

Working Paper Sustainability and Innovation
No. S 09/2017



Martin Wietschel, Axel Thielmann,
Patrick Plötz, Till Gnann, Luisa Sievers,
Barbara Breitschopf, Claus Doll,
Cornelius Moll

Perspektiven des Wirtschaftsstandorts
Deutschland in Zeiten zunehmender
Elektromobilität

Inhaltsverzeichnis

Seite

Zusammenfassung	1
1 Einleitung	3
2 Wertschöpfung und Beschäftigung heute	5
2.1 Produktion und Verkauf von Elektrofahrzeugen.....	5
2.2 Schwächen und Stärken Deutschlands entlang der Wertschöpfungskette für Elektrofahrzeuge	10
2.3 Diskussion von Effekten in anderen Sektoren.....	16
3 Wertschöpfung und Beschäftigung bis 2030	18
3.1 Einleitung und Marktposition.....	18
3.2 Literaturübersicht zu Arbeitsplatzeffekten und Wertschöpfung.....	19
3.3 Wertschöpfungsperspektiven durch die Schlüsselkomponente Batterie in der Elektromobilität	22
3.4 Zusammenfassung der Analysen zu Arbeitsplatzeffekten und Wertschöpfung sowie Schlussfolgerungen hieraus.....	24
4 Literatur	26

Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund eines diskutierten Verbots von Pkw mit Verbrennungsmotoren in Deutschland sowie des bereits angekündigten Verbots von konventionellen Pkw mit Verbrennungsmotoren in Frankreich und England analysiert das vorliegende Arbeitspapier die möglichen Arbeitsplatzeffekte und Wertschöpfungswirkungen eines Wandels von konventionellen Pkw hin zu Elektrofahrzeugen für Deutschland. Als Basis dienen eigene Analysen über die jetzige und mögliche künftige Wettbewerbsposition der deutschen Automobilindustrie bei Elektrofahrzeugen sowie Auswertungen von nationalen und internationalen Studien zu diesem Thema.

Folgende Schlussfolgerungen lassen sich aus den Analysen ziehen:

- Deutsche OEM (Original Equipment Manufacturer) halten aktuell beim Verkauf von Elektrofahrzeugen Marktanteile von weltweit fast 20 %, so wie bei konventionellen Fahrzeugen. Unter gleichbleibender Marktposition verspricht der Wandel zur Elektromobilität ähnlich positive Effekte auf Arbeitsplätze und Wertschöpfung in Deutschland wie die Herstellung von konventionellen Fahrzeugen.
- Deutschland hat einen hohen Exportanteil von 60 % der im Inland hergestellten konventionellen Fahrzeuge. Weiterhin sind die Marktanteile der Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge (PHEV), d.h. batterie-elektrische Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, weltweit auf heute bereits knapp 40 % bei den Elektrofahrzeugen gestiegen. Werden diese Positionen gehalten, so wird durch diese beiden Effekte ein schneller Ausstieg aus dem Verkauf von konventionellen Fahrzeugen in Deutschland nur bedingt negative Auswirkungen auf Arbeitsplätze und Wertschöpfung in den Branchen haben, welche ausschließlich vom Verbrennungsmotor in Deutschland abhängen. Steigen allerdings alle oder fast alle wichtigen Automobilländer aus, so ändert sich das Bild.
- Bei den PHEV hat Deutschland derzeit eine gute Marktstellung. PHEV könnten aber je nach Gesetzgebung auch von einem Verbot von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor betroffen sein. Aus klimapolitischen Gesichtspunkten sollte allerdings der deutlich positive Beitrag von PHEV, welche eine ausreichend elektrische Reichweite von mehr als 60 km aufweisen, berücksichtigt werden.
- Eine Auswertung von Studien, die den Gewinn neuer Arbeitsplätze durch die Elektromobilität abzüglich des Verlusts von Arbeitsplätzen bei konventionellen Fahrzeugen ausweisen, zeigen für Deutschland unterschiedliche Ergebnisse. Sie kommen bis 2030 oft zu einer annähernd gleichbleibenden Anzahl oder sogar positiven Effekten auf Arbeitsplätze und Wertschöpfung. Neben neuen Arbeitsplätzen in der Automobilindustrie wird u.a. eine Reihe an neuen Arbeitsplätzen in der Energiewirtschaft und durch neue Dienstleistungen gesehen. Es

wird aber auch deutlich, dass die Ergebnisse davon abhängen, wie hoch die Durchdringung mit alternativen Technologien ist, wie sich der Anteil an importierten Vorleistungen für die Produktion von Elektrofahrzeugen entwickelt und wie das Produktivitätswachstum der Automobilindustrie ausfällt. Je nach Szenario gelangt man auch zu leicht negativen Folgen.

- Es sind allerdings bisher erst wenige umfassende Studien zu gesamten Effekten durchgeführt worden. Sie sind weiterhin stark von Annahmen getrieben, und der Einfluss verschiedener Parameter wird oftmals nicht in Form von Sensitivitäten analysiert. Es wird somit ein Bedarf an weiteren, differenzierteren Studien zu sogenannten Brutto- und Nettoeffekten der Beschäftigung und Wertschöpfung durch den Wandel zur Elektromobilität gesehen.
- Der Wandel zur Elektromobilität geht einher mit einem Strukturwandel, einer Verschiebung innerhalb der automobilen Wertschöpfungsketten und einem Wandel der Arbeitsplätze. Hierbei wird es wichtig werden, Ein- und Umschulungsangebote sowie generell neue Ausbildungsangebote zu schaffen, um künftige Fachkräfte auf diesen Wandel vorzubereiten.
- Wenn es gelingt, die derzeitige gute Wettbewerbssituation der deutschen Industrie bei Elektrofahrzeugen zu erhalten oder sogar noch auszubauen, dann sind die Chancen gut, dass der Wandel hin zur Elektromobilität in der Summe positive Auswirkungen bei Beschäftigung und Wertschöpfung in Deutschland ergibt und Verluste bei Verbrennungsmotoren kompensiert werden können. Dieser Wandel sollte deshalb aktiv gestaltet werden. Dazu gehört es, die bestehenden Schwachpunkte, beispielsweise bei der Batteriezellproduktion, zu beseitigen, den Wandel der Industriestrukturen aktiv anzugehen und die Erschließung neuer Geschäftsmodelle voran zu treiben. Weiterhin gilt es, mögliche negative Effekte bei der Herstellung von konventionellen Antriebssträngen und außerhalb des Verarbeitenden Gewerbes, wie beispielweise im Handel und Instandhaltung, zu kompensieren.

Die grundsätzliche Bewertung eines Zulassungsverbots von Pkw mit Verbrennungsmotoren und die Frage, ob nicht andere Maßnahmen zur Einleitung des Wandels hin zur Elektromobilität sinnvoller wären, werden in diesem Arbeitspapier nicht diskutiert.

1 Einleitung

Während die Notwendigkeit des Wandels hin zur Elektromobilität bei Pkw aus klimapolitischen Erwägungen heute in Deutschland und weltweit kaum mehr in Frage gestellt wird¹, werden die volkswirtschaftlichen Auswirkungen auf den Automobilstandort Deutschland kontrovers diskutiert (siehe TAB 2012, Spath et al. 2012, NPE 2016, IEA 2016, Ifo 2017). Auf der einen Seite werden die Chancen für die deutsche Automobilindustrie bzw. die gesamte deutsche Wirtschaft hervorgehoben (siehe z.B. NPE 2016, IEA 2016). Auf der anderen Seite werden Verluste bei Arbeitsplätzen und in der Wertschöpfung bei der Herstellung konventioneller Fahrzeuge gesehen (Ifo 2017). Dabei wird der Automobilindustrie stellenweise ebenfalls vorgeworfen, den notwendigen strukturellen Wandel nicht schnell genug eingeleitet zu haben.

Ziel des Working Papers ist es, mögliche Arbeitsplatz- und Wertschöpfungseffekte durch den Wandel hin zur Elektromobilität in Deutschland herauszuarbeiten und aufzuzeigen, wo noch Forschungsbedarf besteht.

Hierzu wird die aktuelle sowie die künftige mögliche Wettbewerbsposition der deutschen Automobilindustrie beim Thema Elektromobilität herausgearbeitet und analysiert, in welchen Bereichen Verluste und in welchen Bereichen Gewinne möglich sind. Dabei werden aktuelle Daten zum derzeitigen Fahrzeugabsatz erhoben und eingeordnet. Weiterhin wird die deutsche Wettbewerbssituation bei den wichtigsten Technologiekomponenten der Elektromobilität untersucht. Zudem werden verschiedene nationale und internationale Studien zum Themenkomplex Arbeitplatzeffekte und Wertschöpfung durch den Wandel hin zur Elektromobilität ausgewertet.

Gegenstand dieses Working Papers sind Pkw mit konventionellen Verbrennungsmotoren sowie Elektrofahrzeuge. Letztere umfassen reine Batteriefahrzeuge (BEV – Battery Electric Vehicle) und Hybride Elektrofahrzeuge, die auch über das Stromnetz geladen werden können (PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle).

Wie der Wandel hin zur Elektromobilität durch politische Maßnahmen begleitet werden soll, ist nicht Gegenstand des Working Papers.

¹ Siehe beispielsweise die Studien in Nitsch et al. 2012, Wietschel et al. 2013, Adolf et al. 2014, Repenning et al. 2015, Kasten et al. 2016, IEA 2017a, IEA 2017b.

Die Arbeit ist mit einem relevanten Anteil unter Nutzung vorliegender Ergebnisse der BMBF Begleitmaßnahme zu Batterie2020² entstanden, in welcher das Fraunhofer ISI ein Monitoring und Roadmapping zu Batterien durchführt.

² Link: <http://www.isi.fraunhofer.de/isi-de/t/projekte/at-bema2020-batterie2020.php>

2 Wertschöpfung und Beschäftigung heute

2.1 Produktion und Verkauf von Elektrofahrzeugen

Den größten Effekt auf die Wertschöpfung und die Arbeitsplätze in der Automobilindustrie in Deutschland hat bei der heutigen Wertschöpfungsstruktur der Wegfall bzw. der Zugewinn der Produktion des gesamten Fahrzeugs, weniger relevant sind einzelne Fahrzeugkomponenten. Dies haben Wietschel et al. 2009 am Beispiel von Brennstoffzellenfahrzeugen aufgezeigt. Brennstoffzellenfahrzeuge weisen deutliche Parallelen zu Elektrofahrzeugen auf³.

Deshalb wird in diesem Kapitel auf der Ebene der Produktion und des Verkaufs von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen argumentiert. Im anschließenden Kapitel wird dann auf die wichtigsten Teilkomponenten wie Verbrennungsmotor, Getriebe, Batterie und Elektromotor eingegangen. Weiterhin ist zu beachten, dass die Automobilindustrie zwar ein sehr wichtiger Sektor bezüglich der volkswirtschaftlichen Auswirkungen ist, aber auch andere Sektoren wie die Mineralölwirtschaft oder die Energiewirtschaft vom Wandel der Elektromobilität deutlich tangiert werden. Dieser Aspekt wird ebenfalls in späteren Kapiteln behandelt.

Im Jahr 2015 wurden von den rund 68,6 Mio. weltweit produzierten Pkw 13,1 Mio. (ca. 19 %) von deutschen Herstellern (OEM) produziert. In Deutschland selbst wurden 4,7 Mio. der 5,7 Mio. produzierten Pkw durch deutsche OEM hergestellt. Somit kamen 82 % der in Deutschland produzierten Pkw von heimischen Herstellern. Die Produktion an Pkw am Standort Deutschland nimmt somit fast 7 % der globalen Weltproduktion ein (siehe Abbildung 1).

