmen zu machen.

#### Rolle und Aufgaben der Regierung bei der Markteinführung

Bei der Markteinführung und Entwicklung von neuen Elektrofahrzeugen in den USA nimmt die nationale Regierung eine steuernde und regulierende Rolle ein. Der Kauf eines Elektrofahrzeugs wird durch die Regierung in Abhängigkeit der Batteriegröße durch Steuervergünstigungen gefördert, maximal mit 7.500 USD. Der Fahrzeugkauf von Modellen eines Herstellers wird für die Höchstzahl von insgesamt 200.000 Fahrzeugen bezuschusst. Käufer von zwei- und dreirädrigen Elektrofahrzeugen mit einer Batterie von mindestens 2.5 kWh werden mit bis zu 2.500 USD unterstützt. Bis Ende 2013 wurden Privatkäufer von Ladestationen mit bis zu 1.000 USD gefördert, Unternehmen erhalten bis zu 30.000 USD für den Aufbau einer eigenen Ladeinfrastruktur. Für das Aufstellen der Ladestation muss eine Genehmigung eingeholt werden, wofür die Kosten bis zu 700 USD betragen können. Da es ca. 40.000 lokale Behörden sind, welche diese Genehmigungen ausstellen, ist es laut den interviewten Experten eine große Herausforderung für die Regierung, für einfache und einheitliche Genehmigungsprozesse zu sorgen. Einige dieser nationalen Förderungen liefen 2013 oder laufen 2014 aus. Verschiedene Verbände aus Herstellern und Dienstleistern bemühen sich zurzeit um eine Verlängerung der Maßnahmen sowie eine generell längere Laufzeit von Förderprogrammen.



Auf Grund der Erfahrungen mit einer ersten Markteinführung von Elektrofahrzeugen in den 90er Jahren und dem darauf folgenden Abschwung sehen viele Amerikaner Reglementierungen grundsätzlich sehr kritisch. Damals war das „Zero Emission Vehicle Mandate“ (ZEV) des Air Resource Board (ARB) einer der Hauptgründe für die Entwicklung und Markteinführung von Elektrofahrzeugen. Oft wird das Motto, „der Markt soll es richten“ genannt, wenn man die Rolle der Regierung anspricht. Zu strenges und frühes Regulieren ist laut den meisten Experten eher kontraproduktiv. Grundsätzlich setzt sich die Regierung zurzeit sehr stark für Lösungen ein, welche zu einer Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern führen und sieht eine größere Anzahl an Fahrzeugkonzepten mit alternativen Antrieben als probates Mittel, um dieses Ziel zu erreichen. Auch für die Einhaltung der CAFE Standards können Elektrofahrzeuge für die Hersteller einen wichtigen Beitrag leisten.

Die Möglichkeit von einzelner Bundesstaaten oder Stadtverwaltungen, die Marktentwicklung positiv zu beeinflussen, wird als größer eingeschätzt da die Bundesstaaten eine sehr selbständige Energiepolitik verfolgen. Die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Durchsetzung der Elektromobilität unterscheiden sich in den, in vielerlei Hinsicht sehr unterschiedlichen, Bundesstaaten der USA stark. Begünstigende Standortfaktoren sind laut den Experten eine insgesamt innovative Industrie, eine hohe Kaufkraft und geringe bürokratische Strukturen. In besonders pro-aktiven Gemeinden vereinigen sich Energieversorger, Fahrzeughändler und politische Entscheidungsträger, um gemeinsam Strategien und Handlungsempfehlungen für die Nutzer von Elektrofahrzeugen auszuarbeiten. Als Ergebnis solcher Prozesse entstehen Roadmaps, welche den Nutzern online zur Verfügung stehen und ihnen bei den Schritten vom Elektroauto bis zur Lademöglichkeit helfen. Die nationale Regierung wird bei ihrer Formulierung von übergreifenden politischen Strategien von sogenannten National Laboratories unterstützt, welche im Auftrag der Regierung das Potential von besonders relevanten Forschungsergebnissen abschätzen und daraus Empfehlungen für politische (Förder-)Maßnahmen formulieren. Ein Experte beschrieb den Einfluss solcher wissenschaftlichen Einrichtungen, welche über das ganze Land verteilt sind, als sehr groß. Durch die Identifikation von potentiellen Schlüsseltechnologien sollen diese Technologien, deren Entwicklung und die Hersteller solcher technischen Entwicklungen besonders gefördert werden, um langfristig eine Kostenreduktion zu erzielen. Dies gilt aktuell insbesondere für die Batterieforschung, da die Batterie zurzeit noch der größte Kostenfaktor von Elektrofahrzeugen ist. Auf die Förderung von einzelnen Firmen mit hohen Summen, wie es in der Vergangenheit der Fall war, soll nach Ansicht der Experten verzichtet werden. Es soll möglichst der Eindruck vermieden werden, dass die Regierung bestimmte Hersteller bevorzugt.

Bezüglich der Förderung von Elektrofahrzeugen wird die aktuelle Förderstrategie seitens der nationalen Regierung als zu kurzfristig gesehen. Die Kaufprämien für Elektrofahrzeugkäufer werden beispielsweise nicht für einen längeren Zeitraum garantiert, sondern laufen ohne Folgefinanzierung aus. Die fehlende Planungssicherheit verunsichere die Käufer und Hersteller gleichermaßen, denn die Prämien sind ein wichtiger Erfolgsfaktor für die Marktentwicklung. Eine langfristige Zusicherung von Fördermitteln würde sich laut Experten positiv auf die weiteren Marktentwicklungen auswirken.

Die Autoindustrie hat als Arbeitgeber für junge Leute nicht mehr dieselbe Attraktivität wie dies früher der Fall war, wie ein Experte verrät. Sie gälte als wenig innovativ und veraltet. Um mehr für zukunftssträchtige und innovative Produkte zu tun, bilden sich Kooperationen zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen, insbesondere im Bereich der Materialforschung. Die amerikanische Rüstungsindustrie wird als bedeutender Geldgeber für Projekte zu Schlüsseltechnologien von Elektrofahrzeugkonzepten gesehen. .

### **Fahrzeuge und Marktentwicklung**

Die CAFE (Corporate Average Fuel Economy) Standards müssen Fahrzeughersteller in den USA erfüllen, um keine Strafzahlungen wegen zu hohem Flottendurchschnittsverbrauch zu leisten. Dies trägt mitunter

dazu bei, dass Hersteller auf alternative Antriebe setzen, um beispielsweise mit Elektrofahrzeugen einen geringeren Durchschnittsverbrauch zu erzielen. Zurzeit sind Elektrofahrzeuge in den USA und Kanada noch am ehesten in den Klein- und Mittelklassensegmenten zu finden. Unter den interviewten Experten war man sich nicht einig, ob die Nachfrage an kleineren Fahrzeugen in Zukunft zunehmen wird und somit die heutigen E-Fahrzeugmodelle im Trend liegen. Zwar ist der Nissan Leaf heute das am meisten verkaufte Fahrzeug in Atlanta und der Toyota Prius in ganz Kalifornien (Stand September 2013). Dennoch besteht in Nordamerika weiterhin eine sehr große Nachfrage nach SUVs und Pick-Ups. Mehrere Hersteller haben angekündigt, in naher Zukunft (Plug-In) Hybridmodelle für Geländewagen und Sportwagen anbieten zu wollen. Somit soll der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch gesenkt und der Anteil an elektrifizierten Antrieben in der Flotte erhöht werden. Neben den gesetzlichen Vorgaben tragen auch der Wertewandel sowie die Verknappung fossiler Kraftstoffe dazu bei, dass Hersteller die Entwicklung von alternativen Fahrzeugen weiter vorantreiben. In den 90er Jahren war es das „ZEV Mandate“ in Kalifornien, was bei einigen OEMs zur Entwicklung von massentauglichen EVs führte.



**Abbildung 1: Pick-Up des Herstellers Dodge mit Elektroantrieb**

Was die heutigen Verkaufszahlen in den USA angeht, so werden diese als durchweg zufriedenstellend gesehen. Es wird erwartet, dass der Anteil an Plug-In Hybriden auf dem Fahrzeugmarkt insgesamt stetig wachsen wird. Plug-In Hybride werden die reinen Hybridfahrzeuge in Zukunft ablösen, so ein Experte. Zudem wird erwartet, dass der Preis für Batteriezellen und naher Zukunft unter 125 USD/kWh sinken wird.

### **Geschäftsmodelle und Fahrzeugnutzung**

In Städten wie San Diego oder San Francisco etablieren sich zunehmend Car Sharing Fahrzeuge als Alternative zum Fahrzeugbesitz. In diesen beiden Städten existieren bereits Car Sharing Flotten, welche auch Elektrofahrzeuge beinhalten. Beispiele sind die Smart e-drive Fahrzeuge von Car2Go, BMW ActiveE Fahrzeuge von DriveNow oder Nissan Leaf Fahrzeuge von CityCarShare. Kalifornische Großstädte fördern Car Sharing als alternatives Mobilitätskonzept, und die Nutzungszahlen steigen stetig. Elektrofahrzeuge bieten sich als Car Sharing Fahrzeuge zum einen an, weil man an den Abgabeorten bei dem sogenannten standortgebundenen Car Sharing Ladestationen aufstellen kann. An solchen Car Sharing Stellen können optional auch andere Fahrzeuge genutzt werden, falls die Reichweite eines Elektrofahrzeugs für eine Fahrt nicht ausreicht. Es bietet sich also eine gewisse Flexibilität für den Nutzer um jede alltägliche Strecke

zurücklegen zu können. Auch manche Fahrzeughersteller bieten Geschäftsmodelle an, in welchen Besitzer von Elektrofahrzeugen für Langstrecken ein konventionelles Fahrzeug vergünstigt anmieten können. Das Netz an Car Sharing Stationen ist in San Francisco bereits sehr weit ausgebaut. Typischer Car Sharing Nutzer, welcher Elektrofahrzeuge auswählt, sind laut den Experten meist gut ausgebildete, alleinlebende Städter in jüngerem Alter. Kinderfamilien ziehen oft aus Kostengründen aus den Großstädten in die Vororte, sind anschließend auf ein eigenes Fahrzeug angewiesen und daher keine regelmäßigen Car Sharing Nutzer. Als ein Vorteil des Car Sharing Konzepts wird gesehen, dass das Fahrzeug im Voraus online gebucht werden kann und, falls es an einer Ladesäule steht, auch entsprechend automatisch vorkonditioniert werden kann. In besonders kalten oder warmen Regionen kann das Erwärmen oder Abkühlen des Fahrgastraums vor dem Fahren die Batteriekapazität entlasten und somit die erzielbare Reichweite erhöhen. Die zunehmende Sichtbarkeit von Car Sharing, nicht nur in Nordamerika, könnte dazu beitragen, dass auch Elektrofahrzeuge sichtbarer im Straßenbild werden.

Immer mehr Arbeitgeber nutzen Elektrofahrzeuge in ihren Dienstwagenflotten. Somit erhalten die eigenen Mitarbeitern die Möglichkeit, sich an Elektrofahrzeuge zu gewöhnen. Es wurde erwähnt, dass sich viele Kaufinteressenten gerade nach dem Testen solcher Dienstwagen für den privaten Kauf entschieden haben. Das „Raising Awareness“ (Sichtbarkeit erhöhen) wird als wichtiger nächster Schritt gesehen, um die Verbreitung von Elektroautos zu unterstützen. Meist gehen Interessenten davon aus, dass man mit Elektrofahrzeugen die alltäglichen Wege nicht abdecken kann. Mit Plug-In Hybridmodellen ist dies allerdings möglich. Trotzdem können viele der innerstädtischen Wege rein elektrisch gefahren werden. Für viele Experten geht es daher darum, möglichst viele Menschen über diese Eigenschaften von Elektrofahrzeugen aufzuklären um keine Reichweitenangst aufkommen zu lassen. Die meisten der heute verkauften Elektrofahrzeuge werden über Leasingverträgen verkauft. Ein Experte vermutete, dass sich die Hersteller die gebrauchten Fahrzeuge gerne zurücknehmen, um die Abnutzung dieser Fahrzeuge analysieren zu können. Die Kaufmotive für Elektrofahrzeuge in den USA sind laut Expertenmeinung sehr schwer zu vorausszusehen, was an der Spontanität der amerikanischen Fahrzeugkäufer liegt.

Erste Studien haben gezeigt, dass die Käufer des Nissan Leaf mehrheitlich jüngeren Alters sind und ein geringes Einkommen haben. Um neue Käufergruppen anzusprechen ist es, wie bereits erwähnt, notwendig die Sichtbarkeit der Elektromobilität zu verbessern. Die meisten Nutzer müssten über die Möglichkeiten und Vorteile von Elektrofahrzeugen aufgeklärt werden. Dazu organisieren Besitzer von Elektrofahrzeugen beispielsweise sogenannte Ride&Drives (etwa Probieren und Fahren) an Orten, wo möglichst eine große Anzahl von Interessenten die Möglichkeit bekommen soll, ein Elektrofahrzeug testen zu können. Das Ziel solcher Aktionen ist es unter anderem, die Vorteile von Elektroautos, wie z.B. das gute und sehr dynamische Fahrverhalten oder auch geringere bzw. wegfallende Spritkosten sowie geringere Wartungskosten dem potentiellen Käufer aus erster Hand näherzubringen. Auch können so Erfahrungen zur benötigten Lademöglichkeit, deren Verfügbarkeit oder den notwendigen Bewilligungsprozess für das Aufstellen einer solchen Lademöglichkeit am Wohnort direkt weitergegeben werden.



**Abbildung 2: Ride&Drive vor einem Einkaufszentrum (San Diego, Kalifornien)**

Die bereits genannten Einschränkungen von Elektrofahrzeugen, insbesondere die geringere Reichweite, werden als Grund dafür gesehen, dass viele Käufer sich ein Elektrofahrzeug als Zweit-, oder Drittfahrzeug anschaffen um flexibel zu bleiben. Den zurzeit noch recht hohen Anschaffungskosten stehen im Vergleich zum konventionellen Fahrzeug geringere operative Kosten gegenüber. Zwar werden Elektrofahrzeuge, zumindest ohne Subventionen, in Bezug auf die Anschaffungskosten kurz und mittelfristig nicht die günstigste Alternative, allerdings sind diese Fahrzeuge im Unterhalt oftmals deutlich günstiger. Dies spricht nach Expertenmeinung eher für das Leasinggeschäft und eine monatliche Zahlung inklusive der Rückgabe des Fahrzeugs am Ende der Leasingzeit.

### **Kaufanreize**

Als einen der wichtigsten Punkte für die bisherige positive Entwicklung der Elektromobilität wird von den Experten das Vorhandensein von finanziellen Kaufanreizen gesehen. Diese Kaufanreize, welche sich sowohl aus landesweiten wie auch regionalen und lokalen Subventionen zusammensetzen können, sorgen dafür, dass sich E-Fahrzeuge im Anschaffungspreis auf einem ähnlichen Niveau bewegen können, wie vergleichbare, konventionelle Fahrzeuge. Zurzeit kann der Elektrofahrzeugmarkt in den USA nicht ohne diese Kaufanreize auskommen, hierin sind sich die Experten einig. Momentan (Stand Oktober 2013) erhält der Käufer eines Elektrofahrzeugs eine Steuervergünstigung von insgesamt 7.500 USD. Hinzu kommen weitere Vergünstigungen, welche durch die Bundesstaaten festgesetzt werden. Kalifornien vergibt unter allen Bundesstaaten die höchsten Steuervergünstigungen an Elektrofahrzeugbesitzer. Die Vergünstigungen können von der Steuer abgesetzt werden, was dazu führt dass die Verkaufszahlen für Elektrofahrzeuge zum Ende eines Jahres stark ansteigen, da sich die Vergünstigung in der Steuererklärung im Januar auswirkt. Die Kaufsubventionierung als Steuerungsmittel der Nachfrage nach E-Fahrzeugen wird derzeit diskutiert, weil sie auf absehbare Zeit ein notwendiges Mittel für die Marktentwicklung bleiben wird. Einige Experten befürchten, dass es für die Politik wichtiger sein könnte, die Ausgaben für die Kaufsubvention in naher Zukunft zu senken, als für einen nachhaltigen Absatz an E-Fahrzeugen zu sorgen. Zudem werden die Subventionsmittel in manchen Fällen nur recht kurzfristig bewilligt, was die Planung für Hersteller und Händler erschwert. Dies gilt insbesondere zu Zeiten, in denen bewilligte Mittel nahezu aufgebraucht und neue noch nicht frei gegeben sind. In etwa 10 Jahren könnten

allerdings Subventionen auf Grund des dann bestehenden technischen Fortschritts nicht mehr notwendig sein.

Neben den finanziellen Kaufanreizen werden Haltern von E-Fahrzeugen in den USA noch weitere Privilegien eingeräumt. So bekommen Halter von Plug-In Hybriden und batterie-elektrischen Fahrzeugen einen freien Zugang zu den sogenannten Car-Pool- oder HOV-Lanes (High Occupied Vehicles, Fahrspuren, welche für Fahrzeuge mit 2 Personen (in manchen Fällen auch 3 oder mehr) reserviert sind). Besonders in Städten mit starker Verkehrsbelastung wie Los Angeles und gerade zu Hauptverkehrszeiten ist die Nutzung von HOV Lanes ein wesentlicher Anreiz für die Nutzung von Elektrofahrzeugen. Auch gibt es in vielen Städten freie Parkplätze für die Halter von E-Fahrzeugen. In manchen Fällen haben die nicht-finanziellen Vorteile nach Aussage der Experten sogar einen größeren Einfluss auf die Kaufentscheidung als rein finanzielle Kaufanreize. Dies wird auch dadurch deutlich, dass ein beachtlicher Teil der Kunden, welche sich das „Model S“ der Firma Tesla gekauft haben, die finanziellen Vergünstigungen nicht, oder zumindest nicht in vollem Umfang abgerufen haben. Einschränkend muss man zu diesen Kunden jedoch sagen, dass es sich zum einen bei dem Fahrzeug um ein Premium-Fahrzeug handelt und zum anderen um eine Kundengruppe, die sehr früh neue, „hippe“ Technologien anschafft und nicht vordergründig auf den Preis eines Produkts achtet.

Neben den hier genannten Kaufanreizen wird sich der zukünftige Sprit- und Strompreis stark auf die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen auswirken. Der durchschnittliche Strompreis in den USA liegt weit unter dem Preis in Deutschland, gleiches gilt für den Spritpreis (Stand 2013). Die Ölindustrie hat für die USA eine wichtige wirtschaftliche Bedeutung, und die Nutzung von alternativen Energieträgern für Straßenfahrzeuge würde hier Einbußen mit sich ziehen. Bezahlbare Kraftstoffpreise sehen viele U.S. Bürger als notwendig an, um mit dem eigenen Fahrzeug mobil bleiben zu können da viele Menschen privat sowie wirtschaftlich vom Auto abhängig sind. Eine Steuererhöhung für die Kraftstoffe Benzin und Diesel würde zwar Elektrofahrzeuge als Alternative attraktiver machen, hätte jedoch einen sehr großen Einfluss auf die Mobilität vieler Menschen in den USA. Die Regierung hat die schwere Aufgabe, sowohl die weitere Verbreitung von emissionsärmeren Fahrzeugen voran zu treiben und gleichzeitig die Mobilität der Leute zu sichern.

Es lässt sich festhalten, dass sowohl finanzielle als auch nutzungsbezogene Anreize eine wichtige Rolle bei für die Markteinführung von Elektrofahrzeugen spielen. Wie man am Beispiel der USA erkennen kann, sind unterstützende politische Maßnahmen sehr wichtig für eine erfolgreiche Markthochlaufphase. Die zukünftigen Preisentwicklungen und Fahrzeugnutzungskosten bestimmen maßgeblich mit, ab welchem Zeitpunkt Elektrofahrzeuge einen wesentlichen Anteil am Fahrzeugbestand ausmachen werden.

### **Ladeinfrastruktur**

Ein sehr wichtiges Thema in den Diskussionen rund um die Elektromobilität in den USA ist die Ladeinfrastruktur. Die heute zahlreich vorhandenen Elektrofahrzeuge in Kalifornien haben dazu geführt, dass sich an einzelnen Ladesäulen bereits Warteschlangen bilden wie ein Experte uns aus eigener Erfahrung berichtet. Die Ladeinfrastruktur muss verschiedene Anforderungen erfüllen, beispielsweise muss sie auf die Schwankungen in der Auslastung reagieren können. Benötigt werden Ladestationen in allen Bereichen der täglichen Verkehrswege: am Wohnort, an der Arbeitsstelle und im öffentlichen Raum. Es werden auch die Auswirkung verschiedener Ansätze auf das Strom-Netz kontrovers diskutiert. Im Gegensatz zu Deutschland ist in den USA eine Spannung im Hausnetz von 110 V (Level 1) der Standard. Somit verfügt auch ein Teil der Ladeinfrastruktur lediglich über eine Spannung von 110 V. Da dies, gerade bei Fahrzeugen mit großen Batterien, einen langen beziehungsweise verlustreichen Ladevorgang zur Folge hat, werden sowohl im privaten wie auch im öffentlichen Bereich Ladestationen mit einem 220 V-

Anschluss, sogenannte Level 2 Charger, angeboten. Jedoch ist es, insbesondere bei Häusern mit einem alten Leitungsnetz, zum Teil nicht möglich, die dafür erforderliche Peripherie zu installieren. Auch der Weg zu einer Genehmigung einer privat aufgestellten Lademöglichkeit ist je nach Bundesstaat sehr unterschiedlich. In eigenen Gemeinden informieren Behörden interessierte Kunden anhand Broschüren darüber, wie sie die Genehmigung für eine Lademöglichkeit einholen müssen. Die Kosten für solch eine Genehmigung fallen sehr unterschiedlich aus. Der Ausbau der Ladeinfrastruktur wird sehr lokal organisiert, was auch an der Vielzahl der verschiedenen Stromanbieter liegt. Die Nutzer von Elektrofahrzeugen befürworten solch eine dezentrale Organisation und sehen Regulieren eher als Hindernis. Sie bevorzugen daher die Auswahl der Standorte von Ladestationen eher durch private Anbieter.

Die Einführungsphase der Elektrofahrzeuge in den USA hat gezeigt, dass die Mehrheit der Nutzer ihre Elektrofahrzeuge entweder zu Hause oder am Arbeitsplatz aufladen. Der Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur wie z.B. Ladesäulen am Straßenrand oder auf Parkplätzen wird zwar vorangetrieben. Die Mehrheit der Experten ist sich jedoch einig, dass eine staatliche Förderung von Lademöglichkeiten am Arbeitsplatz oder zu Hause der rentablere Weg sei. Die längeren Standzeiten am Arbeitsplatz und zu Hause sind hier ausschlaggebend und sprechen gegen eine stark ausgebaute öffentliche Infrastruktur. Durch die Konzentrierung der Ladezeiten zu Hause und am Arbeitsplatz ergeben sich offensichtliche Stromnachfragespitzen. Um eine gleichmäßige Belastung des Netzes zu erreichen, können die Ladezyklen einzelner Fahrzeuge gesteuert und auf einen festen Zeitraum verteilt werden. Hierzu gibt es bereits Anbieter eines solchen intelligenten Lademanagements. In Bezug auf die verschiedenen Ladestandards haben bisherige Erfahrungen gezeigt, dass gerade Kunden, welche ein batterieelektrisches Fahrzeug kaufen, auch eine Level 2 Ladestation installieren möchten. Käufer von Plug-In Hybriden geben sich in vielen Fällen auch mit einer Level 1 Ladestation zufrieden, da die Reichweitenproblematik bei Hybridfahrzeugen nicht in dem Maß besteht, wie es bei batterieelektrischen Fahrzeugen der Fall ist.

Den Stromverbrauch am Wohnort kontrollieren viele Nutzer in den USA bereits über einen intelligenten Stromzähler (Smart Meter). Damit kann der Nutzer den Stromverbrauch des Fahrzeugs genau zuordnen. Ein Experte erwähnte, dass sich sein Stromverbrauch zu Hause bei regelmäßiger Aufladung des Elektrofahrzeugs etwa verdoppeln würde. Für Elektrofahrzeugbesitzer, die in Mehrfamilienhäusern in Großstädten wohnen und über keine eigene Lademöglichkeit besitzen, sind gemeinschaftlich genutzte Ladestationen die einzige Möglichkeit über Nacht das Fahrzeug zu laden. Laut den Experten sind hier insbesondere Stadtverwaltungen gefragt, um Anreize für Hausbesitzer zu schaffen, Lademöglichkeiten für Elektrofahrzeuge zu installieren. Bisher sind die meisten Eigentümer von Elektroautos auch Besitzer einer eigenen Lademöglichkeit am Wohnort. Andere kommen unter Umständen vom Kauf eines Elektrofahrzeugs ab, weil der Hausbesitzer nicht bereit ist, eine Ladesäule am Wohnort aufzustellen. Beispielsweise arbeitet die Stadt Toronto an einem Programm, welches dieses Problem der Ladestationen in Mehrfamilienhäusern aufgreift.

Die interviewten Experten waren sich einig darüber, dass die Sichtbarkeit und die Standorte einer Lademöglichkeit einen starken Einfluss auf die Kaufentscheidung haben. Immer mehr Firmen integrieren darüber hinaus Elektrofahrzeuge in ihre Fahrzeugflotten. Besonders Fahrzeughersteller und Technologiefirmen bieten so ihren eigenen Mitarbeitern an, Elektrofahrzeuge zu testen und den Prozess des Aufladens am Arbeitsplatz auszuprobieren. Viele Käufer, so gaben einige Interviewte an, sind gerade durch die Sichtbarkeit der Elektrofahrzeuge am Arbeitsplatz von einem Kauf überzeugt worden. Daher wird die Regierung von Arbeitgeberseite dazu aufgerufen, den Aufbau der Ladestruktur am Arbeitsplatz in Zukunft gezielt zu fördern, um den Effekt der erhöhten Sichtbarkeit für die weitere Markteinführung zu nutzen.



**Abbildung 3: Google Mitarbeiterparkplatz mit Ladesäule**

In den USA entstand durch die zahlreichen Elektrofahrzeugtypen zunehmend die Herausforderung, die eine Ladeinfrastruktur für die unterschiedlichen Standards von Ladesteckern zu ermöglichen. Dies gilt insbesondere für Schnellladesäulen, welche in Zukunft eine immer höhere Relevanz haben werden. Tesla betreibt ein eigenständiges Gleichstrom-Supercharger-Netz in Kalifornien, japanische Hersteller nutzen den sogenannten CHAdeMO-Standard und wiederum andere Elektrofahrzeuge den SAE-J1772 Standard. Laut einem Experten wurde seitens der Regierung zu früh davon ausgegangen, dass sich der Typ CHAdeMO durchsetzen wird. Aus diesem Grund wurde zunächst die Ladeinfrastruktur dieses Typs gefördert. Nun ist man bestrebt, neue Ladesäulen aufzustellen welche die unterschiedlichen Standards bedienen können. Ein solches Netz aus kombinierten Ladesäulen ist in den Niederlanden Beispielsweise schon vorhanden.

#### **Exkurs: Kalifornien**

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass die US-Bundestaaten sehr unterschiedliche Perspektiven für die Einführung von Elektrofahrzeugen aufweisen. Dies liegt unter anderem an der sich unterscheidenden Umwelt- und Energiepolitik, sowie der Motivation Kaufanreize für Elektrofahrzeuge einzusetzen. Kalifornien nimmt unter den Bundesstaaten der USA eine gewisse Sonderrolle ein. Insgesamt werde 40% aller rein batteriebetriebenen Elektrofahrzeuge in den USA hier abgesetzt, jährlich sind es zurzeit rund 17.000 Fahrzeuge (Stand: 2013). Der Toyota Prius war das am meisten verkaufte Fahrzeug (ca. 60.000 Fahrzeuge, Stand 2013), was die geringe Verbundenheit der Kalifornier zu amerikanischen Herstellern verdeutlicht.

Laut Experten hängt die frühe Markteinführung in Kalifornien mit der Einstellung der Bevölkerung zu neuen Technologien zusammen: Kalifornier nehmen laut der Expertenmeinung eine Pionier- bzw. Vorreiterrolle ein, wenn es um den Test und die Nutzung neuer Technologien geht. Ein Experte: „was Kalifornien an Gesetzen und Bestimmungen umsetzt, wird sich auch in anderen Staaten durchsetzen“. Das Innovationspotential in den kalifornischen Regionen ist im Vergleich zu den anderen Staaten sehr hoch, nicht zuletzt durch die Technologiezentren im Silicon Valley. Auch die Elektromobilität profitiert von

Innovationen der Firmen und Forschungsinstituten in dieser Region. . In Kalifornien gibt es, mit Ausnahme des Herstellers Tesla, keine eigene Autoindustrie. Wenige Arbeitsplätze sind direkt mit großen Herstellern verknüpft. Dazu hat der Bundesstaat einen für amerikanische Verhältnisse schadstoffarmen Energie-Mix der dazu führt, dass der Strom sauberer ist als in vielen anderen Staaten. Für Kalifornien wird bis 2020 ein Anteil von insgesamt 33% an erneuerbaren Energien angestrebt.



Abbildung 4: Batterie-elektrisches Post-Zustellfahrzeug der Firma FedEx in San Diego, CA

### **Exkurs: Kanada**

Die Elektromobilität wird in Kanada, wie es auch in den USA der Fall ist, meist als Konzept der urbanen Mobilität gesehen. Die Voraussetzungen zur Umsetzung der Elektromobilität in Kanada sind vergleichbar mit jenen von den meisten Großstädten der USA. Es gibt in Kanada einige wenige extreme Einsatzgebiete von Elektrofahrzeugen, welche diskutiert werden: beispielsweise den Tagebau zur Förderung von Rohstoffen mittels elektrisch betriebenen Transportfahrzeugen (ein bedeutender Industriezweig für Kanada) oder der Einsatz von Elektromotorschlitten in abgelegenen Gebieten im Norden. Für Herausforderungen zur Alltagsmobilität der Stadtbevölkerung unterscheiden sich die Fragestellungen nicht sonderlich im Vergleich zu Deutschland oder den USA. Die großen Distanzen in Kanada sind für den Einsatz von Elektrofahrzeugen für Langstrecken eher ungeeignet. Der Aufbau eines Netzes aus Ladestationen zwischen einzelnen Ballungsräumen ist nicht vorgesehen. Für kanadische Großstädte geht man davon aus, dass der Fahrzeugbesitz stark abnehmen wird da die öffentlichen Nahverkehrsnetze gut ausgebaut sind und die Kosten für das Abstellen des Autos in der Stadt hoch sind. Car Sharing wächst zurzeit sehr stark in Städten wie Vancouver oder Toronto. Wie dies in den USA der Falls ist, geht man auch in Kanada davon aus, dass sich die Fahrzeugflotte in den kommenden Jahren verkleinern wird.

Als Produktions- und Entwicklungsstandort spielt Kanada für US-Firmen eine wesentliche Rolle. Rund 75% aller kanadischen Exporte gehen in die USA. Viele in Kanada gefertigten Fahrzeuge, darunter auch Elektrofahrzeuge, sind ausschließlich für den US Markt vorgesehen und werden in Kanada nicht geführt. In Kanada werden mehr kleine und mittelgroße Fahrzeuge abgesetzt als dies in den USA der Fall ist. General Motors und Ford betreiben in Kanada eigene Forschungsstandorte und kooperieren vor Ort mit



Forschungsinstituten und Universitäten. Unter den gemeinsamen Forschungsbereichen spielt insbesondere der Leichtbau eine wichtige Rolle, was wiederum relevant für Elektrofahrzeugkonzepte ist. Auch kanadische Universitäten sind in vielen Kooperationen vertreten, in welchen an Schlüsseltechnologien der Elektromobilität geforscht wird.

Laut den Experten aus Kanada ist man insgesamt mit der Einführung von Elektrofahrzeugen nicht ganz so zufrieden, wenn man die Entwicklungen mit jenen in den USA vergleicht. Die Anzahl der verkauften Fahrzeuge ist eher enttäuschend. Viele Käufer schreckt die geringe Reichweite ab. Deshalb werden sich in Kanada Plug-In Hybride als Elektrofahrzeugkonzept durchsetzen. Allerdings muss dazu die Ladeinfrastruktur noch weiter ausgebaut werden. Die Provinzen, vergleichbar mit den Bundesstaaten in den USA, zeigen wiederum eine unterschiedliche Bereitschaft zur Einführung der Elektromobilität. Besonders Quebec und British Columbia bemühen sich um die starke Förderung der Elektromobilität. Quebec als Provinz hat einen hohen Anteil an Wasserkraft und wenige Arbeitsplätze in der Autoindustrie. Das Öl für Kraftstoffe muss importiert werden. Die Provinz hat daher ein hohes Interesse an Fahrzeugen mit alternativen Antrieben. Den Strom bezieht man Kanada größtenteils aus Wasserkraft und das Land hat nach Norwegen den höchsten Anteil an Erneuerbaren Energien in ihrem Strom-Mix. Die nationale Regierung in Kanada hat sich zum Ziel gesetzt, insbesondere Forschungsaktivitäten in den Bereichen Leichtbau und Antriebssysteme zu investieren. Die Regierung setzt weniger auf den Einsatz von hohen Kaufprämien wie dies in den USA der Fall ist. Laut eines Experten könnten in Kanada bis zu 500.000 Elektrofahrzeuge bis zum Jahr 2020 auf den Straßen in Kanada fahren, möglich ist ein Anteil von 0,5% an rein batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen in der Fahrzeugflotte.

### 3.1.2 Erkenntnisse zu den Schlüsseltechnologien

An einem Punkt sind sich alle Experten einig. Technologien, die dazu beitragen, der Elektromobilität zu ersten Erfolgen zu verhelfen, existieren zum größten Teil schon in ausreichender Qualität. Interessanter wird es hier bei der Frage, welche Technologien für nächste und übernächste Generation notwendig sind und gegebenenfalls noch entwickelt werden müssen. Hierbei gibt es vor allem ein großes Thema. In vielen Komponenten und Technologien wird der Materialforschung viel Bedeutung für zukünftige Anwendungen zugesprochen. Die wichtigste Komponente ist hierbei ohne Frage die Batterie. Viele Befragte sehen in der Batterie die Komponente, mit der die Elektromobilität nachhaltig zu einer Erfolgsgeschichte werden, an welcher sie aber auch genauso scheitern kann.

#### **Elektrische Maschinen**

Neben den Batterien können noch weitere Komponenten von Fortschritten in der Materialforschung profitieren. Im Bereich der elektrischen Maschinen sollen neue Materialien helfen, seltene Erden in den Permanentmagneten zu reduzieren und im besten Fall vollständig darauf zu verzichten. Denn die Vorteile, die permanent erregte Maschinen bieten, werden wohl von fremderregten, zumindest mittelfristig, nicht ausgeglichen werden können. Hier stehen die Effizienz sowie die Leistungsdichte und die damit verbundene kompakte Bauweise, welche bei permanent erregten Maschinen positiv ausgeprägt sind, im Mittelpunkt. Allerdings wird die Thematik rund um die seltenen Erden aufgrund der Versorgungssituation sehr kritisch gesehen. Um gegen etwaige Engpässe gewappnet zu sein, wird auch die Notwendigkeit der Weiterentwicklung alternativer E-Maschinenkonzepte als wichtig eingestuft. Bei der Frage, welcher der Wege, ob alternative Materialien für Permanentmagnete oder alternative Maschinenkonzepte, der erfolgversprechendere oder bessere ist, herrscht Uneinigkeit. Es zeigt sich, dass wohl so lange beide Pfade verfolgt werden, bis eine der Varianten einen technologischen Durchbruch und damit signifikante Verbesserungen hervorbringt. Hierbei ist auch eine Mischung von neuartigen Konzepten in Verbindung mit neuen Permanentmagnet-Materialien eine der Lösungen, die viele Experten für sinnvoll halten. Dabei

wird insbesondere das thermische Verhalten der Materialien immer wieder erwähnt. Durch die Erhöhung der Currie-Temperatur könnten die Maschinen weniger anfällig gegenüber Überhitzung werden, wodurch eine höhere Dauerleistung eingestellt werden könnte bzw. die Anforderungen an das Thermo-Management geringer werden. Im Idealfall könnte gänzlich auf ein aktives Thermomanagement bei den elektrischen Maschinen verzichtet werden.

### **Leistungselektronik**

Das thermische Verhalten spielt auch im Bereich der Leistungselektronik eine Rolle. Derzeit muss bei vielen Anwendungen im Automobilbereich ein recht enger Temperaturbereich für die Leistungselektronik sichergestellt werden. Hierfür ist oftmals ein aufwendiges, aktives Thermomanagement notwendig. Besonders bei hohen Leistungen, wie sie beim Beschleunigen, Rekuperieren aber auch während eines Schnellladevorgangs auftreten können, müssen die Bauteile gekühlt werden. Ein breiteres Temperaturspektrum, in welchem die Leistungselektronik zuverlässig arbeiten kann, würde auch dabei helfen, die Packaging-Eigenschaften zu verbessern. Neben dem Thermomanagement und den Packaging-Eigenschaften, welche bei einer Mehrheit der Experten die wichtigste Rolle für zukünftige Leistungselektronikkomponenten spielen, wird immer wieder auch eine Erhöhung der Schaltfrequenzen als Anforderung für zukünftige Bauteile erwähnt. Technologisch vielversprechende sind hierbei Bauteile aus Siliziumkarbid (SiC), die helfen könnten, die Anforderungen zukünftiger Systeme zu erfüllen. Allerdings merken die Experten an, dass ein flächendeckender Einsatz dieser Bauteile erst dann erfolgen wird, wenn sich die Kosten in einem ähnlichen Bereich bewegen, wie es für heutige Bauteile der Fall ist.

Neben den Anforderungen, die im Betrieb des Fahrzeugs an die Leistungselektronik gestellt werden, sollte dem Lademodul nach Meinung der Experten eine große Bedeutung in der zukünftigen Entwicklungsarbeit zukommen. Hierbei werden 2 Themen immer wieder genannt:

Zum einen gibt es gesteigerte Anforderungen an die Ladeinheit, wenn Fahrzeuge in sogenannte Smart-Grids integriert werden. Hierbei dient das Fahrzeug, bzw. die im Fahrzeug befindliche Batterie, als Speicher für Strom aus dem Netz. Sinn dieser Anwendung ist, dass zu den Zeiten, in welchen mehr Strom verfügbar ist als benötigt wird, bzw. Strom besonders günstig bezogen werden kann, dieser in der Batterie gespeichert wird. Zu Zeiten, wenn viel Strom benötigt oder dieser teuer ist, soll er wiederum aus der Batterie in das Netz eingespeist werden. Daraus folgt, dass der Strom nicht nur in eine Richtung durch das Lademodul fließen muss, nämlich beim Laden der Batterie. Das Lademodul muss zudem in der Lage sein, den Strom wieder an das Netz abzugeben. Hierbei werden sogenannten Micro-Grids, also kleine, weitestgehend autarke Netze, welche mit viel erneuerbarer Energie versorgt werden, in den Fokus gerückt.

Zum anderen mahnen die Experten an, dass man sich in Zukunft auf Standards einigen muss. Insbesondere bei Schnellladesystemen stellt dies derzeit ein Problem dar, da einige Hersteller eigene Lösungen am Markt platzieren, die nicht mit den Systemen anderer Hersteller kompatibel sind. Auf der einen Seite kann, solange es keine öffentliche Ladeinfrastruktur gibt, ein Hersteller sicherstellen, dass die von ihm finanzierten Ladesäulen auch nur von seinen Kunden und mit seinen eigenen Produkten genutzt werden kann. Auf der anderen Seite ist es auf Dauer nicht zielführend, wenn jeder Hersteller sein eigenes Konzept installiert, da dadurch eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme langfristig koexistieren müsste.

### **Leichtbau**

Ein leichteres Fahrzeug bringt nicht nur für Elektrofahrzeuge Vorteile. Auch konventionelle, mit Verbrennungsmotor betriebene Fahrzeuge können Energie einsparen, wenn sie leichter sind. Aus diesem Grund mahnen Experten, den Leichtbau auch in Zukunft weiter engagiert voran zu treiben und ihn nicht im Zuge der Entwicklung von elektrischen Komponenten aus dem Auge zu verlieren. Viele der

Technologien sind schon sehr weit ausgereift, da sie schon im großen Maßstab Anwendung finden. Ein Thema, das sich in Zukunft stärker in der Automobilproduktion durchsetzen könnte, sind Faserverstärkte Kunststoffe, wobei den Kohlefasern hierbei am meisten Potential zugesprochen wird. Für eine flächendeckende Anwendung sehen die Experten noch Bedarf in den Produktionsverfahren. Auch im Bereich der Simulation, insbesondere der Simulation von hochdynamischen Vorgängen, wie sie zum Beispiel im Crash-Fall auftreten, gibt es noch einen erheblichen Forschungsbedarf. Um, über den Betrieb des Fahrzeuges hinausgehend, eine positive Lebenszyklusanalyse dieser Bauteile gewährleisten zu können, sollten auch nachhaltige Recyclingkonzepte in zukünftigen Überlegungen immer eine Rolle spielen.

### **Fahrzeugkonzepte**

Bei einem Vergleich von Fahrzeugen auf amerikanischen Straßen und Fahrzeugen, wie sie in Europa gefahren werden, ist vor allem die Fahrzeuggröße ein herausstechender Unterschied. Während in Europa viele Kompaktwagen und Mittelklasselimosinen das Bild bestimmen, sind es in Nordamerika große Fahrzeuge, oftmals SUVs und Pick-Ups, welche einen Großteil ausmachen. Je größer und schwerer ein Fahrzeug ist, desto mehr Energie benötigt es und desto größer muss, bei einem rein-elektrischen Fahrzeug, die Batterie ausgelegt sein, um eine ausreichende Reichweite sicherstellen zu können. Da das mit erheblichen Kosten verbunden ist, dreht sich vieles um die Frage, wie zukünftige Fahrzeuge, besonders elektrifizierte Fahrzeuge, in Nordamerika ausgestaltet sein werden. Hierbei geht die Meinung der Experten weit auseinander.

Auf der einen Seite ist man der Meinung, dass die Fahrzeuge auch in Zukunft ähnliche, wenn nicht gar größere Ausmaße annehmen werden, wie das heute schon der Fall ist. Hierbei geht man davon aus, dass der Anteil an rein-elektrischen Fahrzeugen eher gering sein wird und der Markt vielmehr von Hybrid-Fahrzeugen bestimmt wird. Konzepte, wie das Model S der Firma Tesla werden hierbei nicht als ein Massenmarkt-fähiges Fahrzeug angesehen. Vielmehr werden derartige Fahrzeuge auch in Zukunft Kunden ansprechen, die über ein gewisses Vermögen und einen gesellschaftlichen Status verfügen.

Auf der anderen Seite sind viele Experten davon überzeugt, dass die Käufer in Nordamerika in Zukunft kleinere, kompakte Fahrzeuge kaufen werden, die zu einem erheblichen Anteil hochgradig elektrifiziert sein werden. Hierbei spielen rein-elektrische und Range-Extender Fahrzeuge eine sehr wichtige Rolle.

Einigkeit herrscht hingegen bei der Meinung, dass es deutlich einfacher und auch wirtschaftlich sinnvoller sei, mit kleineren elektrifizierten Fahrzeugen zu fahren.

Zwei Entwicklungsrichtungen können bezüglich dem Elektrofahrzeugkonzept unterschieden werden: das Purpose Design und Conversion Design. Unter den Experten war man sich nicht einig, welches Designkonzept erfolgsversprechender ist: die komplette Neukonzeptionierung eines Elektroautos bzw. der wesentlichen Fahrzeugkomponenten wie im Purpose Design oder das Zurückgreifen auf bestehende Fahrzeugkarosserien, wie es im Conversion Design gehandhabt wird. Für das Entwickeln eines neuen Fahrzeugkonzepts spräche, dass das Elektrofahrzeug an sich ein völlig neues Mobilitätserlebnis für die Nutzer ist, welches auf Basis der Bedürfnisse der Nutzer entwickelt werden sollte. Auch der Vorteil, dass ein komplett neues Fahrzeugdesign einen äußerlichen Wettbewerbsvorteil bringt, wurde genannt. Hierbei war vor allem die Tatsache, dass ein Fahrzeug direkt als Elektrofahrzeug und damit als neu, modern und innovativ erkannt werden kann, genannt.

Das sogenannte Conversion Design, welches keine Neuentwicklung der Fahrzeugkarosserie vorsieht, ist in der Entwicklung wesentlich kostengünstiger. Auf Grund der geringeren Entwicklungskosten beim Conversion Design wäre diese Alternative zum jetzigen Zeitpunkt wirtschaftlich sinnvoller, meinten Befürworter. Sie argumentierten auch, dass man durchaus vorhandene Fahrzeugmodelle als Basis nutzen sollte, da Kunden altvertraute Modelle bevorzugen würden. Zudem könnte auf bestehende Produktionslinien zurückgegriffen werden, wodurch eine hohe Auslastung und damit eine Kosten-

effiziente Produktion sichergestellt werden. Lediglich für den Antriebsstrang und seine Komponenten müssten separate Produktionen aufgebaut werden. Als allgemeine Prognose zur Entwicklung der Fahrzeugvarianten wurde geäußert, dass in den nächsten 10 bis 15 Jahren wohl verschiedene Antriebsarten in der gleichen Modellbaureihe koexistieren werden.

### **Exkurs: Brennstoffzellenfahrzeuge**

Kontrovers wird auch in Nordamerika über das Thema Wasserstoff diskutiert. Dass Wasserstoff ein geeigneter Energieträger wäre, um Fahrzeuge umweltfreundlich betreiben zu können, ist für den größten Teil der Experten keine Frage. Ob dies jedoch technologisch und wirtschaftlich kurz- bis mittelfristig möglich sein wird, ist wohl noch lange nicht geklärt. Sicher scheint zu sein, dass es keine Konzepte mehr geben wird, bei welchem Wasserstoff in einem Verbrennungsmotor verbrannt wird. Neben der Entwicklung von wirtschaftlichen, kompakten und robusten Brennstoffzellensystemen steht die Industrie besonders bei der Infrastruktur vor ungelösten Problemen. Einige Experten sind der Meinung, dass es erst ein weitflächig ausgebautes Wasserstofftankstellen-Netz geben muss, bevor die Fahrzeuge im großen Stil am Markt angeboten werden können. Andere Experten vertreten den Standpunkt, dass schon eine kleine, lokal begrenzte Anzahl an Wasserstofftankstellen ausreichen würde, um die ersten Fahrzeuge an private Kunden verkaufen zu können. Das Tankstellen-Netz müsste dann gemächlich mit der steigenden Zahl von Fahrzeugen im Markt vergrößert werden. Neben diesen beiden Ansichten gibt es auch Stimmen, die sagen, dass Wasserstofffahrzeuge kurz- und mittelfristig überhaupt keine Option für Privatkunden darstellen werden. Lediglich Zulieferfahrzeuge und Fahrzeuge, die in einem sehr eingeschränkten Areal betrieben werden, könnten mit Brennstoffzellen-Antrieben ausgestattet werden, wobei die Versorgung über eine zentrale Tankstelle sichergestellt werden sollte.

Auch die Möglichkeit, große LKWs, welche hauptsächlich lange Strecken zurücklegen, mit Brennstoffzellensystemen auszustatten, stößt auf geteilte Meinungen. Für einige Experten stellt das eine kurz- bis mittelfristige Alternative dar, für andere Experten kommt das nicht in Frage, da auf der einen Seite das Brennstoffzellen- sowie das Wasserstoff-Tank-System sehr teuer würden und auf der anderen Seite der Einsatz dieser Fahrzeuge auf Strecken begrenzt sei, die eine ausreichende Wasserstoffinfrastruktur aufweisen können. Das bloße Installieren von Wasserstofftankstellen reicht dabei nicht aus. Diese müssen auch mit den entsprechenden Mengen Wasserstoff versorgt werden. Ob Pipelines hierbei die einzige Lösung sind, darauf wollten sich die Experten nicht festlegen. Auch wenn weitere Lösungen (Transport des Wasserstoffs per LKW, Erzeugung des Wasserstoffs vor Ort) wohl nicht praktikabel seien.

### 3.1.3 Fazit

Nach Meinung der nordamerikanischen Elektromobilitäts-Experten hatten die monetären und nicht-monetären staatlichen Fördermaßnahmen, welchen den Kunden beim Kauf eines elektrifizierten Neufahrzeugs unterstützen, den größten Einfluss auf die positive Entwicklung der Elektromobilität. Neben den gewährten finanziellen Zuschüssen wurde hier besonders der Zugang zu Fahrspuren, welche sonst nur von Fahrzeugen genutzt werden dürfen, die mit mehreren Personen genutzt werden, hervorgehoben.

Dennoch darf nicht außer Acht gelassen werden, dass auch im Bereich der Forschung und Entwicklung große Anstrengungen unternommen wurden. Es wurden Technologien entwickelt, welche Fahrzeuge hervorgebracht haben, die den Bedürfnissen der Kunden gerecht werden.

Die Neugier nach Neuem und der Drang zum Neuen helfen, besonders in Kalifornien, neue Technologien im Markt zu platzieren. So schafft man mit einer schon recht breiten, innovativen Kundengruppe, eine frühe Sichtbarkeit für alternative Fahrzeuge, wodurch diese in den Alltag integriert werden, was hilft, Vorbehalte konservativerer Kunden frühzeitig abzubauen.

Wie sich die Elektromobilität in Zukunft entwickeln wird, kann nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden. Gerade die Unsicherheit bei staatlichen Maßnahmen zur Schaffung von Kaufanreizen lässt die Experten bei Vorhersagen und Prognosen zögern. Dennoch sind sich alle einig, dass die Elektromobilität auf lange Sicht eine Erfolgsgeschichte darstellt. Ob die Fahrzeuge dabei rein batterie-elektrisch, als Hybride oder mit Brennstoffzellen-Antrieb über die Straßen rollen werden, hängt von vielen Faktoren ab. Hauptsächlich wohl von der technischen Entwicklung bei Batterie-Systemen, der Brennstoffzellen und der Wasserstoffinfrastruktur

## 3.2 Japan

Die Entwicklung der Elektromobilität ist in Japan schon sehr weit fortgeschritten. Zum einen kam das erste wirkliche Volumen-Hybrid-Fahrzeug mit dem Toyota Prius aus Japan, zum anderen wird die Marktdurchdringung durch Kaufanreize von der Regierung gefördert ; auf diese Weise konnte die Akzeptanz für diese Technologien gesteigert werden.

Nachfolgend werden zunächst die auf den Interviews basierenden Erkenntnisse zu den Rahmenbedingung für Elektromobilität in Japan dargestellt und im weiteren Einblicke hinsichtlich der einzelnen Technologiefelder gegeben.

### 3.2.1 Erkenntnisse zu den Rahmenbedingung der Elektromobilität in Japan

Die japanische Regierung hat sich ambitionierte Ziele für die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen gesetzt. Bis 2020 sollen BEV und PHEV einen Anteil von 15% an den Verkäufen neuer Fahrzeuge haben. Zurzeit liegt ihr Anteil bei 1% bis 2%. Weiterhin wurden hohe Ziele für die Entwicklung der Ladeinfrastruktur gesetzt. Bis 2020 sollen 2 Millionen reguläre Ladepunkte und 5.000 Schnellladepunkte in Japan entstehen. Bislang hat Japan mit ca. 1700 öffentlichen Schnellladepunkten schon eine vergleichsweise hohe Anzahl.

Als Hauptmotiv für die Förderung von Elektromobilität wird, von den befragten Interviewpartnern aus dem politischen Bereich, insbesondere eine erhöhte Energiesicherheit genannt. Daneben sind die Stärkung der nationalen Automobilindustrie sowie Klima- und Umweltschutzaspekte weitere Treiber. Die Motivation dazu, Elektromobilität voranzutreiben ist nach der Katastrophe von Fukushima weiter gestiegen. Elektrofahrzeuge werden als möglicher zukünftiger Stromspeicher gesehen, um im Fall von Stromausfällen eine Notversorgung bereitzustellen. Im Rahmen dieses „Vehicle-to-X“ Konzeptes wird zunächst eine Versorgung für einzelne Geräte (z.B. Laptop, Handy etc.) gesehen, weiter wird die

Versorgung von einzelnen Haushalten oder Gebäuden gesehen. Eine Netzintegration von Elektrofahrzeugen wird erst sehr langfristig erwartet. Nach Fukushima wurde die Kernenergie in Japan in Frage gestellt. Bis heute gibt es allerdings keine verabschiedete Strategie welche Energiequellen zukünftig zur Stromerzeugung genutzt werden sollen.

Um die ambitionierten Ziele hinsichtlich der Elektromobilität zu erreichen, setzt die japanische Regierung in erster Linie auf Subventionen. Kaufanreize für Elektrofahrzeuge sollen dazu beitragen, dass Skaleneffekte bei der Produktion erzielt werden können um somit die Kosten für Elektrofahrzeuge langfristig zu senken.

Für rein batterieelektrische und Plug-In-Hybrid-Pkw werden Subventionen im Umfang von 50% der Kostendifferenz zu einem konventionellen Auto beim Kauf von Elektrofahrzeugen angeboten. Neben Pkw werden auch Taxis und Busse bezuschusst, wobei diese sogar 30% bzw. 50% des Gesamtkaufpreises (nicht nur der Kostendifferenz) erhalten. Nationale Zuschüsse werden in einigen Präfekturen noch durch regionale Zuschüsse aufgestockt. Insbesondere in diesen Präfekturen stieg die Zahl der registrierten Elektrofahrzeuge in der Vergangenheit deutlich an. Neben Kaufanreizen haben einige Präfekturen auch Anreize durch Steuererleichterungen oder Reduktion von Park- oder Mautgebühren für Elektrofahrzeuge geschaffen. Diese Anreize spielen laut der befragten Experten bei den Käufern allerdings eine untergeordnete Rolle. Besonders aktiv sind die Präfekturen, die am Demonstrationsprojekt „EV/PHEV Town Concepts“ teilnehmen. Zurzeit nehmen 18 Präfekturen mit verschiedenen Modellprojekten an dem zentralen japanischen Demonstrationsprojekt teil.

Auch bezüglich des Ausbaus der Ladeinfrastruktur setzt Japan auf Subventionen. Auf nationaler Ebene werden bis zu 50% der Investitionskosten über Subventionen abgedeckt. Dazu hat die Regierung im Steuerjahr 2012 100 Milliarden JPY (ca. 760 Millionen EUR) ausgegeben. Die nationalen Subventionen werden wiederum in einigen Städten oder Präfakturen durch zusätzliche Zuschüsse aufgestockt. Derzeit sind die Ladestationen in erster Linie in den Städten des „EV/PHEV Town Concepts“ installiert. In Japan wird ein Großteil der öffentlichen Ladesäulen von Privatunternehmen betrieben. Die Hälfte der bestehenden Schnellladestationen ist bei Autohändlern installiert. Bei Regierungsgebäuden und Stromversorgern sind ca. jeweils 10% der Stationen aufgestellt. Schnellladestationen an Tankstellen und an Autobahnen machen einen eher geringeren Anteil aus. Der verbleibende Anteil der Stationen befindet sich vor allem bei Hotels, Restaurants oder Supermärkten (Abbildung 1). Hierbei nutzen viele Unternehmen zum Beispiel die Möglichkeit, über Schnellladestationen Kunden in ihre Geschäfte zu locken. So stellt beispielsweise der Einzelhändler „7Eleven“ Schnellladestationen auf seinen Kundenparkplätzen auf, welche genutzt werden können, um während dem Einkauf das Elektrofahrzeug aufzuladen. An den Stationen von Hotels, Restaurants oder Geschäften ist das Laden meist kostenlos, so dass diese Stationen auch häufig genutzt werden auch wenn Heimplademöglichkeiten zur Verfügung stehen.



Abbildung 5: Öffentliche Schnellladestation auf einem "7eleven" Supermarktparkplatz

Im Bereich von Standards für Elektrofahrzeuge hat Japan internationale Standards übernommen. Ein Standard für Hochvoltssysteme in Fahrzeugen ist bereits in Kraft und ein Standard für Batteriesicherheit wird zeitnah implementiert.

Im Vergleich zu dem hohen Budget für Kaufanreize und Ladeinfrastruktur sind die Fördermittel für Forschung und Entwicklung geringer. Fördermittel für Elektrofahrzeuge werden in erster Linie durch das Wirtschaftsministerium (METI) bzw. durch NEDO, welches die Forschungsfinanzierung organisiert, vergeben. Im Steuerjahr 2011 wurden ca. 10,5 Mrd. JPY (ca. 80 Mio. EUR) vom Wirtschaftsministerium für Forschungsprojekte zu Elektrofahrzeugen (v.a. Batterieforschung) bereitgestellt. Insbesondere werden zwei große Projekte zur Entwicklung von innovativen Batterien (Metall-Luft-Batterien) und zur Verbesserung von Li-Ionen Batterien gefördert. Nach Einschätzung der befragten Experten ist Japan in der Batterieforschung gut bei der Verbesserung von bestehenden Materialkonzepten, aber wenig stark aufgestellt bei der Entwicklung von innovativen Materialien. Bei diesen wird insbesondere die Forschung in Europa als führend angesehen.

Im Bereich der Grundlagenforschung gibt es häufig gute Kooperation zwischen Industrie und universitärer Forschung. Für Forschungsprojekte senden Unternehmen ihre Mitarbeiter zu den Forschungszentren. Die Grundgehälter dieser Mitarbeiter werden dann über die Fördermittel der Regierung getragen und durch die Unternehmen aufgestockt. Bei Forschungsthemen, die näher an der Marktreife sind, ist die Kooperation durch den starken Wettbewerb zwischen den Unternehmen gering.

Es besteht außerdem ein starker internationaler Wettbewerb hinsichtlich der Anwendung von neuen Technologien. Vieles, was in Japan erforscht und entwickelt wurde, wurde letztendlich in anderen Ländern, wie Südkorea, Taiwan oder China, produziert. Die Experten sehen eine große Gefahr für den japanischen Industrie- und Wirtschaftsstandort durch die fehlende Wertschöpfung aus den neu

entwickelten Technologien in Japan. Hier einen besseren Schutz für die japanischen Unternehmen zu ermöglichen, ist nach Meinung der Experten eine große Herausforderung für die Zukunft.

Für die japanischen Hersteller von Elektrofahrzeugen stellen neben dem inländischen Markt vor allem die USA und Europa bedeutende Märkte dar. Die Hersteller erwarten bezogen auf die Fahrzeugkosten eine Konkurrenzfähigkeit von PHEV und BEV erst in 10 bis 15 Jahren. Es besteht die Befürchtung, dass die japanischen Subventionen jedoch bereits in den nächsten Jahren eingestellt werden und somit eine Lücke entsteht, die zum Einbruch des Marktes führen könnte.

Im Jahr 2012 waren 20% der neuzugelassenen Pkws in Japan elektrifiziert, wobei es sich dabei zum Großteil um HEV handelt. Genauere Zahlen liegen für 2011 vor: ca. 640.000 HEV, ca. 14.000 BEV und 4.000 PHEV wurden in diesem Jahr zugelassen. Die meisten rein elektrischen oder Plug-In-Hybridfahrzeuge werden dabei privat genutzt. Umweltbewusstsein und Technikaffinität seien laut Experten die stärksten Motivationen der Käufer. Die zukünftige Rolle der verschiedenen elektrifizierten Fahrzeugkonzepte im japanischen Markt muss differenziert betrachtet werden. Generell gibt es in Japan eine Tradition kleiner Autos. Seit dem zweiten Weltkrieg gibt es die sogenannten „Kei Cars“. Diese Fahrzeugklasse erhält Steuervergünstigungen und ist in ländlichen Gegenden von der Pflicht ausgenommen, bei der Registrierung einen Parkplatz für das Auto nachweisen zu müssen. Kei Cars sind in ihrer Größe und Hubraum beschränkt. In Japan werden Kei Cars hauptsächlich als Zweitwagen zum Pendeln genutzt und haben einen Marktanteil von rund einem Drittel. Elektrofahrzeuge wie der Mitsubishi i-Miev ersetzen häufig Kei Cars. Jedoch haben die meisten Haushalte in Japan nur ein Auto, welches dann verschiedenen Einsätzen gerecht werden muss. Wegen dem vielseitigen Einsatz der Fahrzeuge könnte es schwierig werden, hier reine batterieelektrische Fahrzeuge einzusetzen. So wird erwartet, dass die Mehrheit dieser Fahrzeuge, zumindest in der näheren Zukunft, Range-Extender oder PHEVs sein könnten. Aus diesem Grund sieht man für Tokio eher größere und vielseitige Fahrzeuge für die Zukunft auf den Straßen. Jedoch gibt es insbesondere in den Ballungsräumen auch eine Tendenz kein Auto zu besitzen. Das wird auch dadurch beeinflusst, dass man dort einen Parkplatz nachweisen muss, um sich ein Auto anschaffen zu können, egal ob Kei-Car oder größere Autos. Ein Parkplatz kostet in einigen Städten bis zu 50.000 JPY (ca. 380 EUR) im Monat. Bei Car Sharing Anbietern machen Elektrofahrzeuge derzeit nur ca. 1% der Fahrzeuge aus. Gute Einsatzmöglichkeiten für BEV bieten sich auf den kleineren japanischen Inseln. Dort liegt der Kraftstoffpreis zum Teil bis zu 30% über dem der japanischen Hauptinseln, wodurch die Stromer auch von einer Kostenperspektive attraktiv werden. Zudem fällt spielt die limitierte Reichweite dort kaum eine Rolle.

### 3.2.2 Erkenntnisse zu den Schlüsseltechnologien

Gestützt von Entwicklungen bei der Elektrotechnik in anderen Bereichen hat sich in Japan eine starke Elektrofahrzeug-Industrie entwickelt. Dabei wird die generelle Bedeutung von grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung für eine zukunftsfähige Automobilindustrie als sehr hoch eingeschätzt.

#### **Leistungselektronik**

Bei der Leistungselektronik als Schlüsseltechnologie der Elektromobilität sind verschiedene Forschungsschwerpunkte erkennbar. Das primäre Ziel von japanischen Tier-1-Lieferanten im Bereich Leistungselektronik liegt in der Reduzierung von Volumen und Masse des Systems sowie der Steigerung des Wirkungsgrads und der Temperaturbeständigkeit. So soll in zukünftigen elektrifizierten Fahrzeugen insbesondere die Hochintegration von E-Maschine und Leistungselektronik in einem zentralen System realisiert werden, um Komplexität und Kosten der Verkabelung im Fahrzeug zu reduzieren. Auch Boardnetz-Spannungen auf Seiten der elektrischen Maschinen von bis zu 1000V sind nach Meinung der Experten durchaus vorstellbar. Somit sollen Verluste und damit auch der Kühlaufwand der



Leistungselektronik reduziert werden. Mit Hilfe von neuen Halbleiterelementen soll dabei die Notwendigkeit, die Leistungselektronik kühlen zu müssen, gänzlich wegfallen. Hierbei können die japanischen Lieferanten auf ihre langjährige Erfahrung im Bereich der Halbleiter-Technologie zurückgreifen. Leichtere und effizientere Leistungselektronik-Bauteile versprechen sich die Experten insbesondere von der Entwicklung und dem Einsatz neuer Halbleitermaterialien, die als wichtigste „Enabler“ zukünftiger Leistungselektronik-Module gelten. Insbesondere relevant sind dabei Silicium-Carbid (SiC) und Gallium-Nitrid (GaN).

Auch aufgrund der frühzeitigen Förderung dieser Technologie sehen sich japanische Zulieferer im internationalen Vergleich als technologisch führend an. Sehr stark werden dabei die eigene technologische Position sowie die Marktfähigkeit bewertet im Vergleich zu China und Indien, immer noch stark die Position im speziellen Vergleich mit Deutschland. Auf einem ähnlichen Level wird die derzeitige Marktfähigkeit im Vergleich zu den USA eingeschätzt, bei aktuellen und zukünftigen F&E-Aktivitäten wird allerdings ein leichter Nachteil in der Entwicklungsfähigkeit und –geschwindigkeit gesehen. Ein rapider Markthochlauf für leistungselektronische Bauelemente auf SiC-Basis wird bei Hybrid Electric Vehicles (HEV) und Battery Electric Vehicles (BEV) ab dem Jahr 2016 prognostiziert.

Die größten Herausforderungen in der Technologieentwicklung werden neben der Verringerung von Masse und Volumen in der Steigerung der Stromdichte, der Temperaturbeständigkeit sowie der Schaltfrequenzen gesehen, während die Kühlung leistungselektronischer Module auf SiC-Basis dann als unproblematisch angesehen wird. Notwendig ist zudem eine um drei- bis viermalige Reduzierung der Herstellkosten, um so das Niveau konventioneller Si-Module zu erreichen.

Die Forschungslandschaft und -struktur im Bereich Leistungselektronik in Japan wird als nicht optimal angesehen. Universitäten, Forschungseinrichtungen sowie Industrie arbeiten hier nicht eng genug zusammen, sondern forschen oft unabhängig voneinander an speziellen Einzellösungen. Forschungen werden meist losgelöst von konkreten, produktorientierten Anwendungszielen geleistet.

### **Elektrische Maschinen**

Im Bereich „Elektrische Maschine“ als Schlüsseltechnologie der Elektromobilität werden verschiedene Forschungsschwerpunkte verfolgt, die vor allem die schrittweise Optimierung von bestehenden Traktionsmotoren zum Ziel haben. Die Entwicklung neuer Technologien und alternativer Bauweisen wie z.B. der Transversalflussmaschine sowie Experimente mit Prototypen oder neuartiger Materialien findet im Gegensatz dazu relativ wenig statt. Das Hauptaugenmerk der Forschungen liegt dabei in der Reduzierung oder Substitution von Seltenen Erden in der E-Maschine sowie der Hochintegration von E-Motor und Leistungselektronik. So wurde beispielsweise bei Nissan der Anteil von Dysprosium im Elektromotor der aktuellen Generation um über 40% im Vergleich zur vorherigen reduziert.

Für zukünftig elektrifizierte Antriebskonzepte werden in Japan zwei verschiedene Forschungsstränge verfolgt, die zum einen auf die Entwicklung von Elektromotoren für relativ kleine und günstig zu produzierende Fahrzeuge („low-cost type“) sowie für große und/oder sehr sportliche Fahrzeuge („performance type“) abzielen. Während bei ersterem der Fokus auf der Optimierung von permanentmagneterregten Synchronmaschinen (PMSM) liegt, um insbesondere den Anteil an Seltenen Erden signifikant zu reduzieren, wird bei letzterem der Forschungsschwerpunkt stark auf die Optimierung der fahrdynamischen Eigenschaften, hoher Effizienz sowie Leistungsdichte gesetzt. Hierbei spielen v.a. sehr kompakte und leistungsstarke Radnabenmotoren eine große Rolle, die über „torque vectoring“ Funktionen herausragende Fahrdynamiken ermöglichen. Zudem wird sehr stark im Bereich der konzentrierten Wicklungen geforscht, da davon ausgegangen wird, dass die Realisierung einer hohen Leistungsdichte der entscheidende Faktor für die Wahl des Traktionsmotors ist. Während Asynchronmaschinen im elektrifizierten Fahrzeug zukünftig in Japan keine Rolle spielen werden, sind

stromerregte Synchronmaschinen nur dann eine Option für die Zukunft, wenn die Preise für Seltene Erden zu stark ansteigen. Über eine kontinuierliche Reduktion des Anteils an Seltenen Erden im Elektromotor können diese ab dem Jahr 2030 signifikant an Relevanz gewinnen. Der geschalteten Reluktanzmaschine wird aufgrund von Nachteilen im Bereich NVH (Noise, Vibration, Harshness), Steuerbarkeit und schwieriger Massenproduktion ebenfalls kein Markterfolg prognostiziert.

Im internationalen Vergleich sieht sich Japan im Bereich F&E für Elektromotoren stark bis sehr stark aufgestellt. So wird der Vorsprung gegenüber den USA, China, Deutschland und insbesondere Indien in der technologischen Position generell gesehen, vor allem aber in Forschungen zur Anwendung und Substitution von Seltenen Erden (Neodym) sowie der Analyse und Optimierung des magnetischen Felds und Flusses.

Generell liegen die größten Herausforderungen in der Technologieentwicklung neben der Verringerung von Masse und Volumen in der Steigerung des Wirkungsgrads über einen weiten Drehzahlbereich, der Leistungsdichte und erhöhten Temperaturbeständigkeit. **Leichtbau**

Beim Leichtbau gibt es in Japan ein ähnliches Meinungsbild wie in Deutschland. Aktuell werden in Japan schon erste Komponenten aus Faserverbund hergestellt, hauptsächlich bei Sportwagen der Oberklasse. Der Markt wird allerdings noch eindeutig von metallischen Werkstoffen dominiert. Für die Zukunft sehen die Entwickler aber ein großes Potential, gerade für CFK zusammen mit anderen, oftmals weiterhin metallischen Werkstoffen, in einem intelligenten Materialmix, auch bei Fahrzeugen im Massenmarkt zur Gewichtsreduzierung beizutragen. Um dies zu erreichen müssen die Produktionsprozesse günstiger und stabiler werden sowie die Simulation, gerade von hochdynamischen Vorgängen, wie sie beim Crash vorkommen, verbessert werden.

### **Fahrzeugkonzepte**

Für die Fahrzeugkonzepte können in Japan einige interessante Erkenntnisse gewonnen werden. Fahrzeugen mit Wasserstoff-Antrieb werden in Japan gute Chancen, auch auf dem Massenmarkt erfolgreich zu sein, eingeräumt. Neben den Fahrzeugen, die von zahlreichen japanischen Unternehmen, teilweise in Kooperation mit anderen Unternehmen aus Übersee, entwickelt werden, soll im Großraum Tokio in naher Zukunft ein flächendeckendes Wasserstoff-Tankstellen-Netz aufgebaut werden.

### 3.2.3 Fazit

Die Einführung der Elektromobilität ist in Japan im Vergleich zu Deutschland schon wesentlich weiter fortgeschritten. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass die ersten Hybrid- und Batterie-Elektrischen Fahrzeuge, die in großer Stückzahl auf dem Neuwagenmarkt verfügbar waren, von japanischen Herstellern kamen. Zum anderen ist auch der Aufbau der Ladeinfrastruktur in Japan weiter vorangeschritten als in Deutschland. Technologisch gesehen hat Japan den Vorteil, dass, gerade im Bereich der Leistungselektronik, viele Technologieführer in Japan zu finden sind. Generell sieht sich Japan sehr gut gerüstet im Hinblick auf zukünftige Herausforderungen im Zusammenhang mit der Elektromobilität. Allerdings sehen die japanischen Experten auch die Gefahr, dass die Technologien, welche in Japan entwickelt werden, nicht in Japan sondern in anderen asiatischen Ländern, wie China, Taiwan oder auch Südkorea, ihren Weg in Produkte finden könnten, wodurch die japanische Wirtschaft nicht an der Wertschöpfung teilhaben könnte, wie es in der Vergangenheit schon des Öfteren vorgekommen ist.

Zur Unterstützung und Einführung der Elektromobilität hält die Regierung zahlreiche Programme bereit. Zum einen werden Käufe von elektrifizierten Fahrzeugen finanziell unterstützt. Zum anderen gibt es Förderprogramme für die Industrie, um neue Technologien und Produkte zu entwickeln. Neben den staatlichen Maßnahmen haben sich in Japan schon einige Geschäftsmodelle rund um die Elektromobilität entwickelt. Ein Großteil der Schnelllade-Infrastruktur wird von Unternehmen aufgebaut, welche diese auf ihren Kundenparkplätzen bereithalten und Kunden ein sehr kostengünstiges Aufladen der Batterie während dem Aufenthalt z.B. im Supermarkt oder Restaurant anbieten. Neben der Infrastruktur für Elektrofahrzeuge arbeitet Japan auch an einem Auf- und Ausbau der Infrastruktur für Wasserstoff, um auch Brennstoffzellenfahrzeuge für den Massenmarkt attraktiv zu machen. Auch hier haben Hersteller schon erste Fahrzeugvarianten, welche in kürze in großem Stil eingeführt werden soll.

Durch die große Anzahl an Automobilherstellern, die eine steigende Anzahl an Elektrofahrzeugen in ihrem Angebot haben, sowie den voranschreitenden Aufbau der Infrastruktur, sind in Japan in naher Zukunft große Erfolge in der Marktdurchdringung elektrifizierter Fahrzeugkonzepte zu erwarten.

## 3.3 China

### 3.3.1 Erkenntnisse zu den Rahmenbedingung der Elektromobilität in China

China ist der weltweit größte Markt für motorisierte Fahrzeuge. Aktuell sind ca. 126 Millionen Fahrzeuge zugelassen und jährlich werden ca. 20 Millionen neue Fahrzeuge verkauft. Es wird erwartet, dass die Verkaufszahlen bis 2020 auf 31 Millionen Neufahrzeuge steigen wird, während sich der Bestand auf 281 Millionen Fahrzeuge mehr als verdoppelt.

Der Status der Elektromobilität ist in China stark abhängig von der Region sowie dem Fahrzeugsegment. Zum einen gibt es zukunftsorientierte, innovative Regionen, in welchen es bereits einen hohen Anteil an elektrifizierten Fahrzeugen im öffentlichen Verkehr (wie z.B. Busse und Taxen) gibt, um die Umweltauswirkungen des öffentlichen Personentransports zu reduzieren. Hierfür werden häufig Mittel des Regierungsprogramms „10/25 Städte - 1.000 Einheiten“ („10 cities and 1000 units“) verwendet. Im Vergleich zum privaten Bereich, konnten die Kaufanreize zehnmals höhere Verkaufszahlen von elektrifizierten Fahrzeugen anregen.

Ein weiterer wichtiger Markt in China sind die kleinen drei- und vierrädrigen Fahrzeuge, so genannte „Low-Speed-Fahrzeuge“. Diese Fahrzeuge finden einen sehr weit verbreiteten Einsatz im Personen- und Gütertransport in Entwicklungs- und Schwellenländern wie China. Derzeit sind ungefähr 100.000 dieser „Low-Speed-Fahrzeuge“ in China zugelassen.

Der Bereich der alternativen Antriebe wird in China „New Energy Vehicles“ (NEV) genannt. Hierzu zählen rein Batterie-elektrische Fahrzeuge (BEV), Plug-In Hybrid-Fahrzeuge (PHEV) sowie Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV). Hierbei benötigen PHEVs in den meisten Provinzen eine Reichweite von mindestens 50km. Anfang 2014 waren insgesamt 40.000 NEVs registriert, wovon 20.000 in 2013 neu zugelassen wurden.

### Die Motivation hinter der Markteinführung von NEVs

Bei den Motiven für die Elektromobilität in China sind sich die Experten größtenteils einig. Im Augenblick steht nicht die Reduktion der Treibhausgasemissionen im Fokus. Vielmehr soll die chinesische Automobilindustrie verbessert und wettbewerbsfähiger gemacht werden. Die Möglichkeit, eine Technologie-Führerschaft bei einer der Schlüsselkomponenten (Batterie, Leistungselektronik und elektrische Maschine) zu übernehmen ist der am häufigsten genannte Grund. Zudem werden die Abkehr von der Abhängigkeit von Rohöl sowie die Minderung von Emissionen, insbesondere in urbanen Räumen mit hoher Luftverschmutzung, häufig genannt.

Die Experten vertreten die Einschätzung, dass die Elektromobilität einen positiven Einfluss auf die Sicherheit der Energieversorgung haben wird. Aktuell ist China stark abhängig von Rohölimporten. Ein Experte verwies zudem darauf, dass die Möglichkeiten aus dem Fracking, zehn Jahre nach den ersten Förderungen, inzwischen schon weitestgehend ausgeschöpft seien. Durch einen höheren Anteil von erneuerbaren Energiequellen könnte sich ein positiver Effekt noch verstärken, insbesondere hinsichtlich der Verminderung der Luftverschmutzung in den Ballungsräumen. So verwiesen manche Experten auf die regionale Abhängigkeit des Einflusses der Elektromobilität auf die Luftverschmutzung. In den drei größten Regionen Chinas fällt 80% des gesamten straßengebundenen Transportvolumens an. In diesen Regionen könnte somit die Elektromobilität gemeinsam mit einem Ausbau von erneuerbaren Energien den größten Einfluss haben. Im Augenblick ist die Stromerzeugung hauptsächlich durch Kohle realisiert, wobei im Süden ein größerer Anteil an erneuerbaren Energien im Strom-Mix zu finden ist, als im Norden. Ein Grund, warum einige Experten Skepsis gegenüber den Auswirkungen der Elektromobilität auf die Luftverschmutzungen haben, ist, dass die direkten Auswirkungen auf die Luftqualität durch Kraftwerke und Fabriken als weitaus höher eingeschätzt werden als die Emissionen aus dem Verkehrssektor.



Abbildung 6: Eine Smartphone App zur Anzeige der Luftverschmutzung in Peking

Die Frage, ob China eine Technologie-Führerschaft im Bereich der Entwicklung und Produktion der Schlüsselkomponenten übernehmen könnte, führte zu angeregten Diskussionen. China könne, so die Einschätzung der Experten, weltweit führend im Bereich von Technologien werden, bei denen die Anforderung an Qualität und Performance nicht so hoch seien. Solche Technologien haben einen großen Marktanteil im Transportsektor in Entwicklungs- und Schwellenländern.

### **Kundenanforderungen und erste Märkte**

In China gibt es ungefähr 120 Millionen Roller und Motorräder. Da es hier, dank politischer Vorgaben, bereits einen hohen Anteil an elektrifizierten Fahrzeugen gibt, sind die Menschen schon an die Elektromobilität gewöhnt. Durch bezuschusste Strom-Lieferungen für Privathaushalte ist es ökonomisch sinnvoll, sich elektrisch fortzubewegen. Jedoch sind die Anforderungen an elektrische Autos andere. Selbst bei Kunden aus dem Oberklasse-Segment haben nur 5-10% eine Garage oder einen eigenen, fest zugewiesenen Parkplatz, welcher ein wichtiges Kriterium für die Anschaffung eines Elektroautos darstellt. Zudem sind die Fahrprofile chinesischer Kunden stark schwankend und die Verbreitung von Führerscheinen in der Bevölkerung ist deutlich geringer als in anderen Ländern. Darüber hinaus besitzen viele Haushalte lediglich ein Fahrzeug, wodurch viele der Fahrten spontan durchgeführt werden und schwer zu planen sind. Hierbei muss auch das eine Fahrzeug im Besitz allen Anforderungen gerecht werden. Da eine öffentliche Ladeinfrastruktur noch nicht flächendeckend vorhanden ist und durch die hohen Anforderungen der Kunden an die Flexibilität, scheinen Batterie-elektrische Fahrzeuge im Augenblick noch ein Nischenprodukt zu sein. Da Plug-In Hybride nicht von der Ladeinfrastruktur abhängen, wird ihnen von Seiten der Experten ein großes Potential voraus gesagt.

Aufgrund der bei Privatkunden in naher Zukunft nur schwachen Nachfrage, sehen die meisten Experten öffentliche Flotten als ein sinnvolles Mittel, die Elektromobilität in China zu etablieren und wie es in einigen Regionen durch staatliche Programme unterstützt (bei z.B. Bussen und Taxen), schon passiert ist. Allein zwei Millionen Fahrzeuge sind in China auf die Regierung zugelassen. Diese staatliche Flotte wurde in den letzten Jahren nur sehr zögerlich elektrifiziert. Jedoch wird von der Zentralregierung inzwischen der Druck erhöht, diesen Anteil zu steigern, wodurch die Experten erwarten, dass bei neuen Fahrzeugen für diese Flotten der Anteil an NEVs signifikant steigen wird. So plant Peking einen Anteil von 30% in seiner Regierungsflotte.

