



Roadmap Elektromobilität Deutschland

Ziele, Chancen, Risiken,
notwendige Maßnahmen und politische Initiativen

Jens Clausen (Borderstep)

Stand: Januar 2018

Projektleitung

adelphi research gemeinnützige GmbH

Alt-Moabit 91
14193 Berlin

T +49 (0)30-89 000 68-0
F +49 (0)30-89 000 68-10

www.adelphi.de
office@adelphi.de

Projektpartner

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH

Clayallee 323
14169 Berlin

T: +49 (0)30 - 306 45 1000

www.borderstep.de
info@borderstep.de

IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige GmbH

Schopenhauerstr. 26
14129 Berlin

T: +49 (0) 30 80 30 88-0

www.izt.de
info@izt.de

Abbildung Titel: © e.GO Mobile AG Mediathek

evolution2green wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung.



Zusammenfassung

Das Projekt Evolution2Green hat u.a. darauf gezielt, im Feld der Elektromobilität Hemmnisse und Pfadabhängigkeiten, erfolgreiche Ansätze für den Wandel zur Elektromobilität sowie notwendige Maßnahmen zu identifizieren. Die in der Roadmap zusammengefassten Fakten beantworten viele Fragen, die derzeit im Umfeld der Elektromobilität aufgeworfen werden:

- Sind Elektro-PKW mit Batterie tatsächlich klimaschonender als effiziente Hybridautos oder Brennstoffzellenfahrzeuge?
- Wieso ist der Pfadwechsel vom Verbrennungsmotor zum Elektroantrieb von so gravierender volkswirtschaftlicher Bedeutung?
- Welche Maßnahmen und welche Akteure können helfen, diese Pfadwechsel in Gang zu setzen?

Wirtschaftspolitisch besteht eine Chance darin, Deutschland in den nächsten Jahren zu einem Leitmarkt der Elektromobilität zu entwickeln. Ein solcher Leitmarkt müsste die normative Idee eines über die den gesamten PKW-Lebenszyklus wirksam klimaneutralen PKW-Verkehrs mit dem großen Vorsprung zusammenführen, den die deutsche Automobilbranche in der Produktion qualitativ hochwertiger PKW hat. Die Realisierung eines deutschen Leitmarktes für Elektromobilität und damit die angestrebte Technologieführerschaft deutscher Hersteller bedarf dabei allerdings eines schnellen Wachstums des nationalen Absatzmarktes.

Umweltpolitisch kann die Elektromobilität aus heutiger Sicht einen großen und vergleichsweise rasch wirkenden Beitrag zur Bekämpfung des Treibhauseffektes, zur Reduktion der Schadstoffbelastung in Innenstädten sowie auch zur Reduktion der innerörtlichen Lärmemissionen leisten.

Aber was ist zu tun? Wodurch kann die bestehende starke Bindung an den Verbrennungsmotor überwunden und das neue Technologiefeld der elektrischen, digitalen und zunehmend autonom fahrenden Automobile erschlossen werden? Für die erfolgreiche und großzahlige Einführung von Elektrofahrzeugen in den deutschen Automobilbestand sind sowohl kurz- (bis 2020) wie auch mittelfristige (bis 2030) aufwendige Maßnahmen erforderlich.

Die Aufgabe der kurzfristigen Maßnahmen besteht primär darin, die Ladeinfrastrukturen systematisch aufzubauen und den Absatzmarkt für die um das Jahr 2020 geplante Markteinführung zahlreicher elektrischer Modelle der großen deutschen Hersteller vorzubereiten.

Von zentraler Bedeutung ist dabei, dass Elektroautos im Vergleich zu Autos mit Antrieb durch Verbrennungsmotor wettbewerbsfähiger werden. Dies betrifft sowohl den Verkaufspreis als auch die Reichweite und eine nutzergerechte Variantenvielfalt. Wichtig ist die Entwicklung von Automobilen, die von vornherein „elektrisch“ angelegt sind und so preiswerter produziert werden können als Wagen, die quasi umgebaute „Verbrenner“ sind, wie z.B. heute der E-Golf oder der E-Up. Dass dieser Weg aussichtsreich ist, zeigen die Entwicklung des Post-Street-scooters, des eGo Life, des Tesla Model 3 und auch der Modulare Elektrobaukasten (MEB) von Volkswagen mit seinen geplanten Modellen. Das jetzt in Entwicklung befindliche Grundmodell des Volkswagen ID soll eine mit dem Golf vergleichbare Preisgestaltung haben. Über günstigere Betriebskosten werden sich dann Vorteile in den TCOs ergeben.

Die Änderung von Wunschvorstellungen, Erwartungen und Routinen bei breiten Kundenkreisen in Bezug auf Automobile ist ebenso erforderlich. Heute noch dürfte sich die unhinterfragte Grundvorstellung in vielen Köpfen befinden, dass ein Auto brummt, bei Vollgas aufheult und sich in wenigen Minuten volltanken lässt. Es wird erwartet, dass man auch spontan zu langen Fahrten aufbrechen kann. Einige dieser Vorstellungen müssen sich, zumindest mit Blick auf die heutige Batterietechnik und Ladeinfrastruktur, ändern. Zwar ist es möglich, dass in Zukunft

mit radikal kürzeren Ladezeiten diese Unterschiede zwischen Verbrenner und Batteriefahrzeug fast verschwinden, heute aber sind sie ohne Zweifel vorhanden. Die Änderung dieser unhinterfragten Vorstellungen und Wünsche ist letztlich ein Vorgang der Änderung der Mobilitätskultur und es ist zu erwarten, dass dieser Vorgang vergleichsweise viel Zeit – in jedem Falle mehrere Jahre - benötigt. Wenn der für das Jahr 2020 geplante Produktionsanlauf der elektrischen Massenmodelle der deutschen Hersteller auf einen aufnahmebereiten Markt treffen soll, muss hier rasch gehandelt werden.

Durch regionale Bündnisse kann der Pfadwechsel zur Elektromobilität unterstützt werden. Diese könnten sowohl die Entwicklung in Produktion, Herstellung und Standortmarketing rund um mögliche Cluster „Elektromobilität“ in Bewegung bringen. Aber auch die Verbreitung und Nutzung von Elektromobilen durch Privatleute, durch Flottenkunden und im Tourismus könnten durch solche Bündnisse gefördert werden. Infoveranstaltung für Autohäuser, Flotten- und Privatkunden wären durch solche Bündnisse durchzuführen. Die Kooperation mit den Gemeinden und Stadtwerken bietet sich hier genauso an wie die Zusammenarbeit mit Stromversorgern, um auch die Ladeinfrastruktur koordiniert, sinnvoll und zukunftsfähig weiter auszubauen.

In der Deutschen Automobilindustrie arbeiten insgesamt über 800.000 Menschen. Sie exportiert ca. 60% ihrer Produkte im Wert von ungefähr 250 Milliarden € p.a. Das diese Branche auch nach dem Pfadwechsel zur Elektromobilität wettbewerbsfähig ist und hochpreisige Premium-Fahrzeuge erfolgreich exportiert ist, für den Wirtschaftsstandort Deutschland zentral. Die mittel- und langfristig notwendigen Maßnahmen zielen auf die dauerhafte Sicherung und den Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilhersteller mit Premium-Elektrofahrzeugen im Weltmarkt der zweiten Hälfte der zwanziger Jahre und bauen auf dem Erfolg der kurzfristigen Maßnahmen auf.

Von kaum zu überschätzender Bedeutung ist die Batterietechnik, von der Reichweite, Ladezeiten, Kosten und Ökoeffizienz der Herstellung von Elektrofahrzeugen entscheidend abhängen. Koordiniert durch die Bundesregierung und unterstützt durch Forschungsförderung sollte sowohl an der Forschung und Entwicklung wie der Aufskalierung der Produktion von Batteriezellen und Batterien gearbeitet werden. Die F&E zu neuen, leistungsfähigeren, preisgünstigeren und ressourcenschonenderen Batteriekonzepten sollte erheblich forciert werden.

Eine zentrale Stärke der deutschen Hersteller ist die Fähigkeit, hochqualitative Premiummodelle zu produzieren. Dies eröffnet ihnen sogar objektiv die Chance, als „me too“ Elektroautos zwar nicht als erste einzuführen, sie dafür aber „besser“ zu machen. Auch hierzu aber benötigen die deutschen Hersteller einen starken Leitmarkt mit anspruchsvollen Kunden in Deutschland, für die noch für einige Jahre erhebliche Kaufanreize erforderlich sein werden. Nur aus einem starken Heimatmarkt können Rückmeldungen und Impulse in die F&E der Hersteller kommen, die die Premium-Produktion deutscher Hersteller verbessern helfen.

Um ein solches, anspruchsvolles Maßnahmenprogramm umsetzen zu können bedarf es einer aktiven Koordination durch die Bundesregierung und der konstruktiven Zusammenarbeit der beteiligten Ministerien für Wirtschaft und Energie, Umwelt und Verkehr.

Die immer wieder emotional geführte Debatte um den Ausstieg aus dem Verbrennungsmotor verstellt den Blick dafür, dass ein solcher Ausstieg in den nächsten 30 Jahren, ob wir ihn wollen oder nicht, aller Voraussicht nach kommen wird. Damit dies keine vermeidbaren Verwerfungen bei Herstellern und Zulieferern zur Folge hat und dadurch unnötig private wie auch volkswirtschaftliche Werte vernichtet werden, bedarf es einer weniger emotional geführten, sachlichen Debatte darüber, wie ein solcher Ausstieg geführt und wie seine Folgen abgemildert werden können. Schon heute ist ja sichtbar, dass sich große Gruppen der weitsichtigeren Hersteller und Zulieferer auf den Pfadwechsel vorbereiten.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung	7
2 Potenziale alternativer PKW-Antriebe	8
2.1 Batterieelektrische Fahrzeuge	8
2.2 Fahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb	9
2.3 Hybridfahrzeuge	10
2.4 Beurteilung der alternativen Antriebe mit Blick auf das Jahr 2050	10
3 Pfadabhängigkeiten	12
4 Ziele und Trends in der Elektromobilität	14
5 Chancen, Risiken und Herausforderungen	16
5.1 Chancen	16
5.2 Risiken	17
5.3 Herausforderungen	18
6 Pfadwechsel: Maßnahmen und Initiativen	19
6.1 Einfache und praxisgerechte Ladeinfrastruktur	19
6.2 Preiswerte und nutzergerechte Elektroautos	20
6.3 Ökonomischen Rahmen für die Elektromobilität setzen	20
6.4 Nutzergruppen für die Elektromobilität erschließen	21
6.5 Regionale Aktivitäten und Kommunikationsmaßnahmen	21
6.6 Politische Priorisierung und Zuordnung der Elektromobilität	22
6.7 Langfristige Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie im Weltmarkt	23
6.8 Klimaneutrale und umweltverträgliche Autoproduktion	23
6.9 Koordination des Ausstiegs aus der Verbrenner-Technologie	24
7 Akteure und Zeithorizonte	26
7.1 Roadmap Elektromobilität im Überblick	26
7.2 Die Rollen der Akteure	27
Literaturverzeichnis	29

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Treibhausgasemissionen verschiedener Fahrzeugkonzepte unter heute durchschnittlichen Bedingungen in Deutschland in g CO ₂ /km	8
Abbildung 2: Notwendige Stromerzeugung, um genug Energie für 626 Milliarden km Fahrleistung PKW (2016) zu haben für verschiedene klimaneutrale Antriebsarten	11
Abbildung 3: Pfadwechsel-Roadmap Elektromobilität Deutschland im Überblick	26

Abkürzungsverzeichnis

BEV	batterieelektrisches Fahrzeug
FCV	Fuel Cell Vehicle (Brennstoffzellenfahrzeug)
HEV	Hybridfahrzeug
ICEV	Internal Combustion Engine Vehicle (Fahrzeug mit Verbrennungsmotor)
NPE	Nationale Plattform, Elektromobilität
PEV	Plug-in Hybridfahrzeug
TCO	Total Cost of Ownership

1 Einleitung

Das Projekt Evolution2Green hat in einem seiner Schwerpunkte darauf gezielt, im Feld der Elektromobilität Hemmnisse und Pfadabhängigkeiten, erfolgreiche Transformationsansätze sowie notwendige Maßnahmen für den Pfadwechsel zu identifizieren. Die gewonnenen Erkenntnisse beantworten viele Fragen, die derzeit im Umfeld der Elektromobilität aufgeworfen werden:

- Sind Elektro-PKW mit Batterie tatsächlich klimaschonender als effiziente Hybridautos oder Brennstoffzellenfahrzeuge?
- Welche Pfadabhängigkeiten binden die deutsche Automobilbranche so wirksam an den Verbrennungsmotor?
- Wieso ist der Pfadwechsel vom Verbrennungsmotor zum Elektroantrieb von so gravierender volkswirtschaftlicher Bedeutung?
- Welche Maßnahmen und welche Akteure können helfen, diesen Pfadwechsel in Gang zu setzen?

Das Projekt Evolution2Green wird von adelphi gemeinsam mit dem Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung und dem Borderstep Institut durchgeführt und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert.

Die vorliegende Roadmap stellt die Ergebnisse aller Arbeiten zur Elektromobilität im Überblick dar und fokussiert dabei auf Maßnahmen und politische Initiativen, die im Rahmen der Transformation zu einer klimaneutralen und umweltverträglichen motorisierten Individualmobilität mit einer international wettbewerbsfähigen Automobilbranche in Deutschland erforderlich scheinen. Ein nachhaltiges Verkehrssystem erfordert darüber hinaus die Reduzierung des Verkehrsaufkommens, die Förderung des ÖPV sowie den Fuß- und Fahrradverkehr inklusive der Pedelecs (NABU Bundesverband, 2016). Dennoch erfolgt an dieser Stelle ein Fokus auf Automobilantriebe, da PKWs für die nächsten Jahrzehnte eine hohe Bedeutung im Modal-Mix behalten werden.

