

EXPERTENKOMMISSION
FORSCHUNG
UND INNOVATION



Stifterverband
für die Deutsche Wissenschaft

Aktuelle Entwicklung der Forschungsaktivitäten zur Elektromobilität

Helge Dauchert, Jan Schneider

Studien zum deutschen Innovationssystem

14-2014

Geschäftsstelle der Expertenkommission Forschung und Innovation
c/o Wissenschaftsstatistik GmbH im
Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft
Pariser Platz 6
D-10117 Berlin
www.e-fi.de

Studien zum deutschen Innovationssystem

Nr. 14-2014

ISSN 1613-4338

Herausgeber:

Geschäftsstelle der Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI)
c/o Wissenschaftsstatistik GmbH im
Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft
Pariser Platz 6
D-10117 Berlin
www.e-fi.de

Alle Rechte, insbesondere das Recht auf Vervielfältigung und Verbreitung sowie Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung der EFI oder der Institute reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Kontakt und weitere Informationen:

Dr. Helge Dauchert
Geschäftsstelle der Expertenkommission Forschung und Innovation
c/o Wissenschaftsstatistik GmbH im
Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft
Pariser Platz 6
D-10117 Berlin
Tel: +49 (0)30 / 322 982 562
E-Mail: helge.dauchert@e-fi.de

Inhaltsverzeichnis

0.	Kurzfassung	4
1.	Einleitung	6
2.	Elektromobilität in Deutschland: Aktueller Stand und Perspektive	7
2.1	<i>Maßnahmen zur Realisierung von Leitanbieterschaft und Leitmarkt</i>	10
2.2	<i>Der aktuelle Bestand in Deutschland</i>	11
3.	Patent- und Publikationsdynamik im Bereich Hochleistungsbatterien und Hochleistungselektronik: Deutschland im internationalen Vergleich	13
3.1	<i>Forschung im Bereich Hochleistungsbatterien</i>	13
3.2	<i>Forschung im Bereich Hochleistungselektronik</i>	16
3.3	<i>Spezialisierung bei Patenten und Publikationen: Deutschland im intertemporalen Vergleich mit USA, Japan, Großbritannien, Frankreich, Korea, China</i>	18
4.	Brennstoffzellen als alternative Antriebstechnologie für Elektromobilität	25
4.1	<i>Forschung im Bereich Brennstoffzelle</i>	27
5.	Schlussbetrachtung	31
6.	Literatur	33
A.	Anhang	35

0. Kurzfassung

Die Elektromobilität gilt als ein wesentliches Element für eine klima- und umweltverträgliche Umgestaltung des Personen- und Güterverkehrs. Diese Umgestaltung ist für Deutschland von besonderer Bedeutung, da über die Erreichung der ambitionierten Umwelt- und Klimaschutzziele der Bundesregierung hinaus auch die Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit der eigenen Automobilindustrie gesichert werden soll.

Die deutsche Automobilindustrie nimmt derzeit sowohl wirtschaftlich als auch technologisch eine weltweite Spitzenposition ein. Diese Position wird durch die Verbreitung der Elektromobilität gefährdet, da sich die derzeit bestehende Technologieführerschaft bei Fahrzeugen mit konventionellen Antrieben nicht ohne weitere Anstrengungen in die neuen Märkte der elektrisch betriebenen Fahrzeuge übertragen lässt. Es besteht die Gefahr, dass sich Wertschöpfungspotenziale aus Deutschland in andere Länder verlagern.

Als Reaktion auf diese Herausforderung haben Politik und Wirtschaft ihre Anstrengungen zur Förderung der Elektromobilität in den vergangenen Jahren deutlich verstärkt. Als zentrales Ziel wurde formuliert, dass im Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen fahren sollen.

Die Realisierung des 1-Million-Ziels – und die damit erhoffte Anpassung der deutschen Automobilindustrie an postfossile Mobilitätserfordernisse – kann allerdings nur dann gelingen, wenn deutsche Unternehmen gemeinsam mit den ansässigen Forschungsrichtungen den Anschluss an das weltweite technologische Entwicklungsniveau sicherstellen. Die vorliegende Untersuchung gibt hierüber Auskunft.

- Die Anzahl der Elektrofahrzeuge in Deutschland ist, ausgehend von einem sehr niedrigen Niveau, in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen. Zu Beginn des Jahres 2013 befanden sich rund 15.849 Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen, davon 7.114 rein elektrisch betriebene Pkw, 1.119 Plug-in-Hybridfahrzeuge, 4.652 Krafträder sowie 2.964 Lastwagen und Busse. Im Verlauf des Jahres 2013 stieg die Zahl der rein elektrischen Pkw weiter stark an. So waren in Deutschland am 1. Januar 2014 mit 12.156 elektrischen Pkw bereits rund 70 Prozent mehr Pkw gemeldet als ein Jahr zuvor. Die Bestandszahlen liegen damit allerdings noch deutlich unter der von der Nationalen Plattform Elektromobilität projektierten Markthochlaufkurve.
- Anhand von transnationalen Patentierungen und Publikationen in international renommierten Zeitschriften wurde im Jahresgutachten 2010 der Expertenkommission die Leistungsfähigkeit des deutschen Forschungssystems in den beiden Schlüsseltechnologien Hochleistungsbatterien und Hochleistungselektronik im internationalen Vergleich bis zum damaligen aktuellen Rand,

dem Jahr 2007, dargestellt. Die Auswertung der Daten offenbarte, dass Deutschland in der Batterieforschung weit abgeschlagen war und bei der Forschung in der Hochleistungselektronik nur einen mittleren Platz einnahm. Die Analyse aktualisierter Daten zu transnationalen Patentanmeldungen (aktueller Rand: 2011) und international renommierten Publikationen (aktueller Rand: 2012), die für das Jahresgutachten 2014 der Expertenkommission eingeholt wurden, zeigt zum Teil neue Entwicklungen.

- Im Bereich der Hochleistungsbatterien zeigt die aktualisierte Auswertung der Patentanmeldungen (bis 2011) und Publikationen (bis 2012), dass die Forschungsaktivitäten in Deutschland seit Mitte der 2000er Jahre deutlich zugenommen haben und die weltweite Dynamik sogar übertreffen. Die Auswertung zeigt somit dass Deutschland seine Position gegenüber der letzten Analyse im Jahr 2010 verbessern konnte.
- Die Analyse der Forschung im Bereich Hochleistungselektronik ergibt allerdings kein positives Bild. Während die Entwicklung der Patentanmeldungen (bis 2011) in etwa der weltweiten Dynamik entspricht, zeigen die Daten zu Publikationen (2003 bis 2012), dass Deutschland hinter der internationalen Entwicklung zurückbleibt.
- Der Vergleich von Spezialisierungsindizes für die Untersuchungszeiträume 2005 bis 2007 und 2009 bis 2011 für Patentanmeldungen bzw. 2008 und 2012 für Publikationen zeigt für Deutschland im Bereich der Hochleistungsbatterien eine positive Entwicklung. Dies ist bei der Hochleistungselektronik jedoch nicht der Fall.
- Wasserstoffbetriebene Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) stellen langfristig ein Alternative zu batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen dar. Für das 1-Million-Ziel der Bundesregierung haben Brennstoffzellenfahrzeuge allerdings keine Bedeutung. Trotzdem ist sich die Bundesregierung der potenziellen Bedeutung der Brennstoffzellentechnologie bewusst und fördert die deutsche Brennstoffzellentechnologie mittels großvolumiger Förderprogramme. Trotz der erheblichen finanziellen Förderung der Brennstoffzellentechnologie in den vergangenen Jahren lässt sich keine verstärkte Forschungstätigkeit nachweisen.
- Eine Analyse der Patent- (bis 2011) und Publikationsdaten (bis 2012) im Bereich der Brennstoffzelle ergibt ein ernüchterndes Bild der aktuellen Entwicklung. Über die 1990er Jahre hinweg zeigte sich zwar sowohl weltweit als auch in Deutschland ein sehr dynamisches Bild. Seit Beginn des neuen Jahrtausends verlaufen beide Entwicklungen unkontinuierlich, wobei die Entwicklung in Deutschland dennoch hinter die internationale Entwicklung zurückgefallen ist.

1. Einleitung

Die Elektromobilität gilt als ein wesentliches Element für eine klima- und umweltverträgliche Umgestaltung des Personen- und Güterverkehrs. Diese Umgestaltung ist für Deutschland von besonderer Bedeutung, da über die Erreichung der ambitionierten Umwelt- und Klimaschutzziele der Bundesregierung hinaus auch die Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit der eigenen Automobilindustrie gesichert werden soll.¹

Derzeit nimmt die deutsche Automobilindustrie sowohl wirtschaftlich als auch technologisch eine weltweite Spitzenposition ein. Diese Position ist durch die Verbreitung der Elektromobilität gefährdet, da sich die derzeit bestehende Technologieführerschaft bei Fahrzeugen mit konventionellen Antrieben nicht ohne Weiteres in die neuen Märkte der elektrisch betriebenen Fahrzeuge übertragen lässt. Mit zunehmender Verbreitung der Elektromobilität entstehen dort Wertschöpfungspotenziale, während mit einem Rückgang der Nachfrage für konventionelle Komponenten zu rechnen ist.² Damit besteht die Gefahr, dass sich Wertschöpfungspotenziale aus Deutschland in andere Länder verlagern. Aktuell beruht die industrielle Wertschöpfung in Deutschland zu etwa 16 Prozent auf der herkömmlichen Automobilindustrie.³ Die Bruttowertschöpfung im Bereich Kraftwagen und Kraftwagenteile betrug im Jahr 2011 84 Milliarden Euro. Darüber hinaus sind ca. 740.000 Personen in der Branche tätig. Wird die Zulieferindustrie mit einbezogen, steigt die Zahl der Beschäftigten auf rund zwei Millionen an.⁴

Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität sind Fahrzeugbatterien, elektrische Motoren, mechanische Antriebsstränge, Hochleistungselektronik, Leichtbau im Fahrzeugbereich und die Infrastruktur für die Kopplung der Fahrzeugsysteme mit dem Elektrizitätsnetz.⁵ Der größte Teil der Wertschöpfung bei Elektrofahrzeugen entfällt auf die Batterie, der zweitgrößte Teil auf die Leistungselektronik.⁶

Vor diesem Hintergrund untersuchte die Expertenkommission Forschung und Innovation in ihrem Jahresgutachten 2010 die Leistungsfähigkeit des deutschen Forschungssystems im internationalen Vergleich in den beiden Technologiebereichen Hochleistungsbatterie und Hochleistungselektronik. Die Analyse erfolgte anhand transnationaler Patentanmeldungen sowie international renommierter Publikationen bis zum damaligen aktuellen Rand, dem Jahr 2007. Die Auswertung der Daten

¹ Peters et al. (2013: 9f.)

² Vgl. Peters et al. (2013: 14).

³ Anteil Bruttowertschöpfung Kraftwagen u. Kraftwagenteile an der Bruttowertschöpfung aller Wirtschaftsbereiche (2.335 Milliarden Euro, 2011): 3,6 Prozent.

Anteil Bruttowertschöpfung Kraftwagen u. Kraftwagenteile an der Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes (530 Milliarden Euro, 2011): 16 Prozent.

Vgl. Statistisches Bundesamt (2012).

⁴ Vgl. Legler et al. (2009: 65).

⁵ EFI (2010: 76).

⁶ EFI (2010: 78); Peters et al. (2012: 14).

offenbarte, dass Deutschland bei der Batterieforschung weit abgeschlagen war und bei der Forschung in der Hochleistungselektronik nur einen mittleren Platz einnahm.

In der vorliegenden Studie werden – aufbauend auf der Analyse der Expertenkommission von 2010 – aktualisierte Daten zu transnationalen Patentanmeldungen (aktueller Rand: 2011) und zu international renommierten Publikationen (aktueller Rand: 2012) untersucht, die für das Jahresgutachten 2014 der Expertenkommission eingeholt wurden.⁷ Die aktualisierte Analyse dokumentiert, dass die Forschungsaktivitäten im Bereich der Hochleistungsbatterien in Deutschland seit Mitte der 2000er Jahre deutlich zugenommen haben und die weltweite Dynamik sogar übertreffen. Für Forschung im Bereich Hochleistungselektronik fällt die Analyse allerdings weniger positiv aus. Während die Entwicklung der Patentanmeldungen in etwa der weltweiten Dynamik entspricht, zeigen die Daten zu Publikationen seit 2003, dass Deutschland hinter der internationalen Entwicklung zurückbleibt.

Ein weiteres potenziell wichtiges Feld für die Elektromobilität ist die Brennstoffzellentechnologie, die in dieser Studie in einem eigenen Kapitel behandelt wird. Zwar spielt sie in dem von der Bundesregierung formulierten 1-Million-Ziel⁸ keine Rolle, dennoch könnte sie mittel- bis langfristig ein wichtiges Element bei der Umstellung des Transportsektors auf Elektromobilität werden.

Eine Analyse der Patent- und Publikationsdaten im Bereich der Brennstoffzelle ergibt jedoch ein ernüchterndes Bild der aktuellen Entwicklung. Zwar war die Entwicklung der Forschungsaktivität über die 1990er Jahre hinweg sowohl weltweit als auch in Deutschland sehr dynamisch. Seit Beginn des neuen Jahrtausends allerdings verlaufen beide Entwicklungen unkontinuierlich, denn die Forschungsaktivitäten in Deutschland sind hinter die internationale Entwicklung zurückgefallen.

2. Elektromobilität in Deutschland: Aktueller Stand und Perspektive

Als Reaktion auf die in der Einleitung beschriebenen Herausforderungen haben Politik und Wirtschaft ihre Anstrengungen zur Förderung der Elektromobilität in den vergangenen Jahren deutlich verstärkt. So wurde von der Bundesregierung im August 2009 der Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität beschlossen. Darin wurde als zentrales Ziel verankert, dass im Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen fahren sollen.⁹ Bis 2030 soll die Zahl der Elektrofahrzeuge auf sechs Millionen gesteigert werden. Elektrofahrzeuge im Sinne der Bundesregierung sind all jene Fahrzeuge, die von einem Elektromotor angetrieben werden und ihre Energie überwiegend aus dem Stromnetz beziehen, also extern aufladbar sind. Dazu gehören rein elektrisch betriebene Fahrzeuge

⁷ Aufbereitet und bereitgestellt wurden die Daten wie schon im Jahr 2010 von Prof. Dr. Ulrich Schmoch, Deutsche Universität für Verwaltungswissenschaften Speyer.

