



electromobility - scenario based Market potential, Assessment and Policy options - eMAP

Abschlussbericht des DLR

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur



Dokumenteigenschaften

Titel	DLR Abschlussbericht electromobility – scenario based Market potential, Assessment and Policy options (eMAP)
Betreff	
Institut	Institut für Fahrzeugkonzepte
Erstellt von	Dipl.-Ing. Matthias Klötzke
Beteiligte	Benjamin Frieske, Florian Kleiner, Dr. Ulrike Kugler, Dr. Christoph Schimeczek, Dr. Stephan Schmid
Geprüft von	Dr. Enver Doruk Özdemir
Freigabe von	Dr. Stephan Schmid
Datum	31.08.2015
Version	1.0
Dateipfad	G:\41313-TB (SAS)\03-TB-Projekte\3007392_eMAP\@Projektakte_3007392\Projektabschluss\finale Dokumente\2015-08-31 Abschlussbericht eMAP_vfin.docx

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Institut für Fahrzeugkonzepte

Prof. Dr.-Ing. Horst E. Friedrich

Pfaffenwaldring 38-40

D-70569 Stuttgart

Tel.: +49 (0)711/6862-256

Fax: +49 (0)711/6862-258

Horst.Friedrich@DLR.de

Dr.-Ing. Stephan A. Schmid

Pfaffenwaldring 38-40

D-70569 Stuttgart

+49 (0) 711/6862-533

+49 (0) 711/6862-258

Stephan.Schmid@DLR.de

Inhaltsverzeichnis

Dokumenteigenschaften	2
I. Kurzdarstellung	4
II. Ergebnisse	10
1. Die Leistungsfähigkeit der industriellen Entwicklung für die Elektromobilität.....	10
2. Zukünftiger Anforderungen an die Lade-Infrastruktur und Energiemix des Transportsektors	16
3. Weiterentwicklung und Kalibrierung des Fahrzeugtechnik-Szenario-Modells	20
4. Entwicklung und Ergebnisse der Szenarien für den europäischen Neuwagenmarkt.....	22
5. Nutzen/Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	27
6. Veröffentlichungen	28
Literaturverzeichnis	28
Abbildungsverzeichnis	32
Tabellenverzeichnis	32

Zuwendungsempfänger: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)	Förderkennzeichen: 03EMEN02B
Vorhabenbezeichnung: eMAP: <u>e</u> lectromobility – <u>M</u> arket potential, <u>A</u> ssessment and <u>P</u> olicy options	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2012 – 28.02.2015 (verlängert auf den 31.05.2015)	
Berichtszeitraum: 01.06.2012 – 31.05.2015	

I. Kurzdarstellung

Einführung

Die Mitgliedstaaten der Europäischen Union haben sich auf einen Weg verständigt, um für die Zukunft nach dem Öl-Zeitalter eine Reduktion der anthropogenen Emissionen zu erreichen, wobei der Verkehrssektor hierbei als einziger Sektor in den letzten Jahren eine Zunahme der Treibhausgasemissionen verzeichnete. Nach wie vor wächst die Nachfrage an Transportleistung, sowohl in Deutschland als auch in der EU (EC 2011). Elektrifizierte Pkw sind eine der vielversprechenden Lösungen, um Emissionen nachhaltig zu reduzieren. Derzeit kann man allerdings noch keine großflächige Marktdurchdringung dieser Antriebe beobachten. Aus diesem Grund fördert die Mitgliedstaaten sowie die Europäische Union Forschungsvorhaben, welche sich mit der technischen Weiterentwicklung sowie der Untersuchung von Mechanismen zur Erhöhung der Marktpenetration von Elektrofahrzeugen befassen. Das eMAP-Projekt wurde initiiert, um mögliche Maßnahmen zur Überwindung von Hindernissen bei der Markteinführung von Elektrofahrzeugen zu identifizieren und zu bewerten.

Die Bundesregierung hat das Ziel, die Anzahl von Elektrofahrzeugen auf der Straße bis zum Jahr 2020 auf 1 Million und bis 2030 auf etwa 6 Millionen zu erhöhen. Trotz konkreter Ansätze für Förderung und Marktintegration sowie einem großen Etat für Forschung und Entwicklung in diesem Bereich in den nächsten Jahren zeichnen sich noch große Schwierigkeiten ab, den Umstieg ökonomisch und ökologisch erfolgreich zu realisieren. Der deutsche Pkw-Neuwagenmarkt kann nicht unabhängig von anderen, insbesondere europäischen Märkten betrachtet werden. Zum einen gibt es neben der nationalen Gesetzgebung und Zielsetzung auch EU-weite Richtlinien. Zum anderen werden Fahrzeuge nicht ausschließlich für einen einzelnen Markt in Europa entwickelt sondern richten sich vielmehr nach den Anforderungen, wie sie innerhalb verschiedener Märkte vorherrschen. Insbesondere die Entwicklung der Kosten für neue Technologien, wie z.B. der Traktionsbatterie, werden durch einen weltweiten Absatz dieser Fahrzeuge bestimmt. Demnach können Marktanteile verschiedener Regionen einen

entscheidenden Einfluss auf den nationalen Neuwagenmarkt ausüben. Um derartige Effekte analysieren und bewerten zu können, ist es unabdingbar nicht nur nationale Märkte zu simulieren, sondern die Simulation verschiedener Märkte parallel durchzuführen. Somit können Ansteckungs- und Skaleneffekte berücksichtigt werden.

Aufgabenstellung

Der Fokus des Forschungsprojektes eMAP liegt in der Untersuchung und Ermittlung der Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen und deren volkswirtschaftlichen Auswirkungen. Für den Zeithorizont 2025-2030 soll mit Hilfe eines Szenario-basierten Marktmodells die Marktdurchdringung der Elektrofahrzeuge in den drei Partnerländern Deutschland, Polen und Finnland sowie auf EU-Ebene abgeschätzt werden. Dazu werden sowohl Erkenntnisse zur Nachfrage- und Angebotsseite durch Konsumentenbefragungen und Expertenworkshops verwendet. Basierend auf den Ergebnissen der Modellrechnungen werden darüber hinaus die sozio-ökonomischen Wirkungen in Form von Emissionsminderungen, Transportkosten, technologischem Wandel und Sicherheit der Energieversorgung für die jeweiligen Szenarien ermittelt. Daneben werden politische Fördermaßnahmen und Strategien zur Markteinführung und ihre Auswirkungen untersucht und identifiziert. Letztlich sollen Empfehlungen für die politische Förderung der Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen gegeben werden.

Das DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte war im eMAP-Projekt verantwortlich für die Entwicklung und Berechnung der Elektromobilitätsszenarien. Hierfür waren Vorarbeiten in größerem Umfang für die Analyse der Angebotsseite eines zukünftigen Elektromobilitätsmarkts notwendig. Diese Aufgaben umfassten:

- Charakterisierung der Industrien, die an dem Angebot auf der Fahrzeugseite beteiligt sind
- Erstellung von Datensätzen der techno-ökonomischen Fahrzeugdaten
- Charakterisierung tatsächlicher und möglicher Infrastrukturentwicklung im Bereich der Ladeinfrastruktur für Fahrzeuge mit Batterien

Um einen multinationalen Markt berechnen zu können, war eine umfangreiche Überarbeitung sowie signifikante Erweiterungen des Rechenalgorithmus des Fahrzeug-Szenario-Modells VECTOR21 notwendig. Zudem mussten die neuen Datensätze für die einzelnen Länder aufbereitet und eingepflegt werden. Die Aufgaben für die Anpassung von VECTOR21 umfassten:

- Erweiterung des Modellalgorithmus auf Regionen des europäischen Fahrzeugmarktes und Erweiterung des Kundenkaufmodells
- Einbau der Daten, die in anderen Arbeitspaketen des Projekts gesammelt wurden
- Kalibrierung des Modells
- Entwicklung von Szenarien und Auswahl geeigneter Szenarien für die nachfolgende Politikanalyse.

Darüber hinaus umfasste die Aufgabenstellung des DLR ausgewählte Aspekte in weiteren Arbeitspaketen.

Zu den Aufgabenstellungen der weiteren Arbeitspakete gehörten:

- Beiträge zur Formulierung der Forschungsfragen,
- Beiträge zur Identifikation und Definition von Schlüsselparametern für die Elektromobilität,
- Beiträge zur Identifikation, Analyse und Clusterung von Marktstudien/-szenarien und ihrer Hintergründe,
- Analyse von Mobilitätsmustern für Deutschland und Aktualisierung der dazugehörigen Datengrundlage,
- Beiträge bezüglich des Bedarfs des Kundenmodells in VECTOR21 zu Fragebögen für Umfragen der Projektpartner

Voraussetzung

Das eMAP-Konsortium besteht aus vier Partnern und zwei Unterauftragnehmern aus drei verschiedenen Ländern (Finnland, Deutschland, Polen). Die Zusammenarbeit innerhalb des Konsortiums ist geprägt vom optimalen Einsatz der Erfahrungen und Fähigkeiten der Partner in den relevanten Arbeitspaketen. Das schlanke und schlagkräftige Konsortium besteht aus sechs renommierten Forschungsinstitutionen, welche für wissenschaftliche Unabhängigkeit und Exzellenz stehen. Innerhalb des Konsortiums gibt es eine klare und ausbalancierte Aufgabenteilung. Jeder Partner und das IfV Köln sind verantwortlich für mindestens ein Arbeitspaket. Damit sind die Verantwortlichkeiten für die wissenschaftliche Vorgehensweise eindeutig nach Kompetenzen zugeteilt. Darüber hinaus dient die Einbindung verschiedener Partner in den einzelnen Tasks der Qualitätskontrolle und einfachen Kommunikation innerhalb eines Arbeitspaketes und über Arbeitspakete hinaus. Die Konsortialmitglieder nutzen dabei die sich ergänzenden Fähigkeiten aus den Bereichen der Ökonomie, Psychologie, Soziologie, Marktforschung, Ingenieurwissenschaften sowie Umweltwissenschaften:

- Die BAST bringt Expertise in den Bereichen sozio-ökonomische Bewertung, Statistiken zur Fahrzeugflotte und Entwicklung und Anwendung von Maßnahmen in der Verkehrspolitik ein.
- IfV-Köln (UOC) hat zahlreiche Studien zu Nutzen-Kosten-Bewertungen, Nutzwertanalysen und Stakeholder-Untersuchungen im Verkehrsbereich durchgeführt.
- Infas hat jahrzehntelange Erfahrungen im Marktforschungsbereich. Insbesondere im Verkehrsbereich ist kürzlich eine umfassende internationale Befragung zur Elektromobilität abgeschlossen worden.

- DLR bringt wissenschaftlich fundierte Erfahrung zu Antriebskonzepten, Szenario-Modellierung und der Messung der Umweltwirkungen von Fahrzeugen in das Projekt ein.
- VTT hat weitreichende Kenntnisse zum Verhalten der Verkehrsteilnehmer und der Bewertung von Sicherheits-, Umwelt-, Energie-, Verkehrsfragen. Darüber hinaus hat VTT langjährige Erfahrung in der Politikberatung.
- ITS war federführend an vielen Projekten zur Bewertung der Auswirkungen des Straßenverkehrs (Umwelteffekte etc.) und Bestimmung der Kosten des Straßenverkehrs beteiligt.

Für die Simulation und Untersuchung des europäischen Neuwagenmarkts wird das bestehende Fahrzeug-Szenario-Modell VECTOR21, welches für den deutschen Neuwagenmarkt entwickelt wurde, verwendet. Dieses Modell wird umfangreich überarbeitet und erweitert um in der Lage zu sein, multinationale Fahrzeugmärkte zu simulieren und Skalen- sowie Ansteckungseffekte abzubilden. Hierfür sind detaillierte Kenntnisse der nationalen Begebenheiten der untersuchten Regionen notwendig, die durch die Expertise der Projektpartner VTT in Finnland und ITS in Polen zu Verfügung stehen. Für Deutschland können die eigene Expertise des DLR und der BAST auf diesem Gebiet herangezogen werden.

Planung und Ablauf des Auftrags

Das von 2012 bis 2015 durchgeführte Forschungsvorhaben eMAP umfasste insgesamt 10 Arbeitspakete.

Aufgrund der Verzögerungen bei der Zuteilung des Zuwendungsbescheids bzw. der Zuweisung aller finanziellen Mittel für Personal- und Sachaufwendungen an den Projektkoordinator BAST ergaben sich zwangsläufig terminliche Verzögerungen im Gesamtprojekt. Gegenüber dem ursprünglich geplanten Projektende März 2015 wird sich der Abschluss von eMAP auf Mai 2015 verschieben. Dies ist allerdings immer noch in Übereinstimmung mit der Gesamtlaufzeit von Electromobility+ (Juni 2015). Die Teilnahme an vorgesehenen Meetings fand entsprechender Planung statt. Von Seiten des DLR wurden im November und Dezember 2014 sowie in den ersten drei Monaten 2015 erhebliche Anstrengungen unternommen, die Verzögerungen wettzumachen und die Ergebnisse aus WP5 und WP6 fertigzustellen, die u.a. als Grundlage für WP7 dienen. Dies ist gelungen, die Ergebnisse von WP5 und WP6 liegen vor und wurden von WP7 übernommen, die Deliverables wurden zum Ende des Projekts fertiggestellt sein.