Die Roadmap basiert auf der systematischen Analyse von Pfadabhängigkeiten, die einer Transformation zur Green Economy entgegenwirken. Untersucht wurden im Kontext der Mobilität die Felder PKW-Antriebe (Clausen, 2017a), Straßen (Clausen, 2017b), Mobilitätsverhalten (Korte, Göll & Behrendt, 2017) sowie die Entsorgung von Altfahrzeugen (Tappeser & Chichowitz, 2017).

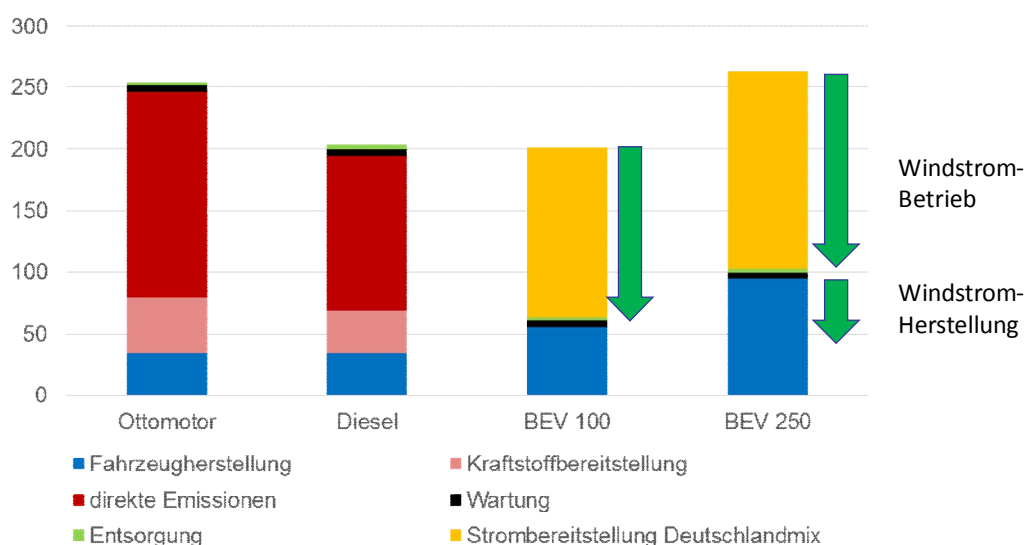
Weiter wurden Fallstudien erfolgreicher Transformationsprozesse erstellt, um Erfolgsfaktoren für eine Transformation sowie lösungsorientierte Handlungs- und Steuerungsansätze zu identifizieren. Rund um die Elektromobilität wurden Länderstudien zu Norwegen (Clausen, 2017c), Kalifornien (Clausen, 2017d), China (Beigang & Clausen, 2017) und den Niederlanden angefertigt (Perleberg & Clausen, 2017). Weiter wurden die Entwicklung des Streetscooters (Clausen, 2017e) sowie des Unternehmens Tesla (Clausen & Perleberg, 2017) analysiert.

Gemeinsam mit der IG Metall Emden wurde im Oktober 2017 eine Zukunftswerkstatt durchgeführt, an der 30 Akteure aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft teilnahmen. In 7 fokussierten Themenkreisen wurden Maßnahmen und Strategien erarbeitet, die in die Roadmap eingeflossen sind. Die Roadmap richtet sich an Akteure aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft.

2 Potenziale alternativer PKW-Antriebe

Das Umweltbundesamt (2016, S. 19) sieht beim PKW ein Kontinuum vom konventionellen Antrieb durch Verbrennungsmotor (ICEV) über verschiedene Hybridvarianten (Hybrid, Plug-In, Range Extender) bis zum reinen Elektrofahrzeug (BEV). Für die Beurteilung der Klimawirkung von BEV ist dabei neben der Batteriegröße für 100 km (BEV 100) und 250 km (BEV 250) Reichweite die Frage, ob der Strom aus dem Deutschlandmix oder aus erneuerbaren Quellen, z.B. Windstrom kommt, entscheidend. Weitere Verbesserungen können durch die Versorgung der Fahrzeug- wie der Batteriezellproduktion mit erneuerbarem Strom erzielt werden.

Abbildung 1: Treibhausgasemissionen verschiedener Fahrzeugkonzepte unter heute durchschnittlichen Bedingungen in Deutschland in g CO₂/km



Quelle: in Anlehnung an Umweltbundesamt (2016, S.19)

Neben dem batterieelektrischen Fahrzeug (BEV) wird auch das Brennstoffzellenfahrzeug (FCV) als reines Elektrofahrzeug eingestuft.

2.1 Batterieelektrische Fahrzeuge

Für den reinen Elektroantrieb eines PKW wird der Verbrennungsmotor mit seinen Komponenten fortgelassen und stattdessen ein oder zwei Elektromotoren an den Achsen oder in den Radnaben sowie eine Leistungselektronik zur Motorsteuerung und eine Batterie eingebaut. Obwohl Leistungselektronik und Elektromotoren erheblich leichter sind als ein Verbrennungsmotor ergibt sich ein Gewichtsnachteil, da die bisherigen Batterien noch sehr schwer sind. Die Herstellung einer Batterie ist zudem teuer und mit erheblichem Energie- und Ressourcenaufwand verbunden. Vielfältige Studien untersuchen die Herstellung von Li-Ionen Batterien ökobilanziell, zuletzt Romare und Dahllöf (2017), die in der Batterieherstellung aus Umweltsicht erheblichen Bedarf zur Steigerung der Öko-Effizienz sehen. Mit Blick auf die Vielfalt der gegenwärtig in Entwicklung befindlichen Batteriesysteme, beispielhaft das Konzept einer Natrium-Glas Batterie mit deutlich gesteigerter Kapazität pro kg (Braga, Grundish, Murchison & Goodenough, 2017) sowie einer Batterie mit ultrakurzer Ladezeit von 6 Minuten für 32 kWh

(Toshiba Corp Japan, 2017), ist nicht unwahrscheinlich, dass bei dieser Technologie noch erhebliche Effizienzpotenziale erschlossen werden können.

Das Umweltbundesamt (2016) kommt aktuell zu dem Schluss, dass Elektrofahrzeuge, wenn sie mit erneuerbarem Strom betrieben werden, sowohl in der Nutzungsphase als auch in der Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus klare Klimavorteile haben, und der heute noch erforderliche Aufwand der Fahrzeugherstellung durch Verbesserung spezifischer Batterieeigenschaften und verstärktes Recycling, auch aus ökonomischen Gründen, deutlich effizienter werden wird. Durch Herstellung unter Nutzung regenerativer Energie kann dieser Vorteil weiter ausgebaut werden.

Elektrofahrzeuge stoßen in der Nutzung keine Emissionen wie NO_x oder Feinstaub aus. Schädliche Emissionen sind eher mit der Herstellung verbunden, die Innenstädte würden also deutlich entlastet. Da die Geräusentwicklung des Antriebs eines PKW neben den Windgeräuschen und den Reifen nur einer von drei wichtigen Ursachen ist, wirkt sich der leise Elektroantrieb auf die Lärmemissionen nur bei niedrigen Geschwindigkeiten bis zu 30 km/h aus.

Nachdem erste im Vergleich zu Verbrennern deutlich wirtschaftlichere Elektrofahrzeuge bereits seit kurzem verfügbar sind (Clausen, 2017f) ist mit ihrer Verbreitung relativ bald zu rechnen. Kostenvorteile entwickeln diese Fahrzeuge zunächst auf der Kurzstrecke. Ihre kleinen und damit preiswerten Batterien ermöglichen Reichweiten von 100 bis 150 km.

Parallel wird intensiv das Netz an Ladesäulen ausgebaut und die Reichweite der verfügbaren Fahrzeuge wird bis 2020 deutlich ansteigen, womit sich die Vorteilhaftigkeit der Elektrofahrzeuge auf weitere Marktsegmente ausdehnen wird. Auch die Fahrdynamik der Elektrofahrzeuge dürfte bei ihrer weiteren Diffusion eine wesentliche Rolle spielen (Clausen, 2017a, S. 27; Valentine-Urbschat & Valentine-Urbschat, 2014, S. 22).

2.2 Fahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb

In einer Brennstoffzelle treffen Wasserstoff und Sauerstoff an einer Elektrolytmembran aufeinander und werden chemisch zu Wasser umgewandelt. Bei dieser Reaktion wird Strom frei, der dem Antrieb eines Elektromotors dienen kann. Im Vergleich zum BEV hat das Verfahren aber einen deutlichen Nachteil bei der Effizienz: Um für 100 Fahrkilometer 20 kWh Strom zur Verfügung zu haben, sind beim BEV ca. 26,3 kWh Stromerzeugung erforderlich (Eaves & Eaves, 2004). Ein Stromnetzwirkungsgrad von 92%, der Wirkungsgrad des Ladegerätes von 89%, der Batterie von 94% sowie des Antriebsstrangs von 89% „verbrauchen“ ebenfalls Strom. Beim FCV sind dagegen 67,3 kWh Stromerzeugung erforderlich, also ca. das 2,5-Fache. Hier „verbrauchen“ die Elektrolyse mit einem Wirkungsgrad von 72%, der Pipelinetransport mit 86%, die Brennstoffzelle mit 54% und der elektrische Antriebsstrang mit 89% Wirkungsgrad den größten Anteil des erzeugten Regenerativstroms, so dass nur knapp 30% zum Fahren zur Verfügung stehen (Eaves & Eaves, 2004; Lutz & Sauer, 2010, S. 3). Der Vorteil der FCV liegt darin, dass Wasserstoff grundsätzlich speicherbar ist.

An der Brennstoffzelle arbeiten seit 25 Jahren viele der großen Automobilhersteller weltweit (Greene & Duleep, 2013, S. 3). Aber die Brennstoffzelle ist noch weit von einem Durchbruch am Markt entfernt. Die gegenwärtig angebotenen Wagen sind teuer. Die Produktionszahlen sind dementsprechend noch minimal. Navigant Research schätzt den Bestand auf ca. 1.000 Brennstoffzellenfahrzeuge weltweit Ende 2015 und erwartete einen Bestand von gerade einmal 240.000 Mitte der 2020er Jahre (Kane, 2015). So ist zu erwarten, dass die Brennstoffzelle noch für lange Zeit ein eher unbedeutender Antrieb bleibt.

Um die Ladeinfrastruktur ist es noch deutlich schlechter bestellt als für Stromer. Benzin und Dieselmotoren gibt es in Deutschland in über 14.000 Tankstellen, Wasserstoff führen dagegen bislang nur rund 30 öffentliche Stationen (Micksch, 2017). Das dem Linde Konzern, einem

Hersteller von technischen Gasen, gehörende Carsharingunternehmen Beezero bietet seit August 2016 50 Brennstoffzellen-SUVs an. Das Ziel ist, erste Pilotnutzer von der neuen Technologie zu begeistern (Losch, 2016).

2.3 Hybridfahrzeuge

Unter einem Hybridantrieb versteht man eine Kombination von zwei Antriebsarten. Am weitesten verbreitet ist die Kombination eines Verbrennungsmotors mit einem Elektromotor und einer etwas leistungsfähigeren Batterie als in einem Auto mit Verbrennungsmotor. Im Audi Q5 Hybrid hat sie eine Kapazität von 1,3 kWh, in einem Plug-in Hybrid benötigt sie zur Erzielung von 30 bis 50 km elektrischer Reichweite ca. 5 bis 8 kWh Kapazität.

Der verbrauchssenkende Effekt eines normalen (nicht plug-in) Hybrid-PKW wird dadurch erreicht, dass diese Wagen die Bremsenergie mittels Rekuperation wiedergewinnen und in die Batterie einspeisen können. Die Bremsenergie steht dann zum erneuten Beschleunigen wieder zur Verfügung. Insbesondere bei permanentem Stadtverkehr, z.B. im Falle von Taxis, ist dies die Erklärung für niedrigere Verbräuche. Der Plug-in Hybrid hat darüber hinaus die Fähigkeit, die (kleine) Batterie an der heimischen Steckdose zu laden und dann die ersten 30 bis 50 km vollelektrisch zu fahren.

Hybridautos werden von allen hier dargestellten Antriebskonzepten in der größten Stückzahl verkauft. In Deutschland wurden 2016 bereits 47.996 Hybridwagen zugelassen, davon ca. 28% Plug-Ins (Kraftfahrtbundesamt, 2017a, S. 11).

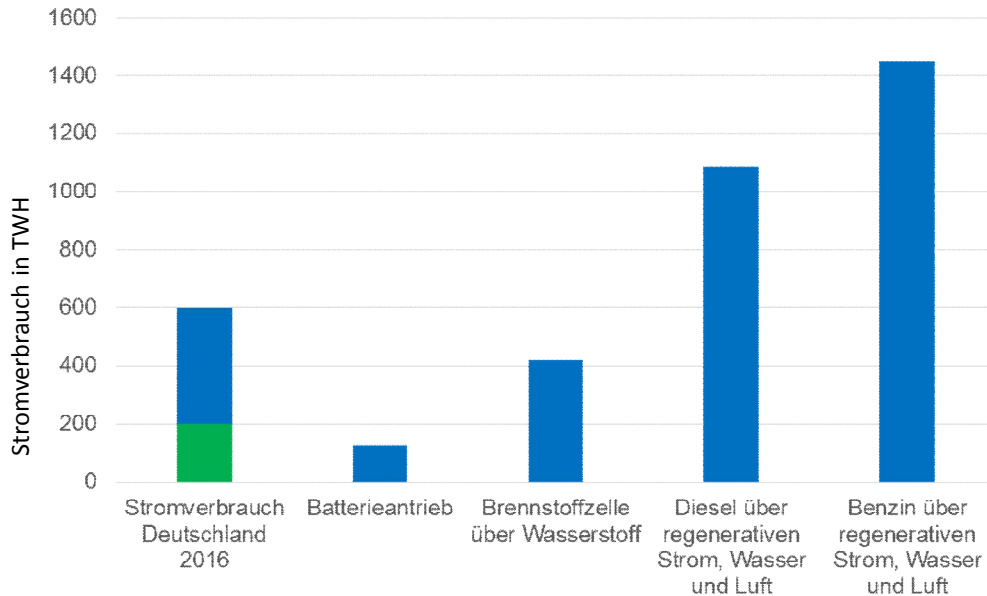
Figenbaum und Kolbenstvedt (Figenbaum & Kolbenstvedt, 2016, S. III) berichten, dass von über 2.000 befragten Eigentümern eines Plug-in-Hybrid etwa 55% der Jahresfahrleistung voll-elektrisch erbracht wurde, wobei der elektrische Anteil bei (meist kurzen) Fahrten zur Arbeit und im Sommer höher war, im Winter niedriger.

