

Perspektiven der ELEKTROMOBILITÄT

für Energiewende, Produktion und Ladeinfrastruktur



Aktuelle Ergebnisse und internationale Einordnung der Begleit- und Wirkungsforschung zum Förderprogramm ELEKTRO POWER II des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie

Impressum

Herausgeber

Begleit- und Wirkungsforschung ELEKTRO POWER II
Institut für Innovation und Technik in der
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin
TÜV Rheinland Consulting GmbH, Köln

Text und Redaktion

Begleit- und Wirkungsforschung ELEKTRO POWER II
Institut für Innovation und Technik in der
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin
TÜV Rheinland Consulting GmbH, Köln
LoeschHundLiepold Kommunikation GmbH, Berlin

Autorinnen und Autoren

Dr. Katharina Vera Boesche
Ilona Friesen
Dr. Marcia Giacomini
Jan-Hinrich Gieschen
Dr. Sören Grawenhoff
Doris Johnsen
Uwe Seidel
Dr. Stefan Wolf

Layout

A.-S. Piehl, VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Bildnachweis

© iStock/KateDemianov (Titel)
© iStock/kasto80 (S. 2)
© iStock/ollo (S. 4/5)
© Institut für Innovation und Technik in der
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH (Idee),
LoeschHundLiepold Kommunikation GmbH (Grafik) (S. 13)
© Tom Bayer/Fotolia (S. 16)
© iStockScharfsinn86 (S. 22)
© iStock/Firstsignal (S. 34)
© Braunschweiger Verkehrs-GmbH (S. 39)
© ShantiHesse/Thinkstock (S. 47)

Berlin, Oktober 2018

Die Begleit- und Wirkungsforschung zum Förderprogramm „ELEKTRO POWER II: Elektromobilität - Positionierung der Wertschöpfungskette“ wird im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie durch das Institut für Innovation und Technik in Berlin und die TÜV Rheinland Consulting GmbH in Köln durchgeführt.

1 INHALT

1	Deutschland im Sommer 2018: Die Elektromobilität legt an Fahrt zu.....	3
2	Elektromobilität als Teil der Energiewende.....	7
2.1	Kurzvorstellung des Themenfeldes und Bezug zu ELEKTRO POWER II.....	7
2.2	Operationalisierung des Themenfeldes	7
2.3	Zentrale, aktuelle Entwicklungen in dem betrachteten Themenfeld.....	8
2.4	Beitrag der jeweiligen geförderten Projekte zu diesem Themenfeld	12
2.5	Internationale Betrachtung.....	16
2.6	Fazit.....	17
3	Elektromobile Wertschöpfungskette im Bereich der Produktion.....	18
3.1	Kurzvorstellung des Themenfeldes und Bezug zu ELEKTRO POWER II.....	18
3.2	Produktion von Fahrzeugen.....	19
3.3	Produktion von Batteriezellen.....	30
4	Induktive Ladesysteme im öffentlich zugänglichen Raum	36
4.1	Kurzvorstellung des Themenfeldes und Bezug zu ELEKTRO POWER II.....	36
4.2	Operationalisierung des Themenfeldes	37
4.3	Entwicklungen auf nationaler und internationaler Ebene	39
4.4	Beitrag der jeweiligen geförderten Projekte zu diesem Themenfeld	44
4.5	Fazit.....	47
5	Internationale Marktentwicklung der Elektromobilität	48
5.1	Ausgewählte europäische Länder	49
5.2	China.....	57
5.3	Japan	63
5.4	USA	69
5.5	Ausblick: Entwicklung der Elektromobilität außerhalb der etablierten Märkte.....	75
6	Fazit und Handlungsempfehlungen.....	80
7	Conclusions and recommendations for action	82
8	Literaturverzeichnis	84



1 DEUTSCHLAND IM SOMMER 2018: DIE ELEKTROMOBILITÄT LEGT AN FAHRT ZU

Juli 2018

Das Unternehmen Sono Motors aus München vermeldet fast 6.500 Vorbestellungen für das „erste serienmäßige Elektroauto, das seine Batterie durch die Sonne lädt“, gefertigt in Deutschland, mit einer Batterie aus heimischer Herstellung (Sono Motors, 2018). BMW verkündet, ab 2021 Batteriezellen für seine Elektroautos aus der geplanten CATL-Fabrik in Erfurt zu beziehen, geplantes Auftragsvolumen in Deutschland: 1,5 Milliarden Euro (Reuters 2018).

Juni 2018, CEBIT

Emsig und geräuschlos kreisen die ersten Prototypen des „e.GO“ ihre Proberunden für die interessierte Öffentlichkeit. Die Schlangen für die Testfahrten sind lang; das Interesse am e.GO ist groß. Mit diesem rein elektrisch betriebenen Kleinwagen für die urbane Mobilität, entwickelt an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH), nimmt eine weitere Markterfolgsstory Fahrt auf.

An dem Konzeptfahrzeug aus Aachen lässt sich die beginnende Transformation der deutschen Automobilindustrie ideal verdeutlichen. Zeitgleich mit der erfolgreichen Entwicklung des Nutzfahrzeugs Streetscooter wurde die Idee des kompakten e.Go am Lehrstuhl „Production Engineering of E-Mobility Components“ an der RWTH geboren. Zwischen 2010 und 2015 wurde entwickelt, ausprobiert, verbessert und eine erste Kleinserie in der Aachener Manufaktur gefertigt. Als Anspruch wurde neben dem günstigen, auf den Wettbewerb ausgerichteten Verkaufspreis für ein Serienfahrzeug vor allem die Derivatisierbarkeit des Grundmodells formuliert. Durch Fertigung und Montage gleichbleibender Grundmodule sollen verschiedene Modellvarianten entstehen, die je nach Marktnachfrage bedarfsgerecht produziert werden. Um dieses Ziel zu erreichen, mussten Herausforderungen, die die gesamte Automobilbranche seit Jahren beschäftigen und die völlig neue Allianzen für die Zusammenarbeit von Wertschöpfungspartnern hervorgebracht haben, gemeistert werden.

Ein kurzer Blick zurück

Im Jahr 2009 veröffentlichte die Bundesregierung den „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung“ und legte damit den Grundstein für die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE), die dann ein Jahr später gegründet wurde. In einem ihrer ersten Berichte aus dem Jahr 2011 formuliert die NPE die Vision für das Jahr 2020:

„Deutschland ist Leitanbieter und Leitmarkt für Elektromobilität und weltweit führend bei den notwendigen Schlüsseltechnologien. Eine Million Elektrofahrzeuge sind integraler, breit akzeptierter Bestandteil in einem umfangreichen Portfolio innovativer Antriebsformen. Über Informations- und Kommunikationstechnologien sind sie mit intelligenten Verkehrssystemen vernetzt und integrativer Bestandteil eines intelligenten Energiesystems (Smart Grid). Das Zusammenspiel zwischen intermodalen Angeboten, regenerativer Energieerzeugung und dem Einsatz emissionsfreier Elektrofahrzeuge schöpft zusätzliche Chancen für Ökologie und Verkehr aus.

Dabei steht »Elektromobilität made in Germany« für systemische Lösungen über die Grenzen traditioneller Industriebranchen hinweg. Mit neuen Materialien, Produkten, Dienstleistungen und Geschäftsmodellen werden Wertschöpfungspotenziale der Elektromobilität genutzt; die dafür notwendige Produktions- und Fertigungstechnologie stammt aus Deutschland. Mehr noch: Forschung und Entwicklung der deutschen Wissenschaft und Industrie definieren den internationalen Maßstab für Innovation in der Elektromobilität. Deutsche Ausbildungs- und Qualifizierungskonzepte, die alle zentralen Aspekte der Elektromobilität abdecken, sind international stark nachgefragt. Ausgezeichnete Wissenschaftler, Ingenieure und Fachkräfte sind die Basis für einen stetigen Vorsprung Deutschlands im Bereich der Elektromobilität.

Aufgrund des technologischen und konzeptionellen Vorsprungs im weltweiten Wettbewerb ist die Exportnachfrage nach Elektromobilitätsgütern und -leistungen aus deutscher Produktion überdurchschnittlich. Zudem hat Recycling im Rohstoffkreislauf einen hohen Stellenwert. Wirtschaftliche Recyclinglösungen leisten neben einer aktiven Rohstoffpolitik einen relevanten Beitrag zur langfristigen Verfügbarkeit wichtiger Rohstoffe für Deutschland. Auch bei internationalen Standardisierungs- und Normungsfragen hat Deutschland eine Schlüsselrolle übernommen“ (NPE 2011, S. 11).

Seit 2009 wurden durch eng abgestimmte Anstrengungen von Industrie, Politik, Wissenschaft und Gesellschaft wesentliche technische Entwicklungen erfolgversprechend auf den Weg gebracht. Notwendige Schlüsseltechnologien, insbesondere die Prozesstechnik, um Fertigung und datenbasierte Geschäftsmodelle zu flexibilisieren, wurden in den letzten Jahren ausgebaut. Logistikkonzepte zur Organisation globaler Ressourcenströme sind entwickelt und praxiserprobt. Der stark mittelständisch geprägte Maschinen- und Anlagenbau steht

bereit, um innovative Konzepte in eine nutzbare Produktionsinfrastruktur umzusetzen. Die deutschen Anbieter sind hier weltweit anerkannt und nachgefragt.

Aktueller Status

Momentan befindet sich die Elektromobilität in Deutschland in einem sehr realistischen Diskussionsumfeld. Pläne und Visionen, die zum Aufbau der ersten Begeisterungswelle sinnvoll waren, werden zunehmend relativiert und auf umsetzbare Konzepte angepasst. Die deutschen Erstausrüster (OEM) haben eine breite Palette von Elektrofahrzeugen in den Markt eingeführt, bzw. kurzfristig angekündigt. Übereinstimmende Expertenmeinungen gehen von einem Marktanteil reiner Elektrofahrzeuge bei den Neuzulassungen im Jahr 2025 von 25 Prozent aus. Dies erscheint realistisch, sobald die Fahrzeugpalette bezüglich höherer Laufleistung aufgrund verbesserter Batterieleistungen und akzeptierter Preisgestaltung für das Fahrzeug den massenhaften Bedarf der Kunden trifft.