⁸ Es ist das erklärte Ziel der Bundesregierung, dass bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen unterwegs sind (siehe Kapitel 2).

⁹ Vgl. Bundesregierung (2009:18).

(BEV), eine Kombination von Elektromotor und kleinem Verbrennungsmotor, der die Batterie speist (REEV), und Plug-in-Hybride (PHEV), d.h. Hybridfahrzeuge, die am Stromnetz aufladbar sind.¹⁰

Ferner legt der Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität Maßnahmen fest, mit denen in den nächsten zehn Jahren weitere Fortschritte bei der Batterietechnologie, der Netzintegration sowie bei der Marktvorbereitung und -einführung von Elektrofahrzeugen erreicht werden sollen. Deutschland, so das erklärte Ziel des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität, soll zum Leitmarkt für Elektromobilität entwickelt werden.¹¹

Zur Umsetzung dieser Ziele hat die Bundesregierung für den Zeitraum 2009 bis 2011 500 Millionen Euro aus Mitteln des Konjunkturpaketes II für Forschung und Entwicklung zur Verfügung gestellt. Für den Zeitraum bis zum Ende der Legislaturperiode im Jahr 2013 hat sie weitere Mittel von bis zu einer Milliarde Euro bereitgestellt,¹² mit denen u.a. fünf Forschungszentren für Hochleistungsbatterien in Aachen, Ulm, Münster, Karlsruhe und München aufgebaut wurden.¹³ Daneben haben auch einzelne Bundesländer Programme zur Förderung von Forschungsaktivitäten sowie zur Markteinführung von Elektrofahrzeugen initiiert.

Im Mai 2010 hat die Bundesregierung mit der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) ein Beratungsgremium eingerichtet, das die wesentlichen Akteure aus Industrie, Wissenschaft, Politik, Gewerkschaften und Verbänden zusammenbringt. Aufgabe der NPE ist die Koordination und Umsetzung des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität. Die NPE beobachtet und analysiert die Entwicklungen im Bereich der Elektromobilität. In sieben Arbeitsgruppen werden die Schwerpunktthemen der Elektromobilität behandelt und konkrete Empfehlungen erarbeitet.¹⁴ Die einzelnen Arbeitsgruppen der NPE beschäftigen sich mit folgenden Themen:

¹⁰ Vgl. Bundesregierung (2009: 6f).

BEV (Battery Electric Vehicles): Elektrisch angetriebene Fahrzeuge mit extern aufladbarer Batterie.

PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicles): Hybride, die sowohl über einen elektrischen als auch über einen verbrennungsmotorischen Antrieb verfügen. Elektro- und konventioneller Antrieb sind parallel angeordnet, d.h. die Fahrzeuge können sowohl elektrisch als auch verbrennungsmotorisch angetrieben werden.

REEV (Range Extended Electric Vehicles): Elektrisch angetriebene Fahrzeuge, die über ein konventionelles Zusatzaggregat („Reichweitenverlängerung“) verfügen, mit dessen Hilfe über einen Generator zusätzlicher Fahrstrom erzeugt werden kann. Der konventionelle Verbrennungsmotor und der Elektromotor sind bei dieser Antriebsvariante seriell angeordnet. Der Antrieb erfolgt durchgehend elektrisch.

Die hier aufgeführten Unterscheidungen sind vereinfachend. In der Realität finden sich zahlreiche technische Zwischenvarianten. Beispielsweise schalten PHEV in der Regel nicht erst dann auf konventionellen Betrieb um, wenn die in der Batterie gespeicherte elektrische Energie aufgebraucht ist. Vielmehr unterstützt der Elektromotor bei verschiedenen Fahrmodi den Verbrennungsmotor.

Vgl. Hillebrand et al. (2014).

¹¹ Vgl. Bundesregierung (2009: 26).

¹² Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2012: 4).

¹³ Eigene Recherchen.

¹⁴ Die Zusammenarbeit zwischen NPE und den beteiligten Fachressorts wird von der Gemeinsamen Geschäftsstelle Elektromobilität (GGEMO) unterstützt. Sie wurde im Februar 2010 gegründet und dient als einheitliche Anlaufstelle und Sekretariat der Bundesregierung für die Aufgaben im Bereich der Elektromobilität

- Antriebstechnologie
- Batterietechnologie
- Ladeinfrastruktur und Netzintegration
- Normung, Standardisierung und Zertifizierung
- Materialien und Recycling
- Nachwuchs und Qualifizierung
- Rahmenbedingungen

Den in der NPE versammelten Akteuren geht es darum, möglichst viel Wertschöpfungspotenzial in Deutschland zu halten bzw. aufzubauen. Die deutschen Unternehmen stellten dafür Investitionen von bis zu 17 Milliarden Euro in der Marktvorbereitungsphase (s.u.) in Aussicht. So plant die deutsche Automobilindustrie, rund 10 bis 12 Milliarden Euro in die Entwicklung alternativer Antriebe zu investieren, wovon wiederum etwa 80 Prozent für die Elektromobilität bestimmt sind.¹⁵

Das bereits im Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität formulierte Ziel, Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickeln, wurde zunächst von der NPE und dann im Mai 2011 von der Bundesregierung im Regierungsprogramm Elektromobilität erweitert: Deutschland soll bis zum Jahr 2020 auch zum Leitanbieter für Elektromobilität werden.¹⁶ So ist es das Ziel der Bundesregierung, dass von den für das Jahr 2020 anvisierten eine Million Elektrofahrzeugen mehr als die Hälfte aus deutscher Produktion kommt.¹⁷

Das 1-Million-Ziel soll in drei Phasen erreicht werden:

1. Marktvorbereitung bis 2014 mit Schwerpunkt auf Forschung und Entwicklung sowie Schaufensterprojekten
2. Markthochlauf bis 2017 mit einem Fokus auf dem Marktaufbau bei Fahrzeugen und Infrastruktur
3. Beginnender Massenmarkt bis 2020 mit tragfähigen Geschäftsmodellen.¹⁸

Von staatlicher Seite wird die laufende Marktvorbereitungsphase mithilfe mehrerer Förderprogramme unterstützt. Der Schwerpunkt der staatlichen Förderung liegt auf FuE-Vorhaben, doch auch der Aufbau von Infrastrukturen sowie die Untersuchung der Nutzerakzeptanz werden unterstützt.

sowie als Dienstleister und Sekretariat der NPE. Vgl. BMUB: <http://www.bmub.bund.de/themen/luft-laerm-verkehr/verkehr/elektromobilitaet/nationale-plattform-elektromobilitaet/> (letzter Abruf 1. Dezember 2014).

¹⁵ Investitionen weiterer Branchen wie zum Beispiel Maschinen- und Anlagenbau, Elektrotechnik und Elektronik, Chemie, Metalle und Metallverarbeitung, Informations- und Kommunikationstechnologie, Textil sowie Investitionen aus dem Energie- und Verkehrssektor ergänzen dieses Engagement. Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2012: 8).

¹⁶ Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2010: 12) und Bundesregierung (2011: 18).

¹⁷ Bundesverkehrsminister Peter Ramsauer: „Es bleibt dabei: 2020 sollen mindestens eine Million Elektroautos auf unseren Straßen unterwegs sein. Mehr als die Hälfte der Fahrzeuge sollte aus deutscher Produktion kommen.“ Vgl. Pressemeldung des BMVBS vom 4. März 2012. http://www.lee-lsa.de/aktuelles-news/newsarchiv/archiv-detailansicht.html?tx_ttnews%5Btt_news%5D=386&cHash=8e59fdc33d56a9fe9f2da2fa497b87c3 (letzter Abruf 1. Dezember 2014).

¹⁸ Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2011: 5).

2.1 Maßnahmen zur Realisierung von Leitanbieterschaft und Leitmarkt

Um das Ziel der Leitanbieterschaft für Elektromobilität zu erreichen, hat die NPE sechs Forschungs- und Entwicklungsleuchttürme (FuE-Leuchttürme) zu zentralen Forschungsbereichen initiiert: Batterie, Antriebstechnologie, Fahrzeugintegration, Leichtbau, Recycling sowie IKT und Infrastruktur. Dafür wurden die von den Arbeitsgruppen der NPE ermittelten Forschungsbedarfe mit laufenden, bereits geförderten Vorhaben zusammengeführt sowie verteilte Einzelvorhaben auf das Gesamtziel „Leitanbieter Elektromobilität“ ausgerichtet. Die Leuchttürme der Elektromobilität bilden somit eine öffentlich hervorgehobene Teilmenge aller geförderten FuE-Maßnahmen.¹⁹

Neben einem attraktiven Angebot an Produkten und Services ist Nutzerakzeptanz der zentrale Treiber für einen selbsttragenden Markt in der Elektromobilität und damit die Grundvoraussetzung für die Schaffung eines Leitmarktes für Elektromobilität in Deutschland. Um die Elektromobilität stärker im öffentlichen Raum zu verankern, wurden acht Modellregionen (Hamburg, Bremen-Oldenburg, Rhein-Ruhr, Rhein-Main, Sachsen, Stuttgart, München, Berlin-Potsdam) gefördert. In diesen Modellregionen wird erprobt, wie sich Elektromobilität in das Verkehrssystem integrieren lässt und welche Konzepte zum Aufbau der notwendigen Infrastruktur besonders geeignet sind.

Als Ergänzung zu den Modellregionen wurde im Rahmen der Modellprojekte „IKT für Elektromobilität“ die Integration der Elektromobilität in das Energiesystem getestet, d.h. es wurden neu entwickelte Technologien und Verfahren erprobt, mit denen das gesteuerte Laden sowie die Rückspeisung von Energie in das Stromnetz möglich ist.²⁰ Mit dem Folgeprogramm „IKT für Elektromobilität - Smart Grid - Smart Traffic - Smart Mobil“ wurde von 2012 bis 2014 die Entwicklung neuartiger, IKT-basierter Dienste für den Aufbau einer Elektromobilitäts-Infrastruktur in Deutschland fortgesetzt.²¹

Auf Basis der Erfahrungen aus den etablierten Modellregionen und -projekten sind von der Bundesregierung zusätzlich vier groß angelegte regionale Demonstrations- und Pilotvorhaben – sogenannte Schaufenster – eingerichtet worden. Vorrangiges Ziel der Schaufensterprojekte ist es, das System Elektromobilität für die breite Öffentlichkeit in Deutschland erfahrbar zu machen. Für das auf drei Jahre ausgerichtete Programm werden Fördermittel aus dem Energie- und Klimafonds des Bundes

¹⁹ Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2012: 14).

²⁰ Vgl. BMWi: Modellprojekte. <http://www.ikt-em.de/de/Modellprojekte.php> (letzter Abruf 1. Dezember 2014). Die insgesamt sieben Modellprojekte wurden mittels eines Technologiewettbewerbs ausgewählt. Ziel der Modellprojekte war es, vom Herbst 2009 bis Herbst 2011 prototypische und wirtschaftliche Lösungen zu entwickeln und erstmals in umfassenden Feldversuchen zu testen. Die Modellprojekte „IKT für Elektromobilität“ wurden vom BMWi und BMU mit rund 47 Millionen Euro gefördert. Das Investitionsvolumen umfasste rund 100 Millionen Euro. Vgl. BMWi: IKT für Elektromobilität I. <http://www.ikt-em.de/de/iktem1.php> (letzter Abruf 1. Dezember 2014).

²¹ Vgl. BMWi: IKT für Elektromobilität I. <http://www.ikt-em.de/de/iktem1.php>. (letzter Abruf 1. Dezember 2014).

von 180 Millionen Euro bereitgestellt. Die Projekte werden zudem von den teilnehmenden Unternehmen und den Ländern mitfinanziert.²² In einem Wettbewerb wurden folgende Regionen als „Schaufenster Elektromobilität“ ausgewählt:

- Living Lab BW E-Mobil (Baden-Württemberg)
- Internationales Schaufenster der Elektromobilität (Berlin/Brandenburg)
- Unsere Pferdestärken werden elektrisch (Niedersachsen)
- Elektromobilität verbindet (Bayern/Sachsen).²³

2.2 Der aktuelle Bestand in Deutschland

Die Anzahl der Elektrofahrzeuge in Deutschland ist, ausgehend von einem sehr niedrigen Niveau, in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen. Zu Beginn des Jahres 2013 befanden sich 15.849 Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen, davon 7.114 rein elektrisch betriebene Pkw, 1.119 Plug-in-Hybridfahrzeuge, 4.652 Krafträder sowie 2.964 Lastwagen und Busse. Im Jahr 2013 stieg die Zahl der rein elektrischen Pkw erneut stark an. So waren in Deutschland am 1. Januar 2014 mit 12.156 elektrischen Pkw rund 70 Prozent mehr Pkw gemeldet als ein Jahr zuvor.²⁴

Die Bestandszahlen liegen damit noch deutlich unter der von der NPE projektierten Markthochlaufkurve. So prognostizierte die NPE für das Jahr 2012 einen Bestand von 25.000 Elektrofahrzeugen, für das Jahr 2013 einen von 50.000 und für das Jahr 2014 einen Bestand von 100.000 Elektrofahrzeugen.²⁵ Um diese Zielmarken zu erreichen, hätte das Marktwachstum jährlich bei 100 Prozent liegen müssen. Tatsächlich lag das Marktwachstum in den vergangenen Jahren allerdings (Bestand 2012/2013: plus 78 Prozent) deutlich darunter.²⁶

Die Marktanteile elektrisch betriebener PKW bei Neuzulassungen unterscheiden sich weltweit erheblich. Den immer noch moderaten Marktanteilen in Deutschland steht ein zum Teil rasantes Wachstum des Marktanteils in anderen Ländern gegenüber. Insbesondere in Norwegen, den Niederlanden und dem US-Bundestaat Kalifornien sind die Verkaufszahlen von Elektrofahrzeugen (BEV und PHEV) massiv gestiegen. Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, hat Norwegen mit 6,1 Prozent aller verkauften PKW in 2013 den größten Anteil an Elektrofahrzeug-Verkäufen (BEV und PHEV). Die Niederlande haben den zweitgrößten Anteil mit etwa 5,6 Prozent, der US-Bundesstaat Kalifornien

²² Vgl. BMU: Schaufenster Elektromobilität. <http://www.bmub.bund.de/themen/luft-laerm-verkehr/verkehr/elektromobilitaet/schaufenster-elektromobilitaet/> (letzter Abruf 1. Dezember 2014); sowie Bundesregierung: Elektromobilität erforschen und erproben. http://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/Mobilitaet/elektromobilitaet/_node.html (letzter Abruf 1. Dezember 2014).