Von den ebenfalls in 2015 weltweit verkauften rd. 67,3 Mio. Pkw wurden von deutschen OEM 12,6 Mio. (ca. 19 %) der Pkw verkauft. In Deutschland selbst wurden etwa 3,2 Mio. Pkw verkauft, hiervon 1,9 Mio. durch deutsche OEM (58 %). 60 % der 4,7 Mio. in Deutschland von deutschen OEM produzierten Pkw

³ Klassische Teile des konventionellen Antriebsstrangs wie Motor, Getriebe und Abgassystem werden bei Elektrofahrzeugen und Brennstoffzellenfahrzeugen nicht mehr benötigt. Neue Komponenten kommen dazu. Bei den Elektrofahrzeugen als wichtigste Komponenten die Batterie, die Elektromotoren und die Leistungselektronik (siehe hierzu auch Kapitel 2.2). Bei Brennstoffzellenfahrzeugen die Brennstoffzelle, der Brennstoffzellentank und die Elektromotoren (siehe Wietschel et al. 2009).

gehen in den Export⁴. Arbeitsplätze und Wertschöpfung in Deutschland profitieren somit von hohen Exportanteilen von Fahrzeugen, die in Deutschland hergestellt werden.

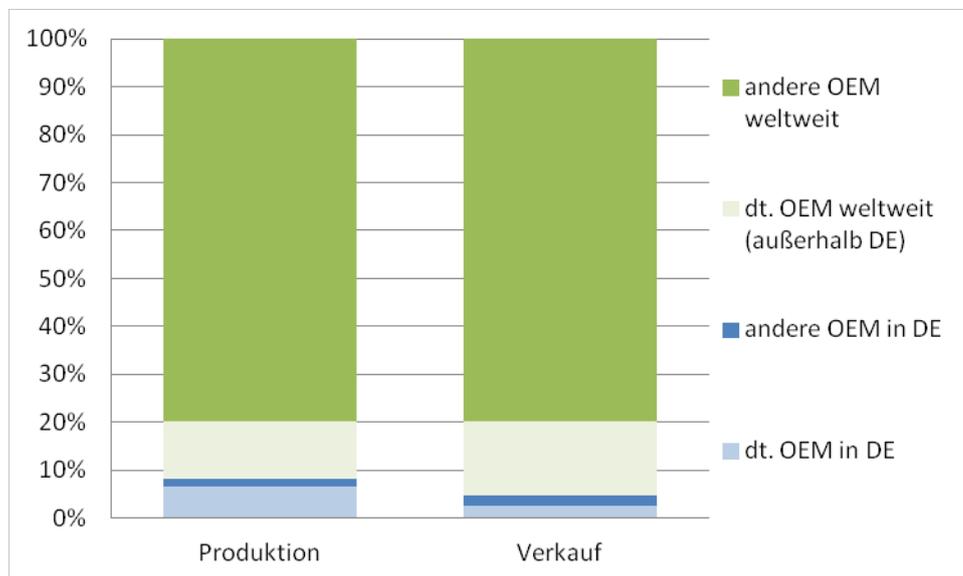


Abbildung 1: Anteile der OEM an Pkw-Produktion und -Verkauf 2015 in Prozent (eigene Auswertung mit Daten aus Marklines 2017)

Bei Betrachtung der Investitionen der Automobilindustrie in die Elektromobilität zeigen sich interessanterweise einige Parallelen hierzu. 2015 machten die Verkäufe der PHEV und BEV mit etwa 575.000 noch weniger als 1 % der globalen Pkw-Verkäufe aus. Der Absatz der PHEV und BEV stieg aber in 2016 bereits auf über 730.000 weltweit (nur Pkw ohne Nutzfahrzeuge, Busse etc.) und wird in 2017 nach aktuellen Zahlen wohl im Bereich von 1 Mio. liegen. Bis 2030 könnte der weltweite Anteil der PHEV- und BEV-Verkäufe an Pkw-Verkäufen insgesamt bei 15 bis 50 % liegen (vgl. Thielmann et al. 2016 sowie IEA 2017a).

Ähnlich wie bei den Verbrennern lag in 2015 der Anteil der Elektrofahrzeug-Produktion durch deutsche OEM bei fast 19 % (vgl. Abbildung 2). Zugleich wurden die meisten dieser Elektroautos auch in Deutschland produziert (98.000 der 106.000 von deutschen OEM hergestellten Elektrofahrzeugen). Hingegen wurden in Deutschland nur 24.000 Elektroautos abgesetzt, davon 12.000 durch deutsche Hersteller. Nur 4,2 % der global verkauften Elektroautos wurden in Deutschland abgesetzt. Somit haben die deutschen Hersteller erfolgreich einen Großteil der Elektro-Pkw ins Ausland exportiert.

⁴ Der Anteil der Produktion von nichtdeutschen OEM in Deutschland, die auch Arbeitsplätze schaffen, ist kleiner als der Pkw-Verkauf von nichtdeutschen OEM in Deutschland. In der Summe werden aber deutlich mehr Pkw in Deutschland produziert als verkauft.

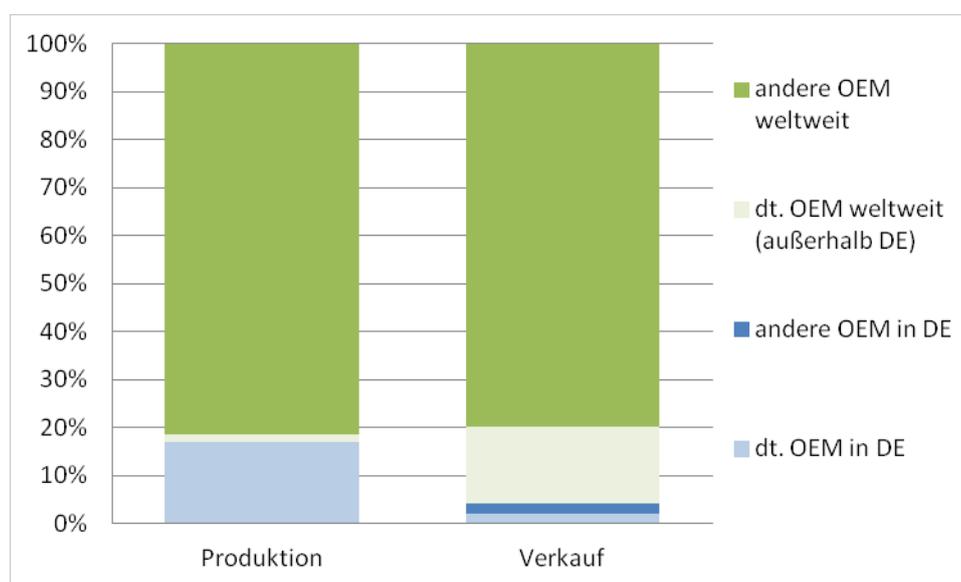


Abbildung 2: Anteile an Elektrofahrzeug-Produktion und -Verkauf 2015 in Prozent (eigene Auswertung auf Basis der Datenbank des Fraunhofer ISI – Daten u.a. aus Marklines 2017)

Je nach Antriebsart (PHEV oder BEV) werden dabei sogar 10-30 % von deutschen OEM produziert: 23 % in 2015 und 30 % in 2016 der weltweit verkauften PHEV kamen von deutschen Herstellern, dabei wurden in 2015 22 % und in 2016 24 % der PHEV in Deutschland produziert. Demnach steigt die Produktion der PHEV durch deutsche OEM im Ausland.

Im Fall der BEV kamen 16 % (2015) bzw. 10 % (2016) der weltweit verkauften BEV von deutschen Herstellern, dabei wurden in 2015 14 % und in 2016 10 % der BEV in Deutschland produziert.

Deutsche OEM sind daher im Bereich der Elektroautos heute schon ähnlich gut aufgestellt wie im Bereich der Verbrenner und haben nachweislich in den letzten Jahren in diesem Bereich innoviert. Das gilt besonders für den Bereich der PHEV.

Rund die Hälfte der durch deutsche OEM produzierten Elektrofahrzeuge waren in 2015 PHEV, in 2016 bereits fast 70 %. Auch bei den Zulassungen in Deutschland machen die PHEV bereits mehr als 50 % der Verkäufe unter den Elektrofahrzeugen aus (siehe Abbildung 3). Während in 2010 der Anteil von PHEV an den weltweiten Verkaufszahlen bei Elektrofahrzeugen noch nahe null lag, stieg er bis 2016 auf knapp über 60 % an (IEA 2017a)⁵.

⁵ In China steigt allerdings der BEV-Anteil in den letzten zwei Jahren wieder, und China dominiert derzeit den Markt.

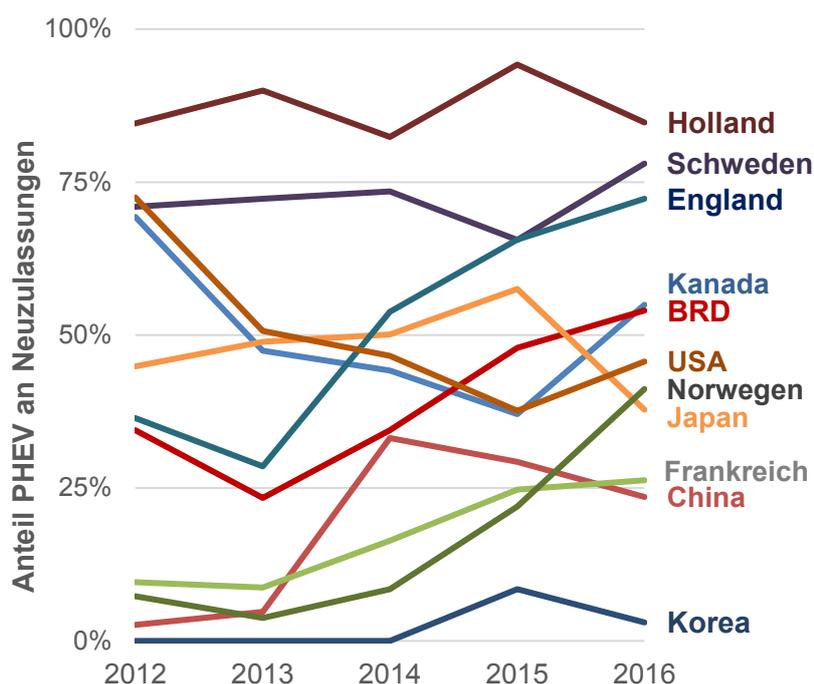


Abbildung 3: Anteile PHEV an den Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen in wichtigen internationalen Elektrofahrzeug-Märkten (eigene Auswertung mit Daten aus IEA 2017a)

Auch die bisher eingeführten bzw. künftig angekündigten Fahrzeugmodelle bei Elektrofahrzeugen zeigen den Trend zu PHEV (siehe Abbildung 4). Während PHEV-Modelle bis 2016 noch 17 % der Elektrofahrzeugmodelle ausgemacht haben steigt die Anzahl der PHEV-Modelle in den kommenden Jahren um das Dreifache und wird ab 2020 rd. 26 % der weltweiten Elektrofahrzeugmodelle ausmachen. Hybridfahrzeuge (HEV), die kein Aufladen der Batterie über das Stromnetz ermöglichen, und BEV hielten sich bislang die Waage mit jeweils über 41 % der Elektrofahrzeugmodelle. BEV-Modelle werden sich in den nächsten Jahren verdoppeln, HEV-Modelle werden hingegen nur noch um 40 % ansteigen.