2.4 Beurteilung der alternativen Antriebe mit Blick auf das Jahr 2050

Um die deutschen Klimaziele zu erreichen ist ein zu 100% klimaneutraler PKW-Verkehr 2050 notwendig. Die einfachen Hybrid-PKW stellen dabei wie auch verbesserte Benziner und Diesel keinen Beitrag zu klimaneutralen PKW-Antrieben dar. Die Gruppe der Plug-In Hybride wie auch der Erdgasfahrzeuge ist dagegen schon eher geeignet, die Durchschnittsverbräuche an Energie sowie die Emissionen in einer Übergangsphase zu reduzieren. Brennstoffzellenfahrzeuge kann man zwar schon zu hohen Preisen kaufen, ihre Produktion in großen, den Markt verändernden Stückzahlen scheint jedoch vor der Mitte der 2020er Jahre eher unwahrscheinlich (Clausen, 2017a).

Zudem haben Brennstoffzellenfahrzeuge den Nachteil einer im Vergleich zum batterieelektrischen Fahrzeug etwa um den Faktor 2,5 schlechteren Systemeffizienz. Eine solche niedrige Systemeffizienz weisen auch alle Technologien für die Herstellung flüssiger Kraftstoffe auf Basis von regenerativer Elektrizität, Wasser und Luft auf. So ist es zwar möglich, theoretisch klimaneutrale Kraftstoffe herzustellen, der kumulierte Energieaufwand ist aber sehr groß (Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen, 2013). Dies zeigt sich bei der Errechnung der notwendigen Stromerzeugung, um genug Energie für die gegenwärtig 626 Milliarden km Fahrleistung von PKW in Deutschland (Kraftfahrtbundesamt, 2017b) zu haben. Für die verschiedenen klimaneutralen Antriebsarten wäre für den Betrieb der gesamten PKW-Flotte in 2050 – gleiche Fahrleistung wie heute vorausgesetzt – die Erhöhung der Stromerzeugung um ca. 23% für den Batterieantrieb über ca. 60% für eine Brennstoffzellenflotte bis zu 230% bei Antrieb durch „regeneratives Benzin“ notwendig. Diese Steigerung der Stromerzeugung muss grundsätzlich auf Basis regenerativer Technologien erfolgen.

Abbildung 2: Notwendige Stromerzeugung, um genug Energie für 626 Milliarden km Fahrleistung PKW (2016) zu haben für verschiedene klimaneutrale Antriebsarten



Quelle: eigene Berechnung

Die Transformation der PKW-Antriebe hin zu verbrauchseffizienten und schadstoffarmen Antrieben muss daher aus energiepolitischer Sicht im Wesentlichen durch batterieelektrische Fahrzeuge erfolgen.

Dabei dürfte die Batterie mit der durch sie bestimmten Reichweite und Ladezeit, ihren Kosten und dem notwendigen Aufwand zur Herstellung das zentrale Bauteil sein. Die Frage der Rohstoffsicherheit für die Batterieproduktion wird dabei gegenwärtig intensiv diskutiert. Aber parallel werden sehr unterschiedliche, leistungsfähige Batteriekonzepte entwickelt, die jeweils unterschiedliche Rohstoffe erfordern. Es wird nötig sein, bei der Auswahl der Batteriekonzepte für die Großserie nicht nur deren Leistung und Kosten, sondern auch deren Rohstoffbasis und Umweltverträglichkeit sowie die sozialen Aspekte der Rohstoffproduktion ins Kalkül zu ziehen.

Die Verfügbarkeit von Regenerativstrom stellt eine weitere notwendige Bedingung für die Klimawirksamkeit dieser Transformation dar. Dies zeigt sich besonders, wenn aktuelle Ökobilanzen Kritik an der Elektromobilität mit dem Blick auf die Stromherstellung aus Basis des gegenwärtigen Strommix üben. Diese Kritik ist zwar berechtigt, geht aber am Problem vorbei. Denn große Zahlen von Elektroautos werden erst 2025 bis 2040 in der PKW-Flotte fahren. Und die bisher immer über Plan liegende Erreichung der Ziele der Nachhaltigkeitsstrategie lässt einen Regenerativstromanteil von deutlich über 65% in 2040 und deutlich über 80% in 2050 erwarten (Die Bundesregierung, 2016).

3 Pfadabhängigkeiten

Durch die zunehmende Zahl von Automobilen in der Gesellschaft verschob sich seit den 1950er Jahren der Modal Split immer mehr zum motorisierten Individualverkehr. Parallel wuchsen die Größe der Automobilhersteller und Zulieferer sowie die Zahl der Beschäftigten in Produktion und Werkstätten. Das Automobil – mit Verbrennungsmotor – entwickelte sich zum selbstverständlichen Element des Alltags und schrittweise wurden **Infrastrukturen** in bestimmter Richtung verändert: Wohnungen wurden fern von Arbeitsplätzen und Schulen gebaut oder gemietet, Geschäfte entstanden auf der grünen Wiese statt in den Innenstädten (Clausen, 2017a). Der Pfad des motorisierten Individualverkehrs stabilisierte sich kontinuierlich und führt u.a. auch dazu, dass eine auf Fahrrad und öffentlichen Nahverkehr fokussierende Verkehrswende an vielen Stellen zu kurz greift.

Dabei ist die (Pfad-)Abhängigkeit vom Automobil selbst größer als die vom „Bauteil“ Verbrennungsmotor. Als bedeutendste Pfadabhängigkeiten des Verbrennungsmotors als PKW-Antrieb sehen wir die folgenden (Clausen, 2017b, S. 40):

- **Ökonomisch:** Niedrige Preise für Benzin und Diesel ermöglichen das Autofahren zu einem Preis, den die Autofahrer und Autofahrerinnen – mit Blick auf seinen Nutzen – offensichtlich zu zahlen bereit sind. Auch die Zahlungsbereitschaft für den Kauf des Automobils selbst ist im breiten Publikum vorhanden. Flossen 1970 noch 12,5% der Konsumausgaben privater Haushalte in den Verkehr, so waren es 1990 schon 20,3% und 2010 24,9%. Etwa ein Viertel der Arbeitsplätze in der Zulieferbranche sind konkret an den Antriebsstrang für Verbrennungsmaschinen gebunden.
- **Technisch:** Bis in die 1990er Jahre hinein wurden ernsthafte Anstrengungen zur Entwicklung alternativer Antriebe nicht gemacht. Elektroantriebe wurden zwar für stationäre Anwendungen in der Industrie gebraucht und daher kontinuierlich verbessert, da sie aber nicht mobil eingesetzt wurden, verschwand die Batterietechnik langsam aus der deutschen universitären wie privaten Forschungslandschaft. Heute wird ein Großteil der Patente für den elektrischen Antriebsstrang von Unternehmen in Ostasien sowie Tesla gehalten (Clausen, 2017b, S. 19). Die deutsche Automobilbranche hat zwar ein wenig in Wasserstoffantriebe und Brennstoffzellen investiert, hat aber auch hier im Gegensatz zu Toyota und Honda keine verkaufsfähigen Produkte. Auch bei Elektroantrieben liegt sie im Rückstand.
- **Organisational:** Die Bindung der Hersteller wie auch der Zulieferer an den Verbrennungsmotor ist stark. Der große Hersteller Volkswagen konnte noch vor wenigen Jahren nicht glauben, dass die Post wirklich ein elektrisch angetriebenes Lieferfahrzeug wollte, worauf die Post es dann eigenständig mit einem Start-up der RWTH Aachen auf die Beine stellte (Clausen, 2017c). Noch heute erwarten 54% der europäischen Auto-Manager ein Scheitern des Elektroautos und 69% stimmen der Erwartung zu, dass erst die Brennstoffzelle mit dem „Brennstoff“ H₂ den Durchbruch der Elektromobilität bringen wird (KPMG, 2018).
- **Rechtlich:** Wenig wirksame umweltrechtliche Vorschriften zur Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen, Stickoxiden und Feinstaub machen es für die Hersteller attraktiv, kleinschrittige Verbesserungen durchzuführen anstatt auf grundsätzliche Änderungen des Antriebskonzeptes zu setzen (Clausen, 2017b).

Auch volkswirtschaftlich besteht eine hohe Bedeutung, und damit einen Abhängigkeit von der Automobilbranche mit ihren 471.300 Mitarbeitern zzgl. 302.700 Mitarbeitern in deutschen Zulieferbetrieben. Die Automobilindustrie hat im Jahr 2016 ihren Umsatz auf 404,6 Mrd. € gesteigert und damit einen neuen Rekord erreicht. Mit 256,3 Mrd. € kamen fast zwei Drittel des Umsatzes aus dem Export¹. Die Exporte von Autos machen über 20% aller deutschen Exporte

¹ Vgl. <https://www.vda.de/de/services/zahlen-und-daten/jahreszahlen/allgemeines.html> vom 22.1.2018.

aus. Erfolg und Wettbewerbsfähigkeit der Automobilbranche sind damit wesentliche Faktoren des nationalen Wohlstandes.

Auf die Verbreitung der in Kapitel 2 vorgestellten alternativen Antriebe wirken sich die Pfadabhängigkeiten mit unterschiedlicher Intensität aus. Herstellung und Nutzung von Hybrid-PKW, die den bisher üblichen Verbrennern recht ähnlich – also „anschlussfähig“ – sind, werden weniger stark behindert als die Vermarktung von batterieelektrischen Fahrzeugen und solchen mit Brennstoffzelle. Über die Bindung an pfadgebundenen Strukturen der Fahrzeugbranche mit ihren Verbrennungsmaschinen hinaus sind dabei sowohl die Verbreitung des Brennstoffzellenfahrzeuge wie auch die des Batterieelektrischen Fahrzeugs mit spezifischen Hemmnissen verbunden.

Wesentliche spezifische Hemmnisse für Brennstoffzellenfahrzeuge liegen **ökonomisch** in den noch hohen Kosten der Brennstoffzelle und **infrastrukturell** in der heute noch extrem niedrigen Zahl von Tankstellen. Als sehr wesentlich dürfte sich aber zukünftig der im Vergleich zum Batteriefahrzeug deutlich (um etwa den Faktor 2,5) schlechtere Systemwirkungsgrad herausstellen, der grundsätzlich mit allen Power-to-Gas Konzepten verbunden ist. Der Vorteil der Speicherbarkeit des Brennstoffs besteht dabei letztlich nur so lange, wie das Stromnetz nicht über Großspeicher mit hohem Wirkungsgrad verfügt.

Spezifische Hemmnisse für batterieelektrische Fahrzeuge liegen in der Einschränkung der **Nutzung** aufgrund der begrenzten Reichweite in Verbindung mit einer erst im Aufbau befindlichen Ladeinfrastruktur. Unsicherheiten bezüglich der Reichweitenplanung, der praktischen Durchführung des Ladevorgangs und der Bezahlung sowie der durch das Fahrzeug real möglichen Reichweite werden durch die Presse so stark geschürt, dass sie schon fast wie eine Scheindebatte wirken. Der Mythos, dass nur mit einem „Brennstoff“ gefahren werden kann, scheint sich nicht nur in der Autobranche, sondern auch in der Presse hartnäckig zu halten.

Zwischen den verschiedenen Pfadabhängigkeiten bestehen insoweit **Zusammenhänge**, als sie nur zusammen die hohe Stabilität des sozio-technischen Systems „Automobilität mit Verbrennungsmotor“ erklären können. Niedrige Treibstoffpreise zusammen mit der durch immense Werbeausgaben geförderten hohen Zahlungsbereitschaft der Kundschaft und angesichts eines immer noch wenig wirksamen umweltpolitischen Druckes zur Veränderung ließen Hersteller und Zulieferer immer mehr immer leistungstärkere Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor entwickeln und erfolgreich vermarkten.

Hinzu kommt die Herausforderung des Strukturwandels bei den Herstellern. Deutschland hat (auch aus chinesischer Sicht) einen kaum einholbaren Technologievorsprung bei der Konstruktion und dem Bau von Verbrennungsmotoren. Nicht zuletzt durch anspruchsvolle Kunden hierzulande haben sich die deutschen Automobile der Mittel- und Oberklasse zu internationalen Exportschlagern entwickelt. Der Pfadwechsel zum Elektrofahrzeug gefährdet diese Position. Nicht nur, dass es hierzulande noch kaum Kunden von Elektrofahrzeugen gibt, deren Reaktion und Feedback für die Hersteller zur Realisierung internationaler TOP-Qualität unverzichtbar sind, auch die Zahl der Patente für viele der Schlüsseltechnologien der Elektromobilität war in Deutschland im internationalen Vergleich noch vor wenigen Jahren eher klein (emobil bw (Hrsg.), 2015) und die Lieferkette weist zumindest im Batteriebau deutliche Lücken auf. Das durch die Nationale Plattform Elektromobilität aufgestellte Ziel, bis 2020 in Deutschland einen internationalen Leitmarkt für Elektromobilität aufzubauen, scheint mit dieser Ausgangsposition kaum erreichbar (Nationale Plattform Elektromobilität, 2016, S. 14).