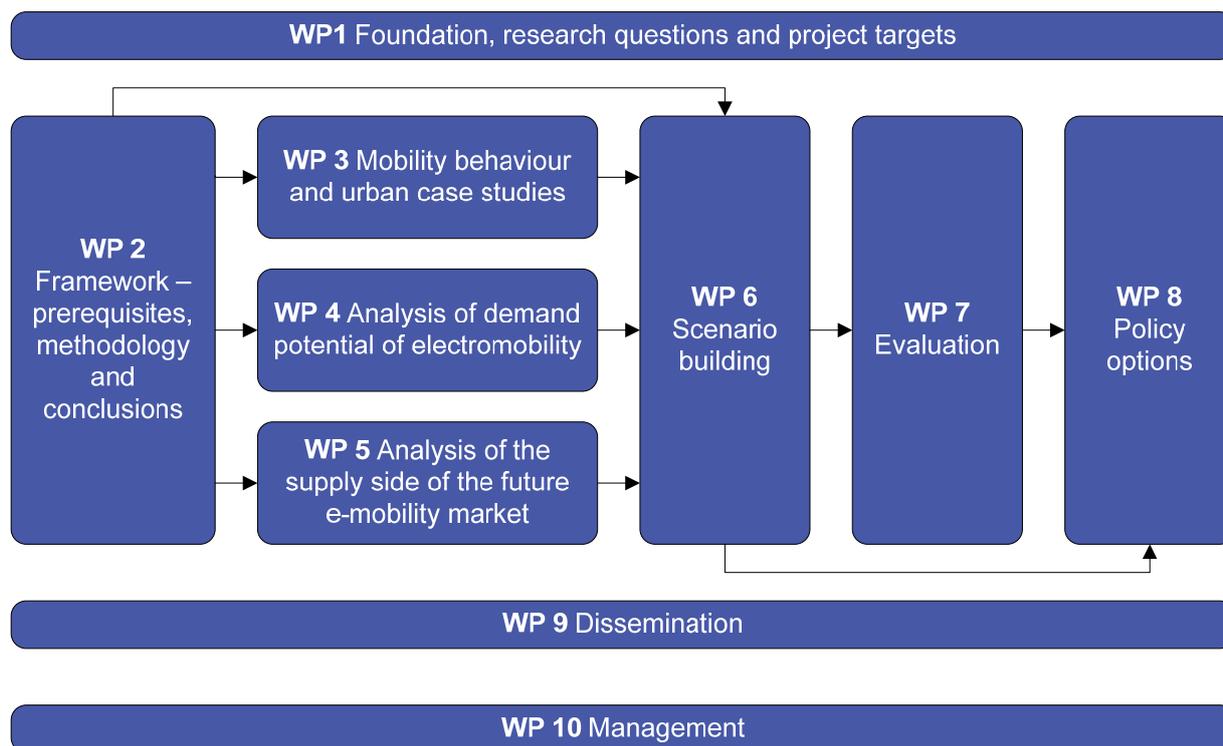


Abbildung 1: Struktur des Forschungsprojekts eMAP

Stand der Technik

Vor Projektbeginn existierten zahlreiche Studien für Vorhersagen des deutschen Fahrzeugmarktes. Die Studie von AT Kearny definiert 3 Szenarien, welche auf Annahmen zur Entwicklung des Rohölpreises, der Batteriekosten sowie Umweltregularien basiert. Insgesamt werden über 100 Parameter herangezogen, welche durch Experten validiert sind. Ähnliche Studien, welche von Beratungsunternehmen für den weltweiten Absatz von Pkw durchgeführt wurden, basieren auf Experteneinschätzungen und Nutzerbefragungen (z.B. von Bain & Company, McKinsey, Boston Consulting Group, Roland Berger). Die Studie des Fraunhofer ISI liefert ein Szenariomodell, welches das Nutzungsverhalten hinterlegt, um die potentielle Nachfrage für Elektrofahrzeuge in Deutschland abzuschätzen. Weitere Modelle, welche sich auf die Analyse von Nutzer- und Fahrzeugdaten stützen, sind die Studie des DLR Instituts für Fahrzeugkonzepte sowie die Marktprognose des Institute of transport economics der Universität Köln.

Am Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR) wurde ein Szenariomodell entwickelt (VECTOR21) um den Marktanteil alternativer Antriebstrangkonzepete für Deutschland im Zeitraum von 2010 bis 2030 zu prognostizieren. Fahrzeuge, welche neue Technologien, wie Traktionsbatterien und einen elektrifizierten Antriebstrang aufweisen, unterliegen der Annahme, dass für diese Technologien auf Basis von Lernkurven- und Skaleneffekt mit Kostensenkungen zu rechnen ist. Die Kundennachfrage wird unter Berücksichtigung einer schrittweisen Kaufentscheidung modelliert, wobei in einem ersten Schritt das geeignete Fahrzeugsegment gewählt wird. Für die

Entscheidung bei der Wahl des Antriebstrangs wird ein Kosten-optimierter Entscheidungsprozess, welcher auch Umweltaspekte mit aufnimmt, angewandt. Annahmen bezüglich der Entwicklung des Ölpreises, das Fahrzeug- und Energiesteuersystems sowie CO₂-Grenzwerte bilden die externen Rahmenbedingungen. Auf Basis des ökonomischen Entscheidungsprozess werden verschiedene Szenarien berechnet, wobei der Anzahl der einzelnen Fahrzeuge je Fahrzeugsegment und Antriebstrangvariante für jedes Jahr berechnet wird.

Mit Fokus auf Batterieelektrische Fahrzeuge mit unterschiedlichen technischen Eigenschaften wurde eine Marktvorhersage für 2015 bis 2020 vom Institute for transport economics erstellt. Aufgrund von Reichweitenrestriktionen wird angenommen, dass Batterieelektrische Fahrzeuge lediglich Zweitwägen ersetzen können und nur Haushalte mit eigenem Parkplatz solche Fahrzeuge möglicherweise anschaffen. Zusätzlich ist die Fahrleistung der Fahrzeuge aufgrund der Lebensdauer von Batterien auf 25.000 km pro Jahr limitiert. Verschiedene Szenarien auf Basis von Batteriekosten- und Ölpreisentwicklung werden berechnet, welche eine Mindestfahrleistung als Ergebnis haben, ab der die Nutzung von Batterieelektrischen Fahrzeugen günstiger als die von konventionellen Fahrzeugen ist. Unter Einbeziehung von Fahrzeugnutzungsdaten aus Deutschland wird so das Marktvolumen in Deutschland berechnet.

II. Ergebnisse

Im Rahmen des eMAP-Projekts wurden federführend vom DLR unterschiedliche Aspekte rund um die Elektromobilität mit Fokus auf den dafür notwendigen Technologien, wie den Fahrzeugen und der Ladeinfrastruktur untersucht. Darüber hinaus wurde das Fahrzeugszenario-Modell VECTOR21 weiterentwickelt, um damit den gesamt-europäischen Fahrzeugmarkt berechnen zu können. Mit Hilfe der Ergebnisse kann zum einen das Potential von Elektrofahrzeugen auf dem europäischen Neuwagenmarkt generell abgeschätzt sowie die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Beschleunigung des Markthochlaufs untersucht und bewertet werden.

Die Ergebnisse zu den einzelnen Untersuchungsgegenständen finden sich folgenden Liefergegenständen:

- The Capability of the Future Automotive Industrial Development of e-Mobility
- Future transport energy mix an EV-infrastructure requirements
- Enhanced model algorithm and model calibration
- Scenario Report

In den folgenden Abschnitten findet sich eine ausführliche Zusammenfassung der Ergebnisse sowie die wichtigsten Erkenntnisse aus den durchgeführten Untersuchungen.

1. Die Leistungsfähigkeit der industriellen Entwicklung für die Elektromobilität

Für die Charakterisierung der Leistungsfähigkeit der Industrie wurden Fahrzeughersteller, Zulieferer und deren Produkte und -ankündigungen untersucht sowie zahlreiche Studien zur zukünftigen Entwicklung von Schlüsseltechnologien für Elektrofahrzeuge ausgewertet. Grundlage hierfür waren Elektrofahrzeuge in ihren unterschiedlichen Ausprägungsgraden. Derzeit kann man im Umfeld der Elektromobilität verschiedene Fahrzeug- und Antriebstrangkonzeppte identifizieren. Zum einen sind das Hybridelektrische Fahrzeuge (HEV, hybrid electric vehicle), welche neben dem konventionellen Verbrennungsmotor mit einem elektrischen Antrieb zur Unterstützung ausgestattet sind. Sie zeichnen sich aus durch eine, im Vergleich zu den folgenden Konzepten, kleine Batterie sowie einige limitierte Funktionen, wie eine Start-Stopp-Automatik, die Unterstützung beim Beschleunigen, Rekuperation beim Bremsen und in einigen Fällen die Möglichkeit, kurze Strecken bei niedrigen Geschwindigkeiten rein-elektrisch zurück zu legen. Die Batterie dieser Fahrzeuge kann nicht extern am Stromnetz aufgeladen werden. Dies ist jedoch bei Plug-In Hybridelektrischen Fahrzeugen (PHEV, Plug-in hybrid electric vehicle) möglich. Im Vergleich zu HEV sind diese mit einer deutlich größeren Batterie und leistungsstärkeren elektrischen Antriebstrang ausgestattet, der es erlaubt, auch höhere Geschwindigkeiten und längere Strecken rein elektrisch zurückzulegen. Der nächst höhere Elektrifizierungsgrad wird durch Reichweitenverlängerte Elektrofahrzeuge (EREV, extended range electric vehicle) erreicht.

Diese sind, wie PHEV auch, mit einem Verbrennungsmotor und einem elektrischen Antriebstrang ausgestattet, allerdings wird der Verbrennungsmotor hier nicht für die Traktion des Fahrzeugs sondern zur Erzeugung von Strom und zum Nachladen der Batterie eingesetzt. Diese Fahrzeuge besitzen gegenüber PHEV in der Regel eine nochmals größere Batterie und leistungstärkeren Antriebstrang. Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV, battery electric vehicle) können ihre Batterie ausschließlich am Stromnetz aufladen und haben aus diesem Grund innerhalb der Elektrofahrzeuge die größten Batterien, um größere Reichweiten realisieren zu können.

Ob und welche Fahrzeug- bzw. Antriebstrangkonzeppte in Zukunft erfolgreich sein werden, wird von vielen Faktoren beeinflusst. Zum einen sind das politische und gesellschaftliche Rahmenbedingungen. Die größer werdende Bedeutung des Umwelt- und Ressourcenschutzes führte in den letzten Jahren in vielen Ländern zu einer fortschreitenden Verschärfung von Zulassungsrichtlinien für Pkw. Doch auch Kunden und Nutzer legen mehr Wert auf umweltfreundliche und nachhaltige Technologien. In diesem Kontext werden Elektrofahrzeuge als eine vielversprechende Alternative zu konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor angepriesen. Ein sich änderndes Mobilitätsverhalten innerhalb von Gesellschaftsgruppen sowie eine geänderte Zusammensetzung der Gesellschaft allgemein sollte ebenfalls bei der Entwicklung neuer Fahrzeugkonzepte berücksichtigt werden. Darüber hinaus gilt es, die Möglichkeiten die durch neue Angebots- und Kommunikationsmöglichkeiten gegeben sind, auch in neue Fahrzeugkonzepte einzuführen. Insbesondere die Elektromobilität stellt hierbei einen gesteigerten Bedarf, zum Beispiel bei der Suche von geeigneten Ladesäulen.

Zudem hat die Industrie mit der (Weiter-)Entwicklung von Fahrzeugtechnologien einen signifikanten Einfluss auf die Ausgestaltung und den Erfolg zukünftiger Fahrzeuge. Der derzeit aktivste Fahrzeughersteller in Bezug auf die Entwicklung von Elektrofahrzeugen kommt mit Toyota aus Japan. Über dreißig elektrifizierte Konzept- und Serienfahrzeuge wurden von ihm seit 2000 vorgestellt, wobei hierunter vor allem HEV zu finden sind. Knapp dahinter kommt mit Volkswagen ein europäischer Hersteller, bei welchem in großem Maß BEV und PHEV identifiziert werden konnten. Insgesamt sind europäische Hersteller sehr aktiv (Abbildung 2).

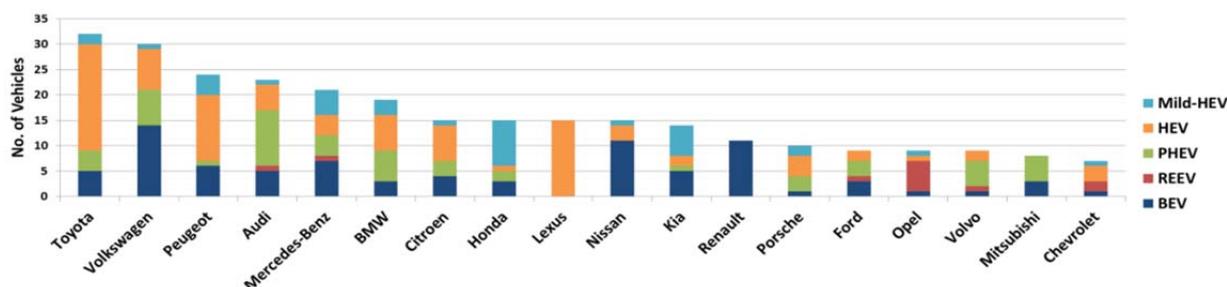


Abbildung 2: Elektrifizierte Prototypen, Konzept- und Serienfahrzeuge, welche von Fahrzeugherstellern zwischen 2000-2014 vorgestellt wurden.