Insgesamt ließen sich angesichts des strukturellen Vergleichs der Produktion und Verkäufe von konventionellen Pkw mit PHEV und BEV bei einem Markthochlauf in Zukunft durch die Elektromobilität ähnlich positive Effekte auf Arbeitsplätze und Wertschöpfung in Deutschland erwarten wie bei den konventionellen Fahrzeugen heute. Dies hängt natürlich von den Wertschöpfungsverschiebungen in der automobilen Kette ab, auf die in Kapitel 2.2 ausführlich eingegangen wird.

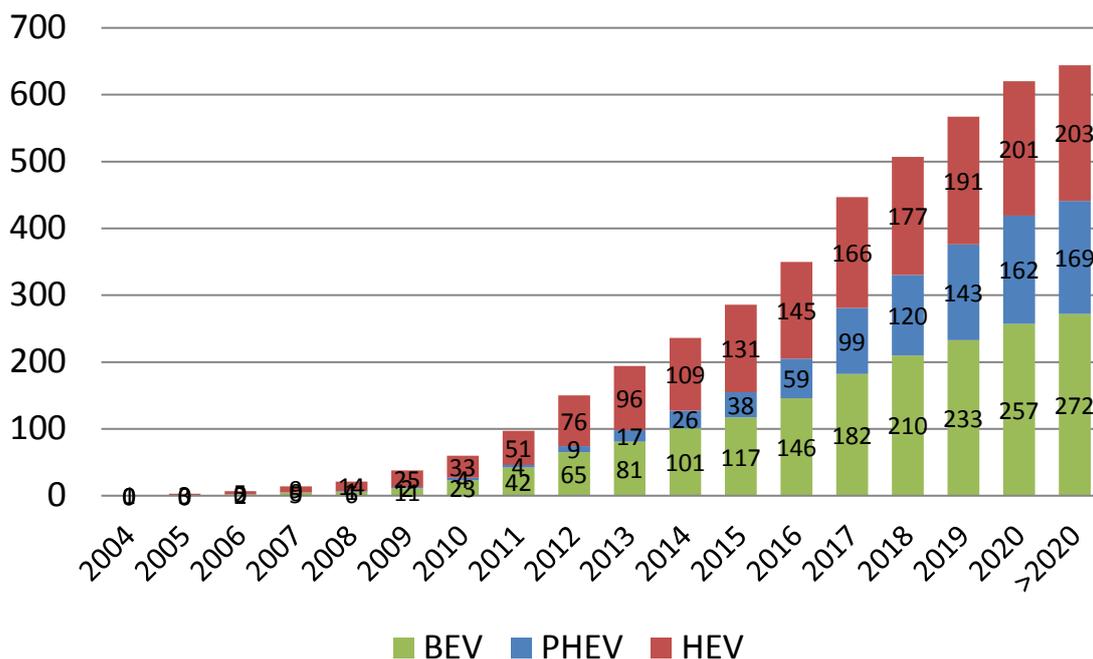


Abbildung 4: Kumulierte Anzahl an eingeführten sowie angekündigten Elektrofahrzeugmodellen (eigene Auswertung auf Basis Marklines 2017)

Durch den hohen Exportanteil von in Deutschland hergestellten Fahrzeugen sowie den steigenden Anteil an PHEV wird ein schneller Ausstieg aus dem Verkauf von konventionellen Fahrzeugen in Deutschland nur bedingt negative Auswirkungen auf Arbeitsplätze und Wertschöpfung in den Bereichen haben. Wenn allerdings weltweit ein kompletter Ausstieg aus allen Fahrzeugen mit fossilen Treibstoffen, d.h. inklusive PHEV erfolgen sollte, stellt sich die Situation natürlich anders dar. In einem solchen Fall könnte gegebenenfalls ein Umstieg auf sogenannte synthetische Kraftstoffe, welche aus erneuerbaren Quellen hergestellt und dann verbrannt werden, neben den Arbeitsplätzen der Kraftstoffherstellungskette auch die Bereiche, die an Verbrennungsmotoren arbeiten, positiv tangieren.

Ein generelles Verbot auch von PHEV aus Klimaschutzgründen sollte kritisch hinterfragt werden. Wenn die Fahrzeugbatterie von PHEV ausreichend groß ausgelegt ist und reale Reichweiten von über 60 km ermöglicht, dann kann damit der weit überwiegende Anteil der Fahrten rein elektrisch zurückgelegt werden (siehe Wietschel et al. 2013 sowie Plötz et al. 2017). Neben der geringen Anzahl an Fahrten in Deutschland über 60 km ist der zweite zentrale Grund für hohe elektrische Fahranteile von PHEV, dass ein PHEV einen Teil aller Tagesfahrleistungen elektrifiziert, weil es auch bei Fahrten, bei denen die Batteriekapazität nicht ausreicht, zumindest einen Teil der Strecke elektrisch fahren kann. Ein BEV kann, wenn eine Zwischenladung nicht möglich ist, diese Strecken erst gar nicht

antreten. Die Reichweitenangst ist ein weiteres Hindernis für die Nutzung von BEV.

Weiterhin ist aus heutiger Sicht auch zu berücksichtigen, dass die Batterieherstellung energieintensiv ist⁶ und durch deutlich kleinere Fahrzeugbatterien in PHEV im Vergleich zu BEV somit Energie- und Treibhausgasemissionen⁷ eingespart werden können.

2.2 Schwächen und Stärken Deutschlands entlang der Wertschöpfungskette für Elektrofahrzeuge

Nachdem im vorangegangenen Kapitel auf Fahrzeugebene diskutiert wurde, werden in diesem Kapitel nun einzelne Fahrzeugkomponenten behandelt.

Die Wertschöpfungskette im Fahrzeug wird sich durch die Elektromobilität deutlich verschieben. In Abbildung 5 ist die Verschiebung der Wertschöpfungskette⁸ von einem BEV zu einem konventionellen Fahrzeug dargestellt. Auch in anderen Publikationen werden vergleichbare Größenordnungen angegeben (siehe z.B. TAB 2012).

Insgesamt sind Elektrofahrzeuge, getrieben durch die Fahrzeugbatterie, wesentlich teurer in der Anschaffung, sind aber in der Nutzungsphase u.a. durch die niedrigeren Kraftstoff- und Wartungskosten günstiger (siehe Wietschel et al. 2013).

In einer Wertschöpfungsanalyse (vgl. Abbildung 5) kommt somit der Fahrzeugbatterie eine besondere Bedeutung zu. Weiterhin sind aber auch Leistungselektronik und Elektromotor von besonderer Relevanz. Die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft bezüglich dieser drei Komponenten wird deshalb im Folgenden detaillierter analysiert.

Die Batteriekosten dominieren heute und auch künftig die Kosten bei den Elektroautos. Die Veränderung der Wertschöpfung durch die Batterie für die zwischen 2010 und 2016 weltweit verkauften BEV (Abbildung 6) und PHEV (Abbildung 7)

⁶ Siehe zu einer ganzheitlichen Bilanz von Fahrzeugen Helms et al. 2016.

⁷ Solange die Energie nicht auf 100 % Erneuerbaren basiert.

⁸ Der Begriff Wertschöpfung bezeichnet den Wert, den eine Wirtschaftseinheit (z.B. Unternehmen oder Volkswirtschaften) zu den Vorleistungen anderer Wirtschaftseinheiten hinzufügt (siehe RWTH 2014).

zeigt die weiterhin große Bedeutung der Batterie insbesondere für BEV. Eine gemittelte Auswertung über die Kosten der Fahrzeugmodelle und deren anteiligen weltweiten Verkäufe zeigt, dass sich BEV bis 2016 auf einem durchschnittlichen Preisniveau von 30.000 bis 33.000 \$ eingependelt haben⁹. PHEV hingegen haben sich von 30.000-35.000 \$ auf ein durchschnittliches Preisniveau von rd. 45.000 \$ entwickelt und sind im Durchschnitt also deutlich teurer als BEV.

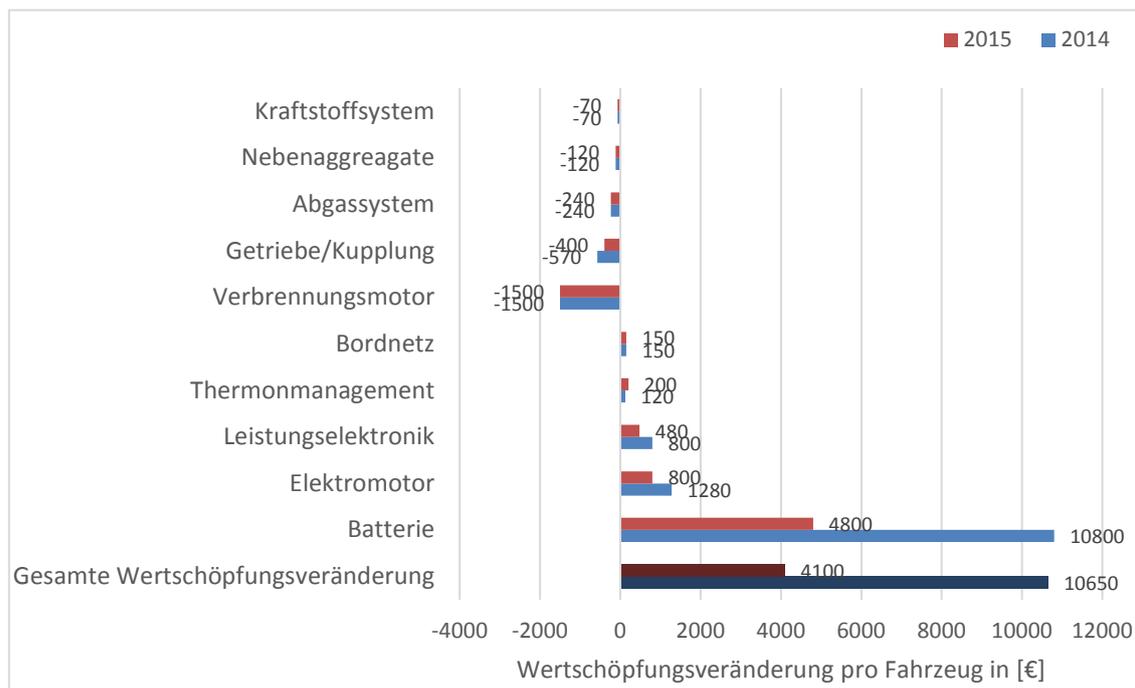


Abbildung 5: Wertschöpfungsveränderung für ein Elektrofahrzeug (BEV) der Kompaktklasse zu einem entsprechenden konventionellen Fahrzeug (Datenquelle RWTH 2014)

Bzgl. der Batteriegröße werden in BEV gegenüber anfänglich rd. 20 kWh bis zu 30-40 kWh verbaut. In PHEV hat sich die Batteriegröße auf 11-12 kWh eingependelt. Werden die sich verändernden BEV/PHEV Preise, Batteriegrößen (in kWh), Batteriekosten je kWh (Zelle bzw. System) berücksichtigt, so ergeben sich 20-40 % Wertschöpfung durch Batterien an BEV und 5-10 % Wertschöpfung durch Batterien an PHEV. Selbst wenn die Batteriekosten langfristig auf unter 100 \$/kWh fallen, so dürfte (auch angesichts weiter steigender Batteriekapazitäten im Elektroauto) die Wertschöpfung der Batterien nicht unter 5-10 % für PHEV und 10-20 % für BEV fallen.