### **EV Vorgaben und Richtlinien**

Schon 2001 hat die chinesische Regierung ein großes Pilot-Programm aufgesetzt, um in zehn großen Städten die Erforschung und Entwicklung sowie die Markteinführung von Elektrofahrzeugen voran zu treiben. 2010 wurde dieses Programm auf 25 Städte ausgeweitet. Hiervon wurden sechs Städte ausgewählt, in welchen der private Kauf von NEVs finanziell unterstützt wird. 2012 wurden NEVs als einer von sieben neuen strategischen Industriezweigen identifiziert, wodurch umgerechnet mehrere Milliarden Euro in das Programm fließen. Um die lokale Industrie zu schützen werden nur solche Fahrzeuge bei Kaufanreizen berücksichtigt, welche in China gefertigt werden. Die Höhe der Anreize unterscheidet sich von Stadt zu Stadt. Kunden in Hangzhou können umgerechnet bis zu 15.000 Euro für BEVs und etwas weniger für PHEVs von regionalen sowie der zentralen Regierungseinrichtungen erhalten. Einige Städte haben dabei sehr strenge Regulierung für die Neuzulassung von Fahrzeugen, so kann z.B. in Peking eine Person nur ein Fahrzeug anmelden oder die Anmeldung, wie in Shanghai, umgerechnet bis zu 8.000 Euro kosten und es gibt Vergabelotterien für neue Zulassungen. Die Ausnahme von NEVs von diesen Regulierungen, beziehungsweise eine deutliche Besserstellung gegenüber konventionellen Fahrzeugen, ist ein hoher Anreiz für den Kauf von NEVs. So können Kunden in Shanghai, anstatt mehrere Jahre auf die

Möglichkeit, ein neues Fahrzeug zu zulassen zu warten, einfach ein BEV anmelden und gleichzeitig noch die Zulassungsgebühren sparen.

Trotz dieser Maßnahmen haben die meisten Städte ihre Ziele noch nicht erreichen können. Insbesondere ist der private Sektor noch deutlich hinter den Erwartungen zurück geblieben. 2012 wurde vom Staatsrat der „Energy Saving and New Energy Vehicle Industry Development Plan“ verabschiedet. Die chinesische Regierung verfolgt dabei das Ziel, bis 2015 500.000 NEVs und bis 2020 fünf Millionen NEVs im Fahrzeugbestand zu haben. Umgerechnet ca. 12 Milliarden Euro an Fördergeldern sollen dabei helfen, diese Ziele zu erreichen.

Die finanzielle Unterstützung für Elektrofahrzeuge wurde im September 2013 reformiert und im Februar 2014 noch einmal angepasst. Die neuen Regelungen für die Anreize, welche durch das Ministerium für Industrie und Informationstechnologie (Ministry of Industry and Information Technology of the Peoples Republic of China, MIIT), das Finanzministerium (Ministry of Finance of the Peoples Republic of China, MOF), das Wissenschafts- und Technologieministerium (Ministry of Science and Technology of the Peoples Republic of China, MoST) und die Nationale Entwicklungs- und Reformkommission (National Development and Reform Commission of the Peoples Republic of China, NDRC) getragen werden heißen zusammengefasst „Inform about the popularization and application of new energy vehicles 2013 ~ 2015“. In den folgenden zwei Jahren nach 2013 liegt der Fokus auf der Verbreitung und Nutzung von NEVs, jedoch nicht nur in den sechs Pilotstädten, sondern im speziellen in Mega-Städten oder Metropolregionen wie der Region Peking-Tianjin-Hebei, dem Yangtse-Delta (Shanghai, Hangzhou, Wuxi und Suzhou) oder dem Perfluss-Delta (Guangzhou, Shenzhen und Hongkong).

Die Demonstrations-Städte müssen einige Bedingungen erfüllen, um eine finanzielle Unterstützung zu erhalten. So muss eine Mega-Stadt zwischen 2013 und 2015 mehr als 10.000 NEVs vorweisen, andere Städte mindestens 5.000. Zudem müssen mehr als 30% nicht-lokaler Hersteller am Markt vertreten sein. So soll sichergestellt werden, dass nicht nur Kunden von regionalen Herstellern, wie es zum Beispiel BYD in Shenzhen ist, von den Förderungen profitieren können. Allerdings werden Fahrzeuge, die nicht in China produziert wurden, weiterhin von der Förderung ausgeschlossen. Auch muss die lokale Regierung Pläne für die Beschaffung von NEVs und Bussen sowie für den Aufbau von Infrastruktur entwickeln. Städte, die diese Kriterien erfüllen, hatten die Möglichkeit, bis zum 15. Oktober 2013 ihre Pläne einzureichen.

Die finanzielle Förderung hängt bei den Fahrzeugen nicht mehr länger von der Batteriekapazität, sondern von der Reichweite von NEVs ab. Sie sind in drei Kategorien unterteilt (<150km, <250km, >250km). Es existieren auch Fördermaßnahmen bei Bussen (anhängig von der Bus-Länge) sowie für FCEV und PHEV. HEV, also Hybridfahrzeuge ohne externe Lademöglichkeit der Batterie, sind von der Förderung ausgeschlossen.

Die Summe für die Förderung wird von Jahr zu Jahr verringert. 2014 und 2015 werden die Mittel gegenüber 2013 auf 95% bzw. 90% reduziert und sollen im Jahr 2020 komplett auslaufen. Lediglich Busse erhalten über die gesamte Zeit eine konstante Förderung. Diese beläuft sich auf umgerechnet 18.200 Euro für Superkondensator- und Schnellladebusse.

Der Grund, warum China derzeit noch hinter seinen Zielen zurück bleibt, ist nach Ansicht der Experten vor allem auf die fehlende Ladeinfrastruktur zurück zu führen. Auch deshalb halten einige der Experten es für sinnvoll, weiter den öffentlichen Verkehr anstelle des privaten Verkehrs zu elektrifizieren.

Auch nannten einige Experten die Unsicherheit, inwieweit die Regulierungen beibehalten werden und Befürchtungen, dass kurzfristige Änderungen vorgenommen werden können sowie die regional spezifischen Anpassungen als weitere Gründe für die zurückhaltende Marktdurchdringung. Das macht es

auch für die Hersteller schwierig, passende Produkte anzubieten. So werden interessierte Kunden eventuell abgeschreckt und greifen doch lieber wieder auf konventionelle Fahrzeuge zurück.



Abbildung 7: Feierabendverkehr an einem Wochentag in Peking

### 3.3.2 Erkenntnisse zu den Schlüsseltechnologien

Ein großer Teil der Elektrofahrzeuge, die derzeit in China entwickelt und produziert werden, kommen aus chinesisch-westlichen Joint Ventures. Um für die Kaufanreize zugelassen zu werden und um mögliche Strafzölle zu umgehen, muss mindestens eine der Schlüsselkomponenten (Batterie, Leistungselektronik oder elektrische Maschine) direkt innerhalb des Joint Ventures entwickelt und gefertigt werden.

#### **Leistungselektronik**

Die größten Herausforderungen und den bedeutendsten Aufholbedarf bei Elektrofahrzeugen sehen die Experten im Bereich der Leistungselektronik. In der Regel wird diese Komponente aktuell vom westlichen Partner in das Joint Venture eingebracht. In vielen Fällen wird, nach Aussage der Experten, die Leistungselektronik überdimensioniert. Somit wirken die Fahrzeuge sehr innovativ und leistungsfähig, auch da sehr hohe Spannungen erwartet werden (Bauteile haben zum Teil ein mögliches Spannungslevel von 1 kV). Jedoch sind diese Niveaus eher als Reserve zu verstehen, da das Verhalten der Leistungselektronik sehr komplex ist. Insbesondere bei Sicherheitsanforderungen oder im Zusammenhang mit elektromagnetischem Verhalten. Um Bauteile vor Versagen aufgrund von zu hohen Spannungen oder Strömen zu schützen, werden diese oftmals deutlich größer dimensioniert, als es eigentlich notwendig wäre. Auch ein thermisches Versagen soll auf diese Weise ausgeschlossen werden. Somit wird es aber auch deutlich schwieriger, wenn nicht unmöglich, die Leistungselektronik, in, z.B. die elektrische Maschine, zu integrieren, was wiederum zu Lasten der Packaging-Eigenschaften geht. Durch die

Überdimensionierung können auch die Produktionskosten höher ausfallen, als das bei einem optimierten System der Fall wäre.

In einigen auf dem chinesischen Markt verfügbaren Fahrzeugen können aber reale Spannungsniveaus von 450V, in Spitzenlastfällen auch bis 500V, identifiziert werden. Die Experten erwarten, dass das Spannungsniveau in den nächsten Jahren weiter ansteigen wird, um effizientere Antriebsstränge möglich zu machen.

Neuartige Technologien und Materialien, wie Silizium-Carbid (SiC) sind laut Experten derzeit nicht Gegenstand der Entwicklungen. Sollten jedoch andere Märkte beginnen, SiC-Bauteile im großen Stil zu verbauen, wodurch die Preise sinken würden, werden auch chinesische Hersteller sehr schnell auf diese Bauteile umsteigen. Hier wird der Vorteil im thermischen Verhalten, welcher sich positiv auf die Anforderungen des Thermomanagements auswirkt, vordergründig genannt. Die Möglichkeit des Bidirektionalen Ladens, also das Rückspeisen der Energie aus der Batterie in das Strom-Netz, wird in naher Zukunft für chinesische Fahrzeuge keine große Rolle spielen, so die Experten. Die Anforderungen an die Leistungselektronik sowie die höhere Belastung für die Batterie sind neben dem erforderlichen Strom-Netz die genannten Hauptgründe.

### **Elektrische Maschinen**

Einige Experten vertreten die Meinung, dass elektrische Maschinen nicht sondern anspruchsvoll sind. Nach ihrer Ansicht sind die Maschinen von chinesischen Herstellern von der gleichen Qualität wie die Maschinen von Herstellern aus Industrienationen. Dem gegenüber stehen die Einschätzungen von anderen Experten, dass die Anstrengungen, welche im Augenblick von chinesischen Herstellern unternommen werden, hauptsächlich darauf abzielen, existierende Konzepte und Technologien zu verstehen und mit ihnen umgehen zu können. So könnte es noch eine ganze Zeit dauern, bis ausreichende Kompetenzen aufgebaut sind, um Neu- und Weiterentwicklungen im großen Maßstab zu realisieren. Jedoch sind sich die Experten auch nicht sicher, ob es für die chinesische Industrie überhaupt notwendig ist, neue, fortgeschrittene elektrische Maschinen für die Elektromobilität zu entwickeln. In diesem Zug wird der chinesischen Industrie in manchen Aussagen ein eher geringes Innovationsvermögen bescheinigt. Durch das niedrige Preisniveau auf dem chinesischen Markt sowie die große Anzahl schlecht vernetzter Hersteller, steht, mit wenigen Ausnahmen, nur ein geringes Forschungs- und Entwicklungsbudget zur Verfügung.

Jedoch müssten die elektrischen Maschinen auch nur „gut genug“ sein, um bei einer bestimmten Anwendung zum Einsatz zu kommen. Wie andere Bauteile auch, unterliegen die elektrischen Maschinen einem starken Preisdruck. Zwar befindet sich die chinesische Industrie durch die Versorgungssituation mit seltenen Erden im Vorteil gegenüber internationalen Wettbewerbern im Bereich der Permanentmagneten und somit bei permanent-erregten elektrischen Maschinen, jedoch wird dies nicht als entscheidend angesehen. Neben den Kosten gibt es weitere Kriterien, welche bei der Entwicklung und Auslegung von elektrischen Maschinen eine wichtige Rolle spielen. Laut den Experten sind die Widerstandsfähigkeit, der Komfort (genauer das NVH-Verhalten (Noise-Vibration-Harshness)) und die Leistungsfähigkeit die wichtigsten Aspekte, wobei die Leistungsfähigkeit zum Teil durch eine Überdimensionierung realisiert werden kann. Die Leistungsdichte (sowohl volumetrisch wie auch gravimetrisch), welche sich wiederum auf die Größe und das Gewicht der Maschine auswirkt, spielen eher eine untergeordnete Rolle. Die Effizienz der Maschinen spielt nach Aussage der Experten keine Rolle im Entwicklungsprozess der Fahrzeuge. Hier sollte jedoch erwähnt werden, dass bei permanent-erregten elektrischen Maschinen, wie sie in China häufig zum Einsatz kommen, die Leistungsdichte und die Effizienz im Vergleich zu anderen Konzepten schon sehr gut ist.



Durch eine künstliche Verknappung beim Export von seltenen Erden könnte China Druck auf die konkurrierenden Industrienationen ausüben. Die Experten würden aufgrund der Weiterentwicklung von fremd-erregten Maschinen sowie der Erforschung von Substitutionsmaterialien hierdurch jedoch keinen allzu großen Effekt erwarten. Wegen der Situation in China, welche eine Verfügbarkeit von seltenen Erden weitestgehend sicherstellt, erwarten die befragten Experten keine großen Aktivitäten, weg von permanent-erregten Maschinen hin zu alternativen Konzepten wie Asynchronmaschinen, auch wenn diese in einigen Fahrzeugen eingesetzt werden.

### **Leichtbau**

Nach Aussage der Experten spielt Leichtbau in der Chinesischen Automobilindustrie keine große Rolle. Insbesondere werden keine großen Aktivitäten im Bereich von Faserverbundwerkstoffen erwartet.

### **Fahrzeugkonzepte**

Das uneinheitlichste und widersprüchlichste Meinungsbild zeigte sich auf die Frage nach dem richtigen Fahrzeugkonzept für den chinesischen Markt.

Die Einschätzungen nach einem beobachtbaren Trend bei der Größe von Fahrzeugen gehen weit auseinander. Einige vertreten die Ansicht, dass Fahrzeuge aufgrund der angespannten Verkehrssituation in Zukunft eher kleiner werden. Das wird durch die Tatsache unterlegt, dass ein Verkehr zwischen den Metropolregionen, vergleichen mit westlichen Ländern, nur sehr schwach existiert. Da Fahrzeuge aber auch als Statussymbol gelten und allen Anforderungen, die ein Kunde an ein Fahrzeug stellt, gerecht werden müssen, gehen andere befragte Experten davon aus, dass diese auch in Zukunft weiter wachsen werden. Das wiederum geht einher mit der Tatsache, dass chinesische Kunden oftmals Langversionen der Fahrzeuge kaufen, wie sie z.B. in Europa nicht einmal angeboten werden. Einige deutsche OEMs bieten die normalen, kurzen Versionen, wie man sie von deutschen Händlern kennt, in China nicht einmal an.

Hinsichtlich des geeigneten Antriebsstrangs sind sich die interviewten Experten weitestgehend einig, dass diese in Zukunft elektrifiziert sein werden, auch, wenn man konventionelle Verbrennungsmotoren noch eine ganze Weile am Markt sehen wird. Durch die Tatsache, dass die öffentliche Ladeinfrastruktur derzeit noch nicht ausreichend ausgebaut ist, dass nur wenige Menschen einen eigenen Parkplatz haben, an dem sie laden könnten und dass ein einziges Fahrzeug allen Anforderungen des Mobilitätsverhaltens gerecht werden muss, sehen die Experten ein großes Potential bei Plug-In Hybriden in naher und mittelfristiger Zukunft. So werden Plug-In Hybride wohl in allen Segmenten angeboten, doch für die mittleren und großen Segmente werden höhere Anteile von elektrifizierten Antriebssträngen erwartet als dies in kleinen Segmenten der Fall sein wird. Aufgrund des Platzbedarfs für den zusätzlichen Verbrennungsmotor werden bei den kleineren Segmenten eher rein Batterie-elektrische Fahrzeuge erwartet.

Einige Interview-Teilnehmer brachten ihre Ansicht zum Ausdruck, dass, zumindest zu Beginn der Entwicklung, eher Fahrzeuge aus dem Luxus-Segment voll elektrifiziert werden. Ein gern genommenes Beispiel ist das Model S von Tesla. Hierbei wird argumentiert, dass Kunden, welche sich ein Elektrofahrzeug leisten können, das auch zeigen wollen. Da auch Kunden aus dem mittleren Segment schon oft einen Chauffeur haben, sollte in jedem Fall bei diesen Fahrzeugen das Platzangebot im hinteren Bereich des Fahrzeugs ausreichend ausfallen.



Abbildung 8: Elektrifiziertes Dreirad im Straßenverkehr

Durch die Richtlinien zu Kaufanreizen wird man elektrifizierte Fahrzeuge hauptsächlich in den Metropolregionen sehen, wo Kunden durch die Bevorzugung bei der Vergabe der Zulassung sowie den hohen finanziellen Unterstützungen profitieren können.

Wie schon zu Beginn erwähnt, sind neben den Autos auch sogenannte „low-speed“ oder „Nachbarschaftsfahrzeuge“, welche eine recht geringe Höchstgeschwindigkeit aufweisen, sowie Roller weit verbreitet in China. In diesem Segment sieht die chinesische Industrie ein großes Potential, diese Fahrzeuge auch global anzubieten. Die niedrigen Produktionskosten werden hierbei hauptsächlich als entscheidender Vorteil genannt. Der Hauptgrund, warum sich diese Fahrzeuge in China so großer Beliebtheit erfreuen können, ist die Tatsache, dass man keinen Führerschein benötigt. Auch sind sie in der Anschaffung und im Unterhalt recht günstig.

Generell wird die Reichweite als ein, aus Kundensicht, sehr wichtiges Kriterium eingeschätzt. Daneben gilt das Beschleunigungsverhalten, insbesondere die Elastizität bei Überholvorgängen, als wichtiger Parameter. Die absolute Höchstgeschwindigkeit sowie Sicherheit spielen nach Ansicht der Experten eine eher untergeordnete Rolle bei den generellen Anforderungen an die Fahrzeuge in China. Die ersten Kunden, welche sich für ein Elektrofahrzeug entscheiden, sind, wie man es in vielen Regionen der Welt beobachten kann, auch in China weniger kostensensibel. Allgemein sind Kosten aber ein sehr wichtiges Kriterium für chinesische Neuwagenkunden. Betriebs- und Gesamtkosten gewinnen zunehmend an Bedeutung, sind aber nach wie vor eher untergeordnet.

Bezüglich des Designs von Elektrofahrzeugen sehen die befragten Experten keinen übermäßigen Vorteil von Fahrzeugen im Purpose Design, also solchen Fahrzeugen, die sofort als Elektrofahrzeug erkennbar sind. Obwohl somit die Sichtbarkeit von EVs erhöht werden kann, werden die notwendigen Investitionen in Entwicklung und Fertigung dieser Fahrzeuge als zu hoch eingeschätzt.

Brennstoffzellenfahrzeuge sind noch weit entfernt von einer flächendeckenden Markteinführung in China, so die Experten. Der Erfolg, den diese Fahrzeuge zukünftig am Markt haben könnten, hängt demzufolge stark von der Entwicklung im Bereich der Batterie-Technologien ab.

## Infrastruktur

Wie schon erwähnt, wird der verlässliche Zugang zu einer ausreichenden Infrastruktur als einer der wichtigsten Schlüssel für den Erfolg der Elektromobilität in China angesehen. Jedoch müssen hierfür noch einige Hindernisse überwunden werden.

Hierbei wird erwartet, dass es keinen positiven Business-Case für die Installation und den Betrieb einer Ladeinfrastruktur unter den gegebenen Rahmenbedingungen geben wird. Der Strom für Privathaushalte wird in China subventioniert und der Staats-eigene Netzbetreiber „State Grid Corporation of China“ dominiert den Markt und macht einen offenen Wettbewerb fast unmöglich. In der Vergangenheit wurden die Ladesäulen nach Vorgaben von oben aufgestellt und werden, aufgrund ihrer Lage oder weil sie schlicht nicht mehr funktionieren, nur sehr wenig genutzt.



Abbildung 9: Wasserstofftankstelle in Shanghai

Zudem sind die genauen Umstände, insbesondere der Zustand des Leitungsnetzes nur sehr vage bekannt. Einige Experten berichten, dass selbst in neuen Gebäuden die Qualität des Leitungsnetzes derart gering sei, dass sie skeptisch sind, ob ein ausreichendes Netz von öffentlichen Ladestationen überhaupt installiert werden könnte. Es gibt keinen Zweifel, dass dieses Netz in Metropolregionen sehr wichtig wäre, auch wenn die wichtigsten Ladepunkte jene zu Hause sind. Doch nur wenige Haushalte verfügen über eigene Parkplätze mit der Möglichkeit, Ladesäulen zu installieren. Viele der Fahrzeuge müssen am Straßenrand abgestellt werden. Leider werden oftmals die Hausverwaltungen als schwache Unterstützung für potentielle EV-Kunden, die versuchen die Möglichkeit auszuloten, eine Ladestation an einem Parkplatz aufzustellen, angesehen. Die Hausverwaltungen scheuen oftmals die mit der Installation verbundenen Kosten sowie die Auswirkungen auf das Hausstromnetz.

### 3.3.3 Fazit

Neben den Elektrorollern und den „Nachbarschaftsfahrzeugen“, ist die Elektromobilität in China noch in einem sehr frühen Stadium. Eine große Herausforderung ist der fehlende Bezug der chinesischen Gesellschaft zur Elektromobilität. In einigen Provinzen wurden Programme zur Beschleunigung der Entwicklung und des Markthochlaufes von der Regierung aufgesetzt. Oftmals wird hierbei die Möglichkeit, überhaupt ein Fahrzeug zulassen zu können, wenn man ein NEV kauft, als wichtigster Vorteil gegenüber konventionellen Fahrzeugen eingestuft. Mit einem großen Volumen an finanziellen Kaufanreizen versucht die chinesische Regierung bis 2020 fünf Millionen NEVs auf die Straße zu bringen. In Metropolregionen wie Peking ist die Luftverschmutzung einer der Treiber für die Elektromobilität, auch wenn die positiven Effekte oftmals in Frage gestellt werden. Übergeordnet verfolgt die chinesische Regierung durch die Elektromobilität das Ziel, die erforderliche Menge an Rohölimporten zu reduzieren.

Wie in anderen Weltregionen wird die Installation einer in der Fläche ausreichend ausgebauten Ladeinfrastruktur als einer der Hauptherausforderungen für China angesehen. Deshalb wird vor allem der Plug-In Hybrid als eines der wichtigsten Konzepte für die kurz- bis mittelfristige Zukunft eingestuft.

In der Regel müssen Fahrzeuge für den chinesischen Markt in China produziert werden. Deshalb haben viele westliche OEMs Joint Ventures mit chinesischen Herstellern gebildet. Somit wird sichergestellt, dass zumindest Teile der EV-Technologien in China von chinesischen Unternehmen entwickelt und gefertigt werden, was der chinesischen Industrie helfen soll international attraktiv und wettbewerbsfähig zu sein.

Batterien aus chinesischer Produktion wird schon jetzt eine hohe Qualität bescheinigt und bei elektrischen Maschinen geht man davon aus, dass diese in naher Zukunft international konkurrenzfähig sein werden. So bleiben einige Herausforderungen im Bereich der Leistungselektronik, zumindest bezüglich innovativer Technologien, Komponenten und Lösungen.

Generell sieht sich China mit ähnlichen Herausforderungen und Hindernissen wie andere Regionen in dieser Welt bei der Einführung der Elektromobilität konfrontiert. Diese sind zum Beispiel Kosten, Reichweiten, Komfort, Sicherheitsbedenken, Komplikationen mit Batterien und eine nicht ausreichende Ladeinfrastruktur.

Schlussendlich erwarten alle befragten Experten, dass das Ziel der chinesischen Regierung, fünf Millionen Fahrzeuge, die von einer gestärkten chinesischen Automobilindustrie produziert werden, auf die Straße zu bringen, zwar erreicht wird, jedoch sehr ambitioniert ist und vollständig von den Rahmenbedingungen abhängt.

## 3.4 Indien

Obleich Indien über einen stark wachsenden Kraftfahrzeugmarkt verfügt, spielt Elektromobilität bislang nur eine untergeordnete Rolle. Zum einen besteht im globalen Vergleich großer Nachholbedarf der indischen Forschung und Entwicklung zur Elektromobilität; zum anderen ist der indische Kraftfahrzeugmarkt sehr preissensibel, so dass für Elektrofahrzeuge aufgrund ihres hohen Preises nur geringe Absatzchancen bestehen. Eine besondere Bedeutung nehmen aktuell und mittelfristig Zweiräder ein, deren Elektrifizierung technisch weniger aufwendig ist.

### 3.4.1 Erkenntnisse zu Rahmenbedingungen der Elektromobilität

#### Politische Rahmenbedingungen

Um die Forschung, Entwicklung und Markteinführung von Elektrofahrzeugen zu fördern, hat die indische Regierung unter Leitung des Ministry of Heavy Industries and Public Enterprises seit 2010 den National Electric Mobility Mission Plan (NEMMP) erarbeitet. Dieser wurde im Februar 2013 veröffentlicht, dessen endgültige Verabschiedung steht allerdings noch aus. Bei der Initiierung und Entwicklung des Plans waren relevante Industrieunternehmen und –verbände beteiligt. Die befragten Akteure bewerten den Plan als große Chance für die Entwicklung der Elektromobilität in Indien.

Ein Ziel des Plans ist es, dass Hybrid- und Elektrofahrzeuge bis 2020 einen Neuwagenanteil von rund 15% für 2- und 3-rädrige Fahrzeuge sowie Pkw erreichen sollen. Es wird weiterhin angenommen, dass der Markt insgesamt stark wächst. In 2020 sollen 32 Millionen 2-rädrige und 9 Millionen 4-rädrige Fahrzeuge in Indien verkauft werden. Dies entspräche ca. einer Verdreifachung der heutigen Verkaufszahlen. Unter Berücksichtigung von verschiedenen Szenarien geht der NEMMP davon aus, dass somit 5 bis 7 Mio. elektrifizierte Fahrzeugen in 2020 in Indien verkauft werden könnten. Der Großteil soll dabei auf rein elektrisch betriebene Zweiräder (3,5 bis 5 Millionen) entfallen. Im Bereich der 4-rädrigen Fahrzeuge handelt es sich in erster Linie um Hybridfahrzeuge ohne externe Lademöglichkeit (1,3 – 1,4 Millionen) und nur um wenige BEV oder PHEV (0,2 bis 0,4 Millionen).

Dazu sind eine Neuauflage von Kaufanreizen sowie Steuerermäßigungen für die verschiedenen Fahrzeugtypen und Elektrifizierungsgrade vorgesehen; mit ähnlichen Subventionen war bereits in den letzten Jahren der Kauf von Elektrofahrzeugen unterstützt worden. Der NEMMP empfiehlt, dass die Kaufanreize für Elektrozweiräder an die Batteriekapazität gekoppelt werden. Bei PKW wird in den nächsten Jahren der Schwerpunkt der Förderung auf Hybridfahrzeugen liegen, da diese eine höhere Akzeptanz aufweisen. Gleichzeitig soll wird aber empfohlen, dass ein bestimmter Anteil der Fördersumme für auch für rein elektrische Pkw reserviert wird. Es ist vorgesehen, dass die Kaufanreize an die inländische Produktion der Fahrzeuge gekoppelt werden (zur Förderfähigkeit soll 30% des Fahrzeuges in Indien produziert werden). Damit wird sowohl den indischen Marktpotenzialen als auch der indischen Produktion Rechnung getragen. Zusätzlich zu den Kaufanreizen auf nationalstaatlicher Ebene bestehen in verschiedenen Bundesstaaten Steuererleichterungen.

Neben den finanziellen Kaufanreizen umfasst der NEMMP auch Maßnahmen zur Forschungsförderung. In den Bereichen Batterietechnologie, Elektromotoren sowie Leistungselektronik und Integration von Komponenten sollen „Centers of excellence“ aufgebaut werden, welche angewandte Forschung in den Bereichen koordinieren und mit weiteren Forschungseinrichtungen kooperieren sollen. Der Staat unterstützt die Forschung und Entwicklung hierbei durch Zuschüsse.

Durch die Zusammenarbeit verschiedener Ministerien und Behörden sowie die Einbeziehung von Industrie und Forschungseinrichtungen soll der Plan auch dazu beitragen, Synergien zwischen den bislang häufig unkoordiniert arbeitenden Akteuren zu schaffen.

## **Ladeinfrastruktur**

Neben der Herausforderung, marktfähige Fahrzeuge zu entwickeln und einzuführen, steht Indien vor dem gleichen Problem, dass überall auf der Welt im Hinblick auf die Elektrifizierung des straßengebundenen Verkehrs besteht. Eine bisher noch kaum existierende Ladeinfrastruktur muss installiert werden. Zum Teil begegnet man dieser Problematik in Indien damit, dass bei zweirädrigen Fahrzeugen der Akku recht leicht zu entnehmen ist und somit zu Hause am bestehenden Hausstromnetz geladen werden kann.

Programme zum Aufbau einer Ladeinfrastruktur bestehen bislang erst in Form von Pilotprojekten, etwa in Delhi oder Bangalore. Da für die zweirädrigen elektrifizierten Fahrzeuge und die Hybrid-Pkw keine Ladeinfrastruktur benötigt wird, sieht der NEMMP einen gezielten Infrastrukturaufbau erst mittelfristig ab 2017 vor.

Mit Blick auf ein zukünftiges Marktwachstum für batterieelektrische Fahrzeuge besteht in Indien ein Problem, das in Europa in dieser Form nicht existiert: die unzureichende Kapazität und Stabilität des Stromnetzes. Während in Deutschland das Netz mit einer mittleren Auslastung von ca. 35% ausreichenden Puffer für Verbrauchsspitzen zur Verfügung stellt, wird das indische Stromnetz im Mittel mit 80 % der Kapazität genutzt. Dadurch kommt es aufgrund von Überlastung immer wieder zu Netzausfällen.

Daher spielen beim Aufbau der fehlenden Ladeinfrastruktur innovative Ansätze eine besondere Rolle, die eine vom Netz autarke Versorgung anbieten: Ein Hersteller bietet als Zusatz zum Elektrofahrzeug passende Möglichkeiten in Form von Solaranlagen an. Hierbei kann neben einem solaren Laden des Fahrzeugs auch das häusliche Stromnetz versorgt werden um bei Netzausfällen ausreichend Energie aus der Fahrzeugbatterie zu verfügen. Diese dezentralen Systeme bieten zudem den Vorteil, dass Strom aus Erneuerbaren genutzt werden kann. Da der Strom in Indien zum Großteil in Kohlekraftwerken erzeugt wird, besteht für die Elektromobilität in Indien derzeit kaum ein Klima- oder Umweltschutzpotential.

## **Entwicklung des Kraftfahrzeugmarktes**

Der indische Automobilmarkt unterscheidet sich in einigen Punkten signifikant von den Märkten, die man aus Europa oder auch den USA kennt; ca. dreiviertel der Flotte sowie der Neuwagenverkäufe entfallen auf 2-rädrige Fahrzeuge. Dies entspricht ca. 10 Millionen 2-rädrigen Fahrzeugen, die jährlich abgesetzt werden. Demgegenüber mit ca. 2 Millionen jährlichen Absatzes eine relativ geringe Anzahl von Pkw, bei denen Kompaktwagen deutlich dominieren. Traditionell sind in Indien auch 3-rädrige Fahrzeuge, wie bspw. Rikschas oder Leichtkrafträder stark vertreten (Abbildung 1). Zudem kostet die Hälfte der vierrädrigen Neufahrzeuge weniger als 6.000 US\$. Um diese Preise realisieren zu können, lassen die meisten der Fahrzeuge, die auf den Märkten in der EU und den USA derzeit als Standard geltenden, Sicherheitseinrichtungen vermissen. Ein Großteil der Fahrzeuge besitzt weder ABS, ESP noch einen Airbag.

Allerdings kann man auch auf dem indischen Markt innovative Entwicklungen beobachten. So werden auf Delhis Straßen die Busse und Taxen, hierzu zählen auch die 3-rädrigen motorisierten Rikschas, mit CNG angetrieben. Diese Maßnahme infolge eines Gerichtsentscheids eingeführt, um die Luftverschmutzung der Hauptstadt Delhi in den Griff zu bekommen. Aufgrund der Erfolge wurde dieses Programm auf weitere Städte ausgeweitet.

Elektrofahrzeuge spielen bei der Minderung von Luftschadstoffemissionen in Indien bislang noch keine relevante Rolle. Der Marktanteil von Elektrozweirädern lag 2008/2009 bei immerhin 0,3 Prozent, was durch die seinerzeit bestehenden staatlichen Kaufzuschüsse zu erklären ist; bei Auslaufen der Regelung

ging der Anteil deutlich zurück. Die Stückzahlen verkaufter Elektro- oder Hybrid-Pkw sind dagegen zu vernachlässigen.

Hinsichtlich der Marktentwicklung für Elektrofahrzeuge erwartet die indische Regierung in einer Potenzialstudie, dass der Anteil elektrischer Zweiräder im Neuwagenmarkt 2020 bei 15% liegen könnte, für PKW wird ein Anteil von 18 - 19% (HEV, PHEV und BEV) für möglich gehalten.

Die befragten Akteure deuten an, dass diese Ziele nur durch eine konsequente Subventionierung der entsprechenden Fahrzeuge erreicht werden könne.

### **Forschungslandschaft**

Bei der eigenen Entwicklung von neuen Komponenten und Technologien sieht man in Indien noch einen großen Nachholbedarf. Zwar gibt es an einigen Forschungsinstituten Projekte zur Entwicklung neuer Technologien, allerdings finden diese in der Regel nicht den Weg in marktfertige Produkte. Auch wird von allen Experten die Zusammenarbeit zwischen Industrie und Forschungsinstituten bemängelt. So gibt es gelegentlich Kooperationen, allerdings handelt es sich in vielen Fällen eher um ein Sponsoring von Projekten durch die Industrie, als um inhaltliche Zusammenarbeit. Durch die vom Forschungsministerium geförderte Gründung anwendungsorientierter „Centers of Excellence“ soll die Forschung zu Elektromobilität gestärkt und koordiniert werden.

Für die Periode von 2012 bis 2017 sind bislang staatliche Mittel in Höhe von 95 Mio. € zur Förderung von F&E vorgesehen; laut NEMMP werden für die kommenden 5 Jahre 230 Mio. € benötigt, von denen die Hälfte vom Staat, die Hälfte von der Industrie aufzubringen wäre.

Zukunftspotenziale werden von den befragten Akteuren insbesondere in der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung gesehen, bei der Fahrzeugkomponenten (Batterien, Leistungselektronik, Elektrische Motoren, Getriebesysteme für Hybridfahrzeuge) an die Bedürfnisse indischer Fahrzeuge hinsichtlich Robustheit, einfacher Wartung und der klimatischen Bedingungen angepasst werden.



Abbildung 10: „Indian Helicopter“ - ein Riksha-Taxi mit CNG Antrieb in Delhi (eigene Aufnahme)

### 3.4.2 Erkenntnisse zu Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität in Indien

Bei den Entwicklungen indischer Elektrofahrzeuge sticht in erster Linie die Robust- und Einfachheit der Fahrzeuge ins Auge. So wird, anstatt auf eine technologische Neu- oder Weiterentwicklung zu setzen, auf bestehende und bewährte Komponenten zurückgegriffen und diese möglichst funktional kombiniert. In den Interviews wurde hierbei oftmals auf bestehendes Know-how in Indien verwiesen. Beispielhaft wurde dabei der Technologietransfer im Bereich der Elektromaschinen hervorgehoben. In Indien wird der wartungsarme, preisgünstige und robuste Asynchronmotor als Antrieb für diverse Anwendungen bei Pumpen, Lüftern und anderen Massenwaren verwendet. Die vorhandenen Produktionsanlagen und Industrien sollen den Einstieg in die Elektromobilität gewährleisten. Da auch für elektrische Maschinen im Fahrzeug die Kosten und die Robustheit im Vordergrund stehen, werden derzeit hauptsächlich Asynchronmaschinen in den elektrifizierten Konzepten verwendet. Hierbei kann die Industrie von den Erfahrungen von den angesprochenen Industrieanwendungen profitieren. Hierbei spielt auch der vergleichsweise simple Herstellungsprozess eine wichtige Rolle. Für die Zukunft können sich die Experten aber durchaus vorstellen, dass auch permanenterregte Maschinen Anwendung finden, da diese in der Regel einen besseren Wirkungsgrad und eine höhere Leistungsdichte besitzen als die Asynchronmaschinen. Da diese Maschinen, auch aufgrund der benötigten seltenen Erden, teurer sind, sieht man sie eher bei teureren Fahrzeugen, als bei günstigen Varianten. Die kostenintensive aber effiziente permanenterregte Synchronmaschine, weltweit über eine lange Zeit für den Traktionsantrieb der Zukunft gehandelt, wird in Indien wie auch in Europa bezüglich der Abhängigkeit von in Monopolregionen geförderten Rohstoffen als kritisch beurteilt. Dennoch greifen Hersteller auf dieses Magnetmaterial zurück und entwickeln BLDC-Motoren mit permanentmagnetischer Erregung.



Ein Vertreter eines Fahrzeugherstellers mit Asynchronmotor stellt hierbei der Mahindra REVA mit dem e2o dar, dem neuesten Elektrofahrzeugmodell, das derzeit seine Markteinführung in Indien hat. Das Konzept des Unternehmens sowie des Produktes beschreibt hierbei einen für den indischen Markt sehr untypischen Weg. Generell legt der indische Kunde mehr Wert auf Preis und Nutzen des Fahrzeugs als auf Umweltaspekte wie beispielsweise Effizienz und Recyclingfähigkeit wie etwa in Europa. Die Marke Mahindra REVA setzt auf neue umweltbewusste Kunden in Indien und bietet neben einem stark recyclingfähigen Fahrzeug auch auf eine umweltbewusste Produktion samt Batterieerladung aus Solarstrom.



Abbildung 11: Parkplatz mit Solarladeeinrichtung vor dem Produktionsstandort von Mahindra REVA in Bangalore (eigene Aufnahme)

Neben der Variante für den indischen Markt plant Mahindra REVA auch ein leicht modifiziertes Fahrzeug für den europäischen Markt zu produzieren. Neben einer höheren Leistung soll auch die Boardnetz-Spannung des europäischen Modells über der des indischen liegen. So soll neben der Fahrdynamik auch die Effizienz gegenüber dem ursprünglichen Modell verbessert werden.

Im Bereich des Spannungsniveaus gibt es generell die Ansicht, dass diese für den indischen Fahrzeugmarkt niedrig gehalten werden muss. Das Spannungsniveau von 48V – 60V wird auch für die Zukunft wohl nicht flächendeckend überschritten werden können. Neben den höheren Kosten für Hochspannungs-Bordnetze spielt hier auch die sehr geringe Dichte an Fachwerkstätten eine wichtige Rolle. Der größte Teil der indischen Fahrzeuge wird direkt auf der Straße oder in einer provisorischen Hinterhofwerkstatt repariert (Abbildung 3). In einem solchen Umfeld mit Hochspannungsnetzen zu arbeiten scheint schon allein aus Sicherheitsgründen unmöglich.



Abbildung 12: Kleine Autowerkstatt am Straßenrand in Delhi (eigene Aufnahme)

Ein niedriges Spannungsniveau sagen auch die verschiedenen Experten für die Fahrzeuge, die am indischen Massenmarkt zu finden sein werden, für die Zeit bis 2020 voraus. Dass sich das bis 2030 signifikant ändern könnte, wird in der Regel nicht erwartet. Für Premium-Fahrzeuge, die allerdings einen verschwindet geringen Anteil am Neuwagenmarkt ausmachen, sind höhere Spannungsniveaus durchaus vorstellbar, allerdings sind das Fahrzeuge, die von ausländischen Firmen entwickelt und nach Indien importiert werden und somit in der Entwicklungsphase nicht auf die Anforderungen in Indien angepasst werden. Des Weiteren bieten Premiumhersteller ein flächendeckendes Netz an Servicewerkstätten welche schneller über HV-geschultes Personal verfügen können als freie Werkstätten.

Fahrzeuge mit Wasserstoff, so die Meinung der Experten, werden in Indien keine große Rolle spielen. Hier sieht man den Aufbau der Infrastruktur als größtes Hindernis.

Eine so klare Entwicklungsrichtung, wie man sie in Europa erkennen kann, dass Hybride vermehrt bei großen und schweren Fahrzeugen, Batterie-Elektrische Fahrzeuge eher im Kleinwagenbereich und bei Sportwagen vorkommen, sieht man in Indien nicht. Wegen der vielen 2- und 3-rädrigen Fahrzeuge, werden viele Hybride auch in sehr kleinen Varianten angeboten. Laut Experten erwartet man den Einstieg

in die Elektromobilität in Indien im Bereich kleiner Fahrzeuge. Da Batterien teuer und die Technologien noch nicht ausgereift sind, versucht man dort vorhandene Fahrzeuge zu modifizieren. Ein großes Potential verspricht hierbei die Zusammenführung der Lichtmaschine und des Anlassers in einer kombinierten Einheit. Diese kann über geeignete Ansteuerung neben den Funktionen eines Starters und Stromerzeugers, den konventionellen Motor unterstützen. Die drei wesentlichen Hybridmodi: Start&Stop, Boosten und Rekuperation können somit leicht in bestehende Antriebsstränge von 2- und 3-Rädern adaptiert werden. So entwickelt TVS, ein Hersteller von 2- und 3-rädrigen Fahrzeugen, einen Plug-In-Hybrid-Roller mit paralleler Hybridarchitektur und Radnabenantrieb auf der Hinterachse zur Unterstützung des Verbrennungsmotors. Bei dessen Entwicklung wurde den marktspezifischen Wünschen in Indien Sorge getragen. So kann der Hybrid-Roller entweder konventionell, rein elektrisch oder im hybriden Betriebsmodus betrieben werden. Die Systeme sind so getrennt, dass beim Ausfall eines der Teilsysteme das andere System die Funktionen vollständig aufrecht halten kann. Somit kann für den indischen Kunden der gewünschte Nutzen und die Verlässlichkeit sichergestellt werden.

### 3.4.3 Fazit

Die Situation der Elektromobilität unterscheidet sich in Indien stark von den anderen Untersuchungsregionen und steht dabei jedoch in einigen Punkten exemplarisch für viele Schwellen- und Entwicklungsländer. Mit stark wachsenden Fahrzeugzahlen wird Indien mittelfristig zu einem relevanten Markt. Gleichzeitig leiden viele indische Städte schon heute unter massiver lokaler Luftverschmutzung. Neben den CNG-Antrieben, welche in einigen Großstädten für Taxen und Busse vorgeschrieben sind, können hier elektrifizierte Antriebe einen großen Beitrag zur Reduktion der verkehrsbedingten Luftverschmutzung leisten. Allerdings unterscheiden sich die Lösungen, die man hierbei auf dem indischen Markt findet, deutlich von den elektrifizierten Fahrzeugen, die derzeit z.B. in Europa, den USA oder Japan vorhanden sind. Auf Indiens Straßen sind vorrangig zwei- und dreirädrige Fahrzeuge zu finden. Doch auch diese werden aktuell in Indien schon mit elektrifizierten Antrieben ausgestattet. Zudem dominiert in Indien die Einfachheit und Robustheit über den technologischen Innovationen. Ein Grund hierfür sind neben den Kosten, auf welche den der indische Neuwagenkäufer äußerst sensibel reagiert, die mangelnde Forschungsinfrastruktur und vor allem die mangelnde Zusammenarbeit zwischen Forschung und Industrie. Um diesem Hindernis zu begegnen werden in Indien verschiedene „Center of Excellence“ gegründet, deren Ziel es ist, Forschung und Industrie zusammen zu bringen und Forschungsvorhaben zu koordinieren. Neben den Mitteln, welche die indische Regierung für Forschung und Entwicklung vorgesehen hat, sollen auch wieder Programme aufgesetzt werden, die den Kauf von Elektrofahrzeugen subventionieren. Derartige Programme haben in Indien in der Vergangenheit schon zu ersten Erfolgen geführt.

Für die Zukunft kann man gespannt sein, wie und mit welchen Lösungen es auf dem indischen Markt gelingt, elektrifizierte Antriebskonzepte zu etablieren.



DLR Institut für Fahrzeugkonzepte



Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt



Wissen für Morgen

## **STROM – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität**

Arbeitspapier der STROMbegleitung  
**Forschungslandschaft Elektrische Maschine**

Benjamin Frieske

DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK)  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

August 2014



<b>1</b>	<b>STROMbegleitung.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Forschungslandschaft „Elektrische Maschine im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ .....</b>	<b>4</b>
2.1	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „ELEKTRISCHE MASCHINE IM ANTRIEBSSTRANG ELEKTRIFIZIERTER PKW“ .....	6
2.2	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „E-MASCHINE-BAUFORMEN“ .....	10
2.3	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „SYNCHRONMASCHINE“ .....	13
2.4	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „ASYNCHRONMASCHINE“ .....	17
2.5	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „RELUKTANZMASCHINE“ .....	20
2.6	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „TRANSVERSALFLUSSMASCHINE“ .....	22
2.7	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „STATOR/ROTOR“ .....	24
2.8	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „WICKLUNGEN“ .....	28
2.9	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „THERMOMANAGEMENT“ .....	30
2.10	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „PERMANENTMAGNETE“ .....	33
<b>3</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>35</b>

# 1 STROMbegleitung

Die „Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität“ (im Folgenden „STROMbegleitung“ genannt) wird im Rahmen der im Jahr 2009 veröffentlichten BMBF-Förderbekanntmachung Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM) durchgeführt und dient der wissenschaftlichen Begleitung und Beforschung der im Rahmen dieser Bekanntmachung gestarteten F&E-Projekte. Das BMBF initiierte mit der Förderbekanntmachung STROM Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich Gesamtfahrzeugsysteme, Batterieentwicklung und -integration, Energiemanagement sowie der entsprechenden Werkstoff- und Materialforschung. STROM war, nach Fördervorhaben im Rahmen des Konjunkturpaketes II, die erste Maßnahme zur Umsetzung des „Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität“. Die Themen orientieren sich an Empfehlungen externer Experten und sind konsistent mit den Inhalten und Zielen der Arbeitsgruppen „Antriebstechnologie und Fahrzeugintegration“ und „Batterietechnologie“ der im Jahr 2010 ins Leben gerufenen „Nationalen Plattform Elektromobilität“ (NPE)<sup>1</sup>.

## Ziele der STROMbegleitung

Im Rahmen der STROMbegleitung werden unterschiedliche Ziele verfolgt, die zusammen ein umfassendes Bild über den Stand der Technik und die Potenziale vielversprechender technologischer Lösungen der Elektromobilität ermöglichen sollen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Identifikation und Analyse aktueller und zukünftiger Trends der Fahrzeugkonzept- und Technologieentwicklung sowie in der Einordnung der deutschen Aktivitäten in den internationalen Kontext. Im Detail orientiert sich die Begleitforschung an den folgenden Forschungsfragen:

- Welche generellen technologischen und marktlichen Trends zeichnen sich bei Schlüsseltechnologien der Elektromobilität sowie elektrifizierten Fahrzeugkonzepten ab?
- Was ist der State-of-the-art bei den Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und welches zukünftige Entwicklungspotenzial besitzen diese?
- Wie tragen die im Rahmen der STROM-Ausschreibung geförderten Projekte zur Technologieentwicklung bei? Welche Herausforderungen, Grenzen und Hürden bestehen bei der Entwicklung spezieller technischer Lösungen?
- Welchen Stand hat die Technologieentwicklung im nationalen und internationalen Vergleich?
- Welche Förderschwerpunkte können in den verschiedenen Weltregionen identifiziert werden und welche Zielgruppen werden adressiert?
- Welche ökonomischen, ökologischen und technischen Auswirkungen haben die Schlüsseltechnologien auf das zukünftige Gesamtsystem Fahrzeug?
- Wie sehen die Materialintensitäten der Schlüsseltechnologien und Fahrzeugkonzepte aus?

Die wissenschaftlich fundierte Beantwortung der genannten Aspekte und Fragen wird es u.a. erlauben, das Förderprogramm STROM und die beforschten Schlüsseltechnologien in die internationalen Forschungsaktivitäten einzuordnen und Empfehlungen für die weitere Ausgestaltung staatlicher Förderprogramme und für andere politische Entscheidungen zu geben.

---

<sup>1</sup> Die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) hat zum Ziel, den Markteintritt innovativer Elektrofahrzeuge in systemischer, markt-orientierter und technologieoffener Form zu beschleunigen. Deutschland soll dabei bis zum Jahr 2020 Leitanbieter und Leitmarkt der Elektromobilität werden.

## Aufgaben der Projektpartner zur STROMbegleitung

Das DLR Institut für Verkehrsforschung (DLR-VF, Berlin) bearbeitet ausgewählte Aspekte des Technologie-Monitorings und beteiligt sich am Arbeitspaket zu den Perspektiven der Elektromobilität (Roadmaps, Förderbindungen) in den USA. Das DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK, Stuttgart) ist hauptverantwortlich für die Durchführung des globalen Technologie-Monitorings und die Erstellung technologischer Trend- und Marktanalysen. Das Wuppertal Institut analysiert Förderprogramme, Perspektiven und Marktentwicklungen in den Regionen OECD-Amerika/USA, OECD-Asien/Japan, OECD-Europa/Europäische Union, China, Rest der Welt/Indien und erarbeitet zudem detaillierte Materialintensitätsanalysen zu Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und zukünftigen Fahrzeugkonzepten.

## 2 Forschungslandschaft „Elektrische Maschine im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“

Zur Abbildung der aktuellen Forschungslandschaft im Bereich „Elektrische Maschine“ im speziellen Umfeld der Elektromobilität wurden bibliometrische Analysen von globalen Patent- und Publikationsdaten über einen Zeitraum von 2000 – 2012 durchgeführt. Hierfür sind die zugrundeliegenden (Meta-) Informationen referierter wissenschaftlicher Publikationen sowie veröffentlichter Patente in dezidierten Datenbanken per Indikatoren erfasst, strukturiert und harmonisiert worden, um so sowohl quantitative Analysen (Anzahl Patente/ Publikationen) per statistischer Auswertung als auch qualitative Analysen (Inhalte Patente/ Publikationen) über Text und Data Mining Funktionen durchführen zu können.

Insgesamt wurden im Rahmen dieser Untersuchung 54.687 Publikationen und 93.435 Patente im Bereich Hybrid- und Elektrofahrzeug erfasst, wovon 3.093 Publikationen und 59.098 Patente als für E-Maschinen im Antriebsstrang elektrifizierter PKW relevant bewertet und deshalb für die nachfolgende qualitative Inhaltsanalyse herangezogen wurde.

Ziel der Analysen ist zum einen die Identifikation und der Vergleich internationaler Forschungsschwerpunkte und Entwicklungstrends in Bezug auf die Elektrische Maschine als Schlüsseltechnologie der Elektromobilität sowie einzelner, ausgewählter Komponenten und Bauteile. Hierbei wird insbesondere auf diejenigen Bauteile fokussiert, die von nationalen und internationalen Experten als besonders relevant für die technische Weiterentwicklung eingeschätzt wurden und an Inhalte des STROM-Programms anknüpfen. Dies sind im Rahmen dieser Untersuchung z.B. Stator und Rotor sowie Permanentmagnete. Zum anderen dient die Analyse dazu, führende Institutionen aus Industrie und Wissenschaft sowie Innovationsnetzwerke und -dynamiken zu identifizieren und letztlich einen Vergleich von Wettbewerbsfähigkeit und technologischer Position unterschiedlicher Länder und Weltregionen zu ermöglichen.

In den Datenbanken zur E-Maschine sind insgesamt 1.430.393 Datenpunkte über verschiedene Dimensionen auswertbar. Die Dimensionen umfassen z.B.:

- Research field
- Technology
- Parameter
- Title
- Abstract
- Keyword
- Citation
- Publication year
- Applicant/ Inventor/ Institution/ Author
- Country/ Worldregion
- International Patent Classification (IPC)



Die Patentanalyse dient als originäres Instrument der strategischen Unternehmensführung der Untersuchung wettbewerbsrelevanter Aktivitäten in definierten Technologiefeldern und zielt als Planungs- und Entscheidungshilfe auf die Entwicklung von Handlungsempfehlungen für das Technologie-Management ab. Hierfür wird der enge Zusammenhang zwischen Investitionen im Bereich Forschung und Entwicklung (FuE) als Input-Faktor und Patentanmeldungen als Output-Faktor herangezogen. Patente beinhalten per Definition Erfindungen (Inventionen), die über den aktuellen Stand der Technik hinausgehen und in zukünftigen Produkten in konkreter Anwendung (Innovation) mit wirtschaftlichem Interesse Verwendung finden können.

Neben der Nutzung als strategisches Planungstool ist die Patentanalyse ebenfalls geeignet, um technologieorientierte Wettbewerbs- und Trendanalysen darzustellen, wie es im Rahmen dieses Arbeitspapiers durchgeführt wird. Patentinformationen werden damit als Indikatoren genutzt, um technologische Trends und Entwicklungen frühzeitig zu identifizieren sowie die relative Stärke von Technologieposition und Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich von Institutionen, Ländern und/oder Weltregionen zu bewerten.

Neben der Analyse angemeldeter Patente kann auch die Analyse themenspezifisch rezensierter Publikationen als Indikator für F&E-Aktivität interpretiert werden. Beide Methoden sind im Rahmen des Abschlussberichts in Kombination zu verwenden, um ein gesamtheitliches und objektives Bild von internationalen Aktivitäten im Bereich Forschung und Entwicklung aufzuzeigen. Während Publikationen als Medium zur Dokumentation wissenschaftlicher Leistungen insbesondere dem Umfeld von Universitäten und Forschungsinstituten entstammen, werden Patente aufgrund des Aspekts der wirtschaftlichen Verwertung in konkreten Anwendungen eher der Industrie zugeordnet.

Die Methodik im Bereich der Patent- und Publikationsanalyse wurde in folgenden Schritten durchgeführt:

1. Identifikation und Definition von Technologiefeldern auf System, Komponenten und Bauteilebene (IPC-Klassen, Stichworte, Expertenaussagen)
2. Definition der Such- und Recherchestrategie
3. Datenerhebung
4. Strukturierung und Harmonisierung der Rohdaten
5. Aufbau von Technologie-Datenbanken
6. Analyse der Patent(meta-)informationen
7. Analyse der Patentinhalte mittels Text und Data Mining und Zuordnung zu Forschungs- und Technologiefeldern
8. Bestimmung der relativen Patentposition je Weltregion und Technologiefeld
9. Bestimmung der Patentaktivität und Technologiedynamik je Weltregion und Technologiefeld
10. Bestimmung der Forschungsschwerpunkte je Weltregion und Technologiefeld

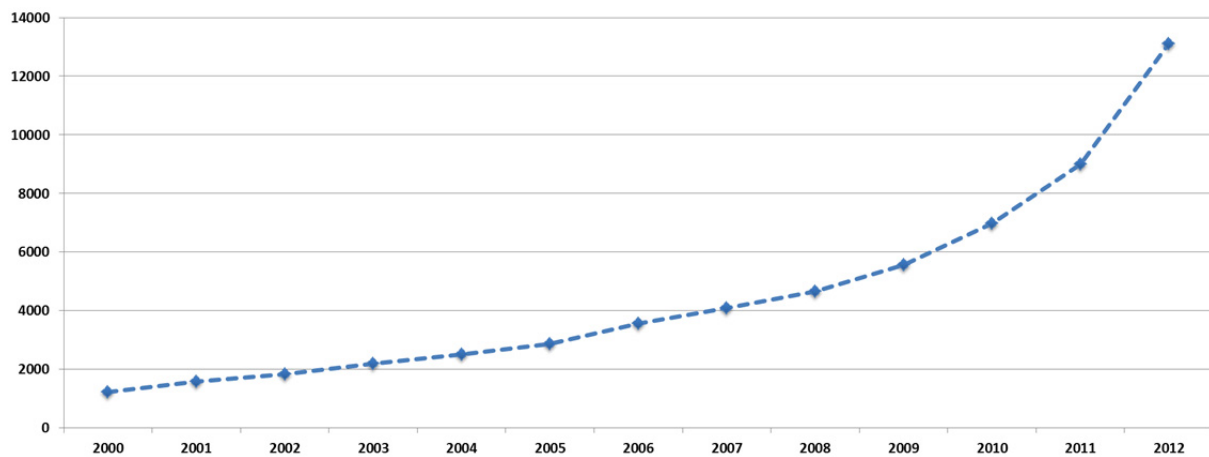
Zu den Treibern der Elektromobilität und innovativer Technologien für elektrifizierte PKW zählen insbesondere Länder wie Japan, USA, Deutschland und Frankreich, die mit historisch gewachsen starker Automobil- und Zuliefererindustrie große Anteile an den weltweiten FuE-Investitionen haben und damit auch im Bereich Patente und Publikationen signifikante Aktivitäten zeigen. Länder wie Indien oder China sind zwar aufgrund der schieren Größe des Markts und des Marktpotenzials von Bedeutung, jedoch (noch) keine Vorreiter in der technologischen Entwicklung. Insbesondere bei China aber wird im Rahmen dieser Analysen gezeigt, dass die Innovationsdynamik auch im Bereich von Schlüsseltechnologien der Elektromobilität seit einigen Jahren stark zunimmt.

Im Folgenden werden beispielhaft einige Auswertungen entlang der verschiedenen Dimensionen dargestellt.

## 2.1 Patent-/ Publikationsanalyse „Elektrische Maschine im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“

Zur Analyse der Patentanmeldungen im Bereich „Elektrische Maschine im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ wurde eine dezidierte Patentrecherche in der Patentdatenbank Espacenet des Europäischen Patentamts (EPO) durchgeführt. Hierzu sind relevante IPC-Klassen herangezogen (z.B. B60L, B60K, B60W, H02K, H02W, H01F) und z.T. mit einer Stichwortsuche kombiniert worden.

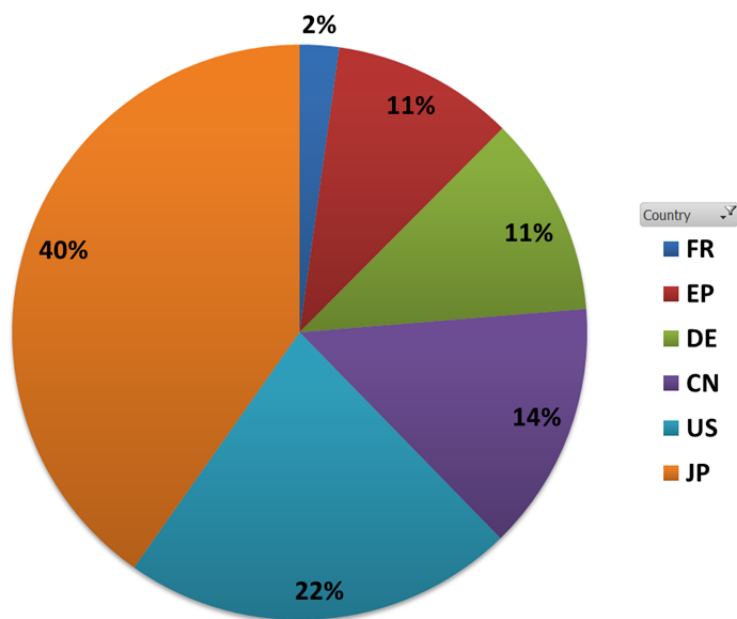
Insgesamt wurden in den für diese Auswertung relevanten Weltregionen Japan (JP), USA (US), China (CN), Europa (EP), Deutschland (DE) und Frankreich (FR) ca. 59.000 Patente veröffentlicht. Wie in Abbildung 1 zu sehen ist konnte der Output an Patenten über die Jahre kontinuierlich gesteigert werden und erreicht das absolute Maximum im Jahr 2012, eine Steigerung von insgesamt 1.080% im Vergleich zum Basisjahr 2000. Eine starke Dynamik ist insbesondere ab dem Jahr 2010 zu erkennen, so dass sich der Output an Patentschriften innerhalb der folgenden beiden Jahre nochmals fast verdoppelt und von ca. 7.000 Patenten auf über 13.000 ansteigt.



**Abbildung 1: Anzahl Patente im Bereich "Elektrische Maschine im Antriebsstrang elektrifizierter PKW", 2000-2012**

Die überwiegende Mehrzahl der Patente, die sich auf Erfindungen im Bereich „E-Maschine im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ im Zeitraum von 2000 bis 2012 beziehen und über den jeweils aktuellen Stand der Technik hinausgehen, wurde in Japan angemeldet (40%), gefolgt von den USA (22%) und China (14%), wie in folgender Abbildung 2 zu sehen ist.

Patentanmeldungen in Europa und speziell in Deutschland haben mit 6.065 bzw. 6.642 einen Anteil von jeweils 11%. Nur 1.303 Patentschriften wurden auf dem französischen Markt für IP („Intellectual Property“) publiziert.



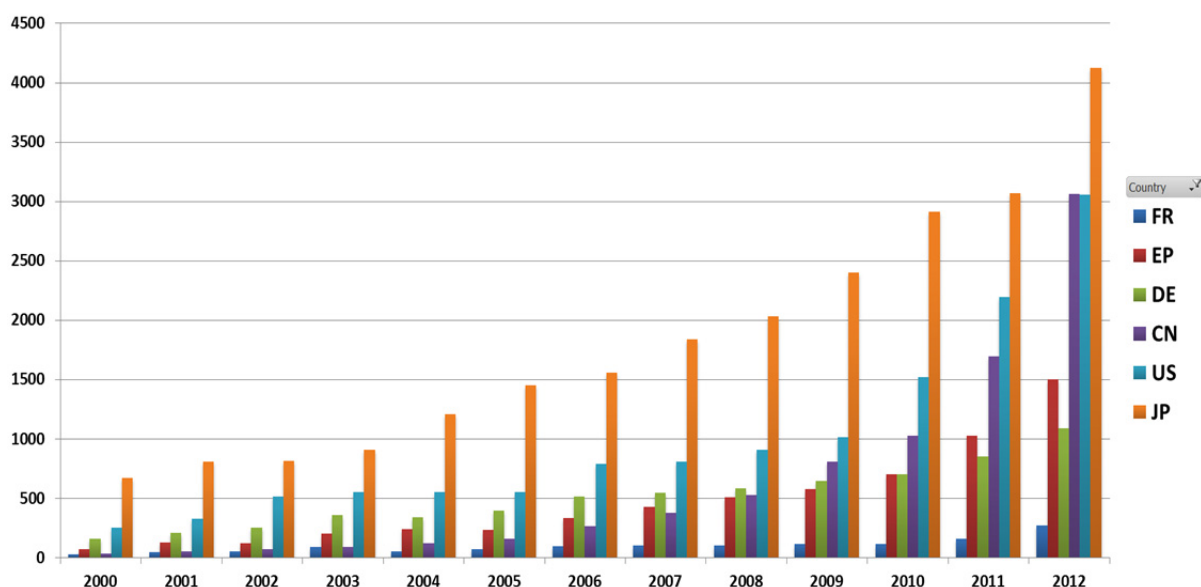
**Abbildung 2: Anteil Patente nach Weltregion**

Bei einem Vergleich der Offenlegung von Patentschriften im Bereich E-Maschine nach Zeit über die Jahre 2000 bis 2012 mit Fokus auf die untersuchten Weltregionen sind relativ klare Trends zu erkennen (siehe Abbildung 3): Während der japanische IP-Markt in jedem Jahr mit Abstand am meisten Patentanmeldungen zu verzeichnen hatte und die USA bis auf das Jahr 2012 durchgehend auf Platz 2 steht, wächst die Bedeutung des chinesischen Marktes kontinuierlich an und löst Deutschland bzw. Europa ab dem Jahr 2009 von Platz 3 ab. Diese Entwicklung gipfelt darin, dass die USA im Jahr 2012 erstmals knapp vom zweiten Platz verdrängt werden.

Im direkten Vergleich der Patentsituation der Jahre 2000 und 2010 ist ein Anstieg der Veröffentlichungszahlen um knapp 580% zu verzeichnen (1.211 zu 6.965), wobei insbesondere Japan die schon im Jahr 2000 führende Position in 2010 noch weiter ausbauen konnte und mit 2.908 die – in Bezug auf die reine Anzahl – mit Abstand meisten Anmeldungen innehat. Dennoch verliert Japan aufgrund der höheren Gesamtzahl an Offenlegungen insgesamt an Marktanteil und pendelt sich im Jahr 2010 bei ca. 42% ein, ein Verlust von knapp 13% innerhalb einer Dekade.

Die Bedeutung des deutschen IP-Markts wurde dagegen leicht verstärkt und der Marktanteil von 6% auf 10% gesteigert. Die reine Anzahl an Patentanmeldungen in Deutschland wuchs in diesem Zeitraum um das 10-fache und damit mehr als doppelt so stark im Vergleich zu Japan. Mit Abstand am meisten Dynamik ist jedoch in China zu beobachten. Hier konnte der Marktanteil innerhalb der letzten 10 Jahre von 2,6% auf 14,7% gesteigert werden. Die reine Anzahl der offengelegten Patentschriften erreicht im Jahr 2010 gleichzeitig 1.024, eine Steigerung um ca. 3.200%.

Bemerkenswert ist die ab diesem Zeitpunkt sich noch einmal rasant verstärkende Dynamik: Innerhalb der dann folgenden 2 Jahre steigert China den Anteil der auf dem eigenen IP-Markt veröffentlichten Patente von 14,7% auf über 23%, während Japans Anteil von 42% auf nur noch 31% schrumpft, trotzdem aber weiterhin führend ist. Auch in Deutschland kann bis 2012 eine nochmals verstärkte Anzahl an Patentanmeldungen identifiziert werden, so dass knapp 1.100 Patente im Bereich E-Maschine veröffentlicht werden und der Marktanteil auf über 11% ansteigt. In Frankreich dagegen ist eine nur leichte Steigerung der Gesamtzahl veröffentlichter Patente über die Jahre erkennbar und der Marktanteil stagniert dementsprechend auf einem relativ geringen Niveau bei ca. 2%.



**Abbildung 3: Anzahl Patente nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Die Analyse von Patentanmeldungen und -offenlegungszahlen dient der Identifikation von Aktivitäten und Dynamiken im Vergleich verschiedener Weltregionen, um so z.B. die Bedeutung der jeweiligen IP-Märkte für Patentanmelder über einen definierten Zeitraum zu vergleichen. Zur Ableitung von Aussagen zur Technologieposition aber ist es notwendig, eine Untersuchung der jeweilig führenden Institutionen innerhalb des Technologiefelds durchzuführen. Dies wird im folgenden Ranking für den Bereich E-Maschine im Antriebsstrang aufgezeigt.

Da die Aussagekraft der reinen Patentanzahl aber beschränkt ist, sollen bei Erstellung des Rankings diejenigen Patentschriften ausgeklammert werden, die gleiche Inhalte in unterschiedlichen Weltregionen schützen bzw. derselben Patentfamilie zugeordnet werden können. So sollen Doppel- oder Mehrfachzählungen vermieden und das Ranking der TOP-Institutionen anhand inhaltlich relevanter Erfindungen (oder Inventionen), die über den jeweiligen State-of-the-Art bestehender Lösungen hinausgehen, erstellt werden. Abbildung 4 stellt das Ranking der TOP Patentanmelder nach Anzahl der inhaltlichen relevanten Erfindungen dar.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	TOYOTA MOTOR	7.789	JP
2	HONDA MOTOR	3.073	JP
3	NISSAN MOTOR	2.835	JP
4	TOYOTA JIDOSHA	1.987	JP
5	HYUNDAI MOTOR	1.255	SK
6	MITSUBISHI JIDOSHA KOGYO	1.055	JP
7	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	833	US
8	DENSO	829	JP
9	AISIN AW	722	JP
10	HITACHI	685	JP
11	ROBERT BOSCH	679	DE
12	FORD GLOBAL TECH	655	US
13	DAIMLER	637	DE

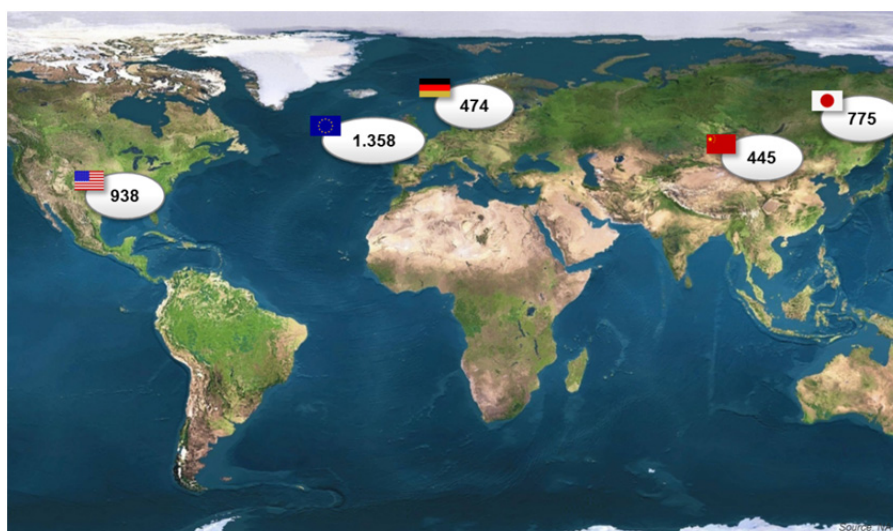
14	KIA MOTORS	427	SK
15	PEUGEOT CITROEN AUTOMOB	411	FR
16	ZF FRIEDRICHSHAFEN	399	DE
17	MAZDA MOTOR	367	JP
18	RENAULT	357	FR
19	TOSHIBA	353	JP
20	BAYERISCHE MOTOREN WERKE	347	DE

**Abbildung 4: TOP20 Patentanmelder im Bereich „Elektrische Maschine“ nach Anzahl der Erfindungen**

Im Ranking der führenden Patentanmelder im weltweiten Vergleich belegen asiatische Unternehmen 9 Positionen in den TOP10, wobei insbesondere japanische Institutionen weit überlegen und mit einer Gesamtzahl von 19.695 Erfindungen führend sind. Während alleine Toyota (Motor + Jidosha) insgesamt auf 9.776 Inventionen kommt, halten deutsche OEMs 984 inhaltlich relevante Patentschriften und finden sich mit Daimler (inkl. DaimlerChrysler) und BMW auf den Plätzen 13 und 20 wieder.

Bestplatziertes deutsches Unternehmen ist die Robert Bosch GmbH auf Rang 11 mit 679 Inventionen im Portfolio. Die USA ist mit GM (833) und Ford (655) auf Platz 7 bzw. 12 vertreten, Tesla Motors hält 122 Patente (22 Inventionen) im Bereich E-Maschinen für elektrifizierte PKW. Bestplatzierte chinesische Unternehmen sind Chery Automobile und BYD mit 117 bzw 81 Inventionen, gefolgt von der Tsinghua University in Peking mit 55 Erfindungen.

Mit Abstand am meisten Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich „Elektrische Maschinen im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ sind in Europa aktiv, wie in Abbildung 5 ersichtlich. Inklusiv der Schweiz können insgesamt 1.358 Unternehmen, Forschungsinstituten und Universitäten identifiziert werden, gefolgt von den USA mit 938 und Japan mit 775. Allein Deutschland ist in Europa für über ein Drittel aller aktiven Institutionen verantwortlich.



**Abbildung 5: Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich „Elektrische Maschinen im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“**

## 2.2 Patent-/ Publikationsanalyse „E-Maschine-Bauformen“

Innerhalb der untersuchten Patente im Bereich Elektrische Maschine sind verschiedene Schwerpunktsetzungen erkennbar, die sich z.B. auf unterschiedliche Bauformen elektrischer Maschinen oder auf konkrete Anwendungen im Komponenten- und Bauteilebereiche beziehen und im Folgenden Fokus der Analysen sein werden.

Der mechanische Aufbau von elektrischen Maschinen ist insbesondere im Vergleich mit konventionellen Verbrennungsmotoren recht einfach: Ein feststehender Teil (*Stator* oder *Ständer*), dem elektrische Leistung zu- bzw. abgeführt wird, ist durch einen Luftspalt von einem sich bewegenden Teil (*Rotor*, *Läufer* oder *Anker* genannt) getrennt, dem mechanische Leistung zu- bzw. abgeführt wird. Dabei kann der Rotor sowohl innen (*Innenläufer*) als auch außen liegen (*Außenläufer*). Die Funktionsweise elektrischer Maschinen beruht auf Elektromagnetismus. Dabei wird entweder die Lorentz-Kraft, die auf bewegte Ladungen (elektrische Ströme) in einem magnetischen Feld wirkt oder die Maxwell-Kraft, die beispielsweise auch die Grundlage von Hubmagneten ist, genutzt, um eine kontinuierliche Drehbewegung zu erzeugen. Hinsichtlich des Aufbaus von Rotor und Stator – und damit untrennbar verbunden auch der Funktionsweise – existieren verschiedene Ausführungsformen mit spezifischen Vor- und Nachteilen. Die im Bereich elektrischer Antriebe für Kraftfahrzeuge bedeutendsten sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden:

Bei der **permanenterregten Synchronmaschine** (PSM) wird im Stator ein magnetisches Drehfeld erzeugt. Dies entsteht, indem die rotationssymmetrisch angeordneten Ständerwicklungen statt mit Gleichstrom mit dreiphasigem Wechselstrom gespeist werden. Durch das umlaufende Magnetfeld im Stator ist keine Kommutierung notwendig, so dass der Aufbau des Rotors wesentlich vereinfacht werden kann. Im Falle der permanenterregten Synchronmaschine werden hierfür direkt Permanentmagnete verwendet, die sich am Magnetfeld des Stators ausrichten und damit dessen Drehbewegung folgen. Konstruktiv kann dies entweder durch Oberflächenmagnete oder im Rotor vergrabene Magnete (engl. interior permanent magnets) realisiert werden.

Die **stromerregte Synchronmaschine** (SSM) unterscheidet sich gegenüber ihrem permanenterregtem Pendant lediglich durch den Aufbau des Rotors. Wie der Name impliziert, wird hier im Rotor ein Elektromagnet verwendet, der von einer Gleichspannungsquelle mit Strom versorgt wird. Da das Magnetfeld aus Sicht des Rotors zeitlich konstant ist bestehen kaum Probleme hinsichtlich entstehender Wirbelströme, so dass der Rotor aus massivem Stahl gefertigt werden kann und keine aufwändige Laminierung erforderlich ist. Allerdings sind zur Stromversorgung Bürsten oder Schleifringe erforderlich, woraus sich wiederum Nachteile bezüglich Wartungsaufwand und Maximaldrehzahl ergeben. Gegenüber der permanenterregten Synchronmaschine ergeben sich die Vorteile eines Verzichts auf Permanentmagnete und die entsprechende Kostenersparnis, wobei nur geringe Einbußen bezüglich des Wirkungsgrads hingenommen werden müssen. Vom technischen Entwicklungsstand ist die stromerregte Synchronmaschine noch nicht so ausgereift wie die permanenterregte, stellt jedoch zunehmend eine interessante Alternative dar

Die **Asynchronmaschine** (engl. *Induction Machine / IM*) weist einen zur Synchronmaschine identischen Aufbau des Stators mit den Drehstromwicklungen auf, unterscheidet sich aber im Rotoraufbau deutlich. Hierbei finden meist Käfigläufer mit Stabwicklungen Anwendung, die über Kurzschlussringe miteinander verbunden sind. Entscheidender Unterschied zu den Läufern von Gleichstrom- oder stromerregter Synchronmaschine ist damit, dass keine elektrischen Leitungen über Bürsten oder Schleifringe nach außen geführt werden müssen.

Eine weitere Alternative stellt die **Reluktanzmaschine** (engl. *Switched Reluctance Machine / SRM*) dar. Obwohl sie elektrisch über denselben Statoraufbau wie Synchron- und Asynchronmaschine verfügt, beruht ihre Funktionsweise auf anderen physikalischen Prinzipien. Entscheidend ist hierbei die namensgebende Reluktanzkraft. Sie bewirkt, dass sich magnetisierbares Material immer in Richtung des geringsten magnetischen Widerstands bewegt und somit das Bestreben hat, den Abstand zwischen sich und dem Magneten zu verringern. Hierauf beruht auch die aus dem Alltag bekannte Anziehungskraft von Magneten. Um das Prinzip für eine elektrische Maschine nutzbar zu machen, müssen sowohl Rotor als auch Stator ein zahnförmiges Profil mit unterschiedlicher Zähnezahl aufweisen. Dabei ist jeder Statorzahn mit Spu-

len bestückt, während der Rotor einfach aus weichmagnetischen Material (im einfachsten Fall Eisen) besteht, also weder Wicklungen noch Permanentmagnete benötigt.

Während bei allen bisherigen Ausführungsformen der magnetische Fluss stets in der radialen Ebene liegt, es sich also um „Radialflussmaschinen“ handelt, ist das gemeinsame Merkmal von **Transversalflussmaschinen** (engl. *Transverse Flux Machine / TFM*) die Magnetisierung in Richtung der Rotationsachse. Der Aufbau des Stators ist dabei grundlegend verschieden und weist um die Wellenachse in einem Ring geführte Statorwicklungen auf. Auch auf diese Weise kann im Stator ein Drehfeld erzeugt werden, der Aufbau des magnetischen Kreises ist allerdings wesentlich komplizierter und entsprechend teurer. Rotorseitig können alle von den „Radialflussmaschinen“ bekannten Lösungen eingesetzt werden, es gibt also beispielsweise ebenso permanenterrechte Transversalflussmaschinen wie Transversalfluss-Reluktanzmaschinen.

Bei Analyse der Patente im Hinblick auf unterschiedliche Bauformen und ohne Beschränkung auf Erfindungen, die sich auf elektrifizierte PKW beziehen lässt sich ein klarer Schwerpunkt bei Inventionen im Bereich Synchronmaschine (35.141 Inventionen; 81%) erkennen, gefolgt von der Asynchronmaschine (4.593; 11%), der Reluktanzmaschine (3.437; 8%) und der Transversalflussmaschine (235; 0,5%), wie in Abbildung 6 zu sehen.

Die gleiche Fokussierung lässt sich auch bei denjenigen Erfindungen erkennen, die sich konkret auf eine Anwendung im Bereich elektrifizierter PKW beziehen, mit der einzigen Ausnahme, dass die Asynchronmaschine mit 8% hier einen um leicht geringeren und die Synchronmaschine mit 84% einen etwas größeren Anteil an den F&E-Aktivitäten hat. Die Gesamtzahl aller Patentoffenlegungen beträgt hier 1.518.

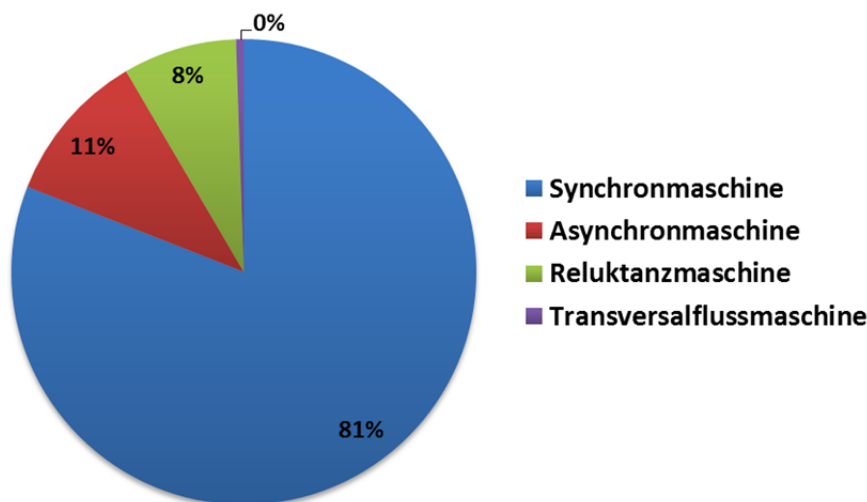


Abbildung 6: Anteil der Erfindungen im Bereich "Bauformen"

Über alle Bauformen hinweg ist auch bei einer Analyse der Patentanmeldungen über den Zeitraum der Jahre 2000-2012 insgesamt eine Dominanz Japans zu identifizieren (siehe Abbildung 7), wobei der Anteil Japans an den weltweiten Patentanmeldungen aber von 44% im Jahr 2000 auf ca. 30% im Jahr 2012 zurückgeht.

Im Zeitraum bis 2012 verliert auch der deutsche IP-Markt für die Patentanmelder an Bedeutung und sinkt um knapp 8%, um so nur noch 5% des Gesamtmarkts zu entsprechen. Gleichzeitig können auf EU- und US-Ebene die jeweiligen Marktanteile um 2 Prozent auf 12% (Europa) bzw. 29% (USA) ansteigen.

Den größten Zuwachs verzeichnet abermals der chinesische Patentmarkt, der die reine Anmeldungszahl von 4 im Jahr 2000 auf 38 in 2010 und 62 im Jahr 2012 steigern konnte. China nimmt damit nach 2006 im Jahr 2009 wieder den dritten Platz hinter Japan und den USA ein und verdrängt Europa auf Platz 3.

Der Anteil des chinesischen Marktes am Gesamtmarkt steigt so von 5% in 2000 auf 20% im Jahr 2010 und sogar 25% in 2012.