Allerdings ist nicht für alle diese Fahrzeuge eine Serienproduktion angedacht. Volkswagen präsentierte 30 verschiedene elektrifizierte Fahrzeuge, von welchen lediglich 7 in Serie erscheinen sollen. Bei Toyota sind es immerhin 18 von 32 Fahrzeugen, die seit 2000 in einer

Serienproduktion gefertigt werden oder eine solche geplant ist. Unterschiede lassen sich bei der Elektrifizierung der einzelnen Segmente beobachten. Während im den kleinen Fahrzeugsegmenten der Anteil an BEV dominant ist, nimmt dieser mit zunehmender Fahrzeuggröße ab und der Anteil an HEV und PHEV steigt. Um die steigenden Varianz von Antriebsträngen bewältigen zu können, entwickelt die Industrie sogenannte Modulbaukästen für ihre Fahrzeugproduktion, wobei versucht wird, auch bei unterschiedlichen Konzepten eine möglichst hohe Anzahl an Gleichteilen zu erhalten. Dies wird besonders deutlich, wenn man sich das sogenannte Conversion Design von Elektrofahrzeugen anschaut. Hierbei wird ein Fahrzeug, welches auch mit Verbrennungsmotor angeboten wird, mit einem elektrischen oder elektrifizierten Antriebstrang angeboten. Ein Beispiel hierfür ist der Smart Electric Drive oder der e-Golf. Eine andere Herangehensweise zeigt sich im Purpose Design, wobei Fahrzeuge von Beginn an als Elektrofahrzeuge entwickelt und gefertigt werden, wie es beim BMW i3 der Fall ist. Auch hier lassen sich Unterschiede zwischen den Herstellern feststellen, wie in Abbildung 3 zu sehen.

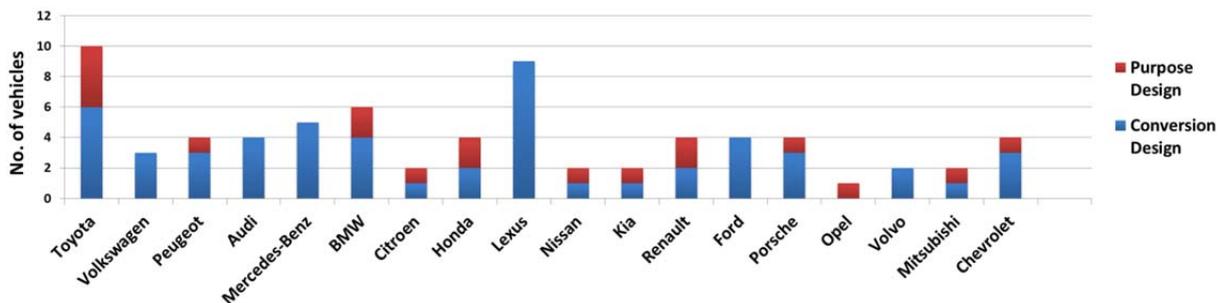


Abbildung 3: Anzahl der Serienfahrzeuge im Conversion und Purpose Design nach Fahrzeughersteller (2000-2014)

Alle europäischen Hersteller haben Fahrzeuge im Conversion Design in ihrem Portfolio, was mit Kosteneinsparungen durch eine höhere Auslastung der Fertigungsstraßen erklärt wird (Wallentowitz & Freialdenhoven, 2011). Lediglich BMW (z.B. i3) und Renault (z.B. Zoe) bieten in größerem Umfang Fahrzeuge an, welche ausschließlich als Elektrofahrzeuge verfügbar sind. Doch kein europäischer Hersteller hat eine vollkommen auf Elektrofahrzeuge ausgerichtete Produktstrategie, wie es beim US-amerikanischen Hersteller Tesla der Fall ist. Hinzu kommt, dass viele Hersteller mit anderen bei der Entwicklung und Fertigung von Elektrofahrzeugen kooperieren oder Joint Ventures gegründet haben.

Die europäischen Fahrzeughersteller haben sich gemeinsam darauf verständigt, CO₂-Emissionen über die gesamte Wertschöpfungskette zu reduzieren, wobei neben den Abgas-Emissionen der Fahrzeugnutzung auch die Verwendungen erneuerbarer Kraftstoffe, also die WTW-Emissionen (well-to-wheel, Energiegewinnungs-, Bereitstellungs- und Nutzungsphase) einbezogen werden (JRC 2013). Die Zusammenarbeit der Hersteller und der Zulieferindustrie nimmt hierbei eine zentrale Rolle ein, um die notwendigen Investitionen und das damit verbundene Risiko zu reduzieren. Zulieferer versuchen mit dem Angebot von Komplettlösungen, wie eines elektrischen Antriebstrangs, einen größeren Anteil der Wertschöpfung abzugreifen (Voeth, Gawantka 2005).

Gerade bei Elektrofahrzeugen entstehen neue Wertschöpfungsketten, da zahlreiche Komponenten, wie Start/Generator oder Getriebe, in Abhängigkeit des Antriebstrangkonzpts tiefgreifend überarbeitet werden, andere, wie die elektrischen Maschinen, die Batteriesysteme oder die Leistungselektronik, für die automobiler Anwendung neu entwickelt werden müssen. In 2010 wurden weltweit Komponenten für konventionelle Fahrzeuge für umgerechnet 294 Milliarden Euro an die Fahrzeughersteller geliefert. Einer Studie zufolge wird das Volumen von zugelieferten Komponenten bis 2030 auf knapp 400 Milliarden Euro anwachsen (TAB 2012). Insbesondere verursacht durch die Batteriesysteme, könnte der Anteil den die Zulieferindustrie an der Wertschöpfungskette ausmacht, von derzeit ca. 70% 2010 auf 75% 2020 zunehmen, weitere 4% könnten neue Marktteilnehmer ausmachen, womit der Anteil, den die Fahrzeughersteller selbst ausmachen von 30% auf 21% schrumpfen würde (Proff, Killian 2012).

Nichtsdestotrotz investieren Fahrzeughersteller hohe Summen in die Erforschung und Entwicklung neuer Produkte und Technologien. Allein der Volkswagen Konzern hat im Jahr 2014 13,5 Milliarden Euro in seine F&E-Aktivitäten investiert (PwC 2014). Die Investitionen in neue Technologien wie elektrifizierte Fahrzeuge lassen sich auch anhand von Patentanmeldungen zeigen. Bei der Anmeldung von Patenten auf Fahrzeugebene zum Thema „Hybrid- und Elektrofahrzeuge“ ist Deutschland führend, gefolgt von Japan, den USA und Korea. Insgesamt können für den Zeitraum 2006-2012 hier erheblich mehr Patente identifiziert werden, welche sich mit Elektrofahrzeugen befassen, als für Hybridfahrzeuge (basierend auf J.Koch et al. 2013), wobei mit Bosch einem Zulieferer die meisten Patente zuzurechnen sind, mit GM, Daimler, Hyundai, VW und BMW, gefolgt von Fahrzeugherstellern. Auf Komponentenebene hat Toyota bei elektrischen Maschinen und der Leistungselektronik Toyota die führende Rolle, zum Teil mit erheblichem Abstand zu den folgenden Konkurrenten. Generell spielen hier asiatische Hersteller und Zulieferer die größte Rolle, während europäische und amerikanische Hersteller eine untergeordnete einnehmen.

Bei der Analyse der Patentaktivitäten lässt sich neben der reinen Anzahl der Patente zu einem Themengebiet auch die Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern identifizieren. Auf dem Feld der Leistungselektronik kann festgehalten werden, dass hier ein weit verzweigtes Forschungs- und Innovationsnetzwerk existiert, in welchem nicht nur einzelne Hersteller mit Zulieferern zusammenarbeiten, sondern mit vielmehr auch die Hersteller, welche eigentlich in Konkurrenz zueinander stehen, hierüber verknüpft sind (Abbildung 4).

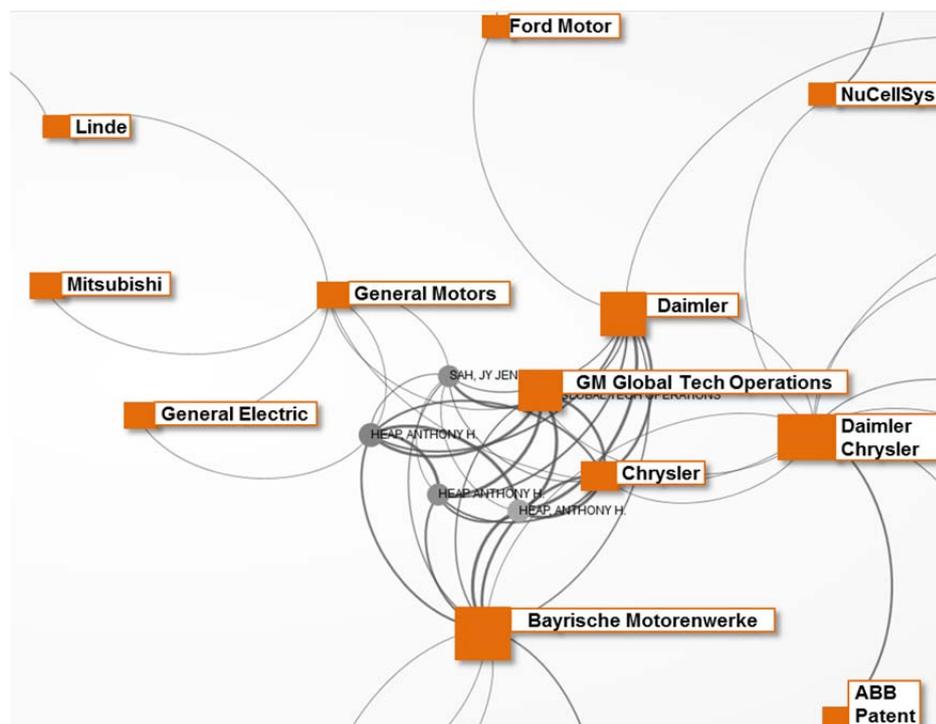


Abbildung 4: Innovationsnetzwerk für die Leistungselektronik

Die Zusammenarbeit im Rahmen der Innovationsnetzwerke führen zu Fortschritten bei der Entwicklung und Erforschung neuer Technologien. Für die Elektromobilität stehen hier drei Komponenten im Vordergrund: Traktionsbatterien, elektrische Maschinen und die Leistungselektronik (AELFA 2011). Bei Traktionsbatterien nehmen die Energiedichte, Leistungsdichte, Lebenszeit sowie die Kosten eine zentrale Rolle bei der Entwicklung zukünftiger Systeme ein. Derzeit sind für Li-Ionen Batteriezellen ca. 140 Wh/kg und für das Batteriesystem ca. 105 Wh/kg möglich (Thielmann et al. 2012). Durch eine weitere Verbesserung können Li-Ionen Batterien auf bis zu 350 Wh/kg kommen. Durch neue Technologien wie Lithium-Schwefel oder Lithium-Luft sind hier über 1000 Wh/kg möglich, allerdings stehen diese Technologien nicht vor 2020 bzw. 2030 zur Verfügung. Bei Lithium-Luft-Zellen ist zudem die Leistungsdichte nicht sonderlich ausgeprägt, was den Einsatz in Elektrofahrzeugen, insbesondere in HEV erschweren kann. Die kalendarische bzw. zyklische Alterung ist bei den drei genannten Technologien mit bis zu 4000 Zyklen bzw. bis zu 15 Jahren ähnlich (Adermann 2013, Thielmann et al. 2012).

Bei der Entwicklung zukünftiger elektrischer Maschinen stehen Leistungsdichte und Effizienz im Zentrum, da somit die Größe und Masse der elektrischen Maschinen und der Energieverbrauch reduziert werden kann. Hierbei haben Permanentterregte Synchronmaschinen Vorteile. Für den Fall, dass zukünftig die Kosten für Seltenerdelemente deutlich steigen, werden auch alternative Maschinentypen, wie Asynchronmaschinen oder Fremderregte Synchronmaschinen eine größere Rolle spielen können, welche zudem Vorteile für das Thermomanagement aufweisen, da sie höhere Temperaturen vertragen, als das bei Permanentterregten Synchronmaschinen der Fall ist. Außerdem werden Substitutionsmaterialien entwickelt, die es erlauben, Permanentterregte

Synchronmaschinen mit einem geringeren Anteil an Seltenerdelementen zu fertigen (DLR & Wuppertal Institut 2015).

Neben der Reduktion von Masse und Volumen nimmt die Steigerung der Effizienz auch bei der Entwicklung der Leistungselektronik eine zentrale Rolle ein. Zur Steigerung der Effizienz könnten zukünftige Bordnetze ein Spannungslevel von bis zu 1000V aufweisen. Insbesondere von wide-bandgap-Materialien, wie GaN und SiC wird hier ein hohes Potential erwartet, unter anderem um höhere Schaltfrequenzen mit geringen Verlusten zu realisieren. Für 2016 wird ein breiter Eintritt von SiC-basierten Leistungselektroniknetzen in Hybrid- und Elektrofahrzeugen erwartet, wobei japanische Unternehmen bei diesen Technologien eine Vorsprung gegenüber amerikanischen und europäischen Wettbewerben haben.