⁹ Es gehen günstige chinesische BEV zwischen mit Preisen zwischen 15.000-20.000 \$ ebenso wie die deutlich teureren Modelle von Tesla mit 60.000 bis über 100.000 \$ ein.

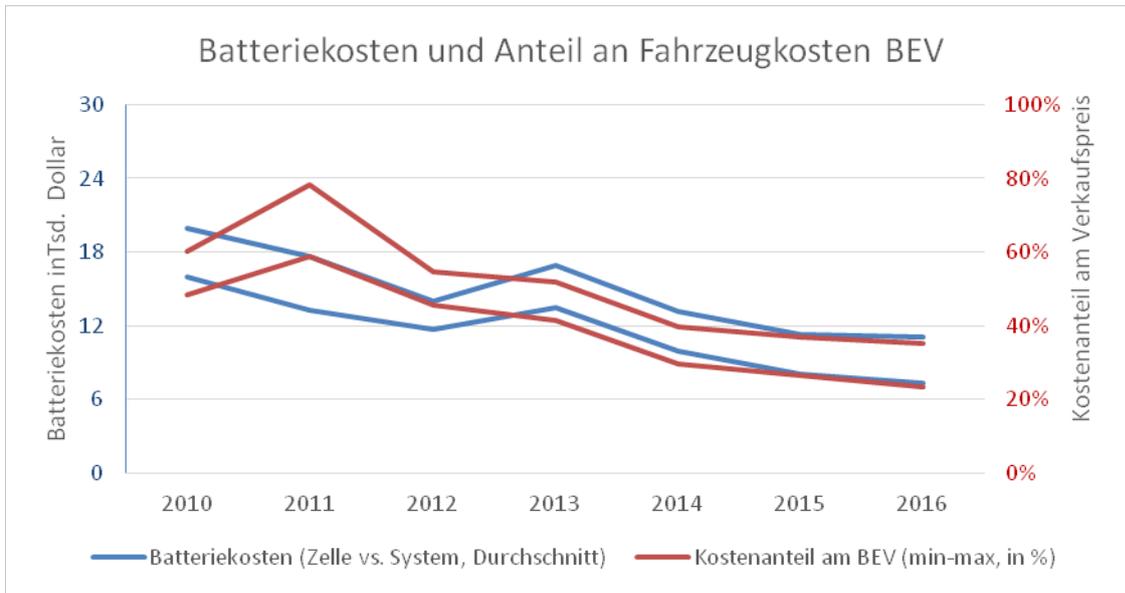


Abbildung 6: Wertschöpfungsveränderung für ein Elektrofahrzeug (BEV) anhand der durchschnittlichen Batteriekosten (Annahme: Kostensenkung von 800-1.000 \$/kWh auf 200-300 \$/kWh) der zwischen 2010 und 2016 global verkauften BEV und Wertschöpfungsanteile durch die Batterie (Zelle unter blaue bzw. rote Line vs. System obere blaue bzw. rote Line) in Prozent (Datenquelle Datenbank des Fraunhofer ISI)

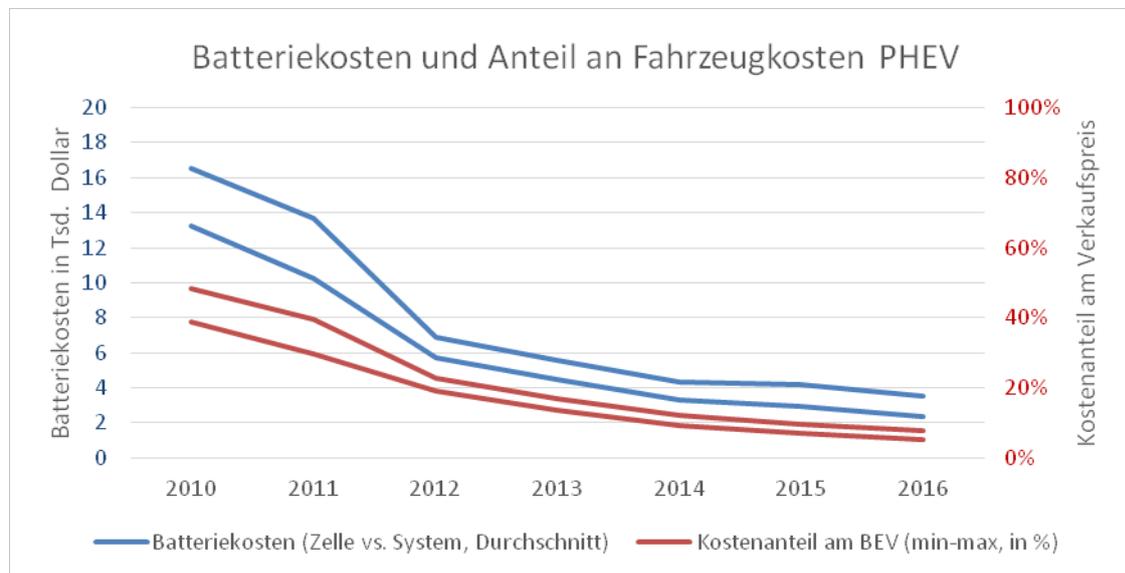
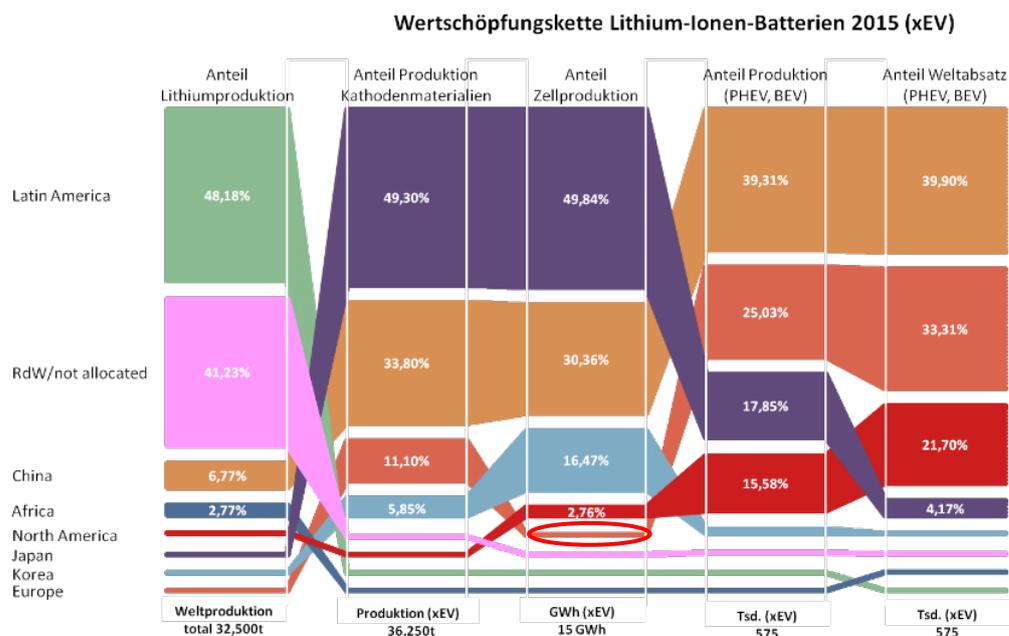


Abbildung 7: Wertschöpfungsveränderung für ein Elektrofahrzeug (PHEV) anhand der durchschnittlichen Batteriekosten (Annahme: Kostensenkung von 800-1.000 \$/kWh auf 200-300 \$/kWh) der zwischen 2010 und 2016 global verkauften PHEV und Wertschöpfungsanteile durch die Batterie (Zelle unter blaue bzw. rote Line vs. System obere blaue bzw. rote Line) in Prozent (Datenquelle Datenbank des Fraunhofer ISI).

Deutschland hat heute klare Stärken im Bereich der Nachfrage nach Batterien durch die Elektrofahrzeugproduktion vorzuweisen. Schwächen bzw. Defizite liegen derzeit bei den nicht vorhandenen Rohstoffen, den Batteriekomponenten¹⁰ und der Batteriezellherstellung vor, welche noch fast ausschließlich in Asien und durch asiatische Unternehmen erfolgt (vgl. Abbildung 8).



Anmerkung zur Abbildung: Anteile nach Ländern und Weltregionen an der Lithium-Produktion (gesamte Produktion), der Produktion von Kathodenmaterialien für PHEV und BEV, der Lithium-Ionen-Batteriezellproduktion für PHEV und BEV, der PHEV- und BEV-Produktion und dem PHEV- und BEV-Verkauf (die einzelnen Wertschöpfungsstufen sind also bis auf die Lithium-Produktion direkt auf die PHEV und BEV bezogen, da sich diese in den nächsten Jahren am dynamischsten entwickeln werden und Akteure innerhalb dieser Wertschöpfungskette hiervon am stärksten profitieren werden (Daten auf Basis von Ergebnissen aus Thielmann et al. 2016 und darin genannten Quellen sowie der Datenbank des Fraunhofer ISI).

Abbildung 8: Wertschöpfungskette Lithium-Ionen-Batterien für die Elektromobilität

Deutschland ist zwar in der Forschung und Entwicklung (FuE) sehr gut aufgestellt (vgl. Thielmann et al. 2016) und bei Patenten mit typischerweise 10-15 % Anteil zu Lithium-Ionen-Batterien bzw. Batterien für Elektroautos bereits einer der wesentlichen globalen Akteure (Thielmann et al. 2016). Jedoch fehlt heute noch eine wettbewerbsfähige Zellproduktion. Die Zellen werden weiterhin aus Asien zugekauft, und Deutschland kann seine FuE-Anstrengungen und Erfolge noch nicht

¹⁰ Aktuell relevantester Europäischer Komponentenhersteller ist der Kathodenmaterialhersteller Umicore, vgl. Anteil von 11 % in Abbildung 5.

in eine inländische Wertschöpfung umsetzen. Jedoch ist Deutschland (bzw. sind deutsche OEM) bei weiteren Indikatoren wie der Produktion und den globalen Elektrofahrzeug-Verkäufen entlang mehrerer anderer Indikatoren gut aufgestellt (siehe Thielmann et al. 2016). China, USA, Japan sind je nach Bereich immer wieder die Hauptwettbewerber.

Wie unterschiedliche Weltregionen entlang der Wertschöpfung „vom Rohstoff für Elektroautos bis zum Absatz der Elektroautos“ aufgestellt sind zeigt Abbildung 8. Die Abbildung betrachtet die Perspektive der Lithium-Ionen-Batterie als Schlüsselkomponente von Elektroautos mit, wie zuvor gezeigt, heute und künftig noch größter Wertschöpfung von 20-40 % am Elektroauto (BEV) und zeigt die Wertschöpfungsanteile von Weltregionen/Ländern.