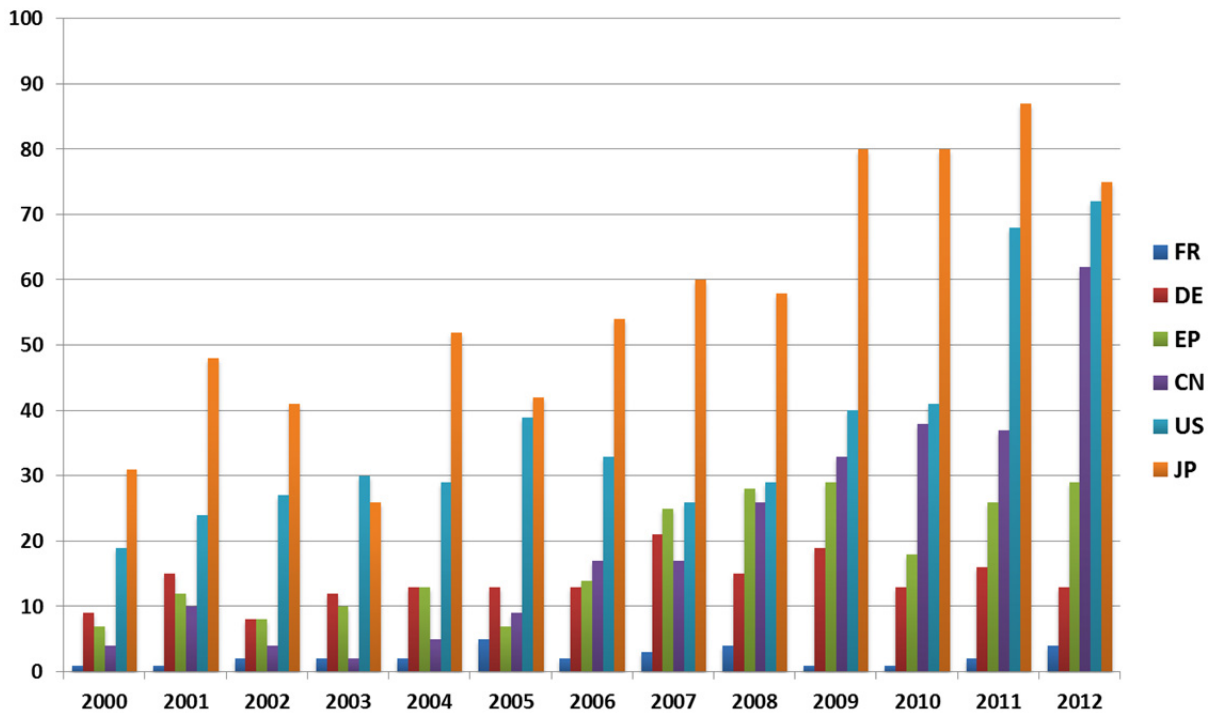


Abbildung 7: Anteil Patente im Bereich "Bauformen" nach Weltregion über Zeit, 2000-2012

Eine klar unterschiedliche Fokussierung von Patentaktivitäten einzelner Weltregionen auf bestimmte E-Maschine-Typen ist laut Analyse nicht erkennbar, wie Abbildung 8 zeigt. Die Schwerpunktsetzung von F&E-Aktivitäten liegt in allen untersuchten Weltregionen stark auf der Synchronmaschine mit Anteilen von 58% (FR) bis 84% (JP), gefolgt von Forschungen zur Asynchronmaschine zwischen 8% (JP) und 18% (CN) sowie zur Reluktanzmaschine mit Anteilen von 7% (DE) bis 24% (FR).

Patente zur Transversalflussmaschine mit Bezug zu elektrifizierten PKW wurden in nennenswertem Umfang bislang nur in Deutschland und Europa veröffentlicht. Bei der Analyse mit erweitertem Suchfeld – also ohne Beschränkung auf elektrifizierte PKW – kann in diesem Technologiefeld eine Dominanz der USA und Deutschlands identifiziert werden, die im untersuchten Zeitraum jeweils ca. 100 Patente zur Transversalflussmaschine aufweisen können.

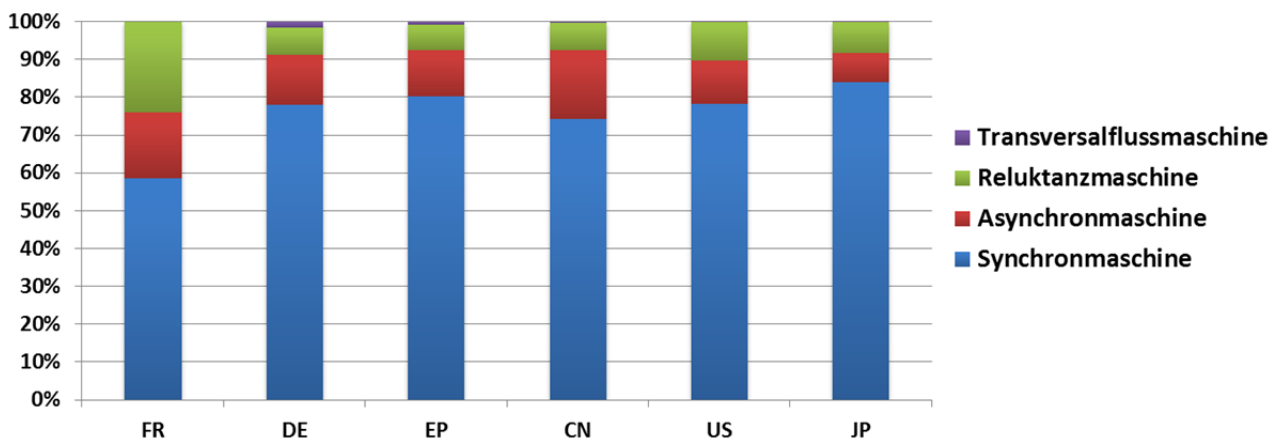


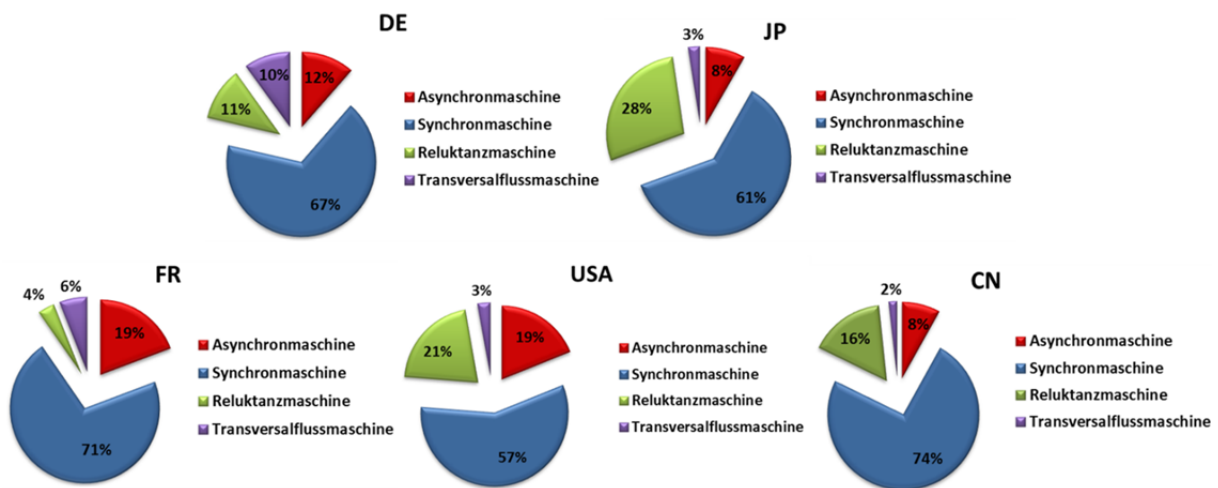
Abbildung 8: Anteil Patente nach Bauformen über Weltregion



Bei einer Analyse wissenschaftlich rezensierter Publikationen kann ein etwas anderes Bild gezeichnet werden. Zwar ist auch hier in allen untersuchten Weltregionen ein starker Forschungsfokus bei der (permanenterregten) Synchronmaschine zu erkennen, dennoch sind die Forschungsanteile bei alternativen E-Maschine-Typen und -Bauformen insgesamt höher.

Im Vergleich zu Patenten bilden Publikationen eher weniger anwendungsorientierte Forschungsleistungen ab und entstammen insbesondere dem Umfeld von Universitäten und Forschungsinstituten. Die hier thematisierten Inhalte sind stärker theoriegeleitet oder zielen eher auf die Lösung grundlegender Problemstellungen zur Realisierbarkeit neuartiger Technologien ab, sind dementsprechend von einer konkreten marktorientierten Anwendung weiter entfernt als im Rahmen von Patentschriften thematisierte Inhalte.

Zu sehen ist laut Abbildung 9, dass die Anteile verschiedener E-Maschine-Typen bei Vergleich der Patent- und Publikationslandschaft in Deutschland relativ ähnlich ausgeprägt sind. Während der Publikationsanteil bei Synchronmaschinen aber um ca. 10 Prozentpunkte geringer ist als bei der Patentsituation, sind die Anteile von Asynchron-, Reluktanz- und Transversalflussmaschine dementsprechend höher und mit ca. 10-12% relativ gleich verteilt. Insgesamt 932 Publikationen mit inhaltlichem Fokus auf „Bauformen“ konnten identifiziert werden.



**Abbildung 9: Anteil Publikationen nach Bauformen über Weltregion**

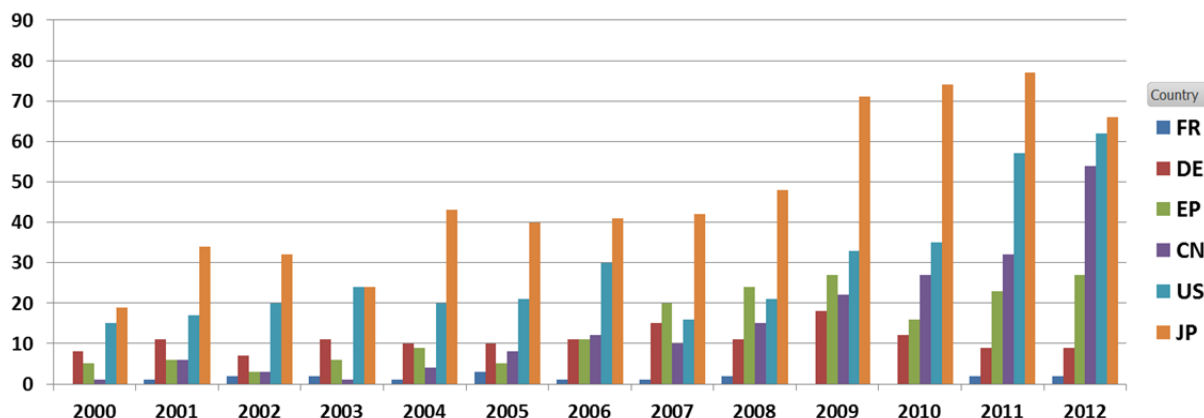
Japan und die USA haben bei den Publikationsanteilen die größten Abweichungen im Vergleich zu den Patenten. Bei beiden Ländern weicht der starke Patentfokus auf Synchronmaschinen (78% bzw. 84%) einer auf längere Sicht „technologieoffeneren“ Forschung, so dass die Anteile auf 57% (USA) und 61% (Japan) zurückgehen. Insbesondere die Reluktanzmaschine ist bei beiden Ländern dafür stärker im Fokus wissenschaftlicher Forschung und nimmt Anteile zwischen 21% (USA) und sogar 28% (Japan) ein. Während die Asynchronmaschine in Japan sowohl bei den Patenten als auch Publikationen kaum im Fokus der Forschung steht und eine vernachlässigbare Rolle einnimmt, entspricht sie in den USA einem Anteil von fast 20% aller Publikationen zu E-Maschine-Typen und ist dort – sowie auch in Frankreich – mit Abstand am stärksten im Fokus von Forschungsleistungen.

### 2.3 Patent-/ Publikationsanalyse „Synchronmaschine“

Im speziellen Feld der Patentveröffentlichungen, die im Zusammenhang mit Erfindungen im Bereich Synchronmaschine stehen, ist Japan im untersuchten Zeitraum bei der Gesamtanzahl ebenfalls klar führend. Abbildung 10 lässt jedoch signifikante Veränderungen über die Zeit erkennen: Während der japanische Patentmarkt im Jahr 2000 knapp 40% aller Anmeldungen verzeichnen hatte und diese bis auf 45% im Jahr 2010 steigern konnte, schrumpft dieser Anteil bis 2012 auf nur noch 30% Anteil am Gesamtmarkt.

Insgesamt ist der Patentmarkt im Bereich Synchronmaschine für elektrifizierte PKW in den untersuchten Weltregionen innerhalb von 12 Jahren um ca. 460% gewachsen, die Anzahl der in Japan angemeldeten Patente gleichzeitig aber nur um ca. 350%. Im Vergleich dazu konnte China den Anteil der Patentschriften kontinuierlich ab dem Jahr 2007 steigern und bezüglich der reinen Anzahl veröffentlichter Patente im Jahr 2010 erstmals Europa von Platz 3 verdrängen. Der Anteil des chinesischen Patentmarkts am Gesamtmarkt wuchs so von ca. 2% im Jahr 2000 auf über 21% in 2010 und sogar 25% in 2012.

Der Anteil Deutschlands dagegen hat über die letzten 12 Jahre stark abgenommen und ist, ausgehend von ca. 17% im Jahr 2000, nur noch für einen Anteil von 4% im Jahr 2012 verantwortlich.



**Abbildung 10: Anzahl Patente im Bereich „Synchronmaschine“ nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Im Ranking der weltweit führenden Patentanmelder im Bereich der Synchronmaschine belegen laut Abbildung 11 asiatische Institutionen 15 Plätze in den TOP20, wobei japanische Unternehmen mit einer Gesamtzahl von 606 Erfindungen vertreten sind und die asiatische Region dominieren. Nur Hyundai (Südkorea) auf Rang 19 mit 7 Erfindungen mit Bezug zu elektrifizierten PKW kann in den TOP20 identifiziert werden.

Während allein der Toyota-Konzern mit Toyota Motor und Toyota Jidosha auf insgesamt 163 inhaltlich relevante Erfindungen kommt, sind deutsche OEMs in den TOP20 überhaupt nicht vertreten. Die stärkste Position aus deutscher Sicht in diesem Technologiefeld haben die Tier1-Zulieferer Siemens und Bosch, die gemeinsam 15 inhaltlich relevante Erfindungen (54 Patente) im Portfolio haben. Sie finden sich damit auf den Plätzen 17 (Siemens AG) und 20 (Robert Bosch GmbH) wieder.

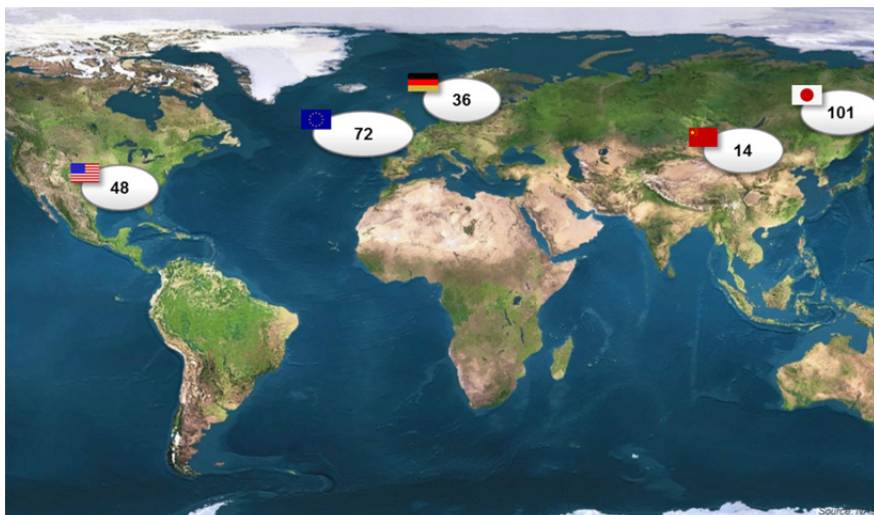
Die bestplatzierten deutschen OEMs sind Volkswagen mit 4, BMW mit 3 und Daimler mit 2 Erfindungen. Porsche und Audi haben jeweils 1 Erfindung im Portfolio. Die USA ist mit GM (27) und Ford (13) vertreten. Bestplatzierte chinesische Institutionen sind die Tongji University, United Electronic Automotive Systems und Chongqing Tsingshan Industries mit jeweils 2 Erfindungen.

Rang	Institution	Anzahl Erfindungen	Land
1	HONDA MOTOR	114	JP
2	TOYOTA MOTOR	113	JP
3	HITACHI	80	JP
4	TOYOTA JIDOSHA	50	JP
5	DENSO	46	JP
6	NISSAN MOTOR	39	JP

7	AISIN AW	33	JP
8	TOSHIBA	30	JP
9	MITSUBISHI DENKI	27	JP
10	GM GLOBAL TECH OPS	27	US
11	YAMAHA MOTOR	18	JP
12	FUJI ELECTRIC	18	JP
13	MATSUSHITA ELECTRIC IND	14	JP
14	FORD GLOBAL TECH	13	US
15	TOYOTA CENTRAL R & D LABS	9	JP
16	MITSUBA	8	JP
17	<b>SIEMENS</b>	<b>8</b>	<b>DE</b>
18	MEIDENSHA	7	JP
19	HYUNDAI MOTOR	7	SK
20	<b>BOSCH</b>	<b>7</b>	<b>DE</b>

**Abbildung 11: TOP20 Patentanmelder im Bereich „Synchronmaschine“ nach Anzahl der Erfindungen**

Insgesamt 235 Institutionen sind in den untersuchten Weltregionen aktiv in der Forschung zum Thema Synchronmaschine für elektrifizierte PKW. Die Verteilung der in den verschiedenen Weltregionen aktiven Institutionen zeigt, dass Japan mit 101 Unternehmen führend ist, gefolgt von Europa (72), den USA mit 48 und China mit 14 Institutionen. Deutschland alleine stellt in Europa dabei 50% aller aktiven Unternehmen aus Industrie und Forschung, siehe folgende Abbildung 12.



**Abbildung 12: Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich „Synchronmaschine“**

Erweitert man nun allerdings das Suchfeld im Bereich Synchronmaschine auch auf Patentanmeldungen und Erfindungen, die sich nicht speziell auf elektrifizierte PKW und die Synchronmaschine im Antriebsstrang beziehen und damit auch Forschungsaktivitäten betrachtet, die z.B. im Bereich Luft- und Raumfahrt, Energie oder Schiene existieren, so sind mehr und z.T. andere Institutionen zu identifizieren, die die F&E-Aktivitäten treiben (siehe Abbildung 13). Allein in Japan können so 1.141 Unternehmen identifiziert werden, die Forschungen zur Synchronmaschine betreiben. Die USA folgt mit 1.035, China

mit 881 und Deutschland mit 683 Unternehmen. In den einzelnen europäischen Märkten sind insgesamt 1.774 Institutionen aktiv.

Matsushita Electric Industrial (bzw. Panasonic) springt bei Analyse der TOP Patentanmelder mit erweitertem Suchfeld von Rang 13 auf Position 1, gefolgt von dem japanischen OEM Mitsubishi, der sich von Platz 9 auf Rang 2 verbessern kann. Auch Toyota und Honda – führend bei Patentanmeldungen mit konkretem Bezug zu elektrifizierten PKW – sind als OEMs weiterhin in den TOP10 aller Patentanmelder im Bereich Synchronmaschine vertreten und belegen die Ränge 6 und 7.

Auf Platz 8 als bestplatziertes deutsches Unternehmen ist die Rober Bosch GmbH mit 495 Inventionen anzufinden, die Siemens AG komplettiert die TOP20 aus deutscher Sicht und belegt Platz 13 mit 418 Erfindungen.

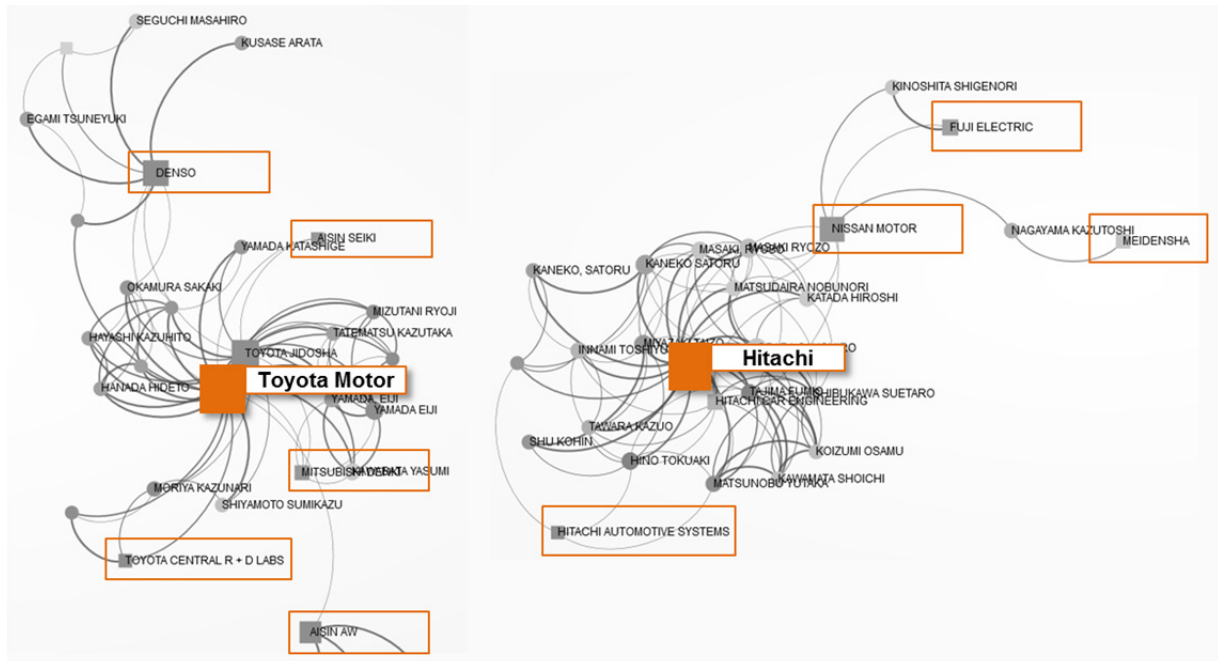
Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	MATSUSHITA ELECTRIC IND	1.437	JP
2	MITSUBISHI DENKI	1.281	JP
3	DENSO	967	JP
4	HITACHI	832	JP
5	TOSHIBA	728	JP
6	TOYOTA MOTOR	619	JP
7	HONDA MOTOR	581	JP
8	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>495</b>	<b>DE</b>
9	NISSAN MOTOR	489	JP
10	NIPPON DENSAN	480	JP
11	LG ELECTRONICS	472	SK
12	SANYO ELECTRIC	431	JP
13	<b>SIEMENS</b>	<b>418</b>	<b>DE</b>
14	DAIKIN IND	375	JP
15	YASKAWA ELECTRIC	371	JP
16	PANASONIC	361	JP
17	JTEKT	330	JP
18	ASMO	293	JP
19	SAMSUNG ELECTRONICS	279	SK
20	MITSUBA	270	JP

**Abbildung 13: TOP20 Patentanmelder im Bereich „Synchronmaschine erweitert“ nach Anzahl der Erfindungen**

Insgesamt kann auch bei einer Erweiterung des Suchfelds eine Dominanz asiatischer Institutionen bei F&E zu Synchronmaschinen identifiziert werden, wobei der Anteil japanischer Erfindungen in den TOP20 leicht zugunsten Südkoreas abnimmt und von 91% ca. 83% fällt.

Neben einer Untersuchung der geographischen Verteilung können über eine Patentanalyse auch Kooperationstätigkeiten und gemeinsame Forschungs- bzw. Innovationsnetzwerke und -dynamiken identifiziert werden. Hierzu werden Verbindungen einzelner Institutionen oder Erfinder über Patente hinweg visualisiert. Die folgende Analyse des Innovationsnetzwerks zur Synchronmaschine wird bei engem Suchfeld durchgeführt und bezieht sich dementsprechend nur auf Kooperationen, die Entwicklungen im Bereich „Synchronmaschine im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ thematisieren.

Während mit Honda das in der Rangliste führende Unternehmen keine kooperativen Forschungstätigkeiten in diesem Technologiefeld durchführt und auch die bestplatzierten deutschen Unternehmen Siemens und Bosch sich bei Patenten in geschlossenen Netzwerken bewegen, sind bei den auf Rang 2 und 3 liegenden Unternehmen Toyota und Hitachi ausgeprägte Innovationsnetzwerke zu identifizieren, siehe Abbildung 14.



**Abbildung 14: Innovationsnetzwerk im Bereich „Synchronmaschine“ – Toyota Motor (JP) und Hitachi (JP)**

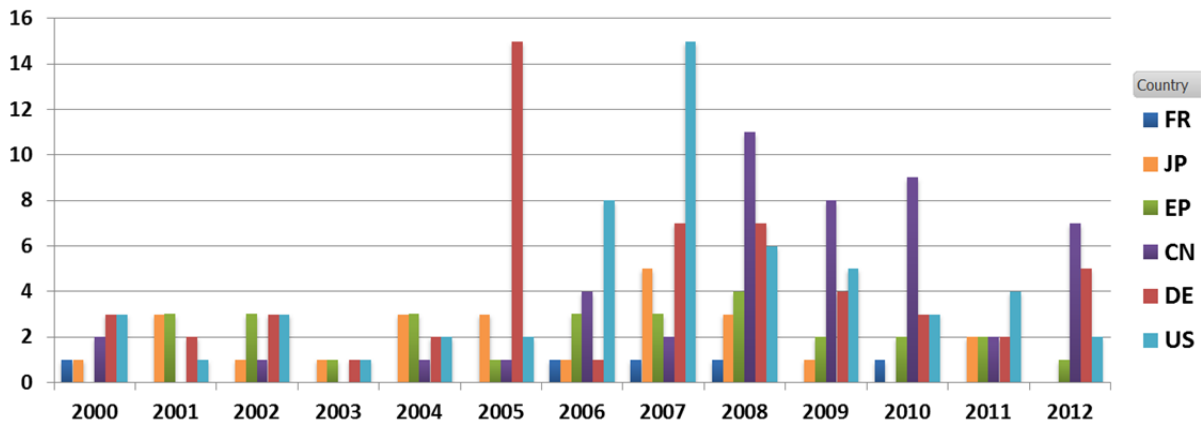
Zu sehen ist, dass in beiden Netzwerken weit verzweigte Kooperationstätigkeiten stattfinden. Während Verbindungen von Toyota Motor insbesondere zur hauseigenen Forschungsinstitution Toyota Central R&D Labs sowie zu Zulieferern wie Denso und Aisin bestehen, ist mit Mitsubishi auch ein weiterer japanischer OEM innerhalb des Netzwerks anzufinden, der selbst starke Forschungsaktivitäten im Bereich Synchronmaschine (Rang 9 bzw. 2 im erweiterten Suchfeld) zeigt.

Im Innovationsnetzwerk von Hitachi wiederum kann mit Nissan Motor ein weiterer japanischer OEM (auf Rang 6 im Technologieranking) sowie die Zulieferer Fuji Electric (Platz 12) und Meidensha (Platz 18) identifiziert werden.

## 2.4 Patent-/ Publikationsanalyse „Asynchronmaschine“

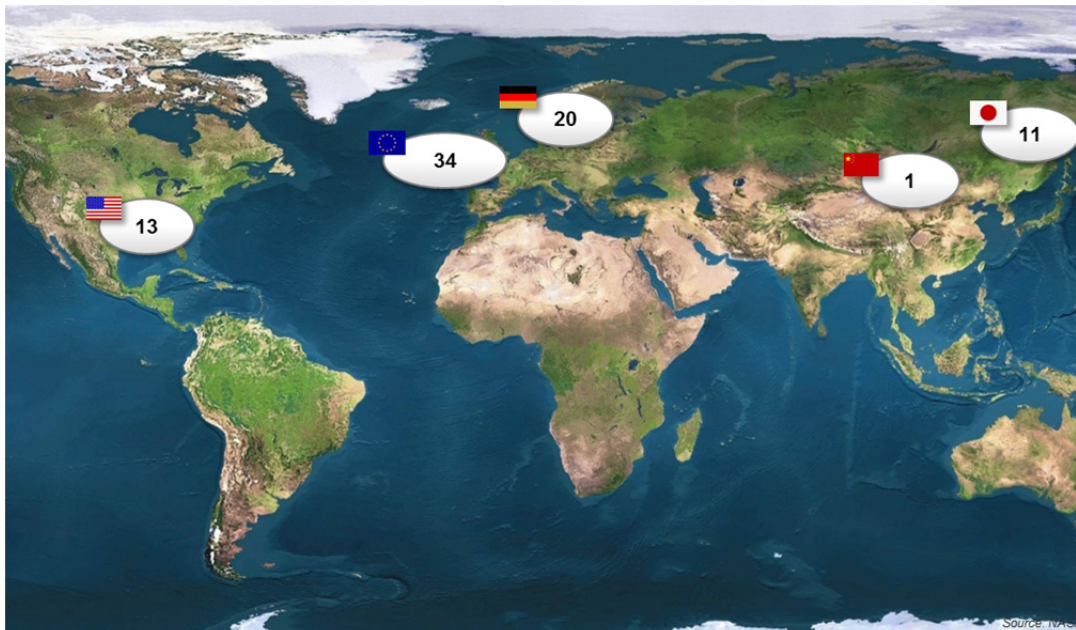
Im Bereich Asynchronmaschine mit Bezug zu elektrifizierten PKW nach Weltregion und Zeit ist ein klarer Trend über den Zeitraum 2000 bis 2012 nicht zu erkennen. Insgesamt sind die F&E-Aktivitäten der untersuchten Weltregionen in diesem speziellen Feld relativ gering, wobei insbesondere Deutschland im Jahr 2005 und die USA im Jahr 2007 mit jeweils 15 Patentanmeldungen Peaks vorzuweisen haben, sich danach aber laut Abbildung 15 wieder auf einem konstant niedrigen Level einpendeln. Beide Länder führen so auch das Ranking mit jeweils 55 auf dem jeweiligen IP-Markt angemeldeten Patenten an, gefolgt von China auf Rang 3, das insbesondere ab dem Jahr 2008 vermehrt Patentanmeldungen auf dem eigenen Markt zu verzeichnen hat.

Bemerkenswert ist, dass in Japan über den gesamten Zeitraum nur 24 Patente angemeldet wurden und damit abgeschlagen auf dem vorletzten Platz liegt, jedoch noch vor Frankreich.



**Abbildung 15: Anzahl Patente im Bereich „Asynchronmaschine“ nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Auch die Gesamtzahl der in der Forschung aktiven Institutionen ist bei eingeschränktem Suchfeld relativ gering, siehe Abbildung 16. Deutschland ist hierbei für knapp 60% aller Unternehmen in Europa verantwortlich und nimmt im internationalen Vergleich sogar die Spitzenposition ein vor den USA (13), Japan (11) und China (1).

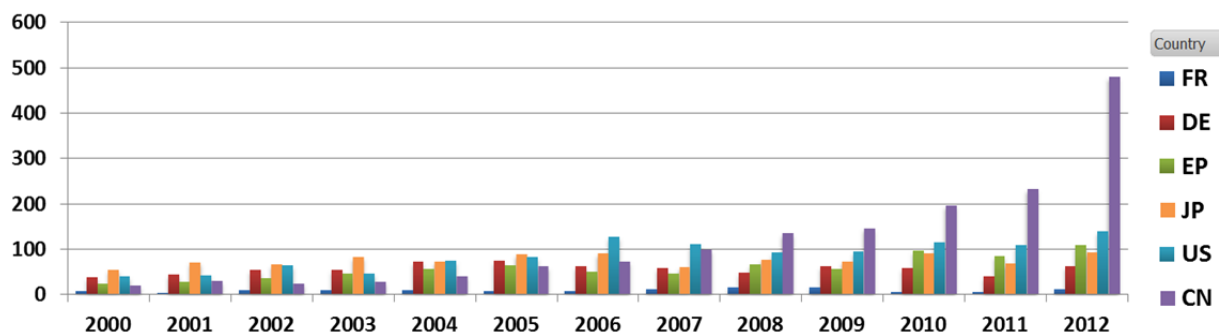


**Abbildung 16: Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich „Asynchronmaschine“**

Aufgrund der geringen Anzahl an Patentanmeldungen im Bereich Asynchronmaschine mit konkretem Bezug zur Elektromobilität soll im Folgenden wiederum das Suchfeld erweitert werden, um so auch technologiespezifische F&E-Aktivitäten zu erfassen die über elektrifizierte PKW hinausgehen. So erweitert sich die reine Anzahl der in den Weltregionen aktiven Unternehmen um ein Vielfaches: China stellt mit 329 Institutionen die führende Position dar, gefolgt von Deutschland (295), USA (234) und Japan (200).

In Abbildung 17 zu sehen ist, dass bei der erweiterten Suche zur Asynchronmaschine mehr als 5.300 Patente im untersuchten Zeitraum angemeldet wurden, während bei engem Suchfeld nur ca. 220 identifiziert werden konnten, dies entspricht einem Anteil „elektromobilitätsgetriebener“ F&E an der Technologie von nur 4%. Führend bei der reinen Anzahl der angemeldeten Patente ist der chinesische IP-Markt, der mit knapp 1.600 Patenten vor den USA (ca. 1.100) und Japan (ca. 1.000) liegt. Insbesondere ab dem Jahr 2008 kann sich China im Rahmen dieser Analyse behaupten und die führende Position bis ins Jahr 2012 festigen und sogar noch weiter ausbauen, so dass der Marktanteil von 11% in 2000 auf über 53% in 2012 ansteigt. Die USA und insbesondere Japan verlieren im gleichen Zeitraum 7 bzw. 19 Prozentpunkte Marktanteil und erreichen in 2012 damit nur noch 16% bzw. 11%.

Auf dem deutschen IP-Markt wurden im untersuchten Zeitraum knapp 730 Patente zur Asynchronmaschine eingereicht und veröffentlicht. Auch hier ist die Entwicklung angemeldeter Patente in Relation zu China stark rückläufig. Während der Output innerhalb der untersuchten 12 Jahre um über 160% gesteigert werden konnte, verliert Deutschland aber trotzdem insgesamt 14% Marktanteil und fällt von 21% auf nur noch ca. 7% ab.



**Abbildung 17: Anzahl Patente im Bereich „Asynchronmaschine erweitert“ nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Im Ranking der führenden Patentanmelder im weltweiten Vergleich belegen japanische Unternehmen 8 Positionen in den TOP20 und sind dabei mit einer Gesamtzahl von 405 Erfindungen führend (siehe Abbildung 18). Bemerkenswert ist, dass auch im Ranking mit erweitertem Suchfeld ein japanischer OEM in Form von Mitsubishi (Rang 3, 112 Inventionen) unter den Bestplatzierten vertreten ist. Toyota belegt in diesem Ranking mit 15 Erfindungen jedoch nur Platz 20, Honda mit 11 Erfindungen Rang 41.

Bestplatziertes deutsches Unternehmen und gleichzeitig im Gesamtranking führend ist Siemens mit 136 Inventionen (349 Patente), gefolgt von Bosch mit 37 Erfindungen (163 Patente) auf Rang 10 und SEW Eurodrive mit 26 Erfindungen (51 Patente) auf Platz 13. Deutsche OEMs sind in diesem Technologiebereich weiterhin mit Daimler (16 Inventionen, inkl. Daimler Chrysler), Volkswagen und BMW (jeweils 3) sowie Porsche (1 Erfindung) vertreten.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	SIEMENS	136	DE
2	LG ELECTRONICS	113	SK
3	MITSUBISHI DENKI	112	JP
4	HITACHI	81	JP
5	FUJITSU GEN	57	JP
6	MATSUSHITA ELECTRIC IND	49	JP
7	CHONGQING MACHINERY	45	CN
8	GEN ELECTRIC	44	US
9	TOSHIBA	42	JP

10	ROBERT BOSCH	37	DE
11	ZHONGDA MOTORS	36	CN
12	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	27	US
13	SEW-EURODRIVE	26	DE
14	YASKAWA ELECTRIC	24	JP
15	DENSO	22	JP
16	EMERSON ELECTRIC	22	US
17	FANUC	18	JP
18	YONGJI XINSHISU ELECTRIC	17	CN
19	JIANGSU UNIV	16	CN
20	TOYOTA	15	JP

**Abbildung 18: TOP20 Patentanmelder im Bereich „Asynchronmaschine erweitert“ nach Anzahl der Erfindungen**

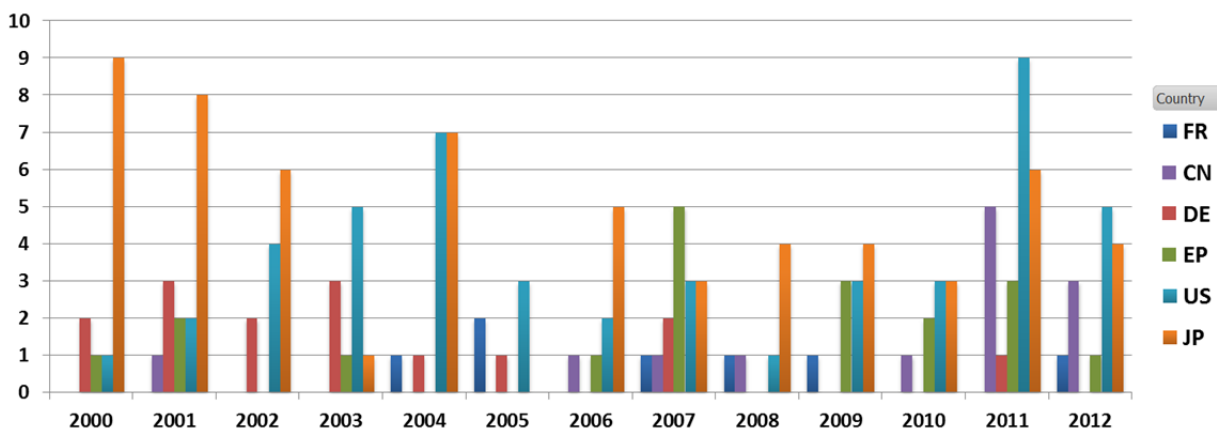
In den USA sind die Unternehmen GE (44 Inventionen), GM (27) und Emerson Electric (22) auf den TOP3 und im Bereich Patentanmeldungen für Asynchronmaschinen am breitesten aufgestellt. In China führt Chongqing Machinery mit 45 Erfindungen die Rangliste an, gefolgt von Zhongda Motors (36).

Weiterhin ist Yongji Xinshisu Electric (17) und die Jiangso University (16) in den TOP10 vertreten und China dementsprechend insgesamt in diesem Technologiefeld im internationalen Vergleich nicht nur marktseitig, sondern tatsächlich auch bei der konkreten Technologieentwicklung aktiv und in einer treibenden Rolle.

## 2.5 Patent-/ Publikationsanalyse „Reluktanzmaschine“

Im Bereich der Reluktanzmaschine in Verbindung mit elektrifizierten PKW konnten insgesamt 162 Patente im untersuchten Zeitraum identifiziert werden, wobei auch hier aufgrund der geringen Datenpunkte ein klarer Trend über die Zeit nicht erkennbar ist.

Der japanische Markt nimmt dabei ca. 37% aller Veröffentlichungen ein, gefolgt von den USA mit knapp 30% sowie Europa (12%), Deutschland (9%) und China (8%), siehe Abbildung 19.

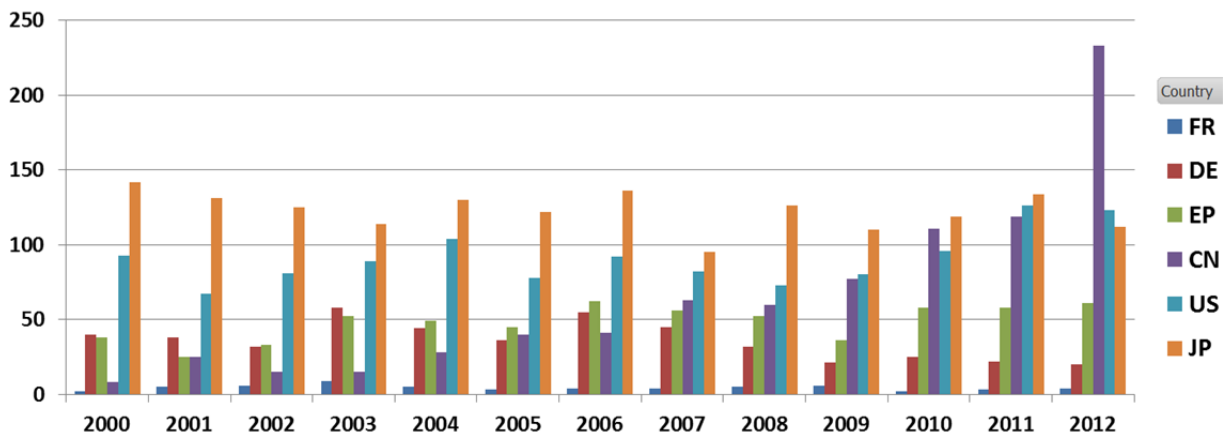


**Abbildung 19: Anzahl Patente im Bereich „Reluktanzmaschine“ nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**



Bei einer Erweiterung des Suchfelds auf alle Patente und Inventionen im Bereich Reluktanzmaschine – ohne Einschränkung auf den Bereich elektrifizierter PKW – können ca. 4.700 Patente identifiziert werden und das Bild verschiebt sich in der Form, dass eine konstant hohe Aktivität sowohl in Japan als auch den USA über den gesamten Zeitraum erkennbar ist. Insgesamt ist Japan dabei mit ca. 1.600 angemeldeten Patenten führend, gefolgt von den USA mit ca. 1.200 und China mit ca. 800, das die Patentanmeldungen auf dem eigenen Markt ab dem Jahr 2004 kontinuierlich steigern konnte und ab dem Jahr 2012 die führende Position für Patentanmelder einnimmt, siehe Abbildung 20.

Der japanische Markt verliert über die Jahre insgesamt 24% Marktanteil und erreicht nur noch 20% im Jahr 2012, während China den Output um einen Faktor 30 steigern konnte und ausgehend von 2 Prozent Marktanteil in 2000 innerhalb einer Dekade 27% und bis 2012 sogar 42% erreicht. Die USA hält sich im untersuchten Zeitraum relativ konstant bei einem Marktanteil zwischen 22% und 29%. In Deutschland hingegen ist ab dem Jahr 2006 ein konstanter Rückgang der Patentanmeldungen im Bereich Reluktanzmaschine erkennbar. Während der deutsche IP-Markt im Jahr 2000 noch ca. 12% Marktanteil vorweisen konnte, sinkt dieser Wert bis 2012 auf nur noch 3,6% ab.



**Abbildung 20: Anzahl Patente im Bereich „Reluktanzmaschine erweitert“ nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Die führende Institution in dem Technologiefeld kommt mit LG Electronics und insgesamt 224 inhaltlich relevanten Erfindungen (394 Patente) aus Südkorea, gefolgt von Switched Reluctance Drives aus Großbritannien (106 Inventionen) und Denso aus Japan.

Japanische Unternehmen sind zwar mit 60% immer noch für die Mehrzahl der Inventionen in den TOP20 verantwortlich und treibende Kraft, jedoch nicht mehr dominante Technologieführer, wie z.B. bei der Synchronmaschine gezeigt. Auffallend ist dennoch, dass auch bei der Analyse mit erweitertem Suchfeld japanische OEMs stark vertreten sind. Toyota (incl. Toyota Central R&D Labs) befindet sich demnach mit 93 Erfindungen auf Rang 5, Mitsubishi (81) auf Rang 7 und Nissan (68) auf Platz 11, siehe Abbildung 21.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	LG ELECTRONICS	224	SK
2	SWITCHED RELUCTANCE DR	106	UK
3	DENSO	110	JP
4	SAMSUNG ELECTRONICS	94	SK
5	TOYOTA MOTOR	93	JP
6	TOSHIBA	86	JP
7	MITSUBISHI DENKI	81	JP

8	MATSUSHITA ELECTRIC IND	74	JP
9	HITACHI	72	JP
10	AISIN SEIKI	69	JP
11	NISSAN MOTOR	68	JP
12	JAPAN SERVO	60	JP
13	EMERSON ELECTRIC	57	US
14	FUJITSU GEN	53	JP
15	MITSUBA	44	JP
16	DAIKIN IND	38	JP
17	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>38</b>	<b>DE</b>
18	NANJING UNIV	35	CN
19	DANA	30	US
20	OKUMA	28	JP

**Abbildung 21: TOP20 Patentanmelder im Bereich „Reluktanzmaschine erweitert“ nach Anzahl der Erfindungen**

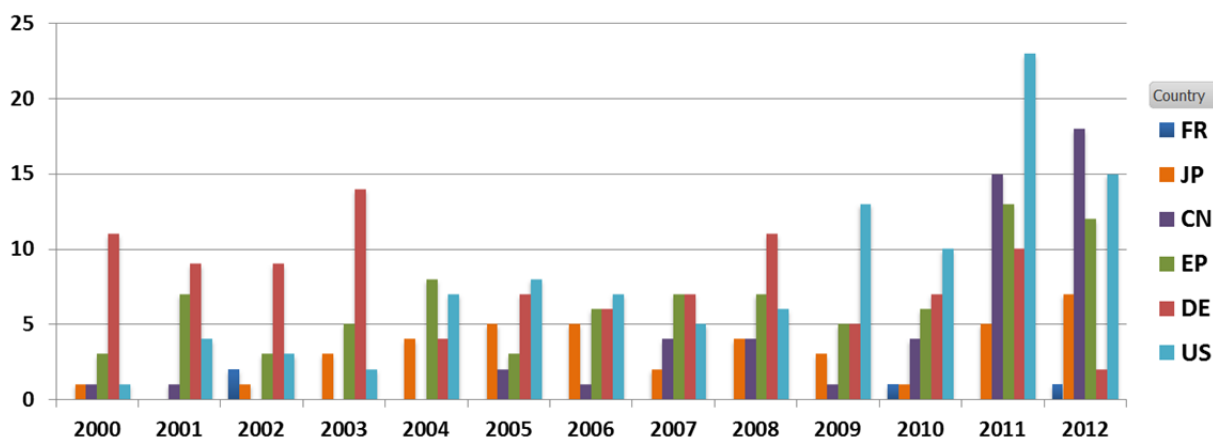
Emerson Electric stellt das bestplatzierte US-amerikanische Unternehmen dar, die Robert Bosch GmbH auf Rang 17 führt die Technologieentwicklung aus deutscher Sicht an. China ist mit der Nanjing University Aeronautics & Astronautics und 35 Erfindungen in den TOP20 vertreten.

## 2.6 Patent-/ Publikationsanalyse „Transversalflussmaschine“

Im speziellen Feld der Patentveröffentlichungen, die im Zusammenhang mit Erfindungen im Bereich Transversalflussmaschine für elektrifizierte PKW stehen können insgesamt nur 13 Patente identifiziert werden. Deutschland ist dabei mit 6 Patenten führend, wobei diese in den Jahren 1996, 1998 und 2001 veröffentlicht wurden. Aktuelle Forschungen können nur auf dem japanischen, US-amerikanischen und europäischen Markt identifiziert werden, wo jeweils eine Patentveröffentlichung im Jahr 2012 stattgefunden hat. Die treibenden Unternehmen im Bereich Transversalflussmaschine sind dabei die Voith AG, Toshiba sowie Daimler.

Auch hier wird im folgenden die Patentlandschaft mit erweiterten Suchfeld im Bereich Transversalflussmaschine aufgezeigt (Abbildung 22). Im untersuchten Zeitraum können so insgesamt ca. 390 Patente identifiziert und den verschiedenen Weltmärkten zugeordnet werden. Die USA und Deutschland sind mit 104 bzw. 102 Patenten in diesem Technologiefeld führend, gefolgt vom europäischen IP-Markt (85), China (51), Japan (41) sowie Frankreich (4).

Auch in dieser Analyse ist zu sehen, dass in Deutschland vermehrt in den Jahren 2000-2004 F&E-Aktivitäten stattgefunden haben, während in den Folgejahren andere Weltregionen – insbesondere die USA und ab 2011 auch China – relevant wurden. Auch die Marktanteile verschieben sich über die Jahre dementsprechend: Während der deutsche Markt im Jahr 2000 noch knapp 65% aller Patentanmeldungen verbuchen konnte, sinkt der Anteil bis 2010 auf 24% ab und erreicht in 2012 nur noch ca. 4%. Im gleichen Zeitraum kann die USA den Marktanteil von 6% auf 28% steigern, China sogar von 6% auf ca. 33%. China stellt demnach im Jahr 2012 erstmals den bedeutendsten Markt für Patentanmelder im erweiterten Bereich der Transversalflussmaschine dar.



**Abbildung 22: Anzahl Patente im Bereich „Transversalflussmaschine erweitert“ nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Deutsche Institutionen sind im erweiterten Feld zur Transversalflussmaschine führend und belegen 11 Plätze in den TOP20, siehe Abbildung 23. Die Voith AG steht dabei mit 27 Erfindungen (86 Patente) auf Rang 1 vor der Robert Bosch GmbH mit 19 Erfindungen (69 Patente) und dem Harbin Institute of Technology aus China. Auf den Plätzen 5 und 7 finden sich dann 2 deutsche OEMs wieder, die 9 bzw. 7 Erfindungen im Technologie-Portfolio vorweisen können. Insgesamt sind deutsche Unternehmen für ca. 52% aller Patentaktivitäten in den TOP20 verantwortlich. 40 deutsche Institutionen – und damit im internationalen Vergleich mit Abstand am meisten – forschen an Themen zur Transversalflussmaschine.

Das einzige japanische Unternehmen in dieser Rangliste stellt die Minebea K.K. dar, die auf Rang 19 nur 2 Inventionen vorweisen kann. Nordamerikanische Unternehmen sind durch Motor Excellence, LLC auf Platz 6, Hamilton Sundstrand (bzw. United Technologies Corp.) auf Platz 8, Otis Corp. auf Rang 10 sowie E-cycle Technologies aus Kanada auf Platz 20 vertreten.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	VOITH	27	DE
2	ROBERT BOSCH	19	DE
3	HARBIN INST TECH	16	CN
4	KOREA ELECTROTECHNOLOGY INST	28	SK
5	DAIMLER-BENZ	9	DE
6	MOTOR EXCELLENCE	7	US
7	BAYERISCHE MOTOREN WERKE	7	DE
8	HAMILTON SUNDSTRAND	6	US
9	BOMBARDIER TRANSPORTATION	6	FR
10	OTIS	4	US
11	SEW-EURODRIVE	4	DE
12	SOUTHEAST UNIV	4	CN
13	SIEMENS	3	DE
14	BLUM	3	DE
15	SCHAEFFLER	3	DE
16	COMPACT DYNAMICS	2	DE
17	HARMONIC DRIVE SYSTEMS	2	DE

18	MTU AERO ENGINES	2	DE
19	MINEBEA	2	JP
20	EOCYCLE TECH	2	CAN

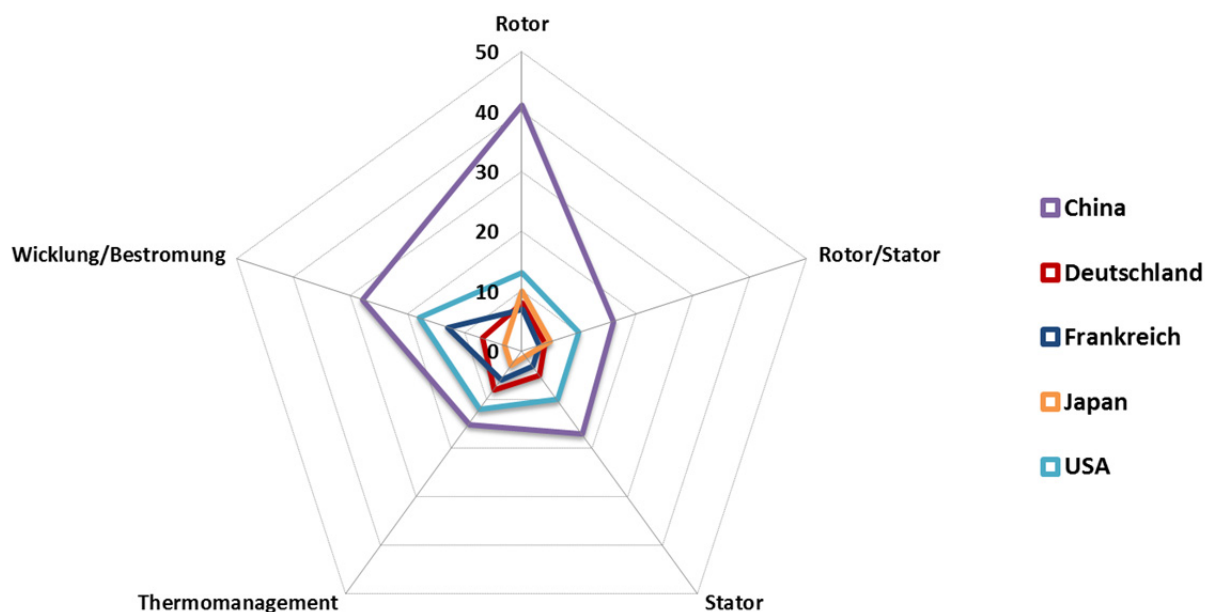
**Abbildung 23: TOP20 Patentanmelder im Bereich „Transversalflussmaschine erweitert“ nach Anzahl der Erfindungen**

## 2.7 Patent-/ Publikationsanalyse „Stator/Rotor“

Bei einer weiteren Analyse von Patent- und Publikationsschriftenschriften können auch Trends und Schwerpunkte auf Komponenten- und Bauteilebene Elektrischer Maschinen identifiziert werden. Im Folgenden soll die jeweilige Forschungslandschaft bei denjenigen Komponenten dargestellt werden, die im Rahmen der internationalen Experteninterviews und von den STROM-Experten als besonders relevant für die Weiterentwicklung und/oder Optimierung von E-Maschinen im den Antriebsstrang elektrifizierter PKW genannt wurden. Im Einzelnen sind dies: Stator, Rotor, Wicklungen, Thermomanagement sowie Permanentmagnete.

Die Publikationsanalyse zeigt, dass bei einer themenspezifischen Untersuchung der identifizierten wissenschaftlichen Veröffentlichungen unterschiedliche Schwerpunkte in der Forschung auf Komponenten- und Bauteilebene im Vergleich der Weltregionen zu erkennen ist, siehe Abbildung 24.

Während bei chinesischen Publikationen ein Forschungsfokus in den Bereichen Rotor sowie Wicklung/Bestromung identifiziert werden kann, sind US-amerikanische und deutsche Veröffentlichungen weniger spezifisch, so dass sich hier keine klare Priorität erkennen lässt.



**Abbildung 24: Schwerpunkte bei Publikationen nach Weltregion und Komponente/Bauteil**

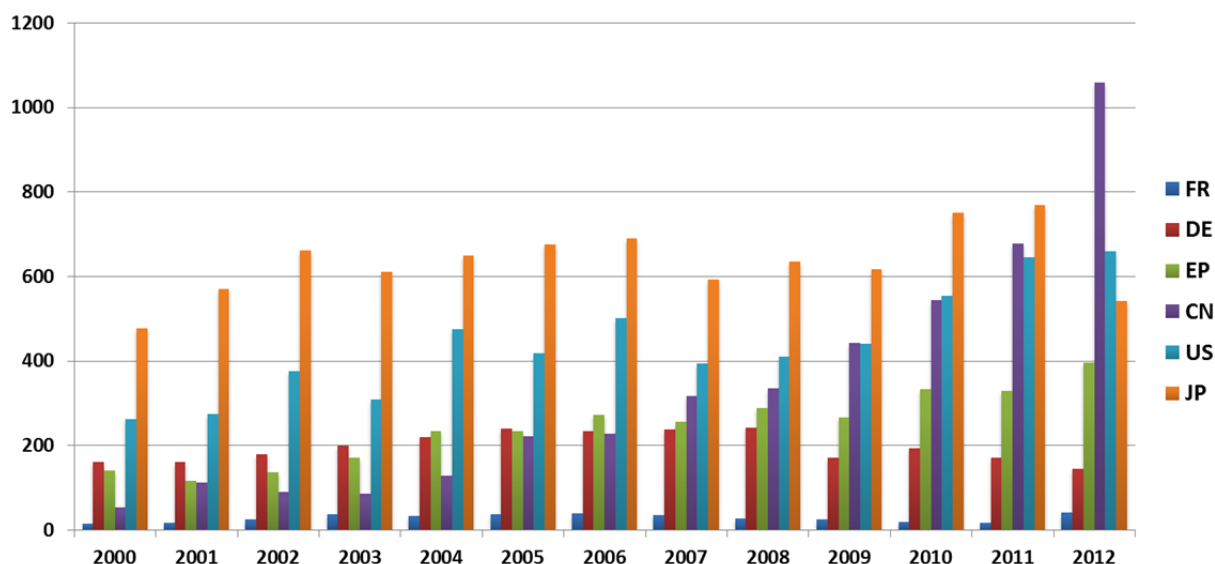
Anhand einer Analyse der Offenlegung von Patentschriften, die im Zusammenhang mit Erfindungen im Bereich Stator stehen und über alle Bauformen hinweg analysiert werden ist Japan mit 8.238 Patenten über den gesamten Zeitraum der Jahre 2000-2012 bei der reinen Patentanzahl führend, während die USA

mit ca. 5.700 Patenten bis 2010 den zweiten Rang einnimmt, sich nur im Jahr 2009 knapp China geschlagen geben muss (siehe Abbildung 25).

Der Marktanteil der USA bewegt sich über die Jahre sehr konstant bei ca. 23%, während der japanische Anteil von führenden 43% in 2000 auf nur noch 19% in 2012 abfällt. Dennoch ist Japan damit vor Europa (14%) noch auf dem dritten Rang anzufinden.

Patentanmeldungen auf dem chinesischen Markt steigern sich ab dem Jahr 2003 konstant und zeigen insbesondere ab dem Jahr 2008 eine hohe Dynamik, so dass die USA von Platz 2 verdrängt werden und in 2012 China sogar mit Abstand die Spitzenposition einnimmt, wie Abbildung 25 zeigt. China kann den Marktanteil von nur 5% im Jahr 2000 auf 22% in 2010 und über 37% in 2012 steigern.

Deutschland hingegen ist mit einer Patentzahl zwischen 140 und 240 pro Jahr über den untersuchten Zeitraum relativ konstant und kann keine nennenswerten Steigerungen der Patentanmeldungen auf dem eigenen IP-Markt vorweisen. Der Peak wurde mit ca. 240 Patenten im Jahr 2008 erreicht, so dass in den Folgejahren relativ sinkende Patentzahlen zu erkennen sind. Der Anteil Deutschlands am Gesamtmarkt fällt dementsprechend von ca. 14% auf 8% in 2010 und nur noch 5% in 2012.



**Abbildung 25: Anzahl Patente im Bereich „Stator“ für alle Bauformen nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Im Bereich Stator sind japanische Institutionen insgesamt stark vertreten und belegen 7 Plätze in den TOP10, wie Abbildung 26 zeigt. Die einzigen nicht-japanischen Unternehmen innerhalb der ersten zehn Plätze sind Siemens und Bosch auf den Plätzen 5 und 6 sowie LG aus Südkorea auf Rang 8. Bestplatziertes US-amerikanisches Unternehmen ist General Electric auf Platz 14 mit 672 inhaltlich relevanten Erfindungen.

Auch hier ist es bemerkenswert, dass mit Mitsubishi ein OEM auf Komponentenebene führend und auch Toyota (Rang 3) sowie Honda und Nissan in der Rangliste vertreten sind. Bestplatzierte deutsche OEMs sind Daimler mit ca. 150 Erfindungen, gefolgt von Volkswagen und BMW mit 65 bzw. 55 Inventionen im Portfolio. In den USA können GM (78 Inventionen) und Ford (57) als führende OEMs identifiziert werden.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	MITSUBISHI DENKI	2.207	JP
2	MATSUSHITA ELECTRIC IND	1.659	JP
3	TOYOTA MOTOR	1.589	JP
4	DENSO	1.466	JP
5	<b>SIEMENS</b>	<b>1.344</b>	<b>DE</b>
6	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>1.319</b>	<b>DE</b>
7	HITACHI	1.226	JP
8	TOSHIBA	1.212	JP
9	LG ELECTRONICS	1.036	SK
10	HONDA MOTOR	1.026	JP
11	NISSAN MOTOR	924	JP
12	ASMO	899	JP
13	YASKAWA ELECTRIC	694	JP
14	GEN ELECTRIC	672	US
15	NIPPON DENSAN	611	JP
16	SANYO ELECTRIC	543	JP
17	MINEBEA	522	JP
18	MITSUBA	502	JP
19	SAMSUNG	495	SK
20	FUJITSO GEN	367	JP

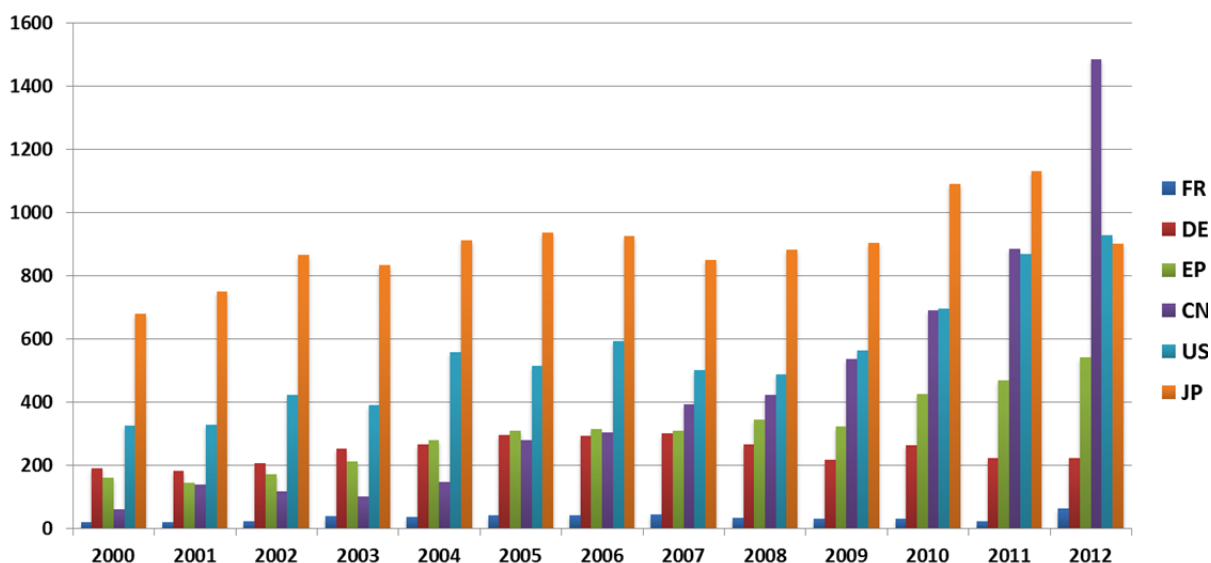
**Abbildung 26: TOP20 Patentanmelder im Bereich "Stator" nach Anzahl der Erfindungen**

Im Bereich des „Rotors“ über alle analysierten E-Maschine-Typen hinweg ist ein sehr ähnliches Bild über die Zeit zu erkennen wie beim Stator, wobei die Gesamtanzahl der Patentschriften hier insgesamt mit ca. 32.000 höher liegt als beim Stator (ca. 24.000).

Auch hier ist Japan über den gesamten Zeitraum bei der reinen Patentanzahl führend (ca. 11.700), während die USA mit ca. 7.100 Patenten den zweiten Rang einnimmt und sich bis ins Jahr 2011 auf diesem Platz behaupten kann. Der Marktanteil der USA variiert über die Jahre nur leicht und entspricht im Mittel ca. 22%, während Japan große Anteile verliert und von 47% in 2000 auf 22% in 2012 abfällt. Japan nimmt damit im Jahr 2012 knapp hinter den USA und China den dritten Rang ein.

Patentanmeldungen auf dem chinesischen Markt können wie beim Stator auch beim Rotor ab dem Jahr 2003 konstant gesteigert werden und nehmen ab dem Jahr 2008 nochmals rasant zu, so dass die USA erstmals im Jahr 2011 von Platz 2 verdrängt werden kann. Im Jahr 2012 ist China dann der bedeutendste Markt für Patentschriften im Bereich Rotor (siehe Abbildung 27). Der Output auf dem chinesischen Markt wurde dabei von 54 Patenten im Jahr 2000 auf 544 im Jahr 2010 und sogar 1.058 in 2012 gesteigert. Der Anteil am Gesamtmarkt steigt dementsprechend ebenfalls extrem an und konnte um 34 Prozentpunkte innerhalb von 12 Jahren erhöht werden, um in 2012 insgesamt 36% zu erreichen.

Deutschland hingegen kann die Zahl der Patentanmeldungen bis auf ein Maximum von insgesamt 300 im Jahr 2007 steigern, bewegt sich aber bei der absoluten Patentzahl im Vergleich zu den anderen Weltregionen auf einem sehr konstanten Niveau. Der Marktanteil sinkt von ca. 13% im Jahr 2000 auf nur noch 5% in 2012 ab.



**Abbildung 27: Anzahl Patente im Bereich „Rotor“ für alle Bauformen nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Die TOP20 der aktivsten Unternehmen im Bereich „Rotor“ sind denen im bereits gezeigten Feld „Stator“ ebenfalls ähnlich, dennoch können laut Abbildung 28 einige interessante Verschiebungen identifiziert werden.

Weiterhin belegen japanische Unternehmen 7 Plätze in den TOP10 und führen mit Mitsubishi bzw. Matsushita (Panasonic) die Rangliste an. Direkt dahinter aber kann Siemens mit 1.074 Inventionen den dritten Rang erobern und verdrängt damit Toyota, das beim Rotor weniger starke Forschungsaktivitäten zu zeigen scheint als beim Stator. Auch Bosch kann sich um einen Platz verbessern und nimmt damit vor Denso den fünften Platz im Ranking ein.

Wiederum bestplatziertes US-amerikanisches Unternehmen ist General Electric auf Platz 13 mit 504 inhaltlich relevanten Erfindungen. Zudem kann erstmals ein taiwanesisches Unternehmen einen Platz in der Rangliste erobern, so dass die Sunonwealth Electric Machine Industry mit 287 Erfindungen den 20. Platz belegt.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	MITSUBISHI DENKI	1.443	JP
2	MATSUSHITA ELECTRIC IND	1.341	JP
3	<b>SIEMENS</b>	<b>1.074</b>	<b>DE</b>
4	HITACHI	1.014	JP
5	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>1.006</b>	<b>DE</b>
6	DENSO	977	JP
7	TOSHIBA	953	JP
8	TOYOTA MOTOR	870	JP
9	LG ELECTRONICS	758	SK
10	HONDA MOTOR	740	JP
11	NISSAN MOTOR	699	JP
12	ASMO	637	JP

13	GEN ELECTRIC	504	US
14	NIPPON DENSAN	487	JP
15	YASKAWA ELECTRIC	414	JP
16	MINEBEA	397	JP
17	SANYO ELECTRIC	394	JP
18	SAMSUNG ELECTRO-MECHANICS	386	SK
19	MITSUBA	362	JP
20	SUNONWEALTH ELECTRIC MACHI	287	TW

**Abbildung 28: TOP20 Patentanmelder im Bereich "Rotor" nach Anzahl der Erfindungen**

## 2.8 Patent-/ Publikationsanalyse „Wicklungen“

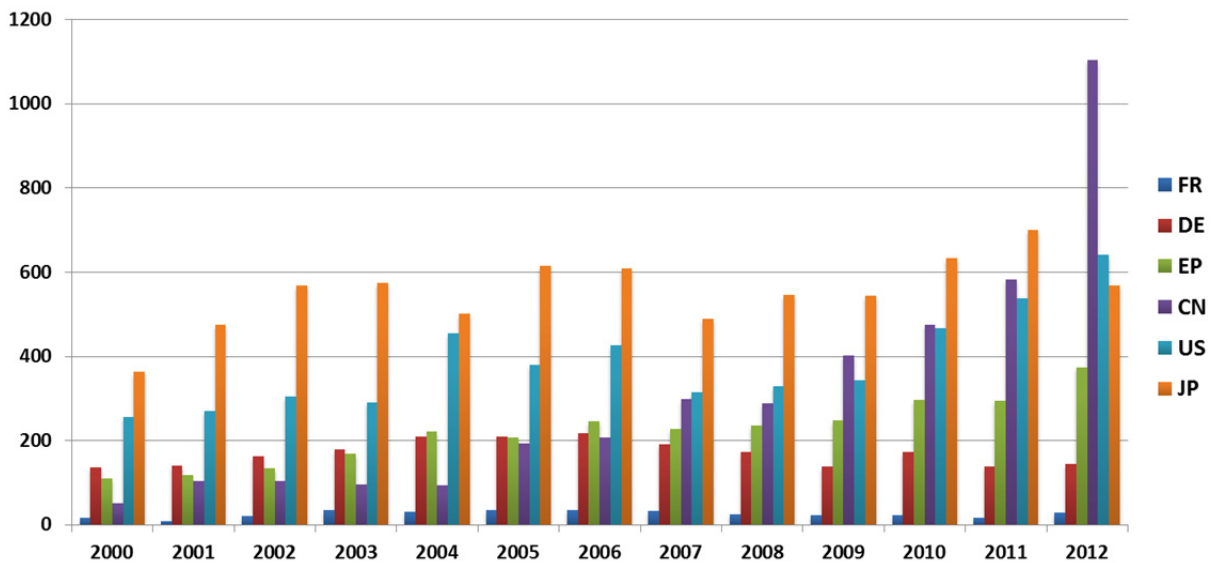
Im Bereich „Wicklungen“ über alle betrachteten E-Maschine-Bauformen hinweg nach Weltregion und über den Zeitraum 2000 bis 2012 ist insgesamt ein kontinuierlicher Anstieg der Patentzahlen zu verzeichnen, wobei mit 2.858 Patenten der Peak im Jahr 2012 erreicht wurde, wie in Abbildung 29 zu sehen ist.

Während der japanische IP-Markt insgesamt die meisten Patentanmeldungen zu verzeichnen hatte (7.183) und die USA mit 5.008 Patenten auf Platz 2 steht, wächst die Bedeutung des chinesischen Marktes ab dem Jahr 2006 kontinuierlich an und löst die USA erstmals im Jahr 2009 vom zweiten Rang ab, um im Jahr 2012 die Spitzenposition sogar vor Japan zu erreichen. Auch Europa kann die Anzahl an Patentschriften ab dem Jahr 2008 steigern, aber mit 13% Anteil über den kompletten Zeitraum nur einen Bruchteil der Gesamtanmeldungen verzeichnen.

Im direkten Vergleich der Patentsituation der Jahre 2000 und 2010 ist ein Anstieg der Anmeldezahlen um knapp 220% zu identifizieren (932 zu 2.064), wobei insbesondere Europa und China die jeweiligen Positionen in 2010 verstärken konnten und eine Steigerung des Marktanteils um 3% bzw. 18% realisierten. Japan und die USA verloren im gleichen Zeitraum trotz der Erhöhung der reinen Anzahl an im jeweiligen Land angemeldeten Patenten um ca. 170% und 180% Marktanteile in Höhe von 9% (Japan) und 5% (USA). Im Jahr 2012 besitzt Japan nur noch 20% Marktanteil und hat einen Gesamtverlust von 19 Prozentpunkten, ist damit aber immer noch um fast einen Faktor 4 stärker als der deutsche IP-Markt.

Insgesamt konnte die Veröffentlichungszahl in Deutschland von 136 im Jahr 2000 auf 145 im Jahr 2012 gesteigert werden. Viel dynamischer stellt sich die Situation in China dar, wo von 50 Patenten im Jahr 2000 ausgehend bereits 475 Patente in 2010 und sogar 1.104 Patente in 2012 im Bereich der Wicklungen offengelegt wurden, eine Steigerung von ca. 2.200%.

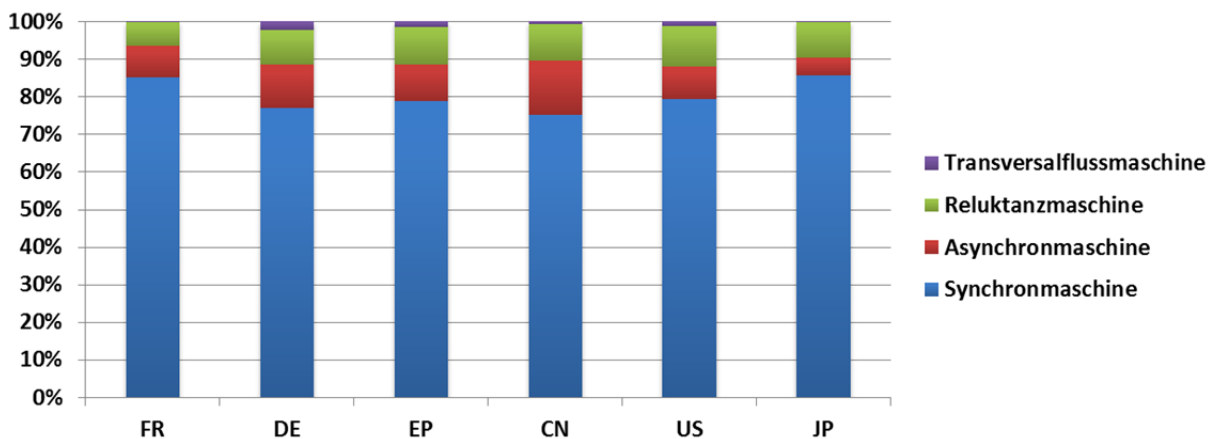




**Abbildung 29: Anzahl Patente im Bereich „Wicklungen“ für alle Bauformen nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Der größte Anteil an Patentschriften im Bereich „Wicklungen“ ist mit Abstand der Synchronmaschine zuzuordnen, über 80% aller untersuchten Patente beziehen sich auf Lösungen für diese spezielle Bauform. 23.000 Patente weniger sind im Bereich der Asynchronmaschine zu identifizieren (ca. 2.800; 9%), die hinter der Reluktanzmaschine (ca. 3.100; 10%) auf Platz 3 folgt. Wicklungen im Bereich Transversalflussmaschine entsprechen insgesamt nur 0,8%.

Wie in Abbildung 30 zu sehen, sind die Anteile über die einzelnen Weltregionen relativ gleich verteilt und fokussieren stark auf Erfindungen im Bereich Synchronmaschine. Den größten Anteil an alternativen Bauformen hat China und Deutschland, die 25% bzw. 22% aller Patentschriften zu Wicklungen auf die Bauformen Asynchron- und Reluktanzmaschine sowie im Falle Deutschlands auch auf die Transversalflussmaschine beziehen. Wiederum ist ein Fokus chinesischer Patentschriften auf die Asynchronmaschine zu erkennen, die hier einen relativ hohen Anteil von 14% erreicht.



**Abbildung 30: Anteil Patente im Bereich „Wicklungen“ für Bauformen nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Die führende Institution in dem Technologiefeld „Wicklungen“ ist der japanische OEM Mitsubishi mit insgesamt 611 inhaltlich relevanten Erfindungen, gefolgt von Matsushita (bzw. Panasonic, 513) und

Denso (403). Die TOP5 werden von Hitachi (352) und Toshiba (280) komplettiert und besteht damit zur Gänze aus Institutionen mit Sitz in Japan. Auf den Plätzen 6 und 7 folgend sind Siemens (241) und Bosch (211) anzufinden, die damit die mit Abstand bestplatzierten Unternehmen aus Deutschland sind, bevor auf Rang 8 das erste US-amerikanische Unternehmen mit General Electric (165) vorzufinden ist, siehe Abbildung 31.

Insgesamt sind japanische Unternehmen in den TOP20 auch bei F&E-Aktivitäten im Technologiefeld „Wicklungen“ stark treibende Kraft und stellen 82% aller inhaltlich relevanten Erfindungen. Auffallend ist wiederum, dass japanische OEMs weiterhin mit Mitsubishi, Nissan, Honda und Toyota stark vertreten sind.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	MITSUBISHI DENKI	611	JP
2	MATSUSHITA ELECTRIC IND	513	JP
3	DENSO	403	JP
4	HITACHI	352	JP
5	TOSHIBA	280	JP
6	SIEMENS	241	DE
7	ROBERT BOSCH	211	DE
8	GEN ELECTRIC	165	US
9	NISSAN MOTOR	164	JP
10	HONDA MOTOR	161	JP
11	TOYOTA MOTOR	159	JP
12	LG ELECTRONICS	154	SK
13	YASKAWA ELECTRIC	145	JP
14	FUJITSU GEN	136	JP
15	ASMO	125	JP
16	SANYO ELECTRIC	107	JP
17	NIPPON DENSAN	106	JP
18	MINEBEA	104	JP
19	MITSUBA	102	JP
20	SWITCHED RELUCTANCE DR	55	GB

**Abbildung 31: TOP20 Patentanmelder im Bereich "Wicklungen" nach Anzahl der Erfindungen**

## 2.9 Patent-/ Publikationsanalyse „Thermomanagement“

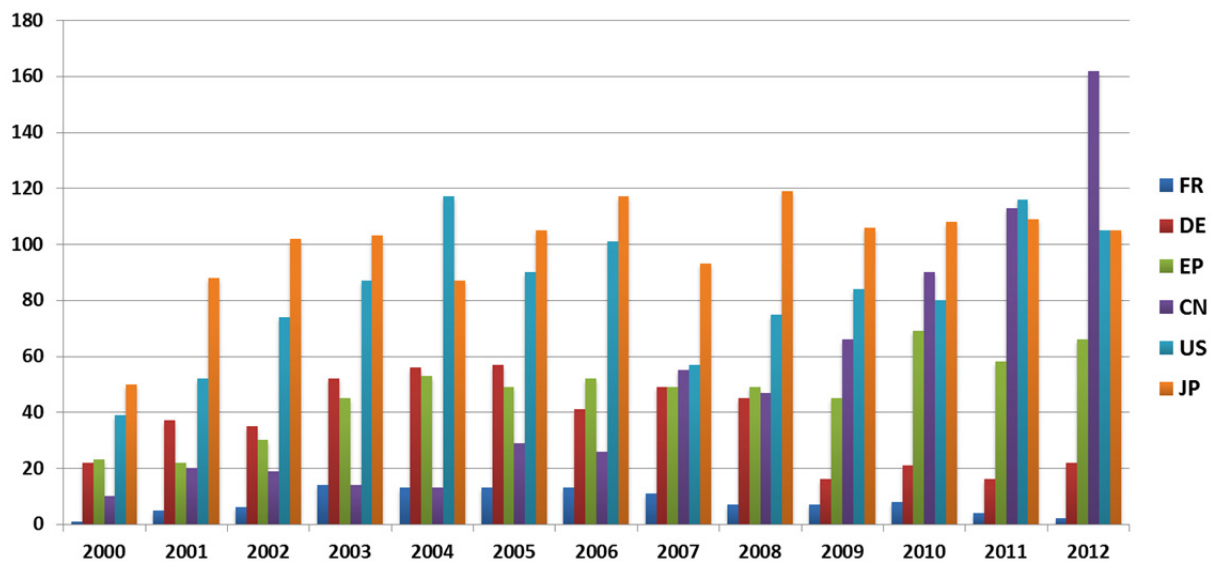
Bei einem Vergleich der Offenlegung von Patentschriften im Bereich „Thermomanagement“, die sich auf alle untersuchten E-Maschine-Bauformen beziehen und die Jahre 2000 bis 2012 umfassen, können insgesamt ca. 4.200 Patente in den verschiedenen Weltregionen identifiziert werden (siehe Abbildung 32). Der japanische und US-amerikanische IP-Markt führen dabei bei der Gesamtanzahl relativ deutlich (ca. 1.300 bzw. 1.100 Patente) vor dem chinesischen Markt (ca. 660), Europa (ca. 600), Deutschland (ca. 470) und Frankreich (ca. 100).

Wiederum sind z.T. extreme Verschiebungen über die Jahre zu erkennen, so dass auch innerhalb dieses Technologiefelds die Bedeutung des chinesischen Markts insbesondere ab 2008 kontinuierlich anwächst und die USA erstmals im Jahr 2010 von Platz 2 verdrängt und in 2012 dann die Spitzenposition vor Japan und den USA einnimmt. China kann den Output über die Jahre um insgesamt über 1.600% steigern und

erreicht im Jahr 2012 einen Marktanteil von 35%, was einer Steigerung von 28 Prozentpunkten innerhalb des untersuchten Zeitraums entspricht.