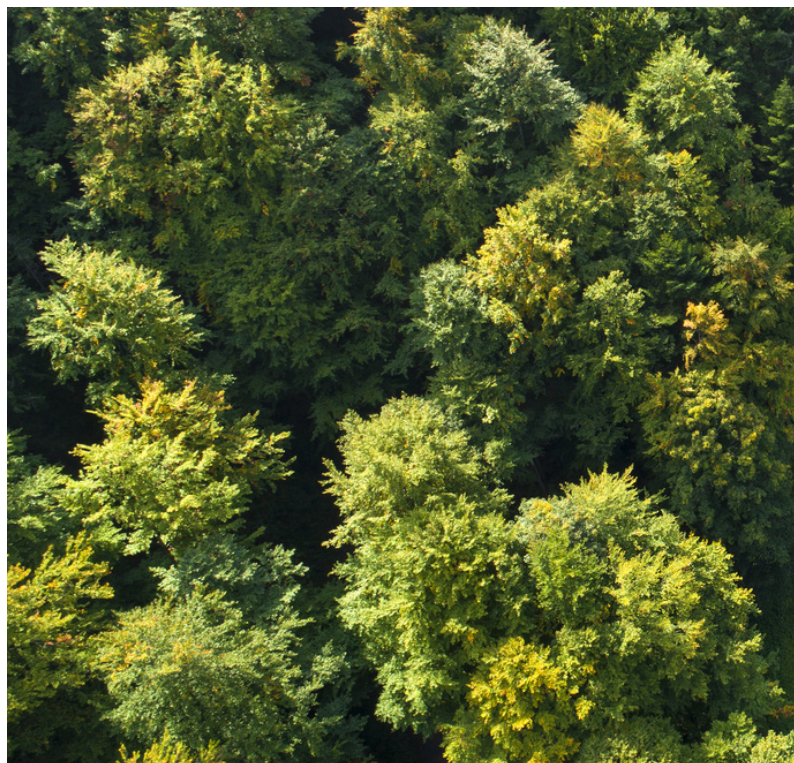
2018 befindet sich die Elektromobilität noch immer in der Konsolidierungsphase und hat deutliche Markteintrittsbarrieren zu überwinden. Dabei hat Deutschland weniger ein Forschungs- und Wissenschaftsproblem; die Exzellenz der wissenschaftlichen Einrichtungen ist international anerkannt. Die Herausforderung liegt nach wie vor in der industriellen Umsetzung von guten Ideen und Innovationen sowie in der Skalierung erfolgversprechender Geschäftsmodelle. Dies gilt für Fahrzeuge, Batterien, aber auch für begleitende Prozesse mit dem Ziel attraktiver Elektromobilitätsangebote.

Die Bundesregierung ist sich diesen Herausforderungen bewusst und formuliert im aktuellen Koalitionsvertrag Bezüge und Ziele ihrer zukünftigen Arbeit zur Elektromobilität:

„Wir wollen die Elektromobilität (batterieelektrisch, Wasserstoff und Brennstoffzelle) in Deutschland deutlich voranbringen und die bestehende Förderkulisse, wo erforderlich, über das Jahr 2020 hinaus aufstocken und ergänzen. Wir wollen den Aufbau einer flächendeckenden Lade- und Tankinfrastruktur intensivieren. Ziel ist, bis 2020 mindestens 100.000 Ladepunkte für Elektrofahrzeuge zusätzlich verfügbar zu machen – wovon mindestens ein Drittel Schnellladesäulen (DC) sein sollen. Zudem wollen wir die Errichtung von priva-

ten Ladesäulen fördern. Für eine nachhaltige Umstellung der Busflotten auf alternative Antriebe sind neben den Fahrzeugen auch eine geeignete Ladeinfrastruktur sowie Betriebsmanagementsysteme erforderlich. Den Einbau von Ladestellen für Elektrofahrzeuge von Mieterinnen und Mietern sowie Wohnungseigentümerinnen und Wohnungseigentümern werden wir rechtlich erleichtern. Außerdem werden wir die gesetzlichen Bedingungen für benutzerfreundliche Bezahlssysteme verbessern“ (Koalitionsvertrag 2018, S. 77).

Die deutsche Automobilindustrie steht im Jahr 2018 vor einer Zeitenwende. Wichtige Märkte in Asien, Indien und den USA setzen verstärkt auf elektromobile Konzepte. Die globalen Klimaprobleme und die stark anwachsende Nachfrage nach Fahrzeugen in Schwellenländern lassen sich nur durch umweltverträgliche Antriebsformen in Einklang bringen. Dies führt zunehmend zu einem regional bedarfsorientierten Angebot an Fahrzeugen und damit zur Verschiebung von Marktzugängen und -anteilen.



Die Produktion batteriebetriebener Fahrzeuge benötigt im rasant steigenden Maße eine ausreichende Versorgung mit Batteriezellen. Hier liegt die Produktionskompetenz bisher nicht in Europa. Der Erfolg der Elektromobilität aus deutscher Produktion wird maßgeblich davon abhängen, ob es gelingt, die drohenden Abhängigkeiten von Batteriezellianbietern aus Asien zu vermeiden oder auszugleichen. Trotz der hoffnungsvoll stimmenden Nachrichten aus dem Sommer 2018 – die Etablierung der Elektromobilität als bevorzugte Mobilitätslösung bedarf noch erheblicher Forschungsanstrengungen und wirtschaftlicher Geschäftsprozesse.

Das Förderprogramm ELEKTRO POWER II und sein Beitrag zum Erfolg der Elektromobilität

„Die deutsche Industrie ist gefordert, ihre technologische Spitzenstellung auch im Bereich der Elektromobilität zu sichern und die Marke „Made in Germany“ für Elektrofahrzeuge, Systeme und Bauteile auf dem Weltmarkt zu etablieren. Der Maschinen- und Anlagenbau spielt hier eine besondere Rolle.



Deutschland soll sich nicht nur zu einem „Leitmarkt Elektromobilität“ entwickeln, sondern sich mit Innovationen im Bereich Fahrzeuge, Antriebe und Komponenten sowie der Einbindung der Fahrzeuge in die Strom- und Verkehrsnetze künftig auch als ein „Leitanbieter Elektromobilität“ etablieren. Entscheidend bleibt deshalb die Förderung von Forschung und Entwicklung. Zur Profilierung deutscher Produkte trägt wesentlich die Zusammenfassung von Forschungsprojekten nach Themen und die dort gebündelte praxisnahe und marktvorbereitende Untersuchung innovativer Technologien bei“ (Regierungsprogramm 2011, S. 6 f).

Dieser Auszug aus dem Regierungsprogramm Elektromobilität des Jahres 2011 belegt, in welche strategische Richtung die Bundesregierung den Rahmen zur Förderung der Elektromobilität setzt. Nach einer Vielzahl von FuE-Programmen, die Basistechnologien zum Fördergegenstand hatten, ging es dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Jahr 2015 vordringlich um die Stärkung der Wertschöpfung in Deutschland, um die industriepolitische Förderung marktreifer Lösungen und um die Verringerung regulatorischer Hürden für die Verbreitung der Elektromobilität.

Mit dem Förderprogramm ELEKTRO POWER II und den dort adressierten Zieldimensionen leistet das BMWi daher einen wichtigen Beitrag, um das Ziel des Regierungsprogramms der Bundesregierung zu erreichen.

Folgende Ziele wurden formuliert:

- Elektrofahrzeuge werden intelligent und wirtschaftlich in die Energiesysteme eingebunden und dadurch zu einem Erfolgsfaktor für die Energiewende.
- Die Herstellungskosten von Elektrofahrzeugen und die Gesamtsystemkosten der Elektromobilität werden durch den Einsatz wirtschaftlicher Produktionstechnologien reduziert.
- Die Digitalisierung der Produktion ermöglicht eine flexiblere und bedarfsgerechtere Produktion.
- Durch frühzeitige Normierungs- und Standardisierungsarbeiten wird die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie erhöht.

Jedes dieser Ziele markiert einen Baustein im Gesamtsystem Elektromobilität. Die Forschungsergebnisse einzelner Projekte in jeder dieser Dimensionen sind für sich bedeutsam. Durch

die Addition ihrer aufeinander aufbauenden und sich ergänzenden Resultate wird eine starke Hebelwirkung zum Erfolg des Hauptziels der Bundesregierung erreicht: Die Transformation des Verkehrsbereichs, indem traditionelle, auf Verbrennung fossiler Energieträger basierende Fahrzeugtechnologien durch umweltfreundliche Elektrofahrzeuge abgelöst werden.

Innovationsbericht

„Zentrales Ziel der Förderbekanntmachung ELEKTRO POWER II ist die Stärkung der elektromobilen Wertschöpfungsketten aus industriepolitischer Sicht“ (BMW i 2015). Mit diesem Zitat aus der Förderbekanntmachung vom 16. März 2015 wird die grundsätzliche Ausrichtung der Maßnahme beschrieben. Die Struktur und die Themen des vorliegenden Innovationsberichts folgen dieser Ausrichtung und beschreiben die aktuelle Situation in den Förderschwerpunkten, stets auch unter Berücksichtigung der erreichten Ergebnisse der geförderten Projekte, sowie weiterer, aktueller industriepolitischer Entwicklungen der Elektromobilität.

In der Ergebnisbroschüre der Begleit- und Wirkungsforschung zum Programm ELEKTRO POWER II, die als Publikation des BMW i erscheint, werden die Resultate der geförderten Projekte im Detail vorgestellt.¹ Damit wird verdeutlicht, an welchen zukunftsweisenden Technologiefeldern die Förderung angesetzt hat und welche Effekte aus diesen Ergebnissen zu erwarten sind.