Ausgehend von der Produktion von Lithium (in Tonnen) über die Produktion von Komponenten (hier Kathodenmaterialien als teuerste Materialien/Komponenten der Batterie, in Tonnen) bis hin zu Batteriezellen (in GWh) für PHEV und BEV¹¹ werden schließlich die Anteile der Länder (d.h. der jeweiligen agierenden Unternehmen auf den Wertschöpfungsstufen mit Hauptsitz in diesen Ländern) an der PHEV- und BEV-Produktion dargestellt sowie die Anteile der PHEV und BEV, welche in den jeweiligen Ländern abgesetzt werden. Da die PHEV- und BEV-Produktion und Verkäufe in den kommenden Jahren dynamisch ansteigen und sich vervielfachen werden, wird dies eine entsprechende Nachfrage und Wertschöpfung nach Batteriezellen, Komponenten und Rohstoffen nach sich ziehen. Entsprechende Industrien werden durch Wertschöpfungspotenziale und Beschäftigung profitieren können.

So dominieren im Batteriesegment in 2015 Japan und China die Produktion von Kathodenmaterialien mit über 80 % (siehe Abbildung 8). Japan, China und Südkorea zählen zu den global dominierenden Zellherstellern mit über 96 % Anteil an den in 2015 verkauften Zellen für Fahrzeugbatterien (Abbildung 8). Zellhersteller wie Panasonic (Japan), LG Chem (Korea), Samsung SDI (Korea) verlagern ihre Produktionsstandorte allerdings zunehmend ins Ausland, also dorthin, wo die künftige Nachfrage entsteht. Sieht man von dem enormen Binnenmarkt China an dieser Stelle ab, so nehmen deutsche Hersteller aber eine wichtige Position in der PHEV- und BEV-Produktion ein (Abbildung 8: 18,5 % Anteil deutscher OEM im Vergleich zu 25 % aller europäischen OEM, vgl. auch Abbildung 2) und erzeugen damit eine Nachfrage nach Batteriezellen und Komponenten.

¹¹ Nicht die gesamte Batterieproduktion für alle Anwendermärkte sondern jeweils nur die Anteile für PHEV und BEV.

Deutschland hat aus heutiger Sicht Chancen, dieses Produktionsniveau zu halten oder weiter auszubauen, allerdings nur, wenn die Entwicklungen an Elektroautos und deren Schlüsseltechnologien weiter vorangetrieben werden. Wie Abbildung 5 verdeutlicht, liegt, wenn ein Großteil der Wertschöpfung zukünftig im Land entstehen soll, die Herausforderung für Deutschland in dem Aufbau und der Etablierung entsprechender Marktstrukturen und Zuliefer-/Abnehmerbeziehungen. In Kapitel 3.3 erfolgt eine Abschätzung von möglichen Arbeitsplatzeffekten einer Batteriezellproduktion in Deutschland.

Wie oben dargelegt, sind neben der Batterie jedoch noch weitere Komponenten zu nennen, welche bei einer steigenden Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen einen relevanten Anteil an der Wertschöpfung ausmachen und deshalb eine positive Entwicklung aufweisen können. Die Komponenten mit den höchsten Wertschöpfungsanteilen nach der Batterie sind die Leistungselektronik, der Elektromotor und das Ladegerät des Elektrofahrzeugs (siehe TAB 2012). Auch in diesen Bereichen ist eine hohe Zahl an Patentanmeldungen auf deutsche Hersteller zurückzuführen, die nach Japan die zweitgrößten Patentanmelder in den für Elektromobilität relevanten Technologiefeldern sind (siehe Abbildung 9).

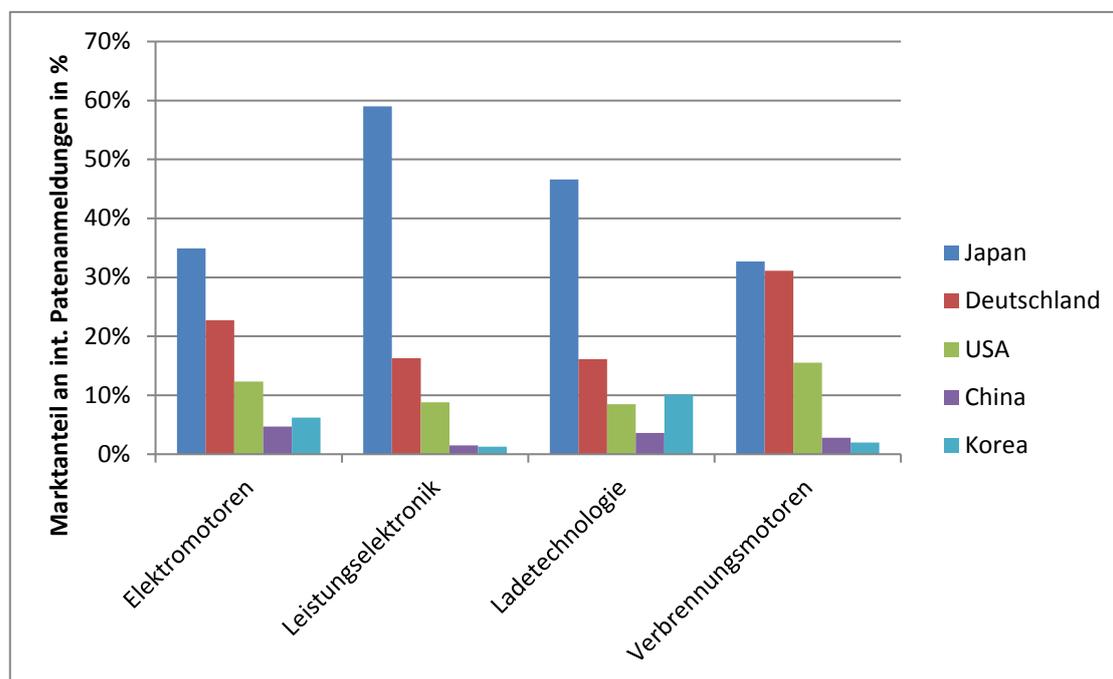


Abbildung 9: Marktanteile bei internationalen Patentanmeldungen von Deutschland im internationalen Vergleich für Elektromotoren, Leistungselektronik und Verbrennungsmotoren (vgl. TAB 2013, Thielmann et al. 2014).

Allerdings sind Patente zwar Ausdruck von F&E-Erfolgen, sie bedeuten aber nicht automatisch, dass sich hieraus auch eine heimische Wertschöpfung ergibt. In Plötz et al. (2011) wird die deutsche Wettbewerbssituation bei Elektromotoren für alle Arten der Anwendung analysiert mit dem Fazit, dass die deutsche Industrie hier gut aufgestellt ist, auch in der Herstellung und im Export von Elektromotoren.

Bei dem komplexen Antriebsstrang von PHEV ist die deutsche Expertise ein Wettbewerbsvorteil, gerade in der Kombination einer starken Wettbewerbssituation bei Verbrennungsmotoren (siehe Abbildung 9) gepaart mit der Expertise bei den für die Elektromobilität relevanten anderen Technologiebereichen. In Kapitel 3.1 wird auf die aktuell gute Wettbewerbssituation bei verkauften Elektrofahrzeugen von Deutschland noch eingegangen.

2.3 Diskussion von Effekten in anderen Sektoren

Neben dem Fahrzeug selber gibt es auch beachtliche Verschiebungen in den Wertschöpfungsketten in anderen Bereichen. So sinkt die Wertschöpfung bei der Herstellung von konventionellen Kraftstoffen und der Import von Rohöl wird vermieden. Umgekehrt steigt die heimische Wertschöpfung in der Stromerzeugung und bei den Verteilnetzen. In 2016 betragen die gesamten Ausgaben für Rohölimporte nach Deutschland 25,9 Mrd. € (Datenquelle Statista 2017). Ein relevanter Teil davon wird für die Herstellung von Kraftstoffen für Fahrzeuge verwendet¹². Wenn dies durch heimische Stromerzeugung und Transport substituiert werden kann, könnte sich daraus ein relevanter, nachhaltiger Wachstumsimpuls für Deutschland entwickeln¹³.

Da Elektrofahrzeuge überwiegend zu Hause, am Arbeitsplatz oder an halböffentlichen Orten wie Einkaufszentren geladen werden (siehe Gnann 2015), werden weniger konventionelle Tankstellen benötigt. Dafür müssen Ladesäulen errichtet werden.

¹² 75 % der Mineralölprodukte in Deutschland in TWh bilanziert ging 2015 in den Verkehrssektor (UBA 2017), wobei dort der größte Verbraucher die Pkw sind.

¹³ Entsprechende Analysen der Gesamteffekte sind durchzuführen, auch unter Einbezug auf die Mineralölherstellung in Deutschland. Alleine die Auswirkungen bei der Mineralölherstellung hier sind herausfordernd zu bewerten, die die Raffinerien nicht nur Kraftstoffe liefern, sondern im Produktionsverbund auch elementare Produkte für die für Deutschland so wichtige chemische Industrie. Prozessumstellungen in Raffinerien sind technisch und wirtschaftlich herausfordernd.

Auch ist mit Spill-over-Effekten in der Art zu rechnen, dass durch die Elektromobilität die Batterien günstiger werden und sich dann neue Einsatzgebiete von Batterien ergeben¹⁴, beispielsweise für stationäre Anwendungen in Verbindung mit PV-Anlagen. Dies ist anhand der OEM (z.B. Deutsche Akkumotive als Daimler-Tochter) bereits zu beobachten, welche sich neben Elektroautos auch dem Thema Batterien für stationäre Anwendungen widmen und neue Geschäftsmodelle erproben. Da Elektrofahrzeuge flexibel geladen werden können, ergeben sich in diesem Umfeld generell neue Geschäftsmöglichkeiten, und Erneuerbare lassen sich besser in das Energiesystem integrieren. Auch können neue Mobilitätskonzepte durch die Elektromobilität entstehen, beispielsweise im Carsharing oder im intermodalen Verkehr. Die vielfältigen möglichen Geschäftsmodelle werden heute noch weitgehend identifiziert und in ersten Pilotprojekten erprobt und bewertet.

Weiterhin zu beachten in dieser Diskussion sind die Arbeitsplätze im Bereich Instandhaltung und Handel mit Kraftfahrzeugteilen. In diesem Wirtschaftsbereich waren im Jahr 2014 etwa 550.000 Personen beschäftigt (Mikrozensus). Durch den höheren Anteil an rein elektrisch betriebenen Fahrzeugen ist damit zu rechnen, „dass weniger Arbeitsaufwand bei den Reparaturen an Antrieb und Getriebe entsteht, jedoch gleichzeitig erweiterte Ausbildungen erforderlich sind“ (Schade et al. 2014), sodass langfristig mit einem Rückgang an Wertschöpfung und Beschäftigung in diesem Bereich zu rechnen ist (TAB 2012). Allerdings ist hier zu prüfen, ob die Fahrzeugbatterien tatsächlich die Lebensdauer von konventionellen Verbrennungsmotoren erreichen. Heute gilt eine garantierte Lebensdauer von 8-10 Jahren für Fahrzeugbatterien, die Zyklenzahl gilt als ausreichend für 200.000 km und mehr (vgl. Thielmann et al. 2015). Durch die neben der Kostensenkung weiteren hohen Ansprüche an Batterien bzgl. Energiedichte (besonders volumetrisch) und Schnellladefähigkeit bei gleichzeitig gewährter Sicherheit wird sich dies auch künftig zugleich limitierend auf die Lebensdauer der Batterie auswirken. Ein Ersatzbedarf bei Batterien könnte daher wiederum zumindest teilweise kompensierende Effekte in dem Bereich der Wartung und Reparaturen am Antrieb ergeben. Zugleich tut sich hier aber auch ein potenzieller Markt für sogenannte Second-use-/Second-life-Anwendungen und Geschäftsmodelle auf.