Die Bedeutung des deutschen IP-Markts variiert während der Jahre 2000-2008 bei relativ konstanten Anteilen von 10% bis 15%, bricht aber im Jahr 2009 dramatisch ein. So fällt sowohl die Gesamtzahl der in Deutschland angemeldeten Patente von ca. 50 auf nur noch 15 als auch der Anteil am Gesamtmarkt innerhalb eines Jahres von ca. 13% auf 5%. Bis ins Jahr 2012 ergeben sich dann keine nennenswerten Veränderungen und der Marktanteil sinkt sogar noch leicht weiter bis auf 4,7% ab. Bis ins Jahr 2012 verliert Deutschland damit über 10% Marktanteil.

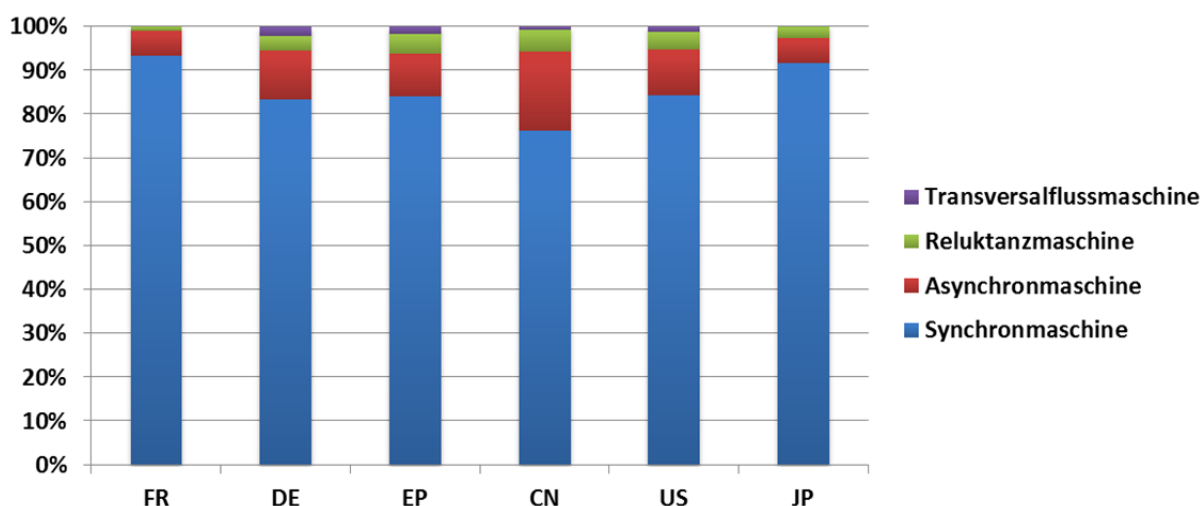
Auch der japanische Markt verliert zugunsten Chinas an Marktanteilen und fällt von 35% im Jahr 2000 auf 29% in 2010 und nur noch 23% in 2012. Er befindet sich damit auf dem exakt gleichen Niveau wie der amerikanische Markt. Dennoch ist Japan bei Betrachtung des gesamten Zeitraums führend. Im direkten Vergleich der Patentsituation der Jahre 2000 und 2010 ist ein Anstieg der Veröffentlichungszahlen um knapp 260% zu verzeichnen (145 zu 376).



**Abbildung 32: Anzahl Patente im Bereich „Thermomanagement“ für alle Bauformen nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Der größte Anteil an Patentschriften zum Thermomanagement ist mit ca. 3.600 der Synchronmaschine zuzuordnen, gefolgt von der Asynchronmaschine mit ca. 400, der Reluktanzmaschine mit ca. 150 und der Transversalflussmaschine mit nur noch ca. 40.

Wie in Abbildung 33 zu sehen, sind die Patentanteile für die einzelnen Bauformen über die Weltregionen relativ ähnlich verteilt und fokussieren stark auf Erfindungen im Bereich Synchronmaschine. Bemerkenswert ist dabei, dass sich sowohl Frankreich als auch Japan zu über 90% auf diese Technologie fokussieren, während Länder wie Deutschland und die USA, insbesondere aber China, breiter aufgestellt sind und auch Lösungen zur Asynchron-, Reluktanz- sowie (in sehr geringen Anteilen) Transversalflussmaschine als schützenswert definieren. Auch hier ist zu sehen, dass China über die untersuchten Länder hinweg die größten Anteile bei der Asynchronmaschine aufweist.



**Abbildung 33: Anteil Patente im Bereich „Thermomanagement“ für Bauformen nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Die führenden Institutionen im Bereich „Thermomanagement“ über alle E-Maschine-Bauformen hinweg stammen aus Japan, so dass die TOP5 von Mitsubishi, Denso, Hitachi, Matsushita (bzw. Panasonic) sowie Toshiba gestellt werden. Diese 5 Unternehmen haben insgesamt 553 inhaltlich relevante Erfindungen im Portfolio und besitzen damit fast 60% aller in den TOP20 identifizierten Patentschriften. Wiederum sind auch hier mit Nissan auf Rang 7, Honda auf 8 und Toyota auf Platz 11 neben Mitsubishi weitere japanische OEMs im Ranking vertreten.

Bestplatziertes deutsches Unternehmen ist die Siemens AG auf Rang 6 mit 49 Erfindungen und die Robert Bosch GmbH, das die TOP10 mit 34 Erfindungen komplettiert. Erstmals schafft es im Rahmen dieser Analysen ein Unternehmen aus Frankreich in die Rangliste der aktivsten Patentanmelder, so dass Valeo auf Rang 13 anzutreffen ist. Auch chinesische Institutionen sind mit Yongji Xinshisu auf Rang 19 (6 Erfindungen) und Wuxi Thongda Motors auf Platz 18 (9 Erfindungen) in dieser Rangliste vertreten.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	MITSUBISHI DENKI	206	JP
2	DENSO	183	JP
3	HITACHI	59	JP
4	MATSUSHITA ELECTRIC IND	57	JP
5	TOSHIBA	53	JP
6	<b>SIEMENS</b>	<b>49</b>	<b>DE</b>
7	NISSAN MOTOR	47	JP
8	HONDA MOTOR	44	JP
9	GEN ELECTRIC	39	US
10	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>34</b>	<b>DE</b>
11	TOYOTA MOTOR	30	JP
12	LG ELECTRONICS	29	SK
13	VALEO ELECTRIQUES MOTEUR	24	FR
14	KOKUSAN DENKI	20	JP
15	ROHM	16	JP

16	AISIN SEIKI	16	JP
17	DAIKIN IND	11	JP
18	WUXI ZHONGDA MOTORS	9	CN
19	YONGJI XINSHISU ELECTRIC EQUIPMENT	6	CN
20	YASKAWA ELECTRIC	5	JP

**Abbildung 34: TOP20 Patentanmelder im Bereich "Wicklungen" nach Anzahl der Erfindungen**

## 2.10 Patent-/ Publikationsanalyse „Permanentmagnete“

Im Bereich „Permanentmagnete“ werden im Folgenden alle Patentschriften analysiert, die sich auf die Bauformen Synchronmaschine, Reluktanzmaschine sowie Transversalflussmaschine beziehen. Das Suchfeld hier ist erweitert und beinhaltet dementsprechend auch Erfindungen, die über die Anwendung im elektrifizierten PKW hinausgehen.

Der mit Abstand größte Anteil der insgesamt 18.400 identifizierten Patentschriften befasst sich mit Permanentmagneten in Verbindung mit der Synchronmaschine (ca. 16.700, 91%), gefolgt von der Reluktanzmaschine (ca. 1.400; 8%) und der Transversalflussmaschine (ca. 170; 1%).

Führender Markt für Patentanmelder zu Permanentmagneten in Verbindung mit der Synchronmaschine ist Japan, auf dem über den untersuchten Zeitraum hinweg ca. 6.300 Patente angemeldet wurden, mit einem Peak von 666 in 2011. Obwohl insgesamt führend, verliert Japan über die Hälfte des Marktanteils und stürzt von 52% im Jahr 2000 auf nur noch 24% in 2012 ab. Die USA folgen mit ca. 3.500 angemeldeten Patenten und über die Jahre relativ konstanten Marktanteilen zwischen 22% und 19%. Auf dem dritten Platz kann China mit knapp 3.200 Patenten und einer Steigerung des Patentoutputs von über 1.800% über die Jahre identifiziert werden. Der Marktanteil Chinas steigt dementsprechend von 3% in 2000 auf 39% in 2012. Allein in diesem Jahr wurden fast 1.000 Patente auf dem chinesischen Markt angemeldet und damit über ein Drittel mehr als in Japan.

Bei Permanentmagneten in Verbindung mit der Reluktanzmaschine sind die Anteile ähnlich verteilt. Auch hier ist Japan insgesamt führend (ca. 550 Patente), verliert aber insgesamt 29 Prozentpunkte Anteil bis 2012, während China den Output auf dem eigenen Markt von 0 in 2000 auf über 70 in 2012 steigern kann und damit in diesem Jahr fast doppelt so viele Patentschriften zu verzeichnen hat wie Japan. Der Marktanteil in China wächst von 0% auf 43% innerhalb von 12 Jahren an.

Erfindungen, die sich auf Permanentmagnete in Verbindung mit der Transversalflussmaschine beziehen sind über die Jahre relativ gering thematisiert, so dass insgesamt nur ca. 170 Patente in diesem speziellen Bereich existieren. Deutschland ist dabei mit über 52 Patenten führend, gefolgt von den USA (40), Europa (36), Japan (21), China (18) und Frankreich (2).

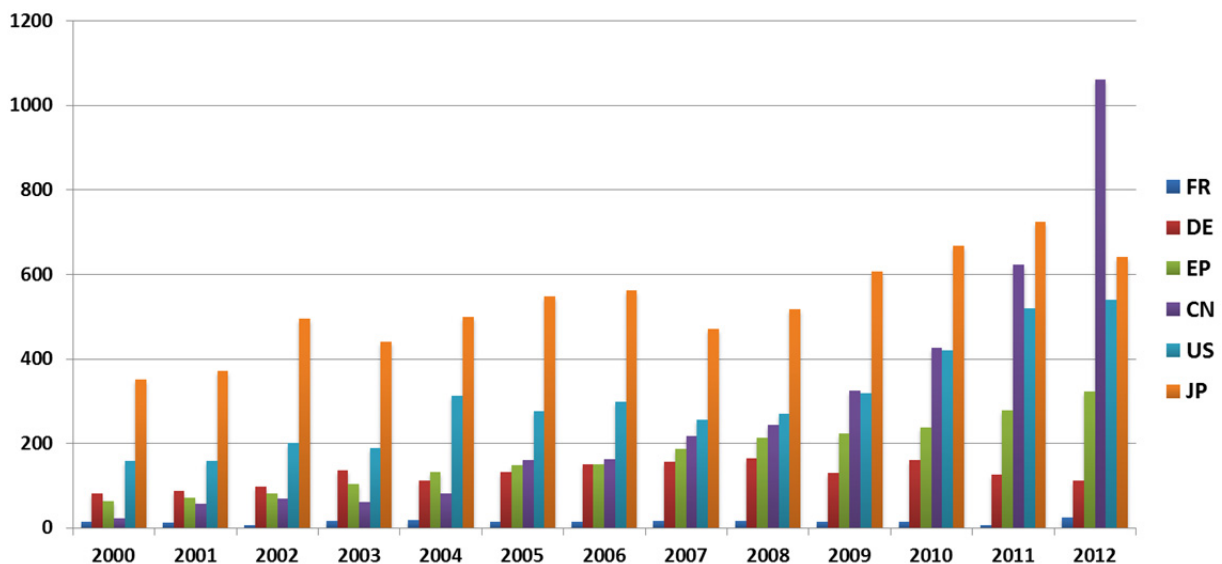
Über alle betrachteten E-Maschine-Bauformen hinweg nach Weltregion und über den Zeitraum 2000 bis 2012 ist insgesamt ein kontinuierlicher Anstieg der Patentzahlen zu verzeichnen, wobei mit knapp 2.700 Patenten des Maximum im Jahr 2012 erreicht wurde, wie in Abbildung 35 zu sehen.

Während auf dem japanischen IP-Markt insgesamt die meisten Patente angemeldet und offengelegt wurden (6.894) und die USA mit 3.916 Patenten den zweitwichtigsten Platz für Patentanmelder einnimmt, wächst die Bedeutung des chinesischen Marktes ab dem Jahr 2004 kontinuierlich an und entwickelt ab 2009 eine beachtliche Dynamik, so dass die USA erstmals im Jahr 2009 vom zweiten Rang abgelöst werden kann. Im Jahr 2012 ist der chinesische Markt dann sogar mit Abstand Spitzenreiter. Auch der europäische Markt kann einen kontinuierlichen Anstieg der Patenzahlen vorweisen, während Deutschland nach einem Anstieg bis 2008 wieder rückläufige absolute Zahlen und relative Marktanteile aufweist.

Im direkten Vergleich der Patentsituation der Jahre 2000 und 2010 ist ein Anstieg der Anmeldezahlen um knapp 280% zu verzeichnen (690 zu 2.700), wobei insbesondere China und Europa Marktanteile gewinnen und von 3% auf 22% (China) sowie 9% auf 12% (Europa) ansteigen.

Die USA und Deutschland verlieren bis zum Jahr 2010 geringe Anteile (2% bzw. 4%) und besitzen dann noch 8% bzw. 21%. Der größte Verlierer in diesem Technologiefeld ist Japan, das 15% Marktanteil verliert, mit knapp 35% aber nach wie vor mit Abstand führend ist. Bis ins Jahr 2012 verliert Japan dann noch weitere Marktanteile und entspricht nur noch 24% des Gesamtmarkts.

Gleichzeitig wurden in diesem Jahr auf dem chinesischen Markt über 1.050 Patentschriften offengelegt. Innerhalb von 12 Jahren konnte China den Patent-Output um über 4.800% steigern und erreicht in 2012 einen Marktanteil von 39%. Deutschland dagegen kann in 2012 nur ein Zehntel der chinesischen Patentzahlen vorweisen, verliert insgesamt 8% Marktanteil und entspricht nur noch 4% des Gesamtmarkts.



**Abbildung 35: Anzahl Patente im Bereich „Permanentmagnete“ für Synchron-, Reluktanz- und Transversalfeldmaschine nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Die TOP20 der aktivsten Unternehmen im Bereich „Permanentmagnete“ sind in folgender Abbildung 36 dargestellt.

Insgesamt dominieren japanische Institutionen die TOP10 mit 9 von 10 Unternehmen beinahe komplett, nur die Siemens AG schafft es mit 236 Erfindungen auf Rang 7. Mitsubishi und Toshiba führen das Ranking mit 475 bzw. 381 Inventionen an, gefolgt von Matsushita (374), Hitachi (347) und den OEMs Honda Motor (242) sowie Nissan Motor (236). Auch Toyota ist in diesem Technologiefeld stark aufgestellt und belegt den neunten Platz mit 187 Erfindungen.

Die Robert Bosch GmbH komplettiert aus deutscher Sicht auf Rang 11 und 162 Inventionen die Rangliste. Während US-amerikanische Unternehmen in dieser Untersuchung in den TOP20 nicht zu identifizieren sind, schafft es eine chinesische Forschungsinstitution mit 11 Erfindungen auf Rang 16 unter den führenden Patentanmeldern gelistet zu werden.



Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	MITSUBISHI DENKI	475	JP
2	TOSHIBA	381	JP
3	MATSUSHITA ELECTRIC IND	374	JP
4	HITACHI	347	JP
5	HONDA MOTOR	242	JP
6	NISSAN MOTOR	236	JP
7	<b>SIEMENS</b>	<b>236</b>	<b>DE</b>
8	YASKAWA ELECTRIC	194	JP
9	TOYOTA MOTOR	187	JP
10	DENSO	183	JP
11	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>162</b>	<b>DE</b>
12	DAIKIN IND	139	JP
13	FUJITSU GEN	136	JP
14	LG ELECTRONICS	132	SK
15	ASMO	128	JP
16	HARBIN INST TECH	111	CN
17	MINEBEA	103	JP
18	KOKUSAN DENKI	97	JP
19	MEIDENSHA	97	JP
20	SEIKO EPSON	87	JP

**Abbildung 36: TOP20 Patentanmelder im Bereich "Wicklungen" nach Anzahl der Erfindungen**

### 3 Ausblick

Die dargestellten Auswertungen zu Patent-/ Publikationsanalysen werden im Rahmen des Technologie-Monitorings der STROMbegleitung dazu verwendet, die Forschungslandschaft im Bereich „Elektrische Maschinen im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ zu untersuchen und Thesen zum Stand der Technik, Forschungsschwerpunkten, der technologischen Position und Wettbewerbsfähigkeit einzelner Weltregionen abzuleiten, um so die Grundlage für Handlungsempfehlungen zu erarbeiten.

Die untersuchten Themenfelder orientieren sich insbesondere an den im Rahmen der einzelnen STROM-Projekte behandelten Themengebieten und Interessen der STROM-Teilnehmer und werden im weiteren mit Ergebnissen aus den Regionalstudien, insbesondere mit Analysen zu Förderschwerpunkten und -strategien im internationalen Vergleich ergänzt.



**DLR Institut für Fahrzeugkonzepte**

Bei Fragen und/ oder Anregungen wenden Sie sich jederzeit gerne an

Benjamin Frieske

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Institut für Fahrzeugkonzepte | Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

Telefon +49 (0)711 6862 623

Telefax +49 (0)711 6862 258

[Benjamin.Frieske@dlr.de](mailto:Benjamin.Frieske@dlr.de)





DLR Institut für Fahrzeugkonzepte



Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt



Wissen für Morgen

## **STROM – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität**

Arbeitspapier der STROMbegleitung  
**Forschungslandschaft Leistungselektronik**

Benjamin Frieske

DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK)  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

Juli 2014



<b>1</b>	<b>STROMbegleitung.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Forschungslandschaft „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ .....</b>	<b>4</b>
2.1	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „LEISTUNGSELEKTRONIK IM ANTRIEBSSTRANG ELEKTRIFIZIERTER PKW“ .....	6
2.2	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „WANDLERTYPEN“ .....	9
2.3	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „WECHSELRICHTER“ .....	11
2.4	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „KONDENSATOREN“ .....	13
2.5	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „HALBLEITER“ .....	15
2.6	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „HALBLEITERMATERIAL – SILIZIUMKARBID (SiC)“ .....	17
2.7	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „HALBLEITERMATERIAL – GALLIUMNITRID (GAN)“ .....	21
<b>3</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>24</b>

# 1 STROMbegleitung

Die „Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität“ (im Folgenden „STROMbegleitung“ genannt) wird im Rahmen der im Jahr 2009 veröffentlichten BMBF-Förderbekanntmachung Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM) durchgeführt und dient der wissenschaftlichen Begleitung und Beforschung der im Rahmen dieser Bekanntmachung gestarteten F&E-Projekte. Das BMBF initiierte mit der Förderbekanntmachung STROM Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich Gesamtfahrzeugsysteme, Batterieentwicklung und -integration, Energiemanagement sowie der entsprechenden Werkstoff- und Materialforschung. STROM war, nach Fördervorhaben im Rahmen des Konjunkturpaketes II, die erste Maßnahme zur Umsetzung des „Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität“. Die Themen orientieren sich an Empfehlungen externer Experten und sind konsistent mit den Inhalten und Zielen der Arbeitsgruppen „Antriebstechnologie und Fahrzeugintegration“ und „Batterietechnologie“ der im Jahr 2010 ins Leben gerufenen „Nationalen Plattform Elektromobilität“ (NPE)<sup>1</sup>.

## Ziele der STROMbegleitung

Im Rahmen der STROMbegleitung werden unterschiedliche Ziele verfolgt, die zusammen ein umfassendes Bild über den Stand der Technik und die Potenziale vielversprechender technologischer Lösungen der Elektromobilität ermöglichen sollen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Identifikation und Analyse aktueller und zukünftiger Trends der Fahrzeugkonzept- und Technologieentwicklung sowie in der Einordnung der deutschen Aktivitäten in den internationalen Kontext. Im Detail orientiert sich die Begleitforschung an den folgenden Forschungsfragen:

- Welche generellen technologischen und marktlichen Trends zeichnen sich bei Schlüsseltechnologien der Elektromobilität sowie elektrifizierten Fahrzeugkonzepten ab?
- Was ist der State-of-the-art bei den Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und welches zukünftige Entwicklungspotenzial besitzen diese?
- Wie tragen die im Rahmen der STROM-Ausschreibung geförderten Projekte zur Technologieentwicklung bei? Welche Herausforderungen, Grenzen und Hürden bestehen bei der Entwicklung spezieller technischer Lösungen?
- Welchen Stand hat die Technologieentwicklung im nationalen und internationalen Vergleich?
- Welche Förderschwerpunkte können in den verschiedenen Weltregionen identifiziert werden und welche Zielgruppen werden adressiert?
- Welche ökonomischen, ökologischen und technischen Auswirkungen haben die Schlüsseltechnologien auf das zukünftige Gesamtsystem Fahrzeug?
- Wie sehen die Materialintensitäten der Schlüsseltechnologien und Fahrzeugkonzepte aus?

Die wissenschaftlich fundierte Beantwortung der genannten Aspekte und Fragen wird es u.a. erlauben, das Förderprogramm STROM und die beforschten Schlüsseltechnologien in die internationalen Forschungsaktivitäten einzuordnen und Empfehlungen für die weitere Ausgestaltung staatlicher Förderprogramme und für andere politische Entscheidungen zu geben.

---

<sup>1</sup> Die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) hat zum Ziel, den Markteintritt innovativer Elektrofahrzeuge in systemischer, markt-orientierter und technologieoffener Form zu beschleunigen. Deutschland soll dabei bis zum Jahr 2020 Leitanbieter und Leitmarkt der Elektromobilität werden.

## Aufgaben der Projektpartner zur STROMbegleitung

Das DLR Institut für Verkehrsforschung (DLR-VF, Berlin) bearbeitet ausgewählte Aspekte des Technologie-Monitorings und beteiligt sich am Arbeitspaket zu den Perspektiven der Elektromobilität (Roadmaps, Förderbindungen) in den USA. Das DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK, Stuttgart) ist hauptverantwortlich für die Durchführung des globalen Technologie-Monitorings und die Erstellung technologischer Trend- und Marktanalysen. Das Wuppertal Institut analysiert Förderprogramme, Perspektiven und Marktentwicklungen in den Regionen OECD-Amerika/USA, OECD-Asien/Japan, OECD-Europa/Europäische Union, China, Rest der Welt/Indien und erarbeitet zudem detaillierte Materialintensitätsanalysen zu Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und zukünftigen Fahrzeugkonzepten.

## 2 Forschungslandschaft „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“

Zur Abbildung der aktuellen Forschungslandschaft im Bereich Leistungselektronik im speziellen Umfeld der Elektromobilität wurden bibliometrische Analysen von globalen Patent- und Publikationsdaten über einen Zeitraum von 2000 – 2012 durchgeführt. Hierfür sind die zugrundeliegenden (Meta-)Informationen referierter wissenschaftlicher Publikationen sowie veröffentlichter Patente in dezidierten Datenbanken per Indikatoren erfasst, strukturiert und harmonisiert worden, um so sowohl quantitative Analysen (Anzahl Patente/ Publikationen) per statistischer Auswertung als auch qualitative Analysen (Inhalte Patente/ Publikationen) über Text und Data Mining Funktionen durchführen zu können.

Insgesamt wurden im Rahmen dieser Untersuchung 54.687 Publikationen und 93.435 Patente im Bereich Hybrid- und Elektrofahrzeug erfasst, wovon 3.875 Publikationen und 24.018 Patente als für die Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW relevant bewertet und deshalb für die nachfolgende qualitative Inhaltsanalyse herangezogen wurde.

Ziel der Analysen ist zum einen die Identifikation und der Vergleich internationaler Forschungsschwerpunkte und Entwicklungstrends in Bezug auf die Leistungselektronik als Schlüsseltechnologie der Elektromobilität sowie einzelner, ausgewählter Komponenten und Bauteile. Hierbei wird insbesondere auf diejenigen Bauteile fokussiert, die von nationalen und internationalen Experten als besonders relevant für die technische Weiterentwicklung eingeschätzt wurden und an Inhalte des STROM-Programms anknüpfen. Dies sind im Rahmen dieser Untersuchung z.B. passive Bauelemente wie Kondensatoren, v.a. aber aktive Elemente wie Halbleiter und hier im Speziellen neuartige Halbleitermaterialien wie Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN). Zum anderen dient die Analyse dazu, führende Institutionen aus Industrie und Wissenschaft sowie Innovationsnetzwerke und -dynamiken zu identifizieren und letztlich einen Vergleich von Wettbewerbsfähigkeit und technologischer Position unterschiedlicher Länder und Weltregionen zu ermöglichen.

In den Datenbanken zur Leistungselektronik sind insgesamt 661.978 Datenpunkte über verschiedene Dimensionen auswertbar. Die Dimensionen umfassen z.B.:

- Research field
- Technology
- Parameter
- Title
- Abstract
- Keyword
- Citation
- Publication year
- Applicant/ Inventor/ Institution/ Author
- Country/ Worldregion
- International Patent Classification (IPC)

Die Patentanalyse dient als originäres Instrument der strategischen Unternehmensführung der Untersuchung wettbewerbsrelevanter Aktivitäten in definierten Technologiefeldern und zielt als Planungs- und Entscheidungshilfe auf die Entwicklung von Handlungsempfehlungen für das Technologie-Management ab. Hierfür wird der enge Zusammenhang zwischen Investitionen im Bereich Forschung und Entwicklung (FuE) als Input-Faktor und Patentanmeldungen als Output-Faktor herangezogen. Patente beinhalten per Definition Erfindungen (Inventionen), die über den aktuellen Stand der Technik hinausgehen und in zukünftigen Produkten in konkreter Anwendung (Innovation) mit wirtschaftlichem Interesse Verwendung finden können.

Neben der Nutzung als strategisches Planungstool ist die Patentanalyse ebenfalls geeignet, um technologieorientierte Wettbewerbs- und Trendanalysen darzustellen, wie es im Rahmen dieses Arbeitspapiers durchgeführt wird. Patentinformationen werden damit als Indikatoren genutzt, um technologische Trends und Entwicklungen frühzeitig zu identifizieren sowie die relative Stärke von Technologieposition und Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich von Institutionen, Ländern und/oder Weltregionen zu bewerten.

Neben der Analyse angemeldeter Patente kann auch die Analyse themenspezifisch rezensierter Publikationen als Indikator für F&E-Aktivität interpretiert werden. Beide Methoden sind im Rahmen des Abschlussberichts in Kombination zu verwenden, um ein gesamtheitliches und objektives Bild von internationalen Aktivitäten im Bereich Forschung und Entwicklung aufzuzeigen. Während Publikationen als Medium zur Dokumentation wissenschaftlicher Leistungen insbesondere dem Umfeld von Universitäten und Forschungsinstituten entstammen, werden Patente aufgrund des Aspekts der wirtschaftlichen Verwertung in konkreten Anwendungen eher der Industrie zugeordnet.

Die Methodik im Bereich der Patent- und Publikationsanalyse wurde in folgenden Schritten durchgeführt:

1. Identifikation und Definition von Technologiefeldern auf System, Komponenten und Bauteilebene (IPC-Klassen, Stichworte, Expertenaussagen)
2. Definition der Such- und Recherchestrategie
3. Datenerhebung
4. Strukturierung und Harmonisierung der Rohdaten
5. Aufbau von Technologie-Datenbanken
6. Analyse der Patent(meta-)informationen
7. Analyse der Patentinhalte mittels Text und Data Mining und Zuordnung zu Forschungs- und Technologiefeldern
8. Bestimmung der relativen Patentposition je Weltregion und Technologiefeld
9. Bestimmung der Patentaktivität und Technologiedynamik je Weltregion und Technologiefeld
10. Bestimmung der Forschungsschwerpunkte je Weltregion und Technologiefeld

Zu den Treibern der Elektromobilität und innovativer Technologien für elektrifizierte PKW zählen insbesondere Länder wie Japan, USA, Deutschland und Frankreich, die mit historisch gewachsen starker Automobil- und Zuliefererindustrie große Anteile an den weltweiten FuE-Investitionen haben und damit auch im Bereich Patente und Publikationen signifikante Aktivitäten zeigen. Länder wie Indien oder China sind zwar aufgrund der schieren Größe des Markts und des Marktpotenzials von Bedeutung, jedoch (noch) keine Vorreiter in der technologischen Entwicklung. Insbesondere bei China aber wird im Rahmen dieser Analysen gezeigt, dass die Innovationsdynamik auch im Bereich von Schlüsseltechnologien der Elektromobilität seit einigen Jahren stark zunimmt.

Im Folgenden werden beispielhaft einige Auswertungen entlang der verschiedenen Dimensionen dargestellt.

## 2.1 Patent-/ Publikationsanalyse „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“

Zur Analyse der Patentanmeldungen im Bereich „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ wurde eine dezidierte Patentrecherche in der Patentdatenbank Espacenet des Europäischen Patentamts (EPO) durchgeführt. Hierzu sind insgesamt 52 IPC-(Unter-)Klassen herangezogen (z.B. B60L, B60W, B60K) und z.T. mit einer Stichwortsuche kombiniert worden.

Insgesamt wurden in dem für diese Auswertung relevanten Technologiefeld über 47.000 Patente veröffentlicht, wobei die Märkte Japan (JP), USA (US), China (CN), Europa (EP), Deutschland (DE) und Frankreich (FR) ca. 48% aller Patentschriften verzeichnen konnten (ca. 23.000). Die überwiegende Mehrzahl der Patente, die sich auf Erfindungen im Bereich „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ im Zeitraum von 2000 bis 2012 beziehen und über den jeweils aktuellen Stand der Technik hinausgehen, wurden in den USA angemeldet (ca. 6.700; 29%), gefolgt von Japan (5.500; 24%) sowie gleichverteilt der Europäischen Union, China und Deutschland mit jeweils ca. 3.400 Patenten und 15% Marktanteil, wie in Abbildung 1 zu sehen ist. Nur ca. 450 Patentschriften wurden auf dem französischen Markt für IP („Intellectual Property“) publiziert.

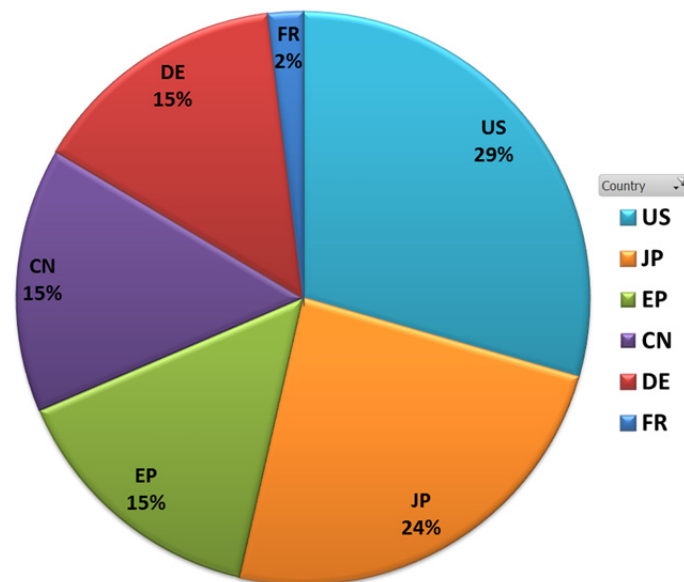


Abbildung 1: Anteil Patente nach Weltregion

Bei einem Vergleich der Offenlegung von Patentschriften im Bereich Leistungselektronik nach Zeit über die Jahre 2000 bis 2012 ist insgesamt ein Anstieg zu verzeichnen, wobei mit 4.293 Patenten der Peak im Jahr 2012 erreicht wurde (siehe Abbildung 2).

Der japanische und US-amerikanische IP-Markt haben bis ins Jahr 2010 jeweils konstant steigende und relativ ähnliche Veröffentlichungszahlen aufzuweisen. Während Japan dann aber auf einem relativ gleichbleibenden Niveau von ca. 700 Patenten pro Jahr stagniert, können sich bis ins Jahr 2012 die USA einen klaren Vorsprung erarbeiten und den Patentoutput auf bis max 1.400 steigern.

Die Bedeutung des chinesischen Marktes wächst kontinuierlich an und löst Deutschland bzw. Europa ab dem Jahr 2010 von Platz 3 ab. Diese Entwicklung gipfelt darin, dass Japan im Jahr 2011 erstmals knapp vom zweiten Platz verdrängt wird.

Im direkten Vergleich der Patentsituation der Jahre 2000 und 2010 ist ein Anstieg der Veröffentlichungszahlen um knapp 1.000% zu verzeichnen (430 zu 4.293), wobei insbesondere die USA die schon im Jahr

2000 führende Position in 2010 noch weiter ausbauen konnte und mit 779 die – in Bezug auf die reine Anzahl – meisten Anmeldungen innehat. Dennoch verliert die USA aufgrund der höheren Gesamtzahl an Offenlegungen insgesamt an Marktanteil und pendelt sich im Jahr 2010 bei ca. 29% ein, ein Verlust von knapp 5% innerhalb einer Dekade.

Die Bedeutung des deutschen IP-Markts wurde geschwächt und der Marktanteil von 20% im Jahr 2000 auf 13% verringert. Die reine Anzahl an Patentanmeldungen in Deutschland wuchs in diesem Zeitraum um nur ca. 400%. Der deutsche Markt liegt beim Wachstum dabei zwar vor Frankreich (ca. 300%), aber hinter den USA (530%), Japan (560%), Europa (920%) und insbesondere China (2.870%). Mit Abstand am meisten Dynamik ist damit in China zu beobachten. Hier konnte der Marktanteil innerhalb der letzten 10 Jahre von 3,7% auf 16,8% gesteigert werden. Die reine Anzahl der offengelegten Patentschriften erreicht gleichzeitig 459, im Jahr 2010 der drittbeste Wert.

Bemerkenswert ist die ab diesem Zeitpunkt sich noch einmal rasant verstärkende Dynamik: Innerhalb der dann folgenden 2 Jahre steigert China den Anteil der auf dem eigenen IP-Markt veröffentlichten Patente von 16,8% auf fast 27%, während Japans Anteil von 24% auf nur noch 17% schrumpft. Die USA können den Marktanteil nach Verlusten bis 2010 wiederum steigern und erreichen führende 32% im Jahr 2012.

In Deutschland kann bis 2012 eine konstante Verringerung an Patentanmeldungen identifiziert werden, so dass nach einem Peak im Jahr 2009 nur noch 242 Patente in 2012 im Bereich Leistungselektronik veröffentlicht werden und der Marktanteil um weitere 14% auf nur noch 6% fällt. In Frankreich ist eine nur leichte Steigerung der Gesamtzahl veröffentlichter Patente über die Jahre erkennbar und der Marktanteil stagniert dementsprechend auf einem relativ geringen Niveau zwischen 1,3 und 1,7%.

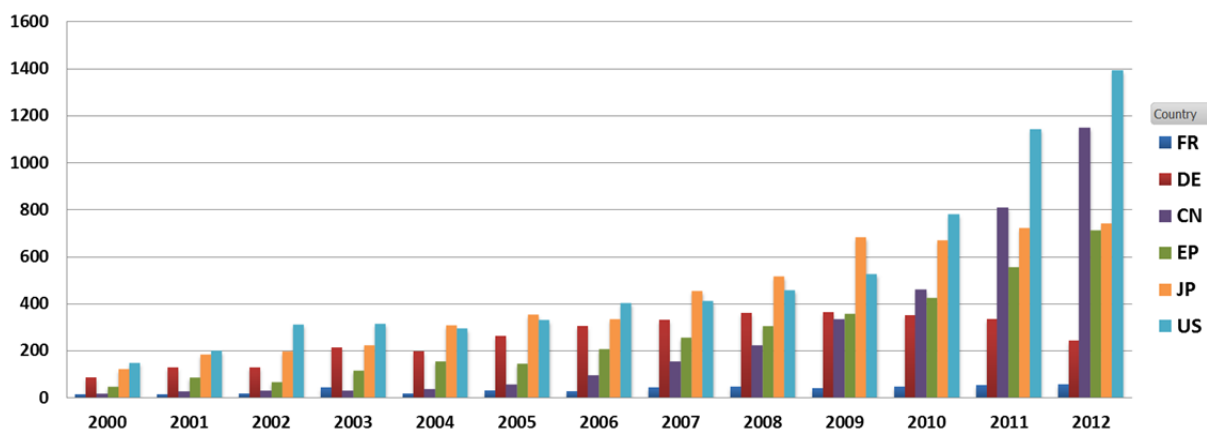


Abbildung 2: Anzahl Patente nach Weltregion über Zeit, 2000-2012

Die Analyse von Patentanmeldungen und -offenlegungszahlen dient der Identifikation von Aktivitäten und Dynamiken im Vergleich verschiedener Weltregionen, um so z.B. die Bedeutung der jeweiligen IP-Märkte über einen definierten Zeitraum zu vergleichen. Zur Ableitung von Aussagen zur Technologieposition aber ist es notwendig, eine Untersuchung der jeweilig führenden Institutionen innerhalb des Technologiefelds durchzuführen. Dies wird im folgenden Ranking für den Bereich Leistungselektronik im Antriebsstrang aufgezeigt.

Da die Aussagekraft der reinen Patentanzahl aber beschränkt ist, sollen bei Erstellung des Rankings diejenigen Patentschriften ausgeklammert werden, die gleiche Inhalte in unterschiedlichen Weltregionen schützen bzw. derselben Patentfamilie zugeordnet werden können. So sollen Doppel- oder Mehrfachzählungen vermieden und das Ranking der TOP-Institutionen anhand inhaltlich relevanter Erfindungen (oder Inventionen), die über den jeweiligen State-of-the-Art bestehender Lösungen

hinausgehen, erstellt werden. Abbildung 3 stellt das Ranking der TOP Patentanmelder nach Anzahl der inhaltlichen relevanten Erfindungen dar.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	TOYOTA MOTOR	6.049	JP
2	NISSAN MOTOR	1.977	JP
3	TOYOTA JIDOSHA	1.470	JP
4	HONDA MOTOR	1.208	JP
5	HYUNDAI MOTOR	696	SK
6	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	575	US
7	DENSO	573	JP
8	HITACHI	571	JP
9	HONDA MOTOR	558	JP
10	AISIN AW	530	JP
11	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>496</b>	<b>DE</b>
12	FORD GLOBAL TECH	375	US
13	<b>DAIMLER</b>	<b>345</b>	<b>DE</b>
14	TOSHIBA	319	JP
15	mitsubishi JIDOSHA KOGYO	299	JP
16	MAZDA MOTOR	263	JP
17	<b>ZF FRIEDRICHSHAFEN</b>	<b>248</b>	<b>DE</b>
18	KIA MOTORS	247	SK
19	FUJI HEAVY IND	238	JP
20	<b>BAYERISCHE MOTOREN WERKE</b>	<b>233</b>	<b>DE</b>

**Abbildung 3: TOP20 Patentanmelder im Bereich Leistungselektronik nach Anzahl der Erfindungen**

Im Ranking der führenden Patentanmelder im weltweiten Vergleich belegen asiatische Unternehmen damit 9 Positionen in den TOP10, wobei insbesondere japanische Institutionen weit überlegen und mit einer Gesamtzahl von 14.055 Erfindungen führend sind. Während Toyota (Motor + Jidosha) insgesamt auf 7.591 Inventionen kommt, halten deutsche OEMs 469 inhaltlich relevante Patente und finden sich mit Daimler (inkl. DaimlerChrysler) und BMW auf den Plätzen 13 und 20 wieder.

Bestplatziertes deutsches Unternehmen ist die Robert Bosch GmbH auf Rang 11 mit 496 Inventionen im Portfolio. Die USA ist mit GM (575) und Ford (375) auf Platz 6 bzw. 12 vertreten, Tesla Motors hält 9 Patente im Bereich Leistungselektronik elektrifizierter PKW. Bestplatzierte chinesische Unternehmen sind Chery Automobile und BYD mit 90 bzw 50 Inventionen, gefolgt von der Tsinghua University in Peking mit 40 Erfindungen.



## 2.2 Patent-/ Publikationsanalyse „Wandlertypen“

Innerhalb der untersuchten Patente im Bereich „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ sind verschiedene Schwerpunktsetzungen erkennbar, die sich z.T. auf konkrete Anwendung im Komponenten- und Bauteilbereiche beziehen und im Folgenden Fokus der Analysen sein werden.

Auf Komponentenebene befasst sich ein Großteil der Erfindungen (5.225; 22%) mit unterschiedlichen Wandlertypen. In einem Hybrid- oder Elektrofahrzeug werden aus unterschiedlichen Gründen mehrere Arten von Stromrichtern benötigt. Geht man von einer Drehstrommaschine als Antriebseinheit aus, so ist ein bidirektionaler Gleich-/Wechselrichter erforderlich, der im motorischen Betrieb die Gleichspannung von der Batterie in Wechselspannung für die elektrische Maschine wandelt und im generatorischen Betrieb umgekehrt die Wechselspannung in Gleichspannung.

Daneben ist in der Regel auch ein Gleichstromwandler erforderlich. Dieser ermöglicht die Aufteilung des Bordnetzes in einen Hochspannungs- und einen Niederspannungsteil mit bedarfsgerechter Spannungsversorgung für Nebenaggregate. Zusätzlich kann so eine stabile Spannungsversorgung auf konstantem Niveau gesichert werden, die unabhängig vom Ladezustand der Batterie ist. Dies erleichtert die Auslegung aller elektrischen Komponenten und insbesondere der elektrischen Maschine. Nicht zuletzt stellt es bei BEV und Plug-in-Hybriden eine weitere wichtige Aufgabe der Leistungselektronik dar, den Strom aus der Steckdose zum Speichern in der Batterie gleichzurichten (Ladegerätfunktionalität).

Wie in Abbildung 4 zu sehen, bilden Erfindungen im Bereich Wechselrichter (Inverter) dabei mit 2.951 den insgesamt größten Anteil ab, gefolgt von Erfindungen im Bereich Gleichstromumrichter (1.352; 26%), Gleichrichter (607; 12%) und Wechselstromumrichter (315; 6%).

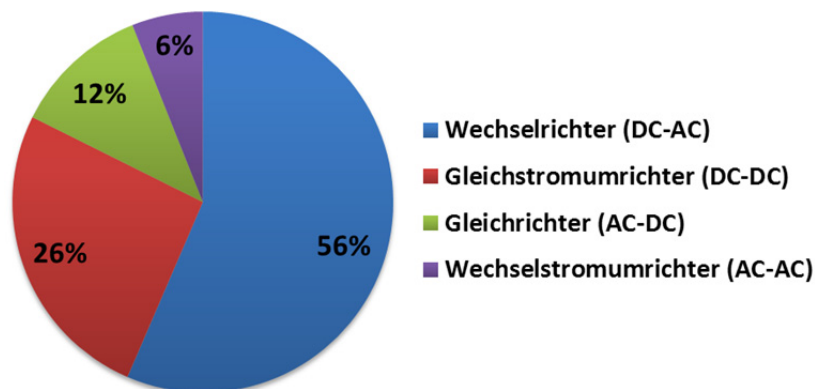


Abbildung 4: Anteil Patente im Bereich "Wandlertypen"

Über alle Wandlertypen hinweg ist auch hier eine Dominanz Japans zu identifizieren, wobei der Anteil von über 65% an allen Patentanmeldungen im Jahr 2000 auf ca. 51% im Jahr 2010 und sogar unter 30% im Jahr 2012 zurückgeht (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Im gleichen Zeitraum bis 2010 verliert der deutsche IP-Markt trotz einer Verdopplung der Patentanzahl knapp 6% Marktanteil und entspricht nur noch 5% des Gesamtmarkts, während auf EU- und US-Ebene der Anteil um jeweils ca. 5% steigt.

Den größten Zuwachs verzeichnet abermals der chinesische Patentmarkt, der die reine Anmeldungszahl von 4 im Jahr 2000 auf 141 in 2010 und 416 im Jahr 2012 steigern konnte. China nimmt damit im Jahr 2012 erstmals Platz 2 hinter Japan ein und verdrängt die USA auf Platz 3. Der Anteil des chinesischen Marktes am Gesamtmarkt steigt von 2% in 2000 auf 13% im Jahr 2010 und 26% in 2012.

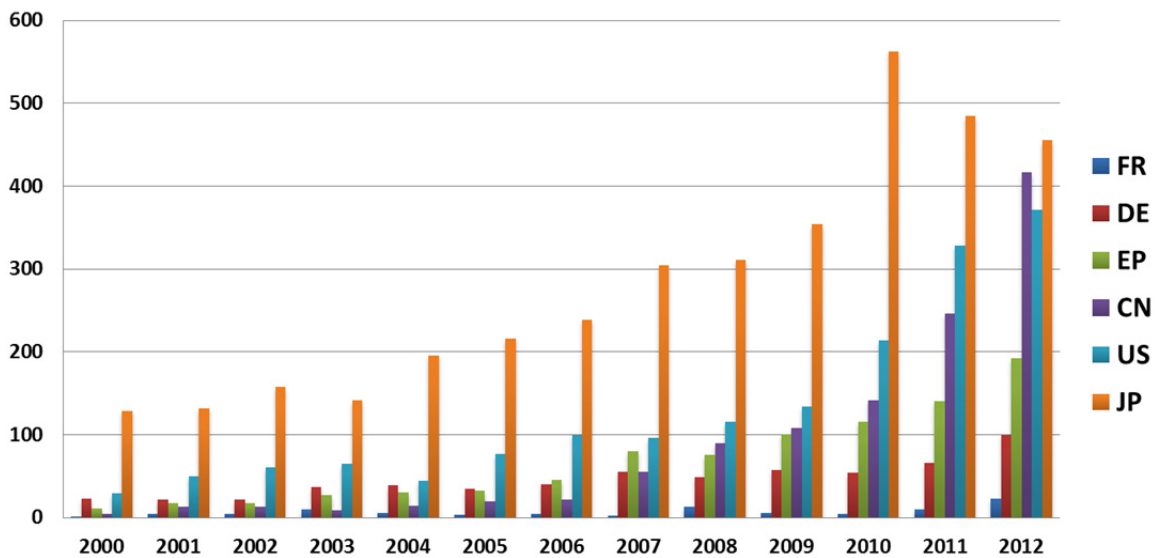


Abbildung 5: Anteil Patente im Bereich "Wandler" nach Weltregion über Zeit, 2000-2012

Eine klare Fokussierung von Forschungsaktivitäten einzelner Weltregionen auf bestimmte Wandlertypen ist laut Abbildung 6 generell nicht erkennbar. Die Aufteilungen von Inverter (zwischen 40% und 60% Anteil), Gleichstromumrichter (17% bis 25%), Gleichrichter (7% bis 14%) und Wechselstromumrichter (6% bis 10%) variieren in relativ geringem Maße bei Vergleich der einzelnen im Rahmen dieser Analyse untersuchten Zeiträume.

Eine leicht verstärkte Schwerpunktsetzung von Deutschland und Japan mit 57% bzw. 59% am Gesamtanteil aller Wandlertypen kann dennoch beim Wechselrichter (Inverter) identifiziert werden.

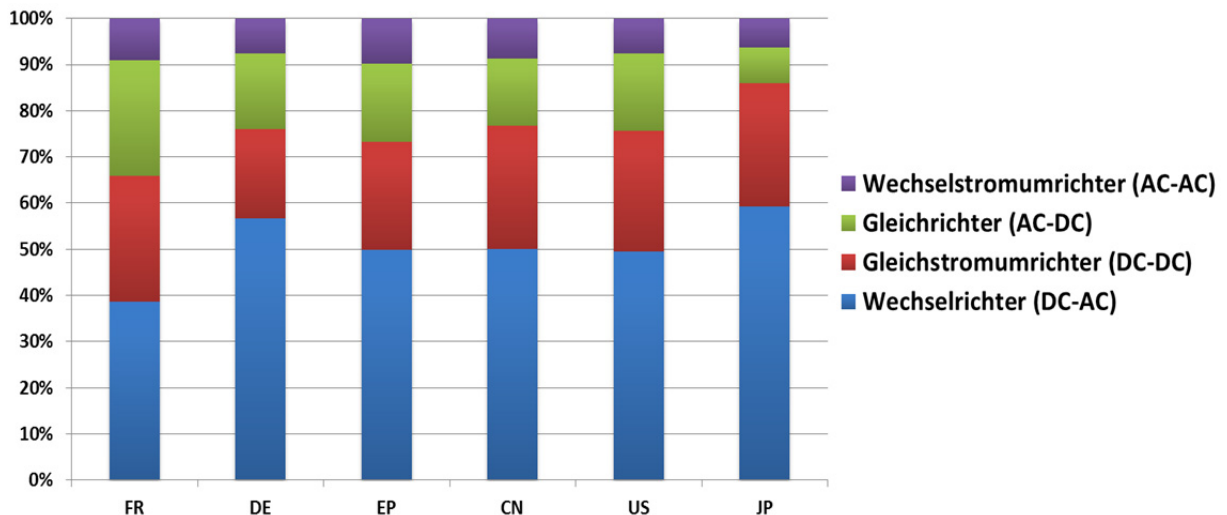


Abbildung 6: Anteil Patente nach „Wandlertypen“ über Weltregion

## 2.3 Patent-/ Publikationsanalyse „Wechselrichter“

Im speziellen Feld der Patentveröffentlichungen, die im Zusammenhang mit Erfindungen im Bereich Wechselrichter stehen, ist Japan im untersuchten Zeitraum bei der Gesamtanzahl ebenfalls klar führend. Abbildung 7 lässt jedoch eine bemerkenswerte Veränderung über die Zeit erkennen: Während der japanische Patentmarkt im Jahr 2000 noch fast 70% aller Anmeldungen verzeichnen konnte, schrumpft dieser Anteil bis 2010 auf unter 55% und innerhalb der nächsten 2 Jahre bis 2012 sogar auf unter 30%.

Der Gesamtmarkt im Bereich Inverter ist innerhalb von 12 Jahren um über 660% gewachsen, die Anzahl der in Japan angemeldeten Patente gleichzeitig aber nur um ca. 280%. Im Vergleich dazu konnte China den Anteil der Patentschriften aber kontinuierlich ab dem Jahr 2006 steigern und bezüglich der reinen Anzahl veröffentlichter Patente im Jahr 2012 erstmals die USA von Platz 2 verdrängen. Der Anteil am Gesamtmarkt wuchs so von ca. 2% im Jahr 2000 auf über 11% in 2010 und sogar 27% in 2012.

Der Anteil Deutschlands ist dagegen über die letzten 12 Jahre in einem Bereich von 6% bis 7% relativ konstant.

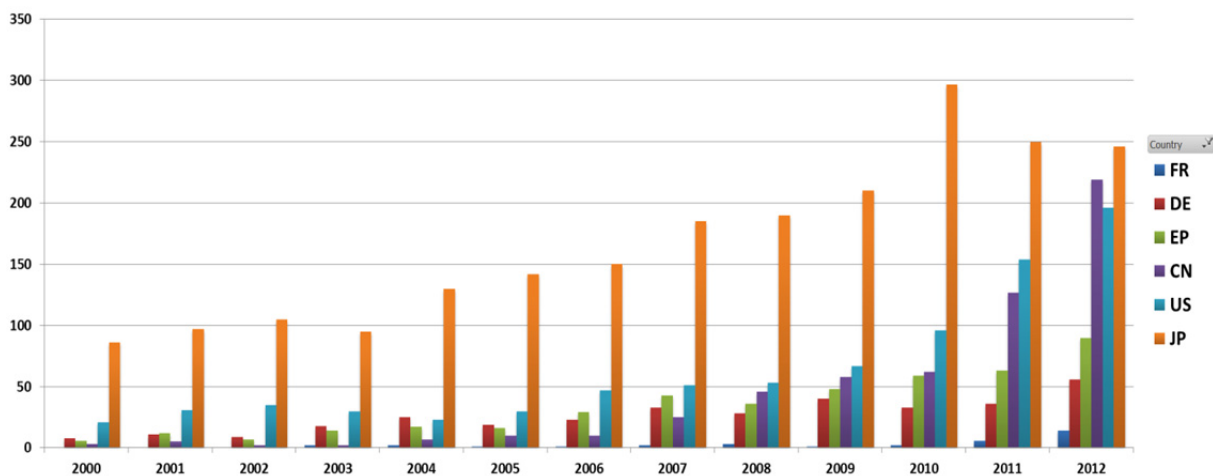


Abbildung 7: Anzahl Patente im Bereich Wechselrichter nach Weltregion über Zeit

Im Ranking der weltweit führenden Patentanmelder im Bereich der Inverter belegen asiatische Institutionen laut Abbildung 8 die ersten 10 Ränge, wobei insbesondere japanische Unternehmen mit einer Gesamtzahl von 2.047 Erfindungen führend sind.

Während allein der Toyota-Konzern mit Toyota Motor und Toyota Jidosha auf insgesamt 856 inhaltlich relevante Inventionen kommt, sind deutsche OEMs in den TOP20 überhaupt nicht vertreten. Die stärkste Position aus deutscher Sicht in diesem Technologiefeld haben die Tier1-Zulieferer Siemens und Bosch, die gemeinsam 58 inhaltlich relevante Erfindungen (156 Patente) im Portfolio haben. Sie finden sich damit auf den Plätzen 13 (Siemens AG) und 14 (Robert Bosch GmbH) wieder.

Die bestplatzierten deutschen OEMs sind Daimler (inkl. DaimlerChrysler) mit 13, Volkswagen und BMW mit jeweils 6 und Porsche mit 2 Inventionen. Die USA ist mit Ford (15) und Tesla (3) vertreten. Bestplatzierte chinesische Automobilhersteller sind Chery Automobile und BYD mit 14 bzw. 3 Inventionen.



Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	TOYOTA MOTOR	667	JP
2	HITACHI	198	JP
3	NISSAN MOTOR	197	JP
4	TOSHIBA	193	JP
5	TOYOTA JIDOSHA	189	JP
6	HONDA MOTOR	159	JP
7	DENSO	136	JP
8	MITSUBISHI DENKI	105	JP
9	HYUNDAI MOTOR	98	SK
10	AISIN AW	76	JP
11	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	61	US
12	FUJI ELECTRIC	43	JP
13	<b>SIEMENS</b>	<b>31</b>	<b>DE</b>
14	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>27</b>	<b>DE</b>
15	KIA MOTORS	25	SK
16	FUJI HEAVY IND	23	JP
17	HINO MOTORS	23	JP
18	RAILWAY TECHNICAL RES INST	23	JP
19	MAZDA MOTOR	22	JP
20	MEIDENSHA	20	JP

**Abbildung 8: TOP20 Patentanmelder im Bereich Wechselrichter nach Anzahl der Erfindungen**

Erweitert man nun allerdings das Suchfeld im Bereich Wechselrichter auch auf Patentanmeldungen und Erfindungen, die sich nicht speziell auf elektrifizierte PKW und die Leistungselektronik im Antriebsstrang beziehen und damit auch Forschungsaktivitäten betrachtet, die z.B. im Bereich Luft- und Raumfahrt, Energie oder Schiene existieren, so verstärkt sich das Bild der starken technologischen Position Asiens und speziell Japans noch.

Jedoch können damit z.T. andere Institutionen die führenden 20 Positionen einnehmen, wie in folgender Abbildung 9 zu sehen ist. Mitsubishi Denki springt bei dieser weiteren Analyse von Rang 8 auf Platz 1 der Rangliste, Toshiba von 4 auf 2 und Matsushita Electric Industries (bzw. die Panasonic Corporation) nimmt Rang 3 ein. Einziges nicht-asiatisches Unternehmen in dieser Analyse ist Siemens, das mit 507 Inventionen Platz 16 belegt und sich damit in den TOP20 halten kann, während Bosch von Platz 14 auf 40 abrutscht.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	MITSUBISHI DENKI	2366	JP
2	TOSHIBA	1967	JP
3	MATSUSHITA ELECTRIC IND	1897	JP
4	HITACHI	1798	JP
5	TOYOTA MOTOR	1455	JP
6	DENSO	1024	JP

7	SAMSUNG ELECTRONICS	1006	SK
8	MATSUSHITA ELECTRIC WORKS	974	JP
9	FUJI ELECTRIC	834	JP
10	LG ELECTRONICS	812	SK
11	SANYO ELECTRIC	705	JP
12	PANASONIC	604	JP
13	NISSAN MOTOR	586	JP
14	SHARP	548	JP
15	DAIKIN IND	514	JP
16	<b>SIEMENS</b>	<b>507</b>	<b>DE</b>
17	MEIDENSHA	503	JP
18	HYNIX SEMICONDUCTOR	476	SK
19	YASKAWA ELECTRIC	474	JP
20	NEC	454	JP

**Abbildung 9: TOP20 Patentanmelder im Bereich Wechselrichter ohne Einschränkung auf elektrifizierte PKW nach Anzahl der Erfindungen**

## 2.4 Patent-/ Publikationsanalyse „Kondensatoren“

Bei einer weiteren Analyse von Patentschriften – nun auf Bauteilebene – liegt der Fokus der Forschungen auf passiven Bauelementen wie Kondensatoren und aktiven Bauelementen wie Halbleiter. Das wichtigste Nicht-Halbleiter-Bauelement der Leistungselektronik stellt der Kondensator dar, der u.a. zur Spannungsglättung benötigt wird. Da bei hohen Spannungen auch hohe Kapazitäten benötigt werden, nehmen Kondensatoren ein verhältnismäßig großes Bauvolumen in Anspruch und haben somit einen deutlichen Einfluss auf die erreichbare Leistungsdichte. Als Bauweisen kommen Folienkondensatoren und Elektrolytkondensatoren zum Einsatz.

Im Bereich Kondensatoren für die Leistungselektronik nach Weltregion und über den Zeitraum 2000 bis 2012 ist insgesamt ein kontinuierlicher Anstieg der Patentzahlen zu verzeichnen, wobei mit 431 Patenten der Peak im Jahr 2012 erreicht wurde, wie in Abbildung 10 zu sehen.

Während der japanische IP-Markt insgesamt die meisten Patentanmeldungen zu verzeichnen hatte (1.089) und die USA mit 493 Patenten insgesamt auf Platz 2 steht, wächst die Bedeutung des chinesischen Marktes ab dem Jahr 2006 kontinuierlich an und löst die USA erstmals im Jahr 2010 vom zweiten Rang ab, um im Jahr 2012 die Spitzenposition sogar vor Japan zu erreichen. Auch Deutschland und Europa können die jeweilige Anzahl an Patentschriften ab dem Jahr 2008 steigern, aber mit 7% bzw. 10% Anteil an den Gesamtveröffentlichungen über den kompletten Zeitraum nur einen Bruchteil der Gesamtanmeldungen verzeichnen.

Im direkten Vergleich der Patentsituation der Jahre 2000 und 2010 ist ein Anstieg der Anmeldezahlen um knapp 500% zu verzeichnen (54 zu 269), wobei insbesondere Europa und China die jeweiligen Positionen in 2010 weiter verstärken konnten und eine Steigerung des Marktanteils um 10% bis 12% realisierten. Japan und die USA verloren im gleichen Zeitraum trotz der Erhöhung der reinen Anzahl an im jeweiligen Land angemeldeten Patenten um 330% und 360% Marktanteile in Höhe von 20% (Japan) und 8% (USA). Im Jahr 2012 hat Japan nur noch 26% Marktanteil und damit einen Gesamtverlust von 40 Prozentpunkten, ist damit aber dennoch um einen Faktor 4 stärker als der deutsche IP-Markt.

Insgesamt konnte die Veröffentlichungszahl in Deutschland von nur 2 im Jahr 2000 auf 29 im Jahr 2012 gesteigert werden. Viel dynamischer stellt sich die Situation in China dar, wo von der gleichen Basis im

Jahr 2000 ausgehend bereits 117 Patente in 2012 im Bereich der Kondensatoren offengelegt wurden, eine Steigerung von ca. 5.800%.

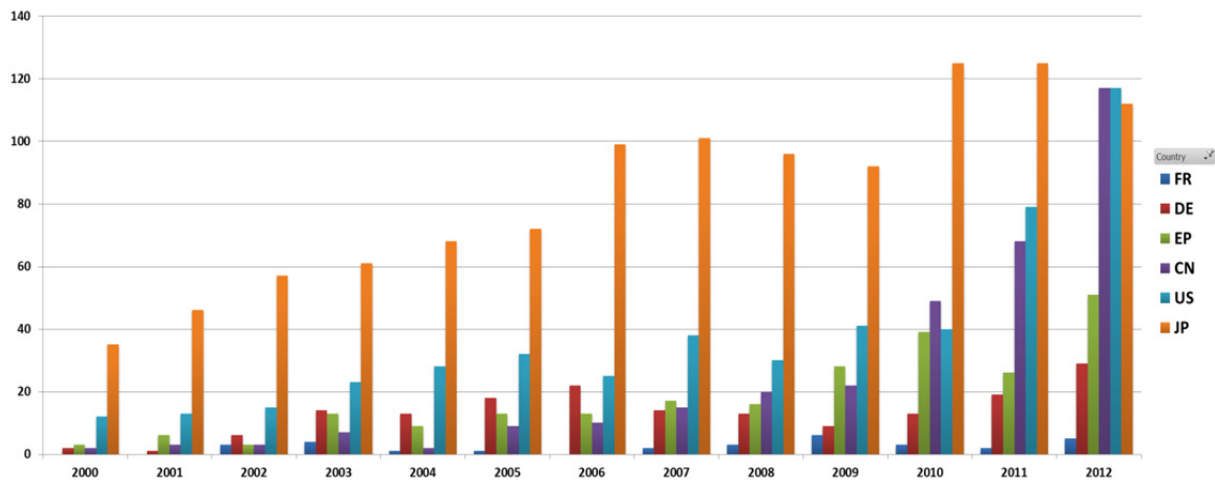


Abbildung 10: Anzahl Patente im Bereich Kondensator nach Weltregion über Zeit

Im Ranking der führenden Patentanmelder im weltweiten Vergleich belegen japanische Unternehmen 17 Positionen in den TOP20 und sind dabei mit einer Gesamtzahl von 973 Erfindungen führend (siehe Abbildung 11). Während Toyota Motor mit 277 Inventionen bestplatziertes japanischer OEM ist, folgen mit Honda, Nissan und Mazda 3 weitere Automobilhersteller auf den Plätzen 2, 4 und 17. Deutsche OEMs befinden sich mit Volkswagen (8), BMW (8), Daimler (6) sowie Audi und Porsche (jeweils 2) auf hinteren Plätzen.

Bestplatzierte deutsche Unternehmen in dieser Rangliste sind Siemens (22 Erfindungen, 53 Patente) auf Platz 11 und Bosch (11 Erfindungen, 20 Patente) auf Rang 23.

In den USA sind die Unternehmen GM (16 Inventionen), Ford (7) und Chrysler (3) auf den TOP3 und im Bereich Patentanmeldungen für Kondensatoren am breitesten aufgestellt. In China führt die Tsinghua Universität die Rangliste mit 5 Erfindungen an, gefolgt von Chery Automobile mit 2.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	TOYOTA MOTOR	277	JP
2	HONDA MOTOR	191	JP
3	TOYOTA JIDOSHA	75	JP
4	NISSAN MOTOR	69	JP
5	TOSHIBA	67	JP
6	HITACHI	66	JP
7	HYUNDAI MOTOR	54	SK
8	MITSUBISHI DENKI	38	JP
9	DENSO	32	JP
10	NISSAN DIESEL MOTOR	30	JP
11	<b>SIEMENS</b>	<b>22</b>	<b>DE</b>
12	AISIN AW	19	JP

13	MATSUSHITA ELECTRIC IND	18	JP
14	FUJI ELECTRIC	18	JP
15	MEIDENSHA	18	JP
16	SANYO ELECTRIC	17	JP
17	MAZDA MOTOR	15	JP
18	FUJI HEAVY IND	12	JP
19	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	11	US
20	KOMATSU	11	JP

**Abbildung 11: TOP20 Patentanmelder im Bereich Kondensator nach Anzahl der Erfindungen**

Wird auch hier eine vergleichende Analyse mit erweitertem Suchfeld durchgeführt, also keine Einschränkung im Bereich von Kondensatoren auf den Antriebsstrang elektrifizierte PKW vorgenommen, lassen sich über 115.000 Erfindungen identifizieren. Führend bei dieser Untersuchung ist Matsushita (Japan) mit 4.722 Inventionen, gefolgt von Hynix Semiconductor (Südkorea, 3.379) und Murata Manufacturing (Japan, 3.206). Siemens (899), Infineon (898) und Bosch (321) sind die bestplatzierten deutschen Unternehmen.

## 2.5 Patent-/ Publikationsanalyse „Halbleiter“

Im Bereich der aktiven Bauelemente der Leistungselektronik stehen insbesondere Halbleiter im Fokus der Forschung. Für die Funktion der Leistungselektronik sind Schalterelemente nötig, die hohe Ströme mit hoher Frequenz schalten können. Hierzu kommen praktisch ausschließlich Halbleiter-Bauelemente zum Einsatz.

Als eigentlichen Halbleiter-Schalter werden im automobilen Bereich Transistoren eingesetzt. Dabei können grundsätzlich drei verschiedene Bauweisen unterschieden werden: Bipolartransistoren (BPT), Feldeffekttransistoren (FET) und Bipolartransistoren mit isolierter Gate-Elektrode (IGBT). Im automobilen Bereich sind damit vor allem IGBT und – bei niedrigerem elektrischen Leistungsbedarf – MOSFET (engl. metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) relevant.

Insgesamt sind im Zeitraum von 2000 bis 2012 939 Patente im Bereich Halbleiter für die Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW angemeldet worden. Der japanische Markt nimmt dabei ca. 40% aller Veröffentlichungen ein, gefolgt von den USA mit knapp 25%, China (14%), Europa (11%) und Deutschland (10%), siehe Abbildung 12.

Jedoch sind bedeutende Verschiebungen über die Jahre zu erkennen. Während Japan im Jahr 2000 noch 45% aller Patentanmeldungen verzeichnen konnte und bis 2010 nur einen kleinen Anteil verlor (42%), fällt der Markt in den kommenden beiden Jahren auf nur noch einen Anteil von 24% ab. Die in China angemeldeten Patente steigen ab dem Jahr 2007 kontinuierlich auf insgesamt 36 im Jahr 2012, so dass dieser Markt mit 27% die führende Position vor Japan und den USA (23%) einnimmt.

Der deutsche Markt stagniert in diesem Zeitraum mit 3 bis 11 Patentanmeldungen pro Jahr und verliert im Vergleich der Jahre 2000 und 2010 12% Marktanteil.

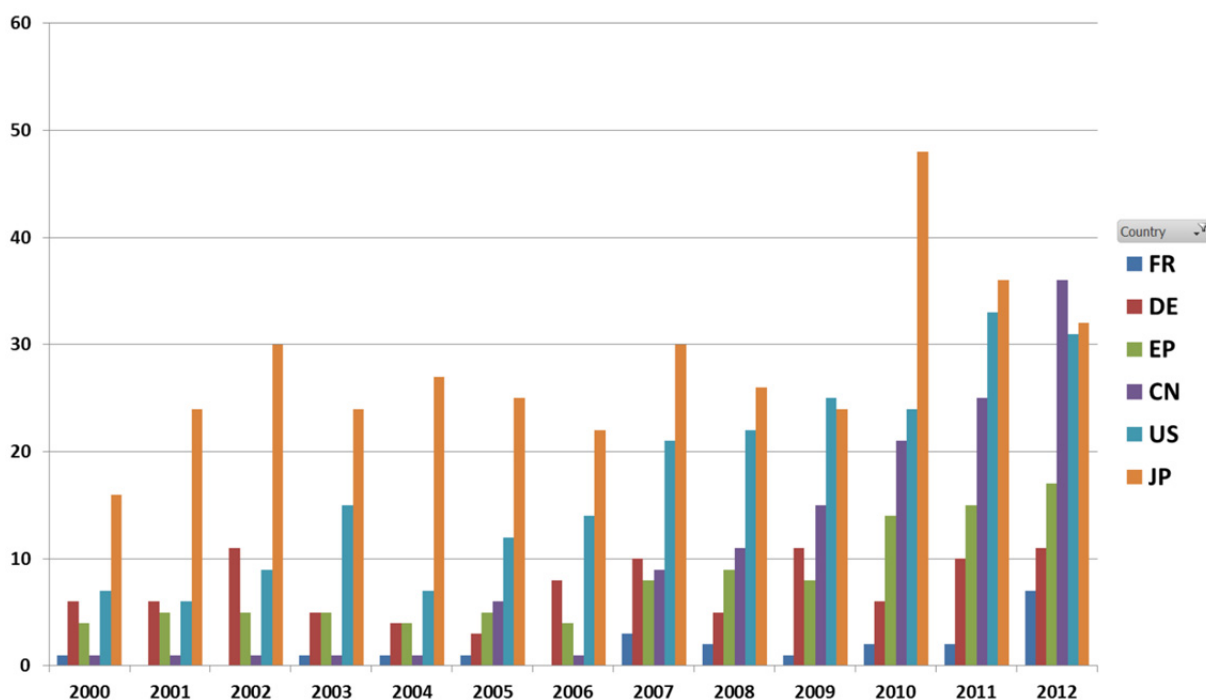


Abbildung 12: Anzahl Patente im Bereich Halbleiter nach Weltregion über Zeit

Wie Abbildung 13 zeigt sind auch im Bereich der Halbleiter japanische Institutionen mit Abstand führend. Unter den bestplatzierten 10 Patentanmeldern befinden sich nur Hyundai (Südkorea), GM (USA) und Daimler (Deutschland) auf den Plätzen 7,8 und 10, die nicht aus Japan kommen. Toyota führt wiederum die Liste mit insgesamt 107 angemeldeten und veröffentlichten Patentschriften an.

Als Zulieferer konnten Siemens und Bosch mit 73 und 33 Patenten im eigenen Portfolio bzw. 14 und 9 inhaltlich relevanten Erfindungen auf den Plätzen 12 und 17 eingeordnet werden. Daimler (inkl. DaimlerChrysler) hat 15 Erfindungen in diesem Bereich geleistet und ist bestplatziertes deutscher OEM. Audi, Volkswagen und BMW haben jeweils eine Erfindung im Portfolio.

Insgesamt nur 16 Inventionen können chinesische Institutionen vorweisen, wobei die Tianjin Santroll Electric Automobile Technology Co. Ltd. mit 3 Erfindungen führend ist. BYD und Chery Automobile haben jeweils eine Invention zum Patent angemeldet. In den USA folgen nach GM mit 15 Erfindungen Ford (4) und Chrysler (3) auf den Plätzen 2 und 3.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	TOYOTA MOTOR	82	JP
2	HITACHI	48	JP
3	HONDA MOTOR	32	JP
4	TOSHIBA	30	JP
5	TOYOTA JIDOSHA	25	JP
6	NISSAN MOTOR	18	JP
7	HYUNDAI MOTOR	17	SK
8	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	15	US
9	DENSO	15	JP



10	<b>DAIMLER</b>	15	<b>DE</b>
11	MITSUBISHI DENKI	14	JP
12	<b>SIEMENS</b>	14	<b>DE</b>
13	FUJI ELECTRIC	13	JP
14	TOYODA AUTOMATIC LOOM WORKS	11	JP
15	SUMITOMO ELECTRIC IND	10	JP
16	HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS	8	JP
17	<b>ROBERT BOSCH</b>	9	<b>DE</b>
18	AISIN AW	6	JP
19	NIPPONDENSO	6	JP
20	TOSHIBA TRANSPORT ENG	6	JP

**Abbildung 13: TOP20 Patentanmelder im Bereich Halbleiter nach Anzahl der Erfindungen**

Bei einer Erweiterung des Suchfelds auf alle Patente und Inventionen im Bereich Halbleiter – ohne Einschränkung auf den Bereich elektrifizierter PKW – verschiebt sich das Bild führender Institutionen auf dem Technologiefeld in Richtung Südkorea: Hier ist Hynix Semiconductor (Südkorea) mit 9.324 Erfindungen führend, gefolgt von Toshiba (8.742, Japan) und Samsung Electronics (8.226, Südkorea). IBM als bestplatziertes US-amerikanisches Unternehmen folgt auf Platz 9 mit 3.732 Erfindungen im Portfolio. Infineon führt das Ranking der deutschen Patentanmelder mit 2.738 an (im Gesamtranking auf Platz 14), gefolgt von Siemens (971) und Qimonda (433, mittlerweile insolvent).

Die beiden abschließenden Analysen befassen sich mit neuartigen Materialien für Halbleiter, und hier insbesondere mit Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN).

## 2.6 Patent-/ Publikationsanalyse „Halbleitermaterial – Siliziumkarbid (SiC)“

Von besonderer Bedeutung für die Leistungselektronik sind die verwendeten Halbleitermaterialien. Bei der Verwendung von monokristallinem Silizium, dem derzeit am häufigsten eingesetzten Werkstoff, besteht eine Beschränkung der Einsatztemperatur auf ca. 175 °C. Damit ergibt sich sowohl ein erheblicher Kühlungsbedarf, der die erzielbare Leistungsdichte reduziert, als auch eine Beschränkung der Haltbarkeit und Schaltfrequenz, da die letztlich Wärme abgebenden Schaltverluste frequenzabhängig sind.

Ziel ist es daher, Halbleitermaterialien zu verwenden, die möglichst hohe Temperaturen vertragen können. Mögliche Alternativen stellen beispielsweise Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN) dar, die deutlich höhere Temperaturen ermöglichen (bis zu 600°C) und darüber hinaus günstigere Schalteigenschaften besitzen und höhere Schaltfrequenzen realisieren können. Problematisch sind hingegen die höheren Kosten, die vor allem durch die aufwändigere Waferherstellung und Kristallzüchtung bedingt sind. Allerdings ist hier eine deutlich sinkende Tendenz festzustellen: Während im Falle von Siliziumkarbid die Kosten im Jahr 2007 noch etwa hundertmal so hoch waren, betrug der Faktor im Jahr 2013 nur noch 3 bis 6 im Vergleich zu Silizium (Si).<sup>2</sup> Unter Berücksichtigung der positiven Einflüsse auf das Gesamtsystem (Kühlauflauf, verkleinerte Spulen wegen höherer Schaltfrequenz) könnten mit SiC-Halbleiterelementen unter günstigen Rahmenbedingungen sogar geringere Systemkosten als mit Si erzielt werden.

Im speziellen Feld der Patentveröffentlichungen, die im Zusammenhang mit Erfindungen im Bereich SiC als Halbleitermaterial für die Leistungselektronik stehen, ist Japan (1.284 Patente) im untersuchten Zeitraum bei der Gesamtanzahl führend, dicht gefolgt von den USA (1.096). Beide Länder liegen über den gesamten Zeitraum bei der Anzahl der Patentanmeldungen jeweils eng beieinander, wobei Japan

<sup>2</sup> Vgl. Zühlke, K. (<http://www.elektroniknet.de/distribution/design-in/artikel/99817>)

insbesondere ab dem Jahr 2007 die führende Position übernimmt und die Patentanmeldungen jedes Jahr kontinuierlich steigert, wie in Abbildung 14 erkennbar.

Einen bemerkenswerten Sprung ist in China im Jahr 2012 zu beobachten, hier wurde die Patentzahl um mehr als das Doppelte erhöht. China festigt damit die erstmals im Jahr 2009 und nachfolgend in 2011 von der EU eroberte dritte Position und baut den Vorsprung stark aus. Auch Deutschland kann die Anzahl der Patentanmeldungen bis ins Jahr 2006 steigern, stagniert dann jedoch in einem Bereich von 20-25 Patenten pro Jahr. Nur 11 Patentansprüche wurden im gesamten Zeitraum in Frankreich publiziert.

Im direkten Vergleich der Jahre 2000 und 2010 konnte Japan den Anteil am Gesamtmarkt von 28% auf ca. 40% ausbauen, gleichzeitig verliert der US-amerikanische IP-Markt 15 Prozentpunkte innerhalb einer Dekade. Während China bis 2010 kaum Veränderungen im Marktanteil erreichen konnte (7% im Jahr 2000; 9% in 2010) erhöht sich ab diesem Zeitpunkt die Dynamik rasant, so dass der Anteil an Patentanmeldungen in China einen Wert von über 20% erreicht.

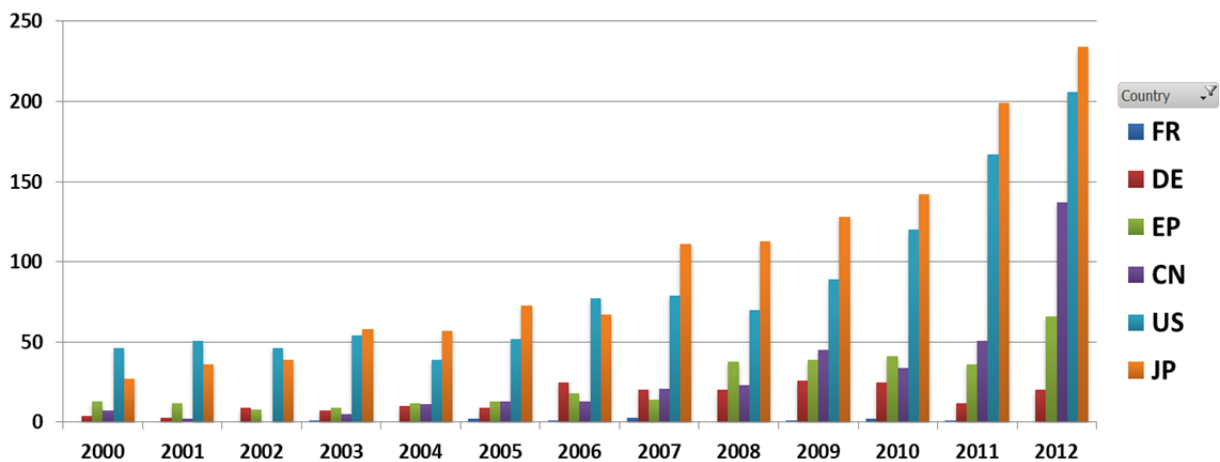


Abbildung 14: Anzahl Patente im Bereich SiC nach Weltregion über Zeit

Wie im Bereich der Halbleiter sind japanische Institutionen auch im speziellen Feld Halbleitermaterial (SiC) führend und belegen 9 von 10 Plätzen in den TOP10, (siehe Abbildung 15). Denso (178 Erfindungen) steht dabei vor Sumitomo Electric (167), Mitsubishi (123), Nissan (95), Matsushita Electric (89) und Toshiba (70), bevor auf Platz 7 das erste nicht-japanische Unternehmen mit Cree (66) folgt. Bemerkenswert ist, dass trotz des sehr speziellen Technologiefelds und Forschungen auf Halbleiter-Materialebene sowohl Nissan als auch Toyota in der Rangliste zu finden sind. Insgesamt 126 Institutionen konnten identifiziert werden, die in Japan Forschung zum Thema SiC betreiben.

Deutsche OEMs sind in der gesamten Rangliste nur durch Daimler mit 2 Inventionen im Portfolio vertreten, und sowohl in Frankreich, den USA als auch in China gibt es keinen einzigen OEM, der auf diesem Gebiet Schutzrechte beansprucht. Als Zulieferer konnten Siemens und Infineon mit 101 bzw. 57 Patenten im eigenen Portfolio bzw. 30 und 21 inhaltlich relevanten Erfindungen auf den Plätzen 13 und 17 eingeordnet werden. Die TOP4 in Deutschland nach Siemens und Infineon komplettieren SiCED Electronics mit 73 Patenten (15 Inventionen) und Bosch mit 6 Patenten (5 Inventionen). Insgesamt forschen 19 verschiedene Institutionen in Deutschland an diesem Thema.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	DENSO	178	JP
2	SUMITOMO ELECTRIC IND	167	JP
3	MITSUBISHI DENKI	123	JP
4	NISSAN MOTOR	95	JP
5	MATSUSHITA ELECTRIC IND	89	JP
6	TOSHIBA	70	JP
7	CREE	66	US
8	FUJI ELECTRIC	74	JP
9	NATIONAL INST ADVANCED IND SCI & TECH	57	JP
10	PANASONIC	44	JP
11	HITACHI	41	JP
12	TOYOTA MOTOR	37	JP
13	<b>SIEMENS</b>	<b>30</b>	<b>DE</b>
14	FUJITSU	25	JP
15	KANSAI ELECTRIC POWER	25	JP
16	SANYO ELECTRIC	23	JP
17	<b>INFINEON TECH</b>	<b>21</b>	<b>DE</b>
18	INTL BUSINESS MACHINES	20	US
19	ROHM	18	JP
20	GEN ELECTRIC	17	US

**Abbildung 15: TOP20 Patentanmelder im Bereich SiC nach Anzahl der Erfindungen**

In den USA sind neben Cree und IBM weitere 72 Unternehmen in der Forschung aktiv, z.B. General Electric (18 Erfindungen), Micron Technology (15), die Semisouth Laboratories (15) und Texas Instruments (13). China stellt insgesamt 26 Institutionen, wobei mit der Xidian University (14), Semiconductor Manufacturing International (14) und der China Electronics Technology Group (7) die TOP3 identifiziert werden konnten. Bemerkenswert ist, dass eine Universität das Ranking in China anführt.