Ziel dieses Innovationsberichts ist es dagegen, die Ergebnisse des Programms ELEKTRO POWER II entlang der Fördergegenstände darzustellen:

- Elektromobilität als Teil der Energiewende (Datensicherheit in der Elektromobilität beim Laden und Abrechnen, Elektromobilität und Strommarkt),
- elektromobile Wertschöpfungskette im Bereich der Produktion von Fahrzeugen und Batteriezellen,
- induktive Ladesysteme im öffentlich zugänglichen Raum.

Erarbeitet wurde der Bericht durch das Team der Begleit- und Wirkungsforschung, das den Projektakteuren im Auftrag des BMW i für fast drei Jahre zur Seite stand. Die Autorinnen und Autoren gliedern dabei die Projektergebnisse in einen übergeordneten fachlichen Kontext ein. Zudem werden die erreichten Fortschritte in Bezug zu weiteren nationalen und internationalen Entwicklungen gesetzt. Der Innovationsbericht liefert einen fundierten Überblick zu den Auswirkungen des Programms ELEKTRO POWER II auf die zukünftige Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland.

¹ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMW i] (Hg.) (2018a): Innovationen für die Elektromobilität. Ergebnisse aus dem Förderprogramm ELEKTRO POWER II. 2016-2018. Berlin. Online abrufbar unter: www.bmw.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/elektromobilitaet-elektro-power-ii.html

2 ELEKTROMOBILITÄT ALS TEIL DER ENERGIEWENDE

Das Zusammenwirken von Mobilitätsangeboten und Energiewirtschaft soll auch durch die Fördermaßnahme ELEKTRO POWER II gestärkt werden. Dazu formuliert die Bekanntmachung von 2015 folgendes Ziel: „Elektromobilität ist der Schlüssel zu einer nachhaltigen und klimagerechten Mobilität und eröffnet große wirtschaftliche und gesellschaftliche Chancen. Als Bindeglied zwischen der Stromerzeugung auf der Basis erneuerbarer Energiequellen und dem Verkehrssektor bietet die Elektromobilität die Perspektive einer CO₂-freien Mobilität. E-Fahrzeuge können in besonderem Maße zum Gelingen der Energiewende beitragen, indem sie mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen geladen und perspektivisch als mobile Speicher zur Stromnetzstabilisierung eingesetzt werden“ (BMWi 2015).

2.1 Kurzvorstellung des Themenfeldes und Bezug zu ELEKTRO POWER II

Die Elektromobilität ist eine Schlüsseltechnologie für klimafreundliche Mobilität. Sie ist eingebettet in den größeren Kontext der Energiewende und in die weltweiten Bemühungen zur Minderung des anthropogenen Klimawandels. Das Übereinkommen von Paris zur Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf deutlich unter 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter (19. Jahrhundert) schafft weltweit Rahmenbedingungen, die den Weg der Elektromobilität ebnen. In Deutschland hat die Bundesregierung mit dem Klimaschutzplan 2050 sektorspezifische Ziele zur Minimierung der Treibhausgasemissionen beschlossen. Im Verkehrssektor sollen die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030 um 40 Prozent sinken (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit [BMUB] 2016). Ein Erfolgsfaktor für die Erreichung dieses Ziels ist die stärkere Kopplung der Sektoren Verkehr und Energie. Die Elektromobilität ist dabei ein Bindeglied zwischen der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und der Erbringung von Mobilitätsleistungen. Somit ist sie ein wichtiges Element der Energiewende.

Damit die Elektromobilität zu einem Erfolgsmodell wird, müssen die verschiedenen Elemente von Energie- und Mobilitätssystem ineinandergreifen. Die Ladeinfrastruktur ist dabei die Schnittstelle für den Energieaustausch zwischen beiden Systemen. Daher ist der Aufbau einer bedarfsgerechten Ladeinfrastruktur ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Elektromobilität. Darüber hinaus stellt das Laden von Elektrofahrzeugen die Betreiber von Stromverteilnetzen vor neue Herausforderungen. Sie müssen das Laden von Elektrofahrzeugen, die Stromspeisung aus fluktuierenden erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen sowie weitere neue Verbraucher in Einklang bringen.

Um die Integration von Energie- und Mobilitätssystem kostengünstig zu gestalten, ist eine Anpassung der Rahmenbedingungen notwendig. Hierzu zählt die Schaffung von Normen und Standards ebenso wie die Überarbeitung des Rechtsrahmens. Schlussendlich ist es notwendig, Arbeitsprozesse und Geschäftsmodelle zu entwickeln, die dem Kunden eine einfache und kostengünstige Nutzung der Elektromobilität ermöglichen.

Die erfolgreiche Bewältigung dieses Integrationsprozesses erfordert die Einbindung unterschiedlichster Akteure, angefangen beim Fahrzeugnutzer, dem Fahrzeugbesitzer oder dem Flottenbetreiber, dem Betreiber der Ladeinfrastruktur, dem Energieversorger, dem Netzbetreiber, dem Fahrzeughersteller und seinen Zulieferern, den Normungs- und Standardisierungsgremien, der Bildung und Wissenschaft bis hin zur Politik. In dieser Themen- und Akteurslandschaft bewegt sich das Förderprogramm ELEKTRO POWER II und schafft Lösungen für die Integration von Energie- und Mobilitätssystem.

2.2 Operationalisierung des Themenfeldes

Mit dem Themenschwerpunkt „Elektromobilität als Teil der Energiewende“ rückt das Förderprogramm ELEKTRO POWER II die Frage in den Vordergrund, wie die Integration der Elektromobilität in das Energiesystem bzw. die Energiewende unter Hebung von Klima- und Umweltvorteilen gelingen kann und wie die Gesamtsystemkosten der Elektromobilität reduziert werden können. Dazu werden insbesondere Ziele und Fragestellungen adressiert, die zur Erschließung von Klima- und Umweltvorteilen an der Schnittstelle von Elektrofahrzeug und Energiesystem beitragen. Neben dem Förderprogramm

ELEKTRO POWER II spiegeln sich diese Fragestellungen auch in weiteren Aktivitäten des BMWi wider (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi] 2018a)².

Die im Dezember 2017 veröffentlichte „Richtlinie zu einer gemeinsamen Förderinitiative zur Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität“ (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi] und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit [BMUB] 2017)³ definiert den Rahmen der künftigen Forschungsaktivitäten. Zu den Zielen der Richtlinie gehört die Forschung zu flexibel nutzbaren Ladeinfrastrukturen, die Erschließung von Lastmanagementpotenzialen durch intelligente Anbindung der mobilen Fahrzeugbatterie und die Entwicklung von energiewirtschaftlichen Dienstleistungen. Dieses soll erreicht werden durch die geeignete Ausgestaltung der Schnittstelle zwischen Elektromobilität und Energiesystem, durch die optimale Nutzung der Fahrzeugbatterien über weiterentwickelte Smart-Meter-Gateways und bidirektionale Ladetechnologien und durch Verfahren zur optimalen Auslastung der Ladeinfrastruktur. Ferner sollen der Komfort des Ladevorgangs verbessert und Barrieren zur Nutzung der Elektromobilität abgebaut werden.

Mit dem Förderaufruf „Errichtung von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge im engen Zusammenhang mit dem Abbau bestehender Netzhemmnisse sowie dem Aufbau von Low-Cost-Infrastruktur und Mobile-Metering-Ladepunkten“ im Rahmen des „Sofortprogramms Saubere Luft 2017 bis 2020“ wird zudem der zeitnahe Aufbau von Ladeinfrastruktur vorangetrieben. Gegenstand der Förderung sind Reallabore zum Abbau von Netzausbauhemmnissen, die Errichtung von Low-Cost-Ladeinfrastruktur sowie das intelligente Lademanagement. Auf Seiten der Energieversorgung wird mit dem „Aktionsplan Stromnetz“ eine Doppelstrategie verfolgt. Zum einen sollen Bestandsnetze optimiert und höher ausgelastet werden. Zum anderen soll der Netzausbau beschleunigt werden.

2.3 Zentrale, aktuelle Entwicklungen in dem betrachteten Themenfeld

Die steigende Verbreitung der Ladeinfrastruktur und Fortschritte in der Herstellung von Elektrofahrzeugen führen perspektivisch dazu, dass Elektrofahrzeuge sowohl im Nutzungskomfort als auch kostenseitig konkurrenzfähig zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren werden. Bei Fortschreibung der gegenwärtigen Entwicklungen wird bereits Mitte der 2020er Jahre die Kostenparität zwischen Verbrennungsmotor- und Elektrofahrzeugen erreicht. Damit verstetigt sich die Marktentwicklung für Elektrofahrzeuge und wird robuster gegenüber äußeren Störungen. Szenarioanalysen, durchgeführt von Forschungsinstitutionen und Unternehmensberatungen, kommen mehrheitlich zu dem Schluss, dass Elektrofahrzeuge im Jahr 2030 einen Marktanteil zwischen 10 Prozent und 40 Prozent erreichen werden (ERTRAC 2017). Sollen die langfristigen Klimaziele der Bundesregierung gehalten werden, so müsste sich der Marktanteil von Elektrofahrzeugen im oberen Bereich dieser Schätzungen bewegen. Mit der voranschreitenden Marktdiffusion der Elektromobilität gehen der Aufbau der Ladeinfrastruktur und eine steigende Stromnachfrage einher. Die nahezu vollständige Elektrifizierung des Verkehrssektors würde in Deutschland zu einem Anstieg der Stromnachfrage um 50 Terrawattstunden pro Jahr bei vorrangiger Nutzung von batterieelektrischen Fahrzeugen) bis 170 Terrawattstunde pro Jahr (bei vorrangiger Nutzung von Brennstoffzellenfahrzeugen) führen (Agora Energiewende 2015). Das entspricht etwa der Größenordnung des deutschen Stromexportsaldos, das im Jahr 2017 60 Terrawattstunden betrug (Agora Energiewende 2018). Der europäische CO₂-Emissionshandel gewährleistet, dass die Erzeugung der zusätzlich benötigten Strommengen nicht zu einer Steigerung der CO₂-Emissionen führt. Die erlaubten CO₂-Emissionen sinken jährlich, sodass der zusätzliche Strombedarf vorrangig durch erneuerbare Energien gedeckt werden wird. Die Reduktion des Emissionsbudgets beträgt bis zum Jahr 2020 1,74 Prozent pro Jahr und soll danach auf 2,2 Prozent pro Jahr verschärft werden (Europäische Union 2015).