4 Ziele und Trends in der Elektromobilität

Das zentrale Ziel der Transformation der PKW-Antriebe in Richtung Nachhaltigkeit besteht darin, drei wesentliche Umweltauswirkungen zu reduzieren:

- geringere CO₂-Emissionen durch höhere Effizienz sowie das Potenzial zur effizienten Nutzung regenerativer Energie,
- Schadstofffreiheit im Fahrzeugbetrieb sowie
- Reduktion der innerörtlichen Lärmemission.

Das Ziel der Klimaneutralität in 2050 ist aus Sicht der Umweltpolitik imperativ und aus heutiger Sicht ist es in absehbarer Zeit nur mit BEV erreichbar.

Die radikalste Lösung ist dabei die Umstellung auf einen reinen Elektroantrieb, langfristig immer im Zusammenhang mit einer Versorgung mit 100% Regenerativstrom gedacht. Im auf die Einhaltung des 2°C-Ziels hin entwickelten „Szenario 450“ der internationalen Energieagentur errechnete die IEA schon 2009 die Notwendigkeit, in 2030 **im globalen Mittel** im Neuwagenmarkt einen Anteil von 7% BEV, 21% PEV und 29% HEV abzusetzen (Valentine-Urbschat & Valentine-Urbschat, 2014, S. 145). Nur noch 43% des globalen Marktes in diesem Szenario sollten schon 2030 bei Benzin- und Dieselfahrzeugen verbleiben.

Valentine-Urbschat (2014, S. 145) leiten aus den Zahlen zur Reduktion des Energieeinsatzes für die Mobilität im Szenario 450 die plausible Notwendigkeit ab, bis 2030 einen Anteil von ca. 25% BEV im **Fahrzeugbestand der OECD-Länder** zu etablieren. Das deutsche Ziel lautet seit 2011, in 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf die Straße zu bringen². Das Szenario 450 würde es erforderlich machen, dass es schon 2030 ungefähr 10 Millionen Elektrofahrzeuge sind.

Auch die zivilgesellschaftlichen Kräfte in der Klima Allianz Deutschland (Klima Allianz Deutschland, 2016, S. 20) fordern den Markthochlauf alternativer Antriebe:

Im Kern einer erfolgreichen Klimaschutzstrategie für den Verkehrssektor steht die maximale Reduktion des Endenergiebedarfs. Neben verkehrsvermeidenden und –verlagernden Maßnahmen sind die vollständige Ausschöpfung der Effizienzsteigerungspotenziale der Antriebe aller motorisierten Verkehrsträger sowie der Markthochlauf alternativer (teil)elektrischer Antriebe zentral. Vor allem der Pkw-Verkehr lässt sich bis 2050 durch weitere Effizienzsteigerungen und den parallel anlaufenden sukzessiven Umstieg auf Elektromobilität fast vollständig dekarbonisieren.

Aus der Sicht der Umweltverbände verspricht die Elektromobilität als Element einer Transformation zur Nachhaltigkeit nur dann eine wirklich umweltentlastende Wirkung, wenn sie Teil einer Verkehrswende ist und die Energiewende parallel und erfolgreich fortgesetzt wird (Lottsiepen, 2014). Nur durch den Erfolg der Energiewende lässt sich eine erneuerbare Stromversorgung der Elektromobile sichern und nur durch eine erfolgreiche Verkehrswende lässt sich der Modal Split soweit vom PKW weg verlagern, dass wir in der Lage sein könnten, die Materialkreisläufe rund um die große Zahl schwerer Wagen zu bewältigen. Canzler und Knie (2014) gehen in ihrem Zukunftsbild sogar noch weiter und sehen sowohl Strom wie auch Wärme und Verkehr als Teile einer gesellschaftlichen Versorgungsstruktur, die zu einem synergetischen „Gesamtkunstwerk“ weiter entwickelt werden muss.

Die Bundesregierung hat lange Zeit ihr Ziel von einer Million Elektrofahrzeugen in 2020 betont (Nationale Plattform Elektromobilität, 2016), welches aber von Jahr zu Jahr unrealistischer ist

² Vgl. http://www.bmvi.de/Anlage/original_1091814/Nationaler-Entwicklungsplan-Elektromobilitaet.pdf vom 25.5.2016.

und zunehmend in Frage gestellt wird. Auch die neue Nachhaltigkeitsstrategie (Die Bundesregierung, 2016) enthält zwar Aussagen, aber keine überprüfbaren Ziele zur Elektromobilität. Unter der Annahme, dass die Bundesregierung ihr Klimaziel, die Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 bis 95% zu reduzieren, wirklich umsetzen wird, ergibt sich ein Ausstieg aus dem Verkauf von Verbrennungsmotoren etwa 2030 bis 2035 aber quasi zwingend.

Andere Länder treiben die Elektromobilität deutlich entschlossener voran, z.B. Norwegen (Clausen, 2017c), Kalifornien (Clausen, 2017d) und die Niederlande (Perleberg & Clausen, 2017). Aber in diesen drei Ländern gibt es kaum eine Automobilbranche, die Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor herstellt und gegen eine Politik der Elektromobilität Widerstand leisten würde, es existieren dort keine „veto player“. Zunehmend werden Beschlüsse zum Verkaufstop von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor gefasst oder vorbereitet: Niederlande für 2025, Indien und Norwegen für 2030, Großbritannien, Frankreich und Kalifornien für 2040. Hinzu kommen noch ohne Zeitziel China, wo aber bereits ab 2019 eine Quote gilt sowie eine Reihe von Großstädten wie Los Angeles, Mexico City, Seattle, Barcelona, Vancouver, Mailand, Quito, Kapstadt und Auckland (Muio, 2017).

Anders ist es in China. Nach dem aktuellen chinesischen „Development Plan for Fuel-efficient and New Energy Vehicles“ im Zeitraum 2016-2020 soll die Entwicklung von Elektro- und Hybridfahrzeugen in China entschlossen vorangetrieben werden (Beigang & Clausen, 2017). Bis 2020 sollen chinesische Hersteller die weltweite Technologieführerschaft erreichen und an die Spitze der Verkaufszahlen von New Energy Vehicles aufsteigen (Tagscherer, 2012, S. 4). In China sollen in 2020 schon 2,1 Millionen, fünf Jahre später 5,25 Millionen und 2030 dann 15,2 Millionen Elektrofahrzeuge abgesetzt werden, was 2030 einem Marktanteil von 40% entsprechen würde (Mizuho Bank, 2017).

Chinesische Hersteller wie BYD führen schon heute die Liste der Unternehmen mit der höchsten Produktionszahl an BEV an. Mit Borgward in Bremen und Beijing WKW Automotive in der Lausitz bereiten zwei chinesische Unternehmen die Produktion von BEV in Deutschland vor. Zusammen mit Tesla, Streetscooter und der e.Go Mobile AG wächst damit die neue Start-up-Szene in der Automobilbranche zusehends.

Die traditionelle deutsche Automobilbranche ist aber nicht nur durch neue Hersteller herausgefordert. Durch Firmenaufkäufe steigen sowohl chinesische Unternehmen wie auch Tesla in deutsche Unternehmen ein, die für effiziente Produktionstechnik und hohe Qualität stehen. So wurden in den letzten Jahren Techni SAT Automotive mit 6.200 Beschäftigten in Dresden, Carcoustics mit 1.900 Beschäftigten in Leverkusen, Brötje Automation mit 800 Beschäftigten in Rastede sowie Kuka mit 12.300 Beschäftigten in Augsburg durch chinesische Investoren übernommen (Ernst & Young, 2017). Im Mai 2017 wurde die Anlasser-Sparte von Bosch mit 7.000 Beschäftigten ebenso nach China verkauft. Durch den Erwerb des rheinland-pfälzischen Anlagenbauers Grohmann Engineering gewinnt Tesla bedeutende Automatisierungsexpertise aus der deutschen Halbleiter-, der Elektronik- und der Automobilindustrie (Handelsblatt Online, 2016; Tesla, Inc., 2016). Der Zukauf des Spezialisten für hoch automatisierte Fabrikation steht in Zusammenhang mit der Zielsetzung Teslas, bis 2018 die Produktionskapazität auf jährlich 500.000 Elektrofahrzeuge zu steigern (Tesla, Inc., 2016).

Die deutschen Hersteller Volkswagen, BMW und Daimler haben in 2016 alle neue, elektrische Modelle angekündigt. BMW will 2017 schon 100.000 Elektroautos verkaufen, in 2025 planen Volkswagen 2 bis 2,5 Millionen, BMW 500.000 und Daimler 400.000 Elektroautos zu produzieren. Zusammen wären das 2,9 bis 3,4 Millionen Wagen. Bei einer Batteriekapazität von 35 - 50 kWh pro Auto errechnet sich ein Batteriebedarf von 100 - 170 GWh, während die NPE für 2025 eine nationale Produktion von 13 GWh anstrebt (Nationale Plattform Elektromobilität, 2016, S. 13). Ziel der NPE wäre damit ein Importanteil bei Batterien von 85 - 93%.

5 Chancen, Risiken und Herausforderungen

5.1 Chancen

Mit einem grundlegenden Pfadwechsel vom Antrieb durch Verbrennungsmotoren zur Elektromobilität sind Chancen in der Umwelt- wie der Wirtschaftspolitik verbunden.

Wirtschaftspolitisch besteht eine Chance darin, Deutschland in den nächsten Jahren zu einem Leitmarkt der Elektromobilität zu entwickeln. Ein solcher Leitmarkt müsste die normative Idee eines über die den gesamten PKW-Lebenszyklus wirksam klimaneutralen PKW-Verkehrs mit dem großen Vorsprung zusammenführen, den die deutsche Automobilbranche in der Produktion qualitativ hochwertiger PKW hat. In Anlehnung an das Verständnis von Clustern bei Porter (1998, S. 78) ist hier darauf hinzuweisen, dass Cluster und Leitmärkte leistungsstarker Forschung, Hersteller und Zulieferer bedürfen, aber ebenso ohne eine Gruppe anspruchsvoller Kunden nicht denkbar sind. Die Realisierung eines deutschen Leitmarktes für Elektromobilität und damit die angestrebte Technologieführerschaft deutscher Hersteller bedarf daher eines schnellen Wachstums dieses nationalen Absatzmarktes.

Eine weitere Chance besteht im Erringen der Technologieführerschaft in der Batterietechnik. Mit Blick auf die Bedeutung, die die Batterietechnik für die Funktion der Elektroautos (Reichweite, Dauer der Ladezeit) sowie für die Kosten (Preis und Lebensdauer der Batterie) und die Umweltbelastungen (Ressourceneffizienz der Batterie) hat, wird sich die Batterie zur Schlüsseltechnologie der Elektromobilität entwickeln. Nationale Kompetenzen scheinen hier kaum verzichtbar. Toshiba mit seinem jüngst vorgestellten 32 kWh-Akku, der sich in 6 Minuten laden lässt (Toshiba Corp Japan, 2017), weist dabei den Weg in eine Elektromobilität, in der die leidige Diskussion um Ladeinfrastrukturen sich auflöst und sich auf einen notwendigen Umbau der Tankstellen an Autobahnen und in Innenstädten zu Schnelladestationen fokussiert.

Umweltpolitisch kann die Elektromobilität aus heutiger Sicht einen großen und vergleichsweise rasch wirkenden Beitrag zur Bekämpfung des Treibhauseffektes, zur Reduktion der Schadstoffbelastung in Innenstädten sowie auch zur Reduktion der innerörtlichen Lärmemissionen leisten.

Bezogen auf den Anstoß eines Pfadwechsel besteht eine, wenn auch letztlich ambivalente, Chance aus Dieselgate³ heraus. Zwar hat Dieselgate die Befürworter des Antriebs durch Verbrennungsmotoren auf den Plan gerufen, aber gerade bei in Innenstädten aktiven Flottenbetreibern wie der Post (Clausen, 2017e), der Deutschen See (2017) oder der Caritas (eGo Mobile AG, 2017) fallen gegenwärtig erste Entscheidungen, größere Fahrzeugflotten auf Elektroantrieb umzustellen. Dabei ist durch Dieselgate neben Kosten und Klimafreundlichkeit auch die Schadstofffreiheit des Fahrzeugbetriebs wesentliches Argument geworden.

Diese Entscheidungen der Flottenbetreiber weisen auch auf eine weitere Chance der Elektromobilität hin. Die zweite Generation von Elektrofahrzeugen bietet deutlich günstigere Total Cost of Ownership (TOC) als die bisher gefertigten eher hochpreisigen Wagen und sind auch gegenüber Fahrzeugen mit Antrieb durch Verbrennungsmotoren wettbewerbsfähig. Ein gutes Kosten-Nutzen Verhältnis ist für die Verbreitung von Innovationen zentral und damit ist die weitere Kostensenkung, die sich auch bei den großen Herstellern andeutet, eine weitere wesentliche Chance für den Pfadwechsel.

³ Gemeint ist die im September 2015 durch eine Klage der EPA gegenüber VW ausgelöste Kontroverse um Abschaltvorrichtungen für Abgasreinigungssysteme von Dieselmotoren.