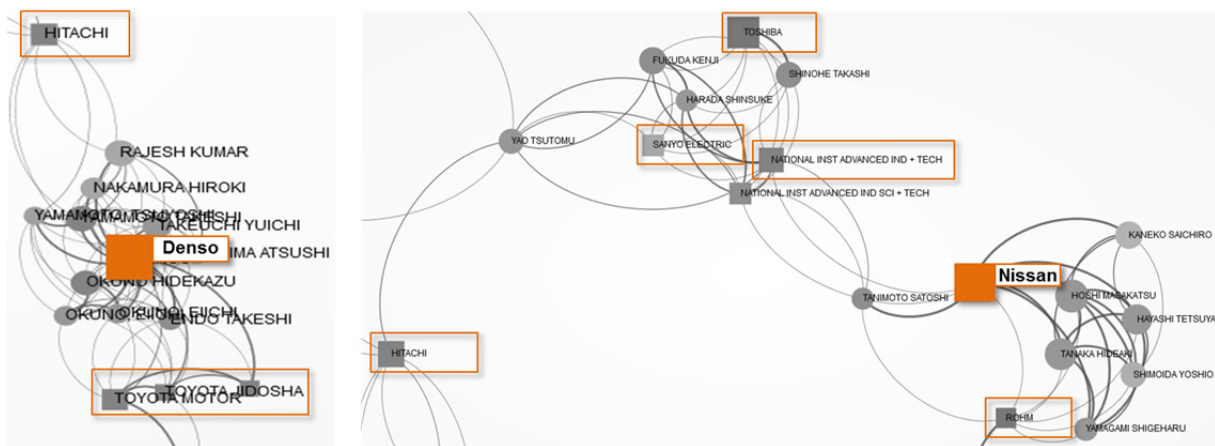


**Abbildung 16: Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich SiC nach Weltregion**

Neben einer Untersuchung der geographischen Verteilung können über eine Patentanalyse auch Kooperations-tätigkeiten und gemeinsame Forschungs- bzw. Innovationsnetzwerke und -dynamiken identifiziert werden. Hierzu werden Verbindungen einzelner Institutionen oder Erfinder über Patente hinweg visualisiert (siehe Abbildung 17 und Abbildung 18).

Während Denso als führende Institution im Bereich SiC im Innovationsnetzwerk über verschiedene Patente sowohl mit Hitachi (Rang 11) als auch Toyota Motor, Toyota Jidosha und Toyota Central R&D Labs vernetzt ist, scheint Sumitomo Electric auf Rang 2 Forschungsaktivitäten und Technologieentwicklungen eher ohne Kooperationsaktivitäten zu forcieren, eine Verbindung ist hier nur zu Kansai Electric Power zu identifizieren.

Nissan hingegen scheint in der Forschungsarbeit relativ stark vernetzt zu sein, Verbindungen sind sowohl zu Rohm als auch zum Institute of Advanced Internation Science, zu Toshiba und zu Sanyo Electric erkennbar. Über letztere Verbindung ist auch im Innovationsnetzwerk von Nissan wiederum Hitachi vorzufinden.



**Abbildung 17: Innovationsnetzwerk im Bereich SiC – Denso (JP) und Nissan (JP)**

Die führenden Institutionen aus Deutschland und den USA im Bereich SiC sind über Patentschriften in der Zusammenarbeit weit weniger vernetzt, wie in Abbildung 18 ersichtlich.

Während Verbindungen bei Siemens insbesondere zu Infineon und SiCED Electronics bestehen und in zweiter Ebene auch IBM und Qimonda Teil des Netzwerks sind (bzw. waren), kann beim US-amerikanischen Unternehmen Cree im Rahmen dieser Analyse nur die Zusammenarbeit mit ABB identifiziert werden. Mit der aber relativ hohen Anzahl an Patenten im Portfolio von Cree im Bereich SiC (fast 500) weist dies auf eine relativ defensiv ausgerichtete, das Know-How schützende Patentstrategie hin.

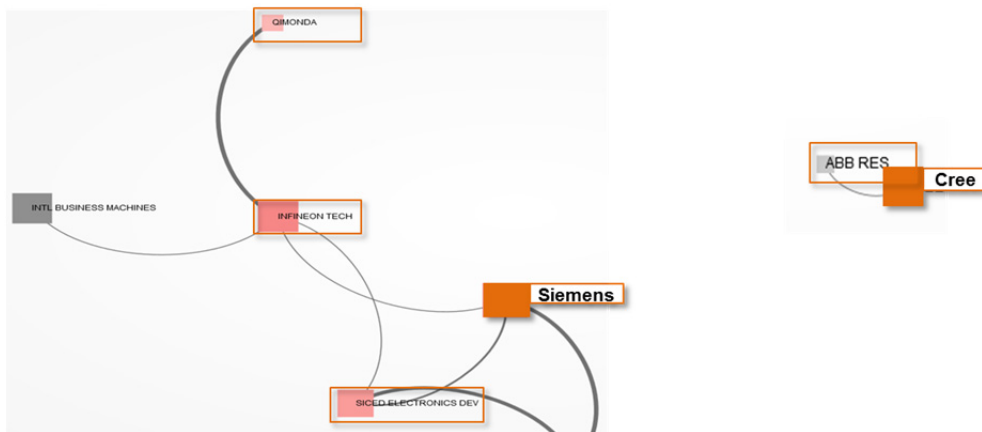


Abbildung 18: Innovationsnetzwerk im Bereich SiC – Siemens (DE) und Cree (US)

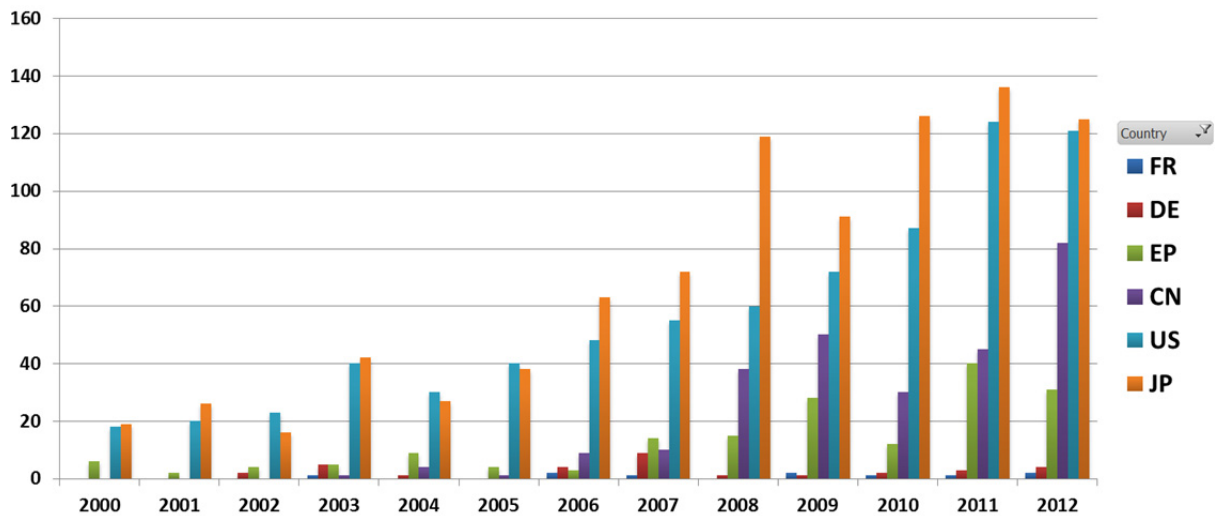
## 2.7 Patent-/ Publikationsanalyse „Halbleitermaterial – Galliumnitrid (GaN)“

Bei der Analyse der Offenlegung von Patentschriften, die im Zusammenhang mit Erfindungen im Bereich GaN als Halbleitermaterial für die Leistungselektronik stehen, ist Japan mit 900 Patenten über den gesamten Zeitraum der Jahre 2000 – 2012 bei der reinen Patentanzahl führend, während die USA mit ca. 740 Patenten den zweiten Rang einnimmt. Beide Länder melden über den gesamten Zeitraum jeweils eine relativ ähnliche Anzahl an Patenten an, jedoch kann sich Japan ab dem Jahr 2007 konstant auf der Spitzenposition behaupten und insbesondere in den Jahren 2008 und 2010 einen signifikanten Vorsprung erarbeiten, wie Abbildung 19 aufzeigt.

Wie auch bei den Untersuchungen zu SiC als Halbleitermaterial kann China die Patentanmeldungen von 2007 bis 2008 signifikant steigern und den dritten Platz vor der EU erobern. Deutschland hingegen kann im Rahmen dieser Analyse kaum nennenswerte Patentzahlen vorweisen und bewegt sich mit einem Marktanteil von nur einem Prozent auf einem konstant niedrigen Niveau.

Im Vergleich der Jahre 2000 und 2010 konnte der Output an Patenten im Bereich GaN insgesamt um einen Faktor 6 gesteigert werden, im Vergleich zu 2012 sogar um einen Faktor 8. Japan verlor dabei bis 2012 einen Anteil am Gesamtmarkt von 10% und besitzt im Jahr 2012 insgesamt 34%.

Auch die USA haben im gleichen Zeitraum ca. 9% Marktanteil verloren und können in 2012 ca. 33% aller Patentanmeldungen für sich beanspruchen. China, im Jahr 2000 noch ohne Patentanmeldung im GaN-Bereich, kann im Jahr 2010 bereits 30 Anmeldungen verzeichnen, im Jahr 2012 steigert sich die reine Anzahl auf über 80. Der chinesische IP-Markt verdoppelt damit den Anteil im Vergleich zu 2010 und kommt auf 22%.



**Abbildung 19: Anzahl Patente im Bereich GaN nach Weltregion über Zeit**

Im Bereich der Halbleiter-Materialien und im speziellen GaN dominieren japanische Institutionen die Technologieentwicklung beinahe vollkommen. Die einzigen nicht-japanischen Unternehmen innerhalb der TOP 20 sind die Xidian University aus China auf Rang 16 mit 20 Erfindungen und Cree (USA) auf Rang 17 mit 19 Erfindungen.

Auch hier ist es bemerkenswert, dass ein OEM auf der Ebene der Materialforschung aktiv und unter den führenden Institutionen bei Forschungsaktivitäten aufzufinden ist. Toyota Motor steht mit 38 Erfindungen auf Platz 9 der Rangliste, hinter den Toyota Central R&D Labs auf Rang 8 mit 39 Erfindungen. Insgesamt 84 Unternehmen entwickeln in Japan GaN-Technologien und melden Schutzrechte auf Erfindungen an, wie in Abbildung 21 ersichtlich.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	FURUKAWA ELECTRIC	77	JP
2	SUMITOMO ELECTRIC IND	68	JP
3	MATSUSHITA ELECTRIC IND	66	JP
4	TOSHIBA	64	JP
5	FUJITSU	49	JP
6	NIPPON TELEGRAPH	44	JP
7	SHARP	40	JP
8	TOYOTA CENTRAL R & D LABS	39	JP
9	TOYOTA MOTOR	38	JP
10	PANASONIC	35	JP
11	ROHM	35	JP
12	OKI ELECTRIC IND	32	JP
13	EUDYNA DEVICES	25	JP
14	HITACHI	25	JP
15	SONY	21	JP
16	XIDIAN UNIV	20	CN
17	CREE	19	US

18	SANKEN ELECTRIC	19	JP
19	TOYODA GOSEI	19	JP
20	NEC	18	JP

**Abbildung 20: TOP20 Patentanmelder im Bereich GaN nach Anzahl der Erfindungen**

Die Verteilung der in den verschiedenen Weltregionen aktiven Institutionen zeigt ein ähnliches Bild wie bei Siliziumkarbid als Halbleitermaterial. In Deutschland sind insgesamt 11 Institutionen aktiv, darunter auch Daimler (bzw. DaimlerChrysler) mit einer Erfindung im Bereich GaN. Auf Platz 1 in Deutschland befindet sich der Forschungsverbund Berlin (3), gefolgt von Siemens (2) und EADS (2).

Die USA sind mit insgesamt 77 Institutionen bei Schutzrechten im Bereich des Halbleiter-Materials in der Forschung aktiv, wobei Cree mit 19 Erfindungen die Rangliste anführt, gefolgt von International Rectifier (16) und der University of California (12). In China können insgesamt 23 Institutionen identifiziert werden, wiederum mit der Xidian University auf Rang 1 (20), gefolgt von der University of Electronic Science and Technology (17) und dem Institute of Microelectronics der Chinese Academy of Sciences (17).



**Abbildung 21: Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich GaN nach Weltregion**

Im Rahmen dieser Untersuchung sind insgesamt mit Toyota und Daimler nur 2 OEMs in diesem Forschungsbereich schutzrechtlich aktiv, die überwiegende Mehrzahl an inhaltlich relevanten Inventionen entstammt der Entwicklung von Zulieferern, Forschungsinstituten und Universitäten.

Interessant ist zudem, dass ein länderübergreifendes Innovationsnetzwerk bei GaN-Technologien über gemeinsame Erfindungen überhaupt nicht erkennbar ist. Zudem sind die untersuchten Netzwerke auch innerhalb eines Landes eher geschlossen und konzentrieren sich auf die Zusammenarbeit von einigen wenigen, nationalen Institutionen, wie Abbildung 22 und Abbildung 23 zeigen.

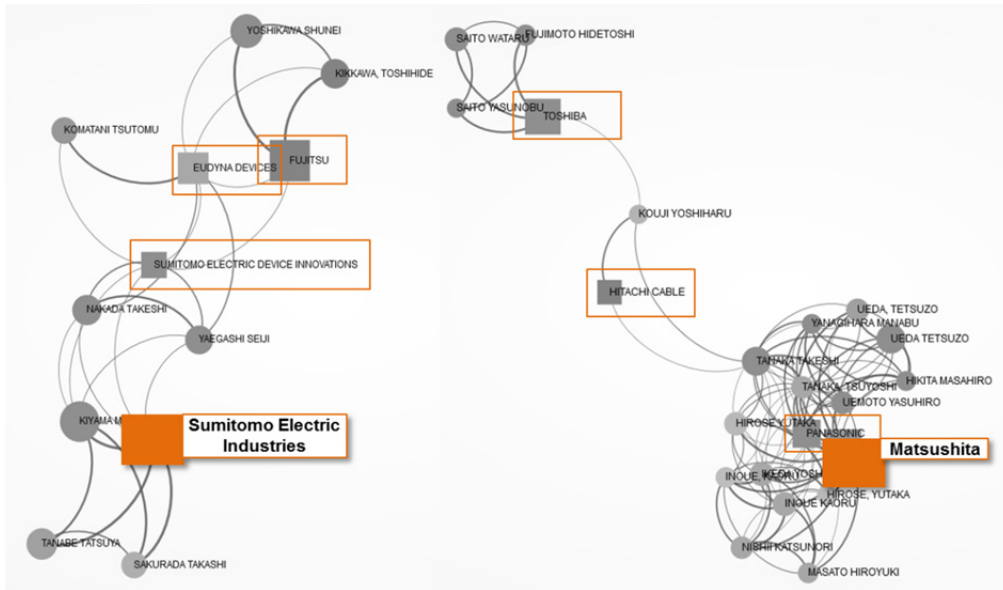


Abbildung 22: Innovationsnetzwerk im Bereich GaN – Sumitomo Electric Industries (JP) und Matsushita (JP)

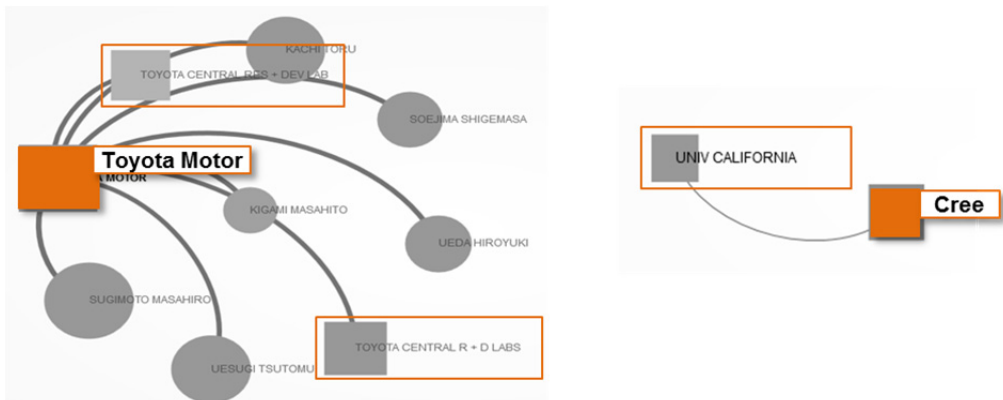


Abbildung 23: Innovationsnetzwerk im Bereich GaN – Toyota Motor (JP) und Cree (US)

### 3 Ausblick

Die dargestellten Auswertungen zu Patent-/ Publikationsanalysen werden im Rahmen des Technologie-Monitorings der STROMbegleitung dazu verwendet, die Forschungslandschaft im Bereich „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ zu untersuchen und Thesen zum Stand der Technik, Forschungsschwerpunkten, der technologischen Position und Wettbewerbsfähigkeit einzelner Weltregionen abzuleiten, um so die Grundlage für Handlungsempfehlungen zu erarbeiten.

Die untersuchten Themenfelder orientieren sich insbesondere an den im Rahmen der einzelnen STROM-Projekte behandelten Themengebieten und Interessen der STROM-Teilnehmer und werden im weiteren um Analysen im Bereich „Elektrische Maschine“ sowie aus den Regionalstudien, insbesondere mit Analysen zu Förderschwerpunkten und -strategien im internationalen Vergleich ergänzt.





**DLR Institut für Fahrzeugkonzepte**

Bei Fragen und/ oder Anregungen wenden Sie sich jederzeit gerne an

Benjamin Frieske

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Institut für Fahrzeugkonzepte | Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

Telefon +49 (0)711 6862 623

Telefax +49 (0)711 6862 258

[Benjamin.Frieske@dlr.de](mailto:Benjamin.Frieske@dlr.de)

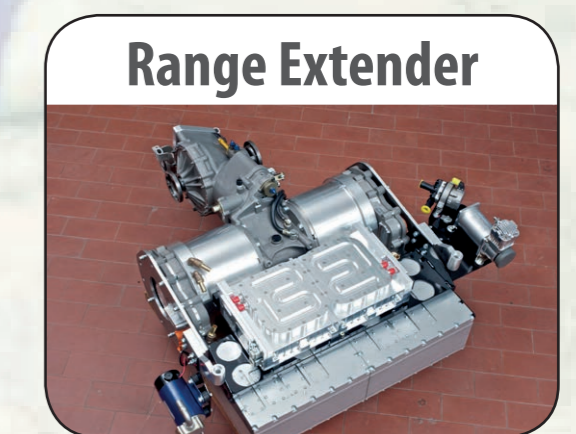
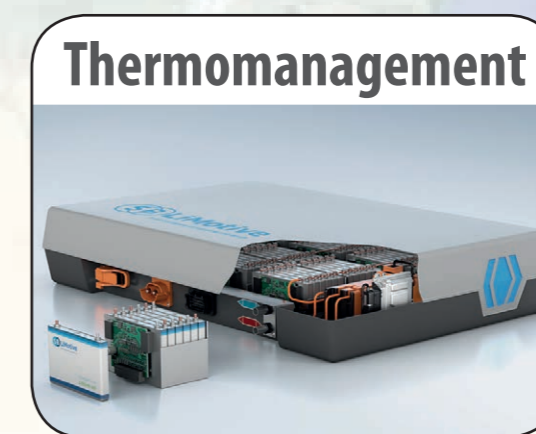
# STROMbegleitung: Begleitforschung zu STROM-Technologien

## LEITFRAGEN

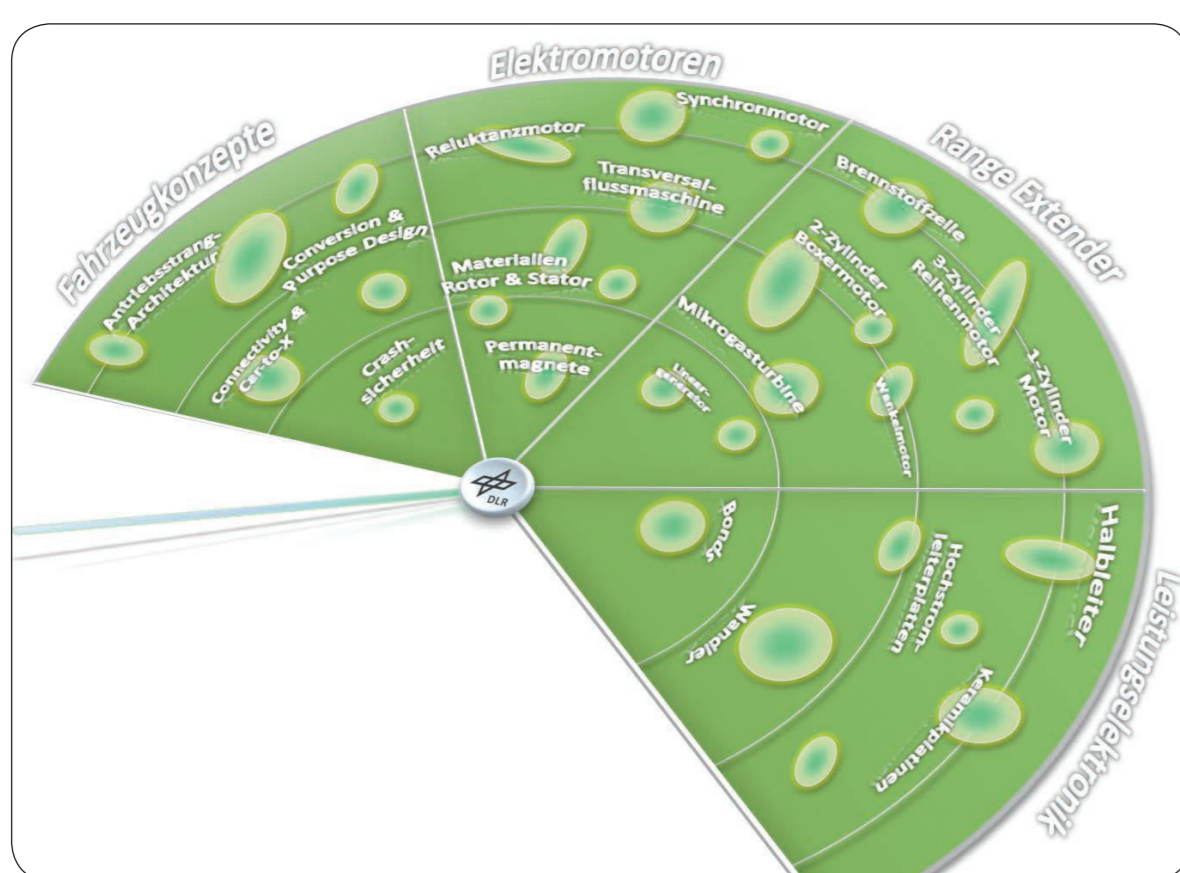
**Welche sind die Forschungsschwerpunkte anderer Länder?**

**Welche Auswirkungen hat die Elektromobilität auf den Verbrauch von Materialien und Rohstoffen?**

**Welche unterschiedlichen Trends und Entwicklungen lassen sich global erkennen?**



Bildquellen (v. l. n. r.): BMW e-drive, Opel Rak\_e, EDAG, BOSCH, SB Limotive, Siemens

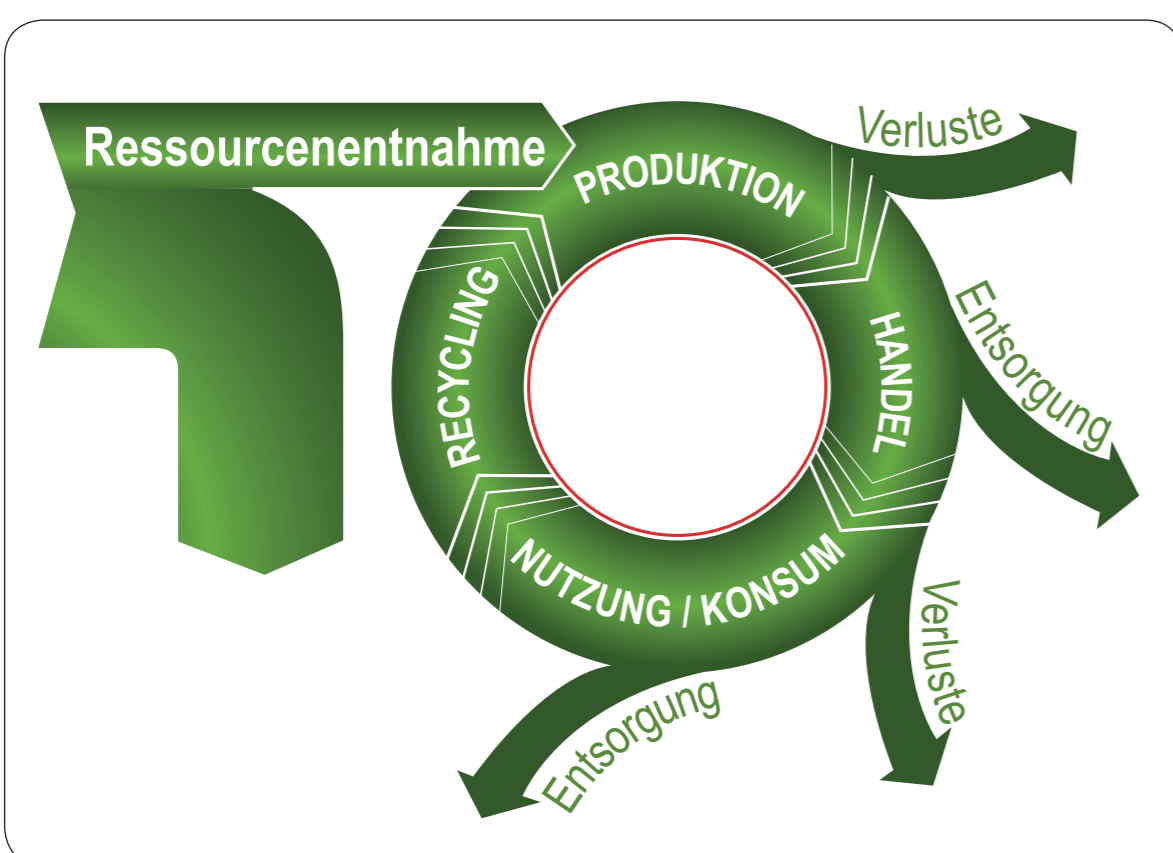


### Technologie-Monitoring

- Ermittlung von Herausforderungen, Zielen und Grenzen spezifischer technologischer Entwicklungen
- Analyse des internationalen Entwicklungsstands zur Einordnung der STROM-Technologien
- Überführung der Ergebnisse in eine Fahrzeugdatenbank

### Materialintensitätsanalyse

- Identifizierung und Auswahl wesentlicher Technologiepfade
- Analysen zur spezifischen Materialintensität von Systemkomponenten
- Langfristszenarien zur Abschätzung des gesamten Bedarfs an stofflichen und energetischen Ressourcen
- Bewerten von Risiken und Knappheitsfragen in der Zukunft und Rückmeldung an die Technologieentwickler



### Regionalstudien

- Wissensaustausch zum Status-quo und zu Trends zu Technologien, staatlichen Maßnahmen, F&E und Marktperspektiven der Elektromobilität
- Darstellung von Rahmenbedingungen und Trends in der Elektromobilität für eigene Bewertungen und Prognosen der STROM-Projekte
- Experteninterviews und 5 regionale wissenschaftliche Studien mit Kooperationspartnern in China, Japan, Indien, Europa und USA



## ZIEL

**Analyse der STROM-Technologien im Kontext internationaler Forschungsaktivitäten**

# Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM) – Materialintensitätsanalyse

## FRAGEN

Welche Ressourcenbedarfe und Versorgungsrisiken sind mit verschiedenen Elektromobilitätsszenarien verbunden?

Welche Handlungsempfehlungen lassen sich für Forschung, Unternehmen und Politik daraus ableiten?

### STROM-Projekte

#### Gesamtsystem:

1PeFZ  
E2V  
ELANi  
Innvelo

#### Energie- und Thermo- management:

E-Komfort  
HI-Level  
HotPowCon  
KAiROS  
MHF4EV  
P&P Range Extender

#### Antriebssystem:

E-MoSys  
iFlux  
RESCAR 2.0  
RoBE

Identifizierung und Auswahl  
wesentlicher  
Technologiefade

Analysen zur  
spezifischen Materialintensität  
von Systemkomponenten

#### Input aus den STROM-Projekten

- Experteneinschätzung zu Technologien, Komponenten, Konzepten
- ggf. Datenbereitstellung für Stoffinventare

#### Input STROM-Begleitforschung

- Technologie-Monitoring
- Experteneinschätzungen und Einbeziehung der Ökobilanzierung von Batterien



Langfristszenarien  
zur Abschätzung des gesamten  
Bedarfs an stofflichen  
und energetischen Ressourcen

Risiken und Knappheitsfragen  
in der Zukunft für  
Rückschlüsse auf die heutige  
Technologieentwicklung

## ZIELE

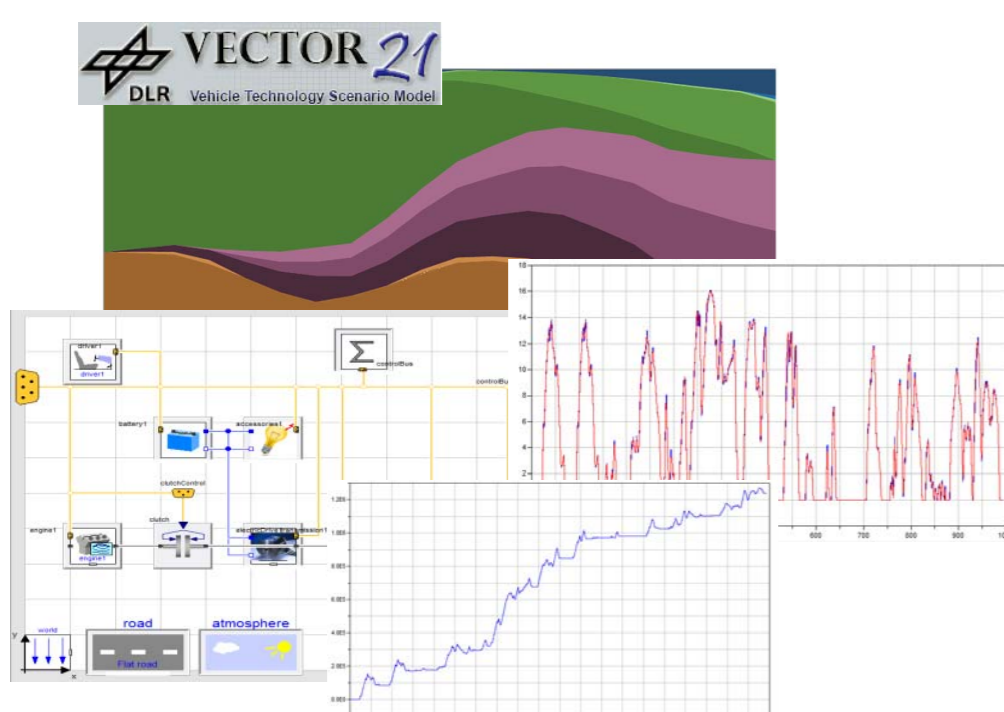
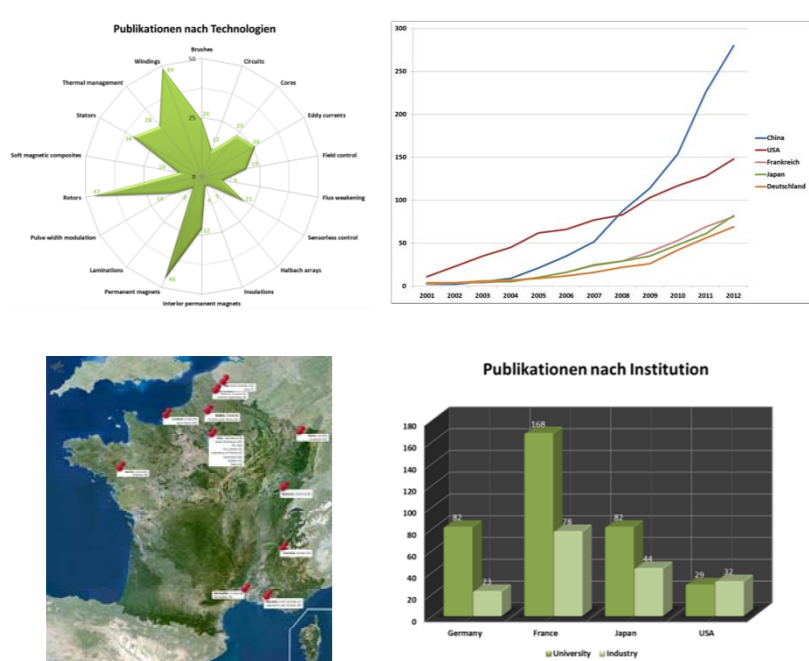
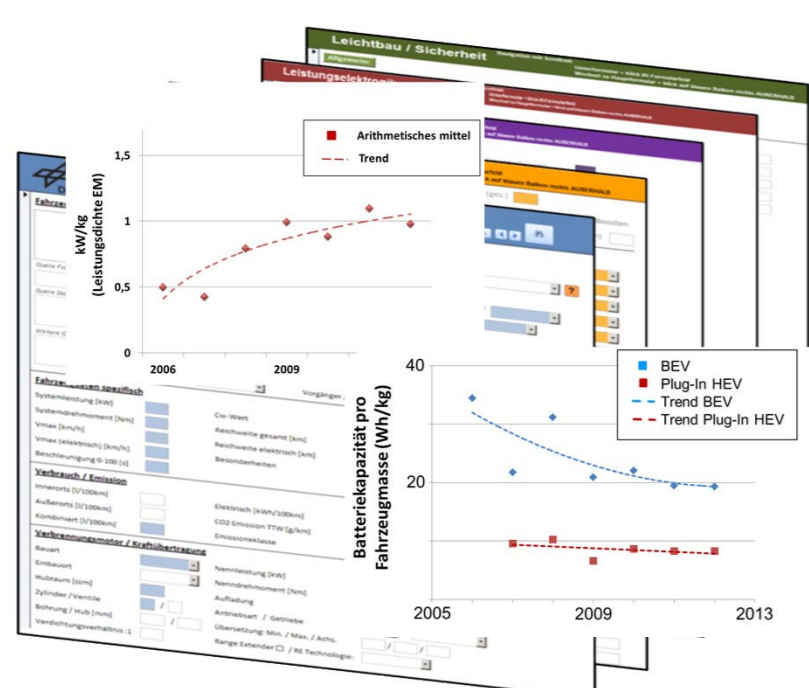
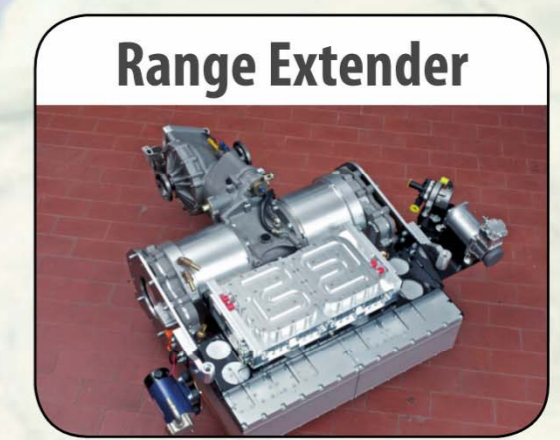
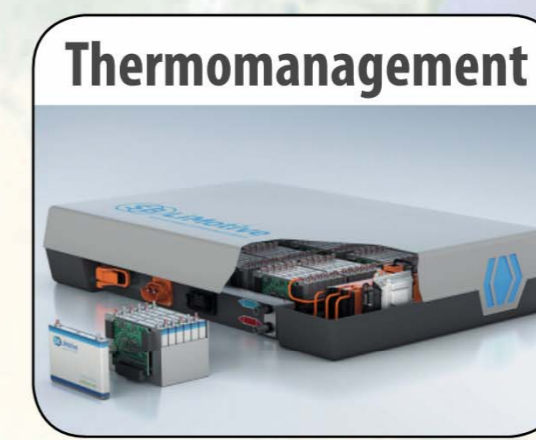
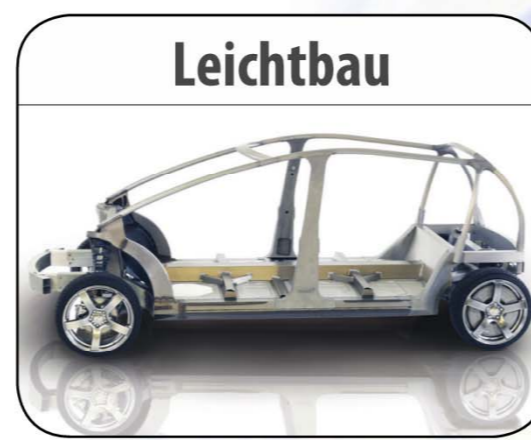
- Erarbeitung der Grundlagen für die Ableitung von Handlungsempfehlungen hinsichtlich Ressourcenbedarf, Umweltverträglichkeit und Versorgungsrisiken
- Rückkopplung der Ergebnisse an die STROM-Projekte (Relevanz der Pfade und ggf. Komponenten, Rohstoffe hinsichtlich der Materialintensität und kritische Rohstoffe)

# STROMbegleitung: Technologiemonitoring

Welche sind die internationalen Forschungsschwerpunkte?

Welche sind die technologischen Entwicklungstendenzen?

Welche Auswirkungen hat die Entwicklung auf den Fahrzeugmarkt?



- Untersuchung und Darstellung von **Entwicklungstendenzen** für Fahrzeugkonzepte und eingesetzte Technologien.
- Ermittlung von **regionalen Trends**.
- Entwicklung & Aufbau einer **Fahrzeug-Datenbank**.
- Einbezug von Fahrzeugen in unterschiedlichen **Entwicklungsstadien**.
- Identifikation von Schwerpunkten und Trends bei **Forschungsaktivitäten im internationalen Vergleich**.
- Ermittlung des **Stands der Technik** bei elektrischen Maschinen und Leistungselektronik als Schlüsseltechnologien der Elektromobilität.
- Entwicklung & Aufbau von **Patent- und Publikationsdatenbanken**.
- **Integrierte Bewertung** möglicher Weiter- und Neuentwicklungen auf das **Gesamtsystem Fahrzeug**.
- Einfluss technologischer Tendenzen auf die Kunden **TCOs**.
- Untersuchung von möglichen Auswirkungen von technologischen Entwicklungen auf die **Zusammensetzung des deutschen Neuwagenmarkts**.

Unterstützung und Informationen für die **STROM-Projekte**

Hinweise für zukünftige **Förderprogramme**

Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen

Fördersumme:

1.705.600 €

Projektlaufzeit:

Oktober 2011 – September 2014

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Kontakt

Matthias Klötzke  
Deutsches Zentrum für Luft- & Raumfahrt e.V.  
Matthias.Kloetzke@DLR.de

Claus Barthel  
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
Claus.Barthel@Wupperinst.org

# STROMbegleitung: Begleitforschung zu Materialintensitäten der Elektromobilität

## FORSCHUNGSFRAGEN

Welche Ressourcenbedarfe sind mit verschiedenen Elektromobilitätsszenarien verbunden?

Wie lässt sich aus dem Ressourcenbedarf auf die Umweltverträglichkeit der Szenarien schließen?

Welche Versorgungsrisiken lassen sich für verschiedene Elektromobilitätsszenarien ableiten?

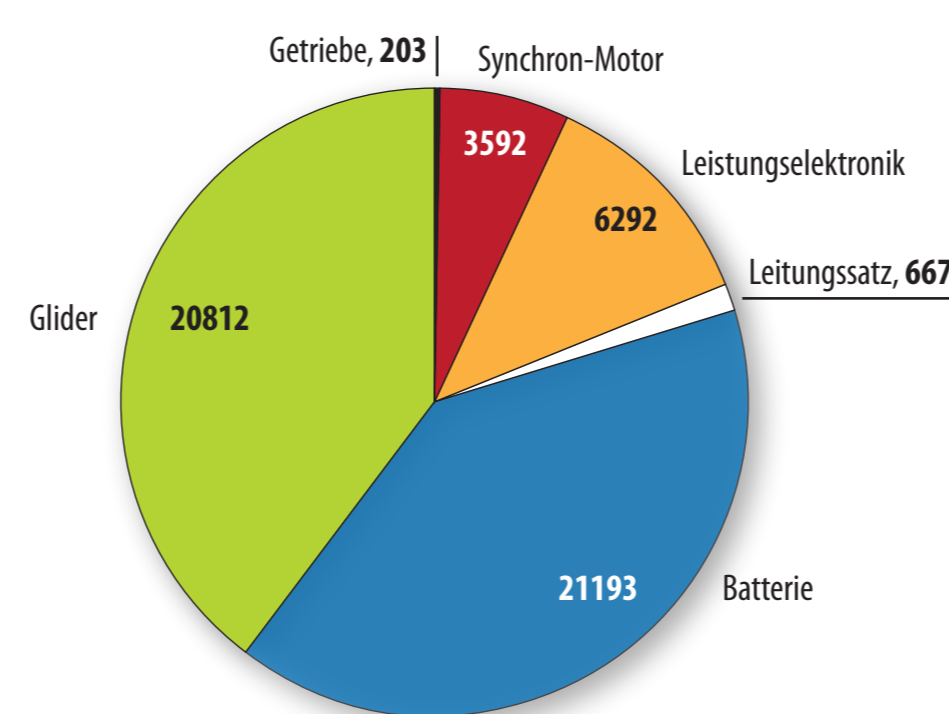
## METHODIK

**1** Definition von Pkw-Typfahrzeugen mit hoher Relevanz für den MIV:

<b>Mittleres MIV-Segment</b>	<b>HEV-B</b> Hybrid Benzin
	<b>PHEV20</b> Plugin-Hybrid
<b>ICE-B</b> Verbrennung Benzin	<b>BEV</b> Batterieelektr.
<b>ICE-D</b> Verbrennung Diesel	<b>REEV80</b> Range Extender
<b>ICE-CNG</b> Verbrennung Erdgas	<b>FCEV</b> Brennstoffzelle

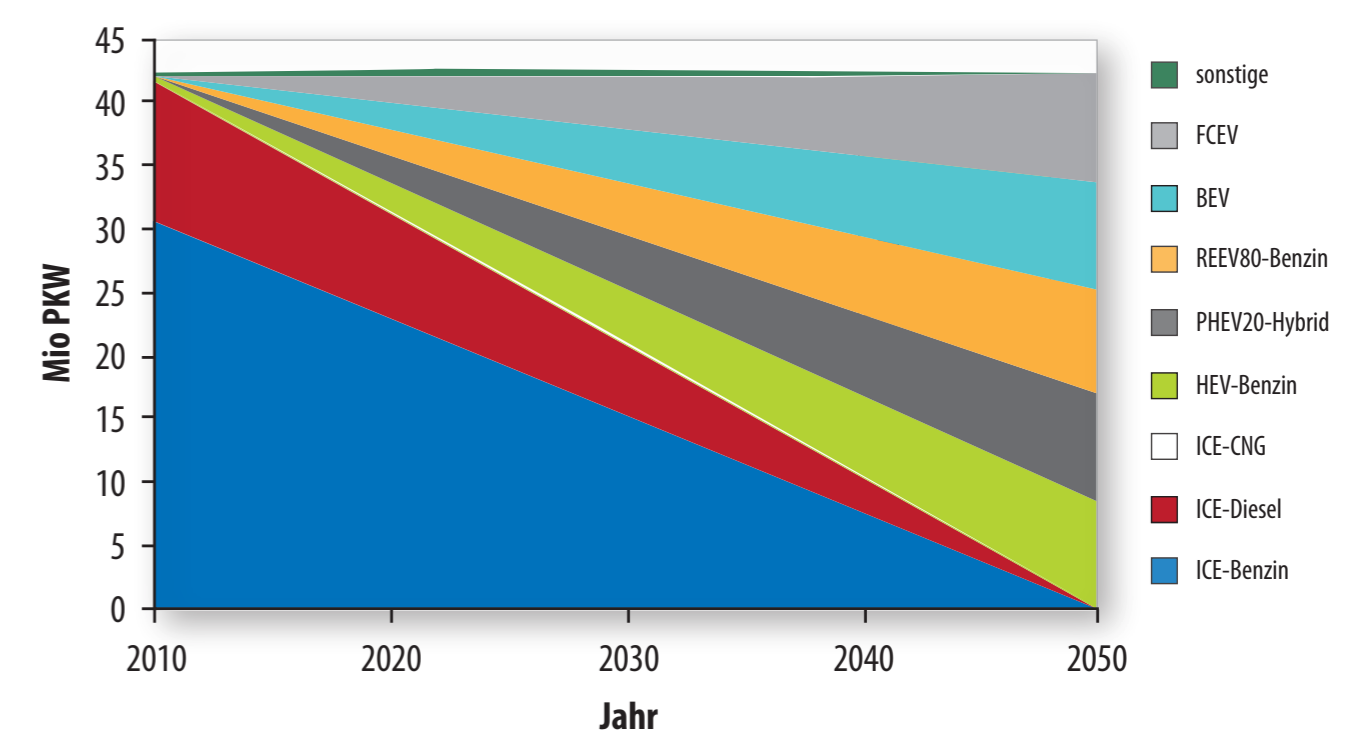
**2** Ermittlung von Ressourcenverbräuchen dieser Pkw (Herstellung, Nutzung, End-of-Life):

Abiotische Materialintensität der Herstellung eines BEV in 2010 nach Komponenten (in kg)



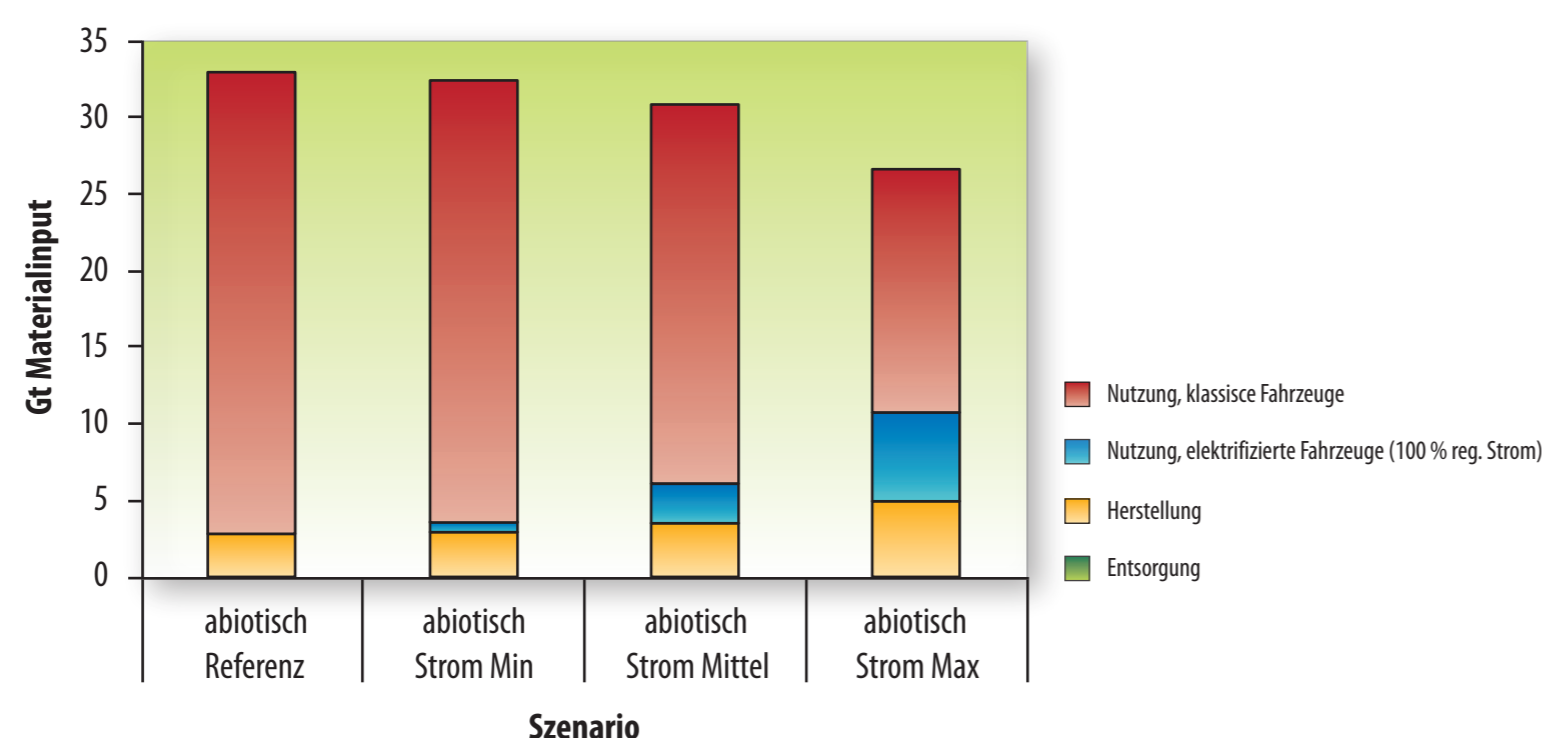
**3** Vier Verkehrsszenarien unterschiedlicher Marktdurchdringung der elektrischen Antriebskonzepte:

PKW-Bestand DE im Szenario STROM-Max



**4** Szenarien als „Rechengerüst“, um Materialverbräuche bis 2050 deutschlandweit (und später weltweit) hochzurechnen:

Abiotische Materialintensität nach Szenarien



Zwei Methoden zur Beurteilung der kumulierten Ressourcenverbräuche

**MIPS-Methode** („Material-Input pro Service-Einheit“) zur Systembewertung: „Materialintensität“ als ökologischer Indikator der Ressourcennutzung über den Lebenszyklus (inkl. „Material-Rucksäcken“)

**Identifikation „kritischer“ Materialien**, bei denen die Verfügbarkeit oder die Umweltgefährlichkeit der Gewinnung die gesetzten Ausbauziele gefährden könnten

## ERGEBNISSE

- Rückkopplung von Optionen zur Optimierung von Ressourcenbedarf, Umweltverträglichkeit und Versorgungsrisiken an die STROM-Projekte
- Ableitung von Handlungsempfehlungen an Forschung, Unternehmen und Politik

Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen

Fördersumme: 1.705.600 €

Projektlaufzeit: Oktober 2011 – September 2014

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium für Bildung und Forschung

# State of the Art and Trends in Vehicle Concept Development with Focus on Battery Technology

## Kraftwerk Batterie



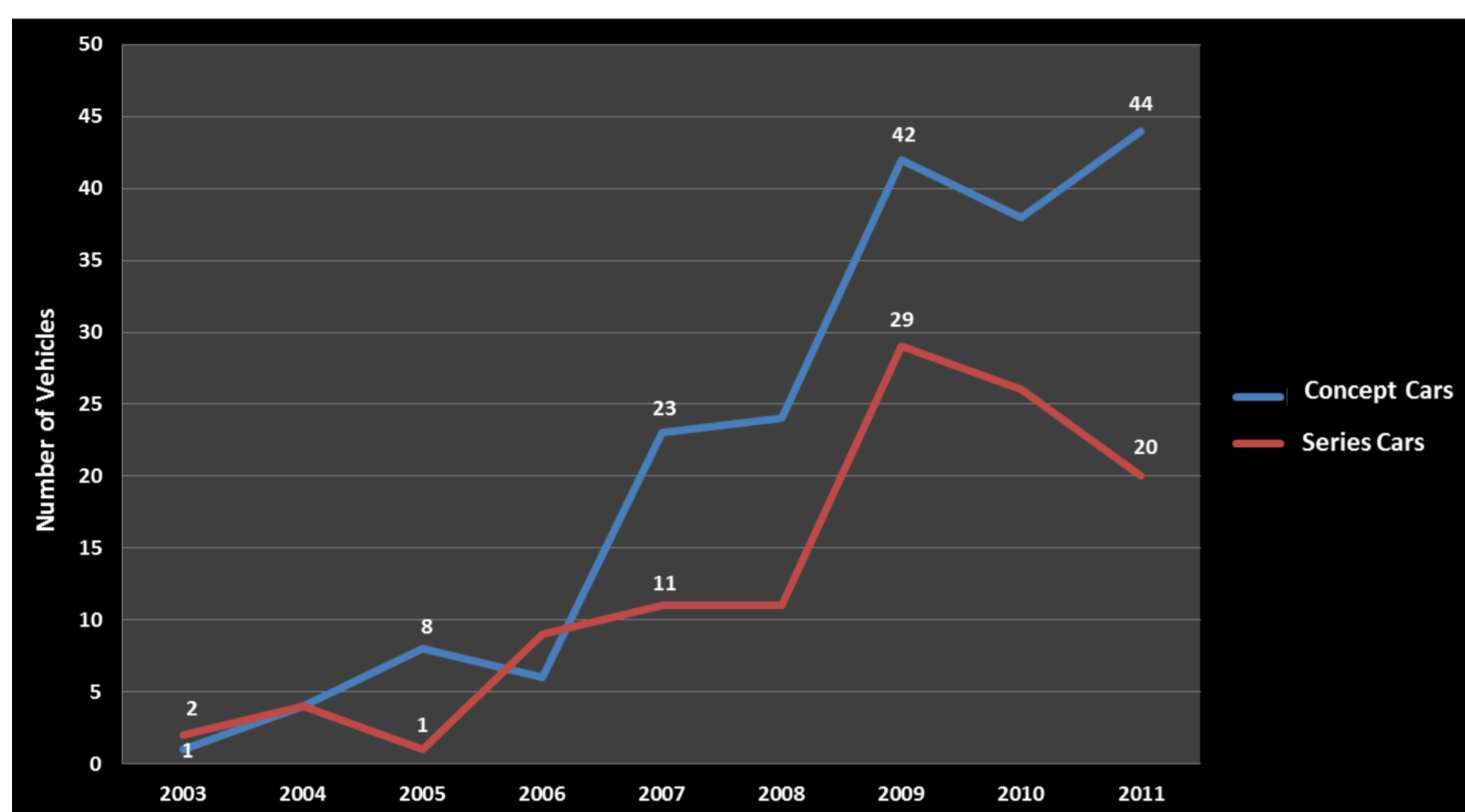
The German Aerospace Center's (DLR) Institute of Vehicle Concepts (Stuttgart, Germany) is carrying out an in-depth **MONITORING OF KEY TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF ELECTRIC MOBILITY.**



Besides the state-of-the-art, also international trends in vehicle concept as well as key technology development are part of the analysis.

Thus, an extensive **VEHICLE CONCEPT DATABASE** is being designed to investigate all electrified passenger cars and technologies used over the last 10 years. Besides series Hybrid Electric Vehicles (HEV), Range Extended Electric Vehicles (REEV) and Battery Electric vehicles (BEV), also concept cars, design studies and close-to-production prototype vehicles are investigated, focusing on market- and technology-based parameters.

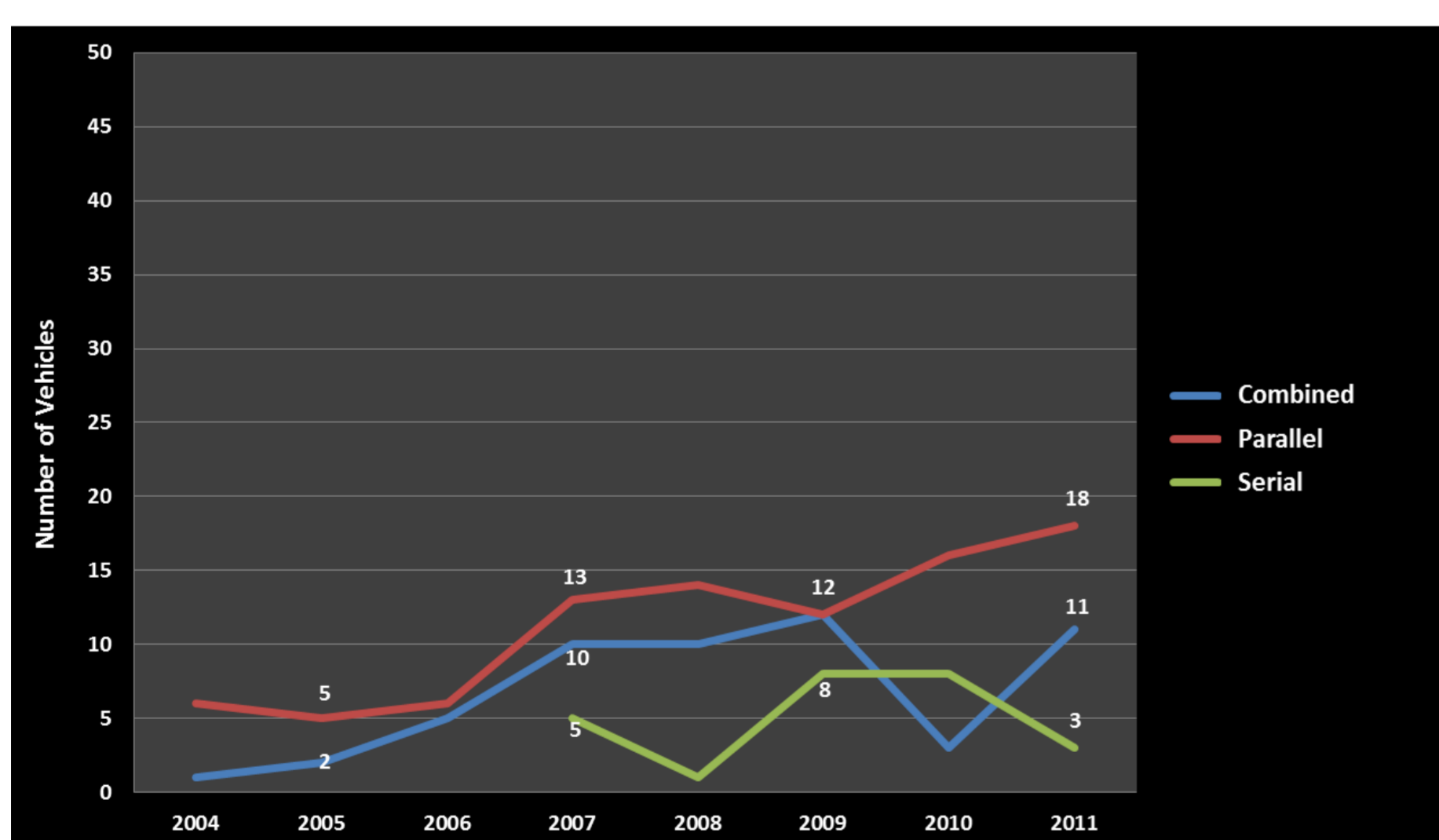
### Development of Concept Cars and Series Vehicles



Between 2003 and 2011 the number of Hybrid and Battery Electric Vehicles in concept stage (blue line) was strongly increasing from 2 vehicles in 2003 to 44 in the year 2011. Following with a time lag of 2 to 4 years, a similar trend can be seen in the development of series vehicles (red line) until the year 2009. However, while prototypes increased from 33 vehicles in 2011 to 44 in 2012, series vehicles decreased from 26 in 2011 to 20 in 2012.

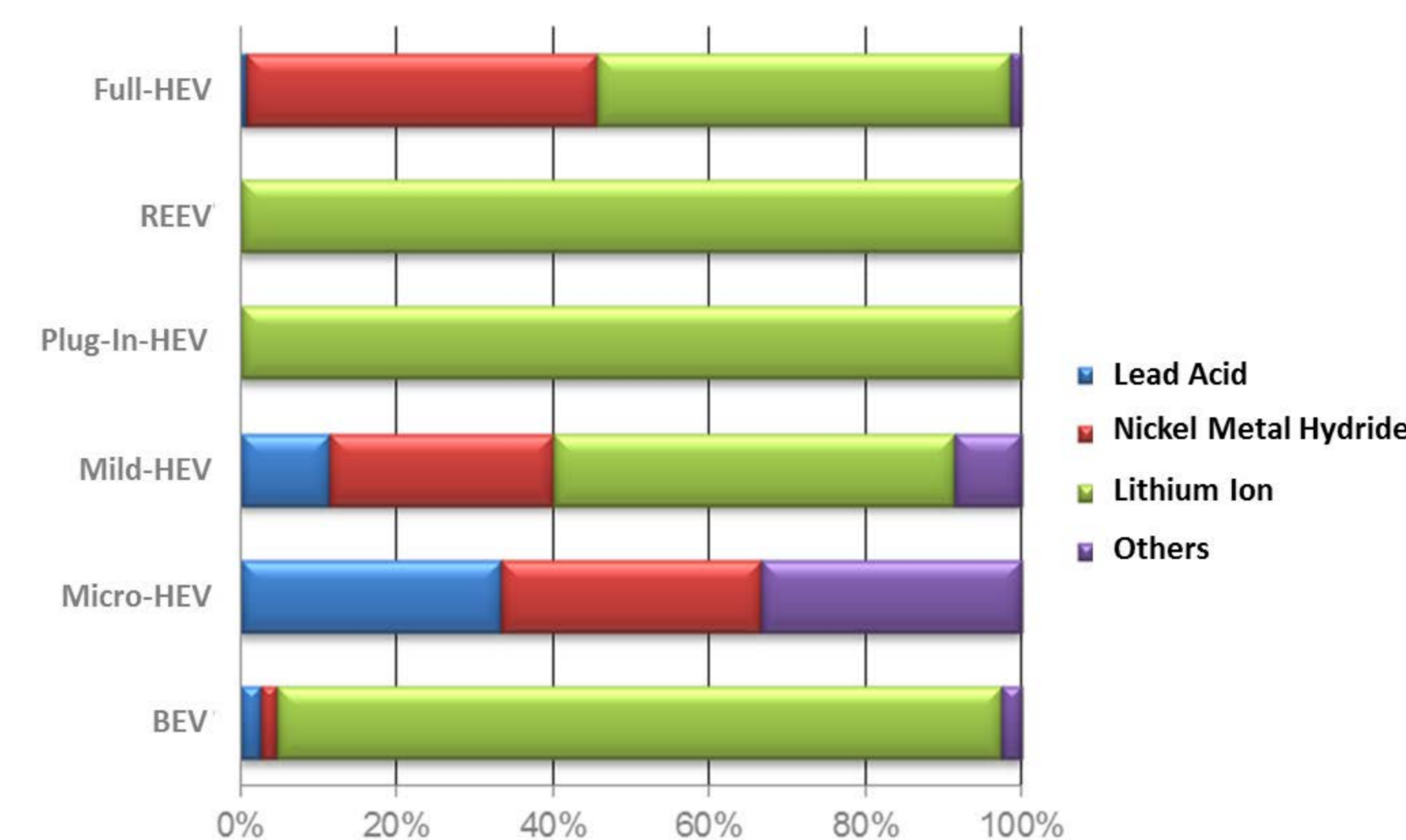
While for HEVs the number of concept cars stays steady at about 20 vehicles from 2007 on, BEV prototypes increase from 3 in the year 2007 to 23 in 2011.

### Development of Hybrid Vehicle Powertrain Architectures



A clear trend can be seen when investigating the powertrain architectures used in Hybrid Electric concept and series Vehicles. The dominating architecture throughout the years 2003 - 2011 is the parallel one (red line), followed by the power-split architecture (blue line). The green line refers to a serial architecture as used in REEVs.

### Battery Technology in Relation to the Degree of Electrification

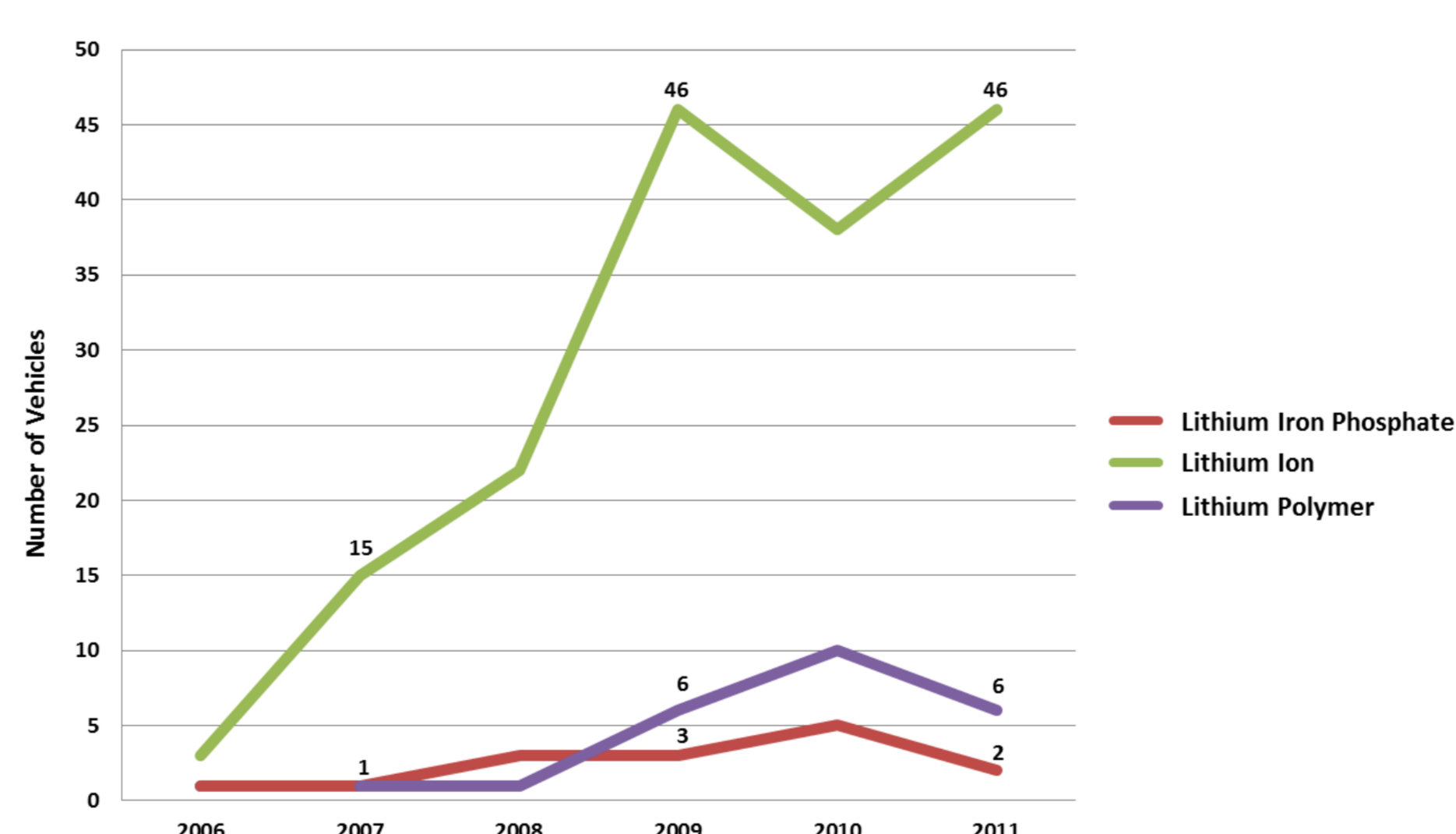


Lithium Ion (Li-Ion) battery technology (green) dominates Range Extended Electric Vehicles (REEV) and Plug-In Hybrid Electric Vehicles completely. For Battery Electric Vehicles (BEV), Li-Ion is the preferred battery technology for almost 95% of all analyzed vehicles.

Considering Full-Hybrid Electric Vehicles, Nickel Metal Hydride (Ni-Mh, red) and Li-Ion batteries have shares of almost 50:50.

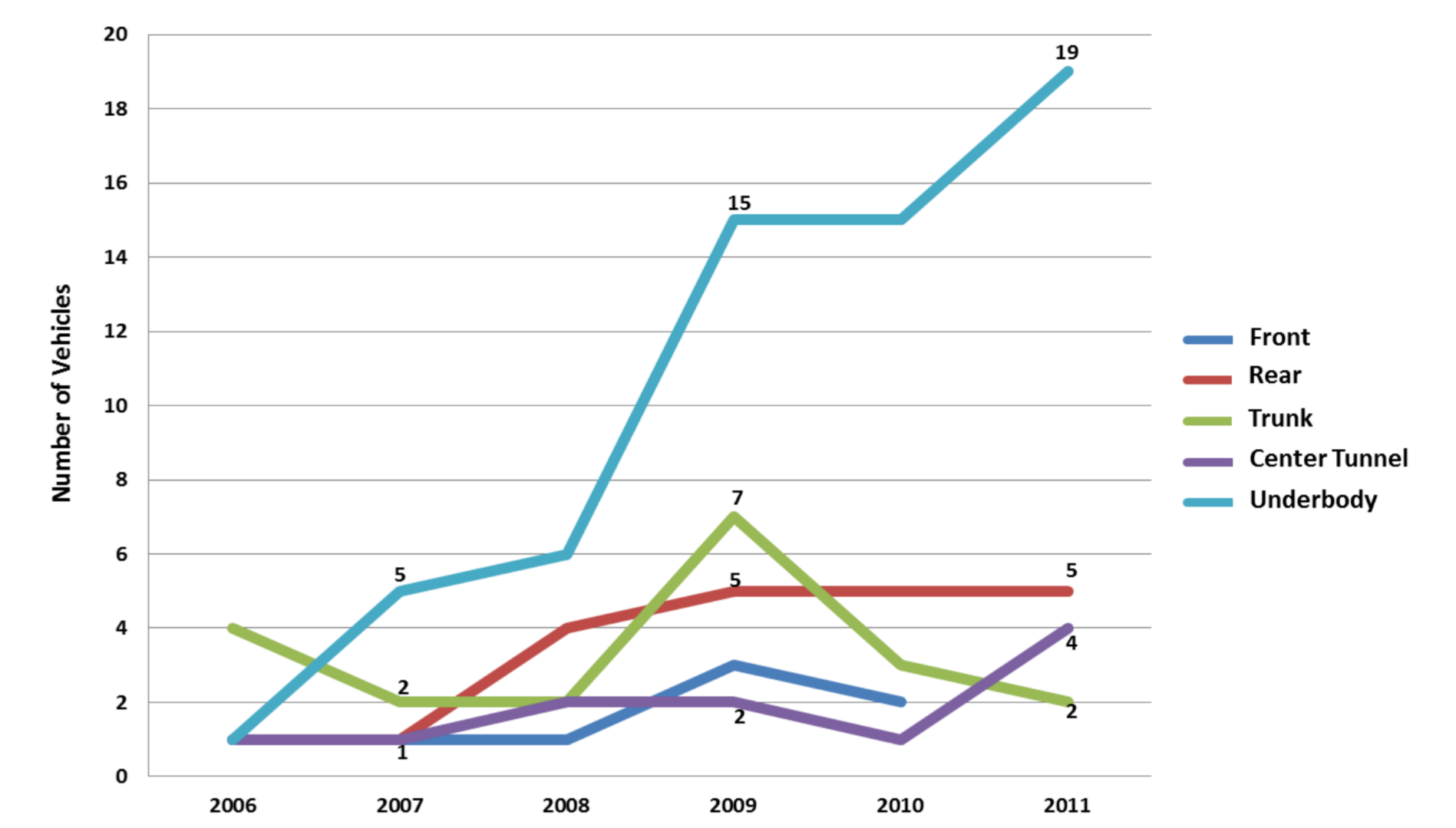
Considering Mild- and Micro-HEVs, also lead acid (blue) and other (purple) battery technologies are being used.

### Development of HEV and BEV Battery Technology



From 2006 to 2011 a strong increase in Li-Ion battery technology (green line) can be investigated starting from only 3 prototype vehicles in 2006 to 46 in 2011. While the use of Lithium Iron Phosphate batteries (red line) remained constant in a range of 1 to 3 vehicles over time, Lithium Polymer batteries (purple line) were increasing from 2008 on, arriving at a peak of 10 vehicles in the year 2010.

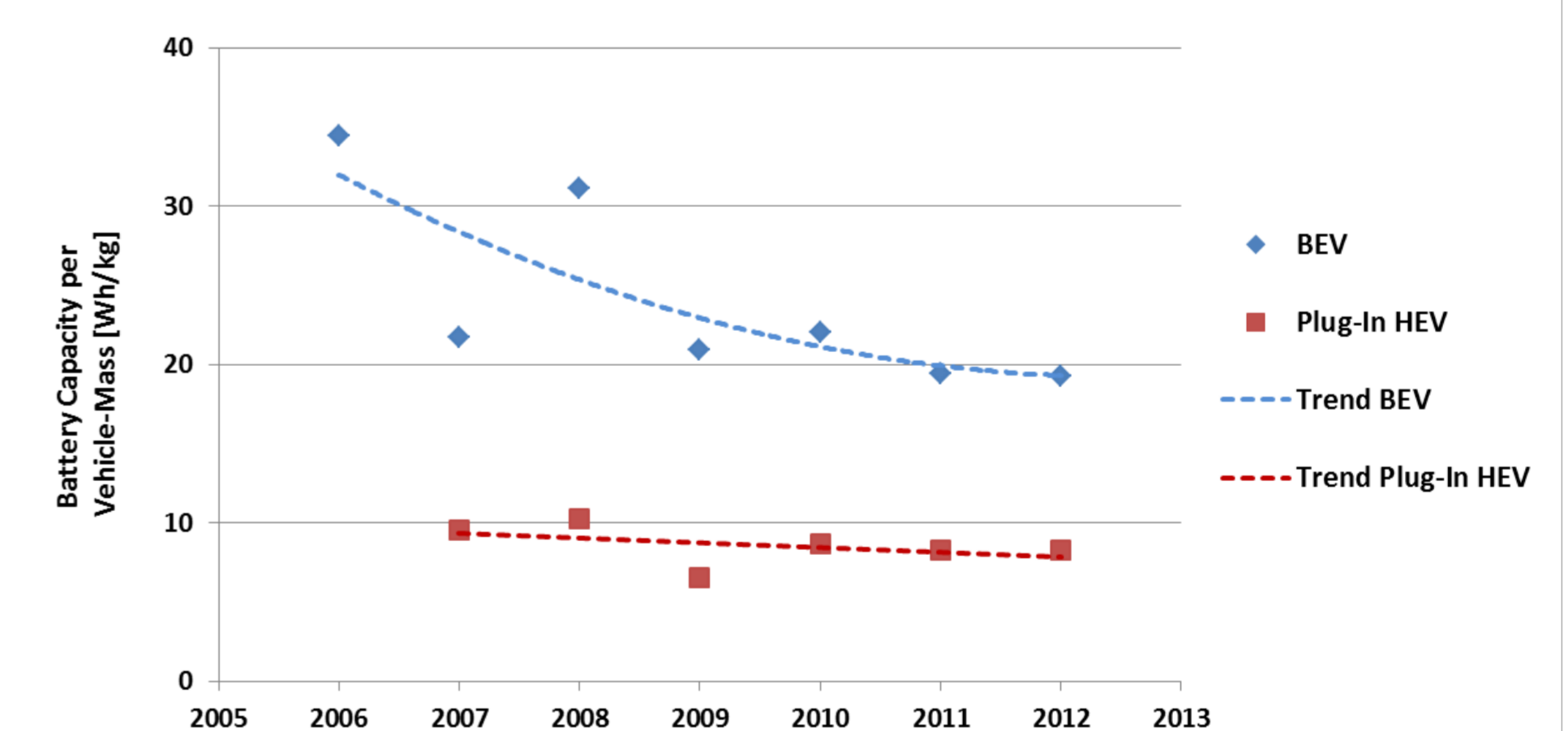
### Development of Battery Installation Site



When investigating the installation site of the battery in Hybrid Electric Vehicles and Battery Electric vehicles, the underbody is by far the preferred location (light blue line).

In the year 2011, this is followed by the rear of the vehicle (red line) and the center tunnel (purple line), showing a strong increase from 2010 to 2011. The trunk (green line) as battery installation site was losing relevance constantly from 2009 on. The front of the car (blue line) is playing a minor role throughout the years 2006 to 2011.

### Development of Specific Battery Capacity for Plug-In-HEV and BEV



Over the years 2006-2012, the arithmetic mean of the specific battery capacity (Wh/kg) was decreasing. While the specific capacity of Plug-In HEVs (red line and dots) was reducing slightly, it was a significant process for BEVs (blue line and dots). The trend for BEVs suggests a capacity of around 20 Wh/kg vehicle mass over the next few years. For Plug-In HEVs, a capacity of around 8 Wh/kg vehicle mass seems to be probable.

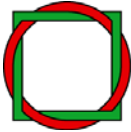
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
German Aerospace Center

Institute of Vehicle Concepts  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

Dipl.-Kfm. (t.o.) Benjamin Frieske  
Phone: +49 711 6862 623  
Fax: +49 711 6862 258  
benjamin.frieske@dlr.de  
www.DLR.de/fk

Dipl.-Ing. Matthias Klötzke  
Phone: +49 711 6862 8092  
Fax: +49 711 6862 258  
matthias.kloetzke@dlr.de  
www.DLR.de/fk





**Wuppertal Institut**  
für Klima, Umwelt, Energie  
GmbH



**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.**  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

---

# Statusseminar - Elektromobilität

## **Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität**

---

Arne Hörtl, Benjamin Frieske (DLR)  
Dr. Claus Barthel (Wuppertal Institut)

Projekt STROMbegleitung

7. Januar 2013

# Agenda

---

- Ziele der STROMbegleitung
- AP1: Projektanalyse zu STROM-Technologien
- AP2: Technologie-Monitoring
- AP3: Materialintensitätsanalyse
- AP4: Globale Studien zur Elektromobilität
- AP1+6: Austausch und laufende Kommunikation mit STROM-Einzelprojekten



# Agenda

---

- Ziele der STROMbegleitung
- AP1: Projektanalyse zu STROM-Technologien
- AP2: Technologie-Monitoring
- AP3: Materialintensitätsanalyse
- AP4: Globale Studien zur Elektromobilität
- AP1+6: Austausch und laufende Kommunikation mit STROM-Einzelprojekten

# Ziele der STROM-Begleitforschung

---

## Einordnung der STROM-Technologien in die internationalen Forschungsaktivitäten






Hinweise für weitere  
Förderprogramme

Informationen und  
Unterstützung für die  
STROM-Projekte

- Welche **erfolgreiche Förderaktivitäten** gibt es in anderen Ländern für welche Zielgruppen?
- Identifikation und Vergleich **ähnlicher technischer Forschungsschwerpunkte in fünf Weltregionen**
- Erfassung der wesentlichen Entwicklungslinien der Elektromobilität und ihre **Einordnung hinsichtlich ihrer Materialintensität**
- Zielgerichteter Austausch und **Begleitung der STROM-Einzelprojekte**
- **Keine Einzelbewertung** oder Evaluierung von Projekten

# Projektanalyse zu STROM-Technologien

---

-  ■ **Erhebung**  
erforderlicher Informationen in Interviews und Workshops.
-  ■ **Analyse der STROM-Projekte**  
nach Inhalt, Ausrichtung, Fokus und Zielen.
-  ■ **Definition der Themen-Cluster**  
zur Ermittlung relevanter Technologiefelder.
-  ■ **Definition des Erfassungs-Konzepts**  
für technische Schlüsselparameter der erforschten Technologien.
-  ■ **Analyse des Forschungsstands national und international**  
Analyse der STROM-Technologien im Kontext internationaler Forschungsaktivitäten.