²³ Vgl. <http://schaufenster-elektromobilitaet.org/de/content/index.html> (letzter Abruf 1. Dezember 2014).

²⁴ Vgl. <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/75841/umfrage/bestand-an-personenkraftwagen-mit-elektroantrieb> (letzter Abruf 1. Dezember 2014).

²⁵ Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2011: 32).

²⁶ Schott et al. (2013:8).

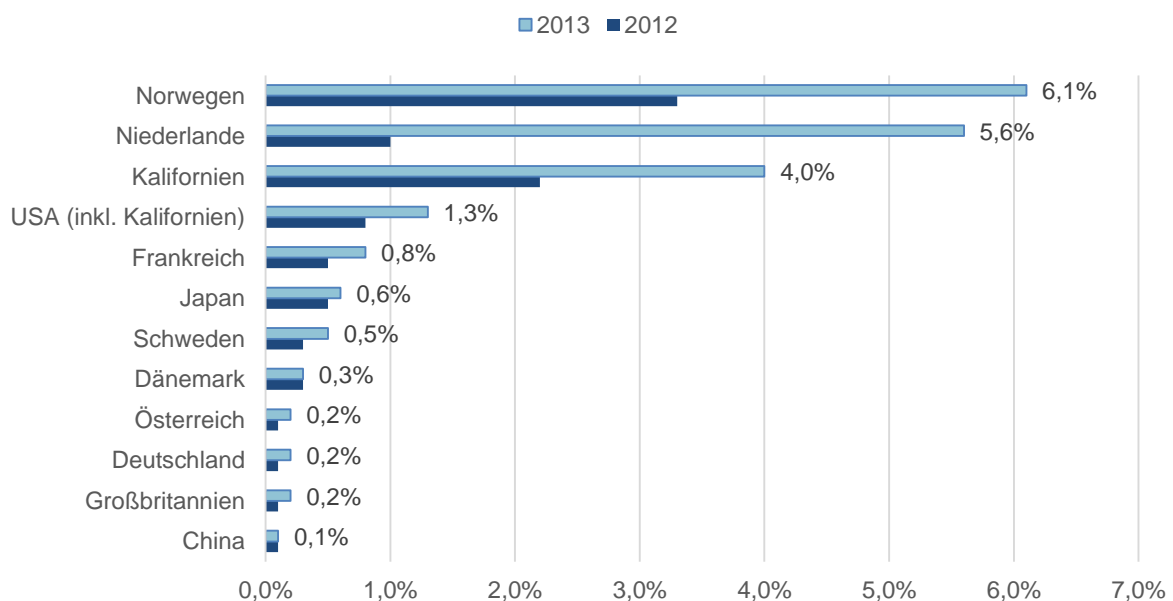
folgt mit einem Marktanteil von 4 Prozent.²⁷ In Deutschland lag der Marktanteil elektrisch betriebener PKW bei Neuzulassungen im Jahr 2013 lediglich bei 0,2 Prozent des PKW-Gesamtabsatzes.²⁸

Tabelle 1: Bestand von Elektrofahrzeugen in Deutschland 2008 bis 2014

	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008
Rein elektrische Pkw							
(BEV)	12.156	7.114	4.541	2.307	1.588	1.452	1.436
Plug-in-Hybrid Pkw							
(PHEV)	-	1.119	266	-	-	-	-
Krafträder	-	4.652	2.068	1.659	1.236	-	-
Lkw und Busse	-	2.964	2.007	1.648	1.424	-	-

Quelle: Schott et al. (2013:8).

Abbildung 1: Marktanteil elektrisch betriebener PKW in den Jahren 2012 und 2013



Quelle: Eigene Darstellung; Daten aus Mock, P.; Yang, Z. (2014: 3).

²⁷ Die Marktstruktur in den Niederlanden unterscheidet sich jedoch deutlich von der in Norwegen. Während in Norwegen nahezu alle Elektroautos batteriebetrieben sind, stellen in den Niederlanden PHEV die Mehrheit. Die Dynamiken der beiden Märkte unterscheiden sich ebenfalls deutlich: In Norwegen hat sich der Marktanteil elektrisch betriebener Fahrzeuge zwischen 2012 und 2013 verdoppelt, während er sich in den Niederlanden im gleichen Zeitraum verfünffacht hat. Vgl. Mock, P.; Yang, Z. (2014: 3).

²⁸ Vgl. Mock, P.; Yang, Z. (2014: 3).

3. Patent- und Publikationsdynamik im Bereich Hochleistungsbatterien und Hochleistungselektronik: Deutschland im internationalen Vergleich

Im Jahresgutachten 2010 der Expertenkommission wurde anhand von transnationalen Patentanmeldungen und Publikationen in international renommierten Zeitschriften die Leistungsfähigkeit des deutschen Forschungssystems in den beiden Schlüsseltechnologien Hochleistungsbatterien und Hochleistungselektronik im internationalen Vergleich bis zum damaligen aktuellen Rand, dem Jahr 2007, gemessen. Die Auswertung der Daten offenbarte, dass Deutschland in der Batterieforschung weit abgeschlagen war und bei der Forschung in der Hochleistungselektronik nur einen mittleren Platz einnahm.

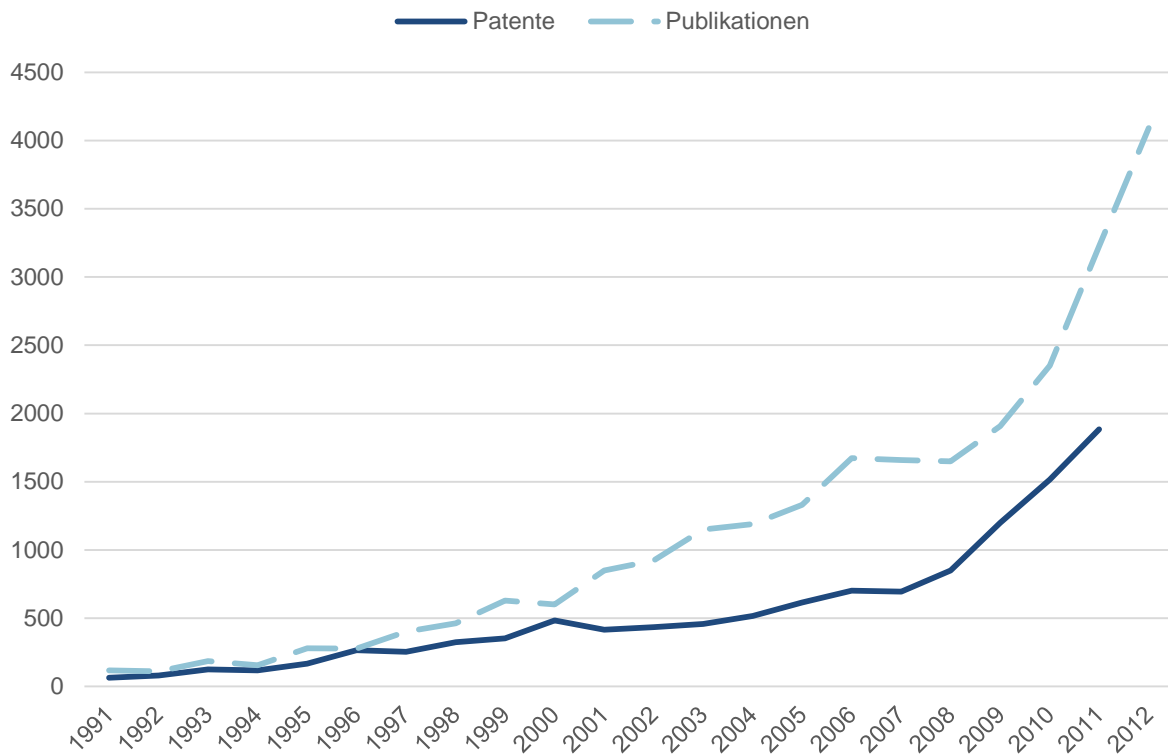
Die aktualisierte Analyse auf Basis von Daten bis 2011 (Patente) bzw. 2012 (Publikationen) dokumentiert, dass die Forschungsaktivitäten im Bereich der Hochleistungsbatterien in Deutschland seit Mitte der 2000er Jahre deutlich zugenommen haben und die weltweite Dynamik sogar übertreffen. Für Forschung im Bereich Hochleistungselektronik fällt die Analyse allerdings weniger positiv aus. Während die Entwicklung der Patentanmeldungen in etwa der weltweiten Dynamik entspricht, zeigen die Daten zu Publikationen (2003 bis 2012), dass Deutschland hinter der internationalen Entwicklung zurückbleibt.

3.1 Forschung im Bereich Hochleistungsbatterien

Abbildung 2 stellt die Entwicklung der Anzahl weltweiter transnationaler Patentanmeldungen und international renommierter Publikationen für den Zeitraum von 1991 bis 2011 (Patente) bzw. bis 2012 (Publikationen) im Bereich der Hochleistungsbatterien dar. Es zeigt sich ein deutlich positiver Trend über den gesamten Zeitraum. So stieg die Anzahl der Patentanmeldungen von 64 im Jahr 1991 auf 1.885 im Jahr 2011. Die Publikationen legten von 119 (1991) auf 4.090 (2012) zu.

Abbildungen 3 und 4 vergleichen die deutsche Entwicklung der Anzahl transnationaler Patentanmeldungen bzw. international renommierter Publikationen mit der weltweiten Entwicklung. Es werden jeweils die deutsche und die weltweite Entwicklung als Index (1995=100) gezeigt. Beide Abbildungen zeigen, dass die Dynamik in der Batterieforschung in Deutschland seit Mitte der 2000er Jahre deutlich zugenommen hat und die weltweite Dynamik sogar übertrifft. Diese Entwicklung ist insofern beachtlich, da sich die Batterieforschung weltweit seit Mitte des letzten Jahrzehnts durch eine deutliche Steigerung der Dynamik auszeichnet.

Abbildung 2: Weltweite Anzahl transnationaler Patentanmeldungen und international renommierter Publikationen im Bereich Hochleistungsbatterien



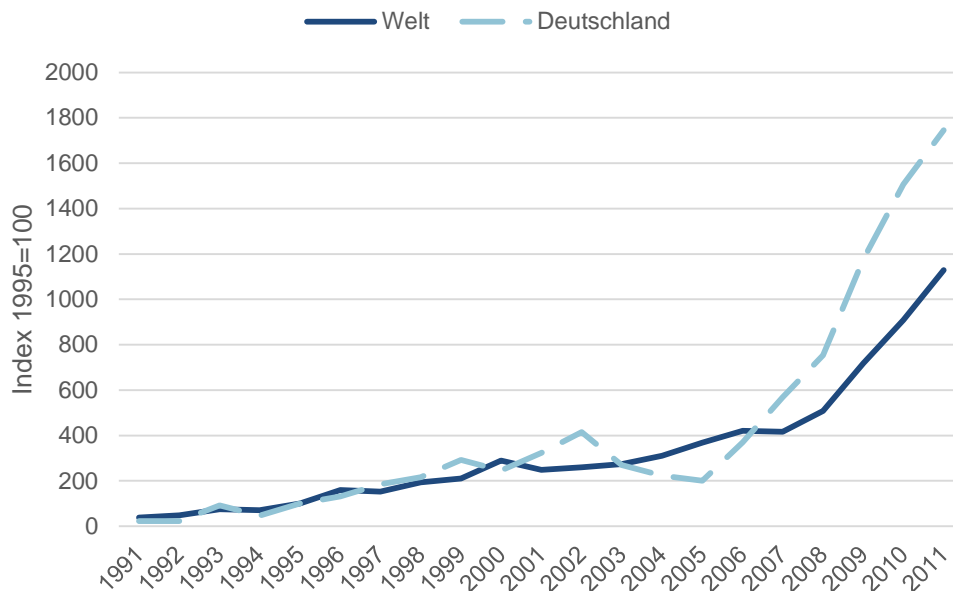
Quelle: Eigene Darstellung basierend auf World Patent Index (STN) sowie SCISEARCH (STN).

So weist der Patentindex in Abbildung 3 eine deutliche Verstärkung der weltweiten Patentierungsaktivitäten ab dem Jahr 2007 aus. Während der Index der weltweiten Patentanmeldungen zwischen 1991 und 2007 von 38 auf 417 Punkte stieg, legte der Index in den darauffolgenden vier Jahren um etwa 700 Punkte zu und erreichte 2011 einen Wert von 1.129 Punkten, was knapp einer Verdreifachung entspricht. Im selben Zeitraum stieg der Index der deutschen Patentanmeldungen von 569 auf 1.746 Punkte an, die Anzahl hatte sich also sogar mehr als verdreifacht. Dies schlug sich ebenfalls im Anteil Deutschlands an der Anzahl der weltweiten Patentanmeldungen nieder. Dieser Anteil schwankte bis zum Jahr 2006 zwischen 4 und 10 Prozent und lag von 2007 bis 2011 bei stabil über 10 Prozent. Die Dynamik bei den Patentanmeldungen lag damit in Deutschland über den internationalen Vergleichswerten.