Neben den genannten Komponenten können weitere Technologien zu einer Verbesserung von Elektro- und Hybridfahrzeugen beitragen und diese somit attraktiver machen. Hierzu gehören, zumindest bei Hybridfahrzeugen, Fortschritte bei Verbrennungsmotoren sowie bei Getrieben. Insbesondere an Getriebe werden in Hybridfahrzeugen höhere Anforderungen gestellt, als das bei konventionellen Fahrzeugen der Fall ist. Zudem können Weiterentwicklungen und neue Technologien im Leichtbau Fahrzeuge leichter machen, was sich wiederum positiv auf den Energieverbrauch sowie die Reichweite von Elektrofahrzeugen auswirken kann. Für die Untersuchungen der Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen wurden im Rahmen des eMAP-Projekts Referenzfahrzeuge entwickelt, in welchen auch die Weiterentwicklung und damit eine Absenkung des Energieverbrauchs berücksichtigt wurden (Abbildung 5). Konventionelle Fahrzeuge, die mit einem Otto-Motor ausgestattet sind, haben hierbei das größte Verbrauchsminderungspotential, wobei sie weiterhin den höchsten Energieverbrauch innerhalb der Segmente aufweisen, während Batterieelektrische Fahrzeuge zwar das geringste relative Potential zu Reduktion des Energieverbrauchs haben, absolut aber den geringsten spezifischen Energieverbrauch aufweisen.

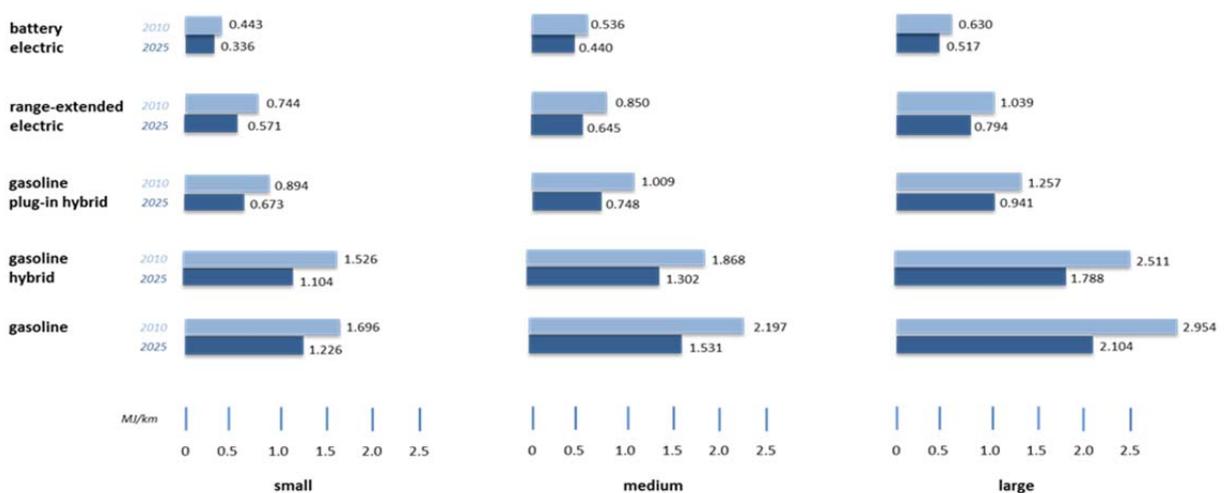


Abbildung 5: Energieverbrauch (in MJ/km) für kleine, mittlere und große Referenzfahrzeuge für 2010 und 2025

Mit entscheidend für den Erfolg der Elektromobilität sind die Kosten für Elektrofahrzeuge. Die Batterie, welche einen großen Teil der Mehrkosten gegenüber konventionellen Fahrzeugen ausmacht, ist ein wichtiger Stellhebel. Verschiedene Studien haben die Preisentwicklung für Traktionsbatterien in der automobilen Anwendung untersucht und Preisprognosen für die Zukunft erstellt. Eine Auswertung dieser Studien zeigt, dass sich die Preise für Batteriesysteme, die derzeit bei ca. 400 €₂₀₁₀/kWh liegen, bis 2020 auf rund 250-300€₂₀₁₀/kWh reduzieren und 2030 ein Preisniveau von ungefähr 200€₂₀₁₀/kWh erreichen können. Hierbei wird unterstellt, dass sich die Produktionskapazitäten jeweils von 150 MWh in 2015 auf 3 GWh in 2030 erhöhen werden. Eine Expertenbefragung im Rahmen des eMAP-Projekts zeigte, dass einige Experten sogar noch niedrigere Preise für Batteriesystem als realistisch einstufen.

Für die Permanenterrregte Synchronmaschinen, welche derzeit noch die wichtigste Rolle bei elektrifizierten Fahrzeugen spielen, wird prognostiziert, dass sich die Kosten von derzeit ca. 15€₂₀₁₀/kW auf 12€₂₀₁₀/kW in 2020 und unter 10€₂₀₁₀/kW in 2030 reduzieren werden, wobei eine Steigerung der Produktionskapazitäten von 50.000 Motoren pro Jahr in 2015 bis 2030 auf 500.000 verzehnfachen. Demzufolge steigen auch die Produktionsumfänge für die Leistungselektronik in diesem Zeitraum um dasselbe Maß, womit eine Kostenentwicklung von derzeit 13€₂₀₁₀/kW in 2015 auf ca. 7,40 €₂₀₁₀/kW in 2030 einhergeht.

2. Zukünftiger Anforderungen an die Lade-Infrastruktur und Energiemix des Transportsektors

Ladeinfrastruktur

Die Ladeinfrastruktur wird benötigt, um die Batterie von Elektrofahrzeugen, welche diese Möglichkeit aufweisen (BEV, EREV, PHEV), am Stromnetz aufzuladen. Hierbei kann zwischen öffentlicher, halb-öffentlicher und privater Infrastruktur unterschieden werden. Im Rahmen des eMAP-Projekts wurden die Anforderungen sowie die Ausbreitung der erforderlichen öffentlichen Infrastruktur in den Partnerländern Deutschland, Finnland und Polen untersucht.

Im Jahr 2011 wies die Europäische Kommission 11.749 öffentliche Ladepunkte in der EU aus (EC 2014a). Für das Jahr 2013 wurden schon über 20.000 dieser Ladesäulen gezählt, welche jeweils mehrere Ladepunkte beinhalten können (ARF & McKinsey 2014). Hierbei existieren verschiedene Arten von Ladesäulen und -punkten. Zum einen kann man den Lademodus (z.B. Normal- und Schnellladen) unterscheiden, zum anderen kommen verschiedene Stecker (z.B. Typ 1, Typ 2, CHAdeMO, CCS) zum Einsatz.

In Finnland wurden für das Jahr 2014 insgesamt 389 öffentliche Ladestationen gemeldet, wovon 347 Normallader und 42 Schnelllader waren (Sähköinen & liikenne 2014). Für dasselbe Jahr wies Deutschland insgesamt 30.000 Ladepunkte auf, wovon 4.720 öffentlich zugänglich waren (NPE 2014). Eine Differenzierung nach Lademodus wurde nicht vorgenommen. Für Polen konnten 30

Ladepunkte gefunden werden, wobei keine Informationen zum Zugang, ob öffentlich oder privat, vorlagen.

Für den Ausbau der Infrastruktur für Elektrofahrzeuge und deren Abdeckung im Jahr 2020 hat die Europäische Kommission 2013 eine Empfehlung verfasst, die sich an der Größe des Fahrzeugbestands, dem antizipierten Anteil von Elektrofahrzeugen sowie der Bevölkerungsdichte des jeweiligen Mitgliedslandes orientiert (EC 2013a, EC 2013b). Nach dieser Empfehlung benötigt Finnland 71.000 Ladepunkte, Deutschland 1,5 Millionen und Polen 460.000, wovon jeweils 10% öffentlich zugänglich sein sollen. In der endgültige Fassung von 2014 werden keine Zahlenwerte mehr genannt (EC 2014, EC 2014a). Vielmehr werden Empfehlungen für politische Rahmenbedingungen und Nutzerinformationen zu alternativen Energieträgern ausgesprochen, um eine ausreichende Infrastrukturabdeckung in den einzelnen Mitgliedsstaaten, zumindest im urbanen und dichtbesiedelten Raum zu gewährleisten zu können. Diese sollen Schrittweise bis 2020 umgesetzt und an den Zielen für die Anzahl von Elektrofahrzeugen bis 2020 orientiert werden, wobei mindestens ein Ladepunkt pro Elektrofahrzeug notwendig wäre (EC 2014).

In Finnland existieren derartige Zahlen für den Markthochlauf von Elektrofahrzeugen nicht. Vielmehr verfolgt Finnland ein technologieoffenes Ziel, seine CO₂-Emissionen aus dem Verkehrssektor bis 2050 gegenüber 1990 um 80% zu reduzieren. Jedoch erarbeitete eine Arbeitsgruppe unter Leitung des Transportministers im Jahre 2012 die Empfehlung, dass 30% der Fahrleistung im Verkehr bis 2050 elektrisch realisiert werden sollte (MINTC 2013). Vergleicht man die ursprünglich angedachten Ziele für den Infrastrukturausbau in Finnland mit der heutigen Situation, so sind knapp 6% der anvisierten Ladepunkte bereits realisiert. Allerdings muss erwähnt werden, dass in Finnland zahlreiche Steckdosen im Straßenraum existieren, die der Beheizung von Fahrzeugen im Winter dienen. Diese befinden sich zum Teil auf privatem Gelände, zum Teil aber auch im öffentlichen Raum. Diese Steckdosen können, zumindest aufgrund der Leistungsbereitstellung, eingeschränkt auf zum Laden von Elektrofahrzeugen genutzt werden (IA-HEV 2015b).

Für Deutschland existiert das nationale Ziel, bis 2020 1 Millionen Elektrofahrzeuge im Fahrzeugbestand aufzuweisen. Nach der ersten Empfehlung der Europäischen Kommission sollten zudem 1,5 Millionen Ladepunkte, 150.000 hiervon öffentlich zugänglich, bis 2020 aufgebaut werden. Derzeit existieren hiervon als ungefähr 2%, bei öffentlich zugänglichen sind immerhin schon gut 3% des Zielwertes erreicht. Für den Aufbau der Ladeinfrastruktur wurde von der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) eine Roadmap verfasst, welche neben dem zahlenmäßigen Ausbau auch Themen wie Zugang, Standardisierung und politische Rahmenbedingungen adressiert (NPE 2013).

Der Aufbau der Ladeinfrastruktur ist in Polen noch nicht weit fortgeschritten. Weit weniger als 1% der ursprünglich empfohlenen Zielwerte für 2020 sind derzeit erreicht. Sowohl für die absolute Anzahl an Ladepunkten, wie auch für die öffentlich zugänglichen. Von der polnischen Regierung wurden bisher auch noch keine spezifischen Zielwerte hierfür ausgegeben. Die

polnischen Projektpartner schätzten die Anzahl der Ladepunkte für das Jahr 2020 auf etwa 2.000.

Die derzeit wichtigsten Technologien bezüglich Ladeinfrastruktur beruhen Stecker-basierten Verbindungen. Es gibt zwar auch Konzepte zu Batteriewechselstationen sowie zur berührungslosen Energieübertragung, diese spielen aber nach jetzigem Stand beim großflächigen Ausbau der Ladeinfrastruktur bis 2020 keine große Rolle. Doch auch bei Stecker-basierten Technologien gibt es unterschiedliche Konzepte und Möglichkeiten. Zum einen wird hierbei zwischen Gleichstrom (DC) und Wechselstrom (AC) basierten Systemen unterschieden, wobei sich dieser im Lademodus, abhängig von der Ladeleistung einteilen lässt. AC-Ladepunkte stehen hier im Modus 1, 2 und 3 zur Verfügung, bei DC-Ladepunkten spricht man von Modus 4 Abbildung 6. In Modus 1 wird das Fahrzeug direkt mit dem Stromnetz verbunden, ohne dass eine Kontroll- und Schutzschaltung zwischengeschaltet ist. Dieser Modus ist in manchen Ländern nicht zugelassen. Bei Modus 2 ist diese Einheit in das Ladekabel integriert, bei Modus 3 wird sie in der Ladesäule vorgeschaltet. Abhängig vom Netzanschluss kann bei den AC-Systemen eine Leistung von bis zu 43,6 kW übertragen werden. Bei den DC-Systemen im Modus 4 sind maximal 170 kW möglich, wobei derzeit maximal 62,5 kW realisiert werden (BMVI 2014). Eine weitere Unterscheidung der Ladesysteme muss aufgrund der Steckergeometrie vorgenommen werden. Für die Lademodi 2 und 3 kommt der Stecker vom Typ 2 in Europa zum Einsatz. Im Modus 4 gibt es den Combo-Stecker, welcher den Typ 2 Stecker um zwei Pole zur DC-Schnellladung erweitert, dadurch die 4 Pole des AC-Systems ersetzt und somit im CCS-System (Combined Charging System) zum Einsatz kommen kann, sowie den japanischen Standard CHAdeMO. Der CHAdeMO-Stecker ist in der EU anerkannt, wird aber nicht als Stecker für Fahrzeuge in Europa empfohlen. Den europäischen Standard bilden der Typ 2 sowie der CCS-Stecker (EC 2014).