# Agenda

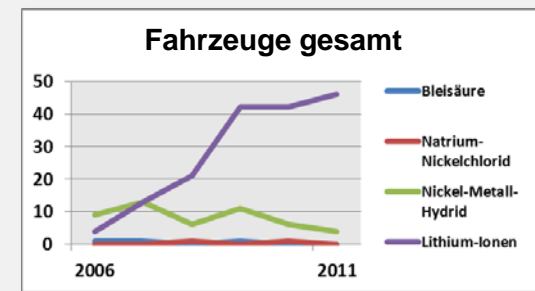
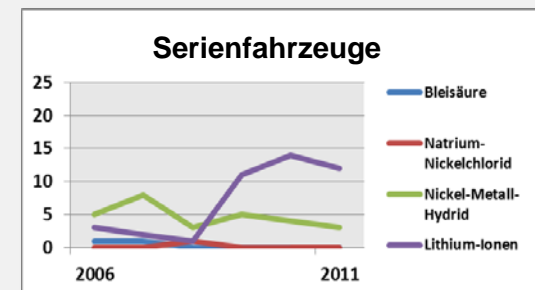
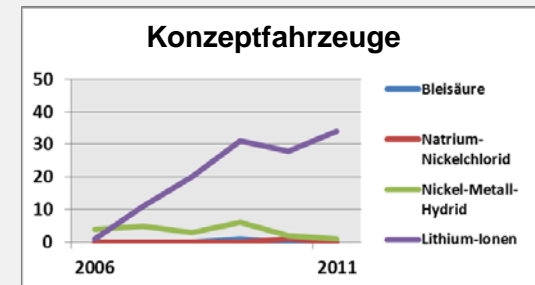
---

- Ziele der STROMbegleitung
- AP1: Projektanalyse zu STROM-Technologien
- **AP2: Technologie-Monitoring**
- AP3: Materialintensitätsanalyse
- AP4: Globale Studien zur Elektromobilität
- AP1+6: Austausch und laufende Kommunikation mit STROM-Einzelprojekten

# Technologie-Monitoring: Fahrzeugkonzept-Datenbank

## Elektrifizierte PKW-Konzepte seit 2001

- **Ziel: Ableitung technologischer und marktlicher Entwicklungstrends**
- 250 Fahrzeuge (Stand 01.12.2012)
- 4 Weltregionen
- 4 Technologie-Felder
- 215 Parameter pro Fahrzeug
- Insgesamt 53.750 Datenpunkte



Quelle: DLR (2012)

# Technologie-Monitoring: Fahrzeugkonzept-Datenbank

---

## Informationsgewinnung

- **Festlegung & Priorisierung der Technologieparameter**
  - Experteninterviews
  - Literaturrecherche
  - Publikationsanalyse
- **Gewinnung von Daten zum Füllen der Datenbank**
  - Literatur-/Internetrecherche
  - Anfrage bei Herstellern/Zulieferern
  - STROM-Projekte



# Technologie-Monitoring: Fahrzeugkonzept-Datenbank

---

## Betrachtete Parameter (1) – „Fahrzeugkonzept“

- **68 Parameter (20 priorisiert), z.B.**
  - Hersteller
  - Modell
  - Weltregion/Land (Hersteller/Zielmarkt)
  - Segment
  - Hybridarchitektur
  - Systemleistung
  - Verbrauch
  - Fahrdynamik
  - Typ Verbrennungsmotor



Quelle: [www.caradvice.com.au](http://www.caradvice.com.au)



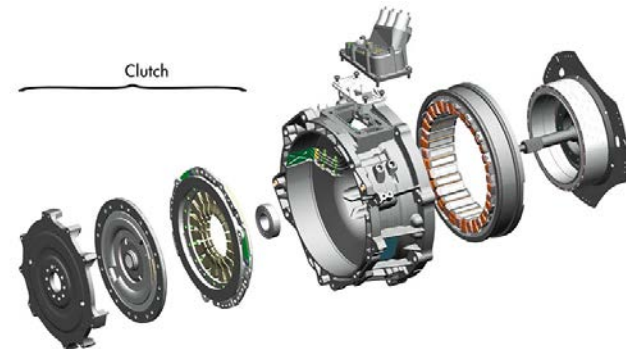
Quelle: [www.motorward.de](http://www.motorward.de)

# Technologie-Monitoring: Fahrzeugkonzept-Datenbank

---

## Betrachtete Parameter (2) – Technologie „Elektromotor“

- 45 Parameter (18 priorisiert), z.B.
  - Bauart
  - Erregungsart
  - Nennleistung
  - Nenndrehmoment
  - Gewicht
  - Einbauort
  - Thermomanagement



Quelle: VW AG

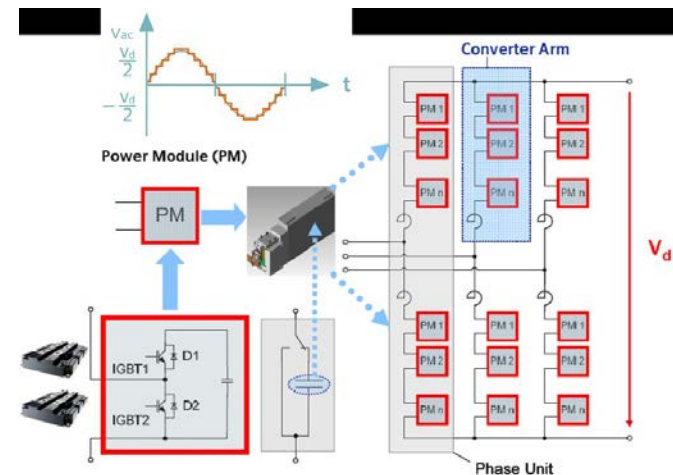


# Technologie-Monitoring: Fahrzeugkonzept-Datenbank

## Betrachtete Parameter (3) – Technologie „Leistungselektronik“

### ■ 37 Parameter (10 priorisiert), z.B.:

- Hersteller
- Spannungsbereich
- Eingangsbereich
- Ausgangsbereich
- Leistungsdichte
- Masse
- Volumen
- Thermomanagement



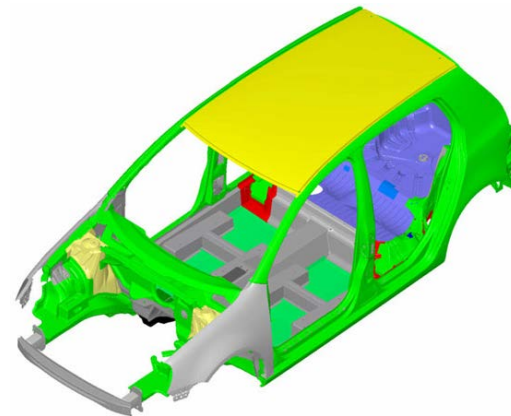
Quelle: VDE

# Technologie-Monitoring: Fahrzeugkonzept-Datenbank

---

## Betrachtete Parameter (4) – Technologie „Leichtbau“

- **23 Parameter (4 priorisiert), z.B.:**
  - Karosseriegewicht
  - Leichtbaumaßnahme
  - Bauweise
  - Leichtbaugüte
  - Werkstoffe
  
  - NCAP-Ergebnisse



Quelle: SuperLIGHT-CAR

# Technologie-Monitoring: Fahrzeugkonzept-Datenbank

---

## Betrachtete Parameter (5) – Technologie „Batterie“

- **42 Parameter (21 priorisiert), z.B.**
  - Zelltechnologie
  - Physikalische Energie
  - Nutzbare Energie
  - Leistung
  - Masse
  - Volumen
  - Thermomanagement

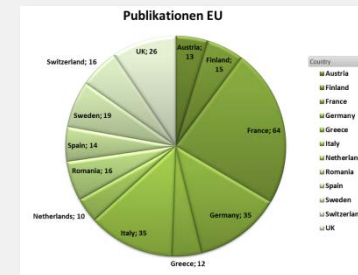
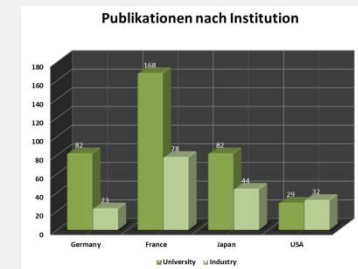


Quelle: Opel AG

# Technologie-Monitoring: Forschungs- & Trendanalysen

## Publikationsanalyse „Elektrische Maschine“

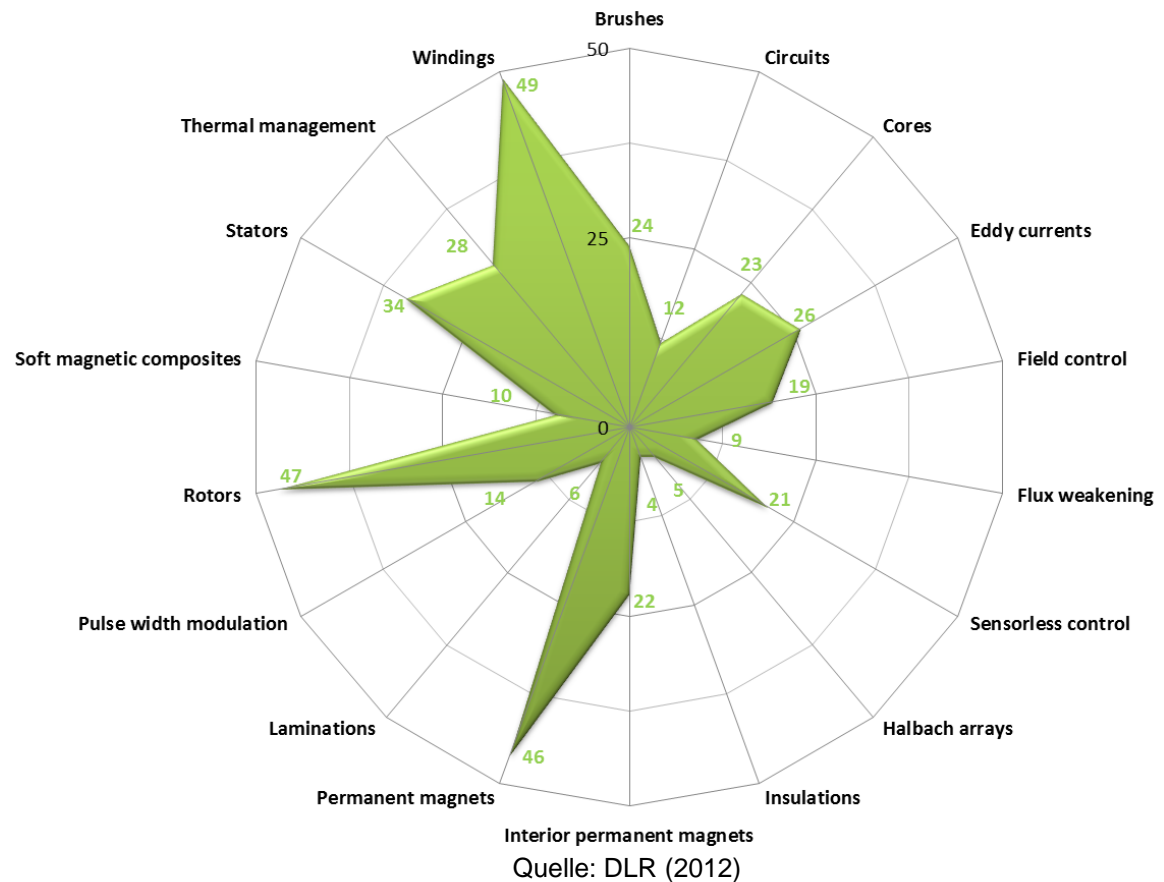
- **Ziel: Identifikation von Schwerpunkten und Trends F&E**
- **2012: Analyse von knapp 500 Veröffentlichungen abgeschlossen**
- **Weitere 581 Veröffentlichungen** laufend (Q1 2013)
  
- Dimensionen:
  - Forschungsfeld
  - Technologie
  - Parameter
  - Institution
  - Weltregion
  - Land
  - Autor



Quelle: DLR (2012)

# Technologie-Monitoring: Forschungs- & Trendanalysen

- Analyse von Publikationen nach Technologien
- Zwischenergebnis für 2012
- Ca. 40% der (ISI-)referierten Publikationen ausgewertet
- Stand 01.12.2012



# Technologie-Monitoring: Ausblick 2013 - 2014

---

## ■ Patentanalysen & Publikationsanalysen

- In den **Technologiefeldern** Elektromotor, Range Extender, Leistungselektronik, Thermomanagement
- Im **Zeitverlauf** zur Abbildung von Entwicklungstrends (2002-2012)
- In **Weltregionen** zum Vergleich internationaler Forschungsschwerpunkte
- **1. Bericht:** Q3 2013 / **Abschluss:** Q2 2014

## ■ Analyse Fahrzeugkonzepte

- Screening von Datenquellen  
Publikationen, Konferenzbeiträge, Zeitschriften, Internet, Interviews
- Umfang: Ca. 250 Fahrzeuge \* 215 Indikatoren = 53.750 Datenpunkte
- Schnittstelle zu EMOTOR (Fraunhofer ISI)
- Auswertung und Interpretation im Rahmen einer wissenschaftlichen Arbeit
- **1. Bericht:** Q1 2013 / **Abschluss:** Q2 2014

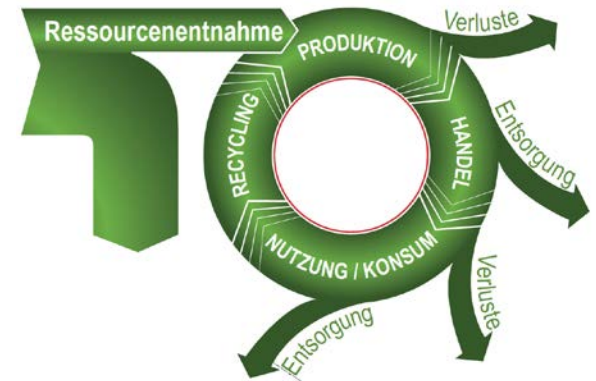
# Agenda

---

- Ziele der STROMbegleitung
- AP1: Projektanalyse zu STROM-Technologien
- AP2: Technologie-Monitoring
- **AP3: Materialintensitätsanalyse**
- AP4: Globale Studien zur Elektromobilität
- AP1+6: Austausch und laufende Kommunikation mit STROM-Einzelprojekten

# Materialintensitätsanalyse (MAIA): Fragestellungen

- **Kritische Ressourcen für Zukunftstechnologien (auch für Elektromobilität) stehen zunehmend im Fokus politischer Aktivitäten und Konzepte.**
- **Betrachtete Faktoren:**
  - Bedarf und geologische Verfügbarkeit
  - Liefersituation
  - Umweltrelevanz bei steigender Nachfrage
- **Fragestellung der STROM-Begleitforschung**
  - Welche Ressourcenbedarfe und Versorgungsrisiken könnten mit verschiedenen Ausbaupfaden der Elektromobilität verbunden sein?
  - Wie könnten diese frühzeitig bei der technologischen Entwicklung vermieden werden?
  - Welche Handlungsempfehlungen lassen sich für Forschung, Unternehmen und Politik daraus ableiten?





# Materialintensitätsanalyse (MAIA): Vorgehensweise und Rückkopplung mit den STROM-Projekten

---

## ■ Vorgehensweise

- Identifizierung und Auswahl wesentlicher Fahrzeugtypen
- Bilanzieren der direkten und indirekten Stoffflüsse bei der Herstellung und Nutzung der Fahrzeuge
- Hochrechnung und Bewertung der Ressourcenbedarfe entlang von Verkehrsszenarien
- Handlungsempfehlungen zur Vermeidung möglicher Ressourcen-Konflikte

## ■ Interaktion mit den STROM-Projekten

- Experteneinschätzungen zu Technologien, Komponenten, Konzepten
- Falls möglich, Datenbereitstellung für Stoffinventare (Verbrauch von Material x pro Fahrzeugeinheit)
- Diskussion der Ergebnisse zur Optimierung der Entwicklungs- und Produktionsprozesse

# Agenda

---

- Ziele der STROMbegleitung
- AP1: Projektanalyse zu STROM-Technologien
- AP2: Technologie-Monitoring
- AP3: Materialintensitätsanalyse
- **AP4: Globale Studien zur Elektromobilität**
- AP1+6: Austausch und laufende Kommunikation mit STROM-Einzelprojekten

# Globale Studien zum Stand der Elektromobilität

## ■ Ziele

- Analyse und Bewertung der globalen Marktentwicklung, Trends und Perspektiven, Roadmaps und Förderansätzen zur Elektromobilität

## ■ Forschungsgegenstand

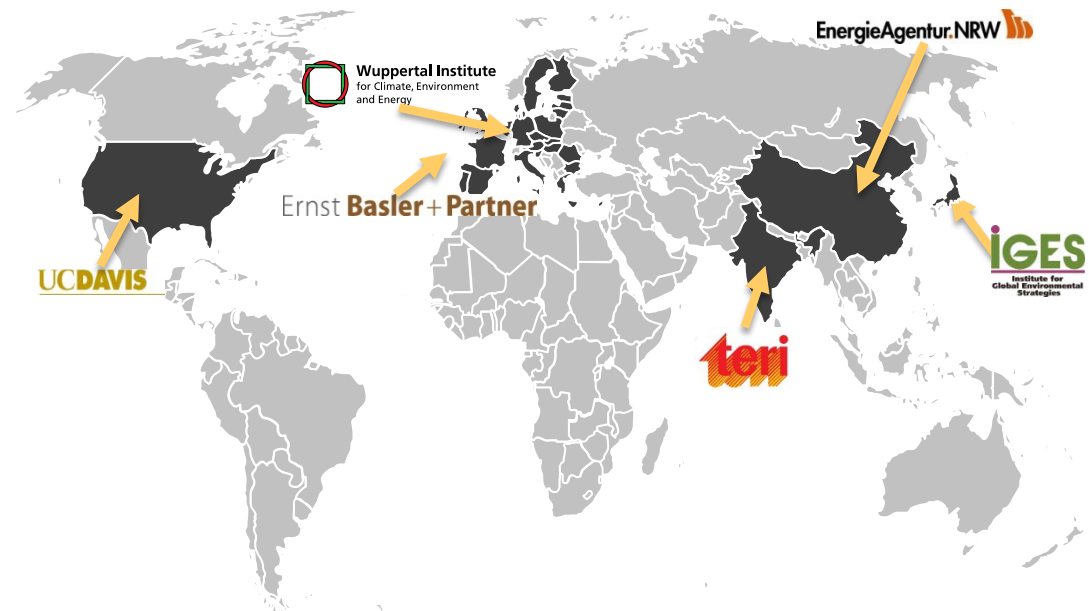
- Verschiedene Arten elektrischer Fahrzeuge (Pkw) mit unterschiedlichem Elektrifizierungsgrad (Mild-Hybrid bis rein elektrisch angetriebene Pkw)
- Analyse entlang vier Untersuchungsfeldern mit spezifizierten Themen und Detailfragen

Staatliches Handeln, Politik, öffentliche Infrastruktur	Forschung und Entwicklung	Wirtschaft und Industrie	Markt und Verbraucher
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akteure</li> <li>• Ziele und Strategien</li> <li>• Regulatorischer Rahmen</li> <li>• Förderpolitik</li> <li>• Strom: Erzeugung, Versorgung, Speicherung</li> <li>• Infrastruktur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akteure</li> <li>• Forschungsförderung</li> <li>• Fahrzeuge, Fahrzeug- und Verkehrskonzepte</li> <li>• Ladetechnologie und Ladeinfrastruktur</li> <li>• Geschäftsmodelle und Mobilitätskonzepte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akteure</li> <li>• Fahrzeuge, Fahrzeug- und Verkehrskonzepte</li> <li>• Ladetechnologie und Ladeinfrastruktur</li> <li>• Geschäftsmodelle und Mobilitätskonzepte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen</li> <li>• Mobilitätsverhalten und Akzeptanz von E-Fzg.</li> <li>• Marktperspektiven</li> </ul>

# Globale Studien zum Stand der Elektromobilität

## ■ Vorgehen und Zeitplanung

- ✓ ■ Erstellung einer thematischen Struktur und eines Analyserasters (abgeschlossen)
- Erstellung von fünf Länderstudien (+ Deutschlandstudie) in Kooperation mit regionalen Partnern (Entwurf Q2 2013)
- Gemeinsamer Workshop zur Diskussion erster Forschungsergebnisse (10.-12. April 2013)
- Vertiefung der Länderstudien durch Forschungsreisen (Entwurf Q2 2013)
- Abschließende Regionalberichte und Globalstudie (Entwurf Q4 2013)



# Agenda

---

- Ziele der STROMbegleitung
- AP1: Projektanalyse zu STROM-Technologien
- AP2: Technologie-Monitoring
- AP3: Materialintensitätsanalyse
- AP4: Globale Studien zur Elektromobilität
- AP1+6: Austausch und laufende Kommunikation mit STROM-Einzelprojekten

# Kommunikation und STROM-Workshops

---

- **Plattform für Austausch mit den STROM Projekten: 3 STROM-Workshops**
  1. 25.06.2012: „Monitoring der STROM-Technologien: Chancen und Herausforderung für Fahrzeugkonzepte von morgen“
  2. 12.4.2013: Präsentation der Zwischenergebnisse, Präzisierung der noch zu bearbeitenden Aufgaben, Einbezug Regionalstudien
  3. Gegen Ende der Laufzeit: Präsentation und Diskussion der Ergebnisse, Spiegelung am mittlerweile erzielten Fortschritt in den Projekten
- **Gesprächsrunden mit STROM Einzelprojekten: Austausch per Email, Telefon und/ oder Face-to-Face zu Projektarbeiten**
- **Trendnewsletter**

# Ansprechpartner

---

- **DLR – Deutsches Zentrum für Luft & Raumfahrt e.V.**

- Institut für Verkehrsforschung (Projektleitung)

- Markus Mehlin [Markus.Mehlin@dlr.de](mailto:Markus.Mehlin@dlr.de) / Tel: +49 (0)30 67055 211

- Institut für Fahrzeugkonzepte (Technologie-Monitoring)

- Benjamin Frieske [Benjamin.Frieske@dlr.de](mailto:Benjamin.Frieske@dlr.de) / Tel: +49 (0)711 6862 623

- **Wuppertal Institut für Klima, Umwelt & Energie GmbH**

- Materialintensitätsanalyse, Regionalstudien

- Dr. Claus Barthel [Claus.Barthel@wupperinst.org](mailto:Claus.Barthel@wupperinst.org) / Tel: +49 (0)202 2492 166

# Schlüsseltechnologien der Elektromobilität (STROM)

## STROM – Begleitforschung zu Technologien und Perspektiven der Elektromobilität

### Technologie-Monitoring

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)**  
Institut für Fahrzeugkonzepte

Prof. Dr.-Ing. Horst E. Friedrich  
Dipl.-Ing. Matthias Klötzke  
Dipl.-Kaufm. (t.o.) Benjamin Frieske

Gefördert durch:  
 Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Wissen für Morgen





# STROM – Konsortium Begleitforschung

## DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

- Institut für Fahrzeugkonzepte, Stuttgart
  - Technologie-Monitoring
  - Trendanalyse und Technologiebewertung
  - Simulation und Fahrzeug-Szenarien
- Institut für Verkehrsforschung, Berlin
  - Trendanalyse Verkehr
  - Nutzungsverhalten und Szenarien Elektromobilität

## Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

- Materialintensitätsanalyse
- Regionalstudien



DLR Institut für Fahrzeugkonzepte



DLR Institut für Verkehrsforschung



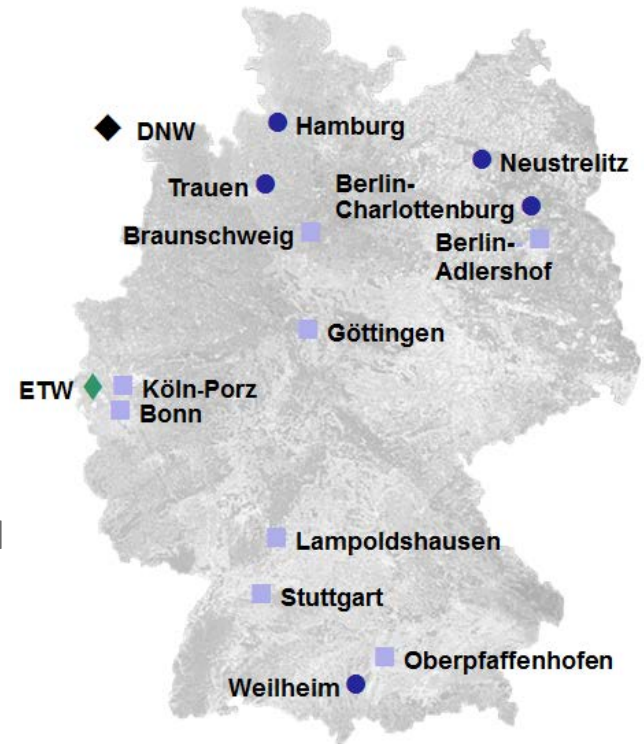
Wuppertal Institut



# DLR – Im Überblick

- Größte europäische Forschungseinrichtung für Luft-Raumfahrt
- Raumfahrt-Agentur
- Projektträger

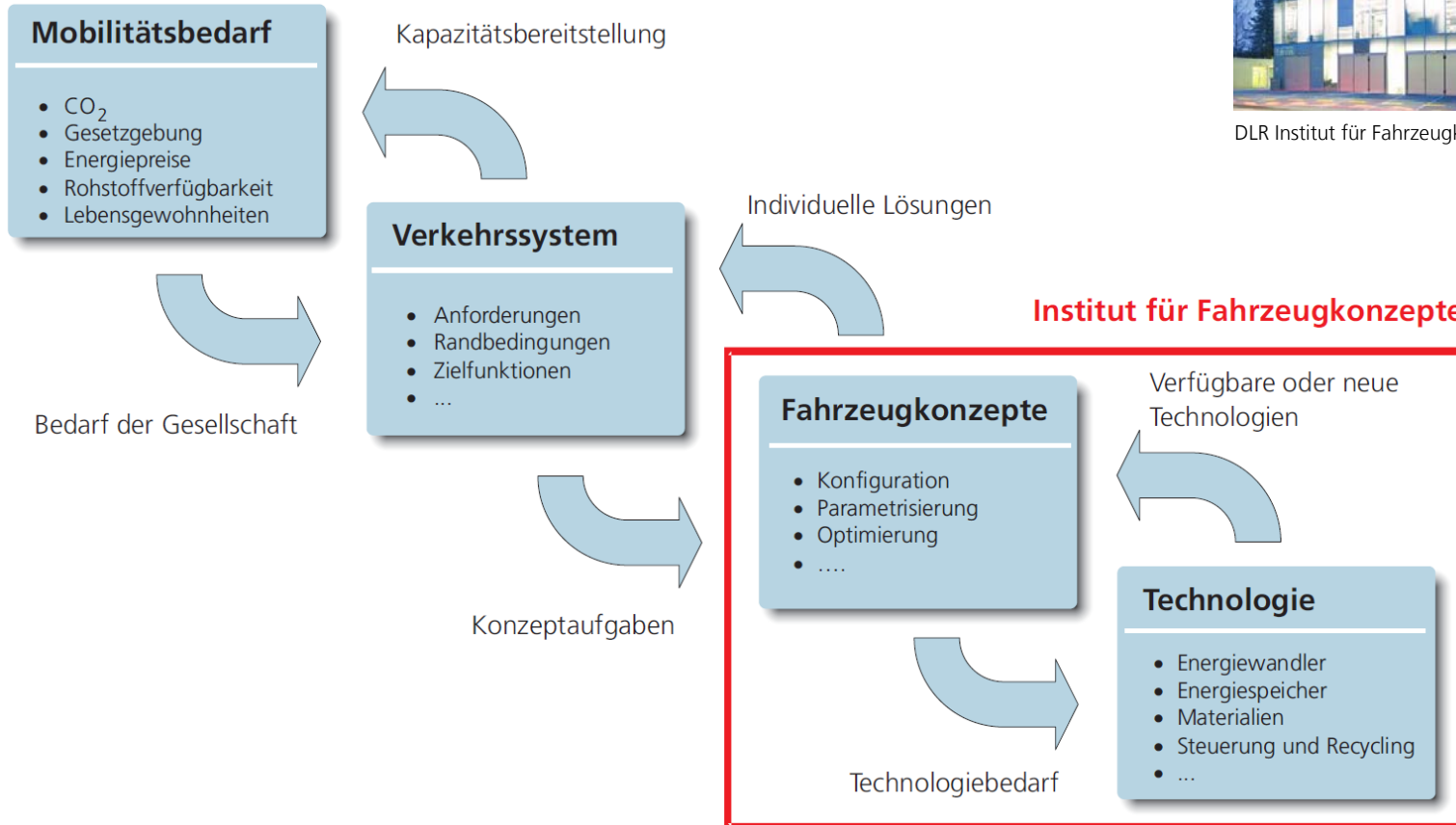
Ca. 7.000 Mitarbeiter arbeiten in 33 Forschungsinstituten und Einrichtungen an 9 Standorten und 7 Außenstellen.  
Außenbüros in Brüssel, Paris und Washington



# DLR – Institut für Fahrzeugkonzepte



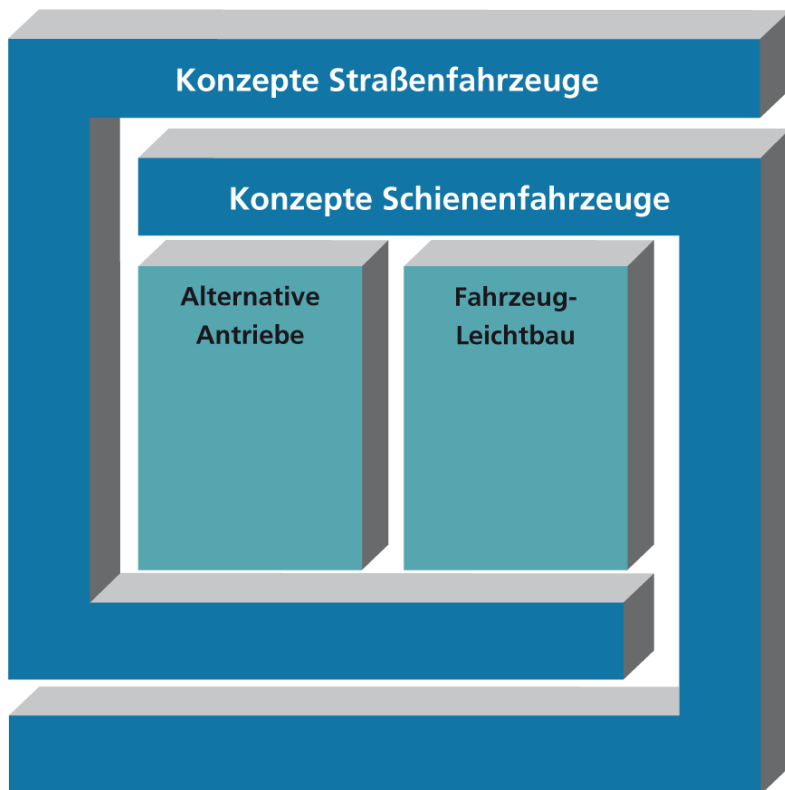
DLR Institut für Fahrzeugkonzepte



# DLR – Institut für Fahrzeugkonzepte



DLR Institut für Fahrzeugkonzepte



**System- und Konzept-Forschung  
für Straßen- und Schienenfahrzeuge**

+

**Leading-Edge-Forschung in  
ausgewählten Technologien**



**Forschung für eine sichere, nachhaltige und  
wirtschaftliche Mobilität der Zukunft**



# STROM – Rahmen des BMBF-Förderprogramms

- **Volumen:** ca. 160 Mio. €
- **Anzahl der geförderten Projekte:** 19
- **Bereiche:** Gesamtsystem, Energie- & Thermomanagement, Antriebssystem
- **Auftraggeber:** BMBF (Referat 523)
- **Zeitraum:** Okt. 2011 - Sep. 2014



SIEMENS

HEGEMANN



FEV\*



PORSCHE



BOSCH

ICM<sup>®</sup>

Institut Chemnitz  
Maschinen- und Anlagenbau e.V.

Continental  
TEMIC

RWTH AACHEN  
UNIVERSITY

UNI KASSEL  
VERSITÄT

Heraeus



DAIMLER



\* Auszug beteiligter Unternehmen am STROM Programm



# STROM – Rahmen der Begleitforschung

- **Volumen:** 1,7 Mio. €
- **Koordinator:** Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
- **Auftraggeber:** BMBF (Referat 523)
- **Zeitraum:** Okt. 2011 - Sep. 2014
  
- **Ziel:** Einordnung der STROM-Technologien in die internationalen Forschungsaktivitäten



**1. Hinweise für zukünftige Förderprogramme**

**2. Informationen und Unterstützung für die STROM-Projekte**



- Zielgerichteter Austausch und Begleitung der STROM-Einzelprojekte
- Keine Einzelbewertung von Projekten oder Evaluierung



# STROM – Forschungsfragen der Begleitforschung



- Welche **Trends** zeichnen sich bei Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und elektrifizierten Fahrzeugkonzepten ab?
- Welche **Forschungsschwerpunkte** und **Förderaktivitäten** gibt es in anderen Weltregionen?
- Welchen **Stand hat die Technologieentwicklung** im nationalen und internationalen Vergleich?

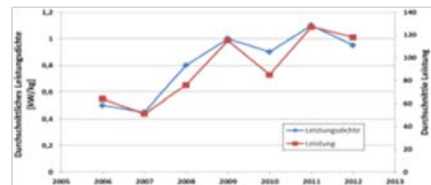
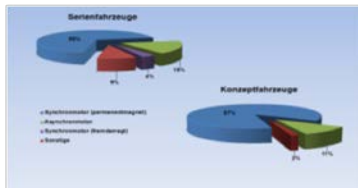
- **5 Weltregionen** (Europa, USA, China, Japan, Indien)
- **5 Technologiefelder** (Elektromotoren, Leistungselektronik, Leichtbau, Range Extender, Thermomanagement + *Batterie*)
- **Elektrifizierte PKW** (Hybridfahrzeuge, Batteriefahrzeuge, Konzept-, Prototypen- & Serienfahrzeuge)
- **Zeitraum: ca. 10 Jahre** (Entwicklungen ab 2001)



# STROM – Methodik der Begleitforschung

## Technologie-Monitoring

- Fahrzeugkonzept-Datenbank
- Publikationsanalysen
- Patentanalysen
- Experteninterviews (national & international)
- Regionalstudien
- Workshops
- Simulation
- Fahrzeug-Szenarien (*VECTOR21*)



Quelle: dlr, sip, cgk





# STROM – Technologie-Monitoring

## Untersuchungsgegenstand

### ■ Fahrzeugkonzepte

z.B. Hybrid-Antriebsarchitekturen, Conversion & Purpose Design, Crashesicherheit

### ■ Elektromotoren

z.B. Synchronmaschine, Asynchronmaschine, Transversalflussmaschine, Materialien Rotor und Stator, Substitution Permanentmagnete

### ■ Leistungselektronik

z.B. Materialien Halbleiter (SiC & GaN), Hochstromleiterplatten, Aufbau- und Verbindungstechnik, Keramikplatinen, Diffusionspasten

### ■ Leichtbau

z.B. Materialien (Stahl, Aluminium, Magnesium, Kunststoff, CFK), Bauweisen

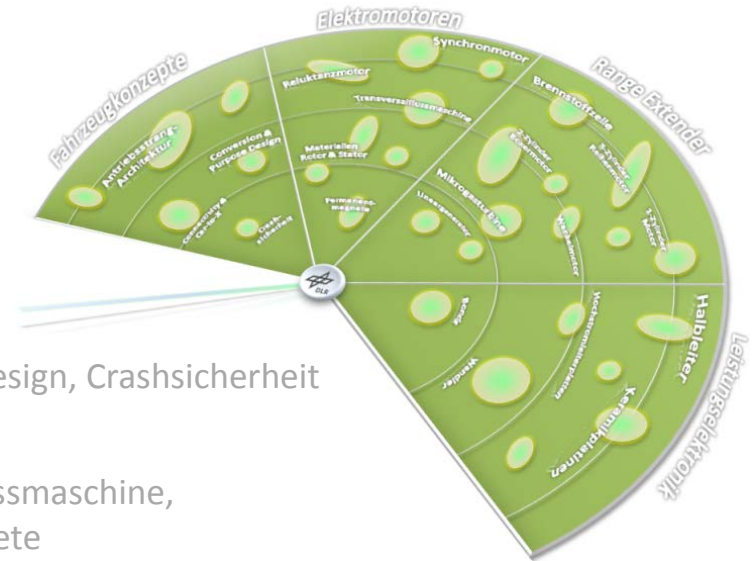
### ■ Range Extender

z.B. 3-Zylinder & 2-Zylinder Reihenmotor, 1-Zylinder Motor, 2-Zylinder Boxermotor & V-Motor, Wankelmotor, Brennstoffzelle, Freikolbenlineargenerator, Mikrogasturbine, Kugelmotor

### ■ Thermomanagement

z.B. Zeolithkühlung, Flächenheatpipes, Luftkühlung, Wasserkühlung

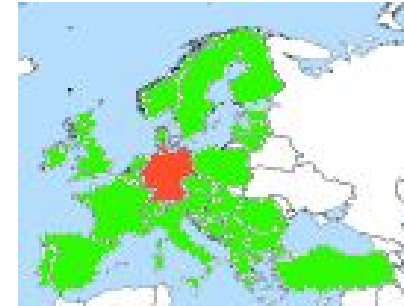
### ■ + Batterie



# STROM – Experteninterviews und Regionalstudien

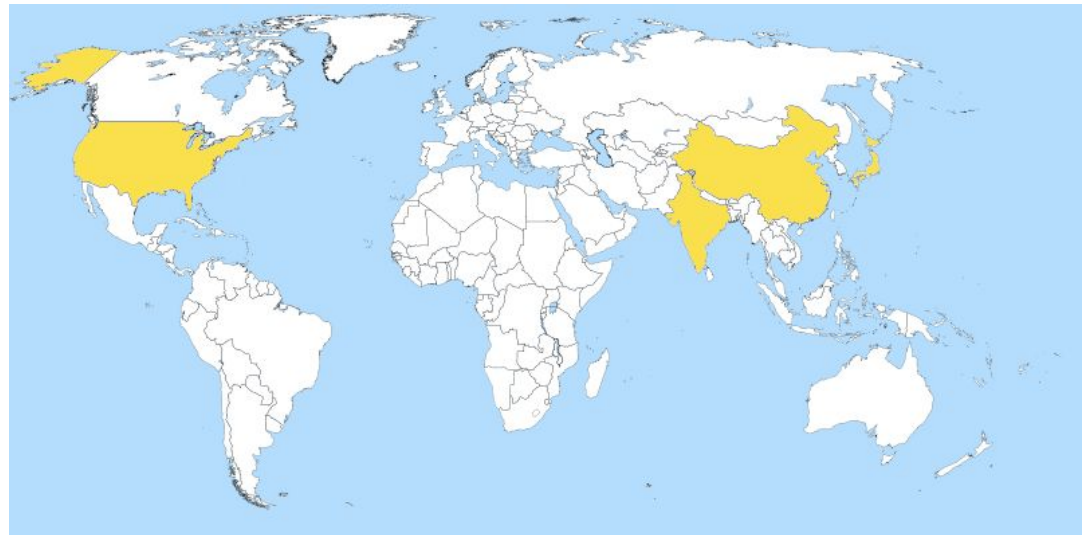
## Nationale und europäische Aktivitäten

- Besuch von relevanten Konferenzen in Deutschland und anderen europäischen Ländern
- Interviews mit Experten aus Industrie, Politik und Wissenschaft



## Internationale Aktivitäten

- Reisen in 5 Weltregionen  
Europa, China, Indien, Japan, USA
- Interviews mit Experten aus  
Industrie, Politik & Wissenschaft
- Besuch von Konferenzen



Quelle: Weltkarte.com



# STROM – Experteninterviews und Regionalstudien

## Vorgehensweise

- Einbindung von externen, regional spezifisch kompetenten Instituten zur Erschließung von Informationen und Kontakten in den Untersuchungsregionen
- Gemeinsame Workshops und Reviews der Forschungsergebnisse

Partnerinstitute	Untersuchungsraum
University of California, Davis	OECD Amerika mit USA
Institute for Global Environmental Strategies (IGES)	OECD Asien mit Japan
Ernst Basler & Partner AG, Zollikon, Schweiz	OECD Europa mit der EU
The Energy and Resources Institute (TERI), New Dehli	Indien (+ „rest of world“)
German Chinese Fuel Partnership (GCSFP)	China

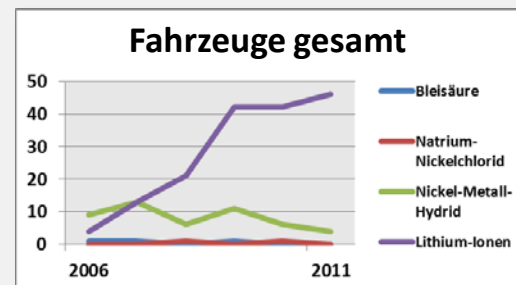
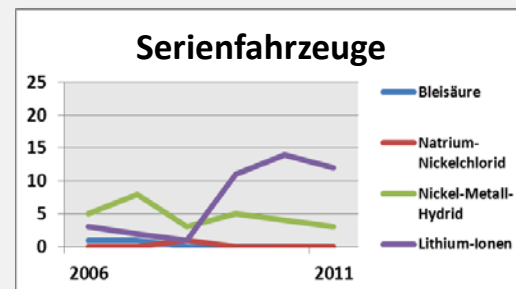
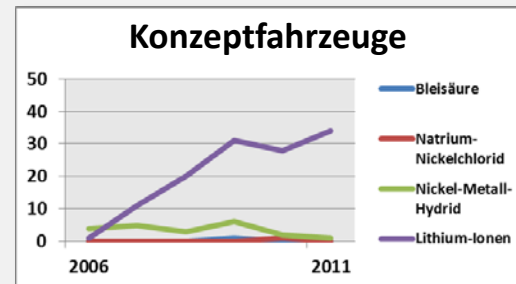


# STROM – Technologie-Monitoring

## Fahrzeugkonzept-Datenbank

### Elektrifizierte PKW-Konzepte seit 2001

- Ziel: Ableitung technologischer und marktlicher Entwicklungstrends
- Umfang: ca. 350 elektrifizierte Fahrzeuge
- Weltweite Betrachtung
- Konzept-, Prototypen- und Serienfahrzeuge
- Technische Details bis auf Komponentenebene
- 75 Parameter pro Fahrzeug priorisiert (215 möglich)
- Insgesamt 75.250 Datenpunkte
- Zwischenstand 01.04.2013:  
ca. **30% aller Daten recherchiert**



Quelle: DLR (2013)



# STROM – Technologie-Monitoring

## Fahrzeugkonzept-Datenbank

### Beispiele für betrachtete Parameter – „Fahrzeugkonzept“

- 68 Parameter (20 priorisiert), z.B.
  - Hersteller
  - Modell
  - Weltregion/Land (Hersteller/Zielmarkt)
  - Segment
  - Hybridarchitektur
  - Systemleistung
  - Verbrauch
  - Fahrdynamik
  - Typ Verbrennungsmotor



Quelle: [www.caradvice.com.au](http://www.caradvice.com.au)



Quelle: [www.motorward.de](http://www.motorward.de)

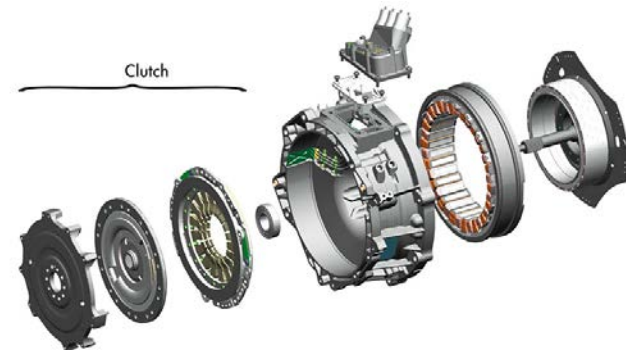


# STROM – Technologie-Monitoring

## Fahrzeugkonzept-Datenbank

### Beispiele für betrachtete Parameter – Technologie „Elektromotor“

- 45 Parameter (18 priorisiert), z.B.
  - Bauart
  - Erregungsart
  - Nennleistung
  - Nenndrehmoment
  - Gewicht
  - Einbauort
  - Thermomanagement



Quelle: VW AG



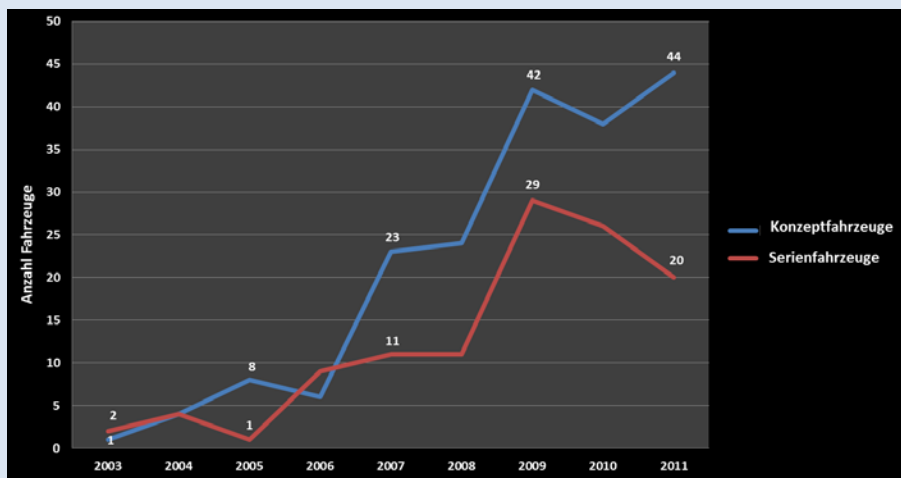
# STROM – Technologie-Monitoring

## Fahrzeugkonzept-Datenbank

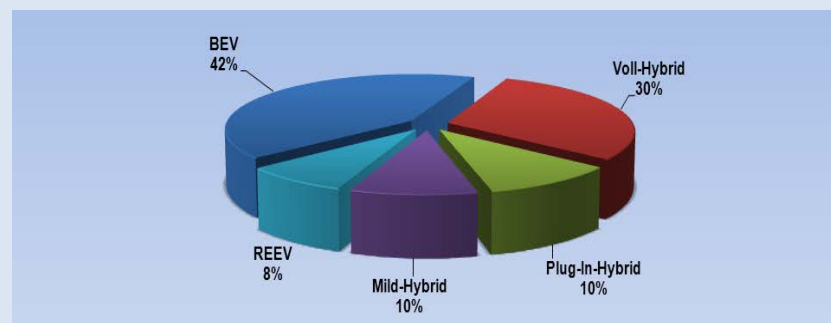
- Auswertungen beispielhaft nach den Dimensionen
  - **Entwicklungsstatus Fahrzeug** (z.B. Konzept, Prototyp, Mock-Up, Serie)
  - **Elektrifizierungsgrad Fahrzeug** (z.B. Mild-Hybrid, Voll-Hybrid, REEV, BEV)
- Alle Abbildungen Zwischenstände (01.04.2013)



Anzahl elektrifizierter Konzept- und Serienfahrzeuge



Anteile elektrifizierter Fahrzeugkonzepte 2002-2012



Beispielhafte Auswertungen, Quelle: DLR (2013)



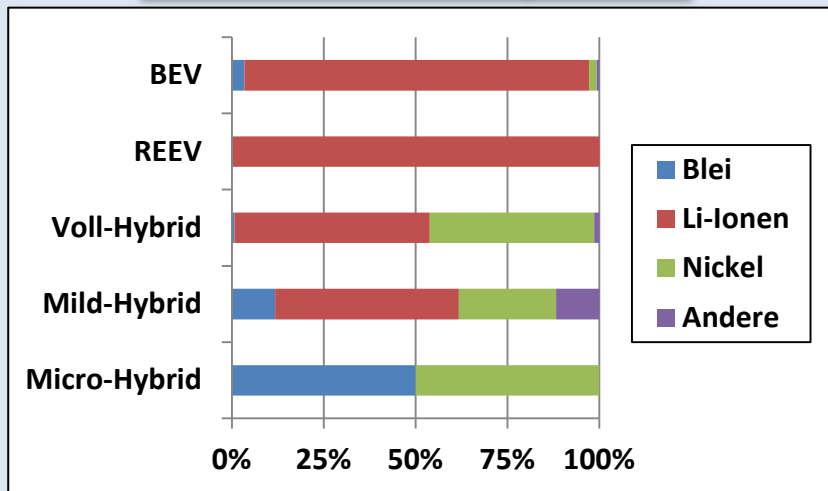
# STROM – Technologie-Monitoring

## Fahrzeugkonzept-Datenbank

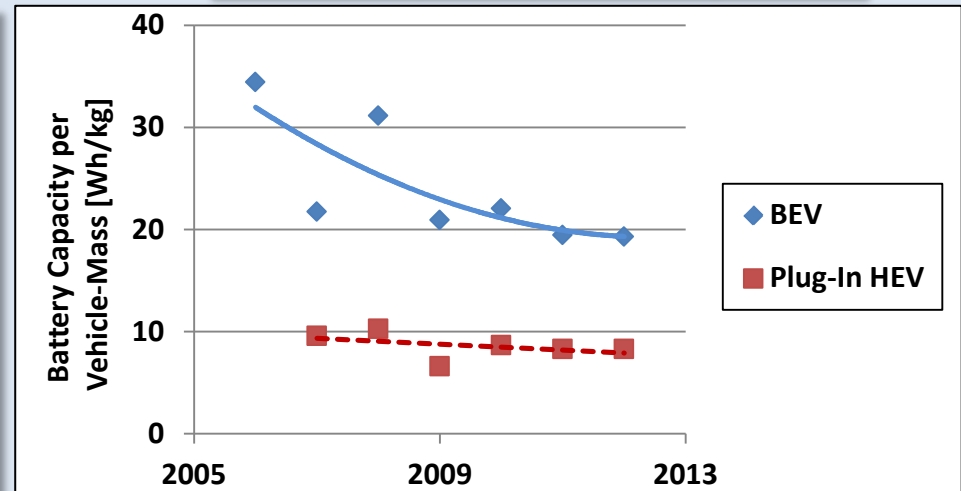
- Auswertungen beispielhaft nach den Dimensionen
  - **Batterietechnologie** (z.B. Li-Ion, Ni-Mh)
  - **Batteriekapazität** (Wh)
  
- Alle Abbildungen Zwischenstände (01.04.2013)



Batterie-Technologien



Batteriekapazität pro Fahrzeugmasse



Beispielhafte Auswertungen, Quelle: DLR (2013)





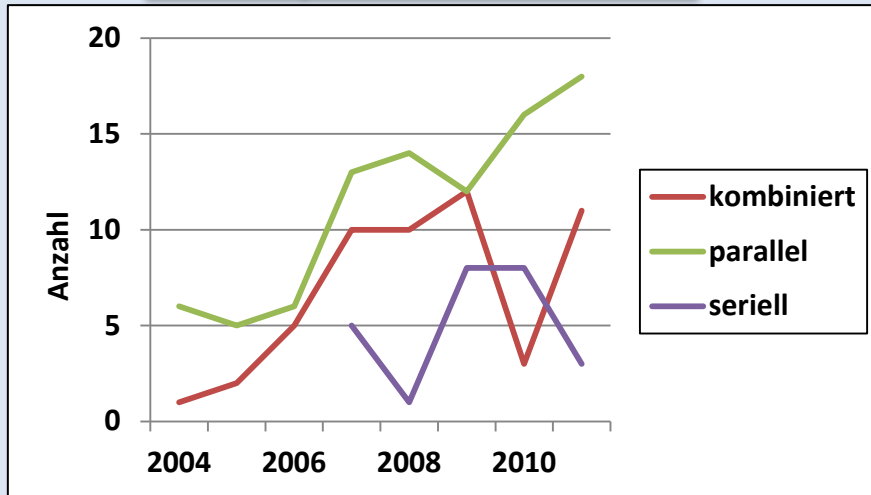
# STROM – Technologie-Monitoring

## Fahrzeugkonzept-Datenbank

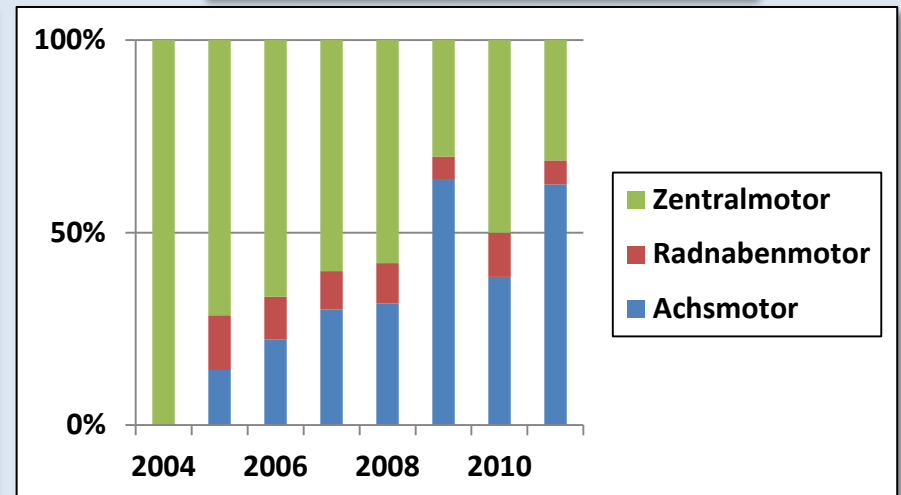
- Auswertungen beispielhaft nach den Dimensionen
  - **Hybrid-Antriebsstrang-Architektur** (z.B. parallel, seriell, kombiniert)
  - **Einbauort Elektromotor** (z.B. Zentral, Achsmotor, Radnabenmotor)
- Alle Abbildungen Zwischenstände (01.04.2013)



Hybrid-Architektur



Einbauort Elektromotor



Beispielhafte Auswertungen, Quelle: DLR (2013)

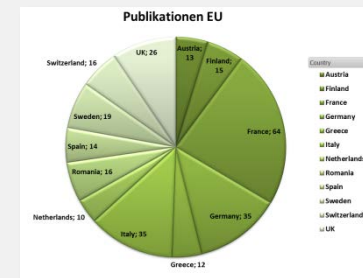
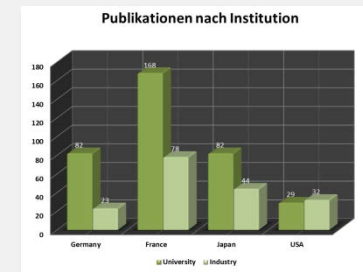


# STROM – Technologie-Monitoring

## Patent- und Publikationsanalysen

### Patente und Publikationen ab 2001

- **Ziele:**
  - Identifikation von Schwerpunkten und Trends F&E (Publikationsanalyse)
  - Identifikation von Stand der Technik (Patentanalyse)
- 5 Technologiefelder
- Weltweite Betrachtung
- Zwischenstand 01.04.2013:  
ca. **1.000 Publikationen im Bereich Elektromotor** ausgewertet



Quelle: DLR (2013)

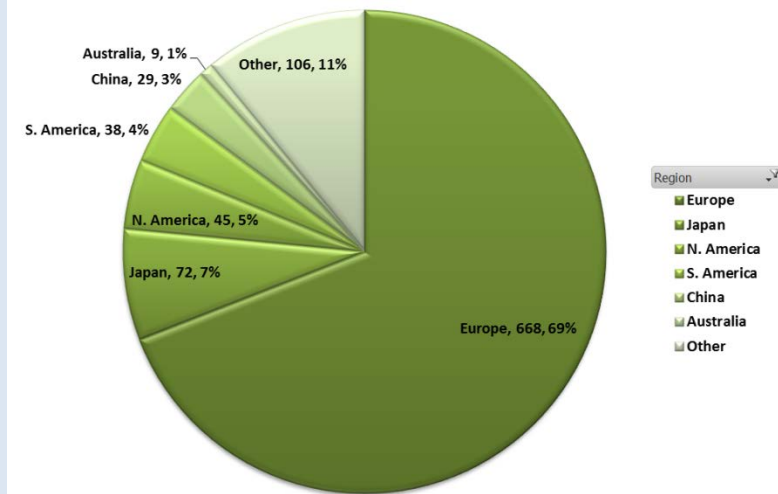


# STROM – Technologie-Monitoring

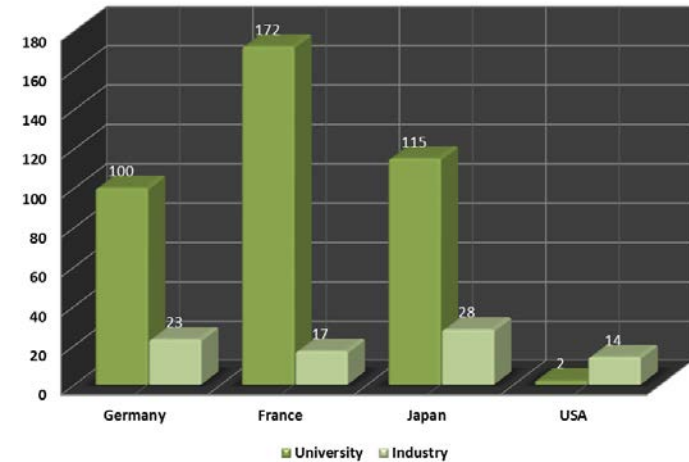
## Patent- und Publikationsanalysen

- Auswertungen im Bereich E-Maschine beispielhaft nach den Dimensionen
  - **Weltregion** (z.B. Europa, China, Japan, USA, )
  - **Institution** (z.B. Universität, Industrie)
- Alle Abbildungen Zwischenstände (01.04.2013)

Publikationen nach Weltregion 2010



Publikationen nach Institution 2010



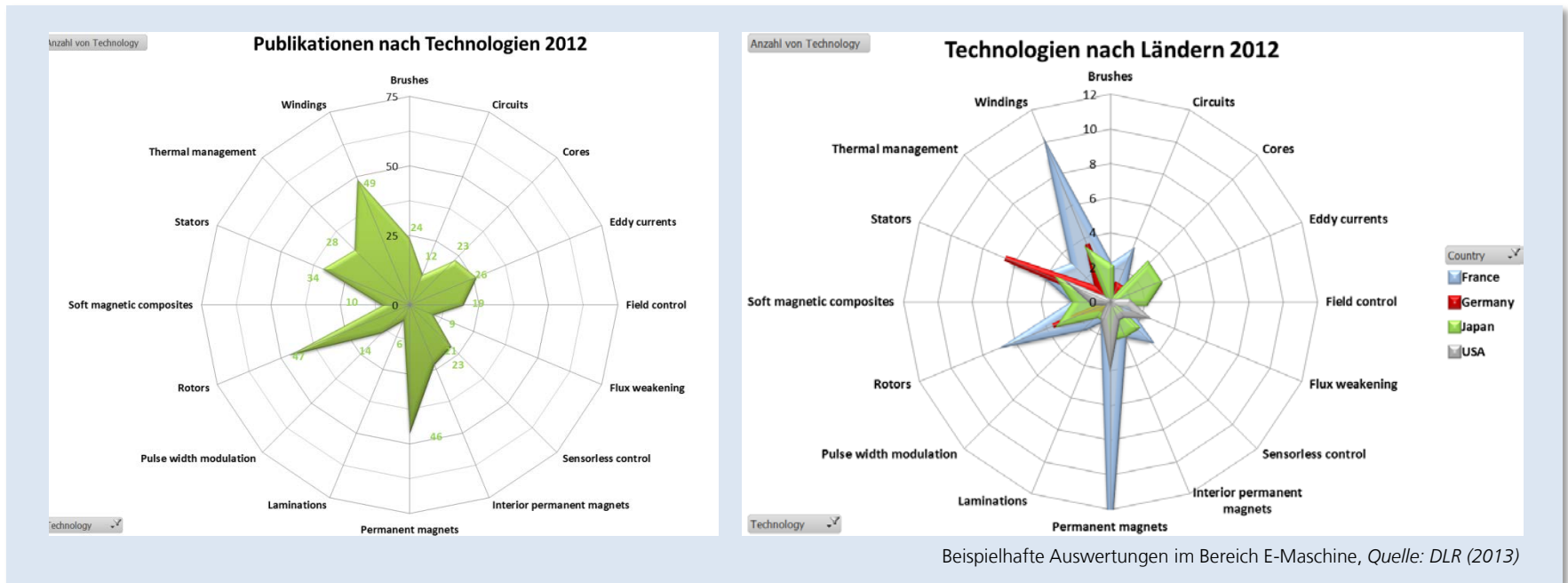
Beispielhafte Auswertungen im Bereich E-Maschine, Quelle: DLR (2013)



# STROM – Technologie-Monitoring

## Patent- und Publikationsanalysen

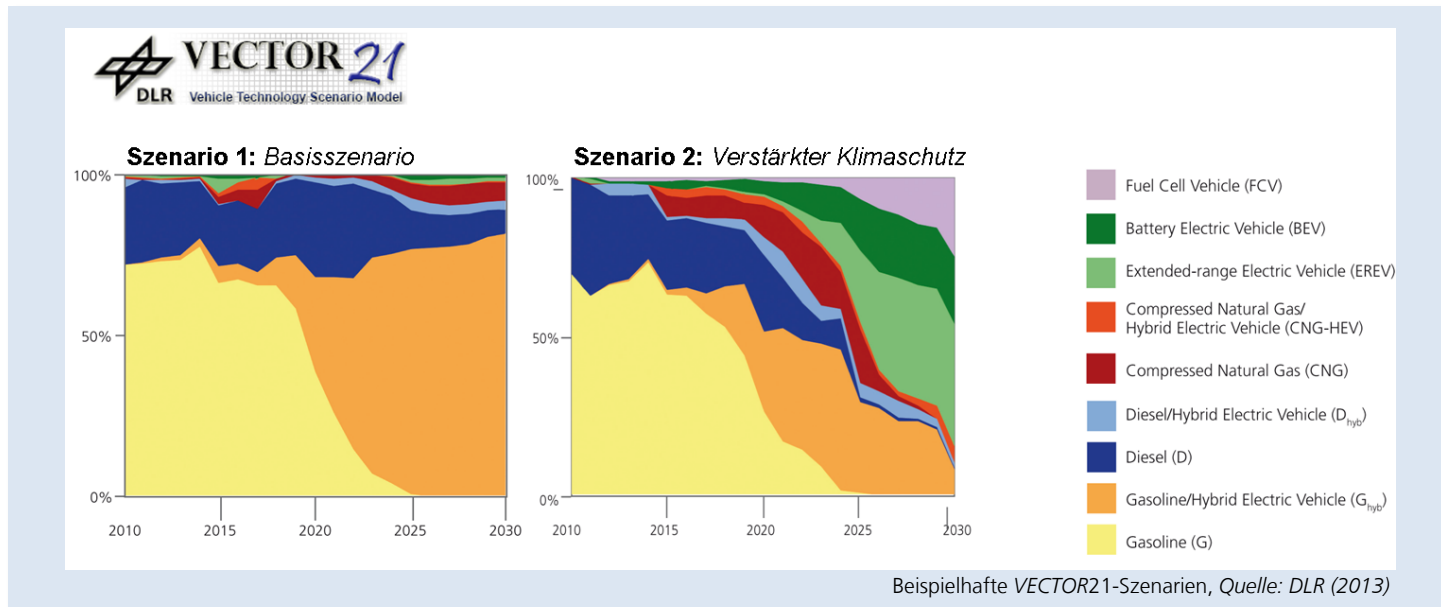
- Auswertungen im Bereich E-Maschine beispielhaft nach den Dimensionen
  - **Technologie** (z.B. Stator, Rotor, Wicklungen, Permanentmagnete)
  - **Technologie nach Land** (z.B. Frankreich, Deutschland, Japan, USA)
  
- Alle Abbildungen Zwischenstände (01.04.2013)



# STROM – Technologie-Monitoring

## Fahrzeug-Szenarien (VECTOR21)

- Simulation von **3 internationalen Fahrzeug-Szenarien**
- Abbildung der Konkurrenzsituation verschiedener Antriebskonzepte und -technologien
- Berücksichtigung von **Rahmenbedingungen** wie z.B. Subventionen beim Fahrzeugkauf, CO<sub>2</sub>-Gesetzgebung, Strom- und Energiekosten
- **Ergebnis:** Entwicklung Fahrzeug-Technologie-Mix, Marktanteile elektrif. Fahrzeugkonzepte, CO<sub>2</sub>-Minderung



# STROM – Fazit Technologie-Monitoring

## Zwischenstand Technologie-Monitoring und angestrebte Aussagen zu Forschungsschwerpunkten, Stand der Technik und Trendentwicklungen

### ■ Fahrzeugkonzept

- **BEVs** fokussieren auf das **Kleinwagensegment** (70 Fahrzeuge) sowie auf **Sportwagen** (31). In der Oberklasse existieren nur 3 Fahrzeuge , in der Mittelklasse 17.
- Bis 2009 waren HEVs mit paralleler und kombinierter Antriebsarchitektur jeweils ähnlich stark vertreten. **Ab dem Jahr 2009 dominiert die parallele Architektur.**

### ■ Elektromotor

- Die **Leistungsdichte** der elektrischen Maschinen steigt von 0,5 kW/kg auf über **1 kW/kg im Jahr 2011.**
- **Europa ist führend in der Forschung zu Synchron- und Asynchronmaschinen.** Frankreich forscht v.a. an permanenterregten Synchronmaschinen, Deutschland neben Asynchron- z.B. auch an Transversalflussmaschinen.

### ■ Batterie

- Lithium Ionen (Li-Ion) Batterien dominieren REEVs , Plug-In-HEVs und BEVs. Die **Anteile der Li-Ion Batterie** betragen **zwischen 95% und 100%.**
- Die **Batteriekapazität pro Fahrzeugmasse** nimmt bei BEVs ab 2006 ab und pendelt sich bei einem Wert von ca. 19 Wh/kg<sub>Fahrzeugmasse</sub> ein, was in etwa **200 km Reichweite** im NEFZ entspricht



# STROM – Ansprechpartner

## ■ DLR – Deutsches Zentrum für Luft & Raumfahrt e.V.

### – Institut für Fahrzeugkonzepte

- Benjamin Frieske [Benjamin.Frieske@dlr.de](mailto:Benjamin.Frieske@dlr.de) / Tel: +49 (0)711 6862 623
- Matthias Klötzke [Matthias.Kloetzke@dlr.de](mailto:Matthias.Kloetzke@dlr.de) / Tel: +49 (0)711 6862 8092

### – Institut für Verkehrsforschung

- Markus Mehlin [Markus.Mehlin@dlr.de](mailto:Markus.Mehlin@dlr.de) / Tel: +49 (0)30 67055 211

## ■ Wuppertal Institut für Klima, Umwelt & Energie GmbH

### – Materialintensitätsanalysen, Regionalstudien

- Dr. Claus Barthel [Claus.Barthel@wupperinst.org](mailto:Claus.Barthel@wupperinst.org) / Tel: +49 (0)202 2492 166
- Ole Soukup [Ole.Soukup@wupperinst.org](mailto:Ole.Soukup@wupperinst.org) / Tel: +49 (0)202 2492 285





**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.**  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Institut für Fahrzeugkonzepte

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Wissen für Morgen



# Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität

## STROM – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

Dr.-Ing. Stephan Schmid  
Dipl.-Kaufm. (t.o.) Benjamin Frieske  
Dipl.-Ing. Matthias Klötzke  
Dipl.-Umweltwiss. Ole Soukup  
Thorsten Koska (M.A.)  
Hanna Hüging (M.Sc.)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Wuppertal Institut  
für Klima, Umwelt, Energie  
GmbH

Wissen für Morgen



# Inhalt

- Vorstellung der STROM – Begleitforschung
- Technologie-Monitoring
  - Trends bei Fahrzeugkonzepten
  - Patentanalysen
- Perspektiven
  - Regionalstudien
- Materialintensität (Ökobilanzen)
  - MIPS
  - Treibhausgasemissionen
- Zusammenfassung



# STROM-Begleitforschung Konsortium

## DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

- Institut für Fahrzeugkonzepte, Stuttgart
- Institut für Verkehrsforschung, Berlin

## Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

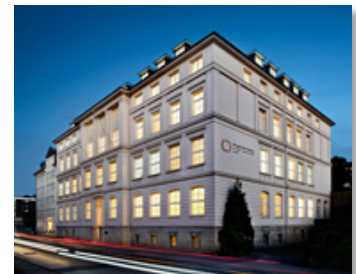
- **Koordinator:** Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
- **Auftraggeber:** BMBF (Referat 523)
- **Zeitraum:** Okt. 2011 - Sep. 2014
- **Ziel:** Einordnung der STROM-Technologien in die internationalen Forschungsaktivitäten



DLR Institut für Fahrzeugkonzepte



DLR Institut für Verkehrsforschung



Wuppertal Institut



**1. Hinweise zu Forschungsschwerpunkten und Trendentwicklungen**

**2. Informationen und Unterstützung für die STROM-Projekte**



**Wuppertal Institut**  
für Klima, Umwelt, Energie  
GmbH



# Untersuchungsgegenstand der Begleitforschung

## Themenfelder für das Technologie-Monitoring



### ■ Fahrzeugkonzepte

**Projekte:** eGeneration, 1PeFz, E2V, VISIOM, Innvelo, e-MoSys, Velocité

**Themen:** z.B. Hybrid-Antriebsarchitekturen, Conversion & Purpose Design

### ■ Elektromotoren

**Projekte:** ELANi, E2V, e-MoSys, iFlux, eGeneration, Velocité

**Themen:** z.B. Synchronmaschine, Asynchronmaschine, Transversalflussmaschine, Materialien Rotor und Stator, Substitution Permanentmagnete

### ■ Leistungselektronik

**Projekte:** e-MoSys, HI-LEVEL, HotPowCon, iFlux, KAIROS, MHF4EV, RESCAR 2.0, RoBE, E2V, ELANi, eGeneration

**Themen:** z.B. Materialien Halbleiter (SiC & GaN), Hochstromleiterplatten, Keramikplatinen, Aufbau- und Verbindungstechnik

### ■ Thermomanagement

**Projekte:** E-Komfort, Innvelo, HotPowCon, eGeneration, eProduction

**Themen:** z.B. Zeolithkühlung, Flächenheatpipes, Luftkühlung, Wasserkühlung



# Untersuchungsgegenstand der Begleitforschung

## Forschungsfragen, Umfang, Methoden



- Welche **Trends** zeichnen sich bei Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und elektrifizierten Fahrzeugkonzepten ab?
- Welche **Forschungsschwerpunkte** und **Förderaktivitäten** gibt es in anderen Weltregionen?
- Welchen **Stand hat die Technologieentwicklung** im nationalen und internationalen Vergleich?



- **5 Weltregionen** Europa, USA, China, Japan, Indien
- **4 Technologiefelder** Fahrzeugkonzepte, Elektromotoren, Leistungselektronik, Thermomanagement
- **Elektrifizierte PKW** Hybrid-, Batterie-, Konzept-, Prototypen- und Serienfahrzeuge
- **10 Jahres-Zeitraum** Entwicklungen ab 2000

Einordnung internationaler Aktivitäten E-Mobilität



- DLR Fahrzeugkonzept-Datenbank
- Patent- und Publikationsanalysen
- Experteninterviews (national & international)
- Regionalstudien
- Simulation und Fahrzeug-Szenarien (*VECTOR21*)
- Materialintensitätsanalysen



# DLR Fahrzeugkonzept-Datenbank

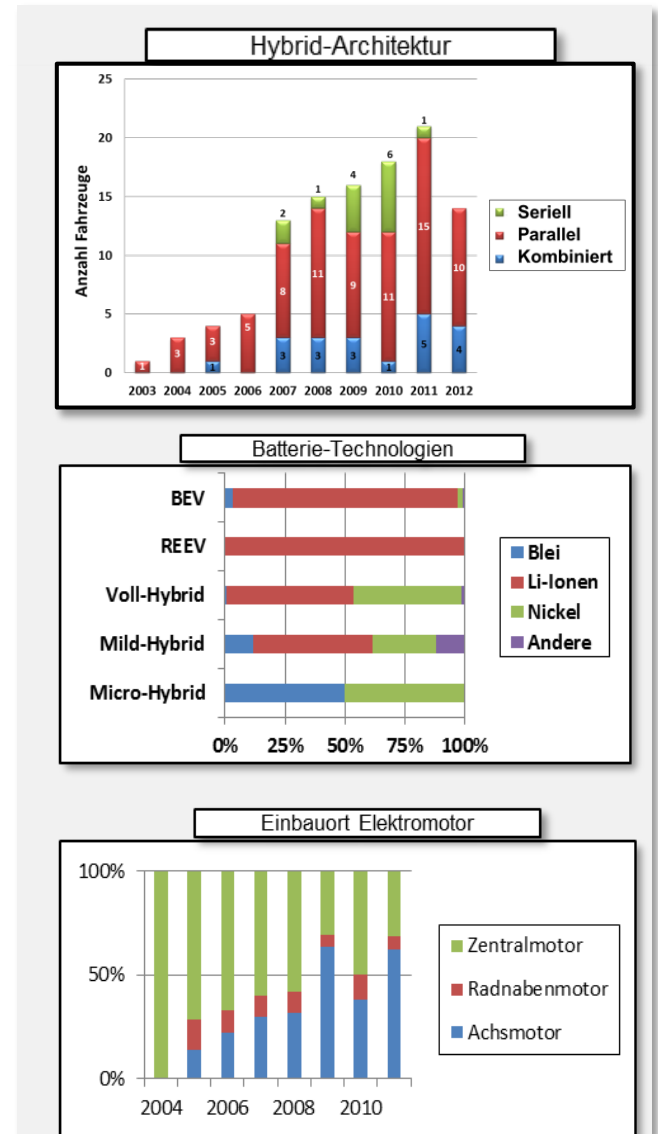
## Trends bei Fahrzeugkonzepten

Welche **Trends** zeichnen sich bei **SCHLÜSSELTECHNOLOGIEN** der Elektromobilität und elektrifizierten **FAHRZEUGKONZEPTEN** ab?

- Zeitraum 2000-2013, weltweite Betrachtung, PKW
- Micro-HEV, Mild-HEV, Full-HEV, Plug-In-HEV, REEV, BEV
- Besonderheit:
  - Betrachtungsumfang (auch Kleinserien-, Konzept- und Prototypenfahrzeuge) und Detailtiefe (bis Parameterebene)

### Umfang:

- 538 elektrifizierte Konzept-, Prototypen- und Serienfahrzeuge
- 75 technische Parameter pro Fahrzeug (max. 215)
- Technische Details bis auf Komponentenebene (z.B. VKM, REX, E-Motor, Leistungselektronik, Batterie)
- Insgesamt 116.690 Datenpunkte

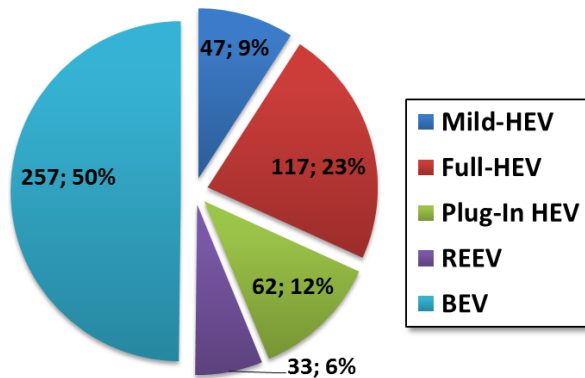


Quelle: DLR (2014)

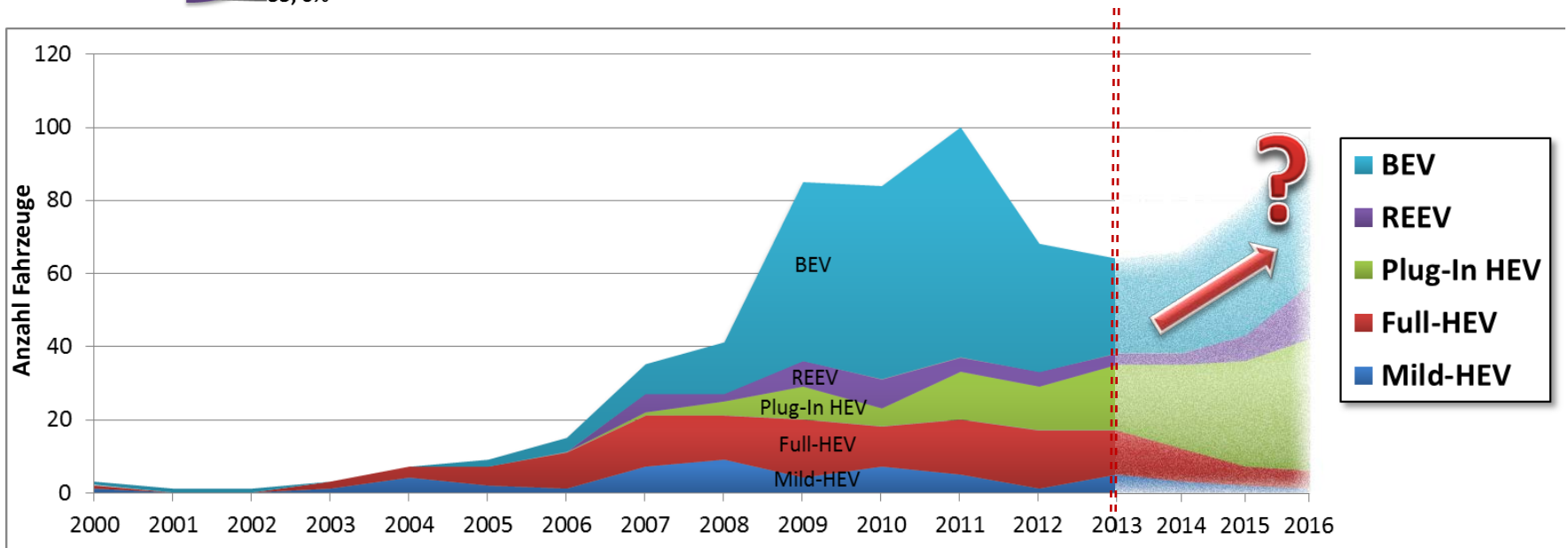


## DLR Fahrzeugkonzept-Datenbank

# Trends bei Fahrzeugkonzepten – Elektrifizierungsgrad

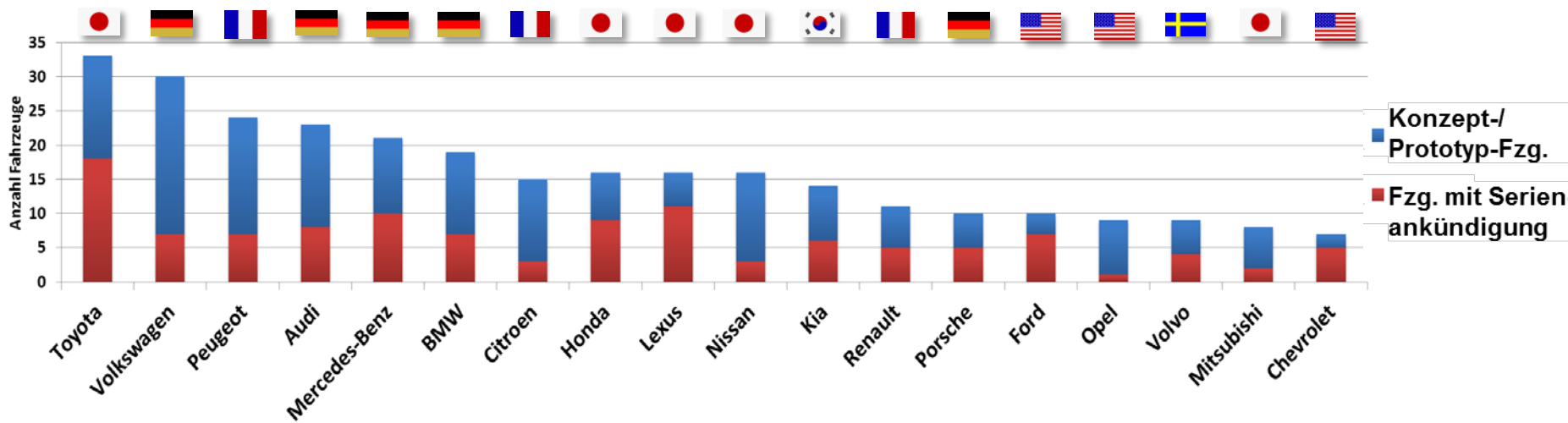


- BEV und HEV gleichverteilt, Zunahme BEVs ab 2008
- Full-HEV mit größtem Anteil bei Hybridfahrzeugen, sinkende Tendenz zugunsten Plug-In HEV
- BEVs im Klein- (70 Fahrzeuge) und Sportwagen-Segment (31), HEVs im Segment Mittelklasse (66) und SUVs (45)

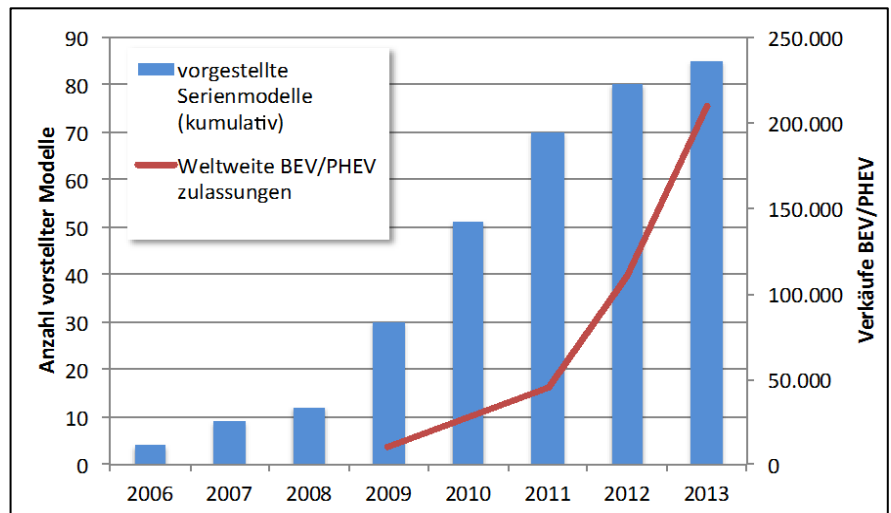


## DLR Fahrzeugkonzept-Datenbank

# Trends bei Fahrzeugkonzepten – Aktivitäten der Hersteller



- Japan: Toyota aktivster OEM
- Deutschland: Audi, Mercedes, BMW mit ähnlichen Anteilen
- Frankreich: Renault nur mit BEVs
- Weltweite BEV/PHEV Zulassungen mit stark steigender Tendenz
- Timelag Konzeptfahrzeug zu Serienfahrzeug ungefähr 2 Jahre

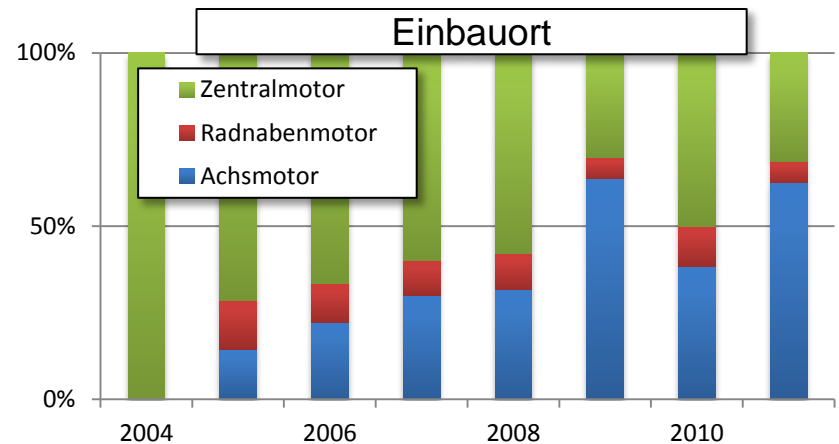
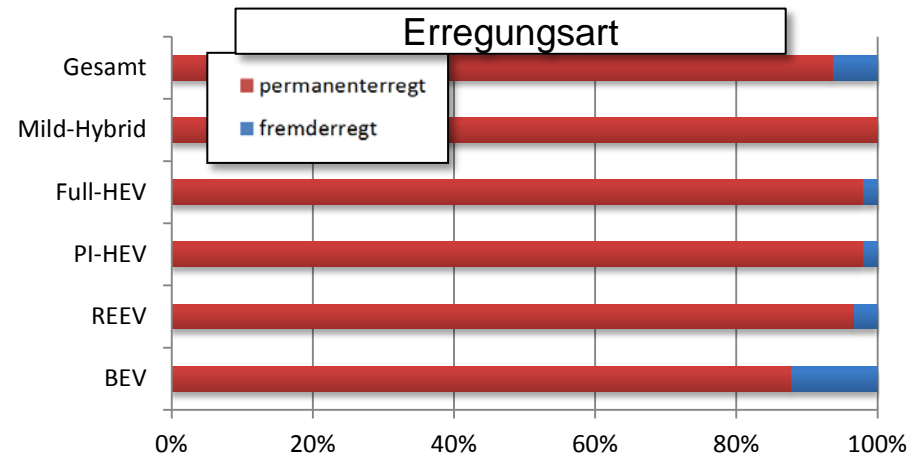




## DLR Fahrzeugkonzept-Datenbank

# Trends bei Fahrzeugkonzepten – Elektromotoren

- Dominanz **permanenterregter** E-Maschinen (PSM)
- Alternative Bauformen (z.B. SRM) und **fremderregte Maschinen** bislang ohne/ mit sehr geringen Anteilen
- Mit **zunehmender Elektrifizierung** besitzen fremderregte Maschinen mehr Relevanz (Conversion vs. Purpose Design)
- Zentralmotoren verlieren kontinuierlich an Bedeutung zugunsten von **Achsmotoren**
- **Radnabenmotoren** mit geringen, aber konstanten Anteilen bei Konzeptfahrzeugen
- Die **Leistungsdichte** der elektrischen Maschinen erreicht über **1 kW/kg** im Jahr 2011 und wurde im Vergleich zu 2006 verdoppelt

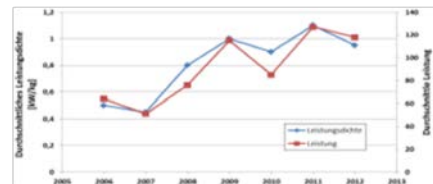
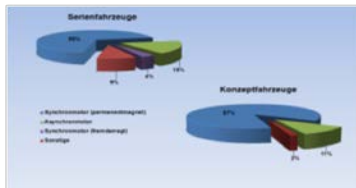


# Methoden der Begleitforschung

## Patent- und Publikationsanalysen

- DLR Fahrzeugkonzept-Datenbank
- **Patentanalysen**
- **Publikationsanalysen**
- Experteninterviews (national & international)
- Regionalstudien (USA, EU, DE, JP, CN, IN)
- STROM-Workshops
- Simulation
- Fahrzeug-Szenarien (*VECTOR21*)
- Materialintensitätsanalysen

### Einordnung internationaler Aktivitäten E-Mobilität



Quelle: dlr, sip, cgk



# Patent- und Publikationsanalysen

## F&E-Aktivitäten bei Schlüsseltechnologien

Welche **Forschungsschwerpunkte und Technologieaktivitäten** gibt es in anderen Weltregionen?