Die Analyse der Publikationsaktivitäten (Abbildung 4) zeigt ein ähnliches Bild wie die der Patentanmeldungen. Ab 2005 stieg der Publikationsindex für Deutschland steiler an als der weltweite. Letzterer stieg von 474 (2005) auf 1.456 Punkte (2012) an, was etwas mehr als einer Verdreifachung der Anzahl entspricht. Währenddessen legte der deutsche Publikationsindex im selben Zeitraum von 700 (2005) auf 3.086 Punkte (2012) zu und beschrieb damit mehr als eine Vervierfachung. Eine besondere Dynamik lässt sich für die Jahre 2009 bis 2012 nachweisen. Allein in diesem Zeitraum verdreifachte sich die Anzahl deutscher Publikationen; der Publikationsindex stieg von 1.029 auf

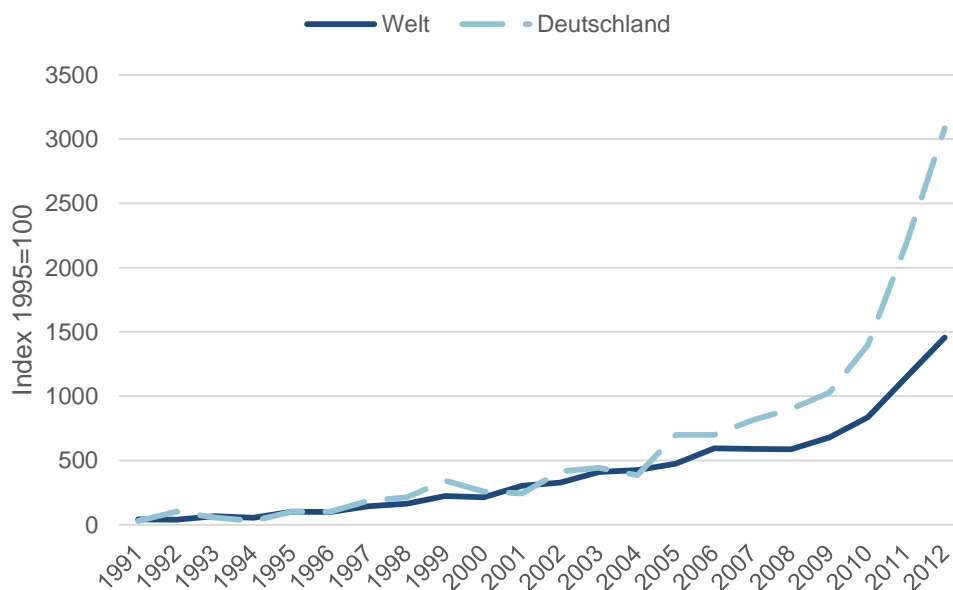
3.086 Punkte an, während sich die weltweite Anzahl nur etwa auf ihr Anderthalbfaches erhöhte. Der Anteil Deutschlands an der weltweiten Anzahl bestätigte diesen Trend. Er stieg von 2 bis 3 Prozent in der ersten Hälfte der 2000er Jahre kontinuierlich auf über 5 Prozent im Jahr 2012.

Abbildung 3: Transnationale Patentanmeldungen im Bereich Hochleistungsbatterien; Deutschland im weltweiten Vergleich



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf World Patent Index (STN).

Abbildung 4: International renommierte Publikationen im Bereich Hochleistungsbatterien; Deutschland im weltweiten Vergleich

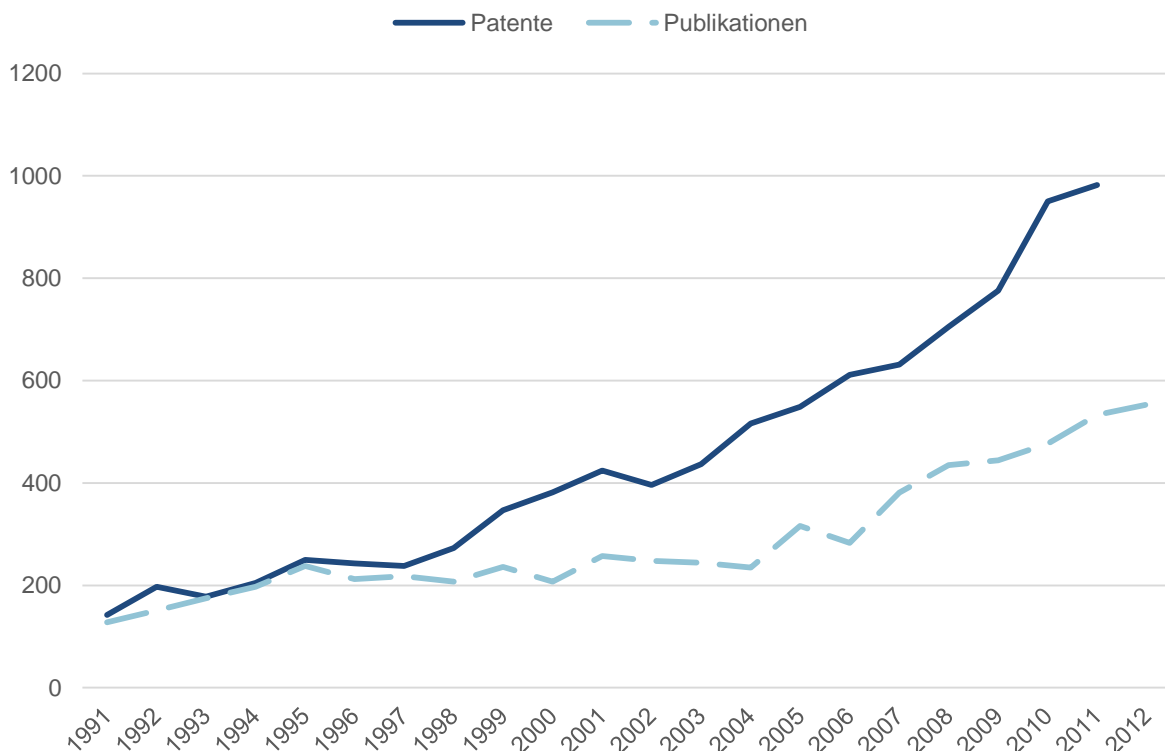


Eigene Darstellung basierend auf SCISEARCH (STN).

3.2 Forschung im Bereich Hochleistungselektronik

Im Bereich der Hochleistungselektronik weisen Patentanmeldungen wie auch Publikationen weltweit einen positiven Trend auf (Abbildung 5). So ist die Zahl der Patentanmeldungen von 142 im Jahr 1991 auf 982 im Jahr 2011 gestiegen, die Zahl der Publikationen von 128 im Jahr 1991 auf 553 im Jahr 2012.

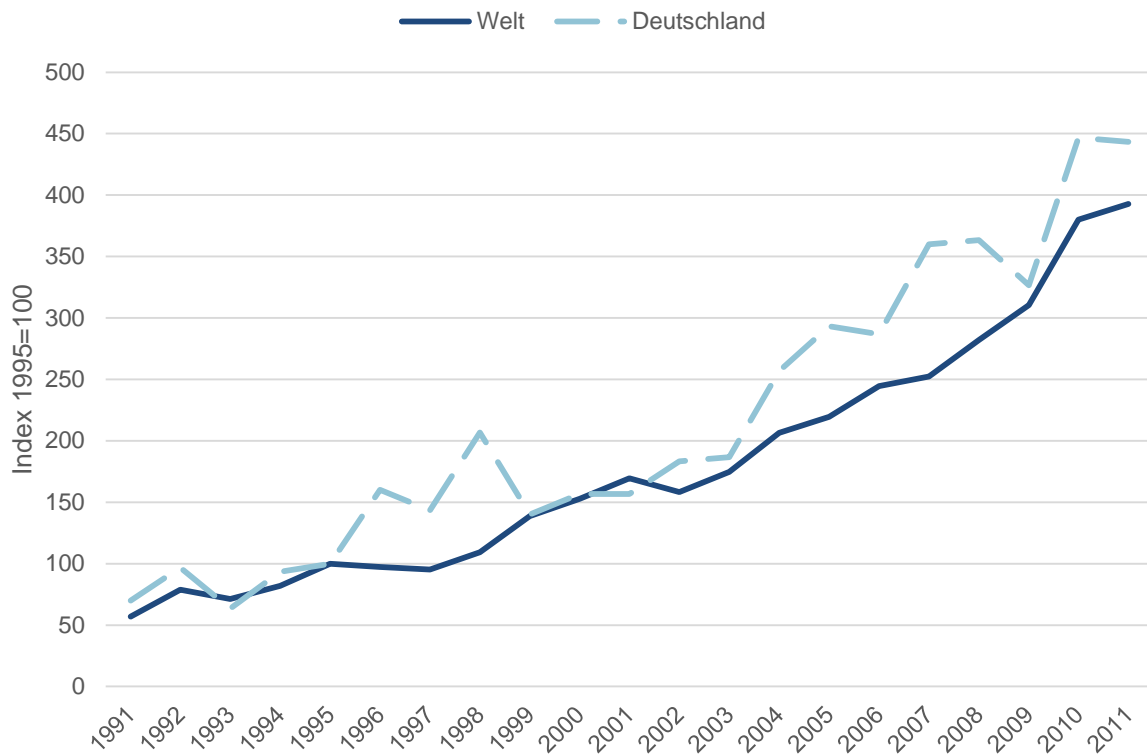
Abbildung 5: Weltweite Anzahl transnationaler Patentanmeldungen und international renommierter Publikationen im Bereich Hochleistungselektronik



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf World Patent Index (STN) sowie SCISEARCH (STN).

Die Analyse der bis 2011 respektive 2012 aktualisierten Daten zu Patentanmeldungen und Publikationen im Bereich der Hochleistungselektronik fällt gemischt aus. Der Index für deutsche Patentanmeldungen (Abbildung 6) stieg zwischen 1991 und 2011 von 70 auf 443 Punkte an, was etwas mehr als einer Versechsfachung entspricht. Im selben Zeitraum legte der weltweite Index von 57 auf 393 Punkte, also um fast das Siebenfache, zu. Der Anteil Deutschlands an den weltweiten Patentanmeldungen lag über den gesamten Betrachtungszeitraum größtenteils zwischen 12 und 15 Prozent, bei leichtem Abwärtstrend zwischen 2007 und 2011.

**Abbildung 6: Transnationale Patentanmeldungen im Bereich Hochleistungselektronik;
Deutschland im weltweiten Vergleich**

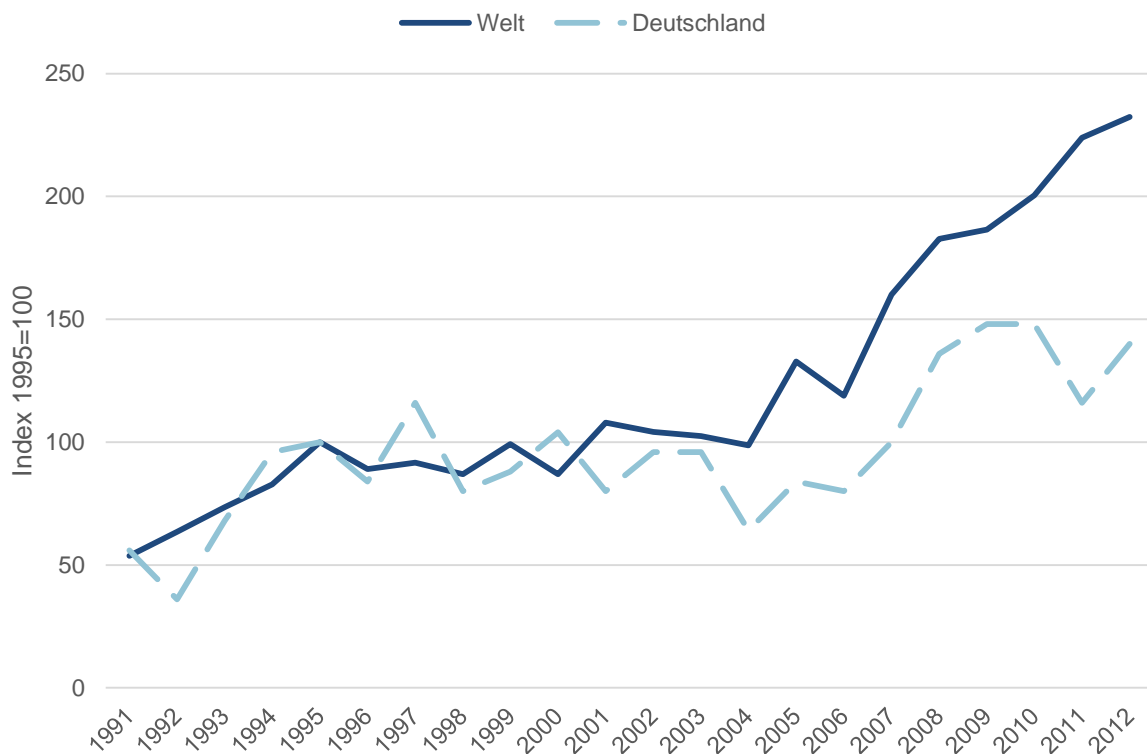


Quelle: Eigene Darstellung basierend auf World Patent Index (STN).

Noch weniger günstig als die Analyse der Patentanmeldungen fällt die Analyse der Publikationsaktivitäten im Bereich Hochleistungselektronik aus (Abbildung 7). Hier weist der Index seit dem Jahr 2003 auf unterdurchschnittliche Publikationsaktivitäten in Deutschland hin. Während der deutsche Indexwert im Jahr 2003 mit 96 Punkten noch fast gleichauf mit dem internationalen Vergleichswert von 103 Punkten lag, vergrößerte sich der Abstand bis zum Jahr 2012 massiv. So lag der Index für die deutschen Publikationsaktivitäten im Jahr 2012 mit 140 Punkten deutlich unter dem internationalen Vergleichswert von 232. Während sich die Anzahl der weltweiten Publikationen in diesem Zeitraum also mehr als verdoppelte, wuchs die Anzahl für Deutschland nur um etwa 40 Prozent. Die Entwicklung des deutschen Anteils an den weltweiten Publikationen bestätigt dies. Bis zum Jahr 2003 lag dieser Anteil stabil bei etwa 10 Prozent, bis 2012 fiel er dann auf 5 bis 7 Prozent. Auffällig ist hierbei, dass sich die ab 2009 initiierten Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität nicht in einer erhöhten Publikationsdynamik im Bereich Hochleistungselektronik niedergeschlagen haben. Tatsächlich vergrößerte sich der Abstand des deutschen Publikationsindex zum internationalen Vergleichswert sogar noch. Von einem Aufschließen zur internationalen Spitze war Deutschland im Jahr 2012 weiter entfernt als zum Zeitpunkt der Verabschiedung des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität durch die Bundesregierung im Jahr 2009. Allerdings ist davon auszugehen, dass sich

Beschlüsse über konkrete Fördermaßnahmen erst nach zum Teil mehreren Jahren in Indikatoren der Forschungsaktivität niederschlagen.