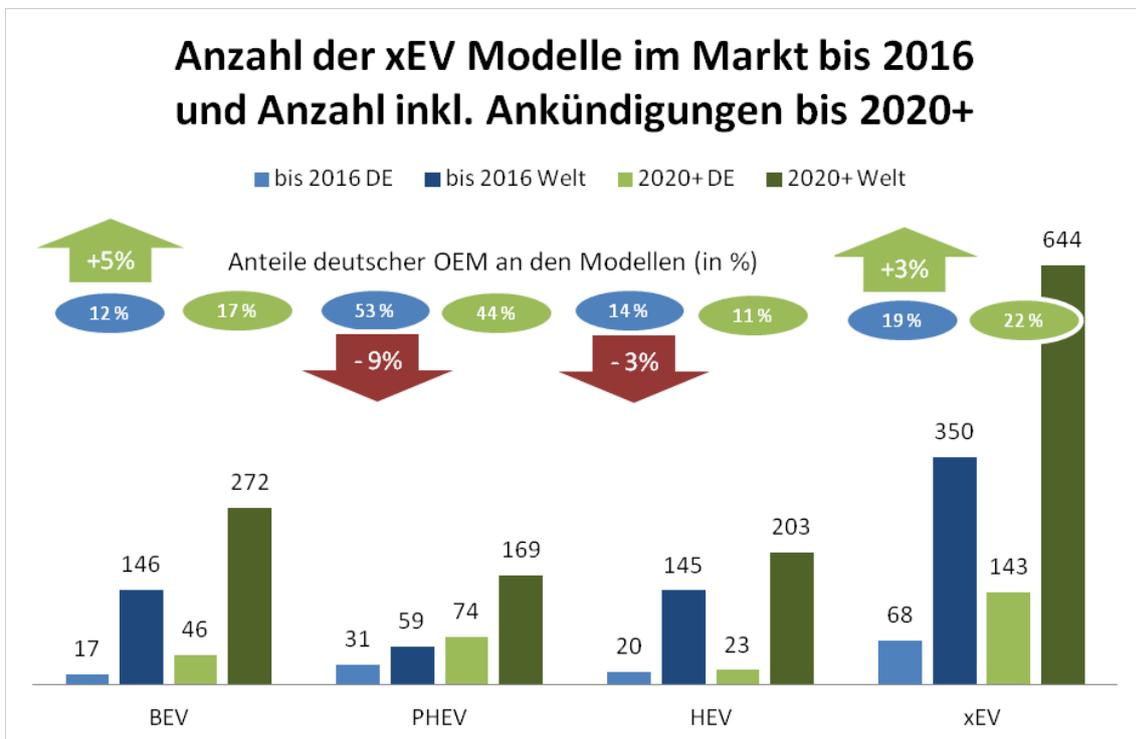
Wie die vorangestellte Diskussion zeigt, ist die Bezifferung der gesamten Effekte des Wandels der Automobilindustrie hin zu Elektromobilität auf die Wertschöpfung und auch die Arbeitsplätze sehr komplex und aufwendig. Im Kapitel 3.2 werden diesbezüglich Ergebnisse aus verschiedenen Studien vorgestellt.

¹⁴ Siehe hierzu und zum folgenden IEA 2016.

3 Wertschöpfung und Beschäftigung bis 2030

3.1 Einleitung und Marktposition

Die deutschen OEM bereiten sich bereits intensiv auf die Elektromobilität der Zukunft vor. In den kommenden Jahren verdoppelt sich das Angebot für Elektrofahrzeuge (siehe Abbildung 4, aber auch die Ausführungen in Kapitel 2.1). Deutsche Hersteller fokussieren sich weiter auf PHEV, aber auch das BEV-Angebot wird sich nach derzeitigen Stand verdreifachen (siehe Abbildung 10).



Anmerkung zur Abbildung: Zum Vergleich sind jeweils die Modelle deutscher OEM (hellblau und hellgrün) gezeigt. Prozentuale Anteile der in Deutschland hergestellten Modelle an den weltweiten Modellen (bis 2016 und 2020+) sind oberhalb der Balken angegeben und zeigen Verschiebungen in den Anteilen auf (eigene Berechnungen auf Basis von Daten aus Marklines 2017).

Abbildung 10: Anzahl der xEV-Modelle (BEV, PHEV, BEV), welche bis 2016 im Markt sind sowie angekündigte Modelle bis 2020+

Unter der Annahme, dass das Angebot an Modellen sich auch in entsprechenden Verkaufszahlen niederschlägt, könnte der Anteil von verkauften Elektrofahrzeug-Modellen durch deutsche OEM mittel- und langfristig bei rund 20 % liegen (so wie heute für Pkw mit Verbrennern und ebenfalls die aktuellen Produktions- und Verkaufszahlen von Elektroautos). Wie zu Beginn des Kapitels 2.1 ausgeführt wurde, ist der Erhalt der eigentlichen Fahrzeugproduktion für die volkswirtschaftlichen Effekte der Automobilindustrie ausschlaggebend.

3.2 Literaturübersicht zu Arbeitsplatzeffekten und Wertschöpfung

Bei den methodischen Ansätzen zur Erhebung von Arbeitsplatzeffekten und Wertschöpfung bei Technologien kann man in Analysen zwischen Bruttoeffekten und Nettoeffekten differenzieren (Breitschopf et al. 2013). Analysen zu Bruttoeffekten zeigen eindimensional nur die positiven (oder negativen) direkten und indirekten Effekte einer Marktdurchdringung (oder eines Wegfalles) einer Technologie. Bei der Erhebung der Nettoeffekte werden die positiven mit den negativen Effekten saldiert und die Folgen auf Einkommen und Konsum berücksichtigt. Im vorliegenden Anwendungsfall ist es, vereinfacht gesprochen, der Zuwachs an Beschäftigung und Wertschöpfung durch die Elektromobilität abzüglich des Rückgangs bei den konventionellen Fahrzeugen unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Verflechtungen aller Sektoren. In umfassenden Nettostudien wird die Nettowirkung eines Wandels hin zur Elektromobilität nur über den Vergleich einer gesamtwirtschaftlichen Entwicklung mit und ohne bzw. wenig Elektromobilität vollständig erfasst.

Eine Betrachtung der Nettoeffekte beinhaltet neben den direkt betroffenen Bereichen auch weitere Aspekte wie die Auswirkung einer Änderung der Fahrzeugpreise auf die Konsumstruktur der Haushalte und die Wertschöpfung der vor- und nachgelagerten Unternehmen sowie die damit einhergehenden nachgelagerten Effekte auf die Beschäftigung (vgl. Breitschopf et al. 2013 für eine Klassifizierung in direkte, indirekte und induzierte Effekte).

Studien zu Nettoeffekten erfassen in Summe alle Wirkungen eines Wandels, und sind somit deutlich aussagekräftiger hinsichtlich der volkswirtschaftlichen Auswirkungen. Bruttobetrachtungen beziehen sich in der Regel auf die Wirkungen in einem abgegrenzten Segment oder Sektor, ohne die Wechselwirkung mit anderen Wirtschaftsbereichen inklusive Konsum zu berücksichtigen.

Im Juli 2017 hat das ifo-Institut im Auftrag des VDA eine Studie zu den Wirkungen eines Zulassungsverbots von Personenkraftwagen (Pkw) und leichten Nutzfahrzeugen (Nfz) mit Verbrennungsmotoren ab dem Jahr 2030 in Deutschland, wie es beispielsweise das Wahlprogramm der Partei Bündnis 90/Die Grünen für die Bundestagswahl 2017 vorsieht, durchgeführt (Ifo 2017). Die Studie basiert auf dem Bruttoeffektansatz und quantifiziert nur die möglichen negativen Folgen einer Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen auf die Arbeitsplätze, welche vom Verbrennungsmotor abhängen. So kommt die Studie in der Zusammenfassung u.a. zu folgenden Aussagen:

- Mehr als 600.000 heutige deutsche Industriearbeitsplätze wären direkt oder indirekt betroffen.
- Rund 130.000 Arbeitsplätze in KMU wären besonders bedroht.
- Zum heutigen Stand wären ca. 13 % (48 Mrd. €) der Bruttowertschöpfung der deutschen Industrie tangiert.

In einer weiteren aktuellen Studie der Internationalen Energieagentur (IEA 2016) wurden verschiedene Länderstudien bezüglich der ökonomischen Auswirkungen der Elektromobilität ausgewertet¹⁵. Sie kommt zu dem Fazit, dass die meisten bisherigen Studien nur die positiven Effekte der Einführung der Elektromobilität quantifizieren, ohne die wegfallenden Arbeitsplätze und Wertschöpfung bei den konventionellen Fahrzeugen gegen zu rechnen (Bruttoeffekte). Die einzelnen Studien weisen somit zum Teil hohe positive Effekte durch die Elektromobilität aus. Für Länder mit einem relevanten Automobilsektor hängen die positiven Effekte entscheidend von dem Investitionsverhalten der OEM ab¹⁶. Dies lässt sich auch damit begründen, dass Elektrofahrzeuge insgesamt eine höhere Wertschöpfung in der Herstellung haben als konventionelle Fahrzeuge (siehe Abbildung 5).

Wichtig sind auch Spill-over-Effekte, d.h. aufgrund von Kostensenkungen erfolgt Einsatz von Batterien, in der Energiewirtschaft für andere Zwecke als für Automobile, beispielsweise für stationäre Anwendungen. Auch neue energiewirtschaftliche Dienstleistungen können erheblich zu den positiven Effekten beitragen.

Umgekehrt kommt die IEA zu dem Fazit, dass ein Ignorieren des Trends hin zur Elektromobilität erhebliche Gefahren für heimische Arbeitsplätze und Wertschöpfung birgt. Weiterhin zieht die IEA die Schlussfolgerung, dass es bisher ein Mangel an transparenten Studien zu den volkswirtschaftlichen Effekten der Elektromobilität gibt, welche u.a. auch die Sensitivitäten einzelner Einflussgrößen aufzeigen.

2015 hat die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) das IPE Institut für Policyevaluation beauftragt, die Arbeitsplatzeffekte einer umfassenden Förderung der Elektromobilität in Deutschland zu analysieren (NPE 2016a). In dieser Studie wird unterstellt, dass das 1-Mio.-Ziel an Elektrofahrzeugen in Deutschland bis

¹⁵ Weitere internationale Studien sind de Bruyn et al. 2012 und Transport & Environment 2012.

¹⁶ Auch aus der Energiewende weiß man, dass die gesamtwirtschaftlichen Effekte auf nationaler Ebene insbesondere dann positiv sind, wenn die Investitionen einen zusätzlichen volkswirtschaftlichen Impuls darstellen (siehe Lutz et al. 2014).

2020 erreicht wird. Zum methodischen Vorgehen wird in (NPE 2016a) wenig ausgeführt. Die Studie kommt zu dem Fazit, dass eine umfassende Förderung der Elektromobilität bis 2020 etwa 25.000 neue Arbeitsplätze alleine im Automobilsektor im Vergleich zu einem „passiven“ Szenario schaffen würde, das die aktuelle Förderung fortschreibt. Zuzüglich der Arbeitsplatzgewinne durch den Aufbau und den Betrieb der Ladeinfrastruktur sowie durch fiskalische Effekte werden in der Summe insgesamt 30.000 zusätzliche Arbeitsplätze im Jahr 2020 für realisierbar gehalten.