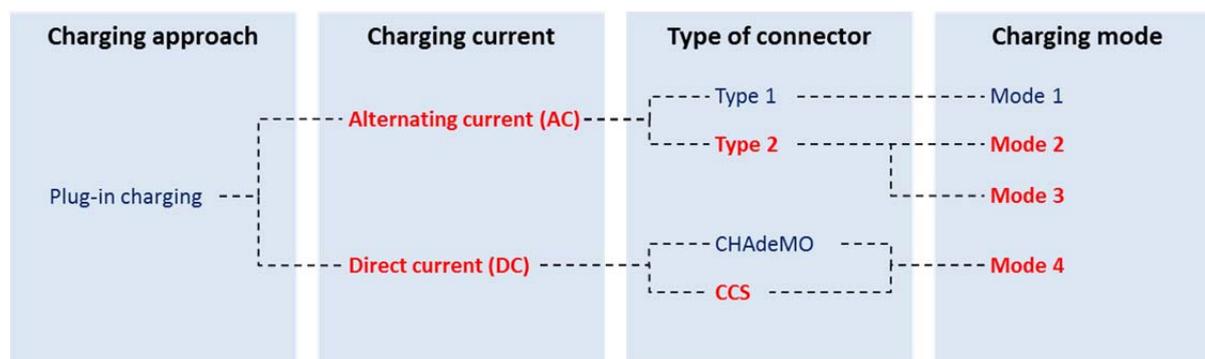


Abbildung 6: Mögliche Varianten der Stecker-basierten Ladesysteme

Während für den Lademodus 2 eine Haushaltssteckdose zum Laden des Fahrzeugs ausreicht, ist in den Modi 3 und 4 ein spezielles System (EVSE – electric vehicle supply equipment) mit standardisierter Ladeinheit notwendig (IEC 61851). Je nach Ladeleistung und –system (AC oder DC) fallen hierbei Investitionskosten von ca. 2500 € - 20.000 € je öffentlichen Ladepunkt sowie jährliche Instandhaltungskosten von ca. 1200 € - 3100 € an (NPE 2014). Die Investitionskosten für

private Ladeeinheiten (Wallboxes) werden je nach möglicher Ladeleistung und Energiemanagementsystem mit 500 € - 2500 € beziffert (Plötz et al. 2013).

Energiemix

Neben der Elektrifizierung des Transports verfolgen die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union verschiedene Strategien, um die CO₂-Emissionen des Verkehrssektors zu reduzieren. Finnland hat sich zum Ziel gesetzt, den Anteil an erneuerbaren Ressourcen bei Kraftstoffen bis 2020 auf 20 % zu steigern, wobei auch erneuerbares Biogas eine wichtige Rolle spielen soll (IEA 2013, NECS 2013). Der Transportsektor in Finnland lediglich für gut 17 % des Gesamtenergiebedarfs verantwortlich ist, was dem niedrigsten Wert aller Partnerländer der Internationalen Energieagentur (IEA) entspricht (IEA 2013). Dieses Ziel soll durch Steuervorteile alternativer Kraftstoffe und Energieträger erreicht werden. 2012 wurden ca. 4 % des Energieverbrauchs durch Biokraftstoffe gedeckt, wohingegen Erdgas (0,3 %) und Elektrizität (1 %) noch sehr gering vertreten sind. Darüber hinaus soll der Energieverbrauch des Transportsektors um 10% gesenkt werden (IEA 2013). Nicht nur die Reduktion der CO₂-Emissionen ist ein Ziel der finnischen Regierung, auch die Abhängigkeit von Rohöl-Importen soll reduziert werden, wobei die Elektromobilität eine zentrale Rolle spielen soll, da die Stromerzeugung in Finnland schon zu großen Teilen aus Wasserkraft (50 %) und Biomasse (46 %) basiert (IEA 2013, NECS 2013).

In Deutschland ist der Transportsektor für knapp 25 % des Endenergiebedarfs verantwortlich, wobei über 41 % der deutschen Energiebereitstellung durch Rohöl-basierte Produkte realisiert ist. Erdgas (23 %) und Elektrizität (20 %) haben einen deutlich geringeren Anteil. 94 % der Energie des Transportsektors werden aus Rohöl gewonnen, Erdgas hat hierbei mit lediglich 1 % einen sehr geringen Anteil. Elektrizität macht im Transportsektor immerhin schon einen Anteil von über 2 % aus, Biokraftstoffe immerhin knapp 5 %. Insbesondere der Verbrauch von elektrischer Energie könnte sich in den nächsten Jahren dank der Elektromobilität verdoppeln (AG Energiebilanz 2012). Deutschland ist es als größter CO₂-Emittent innerhalb der EU gelungen, den CO₂-Ausstoß vom Wirtschaftswachstum zu entkoppeln (IEA 2013a). Um diesen Trend fortzusetzen wurde in Deutschland eine „Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie“ entwickelt, welche darauf abzielt, den Anteil an erneuerbaren Ressourcen für die Energiebereitstellung des Verkehrs weiter zu erhöhen. Somit sollen derzeit schon 35 %, ab 2017 50 % und ab 2018 60 %, der Treibhausgasemissionen eingespart werden (FNR 2011). Bei der Erfüllung der Quote wird auch die Herkunft der Biomasse berücksichtigt, wobei nur Biokraftstoffe berücksichtigt werden, bei deren Erzeugung Nachhaltigkeitsstandards eingehalten werden (IEA 2013a). Um den Ausstoß von Treibhausgasen weiter zu reduzieren soll eben auch die Elektromobilität weiter ausgebaut werden, was Hand in Hand mit der Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energien in der Elektrizitätserzeugung gehen wird.

Polens Energiesektor hängt vor allem von Rohölimporten aus Russland ab. Um dem entgegenzuwirken versucht die polnische Regierung eine Diversifizierung der Energieimporte zu erreichen oder durch die Nutzung eigener Gas- und Ölvorkommen die Menge der Importe generell zu reduzieren (IEA 2011). Auch in Polen machte 2009 der Transportsektor rund 24 %

des Gesamtenergieverbrauchs aus, während der Anteil 1990 noch bei 11 % lag (IEA 2011, Enerdata 2011). 60 % des gesamten Rohölverbrauchs in Polen müssen dem Transportsektor zugerechnet werden. Um dies und die damit verbundenen CO₂-Emissionen zu reduzieren gibt es einige wenige Richtlinien, wie das „Langzeit Biokraftstoff Förderungsprogramm 2008-2014“. Hierbei wurden verschiedene Maßnahmen, wie kostenfreies Parken oder Vorgaben für öffentliche Einrichtung, verabschiedet, um die Nutzung von Biokraftstoffen attraktiver zu machen und den Anteil zu steigern. Insgesamt soll der Anteil an erneuerbaren Energien in Polen bis 2020 auf 15 % gesteigert werden. Außerdem müssen 10 % der Energie, welche der Transportsektor benötigt, durch Biokraftstoffe oder andere erneuerbare Energiequellen gedeckt werden (IEA 2011). Der zweite Nationale Energieeffizienz Plan regelt die Reduzierung des Energieverbrauchs um 11 %, wovon 24 % aus dem Transportsektor kommen sollen (Enerdata 2013). Zudem existieren Pläne für 2 Atomkraftwerke, wodurch die CO₂-Intensität der Stromproduktion gesenkt werden soll.

3. Weiterentwicklung und Kalibrierung des Fahrzeugtechnik-Szenario-Modells

Essentiell für die Berechnung der europäischen Neuwagenmarktszenarien war die Weiterentwicklung des Fahrzeugszenario-Modells VECTOR21. In seiner bis zu Projektbeginn vorliegenden Version konnte das Modell die Zusammensetzung des deutschen Neuwagenmarktes simulieren. Der zugrundeliegende Modellansatz ermöglicht es, mit Fahrzeugtechnologien, Neuwagenkäufern, Fahrzeugherstellern, gesetzlichen Rahmenbedingungen und der Infrastruktur verschiedene Aspekte in die Berechnung des Neuwagenmarkts miteinzubeziehen (Mock 2010). VECTOR21 simuliert die Konkurrenzsituation zwischen verschiedenen Fahrzeugtechnologie sowie alternativen Antrieben und Kraftstoffen um Marktanteile. Die Entscheidungsfindung des agentenbasierten Modells wird maßgeblich über die relevanten Kosten, wie Anschaffungskosten oder Betriebskosten, für den Kunden erreicht. Auch Anforderungen an die Infrastruktur oder Reichweite der Fahrzeuge, insbesondere bei elektrifizierten Fahrzeugen werden berücksichtigt. Dieser Prozess ist eingebettet in ein breites Set von Rahmenbedingungen, die zum Beispiel die Entwicklung von Fahrzeugeigenschaften und –kosten, Fahrzeugsteuern und die Veränderung von Energiepreisen beinhalten. Neben der Anzahl bzw. dem Marktanteil der einzelnen Fahrzeugvarianten ermöglicht das Modell Aussagen zum Verbrauch verschiedener Energieträger und dem damit verbunden Ausstoß an Treibhausgasen, wobei auch Emissionen, die bei der Erzeugung und Gewinnung der Energieträger entstehen, berücksichtigt werden können.

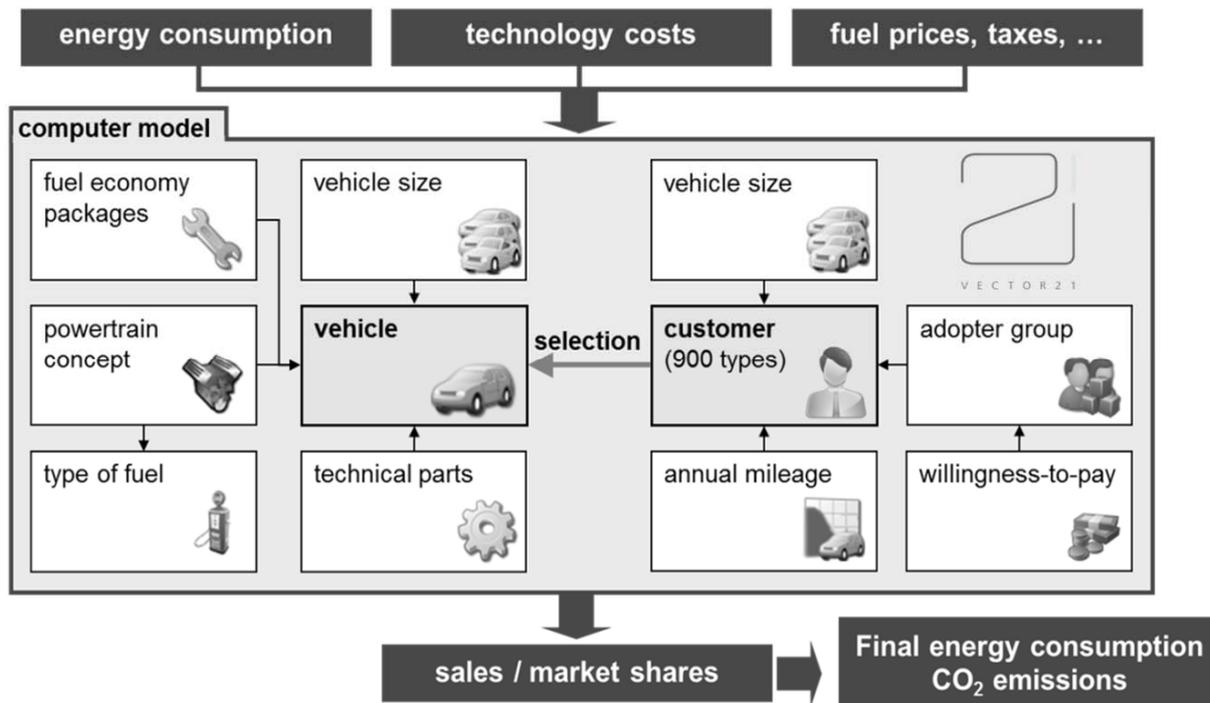


Abbildung 7: Schematische Darstellung des Modellansatzes von VECTOR21

Zur Berechnung eines multinationalen Marktszenarios, wie es der Neuwagenmarkt in der Europäischen Union darstellt, waren tiefgreifende Änderungen und Erweiterungen des Modells notwendig. Hierbei musste das Modell dahingehend erweitert werden, dass die Möglichkeit besteht, mehrere Fahrzeugmärkte gleichzeitig zu berechnen. Dies ist notwendig, da Märkte, insbesondere eng zusammenhängende Märkte wie die innerhalb der EU, nicht unabhängig voneinander sind. Neben Vorgaben, wie der CO₂-Grenzwerte, die länderübergreifend eingehalten werden müssen, sind auch die Strategien von Fahrzeugherstellern in den wenigsten Fällen auf einzelne Länder, sondern vielmehr auf eine möglichst breite Nachfrage ausgerichtet. Mit der Weiterentwicklung ist es möglich, neben Skaleneffekten, die sich durch den globalen Absatz von Fahrzeugen und Komponenten ergeben und sich durch die größeren Produktionsmengen positiv auf die Preisentwicklung von Technologien auswirken, auch Ansteckungseffekte zwischen den einzelnen Ländern zu simulieren.