Abbildung 7: International renommierte Publikationen im Bereich Hochleistungselektronik; Deutschland im weltweiten Vergleich



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf SCISEARCH (STN).

3.3 Spezialisierung bei Patenten und Publikationen: Deutschland im intertemporalen Vergleich mit USA, Japan, Großbritannien, Frankreich, Korea, China

Die Expertenkommission hat in ihrem Jahresgutachten 2010 Spezialisierungsindizes bei transnationalen Patentanmeldungen und Publikationen in ausgewählten Ländern in den Bereichen Hochleistungsbatterien und -elektronik berechnet und analysiert. Der Analyse lagen Patentdaten des Zeitraums 2005 bis 2007 sowie Publikationsdaten des Jahres 2008 zugrunde. Die Ergebnisse werden im Folgenden mit aktualisierten Werten verglichen, welche die Periode 2009 bis 2011 (Patentanmeldungen) bzw. das Jahr 2012 (Publikationen) umfassen.²⁹

²⁹ Die Auswahl der Untersuchungszeiträume ist durch Datenverfügbarkeit bedingt.

Spezialisierungsindizes sind dabei als eine Ergänzung zu obigen Auswertungen zu verstehen. Grund für diese Ergänzung ist, dass Ländervergleiche bei Patenten und Publikationen auf Basis absoluter Zahlen bzw. prozentualer Anteile nur begrenzt aussagekräftig sind, da in diese die Ländergröße und andere landesspezifische Faktoren implizit mit eingehen. Mit Spezialisierungsindizes können diese Effekte vermieden werden, da sie das Gewicht eines spezifischen Sektors eines Landes in Relation zu einer allgemeinen Referenz, meist zum weltweiten Durchschnittswert, abbilden.

Spezialisierungsindizes sind dimensionslos, der Durchschnitts- oder Neutralwert wird meist auf Null gelegt.

Die für diese Analysen verwendeten Indizes sind der *Revealed Patent Advantage* (RPA) im Fall der Patente sowie der *Revealed Literature Advantage* (RLA) im Fall der Publikationen.³⁰ Sie sind so angelegt, dass die Werte einer über- bzw. unterdurchschnittlichen Spezialisierung positiv bzw. negativ sind und der Wertebereich symmetrisch zum Neutralwert (0) ist. Aufgrund der Vergleichsbildung relativ zum Weltdurchschnitt führen steigende Aktivitäten in einem speziellen Sektor nur dann zu einem höheren Indexwert, wenn gleichzeitig andere Länder ihre Aktivitäten nicht in demselben Maße ausbauen. Andersherum ausgedrückt ist ein Anstieg eines Spezialisierungsindex grundsätzlich vorsichtig zu interpretieren und nicht notwendigerweise ausschließlich auf verstärkte Aktivitäten des betrachteten Landes im betrachteten Technologiebereich zurückzuführen. Der Index verändert sich ebenso zum Positiven, wenn entweder andere Länder ihre Forschungsaktivitäten im betrachteten Technologiebereich relativ verringern oder wenn im betrachteten Land andere Technologiebereiche ihre Forschungsaktivität relativ verringern.

Der Vergleich der Spezialisierungsindizes bei transnationalen Patentanmeldungen und Publikationen in ausgewählten Ländern zeigt konträre Entwicklungen in Deutschland für die Bereiche Hochleistungsbatterien und -elektronik. Die Spezialisierungsindizes gemessen in Patentanmeldungen werden in den Abbildungen 8 (Batterien) und 9 (Hochleistungselektronik) dargestellt, für Publikationen in den Abbildungen 10 (Batterien) und 11 (Hochleistungselektronik).

Die deutschen Forschungsaktivitäten im Bereich der Hochleistungsbatterien sind in den vergangenen Jahren klar verstärkt worden. Wiesen die Patentanmeldungen deutscher Einrichtungen im Untersuchungszeitraum 2005 bis 2007 noch eine ausgeprägte negative Spezialisierung auf, so konnte diese im Untersuchungszeitraum 2009 bis 2011 fast vollständig ausgeglichen werden. Eine ähnliche Entwicklung ist für Publikationen im Bereich der Hochleistungsbatterien zu verzeichnen. Auch hier wurde die starke negative Spezialisierung zwischen 2008 und 2012 reduziert, allerdings nicht in dem Umfang, wie es bei den Patentanmeldungen gelang.

³⁰ Vgl. Neuhäusler et al. (2014: 8).

Anders im Bereich der Hochleistungselektronik: Gemessen in Patentanmeldungen ergab sich im Untersuchungszeitraum 2005 bis 2007 eine durchschnittliche Spezialisierung. In der aktualisierten Analyse ist der Index dagegen negativ. Bei Publikationen fiel Deutschland von einer leicht positiven auf eine leicht negative Spezialisierung.

Doch nicht nur in Deutschland ergeben sich bei Patentanmeldungen und Publikationen Anzeichen für verstärkte Aktivitäten in der Batterieforschung. Auch die USA haben ihre ausgeprägte negative Spezialisierung im Bereich Batterietechnik abgebaut. Korea, das bereits im Untersuchungszeitraum 2005 bis 2007 eine positive Spezialisierung in der Batterieforschung vorzuweisen hatte, konnte seine starke Position bei den Patentanmeldungen im Untersuchungszeitraum 2009 bis 2011 weiter ausbauen. Die ausgeprägte positive Spezialisierung bei den Publikationen zur Batterieforschung blieb bestehen. Darüber hinaus wurden in Korea auch die Forschungsaktivitäten zur Hochleistungselektronik verstärkt. Die bereits im Untersuchungsjahr 2008 konstatierte positive Spezialisierung bei Publikationen zum Thema Hochleistungselektronik fiel im Untersuchungsjahr 2012 noch deutlicher aus.

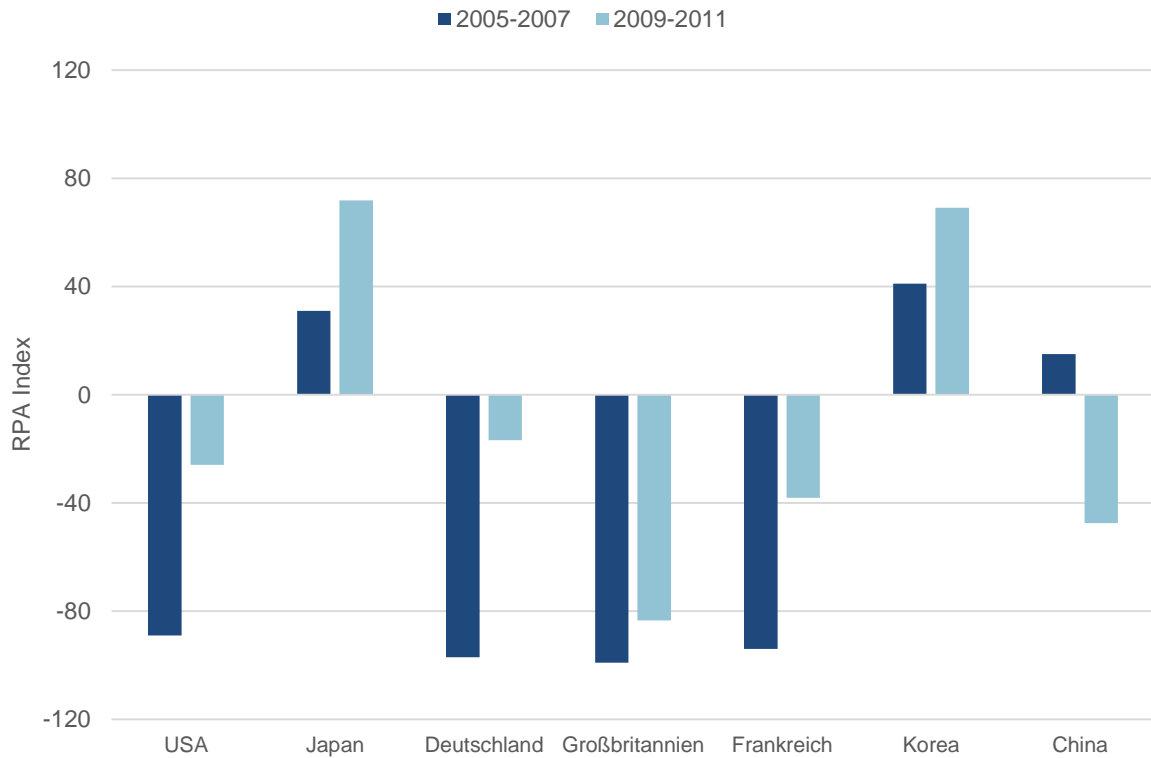
Auch in Japan hat sich die positive Spezialisierung bei den Patentanmeldungen im Bereich der Batterietechnik weiter verstärkt. Zugleich ging die positive Spezialisierung bei den Publikationen zur Batterietechnik und zur Hochleistungselektronik zurück.

In China hingegen hat sich die positive Spezialisierung bei den Patentanmeldungen zur Batterietechnik in eine deutlich negative Spezialisierung verkehrt.³¹ Erstaunlich ist hierbei, dass der Rückgang der relativen Bedeutung der Batterietechnik bei den Patentanmeldungen nicht mit einem sinkenden Spezialisierungsindex bei den Publikationen einhergeht.³² Stattdessen blieb die ausgeprägte positive Spezialisierung bei den Publikationen zur Batterietechnik zwischen 2008 und 2012 bestehen.

³¹ Gleiches gilt in etwas abgeschwächter Form für die Patentanmeldungen im Bereich der Hochleistungselektronik.

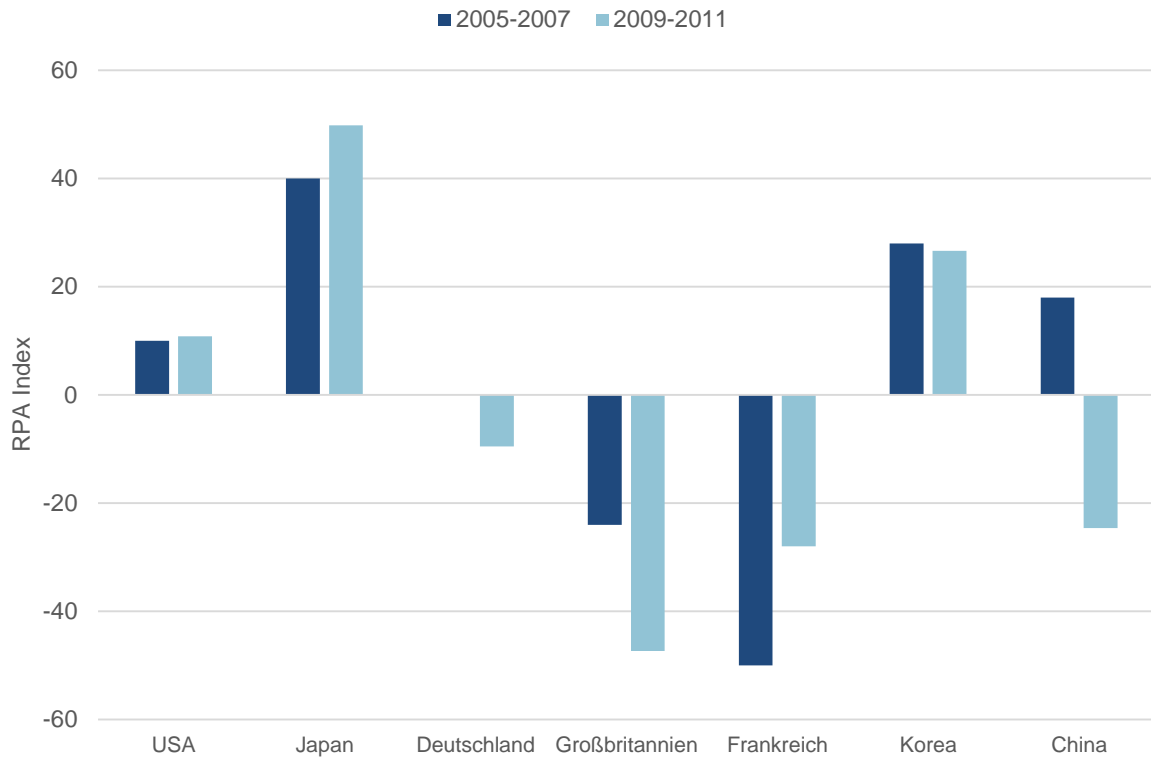
³² Ausgehend von der Annahme, dass sich Forschungstätigkeiten zunächst in Publikationen und danach in Patenten niederschlagen, würde das bedeuten, dass eine ausgeprägte positive Publikationsspezialisierung in einem bestimmten Forschungsbereich nach einigen Jahren auch zu entsprechenden Spezialisierungstendenzen bei Patentanmeldungen führt.