Drei Studien, welche die Nettoeffekte der Elektromobilität für Deutschland quantifizieren, werden im Folgenden vorgestellt.

Im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung beim deutschen Bundestag (TAB) untersuchen Peters et al. (2012) die volks- und energiewirtschaftlichen Auswirkungen einer teilweisen Verdrängung von konventionellen Fahrzeugen durch Elektrofahrzeuge für Deutschland (TAB 2012). Auf Basis eines Szenarios für die internationale Entwicklung von Elektrofahrzeugen werden die veränderte Nachfrage und Wertschöpfung verschiedener Fahrzeugkomponenten und resultierende gesamtwirtschaftliche Effekte modellgestützt analysiert. Im Ergebnis resultiert bis 2030 eine Erhöhung des BIP um 0,8 % und ein Beschäftigungswachstum um 230.000 Personen gegenüber einem Referenzszenario ohne Elektromobilität (Nettoeffekt) (TAB 2012).

In einer weiteren Studie im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung beim deutschen Bundestag (Schade et al. 2014) werden unterschiedliche Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzszenarien untersucht. Die Szenarien unterscheiden sich hinsichtlich der Durchdringung mit alternativen Technologien, dem Anteil an importierten Vorleistungen für die Produktion von Elektrofahrzeugen sowie dem Produktivitätswachstum der Automobilindustrie. Je nach Ausprägung kann es sowohl zu positiven als auch zu negativen Nettobeschäftigungseffekten kommen. Für den Fall das technologischer Wandel auch durch verändertes Mobilitätsverhalten ergänzt wird, werden in der Studie negative Effekte in der Herstellung durch den Rückgang an Nachfrage für Fahrzeuge ermittelt, jedoch mit dem Hinweis, dass durch das Angebot dienstleistungsbasierter Geschäftsmodelle für integrierte Verkehrskonzepte durchaus Arbeitsplätze entstehen können.

Initiiert von der Daimler AG, der IGM Baden-Württemberg und der Hans-Böckler Stiftung haben mehrere Forschungsinstitute¹⁷ eine Studie zu den Arbeitsplatzeffekten durchgeführt (Spath et al. 2012). Im Gegensatz zu den beiden zuvor vorgestellten Studien wird dabei kein Modell eingesetzt, welches versucht, möglichst alle makroökonomischen Effekte zu erfassen. Es wird hingegen auf die Arbeitsplatzeffekte bei den Antriebsstrangherstellern fokussiert. Dies erfolgt für verschiedene Marktpenetrationsszenarien für alternative Antriebe. Als Ergebnis aus der Studie wird festgehalten, dass es stabile bis steigende Gesamtbeschäftigung in allen betrachteten Marktszenarien bis 2030 in Deutschland gibt (Nettoeffekte). Die stagnierenden Effekte werden in dem Szenario mit hohen Anteilen von BEV gesehen. Innerhalb der Wertschöpfungskette kann es zu massiven Verschiebungen, vor allem bei Zulieferunternehmen, kommen (Spath et al. 2012).

Neben den hier vorgestellten Studien zur Elektromobilität existieren eine Reihe weiterer Studien, welche sich umfassender mit Beschäftigungseffekten nachhaltiger Mobilitätskonzepte auseinandersetzen. Sie kommen zu überwiegend positiven Nettoeffekten¹⁸. Da sie allerdings keinen Fokus auf die Elektromobilität legen, werden sie hier nicht näher vorgestellt.

3.3 Wertschöpfungsperspektiven durch die Schlüsselkomponente Batterie in der Elektromobilität

Szenarien der Nachfrage nach Elektroautos zeigen, dass 2030 zwischen 0,5 und 2 TWh an Batteriekapazität nachgefragt werden. Eine mittlere Annahme wäre etwa 1 TWh. Deutsche OEM erzeugen bereits heute eine Nachfrage von 10-20 % nach Fahrzeugbatterien (vgl. Thielmann et al. 2016). Diese Nachfrage könnte bis

¹⁷ Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart; Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. DLR, Institut für Fahrzeugkonzepte, Stuttgart; IMU Institut, Stuttgart.

¹⁸ So legt beispielsweise die Weltgesundheitsorganisation im Rahmen ihres „Transport, Health & Economy Pan European Program“ (THE PEP, WHO 2011) einen Überblick über Jobeffekte grüner Mobilität in Europa vor. Anhand von Fallstudien wird die Entwicklung „Grüner Jobs“, d.h. Arbeitsplätze die die ökologische Nachhaltigkeit des Verkehrs durch die Förderung von zu Fuß gehen, Radfahren und ÖPNV unterstützen, exemplarisch dargestellt. Durch den Ausbau von Mobilitätsdienstleistungen entsteht ein positiver Nettoeffekt der Beschäftigung mit vergleichsweise niedrigen Investitionen. In der Studie „Wirtschaftliche Aspekte nichttechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr“ ermittelten Fraunhofer ISI, Infrac und IFEU (Doll et al. 2013) neben Nachhaltigkeitskennwerten auch die Arbeitsplatzeffekte von Verlagerungs- und Effizienzmaßnahmen im Verkehr. Für das Jahr 2020 wurde für jeweils 10 % mehr Anteil des Fuß und Radverkehrs sowie für 10 % kürzere Wege durch Stadt- und Regionalplanung eine um 3,3 % bis 4,10 % erhöhte Nettobeschäftigung im Sektor Verkehr gefunden.

2030 bei 100-200 GWh liegen. Der geplante Aufbau von Zellproduktionskapazitäten, wie durch TerraE geplant (34GWh bis 2028, vgl. TerraE 2017), sowie der potenzielle Ausbau von Kapazitäten durch weitere Akteure wie VW oder Bosch wäre somit also an eine inländische, reale und weiter steigende Nachfrage gekoppelt. Die Kosten für die Batteriezelle dürften um 2030 bei durchschnittlich 100 €/kWh liegen. Die Herstellung dann von ganzen Batteriesystemen und die Systemintegration in das Fahrzeug führen letztendlich zu Endkundenpreisen von ca. 300-500 €/kWh. Die Nachfrage bzw. der Markt für Batterien könnte daher um 2030 global bei 100-500 Mrd. € und für Deutschland bei 10-100 Mrd. € liegen (von direktem Umsatz aus Zellfertigung bis zu nachgelagerter Wertschöpfung rund um Elektromobilität, stationäre Energiespeicherung etc.).

Für eine Zellproduktion schätzt die NPE (Roadmap integrierte Zell- und Batterieproduktion Deutschland, NPE 2016b) 1.300 Beschäftigte bei einer Produktionskapazität von 13 GWh. Inklusive indirekter Arbeitsplätze könnte die Beschäftigung bei einem dreifachen und mehr liegen. Hierbei sind weitere Beschäftigungseffekte z.B. bei dem Übergang in stationäre Anwendungen, an der Schnittstelle zum Energiesystem etc. nicht berücksichtigt. Eine Hochskalierung anhand der für 2030 erwarteten Nachfrage ergäbe ein Potenzial für 10-20 Tsd. (nur im Kontext einer Zellfertigung) bis in den Bereich von über 30-60 Tsd. Beschäftigte (nur im Zusammenhang mit der Batterieindustrie). Weitere indirekt Beschäftigte könnten zu Arbeitsplatzeffekten bis in den Bereich von 100 Tsd. Arbeitsplätzen führen.

Eine umgekehrte („top-down“) Abschätzung (1-5 Beschäftigte je 1 Mio. € Produktionswert) ergäbe ebenso ein Potenzial von 10-100 Tsd. (im engeren Kontext um eine Batteriefertigung) bzw. von 50 bis einige 100 Tsd. Beschäftigte (bei Einbezug des gesamten vor- und nachgelagerten Innovationssystems) in und um die Batterieindustrie (d.h. Elektromobilität, stationäre Energiespeicherung).

Neben der Batterie, welche im Elektroauto bis zu 20-40 % der Wertschöpfung ausmachen kann (siehe Kapitel 2.2), werden weitere Schlüsselkomponenten benötigt wie Leistungselektronik, Elektromotoren etc., in welchen Deutschland Wertschöpfung und Beschäftigungseffekte erzielt und künftig erzielen kann. Beispielsweise gewinnen zudem Innovationen wie Leichtbau, 3D-Druck, Autonomie des Transports und der Energieversorgung etc. an Bedeutung und hängen alle mit nachhaltigen Mobilitätskonzepten aber auch anderen Branchen zusammen. Mit dem Wandel zur Elektromobilität können und dürfen solche künftig entstehenden Arbeitsplätze nicht mehr branchenunabhängig betrachtet werden, sondern werden eng miteinander gekoppelt sein.

3.4 Zusammenfassung der Analysen zu Arbeitsplatzeffekten und Wertschöpfung sowie Schlussfolgerungen hieraus

Die Bewertung von Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten für einen zukünftigen Zeitpunkt ist methodisch anspruchsvoll und mit großen Unsicherheiten behaftet. Dies zeigt sich auch in dem deutlich besser erforschten Bereich des Wandels der Energiewirtschaft, für den eine Vielzahl an Studien sowohl zu Brutto- als auch zu Nettoeffekten vorliegen. Mehrheitlich weisen die Studien positive Nettoeffekte auf, es existieren aber auch eine Reihe an Studien mit abweichendem Ergebnis. In Dehnen et al. (2015) ist eine bündige Zusammenfassung zentraler Ergebnisse einer Vielzahl von Analysen zu Brutto- sowie Nettobeschäftigungseffekten der Energiewende zu finden.

In Studien zu möglichen volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Elektromobilität sind Annahmen hinsichtlich Marktverbreitung von konventionellen Pkw und Elektrofahrzeugen für Deutschland und den Rest der Welt zu treffen, aber auch die Entwicklung anderer Rahmenbedingungen und der Industriestruktur spielt eine Rolle. Für Deutschland haben die Autoren nur wenige Studien für die Beschäftigungswirkung von Elektrofahrzeugen bis 2030 identifiziert. Von diesen untersuchen drei sowohl den Abbau von Arbeitsplätzen im Bereich konventioneller Antriebstechnik sowie der weiteren davon tangierten Sektoren als auch den Zuwachs im Bereich alternativer Antriebe und anderer betroffener Sektoren. Diese drei Studien weisen trotz großer methodischer Unterschiede tendenziell eher eine gleichbleibende oder eine positive Nettobilanz für den Automobilstandort Deutschland aus, unter der Annahme, dass deutsche Unternehmen auch erfolgreich Elektrofahrzeuge produzieren.

Das Herunterbrechen der Analyse auf einzelne Schlüsselkomponenten der Elektromobilität und deren Verknüpfung mit Branchen außerhalb der Automobilindustrie zeigt große Potenziale für Beschäftigung und Wertschöpfung auf.

Festzuhalten ist, dass sich weitere FuE-Fragen und Erfordernisse erst mit der Entwicklung neuer Mobilitätskonzepte ergeben, insbesondere auch an der Schnittstelle zu anderen Branchen/Sektoren. Sie bieten den Boden für erste Ideen und Chancen für neue Geschäftsmodelle. Das heißt, erst durch Systemtransformationen wie der Elektromobilität bzw. nachhaltiger Mobilität, der Energiewende, Industrie 4.0 etc. und deren Verknüpfungen werden neue FuE-Fragen aufgeworfen, innovative Produkte (Fahrzeuge) und neue Geschäftsmodell vorangetrieben und schließlich Wertschöpfung und Beschäftigung generiert. Erst im

Laufe der Zeit wird sich genauer zeigen, wie viele und welche Art von Arbeitsplätzen entstehen können.