5.2 Risiken

Genauso wie Chancen sind Risiken der Elektromobilität mit der Umwelt- wie der Wirtschaftspolitik verbunden. Die wirtschaftspolitischen Risiken sind gravierend. Gelingt der Aufbau eines Elektromobilitäts-Leitmarktes nicht rasch und bevor die Unternehmen anderer Nationen einen wesentlichen Vorsprung erreicht haben, dann droht der Verlust der Technologieführerschaft und ggf. auch ein drastisches Absinken des Exports. Dies wieder würde zu einem deutlichen Verlust an Arbeitsplätzen in der Automobilbranche führen, die heute 2/3 ihrer deutschen Produktion exportiert. Die Technologieführerschaft könnte eng verknüpft sein mit einem Beherrschen der Batterietechnik. Die gegenwärtig für 2025 mögliche, fast vollständige Abhängigkeit von importierten Batterien könnte die deutsche Automobilbranche marginalisieren. Sowohl die neuen Start-ups in der Elektromobilität wie der Kauf zentraler Zulieferer der Produktions- und Automatisierungstechnik durch chinesische und US-amerikanische Unternehmen stellen weitere Risiken für die deutsche Automobilbranche dar.

Umweltpolitisch bestehen die Risiken in einem Misserfolg bei der Begrenzung des Klimawandels und entsprechend katastrophalen und globalen Langfristfolgen, wobei der Klimaschutzbeitrag durch die Elektromobilität in Deutschland sich über die Vorbildwirkung von Deutschland durch internationale Effekte potenzieren könnte. Ein weiteres umweltpolitisches Risiko besteht darin, dass es nicht gelingt, die Herstellung der Batterien durch Fortschritte in der Effizienz deutlich material- und energieeffizienter zu machen. Auch die ressourcenpolitisch notwendige Realisierung eines besseren Recyclings und Materialkreislaufs in der Automobilwirtschaft steht noch aus (Tappeser & Chichowitz, 2017).

Mit Blick auf die Koordination des Pfadwechsels zu einer Elektromobilität mit starken deutschen Herstellern und Marktführerschaft bei Premium-Elektro Angeboten besteht ein erhebliches Risiko in der bisher wenig ausgeprägten Fähigkeit der „Deutschland AG“ mit ihren politischen und industriellen Akteuren, einen wirksamen wirtschaftspolitischen Rahmen zu setzen und Förderaktivitäten optimal zu koordinieren. Dazu bedarf es eines kohärenten und koordinierten Vorgehens politischer Akteure aus verschiedenen Ministerien, die sich nicht permanent durch Lobbyinteressen ablenken oder durcheinander bringen lassen. Ein zu starkes Bremsen durch die bisher am Verbrennungsmotor hängenden Anspruchsgruppen von der Industrie über die Gewerkschaften bis hin zu Regionen und Bundesländern mit bisher starken Produktionsstandorten könnte die Realisierung der oben aufgeführten Chancen so verzögern, dass mit Blick auf das Zieljahr 2030 alle national beteiligten Akteure auf der Verliererseite stehen könnten. Da Bauteilanzahl und -komplexität bei Elektromotoren viel geringer sind als bei Verbrennungsmotoren ist davon auszugehen, dass Elektrofahrzeuge in der Entwicklung und Fertigung mit 30 Prozent weniger Arbeitszeit hergestellt werden können. Die „verbrauchte Zeit pro Fahrzeug“ soll sich laut Entwicklungsabteilungen von OEM's um ca. 15 Prozent bei Elektrofahrzeugen verringern können. Die Gewerkschaften sehen den Pfadwechsel daher oft kritisch und weisen darauf hin, dass Qualifikations- und Beschäftigungsanpassungsmaßnahmen erforderlich sein werden.

Einiges spricht sogar dafür, dass wesentliche Akteure immer noch kein wirkliches Interesse am Aufbau eines Leitmarktes für Elektromobilität haben. Dies ist zum einen die immer noch oft schlechte Kaufberatung in den Autohäusern der großen Hersteller (Helmer & Gnannt, 2017) wie auch die immer wieder kritisch statt konstruktiv geführte Debatte um die öffentliche Ladeinfrastruktur, die teilweise den Charakter einer Scheindebatte annimmt. Während sich Elektrofahrzeuge zunächst offenbar eher als Zweitwagen und Lieferfahrzeuge etablieren, die wie auch die norwegischen Erfahrungen zeigen, für Millionen von Haushalten daheim geladen werden können, wird in Deutschland das Elektrofahrzeug immer wieder an der Nutzung des PKWs mit dem „one-fits-all“-Ansatz gemessen. Die „Reichweitenangst“ zu schüren ist sogar mit dem Risiko verbunden, zu viel Geld in eine Ladeinfrastruktur zu stecken, die z.B. mit dem Blick auf Innenstädte schon in 10 Jahren angesichts einer weiterentwickelten Batterietechnik wieder überholt sein könnte.

5.3 Herausforderungen

Die Aufstellung eines Handlungsprogramms zur Förderung der Elektromobilität steht damit vor wesentlichen Herausforderungen. Zwar gibt es eine Gruppe innovativer Start-ups in der Elektromobilität nicht nur international (Geely, BYD, Tesla, Polestar) sondern auch national (Streetscooter, e-Go Mobile AG), aber die Präsenz gerade der großen Unternehmen der Automobilbranche im Markt für Elektroautos ist noch nicht da, wo sei sein sollte. Genau wie in Politik und Gesellschaft dürften auch innerhalb der deutschen Autobranche Befürworter und Gegner des Pfadwechsels noch um die strategische Führung ringen. Eine wirksame nationale Koordination und ein gutes Narrativ der „starken deutschen Herstellern mit den weltbesten Premium-Elektro Angeboten“ könnten auch in der Gruppe der unternehmerischen Akteure Entwicklungen beschleunigen und mehr Einigkeit schaffen.

Wesentliche Schritte der Energiewende im Bereich der Erzeugung von erneuerbarem Strom und dem Aufbau einer Windkraftbranche hat Deutschland erfolgreich bewältigt. Die Anstrengungen zum Aufbau einer nationalen PV-Industrie sind dagegen rückblickend gesehen gescheitert. Die deutsche Autobranche ist allerdings so groß und wirtschaftspolitisch so bedeutend, dass ein neuerliches Scheitern ökonomisch und gesellschaftlich kritisch wäre. Die Herausforderung für Regierung und Industrie, den Prozess des Pfadwechsels wirksam zu koordinieren, ist dementsprechend groß. Es geht dabei um die Schaffung einer nationalen Koordinierungsstelle, die wirksamer als die bisherige NPE die Aktivitäten orchestriert. Weiter geht es darum, die notwendigen Pfadwechselkosten realistisch und angstfrei zu evaluieren und die notwendigen Finanzierungen zu mobilisieren.

In vielfältiger Weise bedarf auch der rechtliche Rahmen der Anpassung auf die Erfordernisse einer klimafreundlichen und elektrischen Mobilität. Hier geht es um nationale, europäische und kommunale Regelungen, die teilweise internationaler Abstimmung bedürfen und nicht kurzfristig realisiert werden können. Auch dieser Punkt ist für einen erfolgreichen Pfadwechsel von hoher Bedeutung, da ein wirksames Umsteuern mit hohen Milliardeninvestitionen in Fahrzeugentwicklung, Batteriebau und Ladeinfrastruktur nicht in eine Situation führen sollte, in der aufgrund rechtlicher Hemmnisse die Erfolge der Anstrengungen nicht abgeschöpft werden können.

Mit Blick auf den schon erfolgten und weiter zu erwartenden zeitlichen Ablauf der Ereignisse ist festzustellen, dass sich etwa 2015 ein „Window of Opportunity“ geöffnet hat, welches eine Reihe von Jahren geöffnet bleiben mag, sich aber auch irgendwann wieder schließen wird. Als wesentliche Hinweise auf die „Fensteröffnung“ werden interpretiert:

- Der Verkaufsbeginn von ersten Elektroautos der zweiten und preiswerteren Generation wie dem Streetscooter und dem Tesla 3 (dessen realer Produktionsanlauf noch aus steht),
- die Einführung der Elektroautoquote in China sowie
- die Ankündigung von Plänen zum Verkaufsstopp von Automobilen mit Verbrennungsmotor in Indien, Frankreich, Großbritannien, den Niederlanden und Norwegen.

Auch Dieselgate trägt zur Fensteröffnung in Deutschland bei. Es ist eine erhebliche Herausforderung sowohl für die Automobilhersteller wie auch die Koordinierung der nationalen Politik, dies Window of Opportunity im Interesse der deutschen Wirtschafts- und Umweltpolitik optimal zu nutzen, bevor es sich wieder schließt.

6 Pfadwechsel: Maßnahmen und Initiativen

Für die erfolgreiche und großzahlige Einführung von Elektrofahrzeugen in den deutschen Automobilbestand sind sowohl kurz- (bis 2020) wie auch mittelfristige (bis 2030) Maßnahmen erforderlich. Langfristige Entwicklungen wie z.B. erst ab 2025 oder 2030 zu erwartende autonome Fahren werden (noch) nicht berücksichtigt. In den folgenden Abschnitten sind die erforderlichen Maßnahmen zusammen mit den jeweils geforderten Akteuren und wünschenswerten Zeiträumen zur Umsetzung aufgeführt.

Die Aufgabe der kurzfristigen Maßnahmen besteht primär darin, die Ladeinfrastrukturen systematisch aufzubauen und den Absatzmarkt für die um das Jahr 2020 geplante Markteinführung zahlreicher elektrischer Modelle der großen deutschen Hersteller vorzubereiten.

Die mittel- und langfristigen Maßnahmen bauen auf dem Erfolg der kurzfristigen Maßnahmen auf und zielen auf die dauerhafte Sicherung und den Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilhersteller mit Premium-Elektrofahrzeugen im Weltmarkt der zweiten Hälfte der zwanziger Jahre.

6.1 Einfache und praxisgerechte Ladeinfrastruktur

Prioritär sollten in den nächsten Jahren (bis 2019/2020) die Probleme der Ladeinfrastruktur gelöst werden. Ladeangebote müssen für daheim, für den Arbeitsplatz und für unterwegs aufgebaut werden. Mögliche Lösungen variieren dabei möglicher Weise mit den Fortschritten der Batterietechnik. Gelingt z.B. Toshiba die Serienproduktion des jüngst vorgestellten 32 kWh-Akkus, der sich in 6 Minuten laden lässt (Toshiba Corp Japan, 2017), könnten Innenstadtbewohner auch zukünftig zu einer „Tankstelle“ fahren und dort auf das Laden warten. Ein flächendeckendes Ladenetz in Stadtteilen mit mehrstöckiger Bebauung wäre dann verzichtbar. Aus heutiger Sicht sind neben Zahl und Leistung der Ladepunkte auch Probleme der Bezahlensysteme von hoher Bedeutung:

- Wichtig ist eine hinreichende Zahl öffentlicher Ladepunkte in Städten und an Autobahnraststätten. Hersteller und Bundesregierung, 2018 bis 2020.
- Die Ausstattung öffentliche Parkplätze mit Lademöglichkeiten ist zu verbessern. Dabei ist die Sichtbarkeit zu optimieren und an Ladeplätzen für Elektroautos muss ein Halteverbot für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren ermöglicht (und wirksam durchgesetzt) werden. Bundesregierung 2018.
- Es sollte ein „Recht auf Laden zu Hause“ auch in Mietwohnungen und Eigentumswohnungen mit Stellplatz oder Garage gesetzlich verankert werden. Vorübergehend sollten auch private und gewerbliche Ladepunkte förderfähig sein. Auch die Probleme des Eichrechts (elektronische Datenübertragung) für Ladesäulen sind zu lösen. Bundesregierung, 2018.
- Wichtig sind weiter Roaming-Vereinbarungen für Ladesysteme, so dass man mit der eigenen Tankkarte überall zahlen kann, sowie transparente Kosten, so dass man von Kosten der Ladeaktivität nicht überrascht wird. Bei beidem dürfte analog zu den Aktivitäten der Bundesnetzagentur eine ordnungsrechtliche Regulierung erforderlich sein. Bundesregierung 2018.
- Hilfreich könnte die integrierte Entwicklung von Elektromobilität und Digitalisierung sein, z.B. der Einsatz von Apps bei der Suche nach freien Ladeplätzen oder bei der Abrechnung sowie hinsichtlich von Schnittstellen zur multimodalen Mobilität (ÖPNV, E-Bikes, Fahrrad-miete, Carsharing). Start-ups, Mobilitäts- und Internetunternehmen, 2018.
- Innovative Lösungen wie „Plug-Surfing“ sollten ggf. mit F&E Mitteln unterstützt werden. Hier handelt es sich um eine App, die zu privaten Besitzern einer Wallbox führt, bei denen

man dann individuell lädt und dies automatisch abgerechnet wird. Start-ups, Mobilitäts- und Internetunternehmen, 2018.

6.2 Preiswerte und nutzergerechte Elektroautos

Von zentraler Bedeutung ist, dass Elektroautos im Vergleich zu Autos mit Antrieb durch Verbrennungsmotor wettbewerbsfähiger werden. Dies betrifft sowohl den Verkaufspreis als auch die Reichweite und eine nutzergerechte Variantenvielfalt. Dies lässt sich auf verschiedenen Wegen erreichen:

Wichtig ist die Entwicklung von Automobilen, die von vornherein „elektrisch“ angelegt sind und so preiswerter produziert werden können als Wagen, die quasi umgebaute „Verbrenner“ sind, wie z.B. heute der E-Golf oder der E-Up. Dass dieser Weg aussichtsreich ist, zeigen die Entwicklung des Post-Streetscooters, des eGo Life, des Tesla Model 3 und auch der Modulare Elektrobaukasten (MEB) von Volkswagen mit seinen geplanten Modellen. Das jetzt in Entwicklung befindliche Grundmodell des Volkswagen ID soll eine mit dem Golf vergleichbare Preisgestaltung haben (Philipp, 2017). Über günstigere Betriebskosten werden sich dann Vorteile in den TCOs ergeben.