Neu- und Weiterentwicklungen im Modellalgorithmus waren unter anderem durch die unterschiedliche Ausprägung der Steuergesetzgebung sowie die Ausgestaltung von Bonus-Malus-Systemen in den einzelnen Ländern notwendig. Hierbei musste auch die Fahrzeugdefinition, zum Beispiel um die Fahrzeugmasse, erweitert werden, um die Berechnungen korrekt durchführen zu können. Für die Umsetzung waren umfassende Analysen der Steuergesetzgebungen und der Gebühren, die rund um die Anschaffung und Nutzung von Fahrzeugen in den verschiedenen Ländern anfallen, erforderlich.

Zudem mussten neben den Märkten der Partnerländer des eMAP-Projekts weitere Länder modelliert und simuliert werden. Dies waren die, nach Deutschland, drei größten Fahrzeugmärkte der EU mit Großbritannien, Frankreich und Italien. Für diese Länder konnte nicht auf Experten und Expertisen vor Ort innerhalb des Projekts zurückgegriffen werden, weshalb für diese Länder umfangreichere eigene Recherchen und Analysen notwendig waren.

4. Entwicklung und Ergebnisse der Szenarien für den europäischen Neuwagenmarkt

Drei Szenarien wurden entwickelt um das Potential zukünftiger Entwicklungspfade für Elektrofahrzeuge zu untersuchen: Ein Business-as-Usual-Szenario (BaU) als Referenzszenario, ein Technologie-Szenario (TeD), welches eine beschleunigte technische Entwicklung von Elektrofahrzeugen unterstellt sowie ein Politik-Szenario (PoD), welches eine strengere CO₂-Regulierung und die Auswirkungen verschiedener Fördermaßnahmen näher beleuchtet. Mit Hilfe der Szenarien können die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Wie kann sich der Markthochlauf von Elektrofahrzeugen mit den derzeit gegebenen Rahmenbedingungen vollziehen?
- Welchen Einfluss auf den Markthochlauf kann eine bessere technische Entwicklung von Elektrofahrzeugen haben?
- Wie können nationale Fördermaßnahmen oder eine strengere EU-weite Regulierung den Markthochlauf von Elektrofahrzeugen beeinflussen?

Im BaU-Szenario sind die derzeitige Gesetzgebung und Technologien sowie deren absehbare Entwicklung und die von weiteren exogenen Parametern berücksichtigt. Hierzu zählen zum Beispiel die nationalen Steuersysteme, CO₂-Grenzwerte, Kraftstoff- und Energiebereitstellung oder auch die Betankungs- und Ladeinfrastruktur.

Im TeD-Szenario werden die selben Rahmenbedingungen wie im BaU-Szenario angenommen, mit der Ausnahme, dass eine schnellere technische Entwicklung von Elektrofahrzeugen Einzug erhält, wodurch diese auf der einen Seite effizienter werden, gleichzeitig die Komponentenpreise (z.B. Traktionsbatterie und elektrische Maschine) schneller fallen, als das im BaU-Szenario der Fall ist.

Das PoD-Szenario ist zweigeteilt: Hierbei werden auf der einen Seite strengere EU-weite CO₂-Richtlinien nach 2020 unterstellt, auf der anderen Seite nationale Fördermaßnahmen, bei ansonsten identischen Rahmenbedingungen wie im BaU-Szenario, auf ihre Wirksamkeit bezüglich einer Beschleunigung des Markthochlaufs untersucht.

Alle Szenariovarianten werden jeweils für die Länder Deutschland, Finnland, Polen, Frankreich, Großbritannien und Italien explizit berechnet und die Ergebnisse anschließend auf die gesamte Europäische Union hochgerechnet.

Wichtige Parameter für die Ausgestaltung der Neuwagenmarktszenarien Stellen die Energiepreise dar. Diese waren für alle eMAP-Szenarien identisch, wobei von einem moderaten Anstieg des Ölpreises und sinkenden Wasserstoffpreisen ausgegangen wird (Tabelle 1). Die Preise für den Strom für die Elektromobilität fließen länderspezifisch in die Szenarioberechnung mit ein, um nationale Entwicklungspläne, zum Beispiel beim Ausbau von erneuerbaren Energien berücksichtigen zu können.

Tabelle 1: Länderübergreifende Energiepreis-Entwicklung

	Einheit	2010	2020	2030	Quelle
Rohölpreis	[\$ ₂₀₁₁ /bbl]	108	120	124	IEA (2012)
H₂ Preis	[€ ₂₀₁₀ /kg]	20	8	6	McKinsey (2011)

Neben drei Fahrzeugsegmenten (klein, mittel und groß) werden für alle Szenarien 10 unterschiedliche Antriebstrangvarianten berücksichtigt. Neben konventionellen Diesel- und Benzinfahrzeugen (Gasoline) sind das Erdgasfahrzeuge (CNG), die hybridisierten Konzepte von Diesel- (D_HEV), Benzin (G_HEV)- und CNG-Fahrzeuge (CNG_HEV), Plug-In Hybride (PHEV), reichweitenverlängerte Elektrofahrzeuge (EREV), Batterieelektrische (BEV) sowie Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV). Alle diese Fahrzeuge sind in den drei Segmenten zum einen durch ihre technische Spezifikation (Größe der Batterie, Masse des Fahrzeugs), durch den Energieverbrauch und Produktionskosten definiert. Die Entwicklung des Energieverbrauchs über die Jahre ist in Abbildung 8 dargestellt.

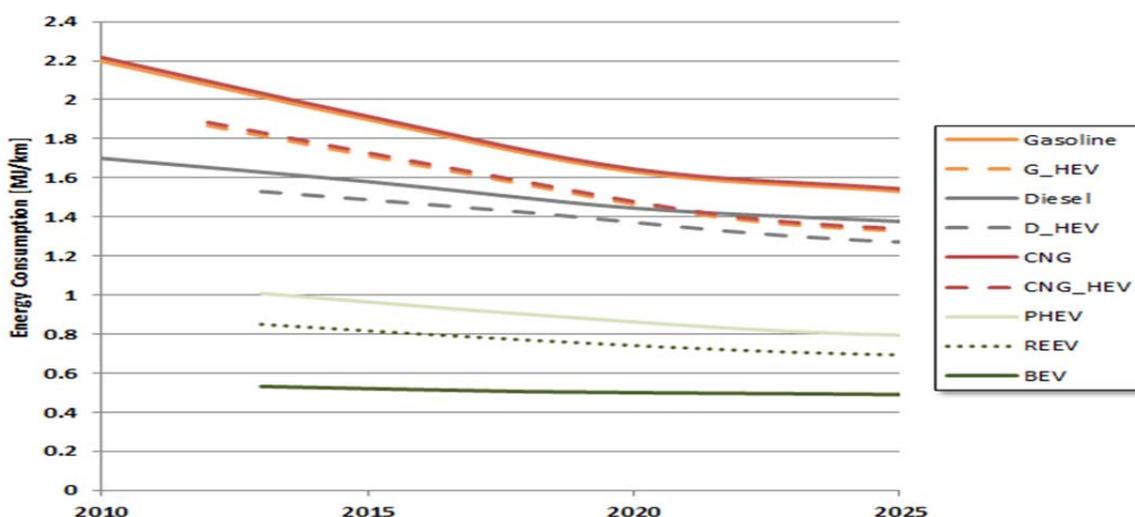


Abbildung 8: Entwicklung des Energieverbrauchs der VECTOR21-Fahrzeuge (mittleres Segment)

Die Entwicklung des BaU-Szenarios zeigt eine langsame aber stetige Elektrifizierung des europäischen Neuwagenmarkts ab 2015 (Abbildung 9, links). Insbesondere konventionelle Benzinfahrzeuge werden von elektrifizierten Fahrzeugkonzepten ersetzt (Marktanteil von 47% auf 19%), während sich Dieselfahrzeuge, zumindest bis 2025, recht stabil halten können (von 52% in 2010 auf 46% in 2025). Der Anteil von CNG-Fahrzeugen nimmt in der EU leicht zu, bleibt aber auf einem niedrigen Niveau (unter 1% Marktanteil). Plug-In Hybride und Benzin-Hybride können hingegen signifikant in den Neuwagenmarkt diffundieren (19% bzw. 15% in 2030). Neben der technischen Weiterentwicklung aller Fahrzeugvarianten ist die Elektrifizierung der Grund für die deutlich sinkenden CO₂-Emissionen der Neufahrzeuge (-42% bis 2030). Somit werden der anvisierte Grenzwert von 95 g/km für 2020 sowie der fortgeschriebene Grenzwert von 75 g/km für 2030 erreicht (Abbildung 9, rechts).

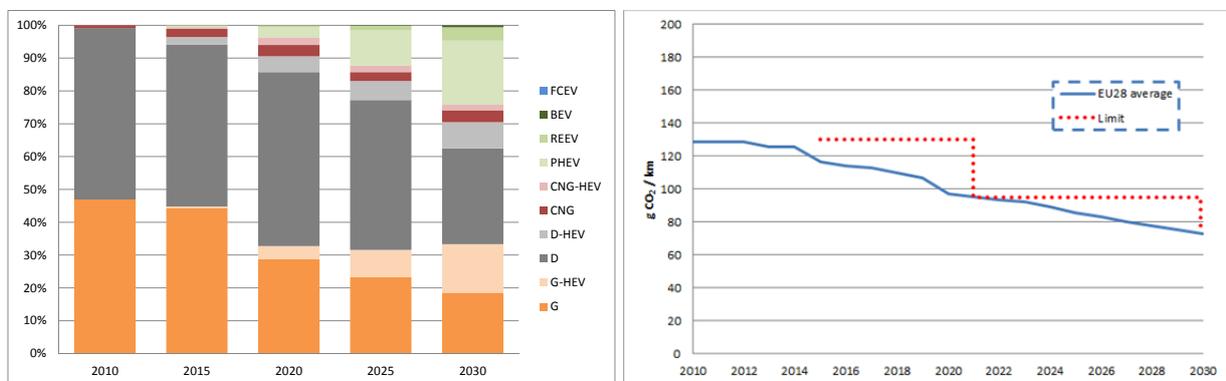


Abbildung 9: Zusammensetzung des europäischen Neuwagenmarkts nach Antriebstrangvarianten (links) und Entwicklung der damit verbundenen CO₂-Emissionen (rechts) im BaU-Szenario

Durch die Maßnahmen im TeD-Szenario, können die elektrifizierten Fahrzeugkonzepte ihren Energieverbrauch schneller senken. Zudem geht die Kostenentwicklung der elektrischen Komponenten deutlich schneller von statten. Besonders bei Batteriesystemen, welche bei Elektrofahrzeugen zu deutlichen Mehrkosten gegenüber konventionellen Fahrzeugen führen können, macht sich diese Entwicklung bemerkbar (Abbildung 10). Während der Zielpreis von rund 230 €/kWh im BaU-Szenario erst 2029 erreicht werden, ist dies im TeD-Szenario schon im Jahr 2019 der Fall.

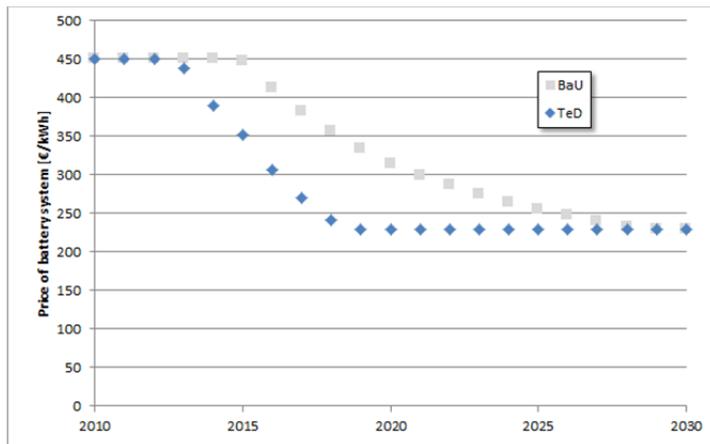


Abbildung 10: Entwicklung der Preise für Batteriesysteme in BaU- und im TeD-Szenario

Das wiederum hat deutliche Auswirkungen auf die Penetration des Neuwagenmarktes mit Elektrofahrzeugen in der EU (Abbildung 11, links). Diese können ihre Marktanteile, vor allem nach 2020, gegenüber dem BaU-Szenario noch einmal deutlich steigern. Hierbei spielen wieder die hybridisierten Benzinfahrzeuge sowie die Plug-In Hybride eine wichtige Rolle (17% bzw. 24% Marktanteil in 2030). Doch im Gegensatz zu den Ergebnissen des BaU-Szenarios können im TeD-Szenario auch Batterieelektrische Fahrzeuge sichtbare, wenn auch kleine, Marktanteile gewinnen (<1%). Die zunehmende Elektrifizierung wirkt sich positiv auf die Entwicklung der CO₂-Emissionen aus (-48% zwischen 2010 und 2030, Abbildung 11, rechts). Die Grenzwerte für die Jahre 2020 und 2030 können deutlich unterschritten werden.