2 vergl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hg.) (2018a): Elektromobilität in Deutschland. Online verfügbar unter www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/elektromobilitaet.html, zuletzt geprüft am 03.09.2018.

3 vergl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (08.12.2017): Richtlinie zu einer gemeinsamen Förderinitiative zur Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität. In: Bundesministerium der Justiz und für den Verbraucherschutz (Hg.) (2017). Bundesanzeiger. BAnz AT 15.12.2017 B4. Online verfügbar unter www.bundesanzeiger.de.

Sowohl die Ladeinfrastruktur als auch der überwiegende Teil der erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen werden auf der Ebene der Verteilnetze angeschlossen. Das führt zu einer stärkeren Auslastung der Verteilnetze bei einer gleichzeitig ansteigenden Volatilität des Lastverhaltens. Diese Belastung der Verteilnetze kann durch intelligentes Lademanagement erheblich verringert werden. Damit reduziert sich die zusätzlich benötigte Netzkapazität erheblich. Zwischen Verteilnetzausbau und intelligenten Energie- und Kapazitätsmanagementmaßnahmen wird sich ein Gleichgewicht einstellen, sodass genügend Netzkapazität verfügbar sein wird. Bei kritischen Betriebszuständen können das Fahrzeug oder der Betreiber der Ladeinfrastruktur Energiesystemdienstleistungen erbringen. Darunter versteht man beispielsweise die Anpassung der Ladeleistung zur Bewältigung von Netzengpässen, die Bereitstellung von Regelleistung zum Ausgleich der Energiebilanz oder das aktive Blindleistungsmanagement um die Spannung im Stromnetz zu halten. Diese Dienstleistungen werden entweder direkt oder über einen Aggregator vermarktet. Damit der Handel von Energiesystemdienstleistungen nicht zu einer zusätzlichen Belastung des Verteilnetzes führt, muss die Auslastung der Netzkapazität in einem künftigen Energiemarktde-sign berücksichtigt werden.

Neben komplexen technischen und marktwirtschaftlichen Aspekten stellt auch die umfangreiche Regulierung der Energiewirtschaft eine Herausforderung für die Integration von Energie- und Mobilitätssystem dar. Daher müssen Arbeitsprozesse und Geschäftsmodelle entwickelt werden, die eine optimale Einbindung von Elektrofahrzeugen in das Energiesystem ermöglichen, ohne dass sich der Fahrzeugnutzer mit den dahinter liegenden komplexen Abläufen beschäftigen muss.

2.3.1 Forschungsstand

Das Themenfeld „Elektromobilität als Teil der Energiewende“ rückt seit dem Jahr 2009 verstärkt in den Fokus der Forschungsförderung. Das Diagramm in Abbildung 1 veranschaulicht die Entwicklung der seit dem Jahr 2000 vergebenen Fördermittel. Die Daten entstammen dem Förderkatalog, einer Datenbank, in der die Förderprojekte der Bundesministerien zusammengefasst sind. Bei den im Diagramm angegebenen Fördersummen handelt es sich um Realwerte, askontiert auf das Jahr 2018 anhand der allgemeinen Inflationsrate in Deutschland.

Die Kopplung von Mobilitäts- und Energiesystem berührt eine Reihe von Themenfeldern. Daher ist die dargestellte Forschungsförderung in die sechs Themenbereiche Lademanagement und Vehicle-to-Grid, Ladeinfrastruktur, Smart Grid, stationäre Batteriespeicher, Strommarkt und virtuelle Kraftwerke untergliedert. Themenübergreifende Projekte sind jeweils der Kategorie zugeordnet, in der ihr thematischer Schwerpunkt verortet ist. Insgesamt wurden seit 2009 für die energetische und informationstechnische Vernetzung von Elektromobilität und Energiesystem 183 Millionen Euro in die Forschungsförderung investiert. Seit 2009 ist das Budget der Forschungsförderung auf diesem Gebiet jährlich um rund 3,2 Millionen Euro gewachsen.

Der Themenschwerpunkt Lademanagement und Vehicle-to-Grid umfasst die intelligente Steuerung von Ladevorgängen und die Kommunikation zwischen Fahrzeug, Ladeinfrastruktur und Energiesystem. Ab dem Jahr 2009 ist eine Intensivierung der Forschungsaktivität auf diesem Gebiet zu verzeichnen. Die Forschungsmittel werden vorrangig von BMWi und BMBF zur Verfügung gestellt. So wurden im Projekt DriveBattery2015 (BMW) beispielsweise die Entwicklung, Simulation und Evaluierung wesentlicher Systemkomponenten des Batteriemangements in Fahrzeugen erforscht. Das Projekt iHub (BMW) erforscht unter anderem das Zusammenwirken von prädikti-

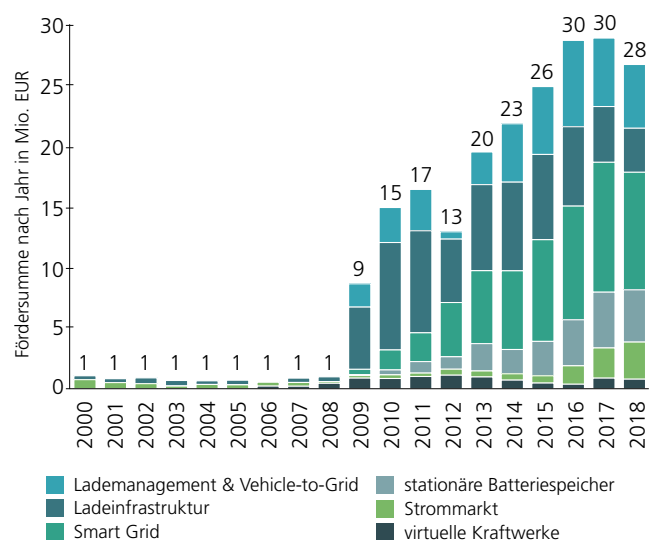


Abbildung 1: Forschungsförderung im Themenbereich „Elektromobilität als Teil der Energiewende“ in Deutschland

vem Batterieeinsatzmanagement, dynamischer Tourenplanung und dem Management elektrischer Fahrzeugflotten. Ein weiteres Beispiel ist das Projekt sMobility:COM (BMW), das die Entwicklung von Lösungen für das prädiktive netzdienliche Last- und Lademanagement vorantreibt.

Die Forschung zur Ladeinfrastruktur befasst sich mit Untersuchungen zum bedarfsorientierten Aufbau von Ladeinfrastruktur, mit der Evaluation rechtlicher Rahmenbedingungen zur effizienten und nutzerfreundlichen Gestaltung des Abrechnungswesens und mit der Weiterentwicklung der Ladetechnik. Beispielsweise erforscht das Projekt SLAM (BMW) den Aufbau von Schnellladenetzen für Elektrofahrzeuge an Achsen und in Metropolen. Im Rahmen des Projektes werden Softwaretools für die Ermittlung von Ladestandorten entwickelt. Zudem werden Geschäfts- und Betreibermodelle für Schnellladestationen analysiert, Nutzerpräferenzen erhoben, Energiemanagementlösungen für Ladestandorte untersucht und ein Forschungsladennetzwerk zur Validierung der gewonnenen Erkenntnisse aufgebaut. Das Projekt FastCharge (BMW) konzentriert sich auf die Verkürzung von Ladezeiten für Elektrofahrzeuge. Dafür werden Ladetechnologien mit avisierten Ladeleistungen von 450 kW entwickelt.

Der Themenbereich Smart Grid wird seit 2009 vorrangig mit Fördermitteln von BMW und BMBF erforscht. Die geförderten Projekte befassen sich mit der Datenarchitektur, dem Schnittstellendesign, der technischen Integration von Systemkomponenten und der Betriebsführung von intelligenten Stromnetzen. Hierzu werden IKT-Systeme entwickelt, mit denen die Erfassung und Verarbeitung von Daten zum Zustand des Netzes und der angeschlossenen Erzeuger und Verbraucher sicher ermöglicht wird. Auf Basis dieser Daten wird der Systemzustand erfasst. Softwaresysteme ermöglichen die Simulation von Netzzuständen und die optimierte Steuerung des Netzes und der angeschlossenen Energiesystemkomponenten. Weitere Aspekte der Forschung auf diesem Gebiet sind die Entwicklung einer Strukturierungsmethodik zur ontologischen Modellierung von Smart Grids sowie die Evaluation des Rechtsrahmens. Zusammengeführt werden diese Bestrebungen in der Entwicklung von Flexibilitätsplattformen, die der Sammlung von Daten und der datengestützten optimierten Fahrweise von Netz und Flexibilitätsoptionen dienen. Im SINTEG-Förderprogramm (BMW) werden in fünf über das Bundesgebiet verteilten Schaufenstern Musterlösungen für eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträg-

liche Energieversorgung bei hohen Anteilen fluktuierender Stromerzeugung aus Wind- und Sonnenenergie entwickelt. In verschiedenen Demonstratoren und Reallaboren werden Lösungen zur Flexibilisierung der Stromnetze erprobt. Bereits abgeschlossen ist das Projekt INEES (BMW), in dem die intelligente Netzanbindung von Elektrofahrzeugen zur Erbringung von Systemdienstleistungen erforscht wurde. Ein weiteres Beispiel ist die Evaluation des Wertes von Flexibilität im Kontext der europäischen Strommarktkopplung im Rahmen des Projektes eXtremOS (BMW). Im Projekt MENDEL (BMW) wird die minimale Belastung elektrischer Netze durch Ladevorgänge von Elektrobussen erforscht.