- Entwicklung preiswerter Modelle durch die Hersteller, 2018 bis 2020ff.

Wichtig ist auch ein breiteres Angebot von Modellen mit höherer Reichweite. Während z.Zt. Elektrofahrzeuge primär in der Luxusklasse (Tesla S, Tesla X) und der Kleinwagenklasse (Renault ZOE, Nissan Leaf, VW E-Up, BMW i3) angeboten werden, fehlt es noch an Mittelklassewagen, Vans, Kombis, SUVs oder Cabriolets wie auch an Transportern. Da sich die von den Kunden gewünschte Fahrzeugklasse nicht am Antrieb orientiert ist zu erwarten, dass mit einem breiteren Angebot an Modellen auch die Zahl der Käufer eines Elektroautos zunimmt. Weiter ist es erforderlich, die Reichweite der angebotenen Modelle auf das Mindestniveau von nominell ca. 400 km zu steigern.

- Entwicklung breiter Modellfamilien mit Mindestreichweite von 400 km durch die Hersteller, 2018 bis 2020ff.
- Aufklärungskampagnen, dass eine nominelle Reichweite von 400 km völlig ausreichend ist. Hersteller und NPE, 2018.

6.3 Ökonomischen Rahmen für die Elektromobilität setzen

Um Elektroautos wettbewerbsfähig zu machen ist es ergänzend notwendig, den Rahmen ökonomischer Instrumente der Politik so zu stecken, dass eine solche Wettbewerbsfähigkeit auch realistisch erreicht werden kann. Um gerade Flottenkunden von Elektroautos zu überzeugen, sind dabei langfristig stabile Rahmenbedingungen von hoher Bedeutung. Solche haben sich auch bei der Zusage von Einspeisevergütungen über 20 Jahre durch das EEG als wirksam erwiesen. Im Kontext Elektromobilität bedeutet dies:

- Die Umbaukosten des Energiesystems sollten nicht einseitig über die EEG-Umlage den Strom verteuern, sondern sie sollten auf alle fossilen Energieformen (also auch Treibstoffe, Heizöl und Erdgas) umgelegt werden. Die Steuervergünstigung auf Diesel sollte abgeschafft werden. Bundesregierung 2018.
- Eine zuverlässige Befreiung von der KFZ-Steuer, die für ein einmal angemeldetes Elektroauto dauerhaft gilt. Bundesregierung 2018.

- Pendlerpauschale und Dienstwagenprivileg sollten zunächst abhängig vom Energieverbrauch und Schadstoffausstoß differenziert und langfristig im Rahmen der Verkehrswende abgeschafft werden. Bundesregierung 2018.
- Erhöhung der Kaufprämie für einen begrenzten Zeitraum von ca. 2 bis 3 Jahren, um möglichst schnell eine zunehmende Zahl von privaten und professionellen Nutzern „umzugewöhnen“ sowie die Zahl der Elektromobilisten zu vergrößern, die ihre positiven Erfahrungen in ihrem jeweiligen sozialen Umfeld bzw. ihrer jeweiligen Region verbreiten. Bundesregierung 2018 bis 2019.

6.4 Nutzergruppen für die Elektromobilität erschließen

Die Änderung von Wunschvorstellungen, Erwartungen und Routinen bei breiten Kundenkreisen in Bezug auf Automobile ist erforderlich. Heute noch dürfte sich die unhinterfragte Grundvorstellung in vielen – meist männlichen - Köpfen befinden, dass ein Auto brummt, bei Vollgas aufheult und sich in wenigen Minuten volltanken lässt. Es wird erwartet, dass man auch spontan zu langen Fahrten aufbrechen kann. Einige dieser Vorstellungen müssen sich, zumindest mit Blick auf die heutige Batterietechnik und Ladeinfrastruktur, ändern. Zwar ist möglich, dass in Zukunft mit radikal kürzeren Ladezeiten diese Unterschiede zwischen Verbrenner und Batteriefahrzeug fast verschwinden, heute aber sind sie ohne Zweifel vorhanden. Die Änderung dieser unhinterfragten Vorstellungen und Wünsche ist letztlich ein Vorgang der Änderung der Mobilitätskultur und es ist zu erwarten, dass dieser Vorgang vergleichsweise viel Zeit – in jedem Falle mehrere Jahre - benötigt. Hier könnte der „kritische Pfad“ des Pfadwechsels zur Elektromobilität liegen.

- Einfache Möglichkeiten ein Elektrofahrzeug einen oder mehrere Tage probezufahren und niederschwellige Testangebote wie der Nordseeflitzer⁴ dürften sich als zentrales Instrument erweisen, die Erfahrung des elektrischen Fahrens zu verbreiten und Hemmschwellen abzubauen. Hersteller und regionale Akteure, 2018 bis 2020.
- Dadurch, dass E-Fahrzeuge als Dienstfahrzeuge zur Verfügung stehen, gewöhnen sich die betroffenen Mitarbeiter an diese Fahrzeuge und meist entsteht eine erfreuliche Akzeptanz. So kann eine „ökonomische“ Fahrweise erlernt werden, um die geplanten Reichweiten zu erreichen und Unsicherheiten abzubauen. Die Etablierung von Elektrofahrzeugen in Fahrzeugpools mit vielen verschiedenen Nutzern ist damit von Bedeutung. Hersteller in Kooperation mit Flottenkunden, 2018 bis 2020.
- Vorteile der Nutzung von Elektroautos sollten deutlich für die Nutzer spürbar und erlebbar werden. Neben den in Abschnitt 6.4 genannten ökonomischen Instrumenten könnten z.B. exklusive und kostengünstige Parkmöglichkeiten für Elektroautos geschaffen werden. Bundesregierung, Länder und Kommunen, 2018 bis 2020.

6.5 Regionale Aktivitäten und Kommunikationsmaßnahmen

Durch regionale Bündnisse kann der Pfadwechsel zur Elektromobilität unterstützt werden. Diese könnten sowohl die Entwicklung in Produktion, Herstellung und Standortmarketing rund um mögliche Cluster „Elektromobilität“ in Bewegung bringen, aber auch die Verbreitung und

⁴ Der Nordseeflitzer kann in einigen Touristengemeinden Ostfrieslands mit der Kurkarte einmal gratis ausgeliehen und darüber hinaus gemietet werden. Mit dem elektrischen Nordseeflitzer, vom dem es jetzt schon 6 Exemplare des Renault ZOE in 6 Kommunen gibt, machen viele Touristen ihre ersten Erfahrungen mit der Elektromobilität. Die kostenlose Möglichkeit einer „Schnupperleihe“ ist so attraktiv, dass es schon nächstes Jahr Nordseeflitzer von der holländischen Grenze bis hoch nach Dänemark geben könnte.

Nutzung von Elektromobilen durch Privatleute, durch Flottenkunden und im Tourismus könnten durch solche Bündnisse gefördert werden. Infoveranstaltung für Autohäuser, Flotten- und Privatkunden wären durch solche Bündnisse durchzuführen. Die Kooperation mit den Gemeinden und Stadtwerken bietet sich hier genauso an wie die Zusammenarbeit mit Stromversorgern, um auch die Ladeinfrastruktur koordiniert, sinnvoll und zukunftsfähig weiter auszubauen. Die Koordination der Einzelaktivitäten könnte zu regelmäßigen Rückmeldungen an die Bundesregierung führen, deren Rahmenbedingungen für die gesamte Entwicklung sehr bedeutend sind und deren Wirkung in der regionalen Praxis aber der regelmäßigen Rückmeldung bedarf.

- Bildung regionaler Bündnisse für Elektromobilität. Hersteller, Landesregierungen, Kommunalparlamente, NGOs, 2018 bis 2020.
- Aktivitäten zum Ausbau der Ladeinfrastruktur sollten durch kommunikative Maßnahmen begleitet werden, um potenzielle Kunden davon zu überzeugen, dass eine vollständige und leistungsfähige Ladeinfrastruktur in 2020 zur Verfügung steht. Bundesregierung, Hersteller und Regionen, 2018 bis 2020.
- Kommunikationsaktivitäten, die die (positiven) Erfahrungen von privaten wie auch professionellen Elektromobilisten verbreiten, sollten von Herstellern und der NEP unterstützt werden. Möglich wären einfache Formate wie „Die Sendung mit der Maus“ aber auch grenzüberschreitende Öffentlichkeitsarbeit, wie z.B. Elektromobilisten-Stammtische in Autohäusern, die öffentlich auffallen würden, durch die aber auch zahlreiche Autoverkäufer in Kontakt zu positiven E-Auto Erfahrungen kämen. Über große Infoveranstaltung für Autohäuser und Flottenkunden könnten Hersteller und Kommunen professionelle Nutzer und Intermediäre ansprechen, informieren und für die Elektromobilität gewinnen. Hersteller in Kooperation mit regionalen Akteuren, 2018 bis 2020.

6.6 Politische Priorisierung und Zuordnung der Elektromobilität

Seit 2010 existiert die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE). Noch 2016 veröffentlichte sie im Wegweiser Elektromobilität (Nationale Plattform Elektromobilität, 2016) die Prognose, dass in 2017 ca. 200.000 Elektromobile im deutschen Fahrzeugbestand sein würden. Real waren es zum 31.12.2016 allerdings nur 34.000 Wagen. Die Arbeit der NPE insgesamt ist bisher alles andere als erfolgreich. Die Zahl der Publikationen, mit der die NPE das für die wirtschaftliche Zukunft des Landes zentrale Thema begleitet, liegt in der Zeit seit ihrer Gründung bis 2017 bei etwa zwei Publikationen pro Jahr. Die Etablierung eines nationalen Leitmarktes ist nach wie vor in weiter Ferne. Das langjährige Ziel, in 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen zu haben, hält auch die Bundeskanzlerin aktuell für unrealistisch (Tagesspiegel, 2017). Referate für Elektromobilität existieren in verschiedenen Bundesministerien. Der kommende Pfadwechsel braucht aber eine starke und konsensorientierte Koordination durch die Bundesregierung.

- Eine starke Koordinierungsstelle Elektromobilität, ggf. aus der NPE hervorgehend, sollte auf einem politischen Langfristziel und einem starken Narrativ aufbauen, von allen beteiligten Bundesministerien (BMW, BMUB und BMVDI) unterstützt werden und über ausreichende Mittel verfügen bzw. diese mobilisieren können, um einen erfolgreichen Pfadwechsel zu begleiten. Insbesondere die Themen Energiewende und Elektromobilität müssen aufeinander abstimmt werden. Wesentlich ist auch die Koordinierung der Arbeiten zur Anpassung des rechtlichen Rahmens. Bundesregierung 2018.
- Durch die Förderung der Debatte, Klärung von Fakten und Positionen sowie eine sowohl auf die Öffentlichkeit wie auch auf die Entscheider in Unternehmen, Politik und Verwaltung gerichtete Aufklärungskampagne sollten gesicherte Fakten verbreitet und die Basis für ein

koordiniertes und wirksames Handeln von Ministerien und Unternehmen gelegt werden. Bundesregierung 2018.

6.7 Langfristige Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie im Weltmarkt

In der Deutschen Automobilindustrie arbeiten insgesamt über 800.000 Menschen. Sie exportiert ca. 60% ihrer Produkte im Wert von ungefähr 200 Milliarden € p.a. Dass diese Branche auch nach dem Pfadwechsel zur Elektromobilität wettbewerbsfähig ist und hochpreisige Premium-Fahrzeuge erfolgreich exportiert ist für den Wirtschaftsstandort Deutschland zentral.

- Von kaum zu überschätzender Bedeutung ist die Batterietechnik, von der Reichweite, Ladezeiten, Kosten und Ökoeffizienz der Herstellung von Elektrofahrzeugen entscheidend abhängen. Koordiniert durch die Bundesregierung und unterstützt durch Forschungsförderung sollte sowohl an der Forschung und Entwicklung wie der Aufskalierung der Produktion von Batteriezellen und Batterien gearbeitet werden. Die F&E zu neuen, leistungsfähigeren, preisgünstigeren und ressourcenschonenderen Batteriekonzepten sollte deutlich gefördert werden. Die Aufskalierung der Produktion sollte durch die Hersteller erfolgen und das Ziel des Volumens der inländischen Batterieproduktion sollte von 13 GWh in 2025 (Nationale Plattform Elektromobilität, 2016, S. 13) auf mindestens 100 GWh hochgesetzt werden. Bundesregierung und NEP, 2018 bis 2025.
- Eine zentrale Stärke der deutschen Hersteller ist die Fähigkeit, hochqualitative Premiummodelle zu produzieren. Dies eröffnet ihnen sogar objektiv die Chance, als „me too“ Elektroautos zwar nicht als erste einzuführen, sie dafür aber „besser“ zu machen. Auch hierzu aber benötigen die deutschen Hersteller einen starken Leitmarkt mit anspruchsvollen Kunden in Deutschland, für die noch für einige Jahre erhebliche Kaufanreize erforderlich sein werden. Nur aus einem starken Heimatmarkt können Rückmeldungen und Impulse in die F&E der Hersteller kommen, die die Premium-Produktion deutscher Hersteller sichern helfen. Hersteller und Bundesregierung bis 2020.

6.8 Klimaneutrale und umweltverträgliche Autoproduktion

Während bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor die Fahrzeugherstellung nur 15 bis 20% der gesamten Treibhausgasemissionen ausmacht, erhöht sich dieser Wert für Elektrofahrzeuge, die mit erneuerbarem Strom angetrieben werden, auf über 90% (Umweltbundesamt (Hrsg.), 2016, S. 19). Eine klimaneutrale Produktion ist also zur langfristigen Optimierung dieser Fahrzeuge mit dem Ziel der Klimaneutralität von besonderer Bedeutung.