- Zeitraum 2000-2012 für Japan (JP), USA (US), China (CN), Europa (EP), Deutschland (DE) und Frankreich (FR), z.T. Südkorea (SK)
- Besonderheit:
  - Betrachtungsumfang (Zeitraum & Weltregionen), Dezierte Suchstrategie (nur „Antriebsstrang elektrifizierter PKW“), Detailtiefe (bis Materialebene), Big Data Analyse (Inhaltsanalyse & -kombination über Data Mining)

### Umfang:





















- **5.200 Publikationen** und **81.900 Patente** für die Bereiche:

**Elektrische Maschine** und **Leistungselektronik** im Antriebsstrang elektrifizierter PKW identifiziert und ausgewertet.

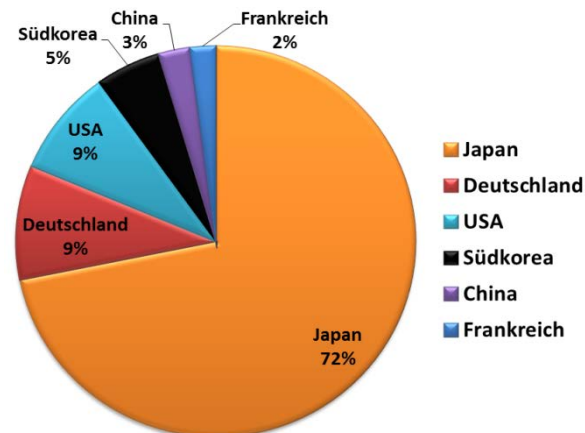


## Patentanalyse

# F&E-Aktivitäten im Bereich Leistungselektronik

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	TOYOTA MOTOR	6.049	
2	NISSAN MOTOR	1.977	
3	TOYOTA JIDOSHA	1.470	
4	HONDA MOTOR	1.208	
5	HYUNDAI MOTOR	696	
6	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	575	
7	DENSO	573	
8	HITACHI	571	
9	HONDA MOTOR	558	
10	AISIN AW	530	
11	ROBERT BOSCH	496	
12	FORD GLOBAL TECH	375	
13	DAIMLER	345	
14	TOSHIBA	319	
15	MITSUBISHI JIDOSHA KOGYO	299	
16	MAZDA MOTOR	263	
17	ZF FRIEDRICHSHAFEN	248	
18	KIA MOTORS	247	
19	FUJI HEAVY IND	238	
20	BAYERISCHE MOTOREN WERKE	233	

TOP20 Patentanmelder nach Anzahl der Erfindungen



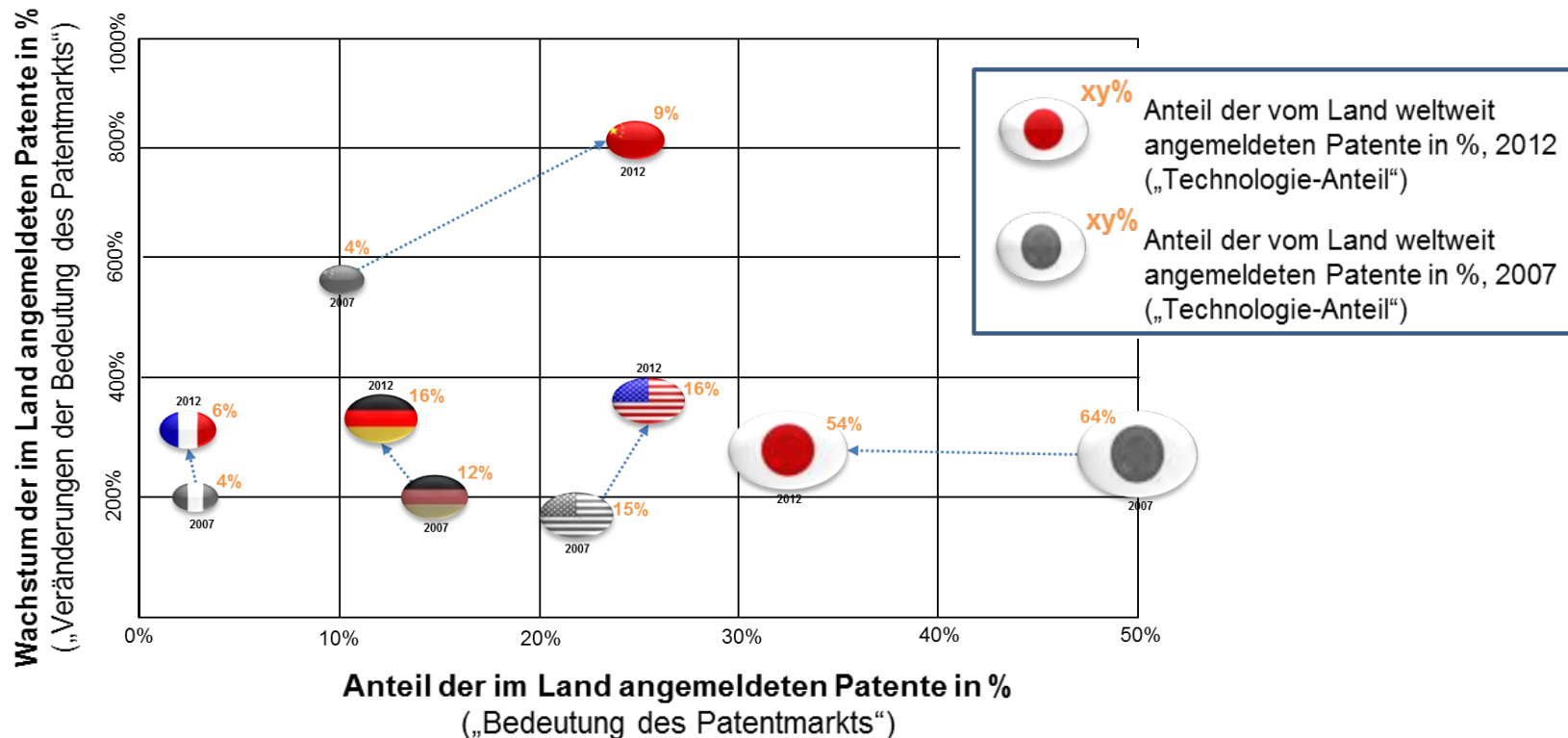
Anteil Patentanmeldungen nach Hauptsitz des Unternehmens

- **Japan führt und dominiert** auf Bauteil- und Materialebene. **Toyota-Konzern** Haupttreiber der Entwicklung.
- Japan fokussiert auf Halbleiterentwicklung, Steigerung des Wirkungsgrads und Realisierung der „Hochintegration“.
- **Deutschland** technologisch auf USA-Niveau. Stärken im Bereich Systemintegration und AVT, Schwächen bei Halbleitern und Halbleiter-Materialien.



## Patentanalyse

# Technologische Position im Bereich E-Maschine



- Kumulierte Darstellung über 10 Jahre (59.000 Patente: alle Bauformen, Komponenten, Bauteile, Materialien) nach Technologie-Anteil, Markt-Anteil und Markt-Dynamik
- **Japan in führender Position** (54% Technologie-Anteil), aber Verluste ab 2007.
- **Deutschland** nach Wachstum auf **USA-Niveau** (16% Technologie-Anteil).
- Sehr hohe Markt-Dynamik in **China** (850% Markt-Wachstum ab 2007).

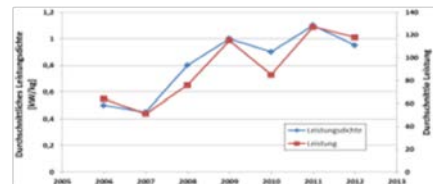
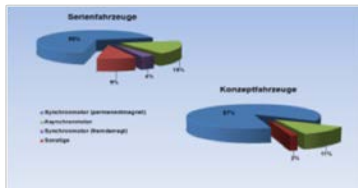


# Methoden der Begleitforschung

## Regionalstudien

- DLR Fahrzeugkonzept-Datenbank
- Publikationsanalysen
- Patentanalysen
- Experteninterviews (national & international)
- **Regionalstudien (USA, EU, DE, JP, CN, IN)**
- STROM-Workshops
- Simulation
- Fahrzeug-Szenarien (*VECTOR21*)
- Materialintensitätsanalysen

### Einordnung internationaler Aktivitäten E-Mobilität



Quelle: dlr, sip, cgk

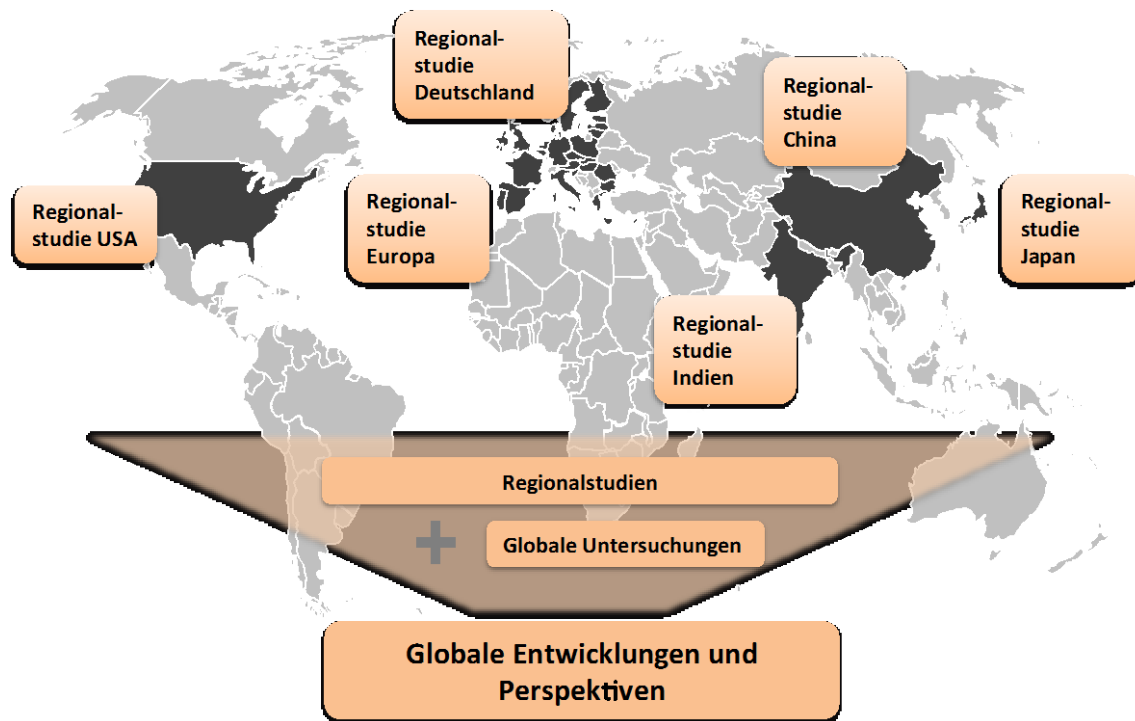


## Regionalstudien

# Elektromobilitätsarena im internationalen Vergleich

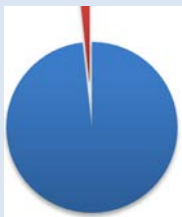

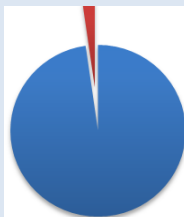
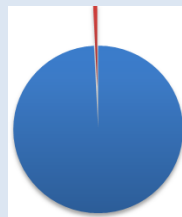
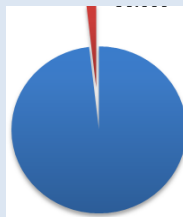
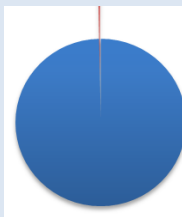

Welche Rahmenbedingungen und **Förderaktivitäten** existieren in anderen Weltregionen?

- Analyse entlang von vier Untersuchungsfeldern:
  - Regierung / Politik / Öffentliche Infrastruktur
  - Forschungsförderung und Institutionen
  - Wirtschaft und Industrie
  - Verbraucher und Marktentwicklung
- Erstellung von Regionalstudien in Kooperation mit lokalen Partnern



## Regionalstudien

# Politische Ziele und Anreize im internationalen Vergleich

	Deutschland	USA	Japan	China	Frankreich	GB	Norwegen
<b>Ziele Bestand 2015</b>							
<b>2020</b>	1 Mio.	1,5 Mio.	ca. 3 Mio.	0,5 Mio. 5 Mio.	2 Mio.	1,5 Mio (Empfohlen)	0,2 Mio.
<b>Status quo (31.12.2013)</b>	ca. 13.700	ca. 225.000	ca. 68.000	ca. 45.000	ca. 36.000	ca. 4.400 (2012)	ca. 38.000
	 <b>DE 2020:</b> 1 Mio Fzg.	 <b>USA 2020:</b> ca. 2,4 Mio Fzg.	 <b>JP 2020:</b> ca. 3 Mio Fzg.	 <b>CN 2020:</b> 5 Mio Fzg.	 <b>FR 2020:</b> 2 Mio Fzg.	 <b>GB 2020:</b> ca. 1,5 Mio Fzg.	 <b>NOR 2020:</b> 0.2 Mio Fzg.
<b>Einmalige Kaufanreize*</b>	-	max. 5.400 €  [abh. von Batteriekapazität]	max. 6.300 €  [2/3 der Preisdifferenz zu konv. Pkw]	max. 7.200 € BEV max. 4.200 € PHEV  [abh. von Reichweite]	max. 6.300 €  [abh. von CO <sub>2</sub> -Emissionen]	max. 6.300 €  [25% des Fzg.-Preises]	Ø 15.000-20.000€ (endet 2018 oder bei 50.000 xEVs) [Wegfall Import-u. MwSt.]

\*Bezug auf nationale Anreize, zusätzlich kann es auf untergeordneten Ebenen zusätzliche Anreize geben (e.g. durch Länder, Präfekturen)

Quellen: Regionalstudien STROM, IA-HEV Annual Report 2013





## Regionalstudien

# Anreize zur Marktentwicklung im internationalen Vergleich

	Deutschland	USA	Japan	China	Frankreich	GB	Norwegen
Einmalige Kaufanreize*	-	max. 5.400 €	max. 6.300 €	max. 7.200 € BEV max. 4.200 € PHEV	max. 6.300 €	max. 6.300 €	Ø 15.000-20.000€
regelmäßige fiskalische Anreize*	Befreiung von Kfz-Steuer	-	Reduktion Kfz-Steuer um 50%	Befreiung von Kfz-Steuer	Vergünstigte CO <sub>2</sub> -Steuer für Firmenwg.	bis zu 600 €	bis zu 3.800 €
Sonstige Anreize**	Bessere Anrechnungs möglichkeit für Dienstwagen	<b>Nutzung HOV-Lanes</b> , teilw. Befreiung von Parkgebühren, vergünstigte Stromtarife	Teilw. Befreiung von <b>Parkgebühren</b> und Erstattung von Mautgebühren	Befreiung von „Nummernschild-Lotterie“ für <b>Neuzulassungen</b> (z.B. Peking, Shanghai)	Vergünstigte Raten für Maut- und Parkgebühren	Befreiung von Londoner <b>City-Maut</b> , teilw. Befreiung von Parkgebühren	Nutzung von <b>Busspuren</b> , Befreiung von Park- und Mautgebühren

\*Bezug auf nationale Anreize, zusätzlich kann es auf untergeordneten Ebenen zusätzliche Anreize geben (e.g. durch Länder, Präfekturen)

\*\* exemplarisch

Quellen: Regionalstudien STROM

### Strategien / Instrumente:

- Forschung und Entwicklung (v.a. DE, JP, USA)
- Anreize zur Markteinführung (z.B. NOR, USA, JP, FR, GB, NL)
- Förderung von Infrastrukturausbau (z.B. GB, FR, JP, CN)
- Demonstrationsvorhaben (z.B. CN, JP, DE)

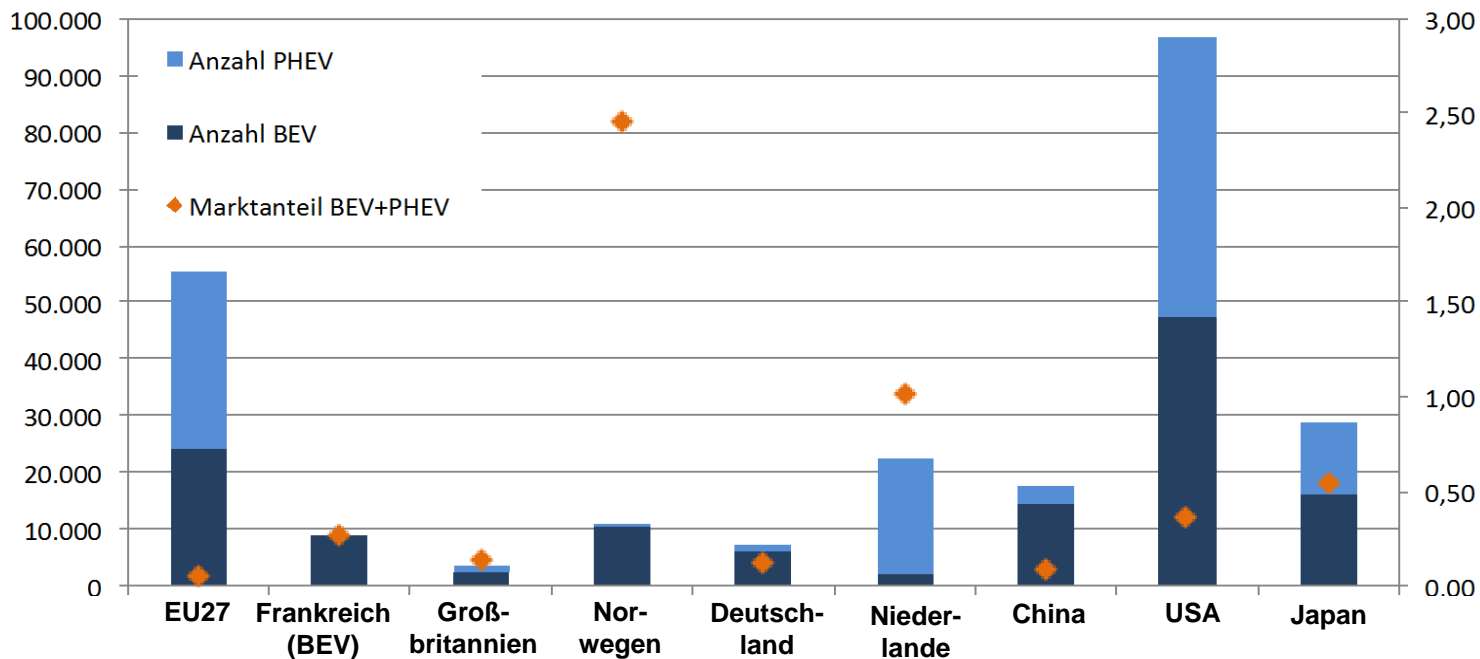


## Regionalstudien

# Aktuelle Marktentwicklung im internationalen Vergleich

Anzahl PEV-Neufahrzeuge pro Jahr (2013)

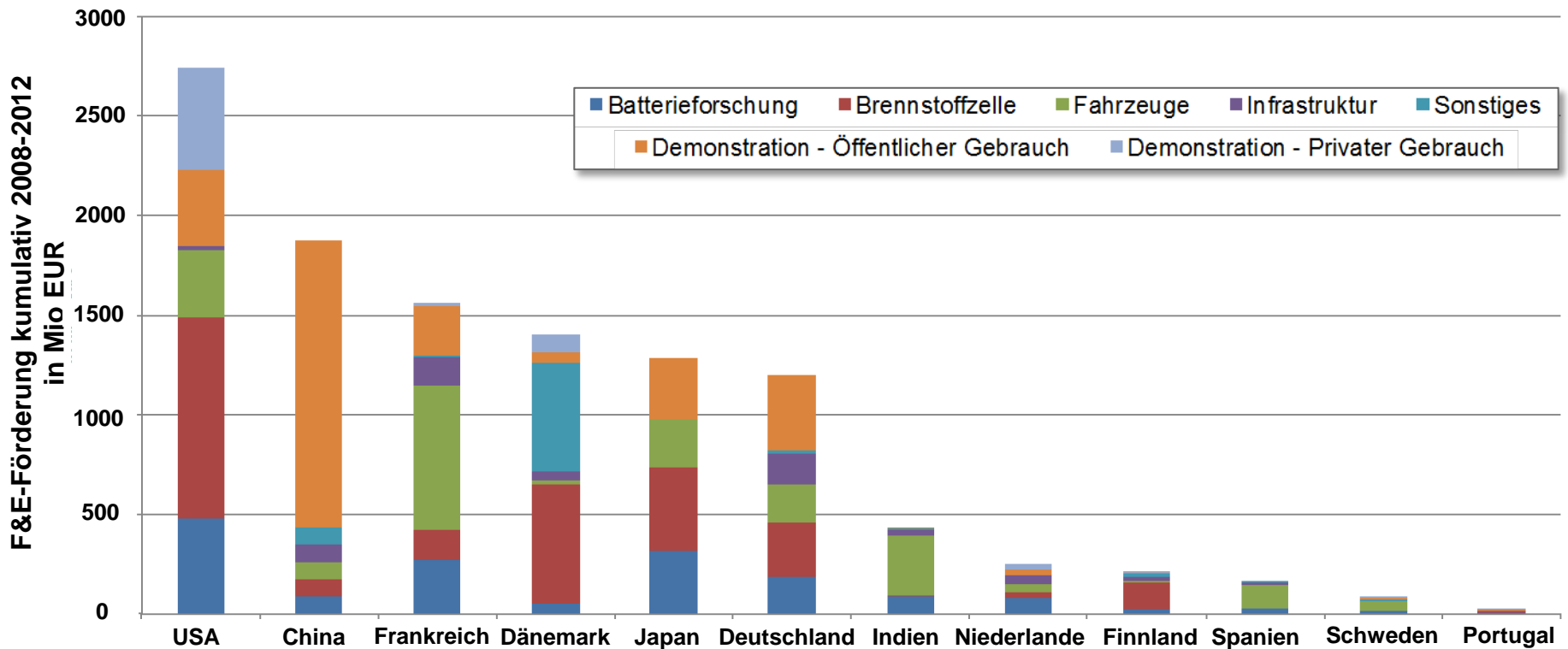
Marktanteil PEV in % (2013)



- Höchster Marktanteil in Norwegen, gefolgt von Niederlande, Japan, USA
- Meiste Regionen mit **monetären Kaufanreize** und höheren Marktanteilen von BEVs und PHEVs
- Nicht-monetäre **Anreizsysteme** und Rahmenbedingungen mit Einfluss auf den Erfolg von E-Fahrzeugen (vgl. Japan und UK)

## Regionalstudien

# Forschungsförderung im internationalen Vergleich



- USA mit höchsten Investitionen (Komponenten), gefolgt von China (Demonstration)
- Schwerpunkt der Forschungsförderung liegt auf Batterien und Brennstoffzellen

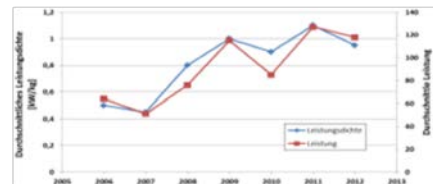
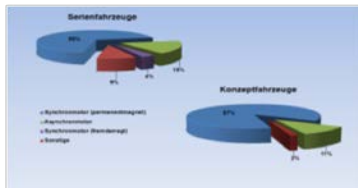


# Methoden der Begleitforschung

## Materialintensitätsanalysen

- DLR Fahrzeugkonzept-Datenbank
- Publikationsanalysen
- Patentanalysen
- Experteninterviews (national & international)
- Regionalstudien (USA, EU, DE, JP, CN, IN)
- STROM-Workshops
- Simulation
- Fahrzeug-Szenarien (*VECTOR21*)
- **Materialintensitätsanalysen**

### Einordnung internationaler Aktivitäten E-Mobilität



Quelle: dlr, sip, cgk



## Materialintensitätsanalysen

# Ökologische Bewertung und Rohstoffkritikalitäten

Drei Methoden zur Beurteilung der kumulierten Ressourcenverbräuche:

**MIPS-Methode** („Material-Input pro Service-Einheit“) zur Systembewertung: „Materialintensität“ als ökologischer Indikator der Ressourcennutzung über den Lebenszyklus (inkl. „Material-Rucksäcken“)



**Identifikation „kritischer“ Materialien**, bei denen die Verfügbarkeit oder die Umweltgefährlichkeit der Gewinnung die gesetzten Ausbauziele gefährden könnten



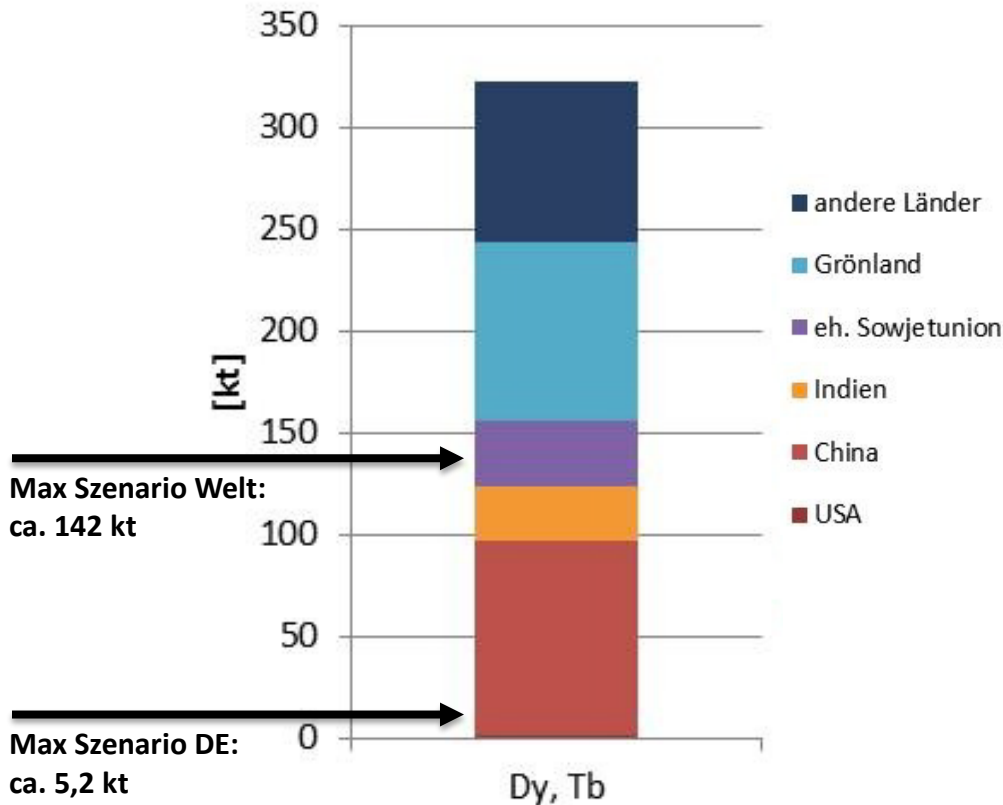
**Ermittlung des Treibhauspotenzials** zur Systembewertung: Treibhausgas (THG)-Emissionen als ökologischer Indikator der Klimawirkung über den Lebenszyklus (inkl. „THG-Rucksäcken“)



## Materialintensitätsanalysen

# Rohstoffkritikalitäten bei „Seltene Erden“

### Weltweite Reserven Seltener Erden – Beispiel Dy, Tb



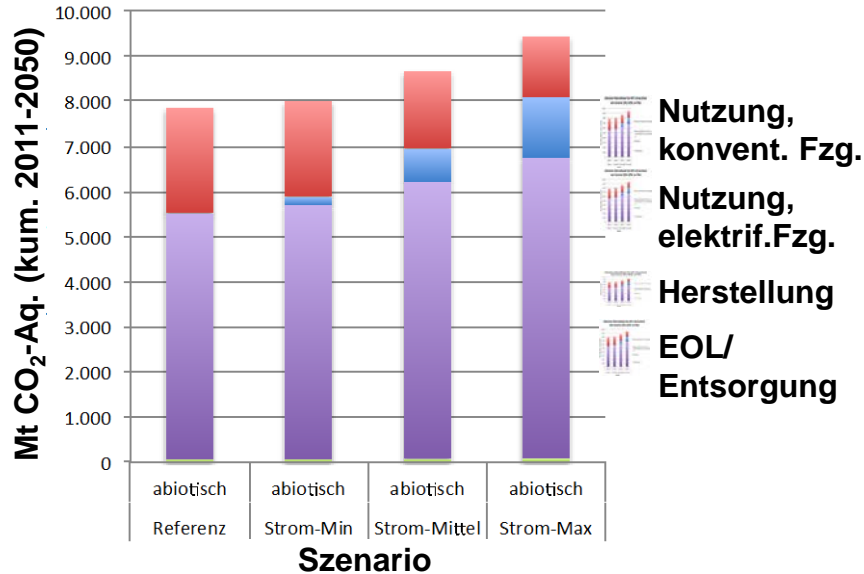
- Globale Reserven von Dysprosium und Terbium bei 320kt
- Szenarien hoher Marktdurchdringung (STROM Max) zeigen sehr hohen Bedarf an kritischen Rohstoffen, insbesondere Li und Dy.
- Kritisches Maß der Nachfrage von 142kt (44%) an Reserven, allein durch Elektromobilität



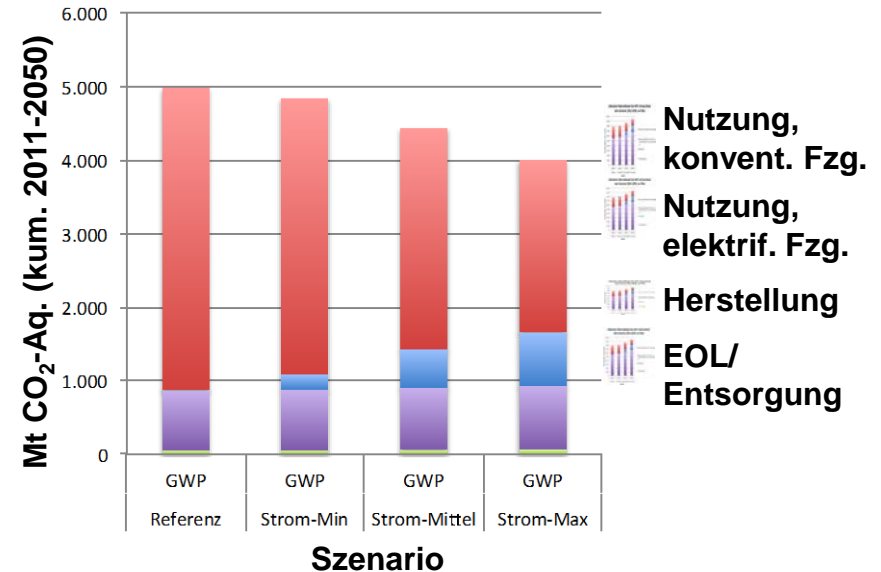
# Materialintensitätsanalysen

## Materialbedarfe und THG-Emissionen

**Abiotischer Materialbedarf des MIV in Deutschland nach Szenarien (2011-2050, nur Pkw)**



**GWP des MIV in Deutschland nach Szenarien (2011-2050, nur Pkw)**



- **Zielkonflikt Klima- und Ressourcenschonung**
- Hohe Anteile elektrifizierter Fahrzeuge tragen zu **Reduktion der Treibhauswirkung** bei
- Zusätzliche Komponenten (z.B. Batterie, E-Motor) weisen **hohe Materialintensität** auf



# Fazit der STROM-Begleitforschung

## Potenziale der Elektromobilitätsforschung in Deutschland

### ■ Technologien:

- Deutschland international gut aufgestellt, Schwächen bei Komponenten, Bauteilen, Materialien.
- Neue Halbleitermaterialien als Enabler der Hochintegration, Japan mit großem Vorsprung.
- Forschung zu AVT auf Anforderungen durch neue Halbleiter ausrichten.
- Forschung zu Seltenen Erden stärken, alternative Bauformen (E-Maschine) fördern.
- Monitoring von F&E-Aktivitäten zu innovativen Technologien & „Deep Drill“ auf Fokusregionen/ Technologietreiber.

### ■ Perspektiven:

- Deutsches Fördersystem international vorbildlich. Zusammenarbeit von Industrie und Forschung forcieren.
- Vernetzung und Koordination auf EU-Ebene stärken, Kooperationen mit Japan und Südkorea anstreben.

### ■ Ökobilanzen:

- Dy-Bedarf reduzieren und alternative Magnetwerkstoffe erforschen.
- Recycling für Nd, Dy und Li entwickeln.
- Nutzung kritischer Ressourcen im Rahmen der Produktentwicklung minimieren.
- Kleinere und leichtere Fahrzeuge entwickeln.





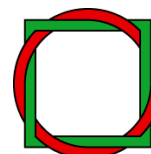


## Kontaktdaten

# Ansprechpartner der STROM-Begleitforschung



**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.**  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



**Wuppertal Institut**  
für Klima, Umwelt, Energie  
GmbH

### DLR Institut für Fahrzeugkonzepte

Benjamin Frieske Benjamin.Frieske@dlr.de /  
Tel: +49 (0)711 6862 623  
Matthias Klötzke Matthias.Kloetzke@dlr.de /  
Tel: +49 (0)711 6862 8092

### DLR Institut für Verkehrsforschung

Danny Kreyenberg Danny.Kreyenberg@dlr.de /  
Tel: +49 (0)30 67055 211

### Wuppertal Institut

Dr. Claus Barthel Claus.Barthel@wupperinst.org /  
Tel: +49 (0)202 2492 166  
Ole Soukup Ole.Soukup@wupperinst.org /  
Tel: +49 (0)202 2492 285



**Wuppertal Institut**  
für Klima, Umwelt, Energie  
GmbH

Wissen für Morgen



# Backup



**Wuppertal Institut**  
für Klima, Umwelt, Energie  
GmbH



## Regionalstudien

# Politische Ziele und Anreize im internationalen Vergleich

	Deutschland	USA	Japan	China	Frankreich	GB	Norwegen
<b>Einmalige Kaufanreize*</b>	-	max. 5.400 €  [abh. von Batteriekapazität]	max. 6.300 €  [2/3 der Preisdifferenz zu konv. Pkw]	max. 7.200 € BEV max. 4.200 € PHEV  [abh. von Reichweite]	max. 6.300 €  [abh. von CO <sub>2</sub> -Emissionen]	max. 6.300 €  [25% des Fzg.-Preises]	Ø 15.000-20.000€  [Wegfall Import- u. MwSt.]
regelmäßige fiskalische Anreize*	Befreiung von Kfz-Steuer für 10 Jahre (danach 50% Ermäßigung)	-	Reduktion Kfz-Steuer um 50%	befreit von Kfz-Steuern	Vergünstigte CO <sub>2</sub> -Steuer für Firmenkameras	bis zu 600 €	bis zu 3.800 €
Sonstige Anreize**	Bessere Anrechnungsmöglichkeit für Dienstwagen	Nutzung HOV-Lanes, teilw. Befreiung von Parkgebühren, vergünstigte Stromtarife	Teilw. Befreiung von Parkgebühren und Erstattung von Mautgebühren	Befreiung von „Nummernschild-Lotterie“ für Neuzulassungen (z.B. Peking, Shanghai)	Vergünstigte Raten für Maut- und Parkgebühren	Befreiung von Londoner City-Maut, teilw. Befreiung von Parkgebühren	Nutzung von Busspuren, Befreiung von Park- und Mautgebühren

\*Bezug auf nationale Anreize, zusätzlich kann es auf untergeordneten Ebenen zusätzliche Anreize geben (e.g. durch Länder, Präfekturen)

\*\* exemplarisch

Quellen: Regionalstudien STROM



# STROM – Kommunikation im STROM-Programm

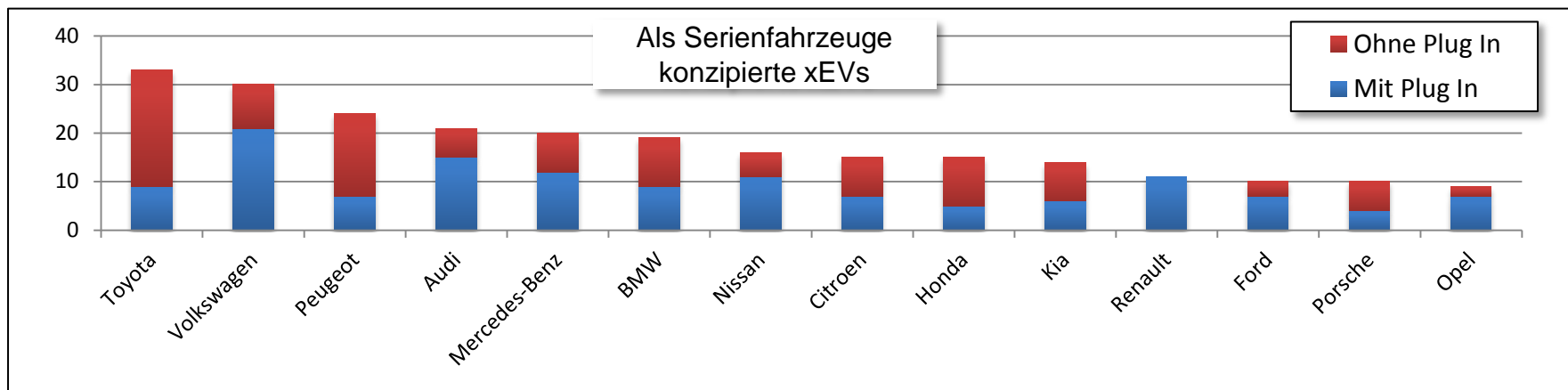
- Arbeitspapier „Analyse der STROM-Projekte“ 06.2012
  - Veröffentlichung: „Feasibleness and Funding of E-Mobility“, Future Mobility 11.2012
  - Präsentation: „Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität“ 12.2012
  - STROM-Trendnewsletter 01.2013
  - Arbeitspapier: „Forschungslandschaft Elektrische Maschine“ 01.2013
  - Arbeitspapier: „Zwischenergebnisse der Fahrzeugkonzept-Datenbank“ 02.2013
  - Veröffentlichung: „State of the Art and Trends in Vehicle Concept Development with Focus on Battery Technology“, Kraftwerk Batterie 02.2013
  - Präsentation: „Schlüsseltechnologien der Elektromobilität – Technologie-Monitoring“, NPE AG1 04.2013
  - STROM-Trendnewsletter 06.2013
  - Arbeitspapier: „Forschungsreise Japan“ 09.2013
  - Arbeitspapier: „Forschungsreise Indien“ 10.2013
  - Veröffentlichung: „Trends in Vehicle Concept and Key Technology Development for Hybrid and Battery Electric Vehicles“, EVS27 11.2013
  - Präsentation: „Technologie-Monitoring“ Statusseminar Elektromobilität 12.2013
  - Arbeitspapier: „Forschungsreise Nordamerika“ 05.2014
  - Präsentation: „Technologie-Monitoring und Experteninterviews Leistungselektronik“, Strategie-Workshop AVT 06.2014
  - Arbeitspapier: „Forschungslandschaft Leistungselektronik“ 07.2014
  - Arbeitspapier: „Forschungsreise China“ 07.2014
  - Veröffentlichung: „Patent Analysis of Power Electronic Technologies“, EEVC 12.2014
  - Veröffentlichung: „Patent Analysis of Electric Machine Technologies“, EVS28 05.2015
- [geplant]*

STROM Interviewreihe 1 02.2012	STROM Workshopreihe 1 06.2012
STROM Interviewreihe 2 03.2013	STROM Workshopreihe 2 04.2013
STROM Interviewreihe 3 05.2014	STROM Workshopreihe 3 07.2014

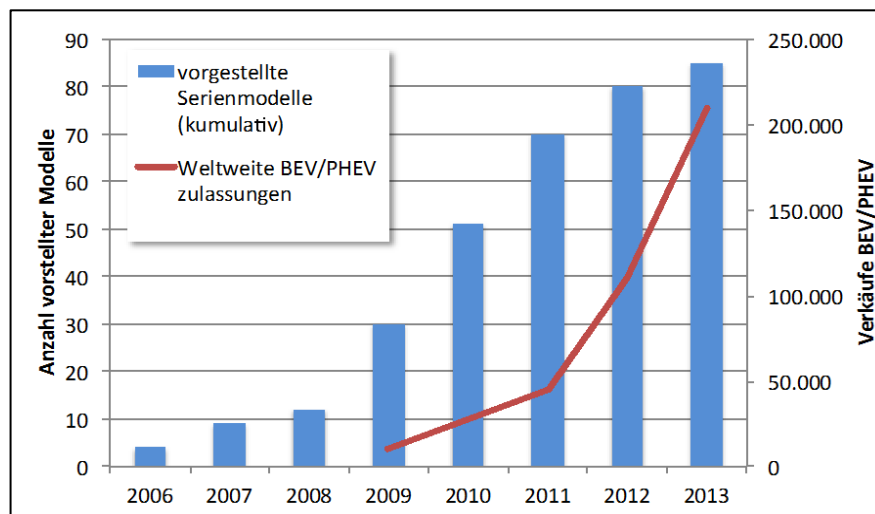


## DLR Fahrzeugkonzept-Datenbank

# Trends bei Fahrzeugkonzepten – Aktivitäten der Hersteller



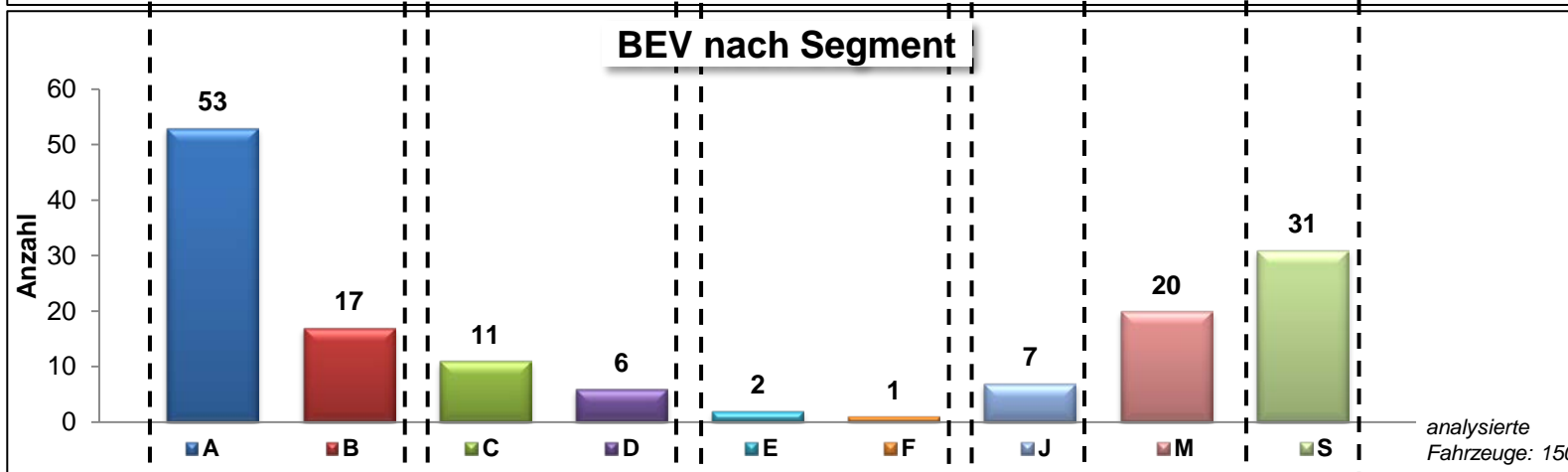
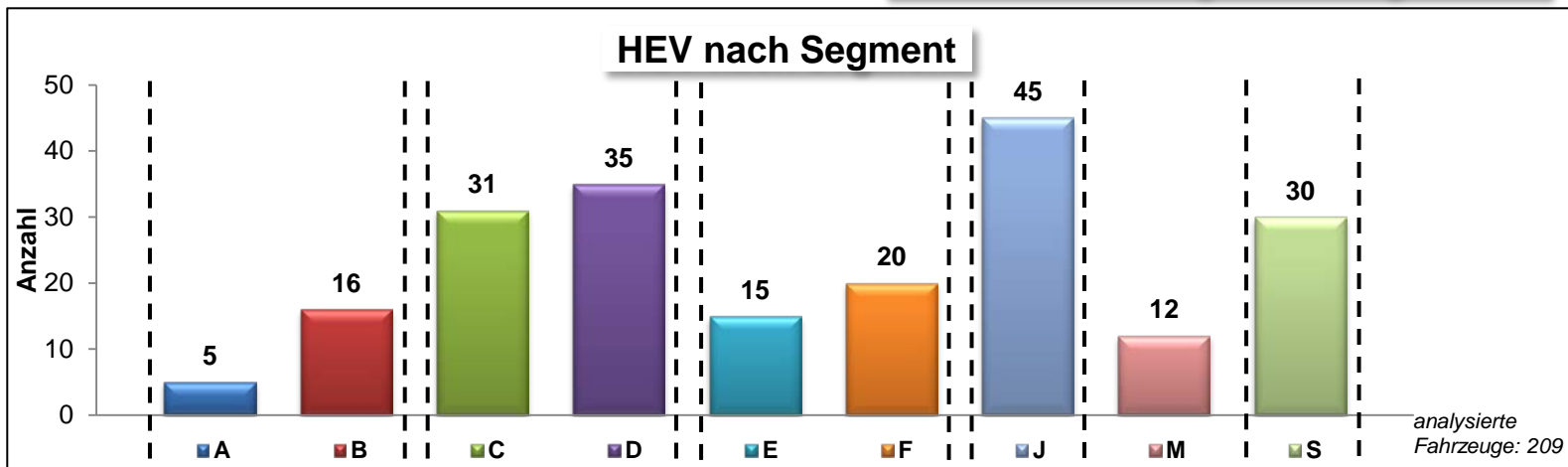
- Volkswagen nach Toyota aktivster OEM
- Audi, Mercedes, BMW mit ähnlichen Anteilen
- Frankreich durch Peugeot (3) und Renault (11) vertreten, Renault dabei nur mit Plug-In xEVs
- Weltweite BEV/PHEV Zulassungen mit stark steigender Tendenz
- Timelag Konzeptfahrzeug zu Serienfahrzeug ungefähr 2 Jahre



# STROM – Technologie-Monitoring

Ergebnisse DLR Fahrzeugkonzept-Datenbank:

## Elektrifizierung nach Segment



Kleinwagen
Mittelklasse
Oberklasse
SUV
Sportwagen



# STROM – Technologie-Monitoring

## Zentrale Erkenntnisse und Kernaussagen

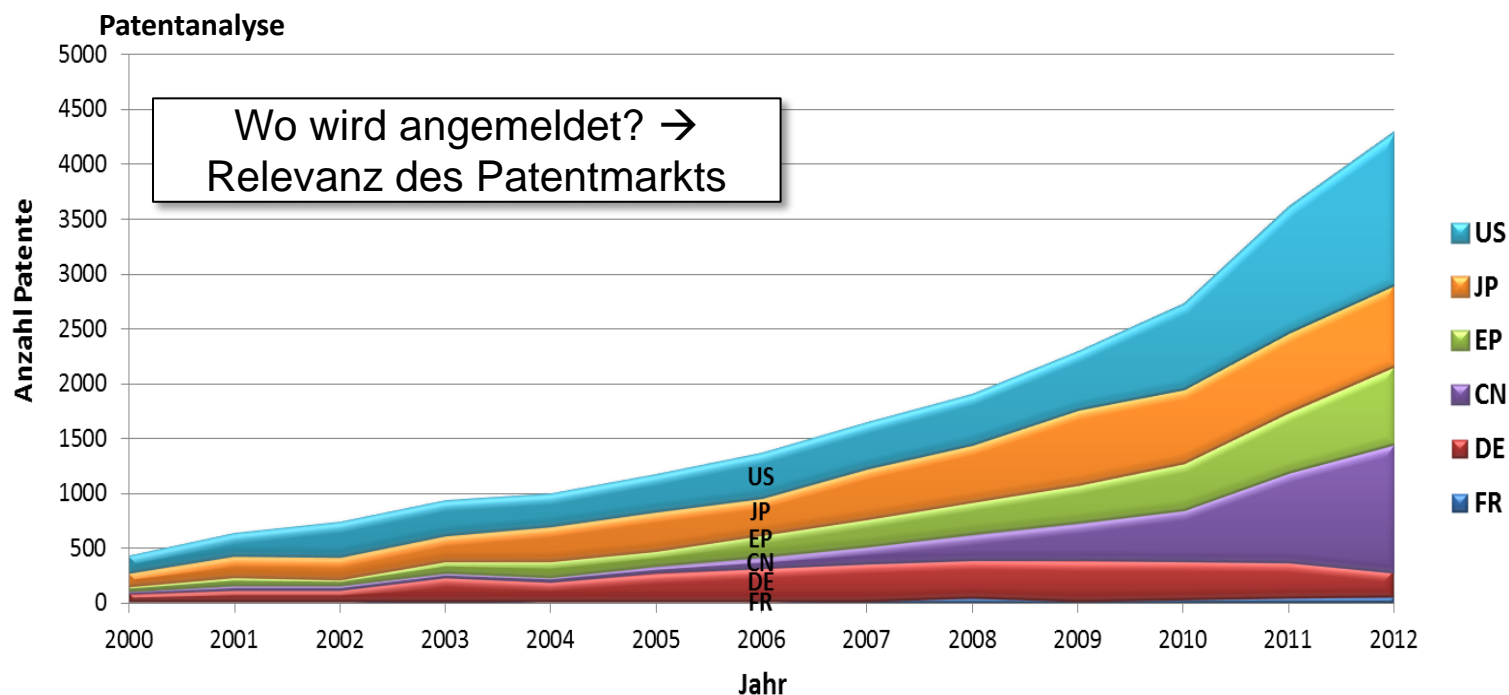
- **Konzeptionell:**
  - Deutliche **Zunahme höher elektrifizierter Fahrzeuge mit externer Ladeeinheit** ab 2008. Zeitversatz Konzept- zu Serienfahrzeug von ca. 2 Jahren.
  - BEVs hauptsächlich im **Kleinwagen-** (70 Fahrzeuge) und **Sportwagen-Segment** (31). HEVs eher im Segment der **Mittelklasse** (66) und **SUVs** (45).
  - Ab 2009 setzt sich bei HEVs die **parallele Antriebsarchitektur** ggü. der kombinierten durch.
  
- **Technologisch:**
  - Elektrische Maschinen mit **Permanentmagneten** dominieren vorgestellte Fahrzeugkonzepte. Fremderregte Maschinen spielen nur bei BEVs eine Rolle.
  - Die **Leistungsdichte** der elektrischen Maschinen steigt von 0,5 kW/kg auf über **1 kW/kg** im Jahr 2011.
  - **Achsmotoren** gewinnen kontinuierlich an Relevanz ggü. zentral installierten Maschinen.
  
- **Deutschland im Vergleich:**
  - Die deutsche Industrie zeigt **deutliche Aktivitäten** bei der Konzeptionierung elektrifizierter Fahrzeuge, insbesondere VW (Platz 2), Audi (4), Mercedes (5) und BMW (6).
  - Japanische Aktivitäten v.a. durch Toyota (Platz 1), Nissan (7) und Honda (9) getrieben



# STROM – Technologie-Monitoring

## Patent- und Publikationsanalysen –

### „Leistungselektronik im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“



- **US-Markt mit größter Bedeutung** für Patentanmelder, gefolgt von Japan auf 2. Platz
- Starke Steigerung der Anmeldezahlen in China ab 2010
- **In 2012 erreicht China 27% Marktanteil** (US 32%; JP 17%; EP 17%; DE 6%; FR 1%)
- Insgesamt **47.000 Patente**, davon 23.000 in untersuchten Regionen

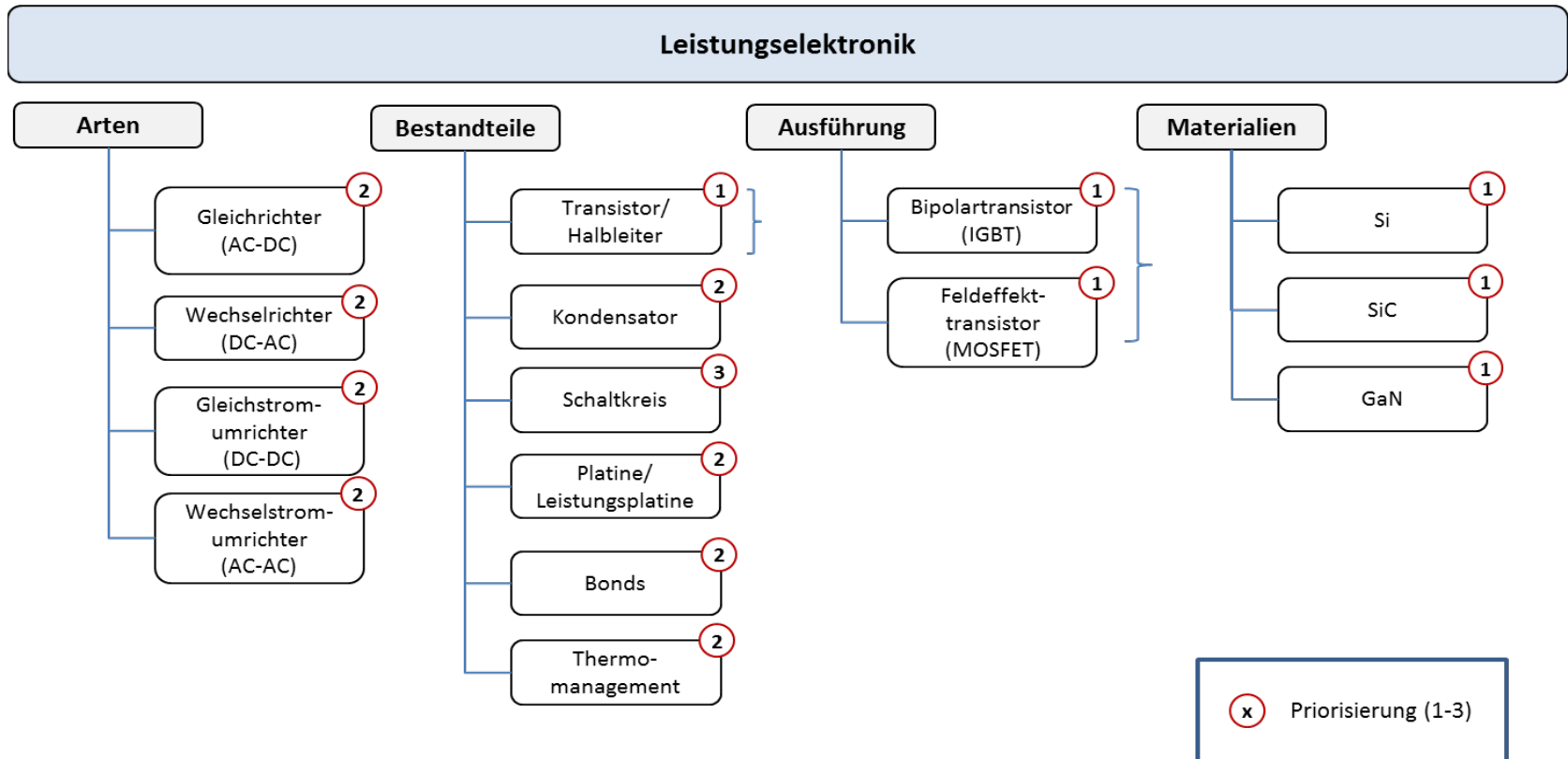




# STROM – Technologie-Monitoring

## Patent- und Publikationsanalysen

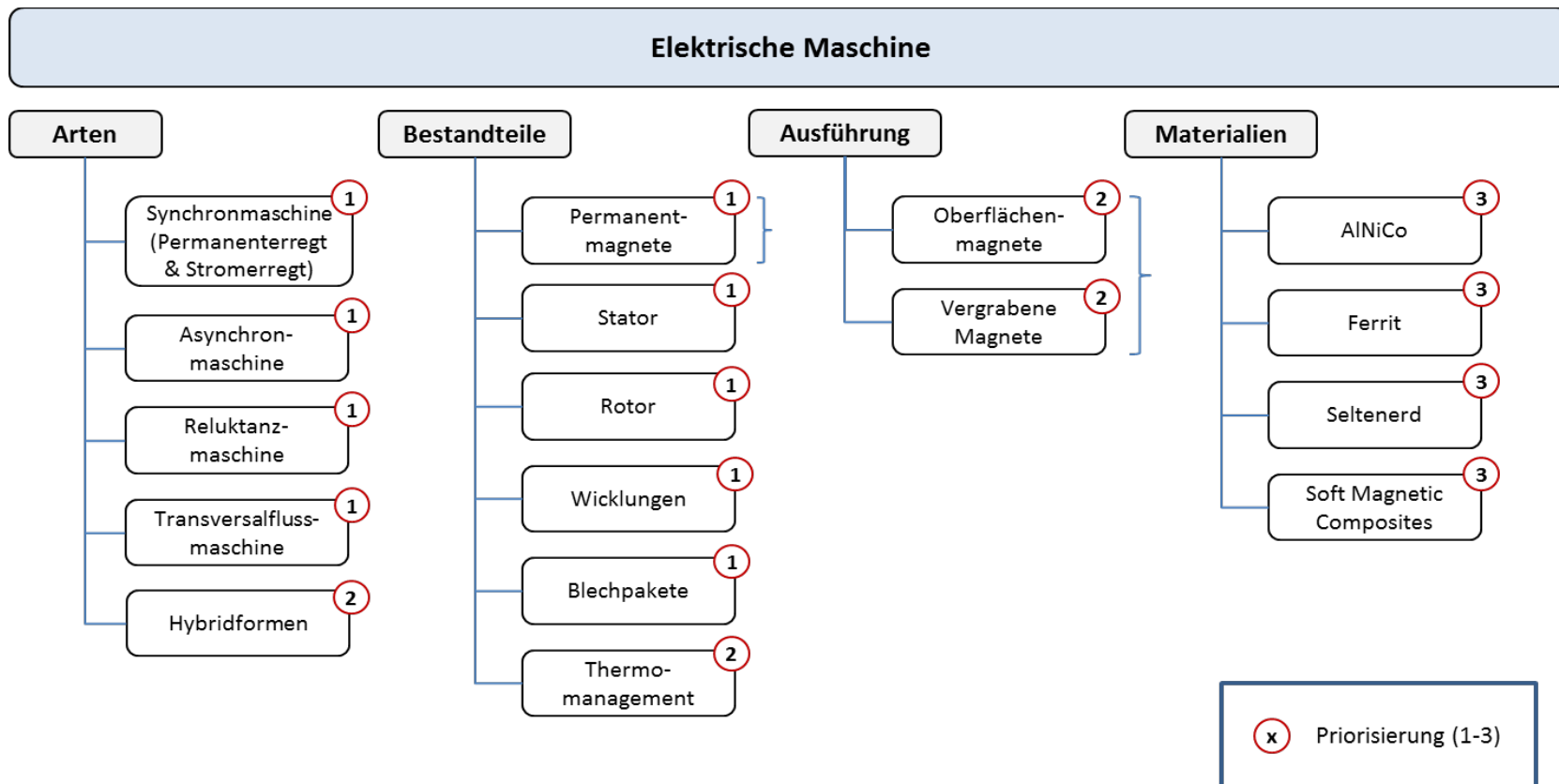
- Betrachtete Technologiefelder Leistungselektronik



# STROM – Technologie-Monitoring

## Patent- und Publikationsanalysen

### ■ Betrachtete Technologiefelder E-Maschine



# STROM – Fazit Technologie-Monitoring

## Zentrale Erkenntnisse und Kernaussagen

### ■ Leistungselektronik

- **Japan führt die Technologieentwicklung** auf Systemebene an und dominiert fast vollständig auf Bauteil- (Kondensatoren, Halbleiter) sowie Materialebene (Siliziumkarbid, Galliumnitrid). Der **Toyota-Konzern** ist Haupttreiber der Entwicklung.
- Aktivitäten japanischer Unternehmen fokussieren auf die Halbleiterentwicklung, übergeordnetes Ziel ist die **Steigerung des Wirkungsgrads** und die **Realisierung der „Hochintegration“**.
- **Wide-Bandgap-Materialien** (SiC, GaN) werden als wichtigste technologische Enabler der Hochintegration im Fahrzeug betrachtet.
- Deutschland befindet sich technologisch auf ähnlichem Level wie die USA und konnte den Patent-Output innerhalb der letzten 5 Jahre kontinuierlich steigern.
- Die technologischen Stärken Deutschlands liegen im Bereich der Systemintegration und AVT, Schwächen im internationalen Vergleich im Bereich Halbleiter und Halbleiter-Materialien.
- China weist ab 2010 eine große Markt-Dynamik auf, aber kaum relevante technologische Aktivitäten.



# STROM – Fazit Technologie-Monitoring

## Zentrale Erkenntnisse und Kernaussagen

### ■ Elektrische Maschine

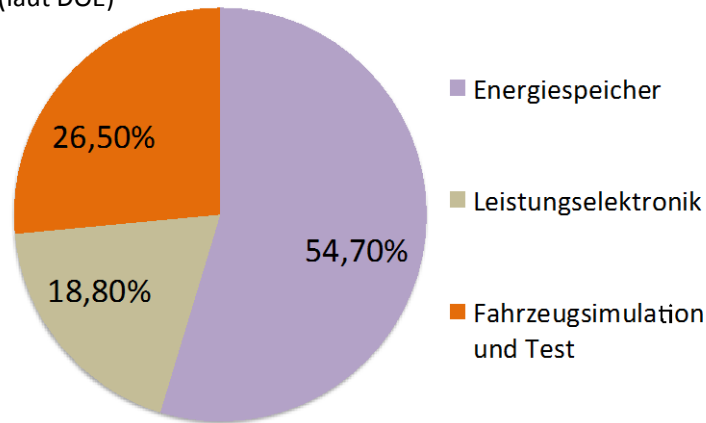
- **PSM mit Abstand mit den größten Anteilen an weltweiten F&E-Aktivitäten.** Alternative Bauformen gewinnen aber über die Jahre an Relevanz. Wissenschaftliche Publikationen fokussieren früher und stärker auf ASM, SRM und TFM.
- **Japan führt die Technologieentwicklung** bei E-Maschinen an und fokussiert fast ausschließlich auf PSM, verliert aber große Anteile ab 2007, v.a. zugunsten Chinas und Deutschlands. Auf Komponentenebene dominieren japanische Zulieferer (z.B. Mitsubishi, Panasonic, Hitachi, Denso).
- China weist ab 2009 große Markt-Dynamiken auf und kann auch technologisch signifikante Anteile gewinnen. Der Fokus liegt hauptsächlich auf Entwicklungen im Bereich ASM.
- Deutschland besitzt einen ähnlichen technologischen Fokus wie die USA (80% PSM, 10% ASM, 10% SRM) und ist im Jahr 2012 auf dem gleichen technologischen Niveau. Auf Komponentenebene können nur Bosch und Siemens mit F&E-Aktivitäten der japanischen Industrie konkurrieren.
- Deutschland als fast einzige Weltregion mit F&E-Aktivitäten im Bereich Transversalflussmaschine.



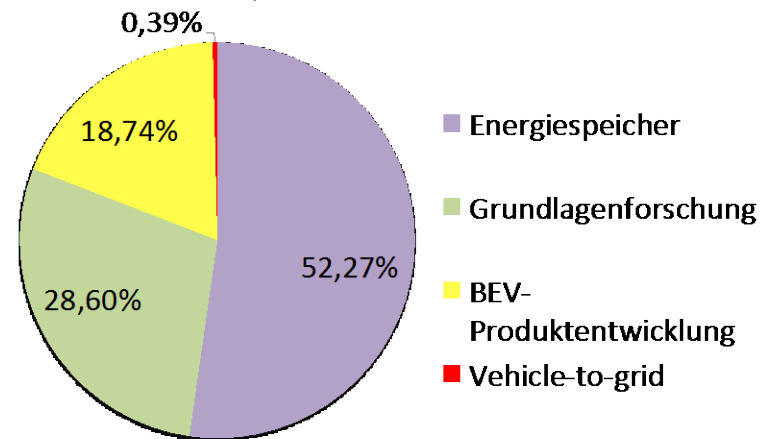
# STROM – Regionalstudien

## Globale Entwicklung – F&E und Demonstration: Forschungsschwerpunkte im Vergleich (nach Budgetverteilung)

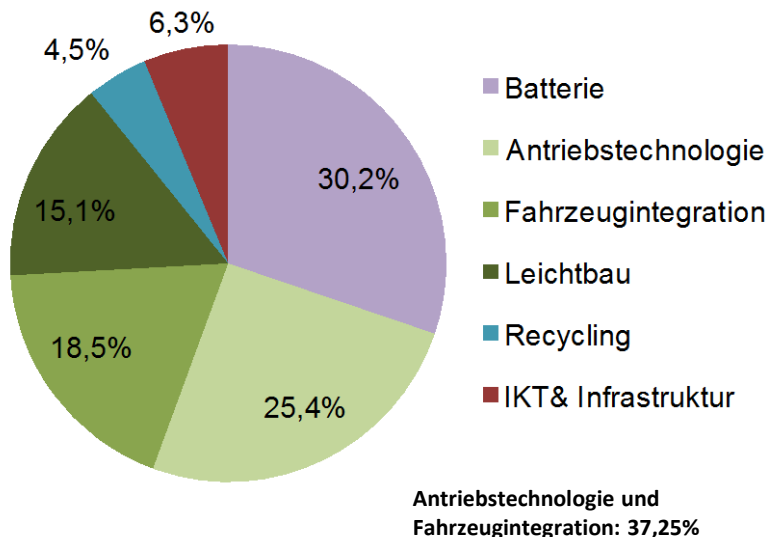
**USA** (laut DOE)



**Japan** (laut METI, MLIT, NEDO)

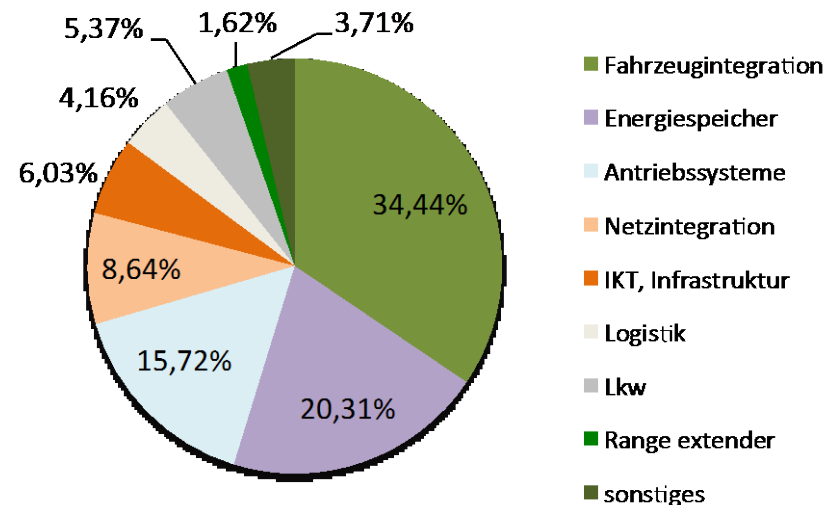


**Deutschland** (laut NPE)



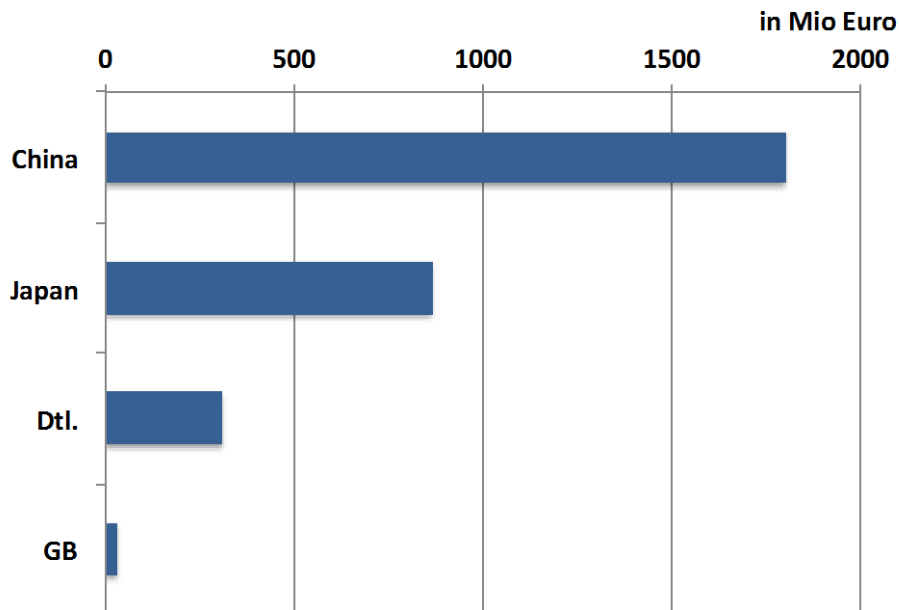
**Europäische Kommission**

(European Green Cars Initiative (EGCI) - 65 von 109 Projekten zu Elektrifizierung)



## Regionalstudien

# Demonstrationsprojekte im internationalen Vergleich



Land	Programm	Förderbudget
China	10 Cities – 1000 Vehicles	1,8 Mrd. € (geplant 2009-2011)
Japan	EV/PHEV Towns Concept	864 Mio. € (nur Infrastruktur- ausgaben)
Deutschland	Modellregionen Elektromobilität	130 Mio. €
	Schaufenster Elektromobilität	180 Mio. €
GB	Ultra Low Carbon Vehicle Demonstrators (Start 2008)	31 Mio. €

- Demonstrationsprojekte mit zentraler Rolle bei Infrastrukturaufbau und Marktentwicklung (Japan, China, Deutschland)
- China mit höchsten Investitionen in Demonstration, gefolgt von Japan und Deutschland



# STROM – Regionalstudien

## Zentrale Erkenntnisse und Kernaussagen

- Die meisten Vergleichsregionen vergeben **monetäre Kaufanreize** und erzielen damit einen höheren Marktanteil von PEV; weiterführende (z.T. nicht-monetäre) **Anreizsysteme** und Rahmenbedingungen scheinen ebenfalls einen wesentlichen Einfluss auf den Erfolg von E-Fzg. zu haben (vgl. Japan u. UK)
- Höchster Marktanteil von PEV zur Zeit in Norwegen, gefolgt von Niederlande, USA und Japan – Deutschland relativ erfolgreiche Marktentwicklung trotz fehlender Kaufanreize
- **Konkurrenz zu Verbrennungsfahrzeugen** weiterhin als zentrales Hemmnis für E-Fzg. – regionale Unterschiede in der Perzeption der Technologie
- Schwerpunkt der Forschungsförderung auf **Batterieforschung**, daneben insb. auch Fahrzeugintegration zentrales Thema
- **Demonstrationsprojekte** haben eine zentrale Rolle beim Infrastrukturaufbau und der Marktentwicklung (Japan, China, Deutschland)
- Große Fortschritte bei der Modellvielfalt (hohe Aktivität deutscher OEMs)
- Als **Produktionsstandort** für E-Fzg. liegt Deutschland deutlich hinter anderen Nationen zurück – Japanische Hersteller führend



# STROM – Verkehrsszenarien für MAIA

	STROM-min	STROM-mittel (NPE)	Strom-max
Pkw Bestand (aus Tremod 2012 basis)	42 Mio. (2010-2050)	42 Mio. (2010-2050)	42 Mio. (2010-2050) keine ICE- Benzin, ICE-Diesel bis 2050
E-Fzg. Bestand (PHEV20, REEV80, BEV)	0,1 Mio. (2020) 1 Mio. (2030) 2 Mio. (2040) 3 Mio. (2050)	1 Mio. (2020) 6 Mio. (2030) 11 Mio. (2040) 16 Mio. (2050)	1 Mio. (2020) 12,6 Mio. (2030) 19 Mio. (2040) 25,3 Mio. (2050)
FCEV Bestand	0 (2020) 0 (2030) 0 (2040) 0 (2050)	0 (2020) 1,4 Mio. (2030) 2,4 Mio. (2040) 3,1Mio. (2050)	0 (2020) 4,2 Mio. (2030) 6,3 Mio. (2040) 8,4 Mio. (2050)
Grafik	<p>Pkw Bestand Deutschland (STROM-min)</p>	<p>Pkw Bestand Deutschland (STROM-mittel)</p>	<p>Pkw Bestand Deutschland (STROM-max)</p>





# V21: Quantitative Fahrzeugszenarien

## Konfiguration der Fahrzeuge

### Konfiguration xEVs

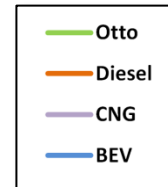
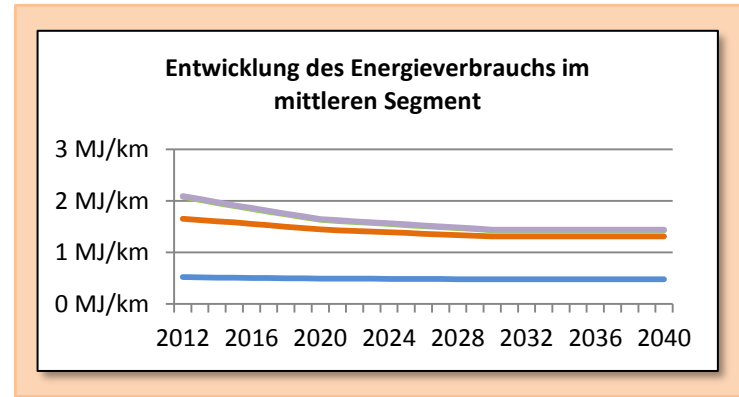
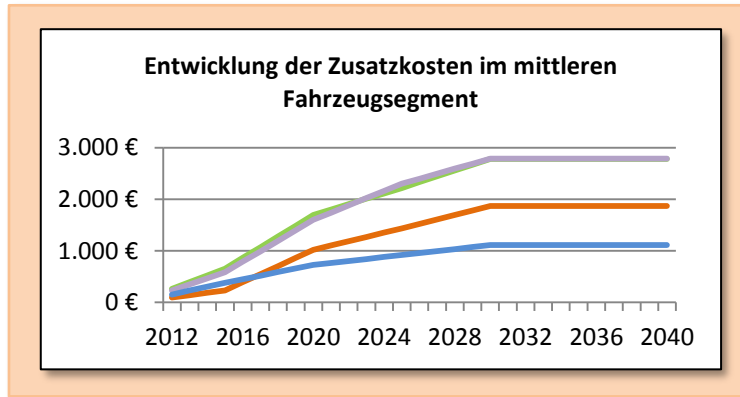
	Klein (S)		Mittel (M)		Groß (L)	
	Bat [kWh]	EM [kW]	Bat [kWh]	EM [kW]	Bat [kWh]	EM [kW]
Otto-Hybrid	1	15	2	25	3	40
Otto-Plug-In-Hybrid	4	40	6	55	8	70
Otto Range-Extender	10	65	15	100	20	160
Diesel-Hybrid	1	15	2	25	3	40
CNG-Hybrid	1	15	2	25	3	40
Batteriefahrzeug	20	65	25	100	30	160
Brennstoffzellenfahrzeug	2	65	3	100	4	160

- Für alle Fahrzeuge wurden neben den Parametern für die konventionellen Komponenten das **Setup der Bauteile** des elektrischen Antriebsstrangs festgelegt.
- Für alle Fahrzeuge wurde der **Energieverbrauch** ermittelt
- Die **Kosten** für die einzelnen Komponenten wurden analysiert

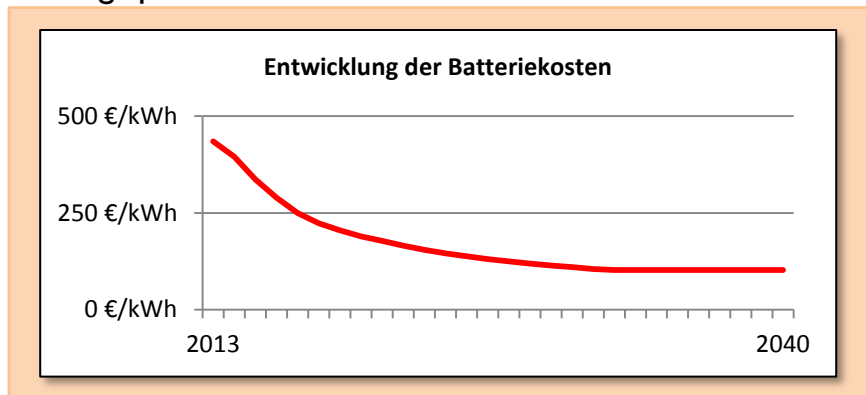


# V21: Quantitative Fahrzeugszenarien

## Entwicklung der Fahrzeugparameter



- Die Einführung neuer Technologien und Maßnahmen führt zu einer Senkung des Energieverbrauchs der Fahrzeuge
- Gleichzeitig werden Zusatzkosten für Effizienzsteigerungsmaßnahmen in die Fahrzeugkosten eingepreist



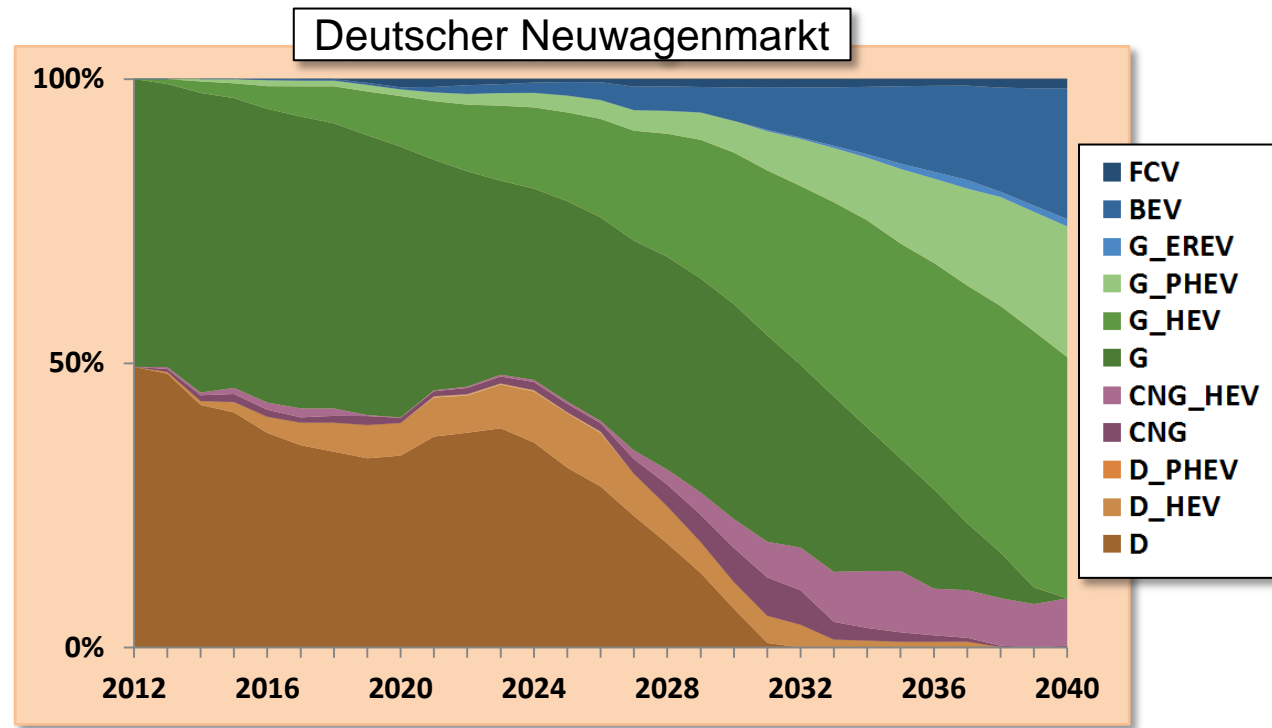
- Kosten für Schlüsseltechnologien (z.B. Traktions-Batterie) werden mit Hilfe von Stückzahl-abhängigen Lernkurven im Modell berechnet
- Auswirkungen von globalen Entwicklungen werden sichtbar

# V21: Quantitative Fahrzeugszenarien

## Der Neuwagenmarkt bis 2040

- Es kann eine zunehmende Elektrifizierung der Antriebsstränge am Neuwagenmarkt beobachtet werden. Die wachsende Diversifizierung bleibt über einen langen Zeitraum bestehen.