Die Forschung im Themenbereich Stationärer Batteriespeicher wird seit 2013 verstärkt vorrangig durch das BMW vorangetrieben. Das Spektrum der geförderten Projekte reicht von Batteriespeichern zur Eigenverbrauchsoptimierung in Haushalten über dezentrale Pufferspeicher zur Dämpfung von Lasten bis hin zu Batteriegroßspeichern zur Erbringung von energie-wirtschaftlichen Dienstleistungen. Synergien mit der Elektromobilität ergeben sich aus dem Aufbau der Massenfertigung von Batteriespeichern bis hin zur Verwertung ausgedienter Fahrzeugbatterien in Second-Life-Speichern. Beispielsweise werden im Rahmen des SINTEG-Förderprogramms verschiedene Demonstratoren aufgebaut, unter denen sich auch ein Second-Life-Batteriespeicher mit einer Kapazität von 15 Megawattstunden und einer vermarktbaren Leistung von 10 Megawatt befindet. Im Projekt M5BAT (BMW) entsteht ein hybrider Batteriespeicher, in dem verschiedene Batterietechnologien genutzt werden, um hochflexibel Regelleistung für die Stromnetzstabilisierung bereitzustellen. Im Rahmen des Projektes UnABESA (BMW) wird die universelle Anbindung von Batteriespeichern aus Elektrofahrzeugen für stationäre Anwendungen erforscht. Damit sollen verschiedene Fahrzeugbatterien direkt in stationären Speichern eingesetzt werden können, ohne in die Speicher- bzw. Zellarchitektur selbst einzugreifen und den Hochvoltspeicher zu zerlegen.

Im Themenbereich Strommarkt erfolgte um die Jahrtausendwende eine erste Forschungswelle im Zusammenhang mit der Liberalisierung des Strommarktes in Deutschland. Seit 2016 ist wieder eine verstärkte Forschungsaktivität zu verzeichnen. Der Treiber hinter dieser Entwicklung ist die Integration von grenzkostenarmen erneuerbaren Stromerzeugungstechnologien und von Flexibilitätsoptionen in das Strommarktdesign. Dabei untersuchen die geförderten Forschungsvorhaben neue

Strommarktdesigns für die Vermarktung von Flexibilitätsoptionen und grenzkostenarmen erneuerbaren Energien anhand von Energiesystemmodellen. Auf Basis dieser Modelle sollen Konzepte zur Anpassung des Strommarktdesigns an die Erfordernisse der Energiewende geschaffen werden. Im Projekt ENaQ (BMBF) wird beispielsweise eine digitale Service-Plattform zur Umsetzung eines mikrotransaktionsbasierten Energiehandels sowie weiterer Dienstleistungsangebote auf der Ebene eines Stadtquartiers demonstriert. Im Projekt 4NEMO (BMW) werden neue Methoden der Energiesystemmodellierung erforscht. Diese Modelle dienen dazu, die Energiemärkte besser zu verstehen und daraus Handlungsempfehlungen für die Ausgestaltung des künftigen Energiemarktdesigns abzuleiten.

Die Erforschung von virtuellen Kraftwerken begann 2006 und wird seither mit wechselnder Intensität verfolgt. Die Forschungsprojekte befassen sich mit der optimierten Nutzung verschiedener Energiesystemkomponenten, die in einem virtuellen Kraftwerk aggregiert eingesetzt werden. Während sich die frühen Forschungsprojekte vorrangig mit der Entwicklung und Demonstration der Informations- und Kommunikationstechnologie zur Bündelung von Energieerzeugungsanlagen beschäftigten, verschiebt sich der Fokus seit 2012 auf die Integration von flexiblen Lasten. Insbesondere wird hier die Nutzbarkeit von Fahrzeugbatterien untersucht. Zudem beschäftigen sich die Forschungsprojekte zunehmend mit der Integration von virtuellen Kraftwerken in den Markt für Energiesystemdienstleistungen (z. B. Bereitstellung von Regelleistung). Ein Beispiel für die energiewirtschaftliche Vermarktung der Elektromobilität ist das Projekt Mobility2Grid (BMBF), in dem Ladeinfrastrukturen in ein virtuelles Kraftwerk integriert werden.

2.3.2 Überblick über zentrale, aktuelle Entwicklungen in Forschung und Entwicklung

Der Markt für Elektromobilität gewinnt zunehmend an Dynamik. Im Jahr 2017 wuchs der Absatz von Elektrofahrzeugen in Deutschland um 122 Prozent und weltweit um 54 Prozent (International Energy Agency 2018) gegenüber dem Vorjahr. Noch befindet sich die Elektromobilität in einem frühen Marktstadium. Um weitere Kundengruppen anzusprechen, bedarf es geeigneter Produkte und Dienstleistungen.

Um die Elektromobilität weiterzuentwickeln, werden Lösungen für die optimale Integration der Ladeinfrastruktur in das Energiesystem benötigt. Eine Herausforderung liegt in der zu-

nehmenden Volatilität der Stromnetzauslastung durch erneuerbare Energieerzeugungsanlagen und neue Verbraucher wie Elektrofahrzeuge. Um dieser Entwicklung Rechnung zu tragen, bauen die Verteilnetzbetreiber ihre Netze aus. Dennoch wird das Stromnetz zeitweise zu einem knappen Gut, das entsprechend bewirtschaftet werden muss. Dafür ist es notwendig, Daten über den Netzzustand zu erheben und das Stromnetz zu einem Smart Grid weiterzuentwickeln.

Eine zentrale Technologie für die Demonstration und Verbreitung von Smart Grids in Deutschland sind intelligente Messeinrichtungen, die über eine Kommunikationsschnittstelle, das Smart Meter Gateway, verfügen. Die Verzögerung der ursprünglich für 2017 geplanten Zertifizierung dieser Smart-Meter-Gateways durch das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) führt auch in den industriellen Entwicklungs- und Demonstrationsprojekten zu Verschiebungen. In Deutschland erfolgt ein selektiver Rollout zunächst für Letztverbraucher mit einem Jahresstromverbrauch von mehr als 10 Megawattstunden und Erzeuger mit einer Leistung von 7 bis 100 Kilowatt-Peak. Ab 2020 schließt der Rollout auch Letztverbraucher mit einem Jahresstromverbrauch ab 6 Megawattstunden und Anlagenbetreiber mit einer Anschlussleistung von mehr als 100 Kilowatt-Peak mit ein (Bundesnetzagentur 2018a). In den meisten anderen europäischen Ländern (z. B. Frankreich, dem Vereinigten Königreich, Italien, Niederlande, Österreich) wird der Smart Meter Rollout im Jahr 2020 bereits zu mehr als 80 Prozent abgeschlossen sein (Joint Research Centre 2018).

Für Industrie und Energiewirtschaft stellt dieser zeitliche Rückstand in Deutschland ein Risiko für die Entwicklung und den Export neuer Geschäftsmodelle dar. Darunter fallen beispielsweise Demonstrationsprojekte zur Erprobung von Flexibilitätsplattformen im Netzbetrieb. Aus Sicht der Elektromobilität bedeutet dieses ein Hemmnis für die Entwicklung von Konzepten zur netz- bzw. systemdienlichen Nutzung von Fahrzeugbatterien. Die Monetarisierung dieser Synergien von Energiewende und Elektromobilität kann die Kosten der Elektromobilität senken und so ihre Attraktivität erhöhen.

Sowohl die Verfügbarkeit als auch die Kosten leistungsstarker Stromanschlüsse setzen Anreize, die Spitzenlast von Ladeinfrastrukturen zu reduzieren. Hierzu werden Last- bzw. Energiemanagementsysteme eingesetzt, mit denen die Energieflüsse

in der Ladeinfrastruktur optimiert werden. Entsprechende Systeme sind verfügbar und werden bereits eingesetzt.

Beispielsweise bietet die Firma Mobility House ein Energiemanagementsystem an, mit der Elektrofahrzeuge abgestimmt auf die aktuelle Gebäudelast und die Eigenstromerzeugung aus PV-Anlagen geladen werden können. Eine weitere kostengünstige Lösung bieten modulare Satellitenladesysteme mit integriertem Lademanagement. Die Masterladestation ist an das Stromnetz angebunden. Sie steuert die Energieverteilung auf die angeschlossenen einfach aufgebauten Slave-Ladepunkte. Auf diese Weise können mehrere Elektrofahrzeuge mit einer Ladestation geladen werden. Das bietet insbesondere dort Vorteile, wo Fahrzeuge über mehrere Stunden parken und laden. Ein solches System wird von dem Start-Up ChargeX entwickelt. Erste Versuche mit Pilotkunden laufen bereits. Weitere Möglichkeiten zum kostengünstigen Aufbau von Ladeinfrastruktur bietet die Nutzung bestehender Infrastrukturen. So können beispielsweise Straßenlaternen oder Telekommunikationskabelverteiler zu Ladepunkten aufgerüstet werden.

Der Aufbau kostengünstiger konduktiver Ladesysteme wird mit steigender Verbreitung zu einer stadtplanerischen Herausforderung, da die Ladesäulen kostbaren öffentlichen Raum beanspruchen. Hier können künftig induktive Ladesysteme eine adäquate Lösung sein. Darauf wird im Kapitel 4 noch einmal im Detail eingegangen.

Zunehmend verfügbare Nutzerdaten ermöglichen einen bedarfsgerechten Aufbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur. Lange Verweildauern von Elektrofahrzeugen lassen den Betrieb von öffentlichen Ladepunkten allerdings zu einer wirtschaftlichen Herausforderung für die Ladeinfrastrukturbetreiber werden. Hier müssen noch geeignete Geschäftsmodelle gefunden werden, die sowohl kostendeckend als auch rechtskonform und nutzerfreundlich sind.

Der Aufbau von Schnellladestationen ist mit hohen Investitionskosten verbunden, die sich nur bei einer hohen Auslastung der Ladestationen refinanzieren lassen. Daher wird der Ausbau von Schnellladeinfrastruktur vorrangig punktuell in Ballungsgebieten und an Transitstrecken erfolgen. Neben dem bestehenden proprietären Tesla Supercharger Netzwerk mit bis zu 145 kW Ladeleistung baut IONITY, ein Joint Venture der Automobilhersteller BMW, Daimler, Ford, Audi und Porsche, ein europäisches Schnellladenetz mit einer Ladeleistung von

bis zu 350 kW auf (IONITY GmbH 2017). Auch unabhängige Akteure und Energieunternehmen wie die EnBW und OMV bauen Schnellladenetze auf (EnBW AG 2018). Um die hohe Anschlussleistung von Schnellladestationen zu reduzieren, werden Strompufferspeicher in die Ladeinfrastruktur integriert. Entsprechende Lösungen sind bereits am Markt verfügbar.