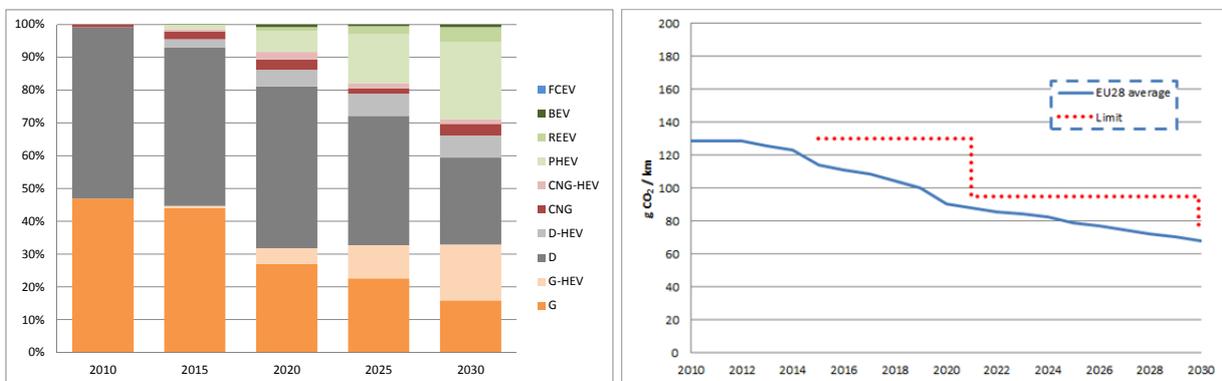


Abbildung 11: Zusammensetzung des europäischen Neuwagenmarkts nach Antriebstrangvarianten (links) und Entwicklung der damit verbundenen CO₂-Emissionen (rechts) im TeD-Szenario

Durch eine Verschärfung der EU-weiten Grenzwerte können die CO₂-Emissionen im Jahr 2030 nochmals reduziert werden, auch gegenüber dem TeD-Szenario. Für das Jahr 2030 wurde ein CO₂-Grenzwert von 60 g/km angenommen, welcher durch eine deutlich verstärkte Elektrifizierung nach 2020 gegenüber dem BaU-Szenario erreicht werden kann (Abbildung 12). Hierbei kommen erstmals auch Reichweitenverlängerte Elektrofahrzeuge mit einem Marktanteil von über 10% deutlich im Neuwagenmarkt vor. Weiterhin haben Plug-In Hybride den größten Anteil innerhalb der Elektrofahrzeuge (21% in 2030).

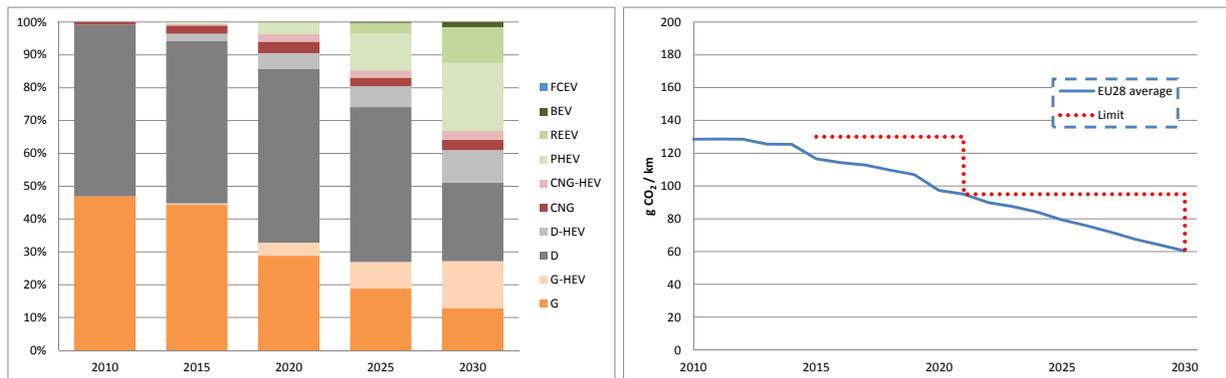


Abbildung 12: Zusammensetzung des europäischen Neuwagenmarkts nach Antriebsstrangvarianten (links) und Entwicklung der damit verbundenen CO₂-Emissionen (rechts) im PoD-Szenario

Neben der Verschärfung der CO₂-Regulierung wurde der Einfluss nationaler Fördermaßnahmen in Deutschland, Finnland und Polen auf eine Beschleunigung des Markthochlaufs von Elektrofahrzeugen im jeweiligen Land untersucht. In Deutschland wird hierfür von 2016 bis 2020 finanzielle Kaufanreize in Höhe von 1500 € für PHEV, EREV, BEV und FCEV gewährt, der Strom für Elektrofahrzeuge von der EEG-Umlage ausgenommen, der Ausbau der Ladeinfrastruktur um 10% gegenüber dem BaU-Szenario erhöht sowie die Zahlungsbereitschaft der Kunden durch Werbemaßnahmen erhöht. In Finnland sind Elektrofahrzeuge (PHEV, EREV, BEV & FCEV) ab 2018 vom Motortechnologie-abhängigen Kfz-Steueranteil befreit und der CO₂-basierte Anteil der Kfz-Steuer wird für alle Fahrzeuge um 25% erhöht. In Polen werden, wie in Deutschland, finanzielle Kaufanreize in Höhe von 1050 € für Elektrofahrzeuge (PHEV, EREV, BEV, FCEV) gewährt, zudem die Zahlungsbereitschaft der Kunden durch Werbekampagnen erhöht. Die Auswirkungen dieser Maßnahmen führen zu unterschiedlichen Ergebnissen in den einzelnen Ländern (Abbildung 13). In Polen (Verzehnfachung der kumulierten Verkäufe (65.000 Fahrzeuge) bis 2030) und Deutschland (plus 90% der kumulierten Verkäufe (insgesamt 8,7 Mio. Fahrzeuge) bis 2030) zeigen die nationalen Fördermaßnahmen die höchsten kumulierten Verkaufszahlen von Elektrofahrzeugen, während in Finnland das TeD-Szenario den höchsten Anteil an Elektrofahrzeugen mitbringt (26% der Fahrzeuge im Bestand in 2030). Doch auch in Finnland kann ein positiver Effekt durch die Fördermaßnahmen beobachtet werden (plus ein Prozentpunkt Marktanteil Elektrofahrzeuge im Bestand gegenüber BaU-Szenario, plus 5% (plus 32.000 Fahrzeuge) kumulierte Verkäufe bis 2030). Eine Verschärfung der CO₂-Grenzwerte haben in Polen (plus 34.000 Fahrzeuge bis 2030 gegenüber BaU) und Deutschland (plus 680.000 Fahrzeuge (plus 14%) bis 2030 gegenüber BaU) nach 2020 positive Auswirkungen auf die Anzahl der verkauften Elektrofahrzeuge, während sich in Finnland keine Wirkung entfaltet. Dies liegt an dem schon hohen Anteil an Elektrofahrzeugen im BaU-Szenario, wodurch die Fahrzeuge auf dem finnischen Markt die anvisierten Ziele für die Reduktion der CO₂-Emissionen schon deutlich übererfüllen und somit die verschärften Grenzwerte schon mit den Rahmenbedingungen im BaU-Szenario eingehalten werden können. Großen Einfluss hierauf hat die Kaufsteuer, die, abhängig vom CO₂-Ausstoß der Fahrzeuge, zu erheblichen Mehrkosten von bis zu 50 % beim Kauf von

Pkw führen kann. Hierbei haben elektrifizierte Fahrzeugkonzepte durch die geringeren Norm-Emissionen erhebliche Vorteile. Die beschleunigte technische Entwicklung der Fahrzeuge, hat in allen Ländern einen positiven Einfluss. In Deutschland können die kumulierten Verkaufszahlen bis 2030 um 60% (plus 2,8 Millionen Fahrzeuge) in Finnland um 12% (plus 75.000 Fahrzeuge) und in Polen um 80% gesteigert werden. Wobei die kumulierten Verkäufe in Polen mit knapp 11.000 Fahrzeugen bis 2030 immer noch recht gering ausfallen. Die Ziele der deutschen Bundesregierung, bis 2020 1 Millionen Elektrofahrzeuge auf der Straße zu haben, können lediglich im deutschen Pod-Szenario, unter Berücksichtigung der finanziellen Kaufanreize und der übrigen, darin definierten Rahmenbedingungen mit 990.000 verkauften Fahrzeugen bis 2020 annähernd erreicht werden.

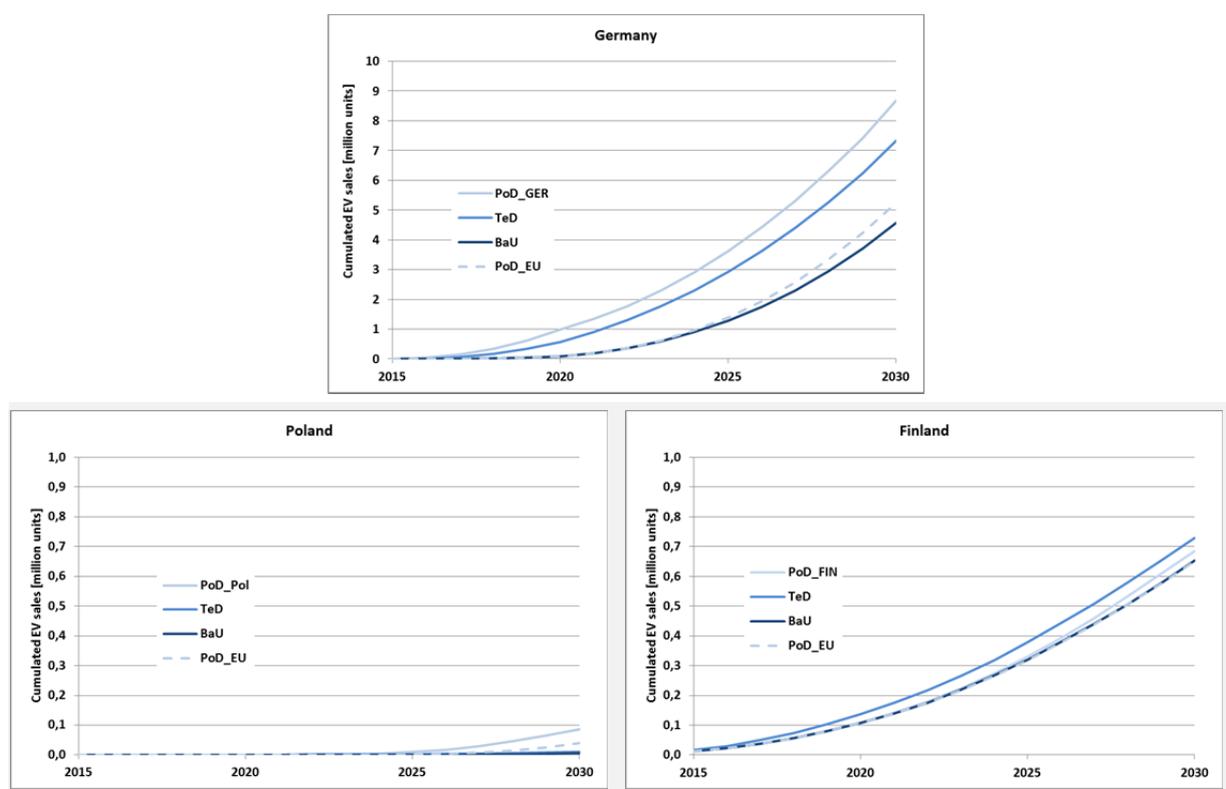


Abbildung 13: Auswirkungen der Szenarien auf nationaler Ebene

5. Nutzen/Verwertbarkeit der Ergebnisse

Im Rahmen der Teilnahme wurde der Informationsaustausch zwischen Forschung und Industrie im Sinne der internationalen Verbreitung von Informationen, Ansprechpartnern und Projektergebnissen durchgeführt. Das zur Verfügung-Stellen der Informationen erfolgt und erfolgte dabei über die Website, durch jährliche Berichte an das ERA-NET Transport Netzwerk, wissenschaftliche Veröffentlichungen sowie Fachvorträge. Die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit ist dabei in den Arbeitspaketen WP05 und WP06 grundsätzlich gegeben.

Insbesondere eine Modellerweiterung auf weitere geografische Betrachtungsräume erscheint sinnvoll. Mit Voranschreiten der Arbeiten an WP05 ist ersichtlich geworden, dass weiterer Forschungsbedarf seitens der Modellierung zur Angebotsplanung für elektrifizierte Antriebe besteht.

6. Veröffentlichungen

In folgenden Veröffentlichungen ist das DLR als Autor/Co-Autor beteiligt:

Auvinen, Heide und Järvi, Tuuli und **Klötzke, Matthias** und Bühne, Jan-André und Heinel, Felix und Kurte, Judith und Esser, Klaus (2016) – Electromobility scenarios: research finding to inform policy. Transport Research Arena 2016. Warschau, Polen.

Klötzke, Matthias und **Kugler, Ulrike** und Heinel, Felix und Bühne, Jan-André und Kurte, Judith und Esser, Claus (2015): Exploration of the impact of electric vehicle policies on vehicle registrations, emissions and cost-benefit-analysis. ETC2015 European Transport Conference. 28-30 Sep 2015. Frankfurt/M., Deutschland

Bühne, Jan-André und Gruschwitz, Dana und Höschler, Jana und **Klötzke, Matthias** und **Kugler, Ulrike** und **Schimeczek, Christoph** (2015) – How to promote electromobility for European car drivers? Obstacles to overcome for a broad market penetration. European Transport Research Review. 2015

Heinel, Felix und Kurte, Judith und **Klötzke, Matthias** und **Schimeczek Christoph** und Bühne, Jan-André (2015): The socio-economic impact of the deployment of electromobility on greenhouse gas and local emissions on EU-level. Young Researchers' Seminar 2015, 17–19 Jun 2015. Rom, Italien.