Sofern Deutschland eine hohe Wettbewerbsfähigkeit auch in der Produktion bei Elektrofahrzeugen einnimmt, wovon auf Basis der vorliegenden Analysen auszugehen ist, dürften negative Beschäftigungseffekte weitgehend ausgeglichen werden bzw. es können sogar positive Effekte erzielt werden. Wie oben ausgeführt gilt es bei derartigen Analysen aber nicht nur die Beschäftigungseffekte in der Produktion zu betrachten, sondern auch die Effekte in den anderen Bereichen wie beispielsweise der Energiewirtschaft, den Tankstellen und der Ladesäulenproduktion und -errichtung zu berücksichtigen.

Unbestritten ist, dass Elektromobilität neue Arbeitsplätze mit veränderten Tätigkeitsprofilen generiert. Dies erfordert eine gewisse Flexibilität der Arbeitnehmer hinsichtlich Qualifikation, Umbildung, Arbeitsort und Art der Tätigkeit. Aber ein Beharren auf konventionellen Technologien würde die Chancen für erfolgreiche Entwicklungen und Innovationen in der Elektromobilität deutlich vermindern und die langfristige Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie (auch jenseits der Automobilindustrie) beeinflussen. Nach Meinung der überwiegenden Zahl der Experten wird der weltweite Wandel zur Elektromobilität kommen und die deutsche Industrie muss sich daran weiter aktiv beteiligen, um nicht deutliche negative Effekte bei einer seiner volkswirtschaftlichen Schlüsselsektoren befürchten zu müssen.

Dies wird durch eine aktuelle Studie von Deloitte (2017) zur Zukunft der Automobilindustrie bestätigt. In dieser wird die Elektromobilität neben autonomen Fahren und Industrie 4.0 als No-Regret-Maßnahmen, d.h. als Maßnahme welche unabhängig von der Markt- und Technologieentwicklung ökonomisch und gesellschaftlich sinnvoll sind, für die Automobilindustrie eingestuft.

4 Literatur

- Adolf, J.; Balzer, C.; Joedicke, A.; Schabla U.; Wilbrand, K.; Rommerskirchen, S.; Anders, n.; Auf der Maur, A.; Ehren-traut, O.; Krämer, L.; Straßburg, S. (2014): Shell Pkw-Szenario bis 2040. Fakten, Trends und Perspektiven für Auto-Mobilität. Kurzfassung. Hamburg: Shell Deutschland Oil GmbH.
- Breitschopf, B.; Nathani, C.; Resch, G. (2013): Employment Impact Assessment Studies-Is There a Best Approach to Assess Employment Impacts of RET Deployment. In: Renewable Energy L. & Pol'y Rev., S. 93.
- de Bruyn, S.; Brinke, L.; Kampman, B.; Koopman, M. (2012): Literature review on employment impacts of GHG reduction policies for transport. Delft: CE Delft.
- Dehnen, N.; Mattes, A.; Traber, T. (2015): Die Beschäftigungseffekte der Energiewende. Eine Expertise für den Bundesverband WindEnergie e.V. und die Deutsche Messe AG. Berlin: DIW Econ GmbH.
- Deloitte (2017): The Future of the Automotive Value Chain. Deloitte.
- Doll, C.; Hartwig, J.; Senger, F.; Schade, W.; Maibach, M.; Suter, D.; Bertschmann, D.; Lambrecht, U.; Knörr, W.; Dünnebeil, F. (2013): Wirtschaftliche Aspekte nicht-technischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr. UBA Texte 11/2013. Dessau: Umweltbundesamt.
- Falck, O.; Ebnet, M.; Koenen, J.; Dieler, J.; Wackerbauer, J. (2017): Auswirkungen eines Zulassungsverbots für Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge mit Verbrennungsmotor. München: ifo Zentrum für Industrieökonomik und neue Technologien und ifo Zentrum für Energie, Klima und erschöpfbare Ressourcen.
- Gnann, T. (2015): Market diffusion of plug-in electric vehicles and their charging infrastructure. Fraunhofer-Verlag Stuttgart.
- Helms, H.; Jöhrens, J.; Kämper, C.; Giegrich, J.; Liebich, A.; Vogt, R.; Lambrecht, U. (2016): Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen. UBA Texte 27/2016. Dessau: Umweltbundesamt.
- International Energy Agency (IEA) (2016): IA-HEV-TCP Task 24: Economic Impact Assessment of E-mobility. Final Report. Paris: IEA.
- International Energy Agency (IEA) (2017a): Global EV Outlook 2017. Paris: IEA Publications.
- International Energy Agency (IEA) (2017b): Energy Technology Perspectives 2017 - Catalysing Energy Technology Transformations. Paris: IEA Publications.
- Kasten, P.; Mottschall, M.; Köppel, W.; Degünther, C.; Schmied, M.; Wütherich, P. (2016): Erarbeitung einer fachlichen Strategie zur Energieversorgung des Verkehrs bis zum Jahr 2050. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau: Öko-Institut e.V.
- Lutz, Ch.; Lehr, U.; Ulrich, Ph.; Schlesinger, M. (2012): Analyse der gesamtwirtschaftlichen Effekte des Energiemarktes. GWS Discussion Paper 2012/7. Osnabrück: GWS, Prognos.
- MarkLines Co. Ltd. (2017). Automotive Industry Portal. Website von MarkLines. Internetdownload vom 26.07.2016. https://www.marklines.com/portal_top_en.html.

- Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) (2016a): Arbeitsplatzeffekte einer umfassenden Förderung der Elektromobilität in Deutschland. Herausgeber: Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung (GGEMO). Berlin: GGEMO.
- Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) (2016b): Roadmap integrierte Zell- und Batterieproduktion Deutschland. Herausgeber: Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung (GGEMO). Berlin: GGEMO.
- Nitsch, J.; Pregger, T.; Naegler, T.; Heide, D.; de Tena, D.L.; Trieb, F. et al. (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Schlussbericht. Hg. v. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) und Ingenieurbüro für neue Energien (IFNE). Stuttgart, Kassel, Teltow.
- Plötz, P.; Eichhammer, W.: Zukunftsmarkt Effiziente Elektromotoren - Fallstudie im Rahmen des Vorhabens „Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen, ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des nationalen Teils der Klimaschutzinitiative“. Karlsruhe: Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI).
- Plötz, P.; Funke, S.Á.; & Jochem, P. (2017): Empirical Fuel Consumption and CO₂ Emissions of Plug-In Hybrid Electric Vehicles. Journal of Industrial Ecology. In press.
- Repenning, J.; Matthes, F.C.; Blanck, R.; Emele, L.; Döring, U.; Förster, H. et al. (2014): Klimaschutzszenario 2050. Hg. v. Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.; Fraunhofer ISI. Berlin: BMU.
- RWTH (2014): Modellierung der zukünftigen elektromobilen Wertschöpfungskette und Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Stärkung des Elektromobilitätsstandortes NRW. Gemeinschaftlicher Abschlussbericht. RWTH Aachen University (Institut für Kraftfahrzeuge (ika)) (Konsortialführer); Forschungsgesellschaft Kraftfahrzeugwesen mbH Aachen (fka); ISATEC GmbH; Wirtschaftsförderung Wuppertal AöR. Aachen: RWTH.
- Schade, W., Zanker, C., Kühn, A., Hettesheimer, T. (2014). Sieben Herausforderungen für die deutsche Automobilindustrie: Strategische Antworten im Spannungsfeld von Globalisierung, Produkt- und Dienstleistungsinnovationen bis 2030 (Vol. 40). Berlin: edition sigma.
- Spath, D. et al. (2012): Elektromobilität und Beschäftigung - Wirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs auf Beschäftigung und Standortumgebung (ELAB). Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, IMU Institut und das Institut für Fahrzeugkonzepte des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt. Studie beauftragt von der Daimler AG und der Hans-Böckler-Stiftung. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung.
- Statista (2017): Wert der Importe von Erdgas und Rohöl nach Deutschland in den Jahren 2008 bis 2016 (in Milliarden Euro). Internetdownload vom 30.07.2017: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/151081/umfrage/importe-von-erdgas-und-rohoel-nach-deutschland/>.

- TAB (2013): Konzepte der Elektromobilität und deren Bedeutung für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt. Innovationsreport für das Büro für Technikfolgenabschätzung (TAB) beim Deutschen Bundestag, Arbeitsbericht, 153. Fraunhofer ISI Autoren: Peters, A.; Doll, C.; Kley, F.; Möckel, M.; Plötz, P.; Sauer, A.; Zanker, C. et al. Berlin: edition sigma.
- TerraE (2017): TerraE bestätigt deutsche Giga-Fabrik für Akku-Zellen. Internetdownload vom 22.05.2017. <https://www.electrive.net/2017/05/22/terrae-giga-fabrik-fuer-akku-zellen-in-deutschland/> .
- Thielmann, A.; Fan, C.; Friedrichsen, N.; Gnann, T.; Hettesheimer, T.; Hummen, T.; Marscheider-Weidemann, F.; Reiß, T.; Sauer, A.; Wietschel, M. (2014): Energiespeicher für die Elektromobilität. Deutschland auf dem Weg zum Leitmarkt und Leitanbieter? Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Thielmann, A.; Friedrichsen, N.; Hettesheimer, T.; Hummen, T.; Sauer, A.; Schneider, C.; Wietschel, M. (2016): Energiespeicher-Monitoring 2016. Deutschland auf dem Weg zum Leitmarkt und Leitanbieter? Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Thielmann, A.; Sauer, A.; Wietschel, M. (2015): Gesamt-Roadmap Energiespeicher für die Elektromobilität 2030. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Transport&Environment (2012): Briefing. Low Carbon Vehicles: Good for EU Employment. Brüssel: Transport&Environment.
- Umweltbundesamt (UBA) (2017): Energieverbrauch nach Energieträgern, Sektoren und Anwendungen. Internetdownload vom 30.07.2017: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energiebereitstellung-verbrauch/energieverbrauch-nach-energetraegern-sektoren>.
- Wietschel, M.; Jokisch, S.; Boeters, S.; Schade, W.; Seydel, P. (2009): Macroeconomic Impacts of Hydrogen. in Ball, M.; Wietschel, M. (Hrsg.) (2009): The Hydrogen Economy. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wietschel, M.; Plötz, P.; Kühn, A.; Gnann, T. (2013): Markhochlaufszzenarien für Elektrofahrzeuge – Kurzfassung. Studie im Auftrag der acatech und der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE). Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- WHO (2011): Green and Healthy Jobs in Transport: Launching a New Partnership under THE PEP. Transport, Health and Environment Pan-European Programme. Vereinte Nationen, Economic Commission for Europe (UN-ECE). Weltgesundheitsorganisation (WHO). Regionalbüro für Europa. Kopenhagen: WHO



Autorinnen und Autoren

Prof. Dr. Martin Wietschel

Dr. Axel Thielmann

Dr. Patrick Plötz

Dr. Till Gnann

Luisa Sievers

Dr. Barbara Breitschopf

Dr. Claus Doll

Cornelius Moll

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Karlsruhe



Kontakt

Brigitte Mastel

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Karlsruhe

E-Mail: brigitte.mastel@isi.fraunhofer.de

www.isi.fraunhofer.de

Karlsruhe 2017