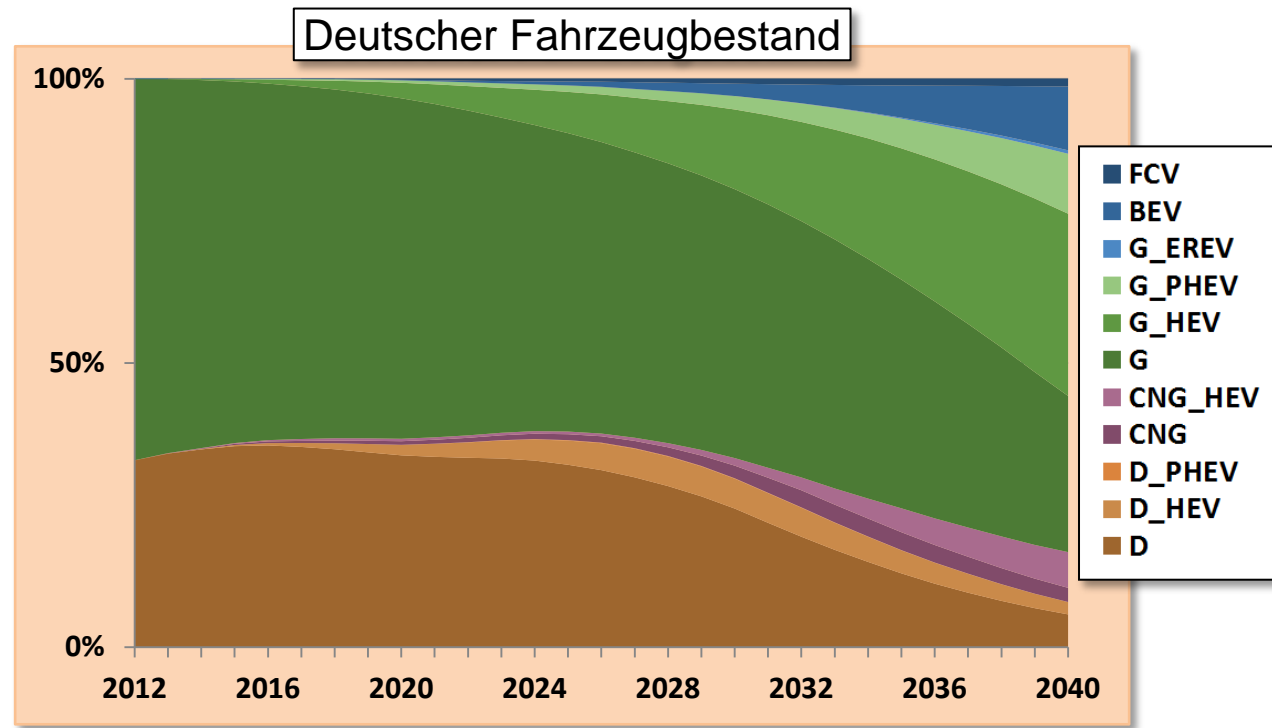
- **Konventionelle Fahrzeuge** dominieren den Markt bis ca. 2025
- **Plug-In xEVs** gewinnen zunehmend an Bedeutung.
- **Diesel-Fahrzeuge** können sich nicht im Markt halten



# V21: Quantitative Fahrzeugszenarien

## Entwicklung des Pkw-Bestands

- Die Berechnung der Durchdringung von alternativen Antrieben im Fahrzeugbestand erfolgt mit Hilfe eines Bestandsmodells
- Der Bestand reagiert deutlich langsamer als der Neuwagenmarkt
- Fahrzeuge mit **Otto-VKM** würden ihren hohen Anteil verteidigen können
- **2020** wären demnach ca. **226.000 Fahrzeuge** mit Stecker auf der Straße (2,36 Mio. xEVs).
- **2030** würde der Bestand **1,88 Mio. PEVs** aufweisen (ca. 26% der Fahrzeuge wären elektrifiziert).

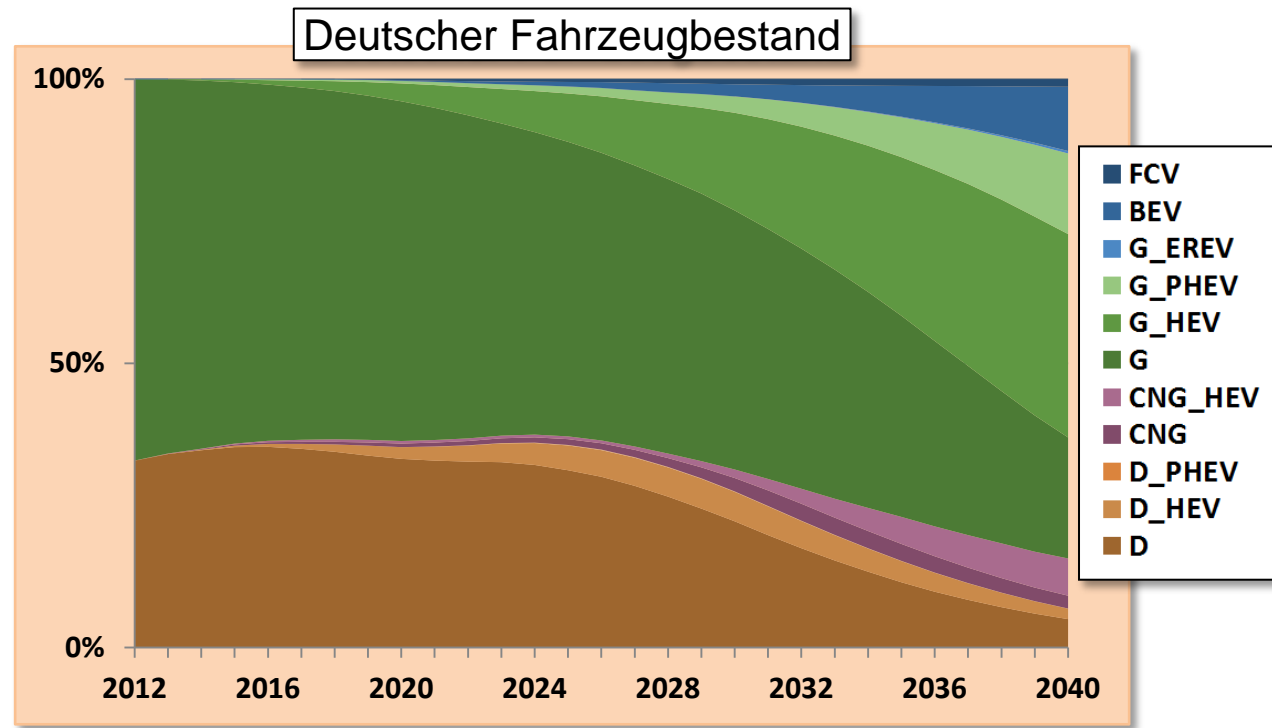


# V21: Quantitative Fahrzeugszenarien

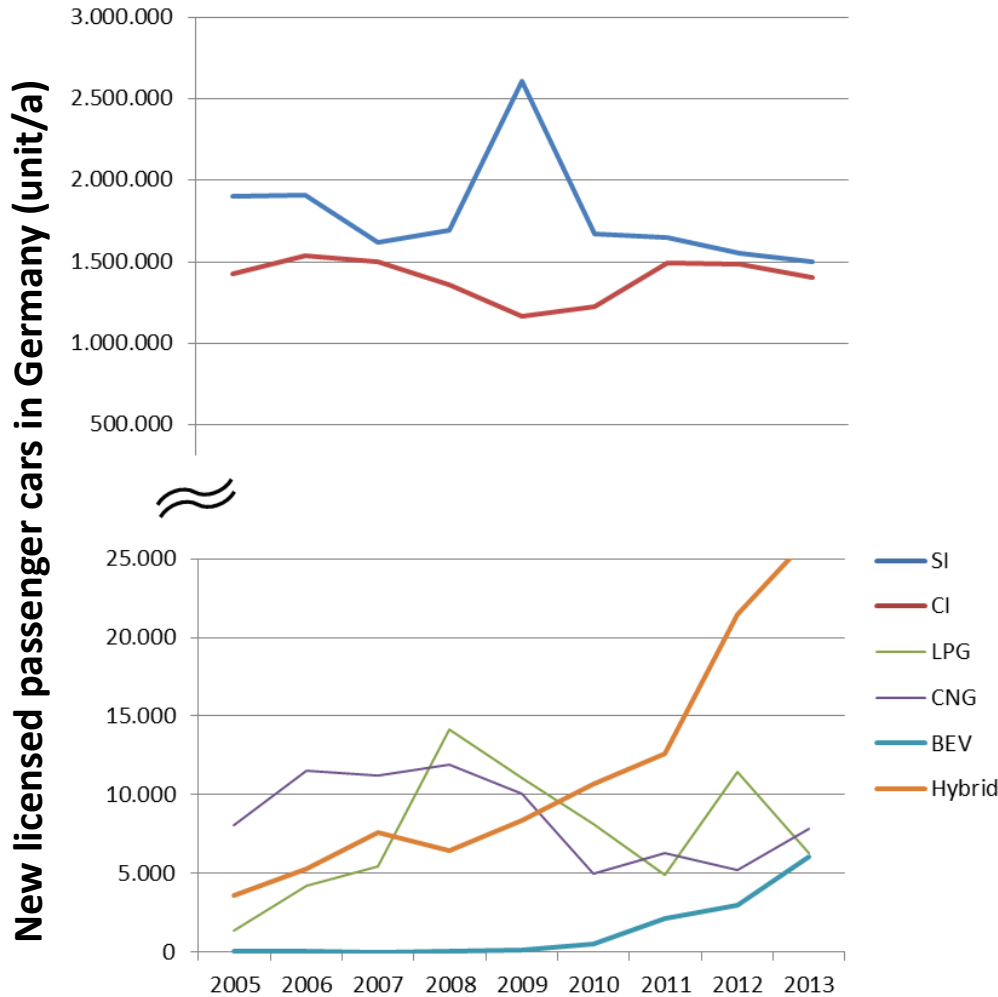
## Auswirkungen eines schnellen Wachstums des globalen EV-Markts

- Auch ein schnelleres EV-Wachstum auf internationalen Märkten kann nur bedingt dafür sorgen, dass Deutschland seine Ziele erreicht.

- Fahrzeuge mit **Otto-VKM** würden ihren hohen Anteil verteidigen können
- **2020** wären demnach ca. **242.000 Fahrzeuge** mit Stecker auf der Straße (2,65 Mio. xEVs).
- **2030** würde der Bestand **2,07 Mio. PEVs** aufweisen (ca. 30 % der Fahrzeuge wären elektrifiziert).



# Germany's car market



**New vehicles in 2013: 2,95 million**  
 (-4,2% compared to 2012)

of this

Private: 37,9 %

Diesel: 47,5 %

Alternative powertrains: 1,5%

Avg. CO2 emission: 136,4 g/km

Short-term licensing: 116,000

The number of electric cars doubled in 2013 compared to 2012:

**6,051 units**

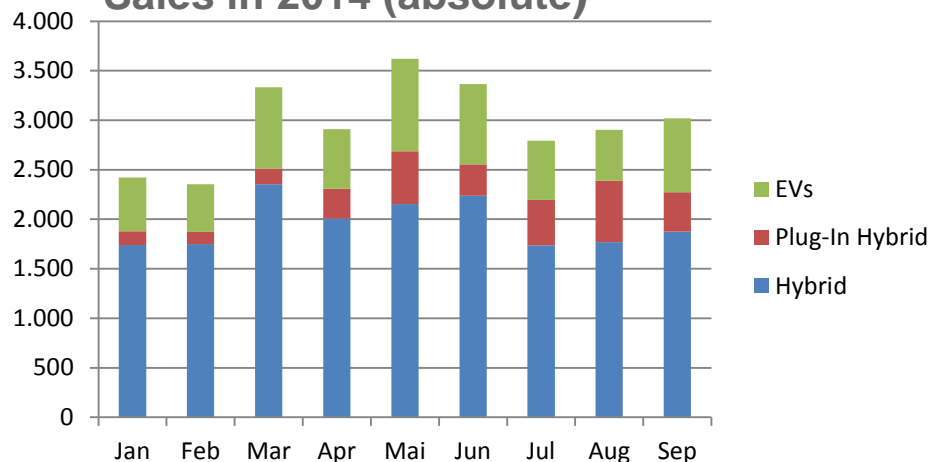
- Significant positive trend for Hybrids
- Positive trend for BEV- almost equal to CNG (and LPG)

Source: [www.kba.de](http://www.kba.de)



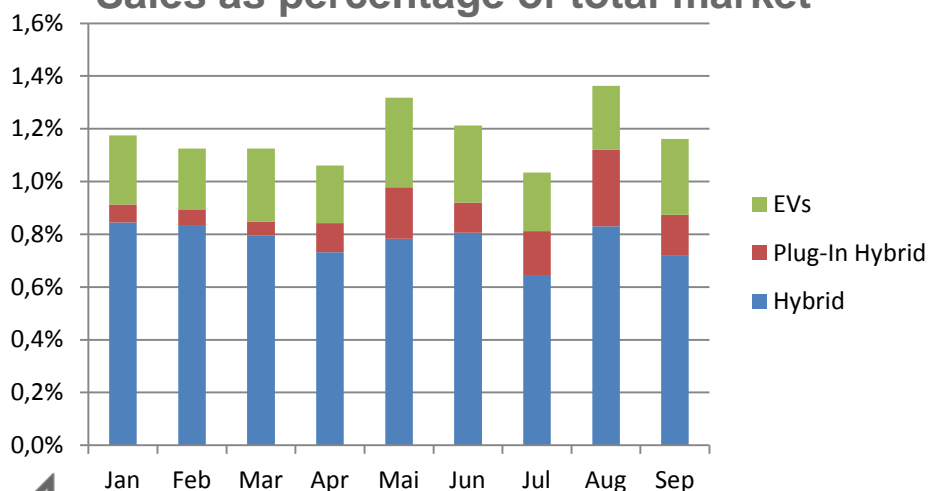
# Current sales of HEVs, PHEVs, and BEVs

## Sales in 2014 (absolute)



- New registrations in 2014 (Jan-Sep)
  - Hybrids 20,672
  - of which Plug-ins: 3,053 (15%)
  - BEV 6,047
  - Conventional
    - SI 1.2 million
    - CI 1.1 million

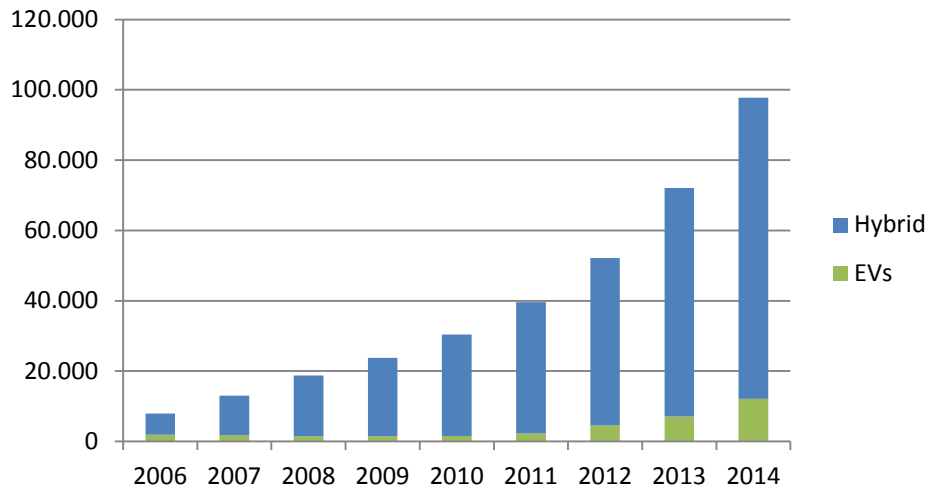
## Sales as percentage of total market



- Increase of purchase in 2014 compared to 2013 (Jan-Sep)
  - Hybrids +8%
  - Plug-Ins +245,8%
  - BEV 56%
- Due to statistical reasons, not all PHEV/REEV are shown

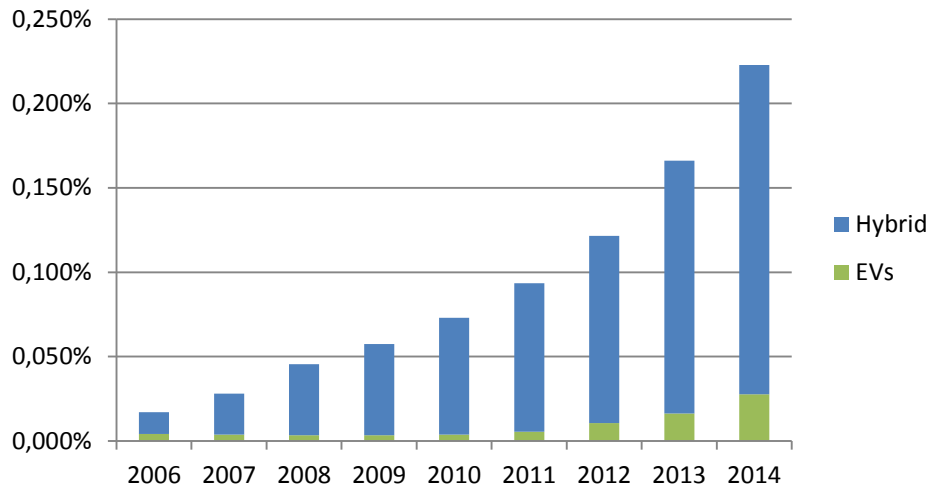


# Share of HEVs, PHEVs, BEVs in the car stock



## Share in vehicle stock (1<sup>st</sup> Jan 2014)

- Hybrids 0,195%
- BEV 0,028%
- CNG 0,18%
- Conventional
  - SI 68,3% (29.96 mio)
  - CI 30,1% (13.22 mio)



- Sales not progressing as expected: in average 140,000 per annum are needed to reach 1,000,000 in 2020.





# Fördermöglichkeiten für die Elektromobilität

## Ein internationaler Vergleich

*Berlin, 09.04.2014*

Matthias Klötzke

DLR Institut für Fahrzeugkonzepte



Wissen für Morgen



# Die STROM-Begleitforschung

## Forschungsfragen

Welche technologischen und marktlichen Trends zeichnen sich bei Schlüsseltechnologien der Elektromobilität sowie elektrifizierter Fahrzeugkonzepte ab?

Welchen Stand hat die Technologie-Entwicklung im nationalen und internationalen Vergleich?

Welche Förderschwerpunkte können in verschiedenen Weltregionen identifiziert werden und welche Zielgruppen werden adressiert?

Wie sehen Materialintensitäten der Schlüsseltechnologien und Fahrzeugkonzepte aus?

### Projekt-Konsortium:



DLR

Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt



**Wuppertal Institut**  
für Klima, Umwelt, Energie  
GmbH



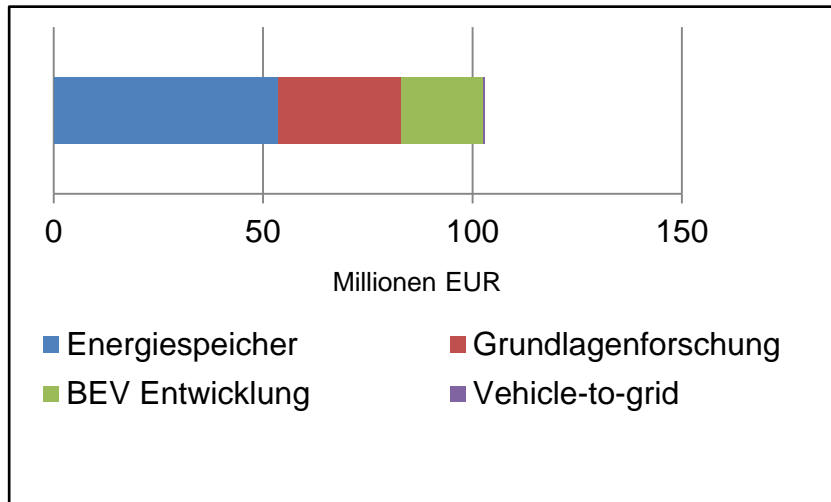
DLR





# Details spezifische Forschungsförderung xEVs\* in Japan und den USA 2012

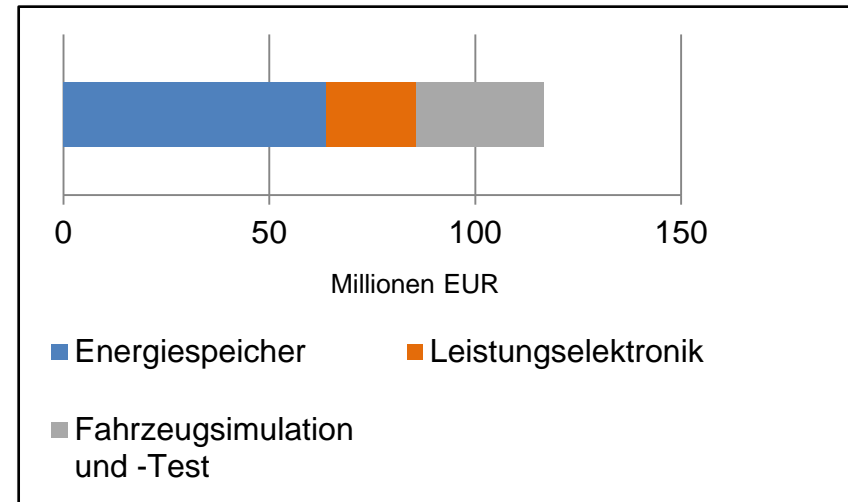
## Japan:



### Forschungsschwerpunkte:

- Schwerpunkt auf Forschung und Entwicklung von Hochleistungsbatterien
- Reduktion seltener Erden in xEVs
- Vehicle-to-Grid
- Leistungselektronik

## USA (DoE):



### Forschungsschwerpunkte:

- Schwerpunkt auf Energiespeicherung
- Leistungselektronik
- Fahrzeugsimulation und -test

\*nur Programme die speziell xEVs beforschen





# Kaufanreize

## Monetäre und nicht-monetäre Anreize

### Japan

#### Monetäre Anreize

- 50-75% der **Differenzkosten** zwischen xEV und konventionellem Fahrzeug werden übernommen.
- Bei Nissan LEAF werden **100%** der Differenzkosten übernommen
- Zusammen mit Infrastruktur-Subventionen **~900 Mio. € Budget** (2009-2013)
- Reduzierte **Parkkosten**
- Reduzierte Kosten für **Autobahnmaut**

### USA

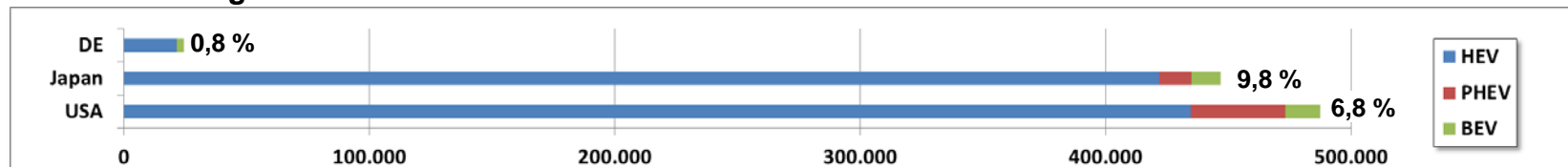
#### Monetäre Anreize

- \$ 2500 - \$ 7500 **ationale** Steuervergünstigung pro Fahrzeug (abhängig von Batteriegröße)
- Bis \$ 2500 **regionale** Steuervergünstigung (z.B. Kalifornien)
- Zusätzlich Subventionen durch Städte & ausgewählte **Arbeitgeber** (z.B. Disney)
- Kostenloses **Laden** bei ausgewählten Geschäften/Restaurants/Tesla-QC etc.
- Kostenloses **Parken** auf ausgewählten Plätzen

#### Nicht-monetäre Anreize

- Zugang zu **HOV-Lanes**

### Neuzulassungen 2012





# Ladeinfrastruktur

## Öffentliche Schnell- und Langsam-Lader

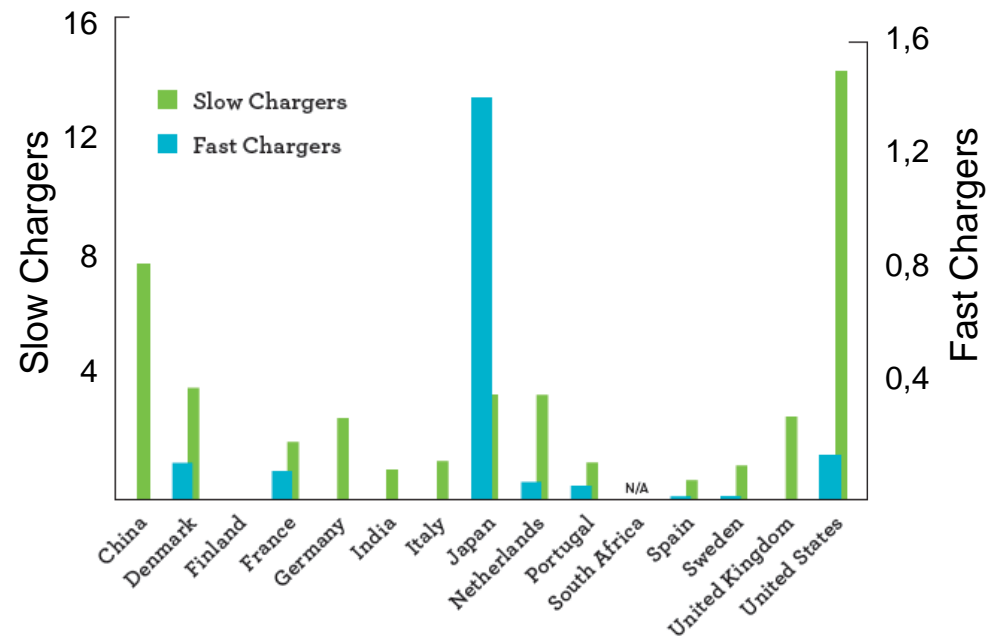
### Japan

- Innerhalb der monetären Kaufanreize (Gesamtbudget ~900 Mio. € 2009-2013)
- Bis 50% der Gesamtkosten für Ladestationen (auch CNG-Tankstellen möglich)

### USA

- EV Project: \$120 Mio. (8.300 Heimpladestationen, 310 Schnelllader und 125 photovoltaik-basierte Ladestationen)
- Charge Point: \$15 Mio. Subvention für privatwirtschaftliches Ladestationsnetz zur Installation von zusätzlich 4.600 öffentlichen und privaten Ladestationen
- Kalifornien: \$120 Mio. für 1000 Ladestationen (davon min. 200 Schnellladestationen)
- Zusätzliche Förderungen durch den American Recovery and Reinvestment Act

Anzahl öffentlicher Ladestationen 2012 (in Tsd)

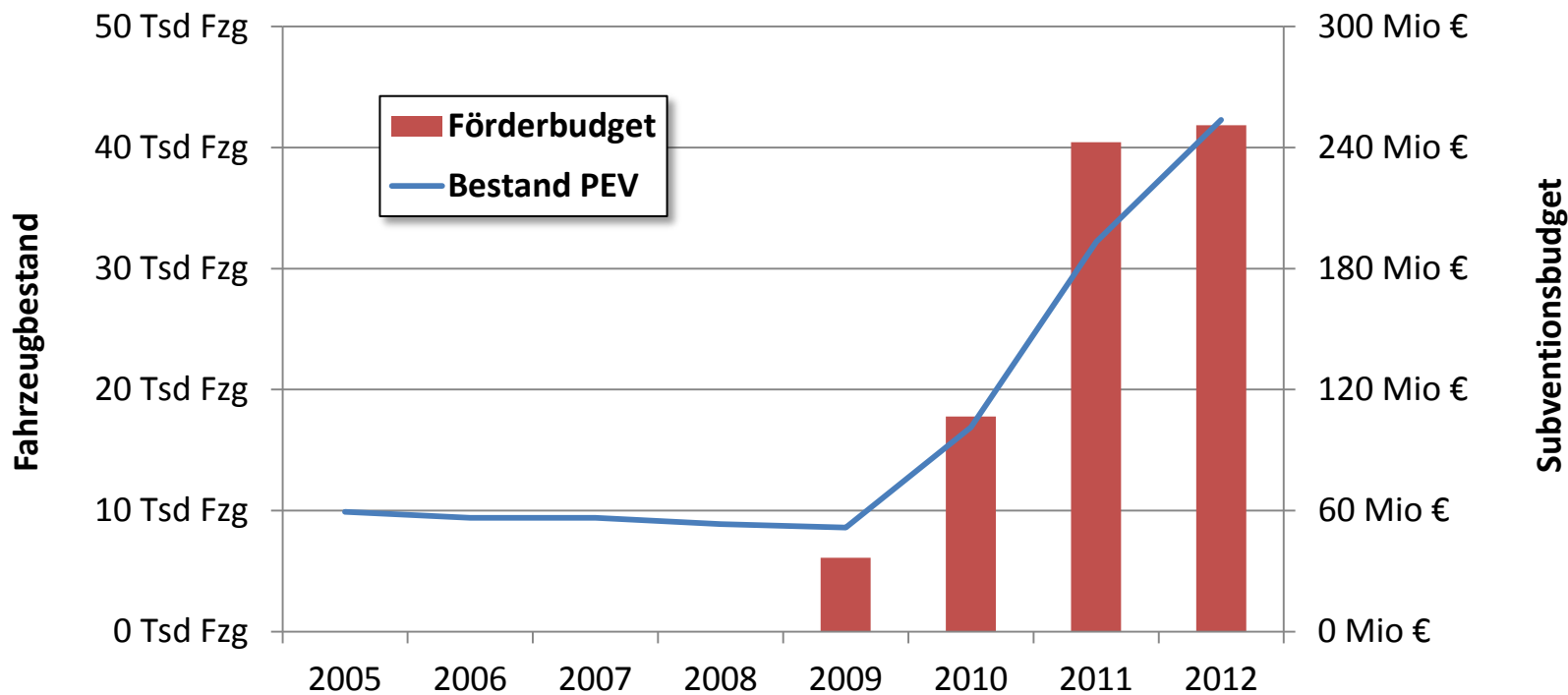


Quellen: Regional Studie USA, DLR & UC Davis, 2014, im Druck  
<http://gov.ca.gov/news.php?id=17463>  
 DoE, [http://www1.eere.energy.gov/cleancities/electric\\_vehicle\\_projects.html](http://www1.eere.energy.gov/cleancities/electric_vehicle_projects.html)  
 IEA, [www.iea.org/publications/globalvoutlook\\_2013.pdf](http://www.iea.org/publications/globalvoutlook_2013.pdf), abgerufen: 03.04.2014



# Einfluss von Kaufanreizen

## Entwicklung des BEV & PHEV Bestands in Japan



Quellen: Regional Studie Japan, Wuppertal Institut & IGES, 2014, im Druck  
<http://www.cev-pc.or.jp/tokei/hanbai1.html>





# Experteneinschätzungen

## Erfahrung aus Förderungen in den USA

### Monetäre Kaufanreize

- Wichtigstes Instrument um **kurz- und mittelfristig** EVs in den Markt zu bringen.
- **Langfristige** Planungssicherheit notwendig.
- Große Befürchtung von **Absatzeinbruch** bei ausbleibenden Subventionen
- Werden von **wohlhabenden Kunden** nicht immer (vollständig) abgerufen.

### Nicht-monetäre Kaufanreize

- Hauptsächlich der Zugang zu **HOV-Lanes** wird als wichtig angesehen.
- Hohe Bedeutung in **Ballungsräumen**.
- Für **Pendler** unter Umständen wichtigeres Entscheidungskriterium als monetäre Anreize.
- Exklusiver Zugang zu **Stadtzentren** denkbar.



Matthias.Kloetzke@dlr.de

+49 711 6862 8092



**DLR**

**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.**  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Institut für Fahrzeugkonzepte



**DLR**

Wissen für Morgen







# Monetäre Kaufanreize

## Am Beispiel Kalifornien

<b>List price of a Nissan Leaf in 2012</b>	<b>32.780 US-\$</b>
<b>Federal and state (California) subsidies</b>	<b>- 10.000 US-\$</b>
<b>County specific rebate for zero-emission vehicle purchase (San Joaquin Valley Air Pollution Control District)</b>	<b>- 3.000 US-\$</b>
<b>Companies offering employees allowances for BEV purchase (Sony Entertainment)</b>	<b>- 5.000 US-\$</b>
<b>Final purchase price for a Nissan Leaf in the state of California</b>	<b>14.780 US-\$</b>

**Table 3: Incentivation of vehicle purchase in California ([ITI\_12], own calculations)**

Quelle: Höttl, A. et al: Deployment of electric mobility in Germany and the United States: An overview on public funding schemes and key technologies, Future Mobility, Bremen, 2012



# Schlüsseltechnologien der Elektromobilität (STROM)

## Begleitforschung zu Technologien und Perspektiven der Elektromobilität

Technologie-Monitoring und Experteninterviews Leistungselektronik

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Institut für Fahrzeugkonzepte

Dipl.-Kfm. (t.o.) Benjamin Frieske

Gefördert durch:  
 Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Wissen für Morgen



# STROM – Begleitforschung

## DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

- **Institut für Fahrzeugkonzepte, Stuttgart**
  - Technologie-Monitoring
  - Trendanalyse und Technologiebewertung
  - Simulation und Fahrzeug-Szenarien
  
- **Institut für Verkehrsforschung, Berlin**
  - Trendanalyse Verkehr
  - Nutzungsverhalten und Szenarien Elektromobilität

## Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

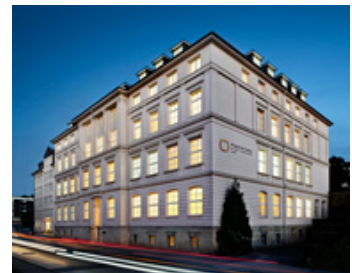
- Materialintensitätsanalyse
- Regionalstudien



DLR Institut für Fahrzeugkonzepte



DLR Institut für Verkehrsforschung



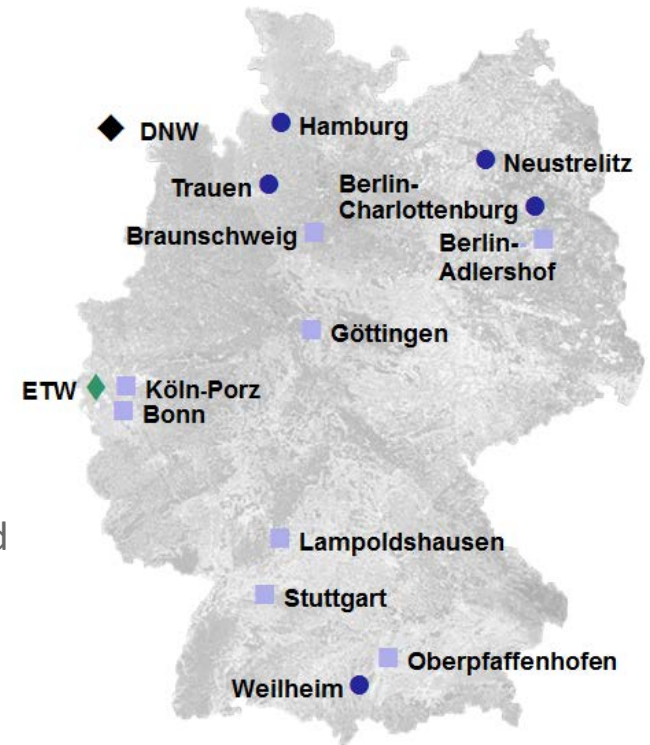
Wuppertal Institut



# DLR – Im Überblick

- Größte europäische Forschungseinrichtung für Luft-Raumfahrt
- Raumfahrt-Agentur
- Projektträger

Ca. 7.000 Mitarbeiter arbeiten in 33 Forschungsinstituten und Einrichtungen an 9 Standorten und 7 Außenstellen.  
Außenbüros in Brüssel, Paris und Washington



# STROM – Rahmen des BMBF-Förderprogramms

- **Volumen:** ca. 160 Mio. €
- **Anzahl der geförderten Projekte:** 19
- **Bereiche:** Gesamtsystem, Energie- & Thermomanagement, Antriebssystem
- **Auftraggeber:** BMBF (Referat 523)
- **Zeitraum:** Okt. 2011 - Sep. 2014



PORSCHE



Institut Chemnitz  
Maschinen- und Anlagenbau e.V.



\* Auszug beteiligter Unternehmen am STROM Programm

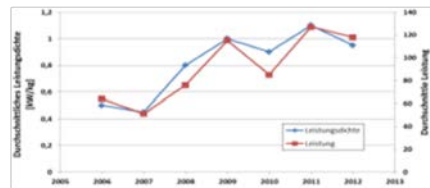
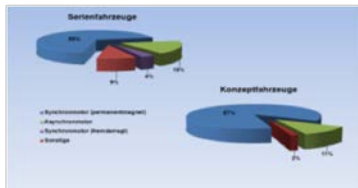




# STROM – Methodik der Begleitforschung

## Technologie-Monitoring

- **Experteninterviews (national & international)**
- **Publikationsanalysen**
- **Patentanalysen**
- **Fahrzeugkonzept-Datenbank**
- **Regionalstudien**
- **Workshops**
- **Simulation**
- **Fahrzeug-Szenarien (VECTOR21)**



Quelle: dlr, sip, cgk



# STROM – Forschungsfragen der Begleitforschung



- Welche **Trends** zeichnen sich bei Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und elektrifizierten Fahrzeugkonzepten ab?
- Welche **Forschungsschwerpunkte** und **Förderaktivitäten** gibt es in anderen Weltregionen?
- Welchen **Stand hat die Technologieentwicklung** im nationalen und internationalen Vergleich?

- **5 Weltregionen** (Europa, USA, China, Japan, Indien)
- **5 Technologiefelder** (Fahrzeugkonzepte, Elektromotoren, Leistungselektronik, Leichtbau, Thermomanagement, *Batterie*)
- **Elektrifizierte PKW** (Hybridfahrzeuge, Batteriefahrzeuge, Konzept-, Prototypen- & Serienfahrzeuge)
- **Zeitraum: ca. 10 Jahre** (Entwicklungen ab 2001)

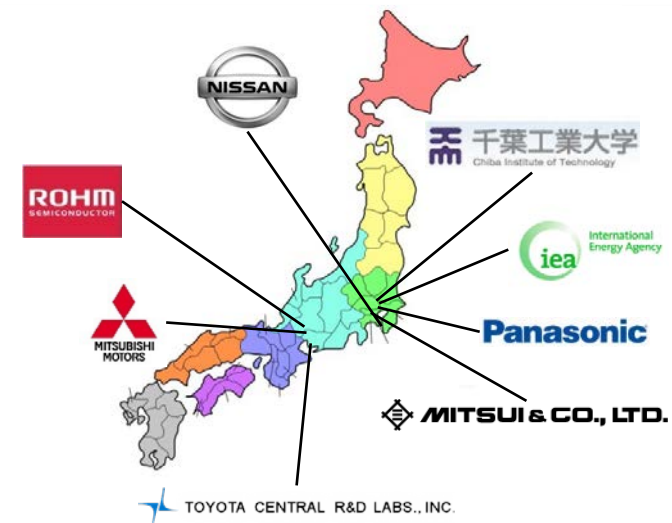




# STROM – Forschungsreise Japan

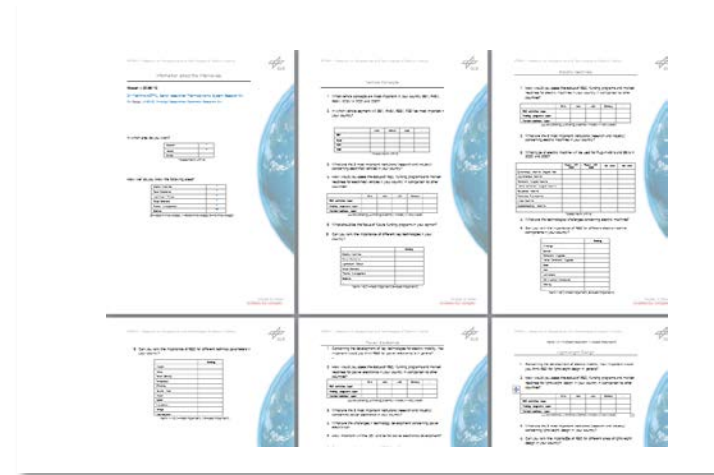
## Gesprächspartner in Japan (Auszug):

- Toyota Central R&D
- Mitsubishi Motors
- Nissan Motor Company
- Panasonic Corporation
- Rohm Co., Ltd.
- Chiba Institute of Technology



## Fokus der Interviews auf 4 Bereiche:

- Politischer Rahmen und Strategien
- ➔ ■ **Schwerpunkte F&E**
- Wirtschaft und Industrie
- Marktstruktur Verbraucher



# STROM – Experteninterviews Japan

## Stand der Forschung und Einschätzung der technologischen Position

“...Japan has a **leading position** in research for power electronics...”

“...Main goal is to achieve **high-integration** and **efficiency increase**...”

“...focus on **semiconductor technologies**...”

“...SiC is the enabler of high-integration...”

Einschätzung der rel. Position Japans bei F&E, Förderprogrammen und Marktfähigkeit:

	<b>China</b>	<b>India</b>	<b>USA</b>	<b>Germany</b>
<b>R&amp;D activities Japan vs.</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>o</b>	<b>o</b>
<b>Funding programs Japan vs.</b>	<b>na</b>	<b>na</b>	<b>na</b>	<b>-</b>
<b>Market readiness Japan vs.</b>	<b>++</b>	<b>++</b>	<b>+</b>	<b>+</b>

++ Very strong; + Strong; o Same; - Weak; -- Very weak

Quelle: DLR (2014)

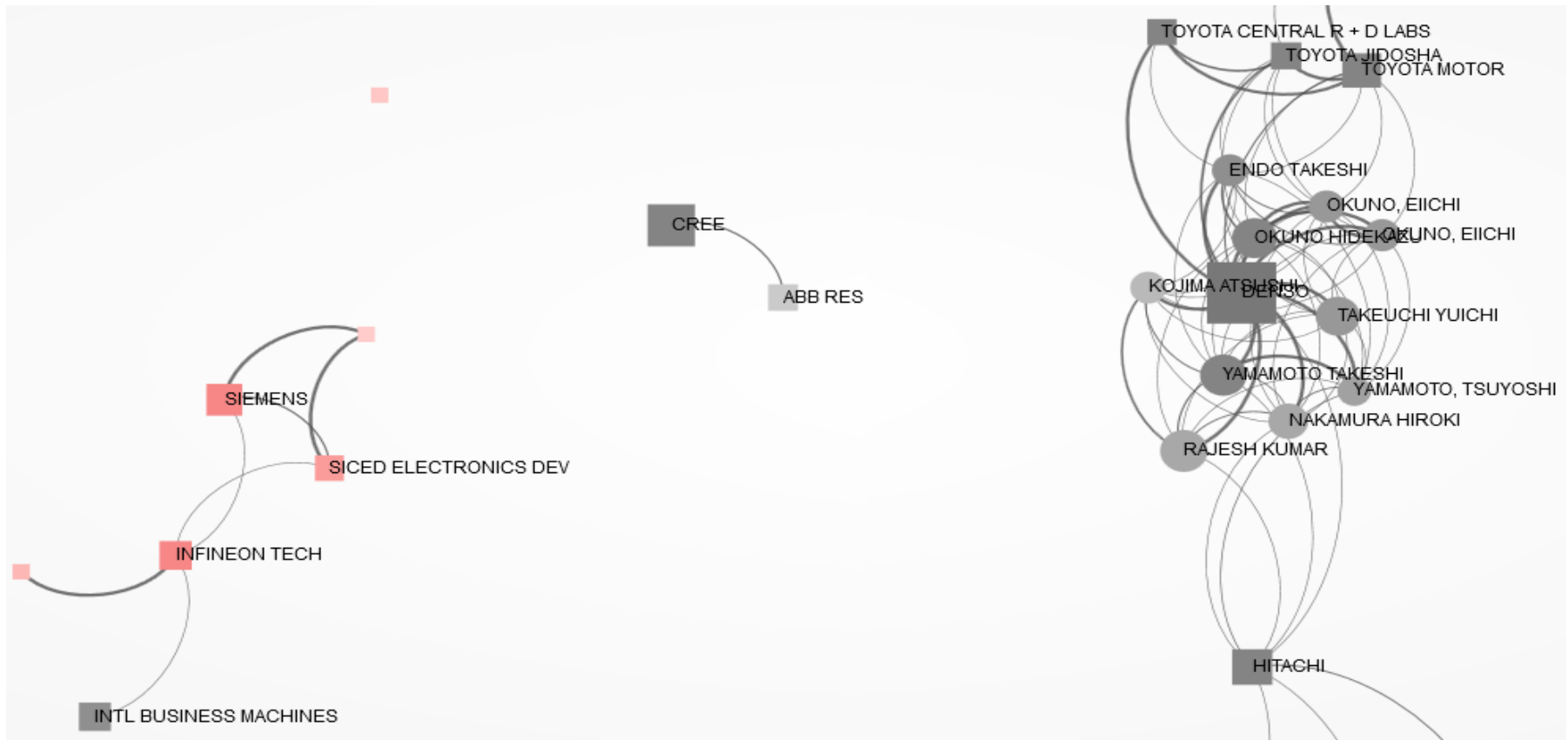




# STROM – Experteninterviews Japan

## Stand der Forschung und Einschätzung der technologischen Position

### Patentlandschaft im Bereich „Halbleiter und SiC“



Quelle: DLR (2014)



# STROM – Experteninterviews Japan

## Schwerpunkte in der Technologieentwicklung und Technologietrends

“...SiC can handle higher frequencies to be smaller and more efficient. **Important for externally excited motors** – permanently excited motors could use existing PE...”

“...**Cooling should not be necessary anymore...**”

“...The **temperature limit** is up to 300-400°C, you don't need more. Limiting factor is the electric machine...”

“...We consider SiC devices in a **large scale mass production** for HEVs and BEVs in **2016...**”

“...SiC will be **mass market** in **2030...**”



# STROM – Ergebnisse Forschungsreise Japan

## Fazit und Thesen zur Diskussion

- **Elektromobilität wichtiger Treiber in der Leistungselektronik-Entwicklung**
- **Geringe Zusammenarbeit zwischen Forschung und Industrie in Japan, Deutsches Forschungs- und Fördersystem wird als vorbildlich gesehen**
- **Technologieentwicklung in der Regel nicht Fahrzeug-spezifisch**
- **Neue Halbleitermaterialien ermöglichen Hoch-Integration und deutliche Vorteile beim Thermomanagement**
- **SiC wird Zukunft der Leistungselektronik prägen, Massenmarkt zw. 2016 und 2030**



# STROM – Ansprechpartner

- **DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.**
  - **Institut für Fahrzeugkonzepte**
    - Benjamin Frieske [Benjamin.Frieske@dlr.de](mailto:Benjamin.Frieske@dlr.de) / Tel: +49 (0)711 6862 623
    - Matthias Klötzke [Matthias.Kloetzke@dlr.de](mailto:Matthias.Kloetzke@dlr.de) / Tel: +49 (0)711 6862 8092
  - Institut für Verkehrsforschung
    - Danny Kreyenberg [Danny.Kreyenberg@dlr.de](mailto:Danny.Kreyenberg@dlr.de) / Tel: +49 (0)30 67055 7936
  
- **Wuppertal Institut für Klima, Umwelt & Energie GmbH**
  - Materialintensitätsanalysen, Regionalstudien
    - Dr. Claus Barthel [Claus.Barthel@wupperinst.org](mailto:Claus.Barthel@wupperinst.org) / Tel: +49 (0)202 2492 166





**DLR**

**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.**  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Institut für Fahrzeugkonzepte



Wissen für Morgen







## Newsletter der STROMbegleitung

---

Liebe Leser des STROM-Trendnewsletters,

mit der zweiten Ausgabe möchten wir Sie als Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der STROM-Projekte über aktuelle Aktivitäten aus der STROM-Begleitforschung informieren. Die STROMbegleitung analysiert die von Ihnen erforschten Technologien und betrachtet weltweit die Trends zur Fahrzeugentwicklung. Neben rein technischen Aspekten werden die notwendigen Rahmenbedingungen der Elektromobilität untersucht. Dabei spielen Ressourcenknappheiten, Förderbedingungen und Marktperspektiven in anderen Ländern eine Rolle. Es geht uns darum, einen globalen Überblick über die zu erwartenden Entwicklungen im Bereich Elektromobilität zu bieten.

Wie der Name des Newsletters schon sagt, wollen wir Ihnen die von uns untersuchten und erforschten Trends der Elektromobilität näher bringen. Der Austausch mit Ihnen ist uns dabei sehr wichtig. Auch die Sichtbarkeit der STROM-Projekte ist ein wesentliches Anliegen. Deshalb möchten wir im STROM-Trendnewsletter über Ihre Auftritte bei Veranstaltungen und Messen sowie über Ihre Zeitschriften-Beiträge informieren. Nehmen Sie daher den Newsletter zum Anlass, Ihr Projekt einer breiten Leserschaft näher zu bringen.

Wir möchten Sie darüber hinaus auf kommende Termine rund um das STROM-Programm aufmerksam machen. Ihr Feedback und Anregungen zum Newsletter nehmen wir natürlich gerne entgegen. Wir wünschen Ihnen eine spannende Lektüre!

*Ihr Team der STROMbegleitung*

## STROM- Trendnewsletter 02/2013

Projektpartner:

Deutsches Zentrum für Luft  
und Raumfahrt e.V.



Wuppertal Institut für Klima,  
Umwelt, Energie GmbH



Gefördert vom:



### Inhalte

STROM Workshop

Fahrzeugdatenbank

Materialintensitätsanalyse

Regionalstudien

Forschungsreisen

Konferenzbericht



## STROM-Workshop vom April 2013

Das DLR und das Wuppertal Institut haben die internationalen Partner der STROM-Regionalstudien im April zu einem dreitägigen Workshop mit dem Thema „Global Perspectives of Electric Mobility“ nach Wuppertal eingeladen. An den ersten beiden Tagen des Workshops stand der Austausch über die Trends der Elektromobilität in den einzelnen Untersuchungsregionen (USA, Japan, China, Europa, Indien) im Vordergrund. Die fünf Regionalpartner von TERI (Indien), Ernst Basler + Partner (EU), IGES (Japan), UC Davis (USA) und der EnergieAgentur NRW (China) berichteten über den politischen Rahmen, den Fahrzeugmarkt, den Entwicklungsstand und die Förderlandschaft der Elektromobilität in ihrer jeweiligen Region.



Abb. 1: Workshop-Teilnehmende

Um einen Austausch zwischen den STROM-Projekten und den internationalen Experten zu ermöglichen, wurde am dritten Tag der zweite Workshop der STROM-Begleitforschung durchgeführt, zu dem die Mitarbeiter der STROM-Projekte eingeladen waren. Auch hier standen die ersten Ergebnisse der Regionalstudien im Vordergrund.

Zunächst aber berichteten das Wuppertal Institut und das DLR über den aktuellen Stand des Technologie Monitorings und der Materialintensitätsanalyse. Anschließend präsentierten die Regionalpartner Zwischenergebnisse zum aktuellen Stand

und zu Trends der Elektromobilität in den einzelnen Untersuchungsregionen und diskutierten diese gemeinsam mit allen Workshop-Teilnehmern.

Während in der EU und in den USA die Elektromobilität vor allem vor dem Hintergrund der Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und lokaler Luftverschmutzung vorangetrieben wird, ist in Indien, Japan und China vor allem die Verringerung der Abhängigkeit von Ölimporten ein ausschlaggebender Faktor für die Förderung der Elektromobilität.

In allen betrachteten Weltregionen bestehen ambitionierte Ziele bzgl. der Anzahl der bis 2020 verkauften E-Fahrzeuge. Alle Regionalpartner stufen die Ziele ihrer analysierten Länderregionen jedoch als sehr hoch ein.

Für die Etablierung von Elektrofahrzeugen auf einer breiten gesellschaftlichen Ebene stellt die Verfügbarkeit von genormter öffentlicher Ladeinfrastruktur in allen Weltregionen einen ausschlaggebenden Aspekt dar. Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten für Elektroautos ist eine Herausforderung insbesondere in den Metropolen Chinas, Japans, Indiens und auch den USA. In den Ländern Europas stellt sich die Bereitstellung von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum durch regulatorische Schwierigkeiten (z.B. Brandschutzbestimmungen) und derzeit geringe Gewinnaussichten der möglichen Betreiber schwierig dar.

In der abschließenden übergreifenden Diskussion der Zwischenergebnisse der Regionalstudien betonten die Teilnehmer aus den Untersuchungsregionen und die Mitarbeiter der STROM-Projekte, wie wichtig eine hohe Vergleichbarkeit der Daten und Ergebnisse zwischen den einzelnen Studien sei.



## Trendanalyse: Fahrzeugdatenbank

Im Rahmen der STROM-Begleitforschung wird vom DLR Institut für Fahrzeugkonzepte eine Datenbank mit elektrifizierten Fahrzeugkonzepten entwickelt. Neben der Berücksichtigung von Fahrzeugen, welche als Prototyp oder Versuchsfahrzeug vorgestellt wurden und solchen, die als Serienfahrzeug auf den Markt kamen, zeichnet sich die Datenbank durch den Fokus auf die Erfassung der technologischen und konzeptuellen Eigenschaften der erfassten Komponenten aus. Bisher konnten über 350 Fahrzeuge von 2001 bis heute identifiziert und analysiert werden, wobei sich der Detaillierungsgrad aufgrund der Verfügbarkeit von Daten und Informationen der einzelnen Fahrzeuge noch stark unterscheidet. Nichtsdestotrotz konnten schon einige interessante Auswertungen erstellt und Erkenntnisse generiert werden, die zum Teil auch schon ihren Weg in wissenschaftliche Veröffentlichungen gefunden haben. So konnte zum Beispiel gezeigt werden, wie sich die im Fahrzeug installierte Batteriekapazität pro Fahrzeugmasse in den letzten Jahren entwickelt hat (Abbildung 1 [1]). Hierbei zeigt sich, dass in einem Batterie-Elektrischen Fahrzeug im Mittel eine um den Faktor 2 größere Batterie, pro Einheit Fahrzeugmasse, verbaut wird, als bei einem PlugIn-Hybrid. Zudem ist zu sehen, dass die großen Schwankungen, welche sich gerade in den früheren Jahren des Elektromobilitäts-Hypes, bei der Auswahl der Batterie identifiziert wurden, mit zunehmender Dauer abklingen und sich auf einem Wert um  $20 \text{ Wh/kg}_{\text{Fahrzeugmasse}}$  einpendeln. Bei PlugIn-Hybriden sehen wir eine Batteriekapazität von ca.  $9 \text{ Wh/kg}_{\text{Fahrzeugmasse}}$ , welcher Wert sich über die Zeit recht konstant gezeigt hat.

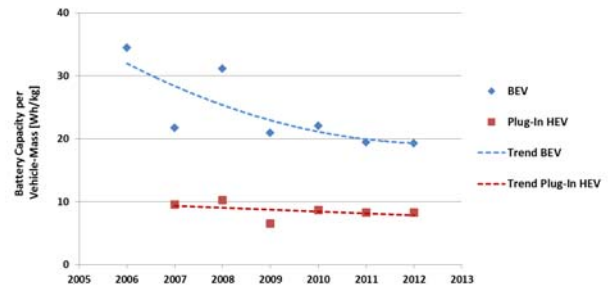


Abbildung 1: Entwicklung der Batteriekapazität pro Fahrzeugmasse

Auch zahlreiche regionale Unterschiede konnten im Rahmen der Untersuchungen identifiziert werden. So dominiert in Europa bei der Antriebsarchitektur der parallele Hybrid (Abbildung 2 [2]), während in Asien eine kombinierte Lösung den deutlich größeren Anteil der Fahrzeuge antreibt (Abbildung 3 [2]).

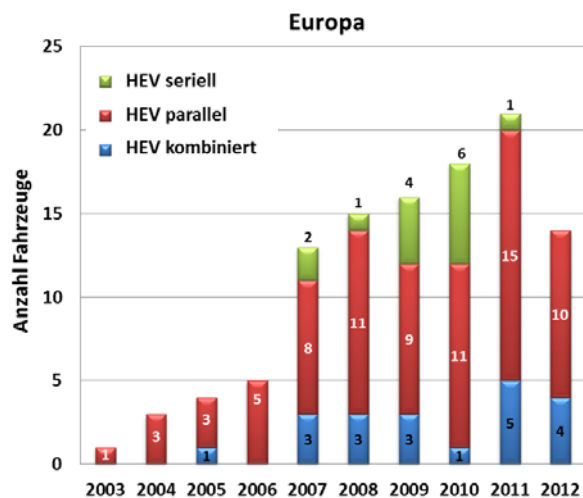


Abbildung 2: Entwicklung der Antriebsarchitektur in Europa

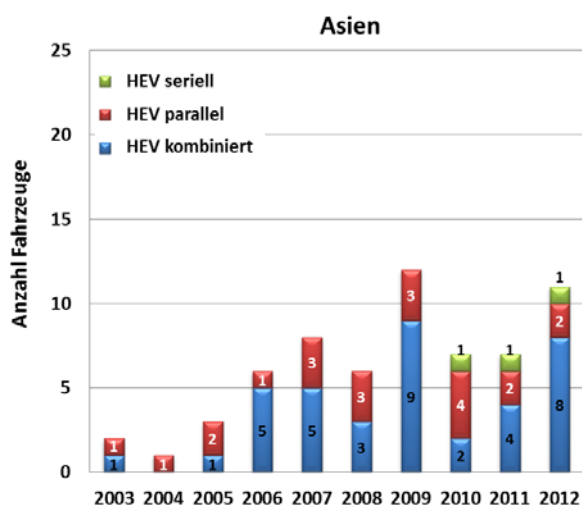


Abbildung 3: Entwicklung der Antriebsarchitektur in Asien

Weitere Analysen aus der Fahrzeugdatenbank können Sie in den aufgeführten Publikationen finden und stellen wir gerne jederzeit zur Verfügung. Das Team der STROMbegleitung freut sich über Anmerkungen und Anregungen jeder Art zur Fahrzeugdatenbank. Gerne berücksichtigen wir, soweit das möglich ist, auch Wünsche bezüglich Auswertungen oder Untersuchungsgegenständen in unseren weiteren Arbeiten.

## Materialintensitätsanalyse

Welcher langfristige Bedarf an stofflichen und energetischen Ressourcen ergibt sich aus verschiedenen Elektromobilitätsstrategien? Und können gesetzte Ausbauziele für die Elektromobilität durch die Verfügbarkeit von Materialien oder die Umweltrisiken ihrer Gewinnung gefährdet sein?

Solche Fragen nach dem gesamten Ressourcenbedarf der Elektromobilität sowie nach Versorgungsrisiken durch begrenzte geologische Verfügbarkeit von Rohstoffen oder konkurrierende Nachfragen anderer Branchen werden hier unter dem Stichwort „Materialintensitätsanalyse“ zusammengefasst. Mögliche Langfrist-Entwicklungen des motorisierten Individualverkehrs (MIV) mit unterschied-

lichen Anteilen elektrifizierter Antriebe werden hierbei durch die STROMbegleitung gegenübergestellt.

Hierfür wurde zunächst der heutige Fahrzeugbestand und dessen zukünftige Entwicklung vereinfachend mit Fahrzeugen des mittleren MIV-Segments mit verschiedenen Antriebskonzepten abgebildet (Abb. 5; links verbrennungsmotorische, rechts (teil)elektrische Antriebe).

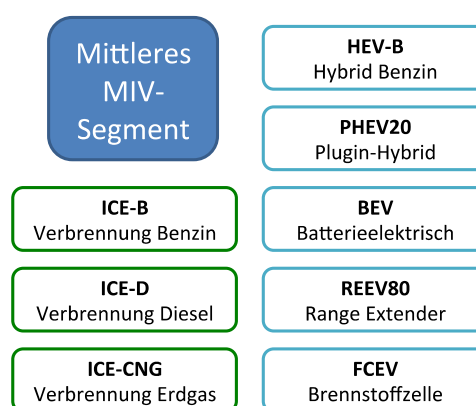


Abbildung 5: Untersuchte Typfahrzeuge in der Materialintensitätsanalyse

Für jedes dieser acht Typfahrzeuge wurden technische Daten, insbesondere die Gewichtsanteile von Komponenten wie Verbrennungsmotor, Getriebe, oder Batterie ermittelt. Zudem wurden die jeweiligen Bereitstellungsvorketten für die Antriebsenergie berücksichtigt: In welchen Kraftwerkstypen wird die elektrische Antriebsenergie erzeugt? Stammt der Wasserstoff für Brennstoffzellen-Fahrzeuge aus Erdgas oder erneuerbaren Quellen?

Für die betrachteten Fahrzeuge wird gegenwärtig ermittelt, welchen Materialaufwand in kg je Fahrzeug-km ihr gesamter Lebenszyklus (Herstellung, Nutzung, End-of-Life) verursacht. Diese Daten wurden zunächst für die nicht-elektrifizierten Fahrzeuge und für das Jahr 2010 erhoben, die Datenerfassung für weitere Jahre (Zeithorizont 2050) und die restlichen Fahrzeugtypen wird derzeit bearbeitet. Soweit möglich werden hier die Ergeb-



nisse einer Meta-Analyse bestehender Lebenszyklus-Studien verwendet, ergänzt durch die Zusammenstellung neuer Stoffinventare.

Um anschließend die Auswirkungen der Elektromobilität in Deutschland bewerten zu können, wird der Materialaufwand der einzelnen Fahrzeuge für die Verkehrsentwicklung in Deutschland hochgerechnet. Neben Annahmen zu Verkehrsaufkommen, Fahrzeuglebensdauern und Fahrleistungen werden hierbei die Möglichkeiten berücksichtigt, dass die Ziele der NPE zum Ausbau der Elektromobilität (6 Mio. E-Kfz bis 2030) erreicht, nicht erreicht oder sogar übertroffen werden. Vergleichbare Abschätzungen werden auch für die weltweite Entwicklung der Elektromobilität durchgeführt. Nur so ist es möglich, Aussagen zu damit verbundenen Umweltauswirkungen, zur zukünftigen weltweiten Liefersituation und zu möglichen Versorgungsrisiken zu treffen.

Bis Anfang 2014 wird durch die STROMbegleitung unter Federführung des Wuppertal Instituts zunächst der langfristige Materialaufwand der Elektromobilität bestimmt. Welche Implikationen dies u.a. für die Ressourcenverfügbarkeit hat, wird im Anschluss daran ermittelt. Die Ergebnisse sind Grundlage für die Diskussion von Empfehlungen für die relevanten Technologien der STROM-Projekte.

### **Internationale Trends: Regionalstudien**

Wie bereits im ersten STROM-Trendnewsletter dargestellt, werden derzeit Regionalstudien mit Hilfe von internationalen Partnerinstituten durchgeführt. Das Ziel ist es, den Stand und die Entwicklung der Elektromobilität in den einzelnen Regionen darzustellen und in einem Bericht zusammenzufassen. Vier zentrale Themenfelder werden nach einem einheitlichen Analyseraster recherchiert und dargestellt. Diese umfassen den po-

litischer Rahmen und Fördermaßnahmen, Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte, Produkte und Geschäftsmodelle in Wirtschaft und Industrie sowie die Marktstruktur für Elektrofahrzeuge.

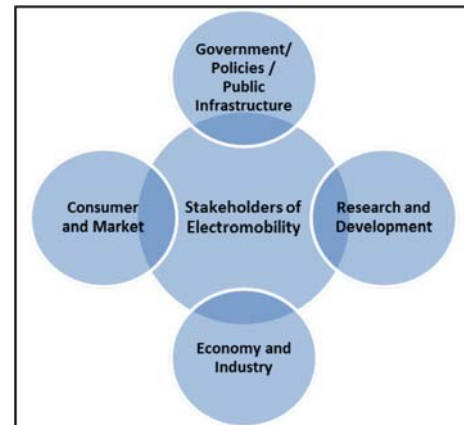


Abbildung 3: Untersuchungsbereiche der Regionalstudien

Beim STROM-Workshop im April 2013 wurden die ersten Ergebnisse von den internationalen Partnern zusammengefasst und auf dem Workshop präsentiert. Die Rechercheergebnisse werden aktuell einheitlich aufbereitet, wobei ein großer Wert auf die Vergleichbarkeit der Daten gelegt wird.

Im Rahmen der Regionalstudien werden außerdem Forschungsreisen in die fünf Untersuchungsregionen unternommen. Dabei werden Interviews mit lokalen Akteuren zu den verschiedenen Themenfeldern geführt. Diese dienen zum einen dazu, ergänzende Informationen zu erhalten, insbesondere in Themenfeldern, die nur zum Teil durch öffentliche Dokumente abgedeckt werden können. Zum anderen werden bisherige Erfahrungen, Bewertungen und Einschätzungen zur weiteren Entwicklung in den Themenfeldern abgefragt.

Bislang wurden Interviews in Japan, China und Indien geführt (s.u.). Die Ergebnisse werden aufbereitet und in die Regionalstudien integriert. Eine Forschungsreise in die USA und Interviews in ver-



schiedenen europäischen Ländern finden im Herbst 2013 statt.

Neben den fünf Regionalstudien werden weitere Fokusregionen im Hinblick auf die dortige Entwicklung der Elektromobilität durch das Wuppertal Institut untersucht, um ein Gesamtbild der weltweiten Entwicklungen zu erhalten. Unter den Fokusregion sind i) Kanada, als wichtiger Absatzmarkt mit starken Kaufanreizen, ii) Israel, vor allem zu Erkenntnissen zum Ansatz der Firma „Better Place“, iii) Südkorea, als wichtiger Batterieproduzent, sowie iv) verschiedene südamerikanische Staaten, in denen neue Wertschöpfungsketten insbesondere durch Lithiumvorkommen entstehen.

Die Ergebnisse aus den Regionalstudien und den ergänzenden Fokusregionen, werden abschließend in einer Globalstudie gegenübergestellt. Diese wird bis Mitte 2014 vorliegen.

Bislang zeigen die Ergebnisse, dass zwar die zentralen Hindernisse für eine Marktdurchdringung der Elektromobilität (Kosten, Reichweite, Ladeinfrastruktur) weltweit ähnlich sind, jedoch regional eine unterschiedlich starke Bedeutung haben. Strategien, um Elektromobilität voranzubringen (z.B. durch Kaufanreize oder Forschungsförderung), variieren und haben einen deutlichen Einfluss auf die derzeitigen Verkaufszahlen und Nutzergruppen von Elektrofahrzeugen.

### Forschungsreisen

DLR und Wuppertal Institut haben im Mai und Juni 2013 Forschungsreisen nach China, Indien und Japan unternommen, um Interviews mit Experten aus Industrie, Politik und Wissenschaft zu führen. Zudem wurden regionale Konferenzen besucht, um einen Einblick in die Entwicklungen in den einzelnen Regionen zu bekommen. Die Forschungsreisen stellen einen wichtigen Betrag zu den Regi-

onalstudien dar (s.o.) und sind Bestandteil des internationalen Technologie-Monitorings.

Die Einführung der Elektromobilität ist in Japan, im Vergleich zu Deutschland, schon wesentlich weiter. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass die ersten Hybrid- und Batterie-Elektrischen Fahrzeuge, die in großer Stückzahl auf dem Neuwagenmarkt verfügbar waren, von japanischen Herstellern kamen. Zum anderen ist auch der Aufbau der Ladeinfrastruktur in Japan weiter vorangeschritten als in Deutschland. Technologisch gesehen, hat Japan den Vorteil, dass, gerade im Bereich der Leistungselektronik, viele Technologieführer in Japan zu finden sind. Generell sieht sich Japan sehr gut gerüstet im Hinblick auf zukünftige Herausforderungen im Zusammenhang mit der Elektromobilität. Allerdings sehen die japanischen Experten auch die Gefahr, dass die Technologien, welche in Japan entwickelt werden, nicht in Japan sondern in anderen asiatischen Ländern, wie China, Taiwan oder auch Südkorea, ihren Weg in Produkte finden könnten, wodurch die japanische Wirtschaft nicht an der Wertschöpfung teilhaben könnte, wie es in der Vergangenheit schon des Öfteren vorgekommen ist.

Zur Unterstützung und Einführung der Elektromobilität hält die Regierung zahlreiche Programme bereit. Zum einen werden Käufe von elektrifizierten Fahrzeugen finanziell unterstützt. Zum anderen gibt es Förderprogramme für die Industrie, um neue Technologien und Produkte zu entwickeln. Neben den staatlichen Maßnahmen haben sich in Japan schon einige Geschäftsmodelle rund um die Elektromobilität entwickelt. Ein Großteil der Schnelllade-Infrastruktur wird von Unternehmen aufgebaut, welche diese auf ihren Kundenparkplätzen bereithalten und Kunden ein sehr kostengünstiges Aufladen der Batterie während dem Aufenthalt z.B. im Supermarkt oder Restaurant anbieten. Neben der Infrastruktur für Elektrofahrzeuge arbeitet Japan auch an einem Auf- und Ausbau der Infrastruktur für Wasserstoff, um auch Brennstoffzellenfahrzeuge für den Massenmarkt



attraktiv zu machen. Auch hier haben Hersteller schon erste Fahrzeugvarianten, welche in kürze in großem Stil eingeführt werden soll.

Durch die große Anzahl an Automobilherstellern, die eine steigende Anzahl an Elektrofahrzeugen in ihrem Angebot haben, sowie den voranschreitenden Aufbau der Infrastruktur, sind in Japan in naher Zukunft große Erfolge in der Marktdurchdringung elektrifizierter Fahrzeugkonzepte zu erwarten.

Auch wenn Indien nicht das Land ist, welches einem im Zusammenhang mit der Elektromobilität vordergründig in den Sinn kommt, besitzt dieses Land ein großes Potential. Die Luftverschmutzung, welche in vielen indischen Großstädten ein großes Problem dar und soll gesenkt werden. Neben den CNG-Antrieben, welche in einigen Großstädten für Taxen und Busse vorgeschrieben sind, können hier elektrifizierte Antriebe einen großen Beitrag leisten. Allerdings unterscheiden sich die Lösungen, die man hierbei auf dem indischen Markt findet deutlich von den elektrifizierten Fahrzeugen, die derzeit z.B. in Europa, den USA oder Japan vorhanden sind. Auf Indiens Straßen sind vorrangig zwei- und dreirädrige Fahrzeuge zu finden. Doch auch diese werden aktuell in Indien schon mit elektrifizierten Antrieben ausgestattet. Zudem dominiert in Indien die Einfachheit und Robustheit über technologische Innovationen. Ein Grund hierfür sind neben den Kosten, auf welche der indische Neuwagenkäufer äußerst sensibel reagiert, die mangelnde Forschungsinfrastruktur und vor allem die mangelnde Zusammenarbeit zwischen Forschung und Industrie. Um diesem Hindernis zu begegnen werden in Indien verschiedene „Centres of Excellence“ gegründet, deren Ziel es ist Forschung und Industrie zusammen zu bringen und Forschungsvorhaben zu koordinieren. Neben den Mitteln, welche die indische Regierung für Forschung und Entwicklung vorgesehen hat sollen auch wieder Programme aufgesetzt werden, die den Kauf von Elektrofahrzeugen subventionieren. Derartige Programme haben in Indien in

der Vergangenheit schon zu ersten Erfolgen geführt.

Für die Zukunft kann man gespannt sein, wie und mit welchen Lösungen es auf dem indischen Markt gelingt, elektrifizierte Antriebskonzepte zu etablieren.

Im Rahmen der Regionalstudien wurde im Frühsommer 2013 eine erste Forschungsreise nach China durchgeführt. Neben Peking wurde auch die Stadt Wuhan besucht. Diese ist eine der Modellstädte im Rahmen des chinesischen Demonstrationsprojektes „25 Cities – 1.000 Vehicles“ sowie Sitz von Dongfeng Motors, einem der führenden chinesischen Automobilhersteller. So wurden unter anderem Vertreter von Automobilherstellern (z.B. Dongfeng, BMW), Ministerien (z.B. MoST) und Forschungseinrichtungen (z.B. CARTARC) interviewt. Die Interviews bestätigten eine Reihe bisher erlangter Forschungsergebnisse, darüber hinaus konnten wichtige Einschätzungen der lokalen Akteure zur Elektromobilität erfasst werden: Die dortige zentralstaatliche Förderung konzentriert sich auf betriebliche und öffentliche Fahrzeugflotten. Private Kunden stehen bislang nicht im Fokus der Anstrengungen. Motivation sind derzeit sowohl die Reduktion von Luftschadstoffen in Ballungsräumen als auch die Energiesicherheit. Klimaschutz steht zurzeit jedoch nicht an erster Stelle. Der Einsatz regenerativen Stroms ist aktuell nicht im Fokus des Interesses. Defizite bestehen insbesondere in der ganzheitlichen systemischen Förderung von Elektromobilität und der Integration der verschiedenen Komponenten. So besteht derzeit weiterhin Potential in der Verbesserung der Kooperation von Wissenschaft, Industrie und Politik. Beispielsweise gibt es noch viele offene Fragen in Bereichen wie dem Ausbau von Ladeinfrastruktur oder der Normung von Ladesteckern. Großes Interesse besteht bei den lokalen Akteuren an einem internationalen Austausch in Fragen der Elektromobilität.



## Konferenzbeiträge zu STROM-Themen

---

- [1] M. Klötzke und B. Frieske, „State of the Art and Trends in Vehicle Concept Development with Focus on Battery Technology,“ Kraftwerk Batterie, Aachen, 2013.
- [2] B. Frieske und M. Klötzke, „Trends in Vehicle Concept and Key Technology Development for Hybrid and Battery Electric Vehicles,“ EVS 27, Barcelona, in Druck.

## Projektkalender

---

### 2013

#### Oktober

##### *Forschungsreise Nordamerika*

Besuch der PlugIn Conference 2013, San Diego

Besuch der EVVÉ 2013, Ottawa

Experten-Interviews in San Diego, Los Angeles, San Francisco, Ottawa und Washington D.C.

#### November

##### *EVS 27*

17. – 20.11.2013, Barcelona

#### Dezember

##### *2. Kompetenztreffen Elektromobilität in NRW*

4.12.2013, Zeche Zollverein, Essen

##### *Statusseminar Elektromobilität*

04. – 05. 12.2013, BMBF, Bonn

## Impressum

---

Der Newsletter informiert über Forschungsergebnisse und Aktivitäten des Kooperationsprojekts „STROMbegleitung“

**Herausgeber:** Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Institut für Fahrzeugkonzepte

**Verantwortliche für den Inhalt:** Matthias Klötzke, Benjamin Frieske, E-Mail: matthias.kloetzke@dlr.de

Claus Barthel, E-Mail: claus.barthel@wupperinst.org

**Bezugsquelle:** Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Telefon 0711/6862 8092, Fax -258,

Hausadresse: Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart

Ausgabe 02/2013