Der ab 2021 geltende Grenzwert für Flottenemissionen von 95g CO₂/km für alle neu zugelassenen Pkw kann durch eine CO₂-freie Autoproduktion bislang nicht reduziert werden, da hierzu die politischen Instrumente fehlen. Eine klimaneutrale (Fahrzeug-) Produktion in Deutschland sollte aber politisch unterstützt werden, da durch sie ein im Laufe der Zeit relativ immer wichtigerer Beitrag zur Erreichung der Klimaziele geleistet werden muss. Regenerativer Strom steht vielerorts zu wettbewerbsfähigen Gestehungskosten zur Verfügung, wird aber durch institutionell bedingte Kosten des Energiesystems so verteuert, dass der Bezug bei den Herstellern intern wirtschaftlich kaum durchgesetzt werden kann. Die gleichen Problematiken, die im Energierecht die dezentrale Erzeugung immer wieder benachteiligen, werden zukünftig auch die „physische“ regenerative und ortsnahe Versorgung energieintensiver Produktionsstandorte behindern.

- Die Versorgung von Produktionsstandorten mit „physisch“ regionalem und erneuerbarem Strom sollte im Energierecht als Ziel verankert und so institutionalisiert werden, dass die Vorteile geringer Durchleitungsentfernungen sich in Kostenvorteilen niederschlagen. Eine solche Netzentgeltstruktur dürfte auch dazu führen, dass Netze effizienter und kostengünstiger betrieben werden. Bundesregierung 2018 bis 2020.
- Fahrzeuge, produziert mit erneuerbaren Energien sollten mit einem Faktor und in Abhängigkeit von der Antriebsart für die Erreichung des 95 g CO₂/km-Ziels berücksichtigt werden. Bundesregierung 2018 bis 2020ff.
- Eine klimaneutrale Produktion sollte als Argument der Absatzförderung gegenüber Flotten- und Großkunden sowie zur Imagepflege mit geeigneten Marketingmaßnahmen durch den Vertrieb der Hersteller genutzt werden. Hersteller 2020ff.
- Zur Erzielung einer möglichst klimaneutralen Produktion ist die energieintensive Batteriezellfabrikation zentral. Die entstehenden Produktionsstätten der Batteriezellproduktion sollten daher prioritär an Standorten angesiedelt werden, an denen eine möglichst hohe anteilige Versorgung durch erneuerbaren Strom unproblematisch möglich ist. Im Regelfall dürfte dies bedeuten, diese Produktionsstätten in Regionen mit einem hohen Überschuss in der Erzeugung von erneuerbarem Strom anzusiedeln. Hersteller und regionale Akteure, 2018 bis 2020.
- Die teilweise mit hoher Umweltbelastung und unter schlechten sozialen Bedingungen gewonnen Rohstoffe für Batterien und Elektronik sollten durch ein wirkungsvolles Recycling im Kreislauf geführt und möglichst oft wiederverwendet werden. Bundesregierung 2020ff.

6.9 Koordination des Ausstiegs aus der Verbrenner-Technologie

Die immer wieder emotional geführte Debatte um den Ausstieg aus dem Verbrennungsmotor verstellt den Blick dafür, dass ein solcher Ausstieg in den nächsten 30 Jahren, ob wir ihn wollen oder nicht, aller Voraussicht nach kommen wird. Damit dies keine vermeidbaren Verwerfungen bei Herstellern und Zulieferern zur Folge hat und dadurch unnötig private wie auch volkswirtschaftliche Werte vernichtet werden, bedarf es einer weniger emotional geführten, sachlichen Debatte darüber, wie ein solcher Ausstieg geführt und wie seine Folgen abgemildert werden können. Schon heute ist ja sichtbar, dass sich große Gruppen der weitsichtigeren Hersteller und Zulieferer auf den Pfadwechsel vorbereiten.

- Innovative Hersteller und Zulieferer beginnen, in der F&E einen Plan-B vorzubereiten. Neben den Entwicklungslinien für Produkte für Verbrennungsmotoren wird analysiert, welche Produktlinien und Fertigungskompetenzen in der Zeit der Elektromobilität Potenzial haben werden (Stieber, 2017). Die weniger innovativen Unternehmen sollten in diesem Prozess öffentlich, z.B. durch Landeinitiativen der Wirtschaftsförderung, unterstützt werden. Hersteller, Zulieferer, Landesregierungen 2018 bis 2020.
- Neue Produkte bedeuten oft, dass neue Qualifikationen benötigt werden. Angebote der Aus- und Weiterbildung sind erforderlich. Hersteller und Zulieferer 2018ff.
- Ein politisches Ausstiegsszenario könnte hilfreich sein, um auch die weniger beweglichen und innovativen Akteure dazu zu bekommen, sich auf eine veränderte Zukunft vorzubereiten. Da der Pfadwechsel zur Elektromobilität eher markt- als politikgetrieben sein dürfte, kommt politischen Ausstiegplänen u.U. gar keine besondere Bedeutung zu. Es ist aber denkbar, dass sie als Signal an die Laggards helfen können, den Schaden des Pfadwechsels zu begrenzen. Bundesregierung 2022.

- Für Unternehmen, deren Ausgangsposition zu schlecht oder deren Bemühungen im Pfadwechsel letztlich nicht erfolgreich sind, sollte ein Notfonds für Sozialpläne bereitgehalten werden. Bundesregierung 2022.

7 Akteure und Zeithorizonte

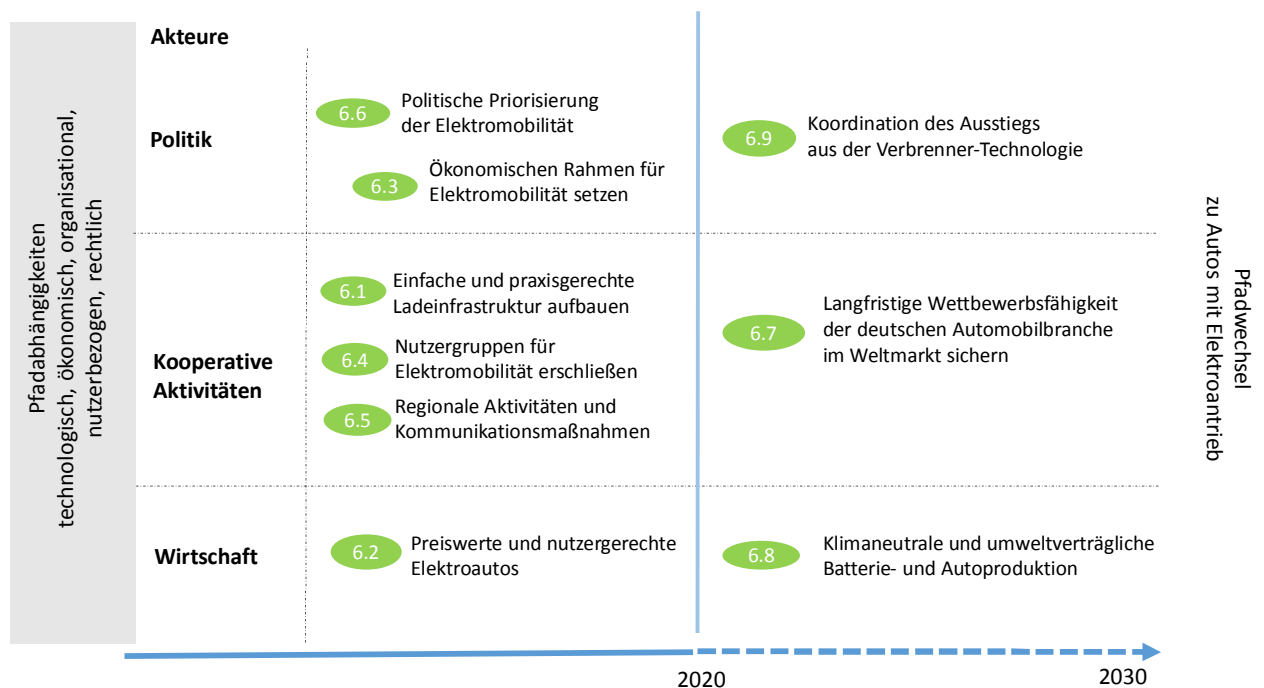
7.1 Roadmap Elektromobilität im Überblick

Für die erfolgreiche und großzahlige Einführung von Elektrofahrzeugen in den deutschen Automobilbestand sind sowohl kurz- wie auch mittel- und langfristige Maßnahmen erforderlich.

Die Aufgabe der kurzfristigen Maßnahmen besteht primär darin, die Ladeinfrastrukturen systematisch aufzubauen und den Absatzmarkt für die um das Jahr 2020 geplante Markteinführung zahlreicher elektrischer Modelle der großen deutschen Hersteller vorzubereiten. Hierdurch soll ein nationaler Leitmarkt aufgebaut werden, der durch seine anspruchsvolle Kundenschaft die Automobilhersteller herausfordert und unterstützt.

Die mittel- und langfristigen Maßnahmen bauen auf dem Erfolg der kurzfristigen Maßnahmen auf, nutzen die Kraft des Leitmarktes und zielen auf die dauerhafte Sicherung und den Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilhersteller mit Premium-Elektrofahrzeugen im Weltmarkt der zweiten Hälfte der zwanziger Jahre.

Abbildung 3: Pfadwechsel-Roadmap Elektromobilität Deutschland im Überblick



Quelle: eigene Darstellung

Die Darstellung von Maßnahmen in einer Roadmap erweckt grundsätzlich den Eindruck von letztlich politischer Steuerbarkeit. Es ist daher wichtig darauf hinzuweisen, dass der Pfadwechsel zur Elektromobilität einige Aspekte aufweist, die eher auf einen marktgetriebenen Pfadwechsel als auf ein politisches Transformationsprojekt hinweisen. Solche Aspekte sind:

- Die deutlich niedrigere Teilezahl in einem Elektroauto ermöglicht mittelfristig niedrigere Verkaufspreise, wie es sich bei Streetscooter und eGo Life schon andeutet. Zusammen mit

den ohnehin niedrigeren Betriebskosten von Elektroautomobilen böte dies einen hohen Kaufanreiz.

- Die hohe F&E Intensität und viele Innovationen in der Batterietechnik könnten ebenfalls mittelfristig leistungsfähigere Batterien mit radikal kürzeren Ladezeiten, niedrigeren Kosten und weniger Rohstoffproblemen verfügbar machen. Auch dies wäre ein erheblicher zusätzlicher Kaufanreiz.
- Die Digitalisierung des Fahrens rückt das Automobil dichter an die IKT heran. Über zusätzliche Nutzenversprechen sind gerade in der IKT marktbetriebene Prozesse vorherrschend.

Für marktgetriebene Pfadwechsel, als Beispiel sei der Flachbildmonitor genannt, sind sehr hohe Geschwindigkeiten des Wandels typisch. Das Ziel der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilbranche in dem Umfeld eines schnellen, marktgetriebenen Pfadwechsels sollte daher von all den Akteuren mitbedacht werden, die gegenwärtig noch auf eine Verzögerung des Wandels setzen.

7.2 Die Rollen der Akteure

Als Akteure des Pfadwechsels stehen die Automobilhersteller und ihre Zulieferer im Mittelpunkt, deren Kernaufgabe in der Entwicklung und Produktion von preiswerten und nutzerge-rechten Elektrofahrzeugen besteht, die aber auch an vielen anderen Aktivitäten schon aus dem eigenen Interesse heraus mitwirken sollten. Am Aufbau der Ladeinfrastruktur können und sollten auch Energieversorger und regionale Planungsakteure mitarbeiten. Regionale Akteure können auch dafür sorgen, dass die Aktivitäten regional anschlussfähig und in Kooperation mit regionalen Netzwerken durchgeführt werden.

In vielen großen und entscheidenden Akteursgruppen, besonders innerhalb der Automobilunternehmen, der Politik und den Gewerkschaften, bestehen Gegensätze zwischen denjenigen, die die Elektromobilität vorantreiben wollen und Gruppen, die den Pfadwechsel eher verzögern wollen. Deren Argumente fokussieren auf einem befürchteten, mit dem Pfadwechsel einhergehenden Verlust von Arbeitsplätzen, auf Befürchtungen von Rohstoffknappheit für die Batterieproduktion und vielem mehr. Eine bessere und parteiübergreifende Vernetzung und Koordination der Befürworter scheint erforderlich, um die Kräfte der Innovation-Community hinter der Elektromobilität zur Entfaltung zu bringen (Fichter & Beucker, 2012a, 2012b). Dabei dürfte auch die Unterstützung von Wissenschaft und Zivilgesellschaft von Bedeutung sein.

Im Zentrum des Pfadwechsels dürften mittelfristig drei Akteursgruppen von besonderer Bedeutung sein:

Für eine Reihe von ordnungsrechtlichen und förderpolitischen Aufgaben ist die **Bundesregierung** in der Pflicht. Beim Aufbau der Ladeinfrastrukturen hat sie neben der Koordination auch Aufgaben zur Anpassung des Eichrechts, zur Anpassung des Straßenverkehrsrechts, bei der netzbezogenen Regelung z.B. zum „Ladekartenroaming“ u.a.m. Darüber hinaus kann nur die Bundesregierung die für den Markthochlauf erforderlichen Fördersätze beschließen und generell den ökonomischen Rahmen so gestalten, dass er die Pfadwechsel von fossilen Technologien zu regenerativen, elektrischen und damit zukunftsfähigen Lösungen stärker unterstützt. Nur die Bundesregierung kann forschungspolitische Akzente rund um Batterien setzen und langfristig den Ausstieg aus der Verbrennertechnologie in Gang bringen. Hierzu benötigt die Bundesregierung ein starkes, ministeriumsübergreifendes Gremium.