Abbildung 8: Spezialisierung ausgewählter Länder bei transnationalen Patentanmeldungen im Bereich Hochleistungsbatterien; Vergleich zwischen 2005 bis 2007 und 2009 bis 2011



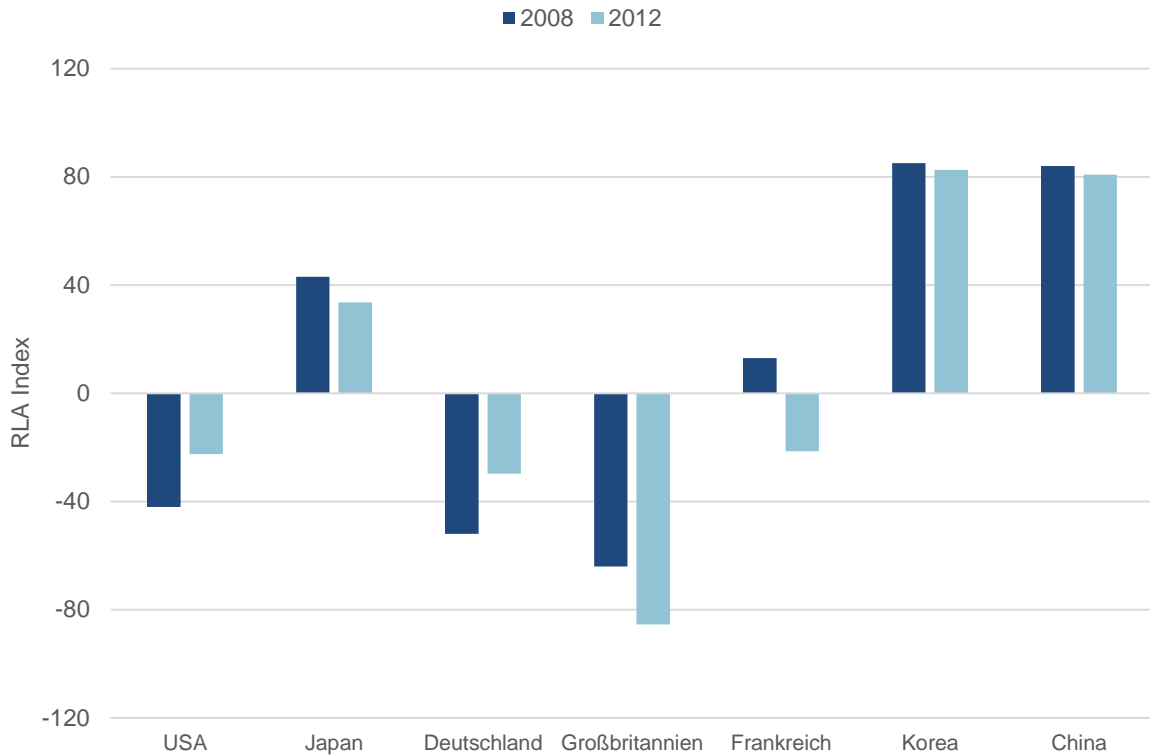
Quelle: Eigene Darstellung basierend auf World Patent Index (STN); Indizes mit dem Wert 0 zeigen ein durchschnittliches Niveau an, solche oberhalb von +20 stark überdurchschnittliche, unterhalb von -20 stark unterdurchschnittliche Patentaktivitäten.

Abbildung 9: Spezialisierung ausgewählter Länder bei transnationalen Patentanmeldungen im Bereich Hochleistungselektronik; Vergleich zwischen 2005 bis 2007 und 2009 bis 2011



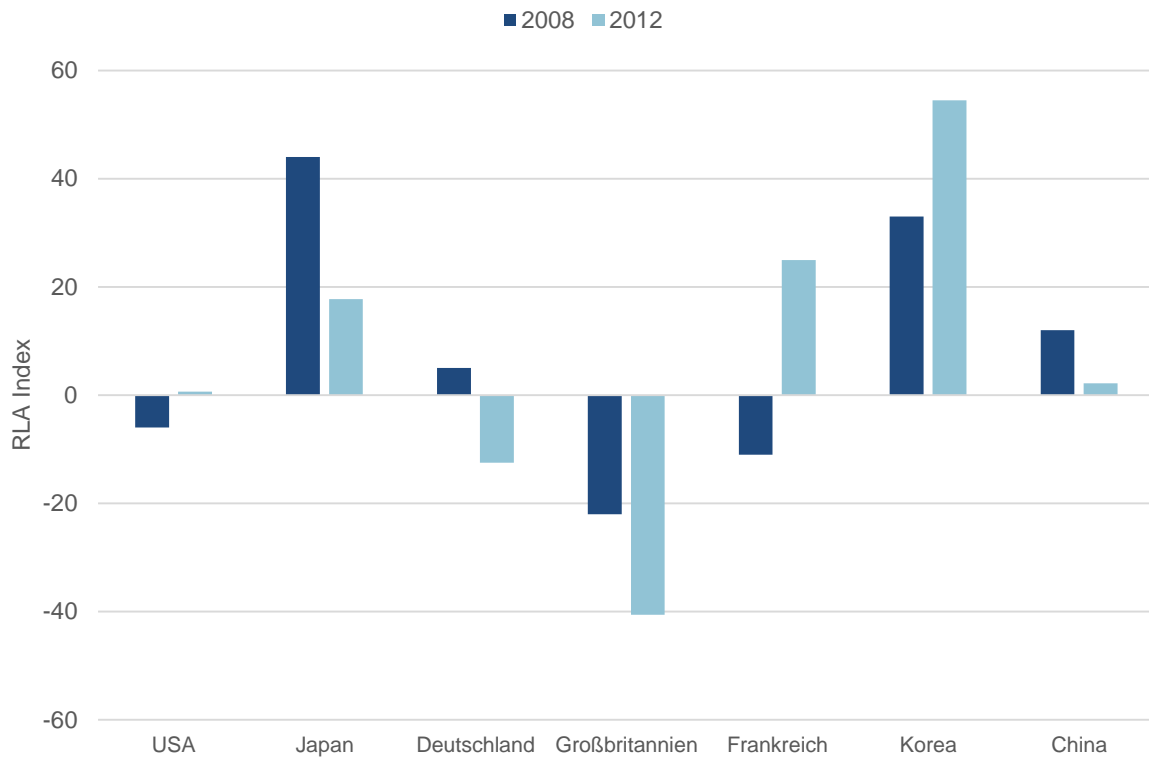
Quelle: Eigene Darstellung basierend auf World Patent Index (STN); Indizes mit dem Wert 0 zeigen ein durchschnittliches Niveau an, solche oberhalb von +20 stark überdurchschnittliche, unterhalb von -20 stark unterdurchschnittliche Patentaktivitäten.

Abbildung 10: Spezialisierung ausgewählter Länder bei international renommierten Publikationen im Bereich Hochleistungsbatterien; Vergleich zwischen 2008 und 2012



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf SCISEARCH (STN); Indizes mit dem Wert 0 zeigen ein durchschnittliches Niveau an, solche oberhalb von +20 stark überdurchschnittliche, unterhalb von -20 stark unterdurchschnittliche Patentaktivitäten.

Abbildung 11: Spezialisierung ausgewählter Länder bei international renommierten Publikationen im Bereich Hochleistungselektronik; Vergleich zwischen 2008 und 2012



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf SCISEARCH (STN); Indizes mit dem Wert 0 zeigen ein durchschnittliches Niveau an, solche oberhalb von +20 stark überdurchschnittliche, unterhalb von -20 stark unterdurchschnittliche Patentaktivitäten.

4. Brennstoffzellen als alternative Antriebstechnologie für Elektromobilität

Wasserstoffbetriebene Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV³³) stellen langfristig eine Alternative zu batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen dar. Anders als diese benötigen Brennstoffzellenfahrzeuge nur kurze Ladezeiten und sind für den Langstreckeneinsatz deutlich besser geeignet. Allerdings befindet sich die Brennstoffzellentechnologie noch im Entwicklungsstadium; derzeit beginnen die ersten Fahrzeughersteller mit der Serienproduktion in niedriger Stückzahl.³⁴ Die entsprechend hohen Anschaffungskosten und die niedrige Lebensdauer der Brennstoffzellen verhindern bislang eine erfolgreiche Markteinführung.³⁵ Zudem stellt der Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur für Brennstoffzellenfahrzeuge eine große Herausforderung dar. Der Aufbau eines flächendeckenden Wasserstofftankstellensystems ist aufwändiger als der Ausbau von Ladepunkten für batteriebetriebene Elektrofahrzeuge.³⁶

In den meisten für Verkehr und Energie entwickelten Szenarien wird Wasserstoff bzw. die Brennstoffzellentechnologie nur am Rande erwähnt. Erst in den letzten Jahren sind Studien erschienen, die der Brennstoffzellentechnologie langfristig eine wichtige Rolle bei der Entwicklung des Verkehrssektors zuschreiben.³⁷ Die Studien setzen für eine erfolgreiche Markteinführung bzw. Marktdurchdringung allerdings infrastrukturelle und technologische Durchbrüche bei der Brennstoffzellenentwicklung sowie der Weiterentwicklung von Wasserstofftanks voraus. Eine starke Konkurrenz zwischen batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen und Brennstoffzellenfahrzeugen wird mittelfristig nur in Ansätzen gesehen, da in den kommenden ein bis zwei Jahrzehnten aufgrund der unterschiedlichen Fahrprofile (Brennstoffzelle: Langstreckeneinsatz; Hochleistungsbatterie: Kurz- und Mittelstreckeneinsatz) auch unterschiedliche Käuferschichten angesprochen werden.³⁸

Für das 1-Million-Ziel der Bundesregierung haben Brennstoffzellenfahrzeuge keine Bedeutung. Die Markthochlaufsznarien bis 2020 bzw. bis 2030 beziehen sich ausschließlich auf BEV und PHEV. Trotzdem ist sich die Bundesregierung der potenziellen Bedeutung der Brennstoffzellentechnologie bewusst und fördert die deutsche Brennstoffzellentechnologie mittels großvolumiger Förderprogramme. Zentrales Instrument ist das gemeinsam von den Bundesministerien für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Umwelt (BMU), Wirtschaft und Technologie (BMWi) sowie Bildung und Forschung (BMBF) aufgelegte Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP). Das NIP ist als öffentlich-private Partnerschaft konzipiert und

³³ Abkürzung für Fuel Cell Electric Vehicle.

³⁴ NOW: http://www.now-gmbh.de/de/wissen-faq.html?no_cache=1&faqId=id_982 (letzter Abruf 1. Dezember 2014).

³⁵ Peters et al. (2013: 18).

³⁶ EFI (2010: 72).

³⁷ Vgl. IEA (2005); vgl. European Commission (2009); vgl. McKinsey (2011).

³⁸ Peters et al. (2013: 74ff.)

bündelt zahlreiche Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Forschungsprojekte von Wissenschaft und Industrie. Neben den genannten Bundesministerien und der Industrie sind auch die Bundesländer am NIP beteiligt. Das Programm ist auf eine Laufzeit von zehn Jahren angelegt. Bundesregierung und Industrie stellen für Forschung, Entwicklung und Demonstrationsvorhaben bis 2016 insgesamt 1,4 Milliarden Euro zur Verfügung.³⁹ Die eine Hälfte dieses Budgets wird von BMVI und BMWi, die andere Hälfte von der Industrie getragen.

Ziele der Förderung sind die Beschleunigung der Marktentwicklung, der Aufbau von Wertschöpfungsketten und Wertschöpfungsanteilen in Deutschland sowie die Sicherung der Technologieführerschaft in Deutschland.⁴⁰ Um die Entwicklung der Brennstoffzellentechnik zu forcieren, haben deutsche Automobilhersteller Kooperationen mit ausländischen Unternehmen aufgebaut.⁴¹

Mit dem NIP werden alle Forschungs- und Anwendungsbereiche für Brennstoffzellen abgedeckt. Um die zahlreichen Produkt- und Anwendungsmöglichkeiten der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie – mobile wie auch stationäre – gleichermaßen fördern und marktspezifische Herausforderungen gezielt angehen zu können, ist das NIP in drei Programmbereiche unterteilt: Verkehr und Wasserstoffinfrastruktur, stationäre Energieversorgung in Haushalt und Industrie und spezielle Märkte.⁴²

Neben Projekten im Bereich Forschung und Entwicklung liegt der Fokus des NIP auch auf groß angelegten Demonstrationsprojekten, die in umfassenden Leuchtturmprojekten gebündelt werden. Die Leuchtturmprojekte dienen dazu, die Produkte und Dienstleistungen rund um das Thema Wasserstoff und Brennstoffzellen einer breiten Öffentlichkeit bekannt zu machen, praktische Erfahrungen zu sammeln sowie Infrastruktur und Vertriebssysteme aufzubauen.⁴³

Für die Umsetzung und Koordination des NIP und der in diesem Rahmen laufenden Projekte wurde 2008 die Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie GmbH (NOW) gegründet.

³⁹ BMVI: Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (NIP). <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/nationales-innovationsprogramm-wasserstoff-und-brennstoffzellentechnologie-nip.html> (letzter Abruf 1. Dezember 2014).

⁴⁰ NOW: <http://www.now-gmbh.de/de/ueber-die-now/foerderprogramme/nationalesinnovationsprogramm-nip/ziele-und-foerderung.html> (letzter Abruf 1. Dezember 2014).

⁴¹ Als Beispiele seien hier folgende Kooperationen genannt: BMW mit Toyota; Daimler mit Renault-Nissan und BYD; Volkswagen mit Ballard Power Systems (Brennstoffzellenhersteller). Vgl. Geitmann, S. (2013) sowie Krust, M. (2013).

⁴² NIP: <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/nationales-innovationsprogramm-wasserstoff-und-brennstoffzellentechnologie-nip.html> (letzter Abruf 1. Dezember 2014).

⁴³ NOW: Leitlinien für die Bewertung von Leuchtturmprojekten. <http://www.now-gmbh.de/de/ueber-die-now/foerderprogramme/nationalesinnovationsprogramm-nip/leitlinien-fuer-leuchttuerme.html> (letzter Abruf 1. Dezember 2014); Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (NIP): <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/nationales-innovationsprogramm-wasserstoff-und-brennstoffzellentechnologie-nip.html> (letzter Abruf 1. Dezember 2014) sowie NOW (2013).