Auvinen, Heidi und Järvi, Tuuli and Schirokoff, Anna und Bühne, Jan-André und Heinel, Felix und Kurte, Judith und Esser, Klaus und **Brokate, Jens** und Gruschwitz, Dana (2014): Evaluating deployment of electromobility. TRA2014 Transport Research Arena 2014, 14-17 Apr 2014. Paris, Frankreich

Literaturverzeichnis

ACEA (2014). The automobile industry pocket guide 2014–2015. Brüssel

AELFA (2011). Strukturanalyse von Automobilkomponenten für zukünftige elektrifizierte Fahrzeugantriebe. Stuttgart, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Institut für Fahrzeugkonzepte.

AG Energiebilanz (2012): Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 2012. http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=bilanz12d.xlsx. Abgerufen am 20.08.2015

Andermann, M. (2013). Assessing the Future of Hybrid and Electric Vehicles: The 2014 xEV Industry Insider Report. Advanced Automotive Batteries

ARF and McKinsey (2014). Evolution. Electric vehicles in Europe: gearing up for a new phase?. Report. Amsterdam Roundtable Foundation and McKinsey & Company The Netherlands. April 2014

BMVI (2014). Kompendium für den interoperablen und bedarfsgerechten Aufbau von Infrastruktur für Elektrofahrzeuge. Öffentliche Ladeinfrastruktur für Städte, Kommunen und Versorger. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. February 2014

DLR & Wuppertal Institut (2015). Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität. Abschlussbericht im Rahmen der Förderung des Themenfeldes „Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM)“ an das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Stuttgart, Wuppertal, Berlin.

EC (2011). Weissbuch – Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem

EC (2013a). Clean power for transport – Frequently asked questions. Brussels, European Commission. 24/01/2013

EC (2013b). Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the deployment of alternative fuels infrastructure. Brussels, European Commission. 24/01/2013

EC (2014). Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council on the deployment of alternative fuels infrastructure of 22. October 2014. Official Journal of the European Union. L 307/1. 28/10/2014

EC (2014a). Clean transport, Urban transport. Clean Power for Transport – Alternative fuels for sustainable mobility in Europe. http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/cpt/index_en.htm. European Commission. Last Access: 07/01/2015

Enerdata (2011). Energy efficiency report. Poland. [http://www05.abb.com/global/scot/scot316.nsf/veritydisplay/37ef7f96d8bf93a6c12578aa004c418d/\\$file/Poland.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot316.nsf/veritydisplay/37ef7f96d8bf93a6c12578aa004c418d/$file/Poland.pdf). Last Access: 20/01/2015

FNR (2011). Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.. Standard-THG-Emissionen für Biokraftstoffe. <http://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biokraftstoffe/standard-thg-emissionen-fur-biokraftstoffe.html>. Last Access: 21/01/2015

IA-HEV (2015b). Finland – Policies and Legislation. <http://www.ieahev.org/by-country/finland-charging-infrastructure/>. Last Access: 08/01/2015

IEA (2011). Energy Policies of IEA Countries. Poland. 2011 review. International Energy Agency. 2011

IEA (2012): World Energy Outlook 2012. International Energy Agency Publications. Paris

-
- IEA (2013). Energy Policies of IEA Countries. Finland. 2013 review. International Energy Agency. 2013
- IEA (2013a). Energy Policies of IEA Countries. Germany. 2013 review. International Energy Agency. 2013
- IEC 61851 – Norm International Electrotechnical Commission No. 61851: Electric vehicle conductive charging system
- JRC (2013). JEC WELL-TO-WHEELS ANALYSIS. Luxembourg, European Commission Directorate-General Joint Research Centre.
- Koch, J., Meisinger, C. (2013) E-Mobility-Patentindex.
- McKinsey (2012): A portfolio of powertrains for Europe: a fact based analysis. The role of Battery Electric Vehicles, Plug-in Hybrids and Fuel Cell Electric Vehicles. <http://www.h2euro.org/2011/a-portfolio-of-power-trains-for-europe-a-fact-based-analysis>
- MINTC (2013). Ministry of Transport and Communications 2012. Alternative propulsion for the transport of the future – Final report by working Group. Publications of the Ministry of Transport and Communications 15/2013
- NECS (2013). National Energy and Climate Strategy. Government Report to Parliament on 20 March 2013. 2013
- NPE (2013). Vision and Roadmap of the National Electric Mobility Platform. Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität (GGEMO). 2013
- NPE (2014). Fortschrittsbericht 2014 – Bilanz der Marktvorbereitung. Nationale Plattform Elektromobilität. Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität (GGEMO). 2014
- Plötz et al. (2013). Plötz, P.; Gnann, T.; Kühn, A.; Wietschel, M.: Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge. Langfassung. Studie im Auftrag der acatech-Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und der Arbeitsgruppe 7 der Nationalen Plattform der Elektromobilität (NPE). Fraunhofer ISI. 2013
- Proff, Heike Kilian, Dominik (2012). Competitiveness of the EU Automotive Industry in Electric Vehicles. Duisburg, University of Duisburg-Essen Chair of General Business Administration & International Automotive Management.
- PwC (2014). The Global Innovation 1000: Top 20 R&D Spenders 2005-2014. <http://www.strategyand.pwc.com/global/home/what-we-think/innovation1000/top-20-rd-spenders-2014> (Access: 03/02/2015)
- Sähköinen & liikenne (2014). Public accessible recharging stations and points in Finland. http://www.sahkoinenliikenne.fi/sites/sahkoinenliikenne_fi/files/attachments/20141106_suomen_atauspisteet.pdf. Last Access: 09/02/2015

TAB (2012). Konzepte der Elektromobilität und deren Bedeutung für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt.

Thielmann, A. Sauer, A. Isenmann, R. Wietschel, M. (2012). Technologie-Roadmap Energiespeicher für die Elektromobilität 2030. Karlsruhe, Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung.

Wallentowitz, H., Freialdenhoven, A., Olschewski, I. (2010). Strategien zur Elektrifizierung des Antriebsstranges. Wiesbaden, Vieweg+Teubner.

Voeth, M., Gawantka, A. (2005). Zufriedenheit von Zulieferern in der Automobilindustrie. Hohenheimer Arbeits- und Projektberichte zum Marketing. Förderverein für Marketing e.V. an der Universität Hohenheim, Hohenheim, PB Nr. 12 2005.

VTT (2012). Low carbon Finland 2050. VTT clean energy technology strategies for society. VTT Technical Research Center of Finland. 2012

Yarow (2009). Yarow, J.: The cost of a Better Place battery swapping station: \$500,000. <http://www.businessinsider.com/the-cost-of-a-better-place-battery-swapping-station-500000-2009-4?IR=T>. Last Access: 14/01/2015

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Struktur des Forschungsprojekts eMAP	8
Abbildung 2: Elektrifizierte Prototypen, Konzept- und Serienfahrzeuge, welche von Fahrzeugherstellern zwischen 2000-2014 vorgestellt wurden.	11
Abbildung 3: Anzahl der Serienfahrzeuge im Conversion und Purpose Design nach Fahrzeughersteller (2000-2014)	12
Abbildung 4: Innovationsnetzwerk für die Leistungselektronik	14
Abbildung 5: Energieverbrauch (in MJ/km) für kleine, mittlere und große Referenzfahrzeuge für 2010 und 2025	15
Abbildung 6: Mögliche Varianten der Stecker-basierten Ladesysteme	18
Abbildung 7: Schematische Darstellung des Modellansatzes von VECTOR21	21
Abbildung 8: Entwicklung des Energieverbrauchs der VECTOR21-Fahrzeuge (mittleres Segment).....	23
Abbildung 9: Zusammensetzung des europäischen Neuwagenmarkts nach Antriebstrangvarianten (links) und Entwicklung der damit verbundenen CO2-Emissionen (rechts) im BaU-Szenario.....	24
Abbildung 10: Entwicklung der Preise für Batteriesysteme in BaU- und im TeD-Szenario	25
Abbildung 11: Zusammensetzung des europäischen Neuwagenmarkts nach Antriebstrangvarianten (links) und Entwicklung der damit verbundenen CO2-Emissionen (rechts) im TeD-Szenario.....	25
Abbildung 12: Zusammensetzung des europäischen Neuwagenmarkts nach Antriebsstrangvarianten (links) und Entwicklung der damit verbundenen CO2-Emissionen (rechts) im PoD-Szenario.....	26
Abbildung 13: Auswirkungen der Szenarien auf nationaler Ebene	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Länderübergreifende Energiepreis-Entwicklung	23
---	----

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel electromobility – scenario based Market potential Assessment and Policy options – eMAP Abschlussbericht des DLR	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Matthias Klötzke Benjamin Frieske Dr. Ulrike Kugler, Dr. Christoph Schimeczek Dr. Stephan Schmid	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.05.2015
	6. Veröffentlichungsdatum 31.08.2015
	7. Form der Publikation Abschlussbericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Fahrzeugkonzepte Pfaffenwaldring 38-40 70569 Stuttgart	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 03EMEN02B
	11. Seitenzahl 34
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) 10115 Berlin	13. Literaturangaben 32
	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 13
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Der Fokus des Forschungsprojektes eMAP liegt in der Untersuchung und Ermittlung der Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen und deren volkswirtschaftlichen Auswirkungen. Für den Zeithorizont 2025-2030 wird mit Hilfe eines Szenario-basierten Marktmodells die Marktdurchdringung der Elektrofahrzeuge in den drei Partnerländern Deutschland, Polen und Finnland sowie auf EU-Ebene abgeschätzt. Dazu werden Erkenntnisse zur Nachfrage- und Angebotsseite durch Konsumentenbefragungen und Expertenworkshops verwendet. Basierend auf den Ergebnissen der Modellrechnungen werden darüber hinaus die sozio-ökonomischen Wirkungen in Form von Emissionsminderungen, Transportkosten, technologischem Wandel und Sicherheit der Energieversorgung für die jeweiligen Szenarien ermittelt. Daneben werden politische Fördermaßnahmen und Strategien zur Markteinführung und ihre Auswirkungen untersucht und identifiziert. Letztlich werde Empfehlungen für die politische Förderung der Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen gegeben. Um den europäischen Neuwagenmarkt in seiner Gänze abbilden zu können, waren grundlegende Erweiterungen des bestehenden Fahrzeugszenariomodells sowie eine detaillierte Analyse der betrachteten Märkte und des Kaufverhaltens von Neuwagenkunden notwendig. Es kann gezeigt werden, dass den größten Einfluss auf eine zeitnahe Beschleunigung der Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen die Gewährung von finanziellen Kaufanreizen hat, wodurch auch in Deutschland das Ziel von einer Millionen Fahrzeuge bis 2020 annähernd erreicht werden könnte. Doch auch die Verschärfung der EU-weiten CO ₂ -Grenzwerte und der damit verbundene Druck auf die Automobilindustrie, Fahrzeuge mit elektrifizierten Antrieben vermehrt auf den Markt zu bringen, einen positiven Einfluss hat, allerdings greifen diese Maßnahmen und damit auch die Auswirkungen auf den Neuwagenmarkt erst nach 2020. Die Wirkung der betrachteten Maßnahmen zeigte deutliche Unterschiede in den jeweiligen Ländern.	
19. Schlagwörter Elektromobilität, Neuwagenmarktszenarien, Marktdurchdringung, Markthochlauf, CO ₂ -Emissionen	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report	
3. title electromobility – scenario based Market potential Assessment and Policy options – eMAP: Final Report DLR		
4. author(s) (family name, first name(s)) Matthias Klötzke Benjamin Frieske Dr. Ulrike Kugler, Dr. Christoph Schimeczek Dr. Stephan Schmid	5. end of project 31.05.2015	6. publication date 31.08.2015
	7. form of publication Final Report	
	8. performing organization(s) (name, address) German Aerospace Center, Institute of Vehicle Concepts Pfaffenwaldring 38-40 D-70569 Stuttgart	
12. sponsoring agency (name, address) Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure Invalidenstraße 44 D-10115 Berlin	9. originator's report no.	
	10. reference no. 03EMEN02B	
	11. no. of pages 34	
13. no. of references 32	14. no. of tables 1	
	15. no. of figures 13	
	16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)		
18. abstract The focus of the research project eMAP was to investigate and determinate the uptake of electric vehicles and the economic effects. For the time span of 2010-2030 the market penetration of electric vehicles is estimated using a vehicle scenario model in the three partner countries Germany, Finland, Poland as well as at EU level. Findings from expert workshops and customer surveys on demand and supply are taken into account. Based on the model results, socio-economic effects are calculated in form of emission reductions, transport costs, technological change and security in energy supply are calculated. In addition, policy measures and strategies for the market uptake and its effects are identified and analyzed. Finally, recommendations for the promotion of the market penetration of EV are given. In order to map the entire European new car market, fundamental extensions of the existing vehicle scenario model and an in-depth analysis of the buying behavior of new car customers were necessary. It can be shown that financial incentives have the greatest impact on a timely acceleration of the uptake of electric vehicles, whereby the German target of one million EV by 2020 can nearly be reached. The tightening of EU-wide CO2-emissions limits and the resulting pressure on the automotive industry has positive impact, too, but only after 2020. The effect of the considered measures show significant differences in the respective countries.		
19. keywords Electromobility, car market scenario, market penetration. Market launch, CO2-emissions		
20. publisher	21. price	