Die zweite bedeutende Akteursgruppe sind die etablierten und großen **Automobilhersteller**. Ihnen kommt die Rolle zu, hochqualitative Elektroautos für die Großserie zu entwickeln und in hohen Stückzahlen zu produzieren. Und nur sie können die Branche bis in die Autohäuser

hinein so beeinflussen, dass die Elektroautos auch wirklich bei den Flotten- und Privatkunden ankommen. Und nur die großen Automobilhersteller können die große Zahl von elektrischen Automobilen für den Export produzieren, die nach dem heute schon in vielen Ländern geplanten Verbrennerausstieg nachgefragt werden und für die Sicherung zahlreicher Arbeitsplätze in Deutschland wichtig sind.

Die dritte zentrale Gruppe sind die **Pioniere in Herstellung und Nutzung**. Die Pioniere der Herstellung, von Tesla über die Deutsche Post mit dem Streetscooter bis zu Start-Ups wie eGo Mobile AG bringen das Angebot an Elektrofahrzeugen in Bewegung und setzen so die großen Automobilhersteller unter Marktdruck. Durch ihre andere Unternehmenskultur, die mehr auf die IKT-Branche zurückgeht und stark auf kostengünstige Produktion durch Industrie 4.0 setzt, bringen sie viel Innovation in die Autobranche. Und die Pioniere in der Nutzung, die privaten Elektromobilisten wie auch die Deutsche Post, die Deutsche See und andere Pilotkunden im Flottenbetrieb, sind von hoher Bedeutung dafür, dass die Elektromobile bei immer mehr Menschen ankommen. Sie verbreiten ihre Erfahrung, bauen so Unsicherheiten ab und eröffnen so die Gruppe der „frühen Mehrheit“ für die Elektromobilität.

Literaturverzeichnis

- Beigang, A. & Clausen, J. (2017). *Elektromobilität in China. Fallstudie im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy*. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Zugriff am 23.3.2017. Verfügbar unter: https://evolution2green.de/sites/evolution2green.de/files/documents/2017-03-e2g-fallstudie_emobilitaet_china_borderstep.pdf
- Braga, M. H., Grundish, N. S., Murchison, A. J. & Goodenough, J. B. (2017). Alternative strategy for a safe rechargeable battery. *Energy Environ. Sci.*, 10 (1), 331–336. doi:10.1039/C6EE02888H
- Canzler, W. & Knie, A. (2014). Mobil mit selbst gemachtem Strom. *Politische Ökologie*, 32 (Juni), 46–52.
- Clausen, J. (2017a). *PKW-Antriebe. Transformationsfeldanalyse im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy*. Berlin.
- Clausen, J. (2017b). *Straßen. Transformationsfeldanalyse im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy*. Berlin.
- Clausen, J. (2017c). *Elektromobilität in Norwegen. Fallstudie im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy*. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Zugriff am 23.3.2017. Verfügbar unter: https://evolution2green.de/sites/evolution2green.de/files/documents/2017-03-e2g-fallstudie_emobilitaet_norwegen_borderstep.pdf
- Clausen, J. (2017d). *Elektromobilität in Kalifornien. Fallstudie im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy*. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Zugriff am 23.3.2017. Verfügbar unter: https://evolution2green.de/sites/evolution2green.de/files/documents/2017-03-e2g-fallstudie_emobilitaet_kalifornien_borderstep_0.pdf
- Clausen, J. (2017e). *Der Post-Streetscooter. Fallstudie im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy*. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Zugriff am 28.3.2017. Verfügbar unter: https://evolution2green.de/sites/evolution2green.de/files/documents/2017-03-e2g-emobility_streetscooter_borderstep.pdf
- Clausen, J. (2017f). Elektrisierende Entwicklung. E-Mobile im kommunalen Fuhrpark. *Alternative Kommunalpolitik*, 38 (4), 50–51.
- Clausen, J. & Perleberg, S. (2017). *Tesla Motors. Fallstudie im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy*. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Zugriff am 8.5.2017. Verfügbar unter: https://evolution2green.de/sites/evolution2green.de/files/documents/2017-04-e2g-fallstudie_emobilitaet_tesla_borderstep.pdf
- Deutsche See. (2017, April 28). Wir fahren Streetscooter. Zugriff am 14.11.2017. Verfügbar unter: <https://www.deutscheesee.de/ueber-uns/nachhaltigkeit/umwelt-energie/wir-fahren-streetscooter/>
- Die Bundesregierung. (2016). *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 2016. Neuauflage 2016*. Berlin. Zugriff am 23.1.2017. Verfügbar unter: https://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Nachhaltigkeit/0-Buehne/2016-05-31-download-nachhaltigkeitsstrategie-entwurf.pdf?__blob=publicationFile&

- Eaves, S. & Eaves, J. (2004). *A Cost Comparison of Fuel-Cell and Battery Electric Vehicles*. Charleston RI und Mesa AZ. Zugriff am 23.6.2017. Verfügbar unter: http://www.metricmind.com/data/bevs_vs_fcvs.pdf
- eGo Mobile AG. (2017, November 14). Caritas-Verbände steigen auf Elektroautos von e.GO Mobile um. Zugriff am 14.11.2017. Verfügbar unter: <http://e-go-mobile.com/de/aktuelles/>
- e-mobil bw (Hrsg.). (2015). *Elektromobilität weltweit. Baden-Württemberg im internationalen Vergleich*. Stuttgart. Zugriff am 24.5.2016. Verfügbar unter: http://www.e-mobilbw.de/files/e-mobil/content/DE/Service/Publikationen/e-papers/internationales_Benchmarking/
- Ernst & Young. (2017). *Chinesische Unternehmenskäufe in Europa. Eine Analyse von M&A Deals 2006 - 2016*. Zugriff am 25.6.2017. Verfügbar unter: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-ma-chinesische-investoren-januar-2017/\\$FILE/EY-ma-chinesische-investoren-januar-2017.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-ma-chinesische-investoren-januar-2017/$FILE/EY-ma-chinesische-investoren-januar-2017.pdf)
- Fichter, K. & Beucker, S. (Hrsg.). (2012a). *Innovation Communities: Teamworking of Key persons - A Success Factor in Radical Innovation*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Fichter, K. & Beucker, S. (2012b). *Innovation Communities: Kooperation zahlt sich aus. Ein Leitfaden für die Praxis*. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit, Uni Oldenburg. Verfügbar unter: http://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2014/07/Innovation_Communities_Kooperation_zahlt_sich_aus.pdf
- Figenbaum, E. & Kolbenstvedt, M. (2016). *Learning from Norwegian Battery Electric and Plug-in Hybrid Vehicle users Results from a survey of vehicle owners*. Oslo. Zugriff am 17.11.2016. Verfügbar unter: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=43161>
- Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen. (2013). *Kraftstoffstudie. Zukünftige Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren und Gasturbinen*. Frankfurt am Main. Zugriff am 12.9.2017. Verfügbar unter: http://www.fvv-net.de/cms/upload/Download/FVV-Kraftstoffstudie_LBST_2013-10-30.pdf
- Greene, D. L. & Duleep, G. (2013). *Status and Prospects of the Global Automotive Fuel Cell Industry and Plans for Deployment of Fuel Cell Vehicles and Hydrogen Refueling Infrastructure*. Oak Ridge. Zugriff am 26.5.2016. Verfügbar unter: https://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/fcev_status_prospects_july2013.pdf
- Handelsblatt Online. (2016, August 11). Tesla kauft Grohmann Engineering: Kampfansage vom Elektroauto-Pionier.
- Helmer, M. & Gnannt, N. (2017, Juni 11). Kaufberatung fürs Elektro-Auto. *ZDF-WISO*.
- Kane, M. (2015, Dezember 17). Navigant: Fuel Cell Vehicle Sales To Exceed 228,000 Units By 2024. *Inside EVs*. Zugriff am 16.9.2016. Verfügbar unter: <http://insideevs.com/navigant-fuel-cell-vehicle-sales-exceed-228000-units-2024/>
- Klima Allianz Deutschland. (2016). *Klimaschutzplan 2050 der deutschen Zivilgesellschaft*. Berlin. Zugriff am 28.4.2016. Verfügbar unter: https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Klimaschutzplan2050_final.pdf
- Korte, F., Göll, E. & Behrendt, S. (2017). *Automobilität im Wandel. Transformationsfeldanalyse im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy*. Berlin.

- KPMG. (2018). *KPMGS Global Automotive Executive Survey 2018. Electric readiness. A successful infrastructure is defined by two components: Charge point coverage and a positive charging experience.* Zugriff am 16.1.2018. Verfügbar unter: <https://gaes.kpmg.de/brain.html#electric-readiness>
- Kraftfahrtbundesamt. (2017a). *Fahrzeugzulassungen (FZ): Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen Jahr 2016.* Flensburg. Zugriff am 26.6.2017. Verfügbar unter: http://www.kba.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ/2016/fz14_2016_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- Kraftfahrtbundesamt. (2017b). *Verkehr in Kilometern der deutschen Kraftfahrzeuge im Jahr 2016.* Zugriff am 12.9.2017. Verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/verkehr_in_kilometer_n_node.html
- Losch, R. (2016, August 16). *Mit der Brennstoffzelle zum Gardasee. Hannoversche Allgemeine Zeitung*, S. 9.
- Lottsiepen, G. (2014). *Raus auf die Straße. Chancen von E-Mobilität und Elektroautos. Politische Ökologie*, 32 (Juni), 74–80.
- Lunz, B. & Sauer, D. U. (2010, Februar 18). *Technologie und Auslegung von Batteriesystemen für die Elektromobilität.* Gehalten auf der Solar Mobility, Berlin. Zugriff am 27.6.2017. Verfügbar unter: <https://www.bsm-ev.de/themen/infocenter/energiespeicherung/batteriesysteme-fuer-elektromobilitaet/view>
- Micksch, S. (2017, Juni 14). *Wasserstoffautos: Kurz mal Wasserstoff tanken. Frankfurter Rundschau.*
- Mizuho Bank. (2017). *The “New Normal” in China’s Auto Industry.* Hongkong. Zugriff am 24.6.2017. Verfügbar unter: https://www.mizuhobank.com/service/global/cndb/economics/kanan_asia/pdf/R421-0062-XF-0105.pdf
- Muoio, D. (2017, Oktober 23). *These countries are banning gas-powered vehicles by 2040. Business Insider.*
- NABU Bundesverband. (2016). *Elektromobilität: Mehr als der Austausch des Verbrennungsmotors durch einen Elektromotor.* Berlin. Zugriff am 27.11.2017. Verfügbar unter: https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/verkehr/auto/160322-nabu_hintergrund_elektromobilitaet.pdf
- Nationale Plattform Elektromobilität. (2016). *Wegweiser Elektromobilität. Handlungsempfehlungen der Nationalen Plattform Elektromobilität.* Berlin. Zugriff am 23.6.2017. Verfügbar unter: http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/Wegweiser_Elektromobilitaet_2016_web_bf.pdf
- Perleberg, S. & Clausen, J. (2017). *Elektromobilität in den Niederlanden. Fallstudie im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy.* Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Zugriff am 23.3.2017. Verfügbar unter: https://evolution2green.de/sites/evolution2green.de/files/documents/2017-03-e2g-fallstudie_emobilitaet_niederlande_borderstep.pdf
- Philipp, J. (2017, Juli 18). *Elektroauto für 24.000 Euro: VW sagt Teslas Model 3 den Kampf an. GigaTech.* Zugriff am 6.12.2017. Verfügbar unter: <http://www.giga.de/unternehmen/tesla-motors/news/elektroauto-fuer-24.000-euro-vw-sagt-teslas-model-3-den-kampf-an/>

- Porter, M. E. (1998). Clusters and the New Economics of Competition. *Harvard Business Review* (S. 77–90). Harvard.
- Romare, M. & Dahllöf, L. (2017). *The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries*. Stockholm. Zugriff am 23.6.2017. Verfügbar unter: <https://www.ivl.se/download/18.5922281715bdaebede9559/1496046218976/C243+The+life+cycle+energy+consumption+and+CO2+emissions+from+lithium+ion+batteries+.pdf>
- Stieber, B. (2017, August 31). Grüß Gott, Sie sind unsere Zukunft. *Die Zeit*, S. 32.
- Tagesspiegel. (2017, Mai 16). Elektromobilität: Merkel kassiert das Ziel von einer Million E-Autos bis 2020. *Tagesspiegel*.
- Tagscherer, U. (2012). *Electric mobility in China - A Policy review*. Fraunhofer ISI Discussion Papers No. 30. Fraunhofer ISI. Verfügbar unter: http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/p/de/diskpap_innosysteme_policyanalyse/discussionpaper_30_2012.pdf
- Tappeser, V. & Chichowitz, L. (2017). *Umgang mit Altfahrzeugen. Transformationsfeldanalyse im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy*. Berlin. Zugriff am 17.1.2017. Verfügbar unter: www.evolution2.green.de
- Tesla, Inc. (2016, August 11). Formation of Tesla Advanced Automation Germany. Zugriff am 30.3.2017. Verfügbar unter: https://www.tesla.com/de_DE/blog/formation-of-tesla-advanced-automation-germany
- Toshiba Corp Japan. (2017, 10). Toshiba : Press Release (3 Oct, 2017): Toshiba Develops Next-Generation Lithium-ion Battery with New Anode Material. Zugriff am 30.10.2017. Verfügbar unter: https://www.toshiba.co.jp/about/press/2017_10/pr0301.htm
- Umweltbundesamt (Hrsg.). (2016). *Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen*. Dessau-Roßlau. Zugriff am 23.6.2017. Verfügbar unter: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_27_2016_umweltbilanz_von_elektrofahrzeugen.pdf
- Valentine-Urbschat, M. & Valentine-Urbschat, N. (2014). *Elektrisiert*. München: Valentine-Urbschat.