Eine Herausforderung bei öffentlichen Schnellladesystemen mit Gleichstromübertragung stellt die eichrechtskonforme Abrechnung der übertragenen Strommengen dar. Entsprechende eichrechtskonforme DC-Zähler befinden sich noch im Zertifizierungsverfahren. Bis zum 31. März 2019 gilt daher eine Übergangsfrist, während der AC-Zähler verbaut werden dürfen. Nach Ablauf der Frist müssen diese allerdings gegen geeichte DC-Zähler ausgetauscht werden (Steep 2017). Die erste Ladesäule mit integriertem DC-Zähler wurde vom chinesischen Unternehmen Xcharge bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) eingereicht, die die Eichrechtskonformität bis Ende 2018 prüfen will (pv magazine 2018).

Die Ladeinfrastruktur ist von einer großen Heterogenität der beteiligten Akteure und Abrechnungsmodelle geprägt. Das erschwert den Nutzern den Umgang mit der Ladeinfrastruktur. Sie verlangen einen einfachen und planbaren Zugang, unkomplizierte Bezahlungsmöglichkeiten und eine verständliche Preisgestaltung. Ein geeignetes Mittel zur Herstellung dieses Kundenerlebnisses ist das betreiberübergreifende Roaming in der Ladeinfrastruktur. Mit derartigen Roaminglösungen müssen sich Nutzerinnen und Nutzer lediglich ein Mal mit den Preisen und den Bedingungen der Ladestromanbieter auseinandersetzen. Anbieter dafür sind bereits auf dem Markt. Da die Attraktivität von Roamingplattformen mit der Angebotsdichte der teilnehmenden Ladeinfrastrukturbetreiber zunimmt, kommt hier der Netzwerkeffekt zum Tragen. Folglich besteht perspektivisch die Gefahr, dass eine Roamingplattform eine marktbeherrschende Stellung einnimmt. Diese Entwicklung sollte von Seiten der Politik beobachtet und, wenn nötig, reguliert werden.

2.4 Beitrag der jeweiligen geförderten Projekte zu diesem Themenfeld

Das Förderprogramm ELEKTRO POWER II liefert vielfältige Beiträge zur Integration von Energie- und Mobilitätswende. Eine Übersicht zu den Beiträgen der einzelnen Projekte des

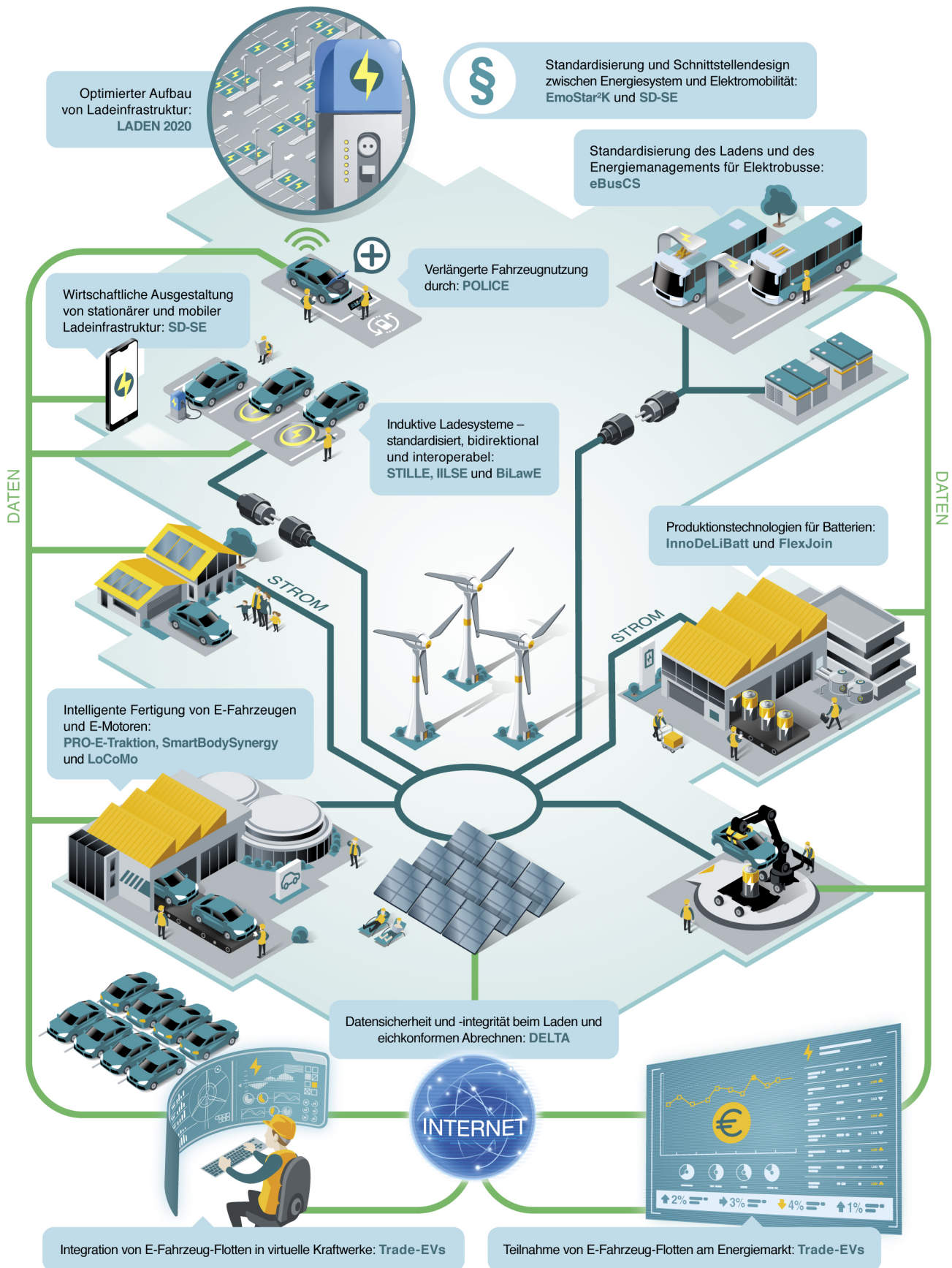


Abbildung 2: Beiträge der ELEKTRO-POWER-II-Projekte zur Energie- und Mobilitätswende (Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi] 2018b)

Förderprogramms ist in Abbildung 2 gegeben. Ausgewählte Ergebnisse aus dem Themengebiet Energiewende und Elektromobilität werden nachfolgend erläutert. Einen vollständigen Überblick über die Ergebnisse des Förderprogramms bietet der auf Seite 6 bereits erwähnte gesondert erschienene Ergebnisbericht der Begleit- und Wirkungsforschung ELEKTRO POWER II (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi] 2018b).

Auf der makroskopischen Ebene wurde im Projekt Schnittstellendesign zwischen Strom- und Elektromobilitätssystem (SD-SE) anhand von Organisationsmodellen untersucht, wie sich Regeln auf das Verhalten der beteiligten Akteure auswirken und wie die Schnittstellen zwischen den Akteuren ausgestaltet werden müssen. Aus dieser Betrachtung wurden Handlungsempfehlungen zur institutionellen Ausgestaltung der Integration von Elektromobilität und Energiesystem abgeleitet und mit den Stakeholdern im Rahmen von Workshops diskutiert. Ein zentrales Ergebnis dieses Projekts war die Erkenntnis, dass eine möglichst weitgehende institutionelle Trennung von Ladeinfrastruktur und Ladedienstleistung Vorteile für das Gesamtsystem bietet. Darüber hinaus wurde die Nutzung mobiler Stromzähler mit dem Ergebnis untersucht, dass mit dieser Technologie allenfalls geringfügige Kosteneinsparungen realisiert werden können. Die Ergebnisse des Projekts tragen dazu bei, Barrieren für die Nutzung der Elektromobilität auf institutioneller Ebene abzubauen.

Die schnelle Marktdiffusion der Elektromobilität benötigt eine geeignete Ladeinfrastruktur. Mit einem modellgestützten Ansatz ist das Projekt LADEN2020 der Frage auf den Grund gegangen, wie die öffentliche Ladeinfrastruktur für einen Bestand von einer Million Elektrofahrzeugen ausgestaltet werden muss. Die Studie kommt zu dem Schluss, dass lediglich 35.600 Normal- und 7.000 Schnellladepunkte benötigt werden. Dem liegt die Annahme zu Grunde, dass viele Nutzer ihr Elektrofahrzeug zu Hause oder beim Arbeitgeber laden. Die Projektergebnisse ermöglichen den zielgerichteten Aufbau von öffentlicher Ladeinfrastruktur und vermindern somit das Risiko von Fehlinvestitionen.

Damit die Integration von Elektromobilität und Energiesystem gelingen kann, werden Standards für das Laden, das Energiemanagement und die Kommunikation zwischen den Systemkomponenten benötigt. Das Projektkonsortium eBusCS entwickelt Standards für das Laden von Elektrobussen sowohl

im Busdepot als auch unterwegs (z. B. an Bushaltestellen). Die Ladeeinrichtungen sollen in ein übergeordnetes Energiemanagement eingebettet werden. Das erschließt Kostensenkungspotenziale in der Ladetechnik und im Netzanschluss und schafft zugleich die Voraussetzung für einen Datenaustausch mit dem Energiesystem.