Trotz der erheblichen finanziellen Förderung der Brennstoffzellentechnologie in den vergangenen Jahren lässt sich keine verstärkte Forschungstätigkeit nachweisen. Gemessen an transnationalen Patentanmeldungen sowie an international renommierten Publikationen zeigt sich, dass die Forschungsaktivitäten seit Beginn des Jahrtausends nicht mit der weltweiten Entwicklung Schritt halten konnten.⁴⁴

4.1 Forschung im Bereich Brennstoffzelle

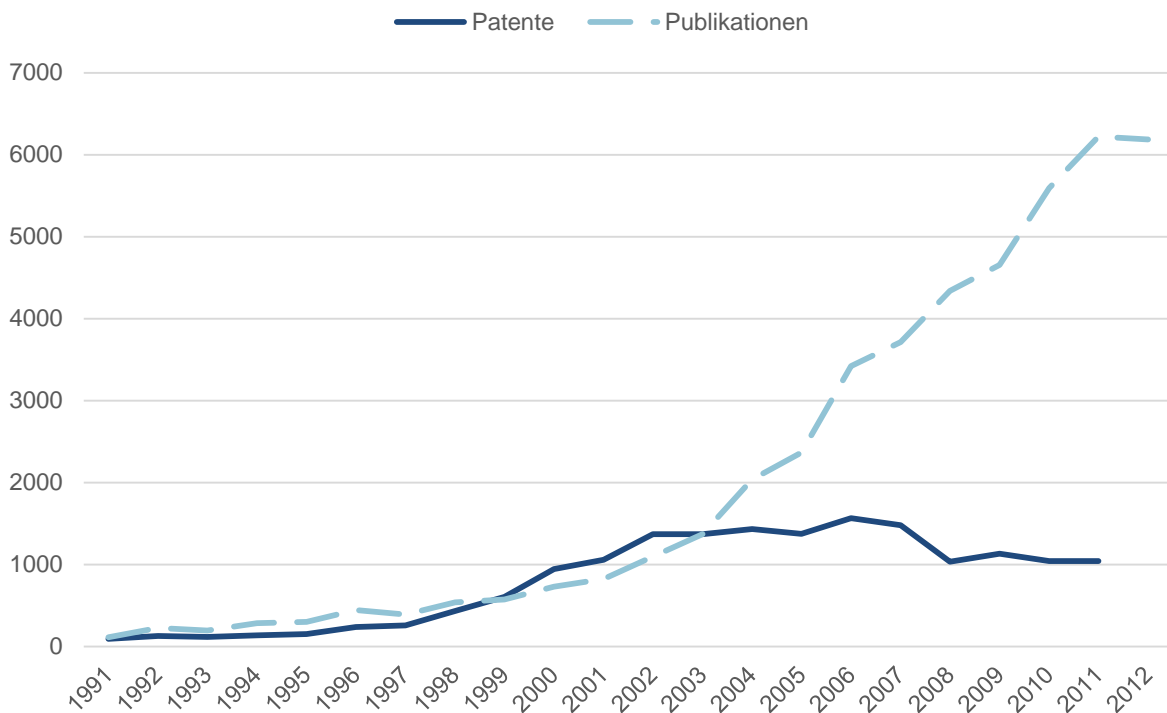
Die Entwicklung der Forschungsaktivitäten in Deutschland im Bereich Brennstoffzelle wird wie in den Bereichen Hochleistungsbatterien und -elektronik anhand transnationaler Patentanmeldungen (1991 bis 2011) sowie international renommierter Publikationen (1991 bis 2012) dargestellt und mit der weltweiten Entwicklung verglichen.⁴⁵

Im Bereich der Brennstoffzellen zeigt sich ein unterschiedliches Bild für die in Abbildung 12 dargestellte weltweite Entwicklung transnationaler Patentanmeldungen und international renommierter Publikationen. Die Anzahl der Publikationen weist über den gesamten Betrachtungszeitraum von 1991 bis 2012 einen stetig positiven Trend auf. Die Anzahl stieg von 112 im Jahr 1991 auf 6.187 im Jahr 2012. Die Anzahl der Patentanmeldungen hingegen wuchs zwar kontinuierlich über die 1990er Jahre von 93 (1991) auf 1.371 (2002), stagnierte dann aber Anfang dieses Jahrtausends und verlief seitdem unkontinuierlich mit leicht absteigendem Trend auf 1.043 (2011). Eine mögliche Erklärung für diese Entwicklung sind stark schwankende Erwartungen über die Marktpotenziale der Brennstoffzellentechnologie.

⁴⁴ In den Patent- und Publikationsanalysen sind alle Brennstoffzellentypen (stationär, mobil und portabel) berücksichtigt.

⁴⁵ In den Patent- und Publikationsanalysen sind alle Brennstoffzellentypen (stationär, mobil und portabel) berücksichtigt.

Abbildung 12: Weltweite Anzahl transnationaler Patentanmeldungen und international renommierter Publikationen im Bereich Brennstoffzellen

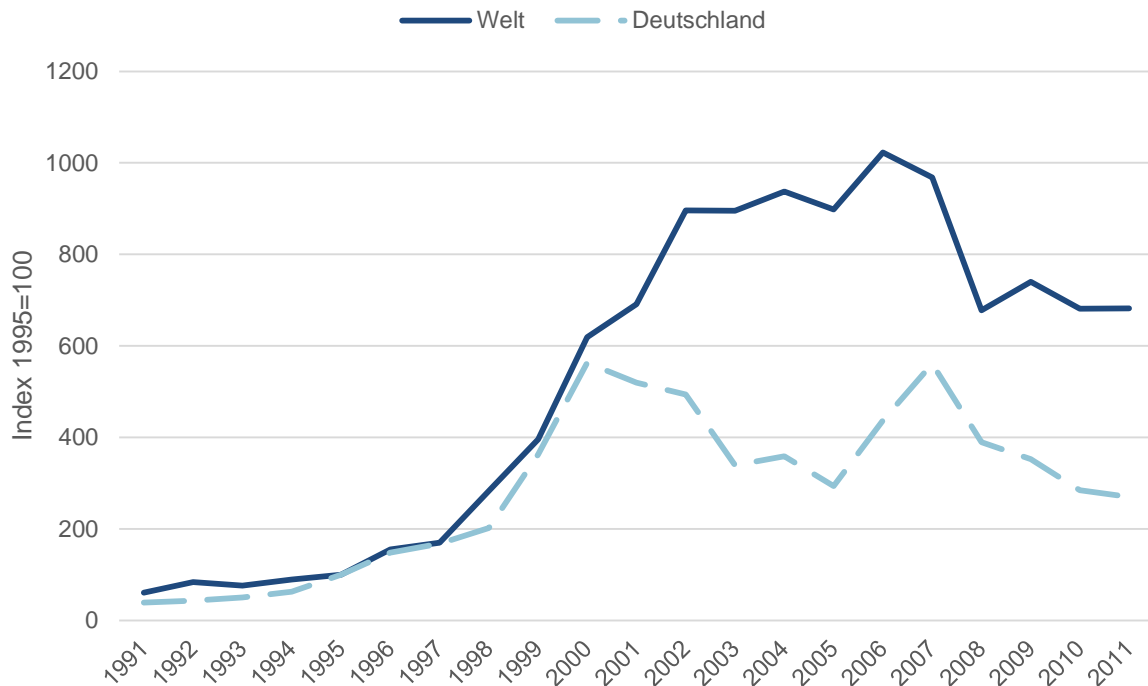


Quelle: Eigene Darstellung basierend auf World Patent Index (STN) sowie SCISEARCH (STN).

Abbildung 13 stellt die Entwicklung der transnationalen Patentanmeldungen in Deutschland als Index (1995=100) im Vergleich zur weltweiten Entwicklung dar. Von Beginn der 1990er Jahre bis zur Jahrtausendwende verlaufen beide Entwicklungen sehr ähnlich, mit positivem Trend. Im Jahr 2000 erreichte die Entwicklung in Deutschland ihren vorläufigen Höhepunkt, seitdem schwankt der Index stark, weist jedoch insgesamt einen Abwärtstrend auf und verläuft deutlich unterhalb des weltweiten Index. Während der Index der deutschen Patentanmeldungen von 563 im Jahr 2000 auf 269 im Jahr 2011 fiel, sich die Anzahl der Patentanmeldungen also mehr als halbierte, war die weltweite Entwicklung für diesen Zeitraum noch leicht positiv – der Index stieg von 618 (2000) auf 681 (2011). Die Entwicklung des deutschen Anteils der weltweiten Patentanmeldungen wies in dieselbe Richtung. Während der 1990er Jahre erreichte Deutschland einen Anteil von bis zu 30 Prozent der weltweiten Patentanmeldungen. Im Jahr 1997 etwa kamen 77 der 260 weltweiten Patentanmeldungen aus Deutschland. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass die weltweite Entwicklung in dieser Periode maßgeblich nur durch drei Nationen getrieben wurde, nämlich durch die USA, Japan und Deutschland. Seit Beginn des Jahrtausends kamen insbesondere Korea, China, Frankreich und Großbritannien als relevante Patentanmelder hinzu. Der Anteil Deutschlands schwankte zwischen 2000 und 2011 zwischen 10 und 15 Prozent, bei aktuellem Abwärtstrend. Eine mögliche Ursache für diese Entwicklung ist neben stark schwankenden Erwartungen über die Marktpotenziale der Technologie

auch der Schwerpunkt auf marktnaher und weniger auf innovationsorientierter Technologieförderung.⁴⁶

Abbildung 13: Transnationale Patentanmeldungen im Bereich Brennstoffzellen; Deutschland im weltweiten Vergleich

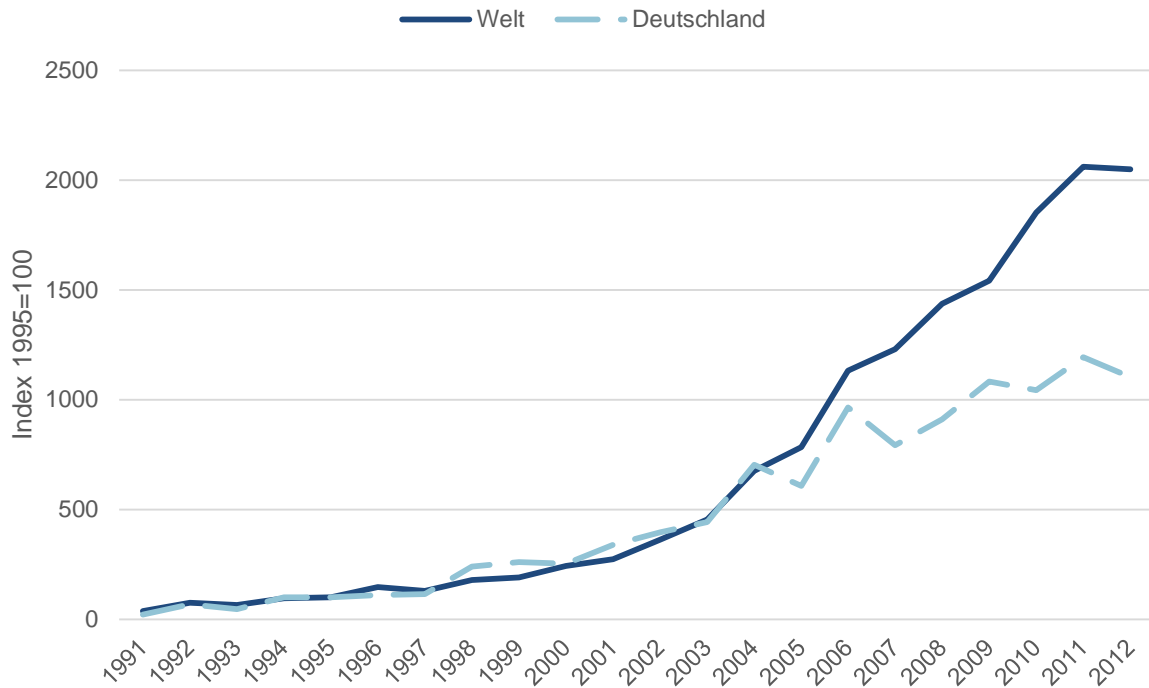


Quelle: Eigene Darstellung basierend auf World Patent Index (STN).

Die Analyse der Publikationsdaten bringt ähnliche Resultate wie die der Patentdaten. Wie Abbildung 14 zeigt, wiesen die Indizes der deutschen sowie der weltweiten Publikationen eine vergleichbare Dynamik für den Zeitraum von 1991 bis 2004 auf – der deutsche Index stand im Jahr 2004 bei 703 Punkten, der weltweite bei 675 Punkten. Für die Periode von 2005 bis 2012 fiel die deutsche Entwicklung dann aber deutlich hinter die internationale zurück. Während der weltweite Index auf 2.048 Punkte zulegte, sich die zugrunde liegende Anzahl in diesem Zeitraum also mehr als verdreifachte, stand der deutsche Indexwert im Jahr 2012 bei 1.103, was einem Wachstum von etwas über 50 Prozent entspricht. Der deutsche Anteil an den weltweiten Publikationen lag bis 2004 bei etwa 10 Prozent und fiel dann bis 2012 kontinuierlich auf etwa 5 Prozent.

⁴⁶ Vgl. Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (2014).

Abbildung 14: International renommierte Publikationen im Bereich Brennstoffzellen; Deutschland im weltweiten Vergleich



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf SCISEARCH (STN).

5. Schlussbetrachtung

Die Bundesregierung strebt an, Deutschland als Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität zu etablieren. So hat sie in dem 2009 beschlossenen Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität das Ziel benannt, dass im Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen fahren sollen. Bis 2030 soll die Zahl der Elektrofahrzeuge auf sechs Millionen gesteigert werden.

Anhand von transnationalen Patentierungen und Publikationen in international renommierten Zeitschriften wurde im Jahresgutachten 2010 der Expertenkommission die Leistungsfähigkeit des deutschen Forschungssystems in den beiden Schlüsseltechnologien Hochleistungsbatterien und Hochleistungselektronik im internationalen Vergleich bis zum damaligen aktuellen Rand, dem Jahr 2007, dargestellt. Die Auswertung der Daten offenbarte, dass Deutschland in der Batterieforschung weit abgeschlagen war und bei der Forschung in der Hochleistungselektronik nur einen mittleren Platz einnahm.

Die Analyse aktualisierter Daten zu transnationalen Patentanmeldungen (aktueller Rand: 2011) und international renommierten Publikationen (aktueller Rand: 2012), die für das Jahresgutachten 2014 der Expertenkommission eingeholt wurden, zeigt zum Teil neue Entwicklungen.

Im Bereich der Hochleistungsbatterien zeigt die aktualisierte Auswertung der Patentanmeldungen und Publikationen, dass die Forschungsaktivitäten in Deutschland seit Mitte der 2000er Jahre deutlich zugenommen haben und die weltweite Dynamik sogar übertreffen. Die Auswertung zeigt somit, dass Deutschland seine Position gegenüber der letzten Analyse im Jahr 2010 verbessern konnte.

Die Analyse der Forschung im Bereich Hochleistungselektronik ergibt allerdings kein positives Bild. Während die Entwicklung der Patentanmeldungen in etwa der weltweiten Dynamik entspricht, zeigen die Daten zu Publikationen (2003 bis 2012), dass Deutschland hinter der internationalen Entwicklung zurückbleibt.

In dieselbe Richtung weist jeweils der Vergleich von Spezialisierungsindizes für die Untersuchungszeiträume 2005 bis 2007 und 2009 bis 2011 für Patentanmeldungen bzw. 2008 und 2012 für Publikationen. Während Deutschland im Bereich der Hochleistungsbatterien eine positive Entwicklung aufweist, ist dies bei der Hochleistungselektronik nicht der Fall.

Ein potenziell wichtiges technologisches Feld innerhalb der Elektromobilität ist die Brennstoffzelle. Zwar hat diese in dem von der Bundesregierung formulierten 1-Million-Ziel keine Bedeutung, jedoch könnte sie mittel- bis langfristig eine wichtige Rolle bei der Umstellung des Transportsektors auf Elektromobilität einnehmen.

Eine äquivalent durchgeführte Analyse der Patent- und Publikationsdaten im Bereich der Brennstoffzelle ergibt ein ernüchterndes Bild der aktuellen Entwicklung. Über die 1990er Jahre hinweg zeigte sich sowohl weltweit als auch in Deutschland ein sehr dynamisches Feld. Seit Beginn des neuen Jahrtausends verlaufen beide Entwicklungen unkontinuierlich, denn die Entwicklung in Deutschland ist hinter die internationale Entwicklung zurückgefallen.

6. Literatur

- Bundesregierung (2009): Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität.
http://www.bmbf.de/pubRD/nationaler_entwicklungsplan_elektromobilitaet.pdf (letzter Abruf 1. Dezember 2014).
- Bundesregierung (2011): Regierungsprogramm Elektromobilität.
http://www.bmbf.de/pubRD/programm_elektromobilitaet.pdf (letzter Abruf 1. Dezember 2014)
- EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation (Hrsg.) (2011): Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2011, Berlin: EFI.
- EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation (Hrsg.) (2014): Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2014, Berlin: EFI.
- European Commission (2009): HyWays – The European Hydrogen Energy Roadmap.
ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/energy/docs/hyways-roadmap_en.pdf (letzter Abruf 1. Dezember 2014).
- Geitmann, S. (2013): BMW kooperiert mit Toyota – Volkswagen mit Ballard.
<http://www.hzwei.info/blog/2013/03/18/bmw-kooperiert-mit-toyota-volkswagen-mit-ballard/> (letzter Abruf 1. Dezember 2014).
- Hillebrand, P.; Hüging, H.; Koska, T.; Krüger, C.; Merten, F.; Rudolph, F.; Schneider, C. Seibt, C.; Wilke, G. (2014): Stellungnahme des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Öffentliche Anhörung des Ausschusses für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk zum Antrag der Fraktion der CDU im Landtag NRW am 25. Juni 2014; Elektromobilität ermöglichen (Drucksache 16/4827).
<http://www.landtag.nrw.de/portal/WWW/dokumentenarchiv/Dokument/MMST16-1885.pdf> (letzter Abruf 1. Dezember 2014).
- IEA – International Energy Agency (2005): Prospects for Hydrogen and Fuel Cells, Paris 2005.
- Krust, M. (2013): Elektrofahrzeug von Daimler und BYD kommt 2014.
<http://www.automobilwoche.de/apps/pbcs.dll/article?AID=/20130420/NACHRICHTEN/130429998/1100/elektrofahrzeug-von-daimler-und-byd-kommt-2014> (letzter Abruf 1. Dezember 2014).
- Legler, H.; Gehrke, B.; Krawczyk, O., Schasse, U.; Rammer, C.; Leheyda, N.; Sofka, W. (2009): Die Bedeutung der Automobilindustrie für die deutsche Volkswirtschaft im europäischen Kontext, Hannover, Mannheim. ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/AutomobEndBericht_final.pdf (letzter Abruf 1. Dezember 2014).
- McKinsey (2011): A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis – The role of Battery Electric Vehicles, Plug-in hybrids and Fuel Cell Electric Vehicles.
http://ec.europa.eu/research/fch/pdf/a_portfolio_of_power_trains_for_europe_a_fact_based_analysis.pdf (letzter Abruf 1. Dezember 2014).
- Mock, P.; Yang, Z. (2014): Driving Electrification – a Global Comparison of Fiscal Incentive Policy for Electric Vehicles. Washington D.C.
http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EV-fiscal-incentives_20140506.pdf (letzter Abruf 1. Dezember 2014).

- NPE – Nationale Plattform Elektromobilität (2010): Zwischenbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität.
- NPE – Nationale Plattform Elektromobilität (2011): Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bericht_emob_2.pdf (letzter Abruf am 1. Dezember 2014).
- NPE – Nationale Plattform Elektromobilität (2012): Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (Dritter Bericht). <http://www.bmwi.de/DE/Mediathek/publikationen,did=493464.html> (letzter Abruf am 1. Dezember 2014).
- Neuhäusler, P.; Rothengatter, O.; Frietsch, R. (2014): Patent Applications – Structures, Trends and Recent Developments 2013, Fraunhofer ISI, Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 4-2014, Berlin: EFI.
- NOW – Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (2013): Jahresbericht 2012. http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user_upload/RE_Publikationen_NEU_2013/Publikationen_NOW_Berichte/NO_W_Jahresbericht_2012_DE.pdf (letzter Abruf 1. Dezember 2014).
- NOW – Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (2014): Jahresbericht 2013. http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user_upload/RE_Publikationen_NEU_2013/Publikationen_NOW_Berichte/NO_W_Annual_Report__2013.pdf
- NPE – Nationale Plattform Elektromobilität (2012): Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (Dritter Bericht). http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bericht_emob_3_bf.pdf (letzter Abruf 1. Dezember 2014).
- NPE – Nationale Plattform Elektromobilität (2011): Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. <http://www.erneuerbar-mobil.de/de/mediathek/dateien/nep-zweiter-zwischenbericht.pdf> (letzter Abruf 1. Dezember 2014).
- NPE – Nationale Plattform Elektromobilität (2010) : Zwischenbericht. (<http://www.bmvi.de/cae/servlet/contentblob/60020/publicationFile/30870/elektromobilitaet-zwischenbericht.pdf>) (letzter Abruf 1. Dezember 2014).
- Peters, A.; Doll C.; Plötz, P.; Sauer A.; Schade, W.; Thielmann, A.; Wietschel, M.; Zanker, C. (2013): Konzepte der Elektromobilität – Ihre Bedeutung für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt. Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag – 38.
- Schott, B.; Püttner, A.; Nieder, T.; BERPohl, F. M.; Rohn, M.; Mey, J. (2013): Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland im internationalen Vergleich und Analysen zum Stromverbrauch. http://www.zsw-bw.de/uploads/media/Paper_Monitoring_EMobilitaet_Final_akt.pdf (letzter Abruf 1. Dezember 2014).
- Statistisches Bundesamt (2012): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, Fachserie 18 Reihe 1.4. https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/VolkswirtschaftlicheGesamtrechnungen/Inlandsprodukt/InlandsproduktsberechnungEndgueltigPDF_2180140.pdf?__blob=publicationFile (letzter Abruf 1. Dezember 2014).

A. Anhang

Patentanmeldungen und Publikationen deutscher Unternehmen und Forschungseinrichtungen in den Bereichen Hochleistungsbatterien, Hochleistungselektronik und Brennstoffzelle

Tabelle A.1: Hochleistungsbatterien, transnationale Patentanmeldungen, 2009 bis 2011

Unternehmen/Forschungseinrichtung	Anzahl der Patentanmeldungen
Robert Bosch GmbH	108
Li-Tec Battery GmbH	99
SB LiMotive Germany GmbH	73
BASF SE	48
Daimler AG	22
Süd-Chemie IP GmbH & Co. KG	21
Continental Automotive GmbH	17
Bayerische Motoren Werke AG	16
Süd-Chemie AG	16
AUDI AG	15
Chemetall GmbH	11
VARTA Microbattery GmbH	11
Bayer MaterialScience AG	9
BEHR GmbH & Co.	7
Evonik Degussa GmbH	7
Schott AG	7
SIEMENS AG	7
Umicore	7
ElringKlinger AG	6
Evonik Litarion GmbH	6
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.	6
Volkswagen AG	6
ads-tec GmbH	5
Daimler Chrysler AG	5
Carl Freudenberg KG	5
Heraeus Quarzglas GmbH & Co. KG	5
Chemische Fabrik Budenheim KG	4
VOLKSWAGEN VARTA Microbattery Forschungsgesellschaft mbH & Co. KG	4
Auto-Kabel Managementgesellschaft mbH	3
Belenos Clean Power Holding AG	3
Diehl Metal Applications GmbH	3
fortu Intellectual Property AG	3
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	3
Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V.	3
SGL Carbon SE	3
ANDREAS STIHL AG & Co. KG	3

Treofan Germany GmbH & Co. KG	3
VB Autobatterie GmbH & Co. KGaA	3
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW)	3

Quelle: World Patent Index (STN).

Tabelle A.2: Hochleistungsbatterien, Publikationen, 2010 bis 2012

Unternehmen/Forschungseinrichtung	Anzahl der Publikationen
Universität Münster	133
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	100
Technische Universität Darmstadt	81
Max-Planck-Institut für Festkörperforschung	53
Universität Hannover	45
IFW Dresden	31
Universität Gießen	26
Max-Planck-Institut für Polymerforschung	25
RWTH Aachen	25
Technische Universität München	20
Technische Universität Dresden	15
Universität Marburg	15
Technische Universität Chemnitz	14
Robert Bosch GmbH	14
BASF SE	13
Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung	13
Universität Bochum	12
Universität Freiburg	11
Universität Ulm	11
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW)	11
Technische Universität Berlin	10
Universität Kiel	10
Universität Regensburg	9
Universität Stuttgart	8
Universität Mainz	8
Universität Bayreuth	8

Quelle: SCISEARCH (STN).

Tabelle A.3: Hochleistungselektronik, transnationale Patentanmeldungen, 2009 bis 2011

Unternehmen/Forschungseinrichtung	Anzahl der Patentanmeldungen
SEMIKRON Elektronik GmbH & Co. KG	64
Robert Bosch GmbH	51
SIEMENS AG	31
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.	11
Danfoss Silicon Power GmbH	7

Philips Intellectual Property & Standards GmbH	7
Continental Automotive GmbH	6
Nexans	5
SMA Solar Technology AG	5
ZF Friedrichshafen AG	5
BSH Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH	4
OSRAM GmbH	4
Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG	4
SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG	4
SKF AB	4
Adensis GmbH	3
Applied Materials, Inc.	3
Bayerische Motoren Werke AG	3
Phoenix Contact GmbH & Co. KG	3
Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG	3

Quelle: World Patent Index (STN).

Tabelle A.4: Hochleistungselektronik, Publikationen, 2010 bis 2012

Unternehmen/Forschungseinrichtung	Anzahl der Publikationen
RWTH Aachen	8
Universität Erlangen-Nürnberg	7
Universität Marburg	7
Universität Würzburg	6
Universität Freiburg	6
Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie	5
Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik	5
Universität Ulm	5
Universität Konstanz	5
Universität Paderborn	5
Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik	4
Max-Planck-Institut für Festkörperforschung	4
SIEMENS AG	4
Dresden University of Applied Sciences	4
Universität München	4
Universität Duisburg-Essen	4
Globalfoundries Dresden Module One LLC & Co. KG	3
Infineon Technologies AG	3
Technische Universität Darmstadt	3
Universität Mainz	3
Forschungszentrum Jülich	3
Universität Karlsruhe	3
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	2
Max-Planck-Institut für Metallforschung	2
Technische Universität Berlin	2

Technische Universität Dresden	2
Technische Universität München	2
Universität Heidelberg	2
Universität Stuttgart	2
Coherent (Deutschland) GmbH	2
Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY	2
Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik	2
Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie	2
Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren	2
Freiburger Materialforschungszentrum	2
Humboldt-Universität zu Berlin	2
IBM Research	2
Universität der Bundeswehr Hamburg	2
Universität Leipzig	2
Universität Siegen	2

Quelle: SCISEARCH (STN).

Tabelle A.5: Brennstoffzelle, transnationale Patentanmeldungen, 2008 bis 2010

Unternehmen/Forschungseinrichtung	Anzahl der Patentanmeldungen
Daimler AG	93
BASF SE	40
SIEMENS AG	22
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.	14
MTU Onsite Energy Systems GmbH	13
Forschungszentrum Jülich	13
Robert Bosch GmbH	11
Carl Freudenberg KG	8
Airbus Operations GmbH	8
Vaillant GmbH	7
Li-Tec Battery GmbH	6
Staxera GmbH	6
ElringKlinger AG	6
Enymotion GmbH	5
Bayer MaterialScience AG	5

Quelle: World Patent Index (STN).

Tabelle A.6: Brennstoffzelle, Publikationen, 2012

Unternehmen/Forschungseinrichtung	Anzahl der Publikationen
Forschungszentrum Jülich	22
Max-Planck-Institute	15
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)	9
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	8
Fraunhofer-Institute	7
Technische Universität Berlin	7
Universität Stuttgart	7

Technische Universität Braunschweig	5
Europäisches Institut für Energieforschung	4
Adam Opel AG	3
Daimler AG	3
-Universität Hannover	2
RWTH Aachen	2
-Universität Bochum	2
Technische Universität Freiberg	2
Technische Universität Darmstadt	2
Universität Bayreuth	2
Universität des Saarlands	2
Universität Gießen	2
Universität Ulm	2

Quelle: SCISEARCH (STN).