Im vernetzten Verkehrssystem stehen Elektrofahrzeuge, Ladestationen und Backendsysteme weiterer Akteure im ständigen Datenaustausch. Dabei müssen Datenschutz und Datensicherheit lückenlos gewährleistet sein. Möglich wird dieser Datenaustausch durch einheitliche Standards. Im Projekt DELTA werden bestehende Standards analysiert und bewertet, um Handlungsempfehlungen für Produkthersteller und Normungsgremien abzuleiten. Ferner werden die Ergebnisse des Projekts in die Weiterentwicklung der ISO-15118-Normenreihe zur Vehicle2Grid Integration eingebracht. Damit verbessert DELTA die informations- und kommunikationstechnische Kopplung von Energie- und Mobilitätssektor und vereinfacht die sichere Kommunikation zwischen den einzelnen Akteuren. Auf diese Weise können Elektrofahrzeuge in Smart Grids integriert und erbrachte Leistungen sicher abgerechnet werden.

Die durchschnittliche Nutzungsdauer eines Automobils beträgt weniger als eine Stunde am Tag (Notz 2017). In den übrigen 23 Stunden Parkzeit kann das Fahrzeug geladen werden. Da das weit mehr Zeit ist als für einen Ladevorgang benötigt wird, können Elektrofahrzeuge zudem Energiesystemdienstleistungen erbringen. Im Projekt TRADE EVs werden Elektrofahrzeuge in ein virtuelles Kraftwerk integriert. Damit soll demonstriert werden, dass Fahrzeugbatterien technisch und wirtschaftlich am Regelleistungsmarkt eingesetzt werden können. So können zusätzliche Erlöse erzielt und die Wirtschaftlichkeit elektrischer Fahrzeugflotten gesteigert werden.

Neben den konkreten Ergebnissen, die in den einzelnen Projekten erzielt wurden, wirft ELEKTRO POWER II auch ein Schlaglicht auf zukünftige Entwicklungen und Herausforderungen in diesem Themenfeld. Dazu wurde im Rahmen eines Fachdialogs zwischen Vertretern des BMWi, der ELEKTRO-POWER-II-Projekte und weiteren Expertinnen und Experten aus Forschung und Industrie eine Roadmap erstellt (Abbildung 3). Die Roadmap bildet die gemeinsam identifizierten Erfolgsfaktoren für die Integration von Energie- und Mobilitätssystem auf vier Akteursebenen ab. Die Erfolgsfaktoren sind über den Zeithorizont der kommenden 15 Jahre

aufgetragen. Erfolgsfaktoren, die mit einer hohen Priorität umgesetzt werden sollten, sind farblich hervorgehoben. Einige der Erfolgsfaktoren stehen miteinander in Wechselwirkung. Blaue Pfeile kennzeichnen eine direkte Abhängigkeit. Besteht

eine solche Abhängigkeit, baut die Umsetzung eines Erfolgsfaktors auf vorangegangenen Ergebnissen auf. Grüne Pfeile kennzeichnen Synergien. Eine synergetische Beziehung ist dann gegeben, wenn Erfolgsfaktoren unabhängig voneinan-

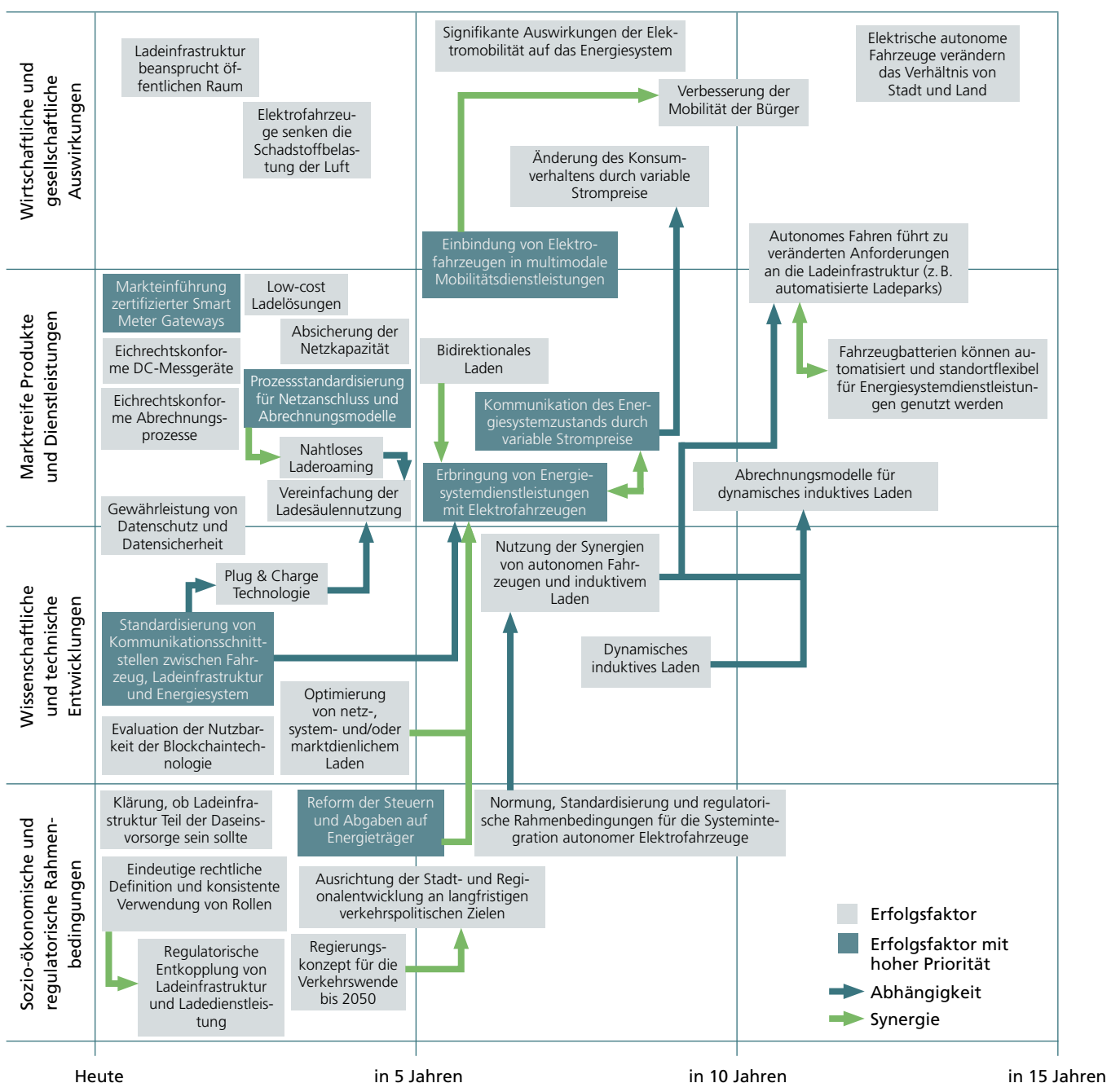


Abbildung 3: Roadmap zur Entwicklung der Elektromobilität als Teil der Energiewende

der umgesetzt werden können, sich aber gegenseitig positiv beeinflussen. Besonders kritisch für die erfolgreiche Integration von Energie- und Elektromobilitätssystem sind die Markteinführung BSI-zertifizierter Smart-Meter-Gateways sowie die Standardisierung der Kommunikationsschnittstellen zwischen Elektrofahrzeug, Ladeinfrastruktur und Energiesystem. Eine gelungene Standardisierung bildet wiederum die Voraussetzung für die Erbringung von Energiesystemdienstleistungen durch Elektrofahrzeuge und Ladeinfrastruktur. Des Weiteren besteht eine Notwendigkeit zur Standardisierung von Abrechnungsverfahren, um Barrieren in der Nutzung der Ladeinfrastruktur abzubauen. Für den beschleunigten Ausbau der Ladeinfrastruktur bedarf es zudem einer Standardisierung des Netzanschlussprozesses. In Deutschland gibt es 888 Stromnetzbetreiber (Bundesnetzagentur 2018b) mit jeweils eigenen Arbeitsprozessen und Anforderungen für den Anschluss von Ladestationen ans Stromnetz. Dadurch entstehen erhebliche Transaktionskosten für die Ladeinfrastrukturbetreiber.

Mit dem Voranschreiten der Energiewende und dem steigenden Anteil an erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung werden Netzkapazität und gesicherte elektrische Leistung zeitweise zu einem knappen Gut, das intelligent gemanagt werden muss. Erneuerbare Energieerzeugungsanlagen erzeugen Strom zu Grenzkosten von nahe null. Das resultiert in Phasen mit einem hohen erneuerbaren Energieangebot in geringen Börsenstrompreisen. Dynamische Strompreise stellen eine Möglichkeit dar, das Angebot erneuerbarer Energien markt-

wirtschaftlich optimiert zu nutzen. Damit die Börsenstrompreise beim Letztverbraucher eine steuernde Wirkung entfalten können, ist zunächst eine Reform der Steuern und Abgaben auf Energieträger notwendig. Das ermöglicht die Nutzung von Elektrofahrzeugen und Ladeinfrastruktur zur Erbringung von Energiesystemdienstleistungen. Ferner sollte die Einbindung von Elektrofahrzeugen in multimodale Mobilitätsdienstleistungen forciert werden. Das trägt dazu bei, die Mobilität der Bürger zu verbessern und schafft Berührungspunkte mit der Elektromobilität. Auf diese Weise können Vorbehalte abgebaut und die Marktdiffusion der Elektromobilität beschleunigt werden. Darüber hinaus besteht eine Vielzahl an weiteren Erfolgsfaktoren, die in der Roadmap aufgetragen sind. Mit den Ergebnissen des Förderprogramms ELEKTRO POWER II und dem fortlaufenden Zusammenspiel der Akteure in weiteren Forschungs- und Koordinierungsinitiativen wird die Integration von Energie- und Mobilitätssystem zu einem Erfolg.

2.5 Internationale Betrachtung

Auch im internationalen Kontext ist die Elektromobilität ein wichtiger Teil der globalen Energiewende. Doch Elektrofahrzeuge können ihre positive Klimawirkung nur dann voll entfalten, wenn der Strom zum Laden aus klimaneutralen Quellen stammt. Ein wesentlicher Parameter für den Fortschritt der Energiewende in diesem Bereich ist der Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien an der Stromversorgung,



welcher in Deutschland, Spanien, Portugal, Irland und in fünf US-Bundesstaaten mehr als 20 Prozent der Stromerzeugung beträgt. Diese Länder und US-Bundesstaaten nehmen damit eine Führungsrolle in der globalen Energiewende ein (Graichen 2017). Hier werden die Paradigmenwechsel im Energiesystem zuerst deutlich. Mit der voranschreitenden Marktdiffusion der Elektromobilität steigt insbesondere in diesen Ländern der Druck, die Synergieeffekte einer intelligenten Integration von Elektromobilität und Energiesystem zu nutzen. Die zentralen Herausforderungen auf diesem Gebiet sind die Speicherung von Energie sowie das intelligente Management der Energieinfrastruktur. Durch die Ausstattung der Netze mit Sensorik, automatisierten Steuerungen und neuen Handelsplattformen für Energiesystemdienstleistungen wird es möglich, Fahrzeugbatterien zur Optimierung des Energiesystems zu nutzen.

Das globale Marktvolumen für Smart-Grid-Technologien betrug im Jahr 2016 schätzungsweise 175 Milliarden Euro. Bis zum Jahr 2020 wird eine Verdoppelung des Marktvolumens erwartet (Statista 2017). Innovative Projekte treiben die Datenerfassung und Verarbeitung in den Energienetzen voran. Digitale Technologien ermöglichen die Automatisierung des Netzbetriebs. Damit kann schneller und flexibler auf Lastwechsel reagiert werden. Neue Marktkonzepte verbessern die Allokation von Kosten und Energieströmen. Ein Beispiel dafür ist das Brooklyn-Transactive-Grid-Projekt, in dem das Unternehmen LO3 unter Beteiligung der Siemens AG den Einsatz der Blockchaintechnologie zum Aufbau eines Peer-to-Peer-Energiemarktes erprobt (Lavrijssen und Carrillo Parra 2017). Ein weiteres Beispiel ist das gemeinsam von Japan und den USA betriebene Smart-Grid-Projekt auf der Insel Maui im US-Bundesstaat Hawaii. Im Rahmen des Projekts wurde ein eigenständiges Smart Grid aufgebaut, in das Elektrofahrzeuge, Batteriespeicher sowie Solar- und Windenergieanlagen integriert wurden (Irie 2017). Auch in Europa wurde in die Erforschung und Entwicklung von Sensoren, Aktoren, Datenkommunikation und Dienstleistungen investiert. Im Zeitraum von 2004 bis 2015 wurden Smart-Grid-Technologien in 950 Einzelprojekten mit einem Investitionsvolumen von 4,97 Milliarden Euro erforscht und in der Praxis erprobt (Gangale et al. 2017). Die größten Investitionen wurden von Deutschland (809 Millionen Euro), dem Vereinigten Königreich (774 Millionen Euro) und Frankreich (680 Millionen Euro) getätigt (Gangale et al. 2017).

2.6 Fazit

Deutschland befindet sich im europäischen und im weltweiten Vergleich in einer guten Ausgangsposition für die Integration von Mobilitäts- und Energiesystem. In der Erforschung von Smart-Grid-Technologien nimmt Deutschland die Führungsposition in Europa ein.

Der vergleichsweise hohe Anteil volatiler erneuerbarer Energien im deutschen Stromnetz führt zu neuen Herausforderungen im Management des Energiesystems und stimuliert die Nachfrage nach intelligenten Lösungen. Dieses Momentum gilt es zu nutzen. Daher ist es von großer Bedeutung, dass die Marktdiffusion der Elektromobilität beschleunigt voranschreitet. Dafür müssen Hürden vor allem in der Rechtskonformität der Ladeinfrastruktur abgebaut werden. Für eine bessere Integration von Elektromobilität und Energiesystem müssen zudem die regulatorischen Rahmenbedingungen so angepasst werden, dass sich die Erbringung von Energiesystemdienstleistungen durch Elektrofahrzeuge und Ladeinfrastruktur auch in tragfähige Geschäftsmodelle übersetzen lässt. Zur Schaffung einer geeigneten Kommunikationsinfrastruktur muss die Zertifizierung von Smart-Meter-Gateways und der anschließende Rollout mit hohem Nachdruck vorangetrieben werden, um den Rückstand gegenüber anderen Ländern aufzuholen. In der Entwicklung digitaler Geschäftsmodelle zählen vor allem Geschwindigkeit und das ständige Erproben und Weiterentwickeln von Produkten und Geschäftsmodellen. Daher ist Eile geboten, damit aus der guten Startposition auch wirtschaftliche Erfolge generiert werden können.

3 ELEKTROMOBILE WERTSCHÖPFUNGSKETTE IM BEREICH DER PRODUKTION

Der Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit bei der Produktion von Fahrzeugen und der Aufbau von Produktionskompetenz beim Thema Batteriezellfertigung bilden einen industriepolitischen Schwerpunkt des BMWi. In der Förderbekanntmachung ELEKTRO POWER II heißt es dazu, Elektromobilität wirke „disruptiv auf die bestehenden Wertschöpfungsketten, die über Jahrzehnte bei der Produktion von Fahrzeugen mit konventionellen Antrieben oder im Bereich der konventionellen Energieerzeugung und -versorgung aufgebaut wurden. Dadurch ergeben sich einerseits viele Chancen für neue Marktteilnehmer, andererseits müssen bisherige Marktteilnehmer flexibel auf die neue Technologie reagieren. Durch globale Vernetzung und internationale Märkte nimmt auch die Bedeutung der Frage, wie die einzelnen Glieder der Wertschöpfungskette global positioniert werden, stetig zu. Damit Deutschland als Technologie- und Industriestandort seine Spitzenposition im globalen Wettbewerb behauptet, muss der Wertschöpfungsanteil in Deutschland durch möglichst vollständige Wertschöpfungsketten ausgebaut werden. Dem Maschinen- und Anlagenbau kommt dabei eine Schlüsselrolle zu, da hier großes Potential für eine umweltfreundlichere, energieeffiziente, flexible und wirtschaftliche Produktion liegt. Insbesondere gilt es, die Chancen der Digitalisierung in der Produktion („Industrie 4.0“) zu nutzen“ (BMWi 2015).

3.1 Kurzvorstellung des Themenfeldes und Bezug zu ELEKTRO POWER II

Die industriepolitische Dimension beim Thema Produktion wurde durch das BMWi in der Bekanntmachung zum Programm ELEKTRO POWER II mit dem Ziel „Produktionstechnologien für die umweltfreundliche und wirtschaftliche Produktion im Bereich Elektromobilität unter Berücksichtigung der Vernetzung im Sinne von ‚Industrie 4.0‘ zu beherrschen“ (BMWi, 2015, S. 1). beschrieben. Durch die geförderten Projekte soll der „Wertschöpfungsanteil in Deutschland durch möglichst vollständige Wertschöpfungsketten ausgebaut werden“ (BMWi, 2015, S. 1). Mit dieser Zielstellung trägt die Programmatik mit dem Fokus auf die Elektromobilität zu einem „Masterplan des Wandels“ bei, der die gesamte deutsche, aber auch viele internationale Industrieländer seit Jahren umtreibt. Schon der Umbruch in traditionellen Industriezweigen durch die zunehmende Digitalisierung erfasst alle Ebenen der Wertschöpfung und verändert deren Prozesse und die Rolle der beteiligten Akteure grundlegend. Zeitgleich zum „revolutionären“ Wandeln in der Industrie 4.0 verändert die Elektromobilität einen traditionellen Industriezweig – die Automobilindustrie – und damit eine der erfolgreichen Säulen der deutschen Wirtschaft gerade disruptiv.

In einem ähnlich dramatischen Wandlungsprozess, wie er in der Automobilindustrie derzeit beginnt, befindet sich die Energiewirtschaft bereits seit Jahren. Das ehemals bestehende Angebotsoligopol von wenigen großen Anbietern wird durch

neue Geschäftsoptionen für dezentrale Anbieter und Verteiler zunehmend aufgelöst. Die Energieversorgung der nahen Zukunft hält eine Vielzahl von Geschäftsoptionen für neue Marktakteure bereit. Durch die zunehmende Nutzung von Daten, die von Anbietern und Nachfragern erhoben, bzw. erzeugt werden, ergeben sich z. B. neue Abstimmungsoptionen zur Einspeisung dezentraler Energieressourcen kleiner Anbieter oder Privatpersonen. Damit sind Akteure im Markt aktiv, die bisher über keine Zugänge in die ehemals geschlossene Wertschöpfungskette verfügten. Den Privathaushalten kommt in der transformierten Energiewirtschaft eine immer größere Bedeutung zu. Sie können sich direkt mit Anbietern von Energieleistungen über Nutzungs- oder Speicherszenarien austauschen und durch eigen erzeugte Energie auf Marktplattformen aktiv werden. Dies ist nicht zuletzt zukünftig mitentscheidend für eine wirtschaftliche Netzlaststeuerung. Neue Unternehmen treten in den traditionellen Wertschöpfungsprozessen auf, als Datenanalysten, als Marktplatzbetreiber, als Wartungs- oder als Steuerungsdienstleister.

Der Druck, dem die etablierten Stromversorger durch stark wachsende, innovative Unternehmen ausgesetzt sind, steht den OEM in der Automobilindustrie ebenso bevor. Beispiele wie Sono Motors, e.Go, Streetscooter etc. belegen diesen Trend. Für die Automobilindustrie bedeutet dies also einen doppelten Umbruch: zum einen die Digitalisierung der eigenen Branche und zum anderen die Elektrifizierung und Vernetzung, die notwendig sind, um die Klimaziele auch im Verkehrssektor zu erreichen.

Das folgende Kapitel versucht eine Einordnung dieser Veränderungen für die deutsche Automobilindustrie und stellt die Chancen für neue Akteure dar, in diesem tradierten Markt mit Produkt- und Prozessinnovationen eine eigene Position zu behaupten. Die Projekte des Programms ELEKTRO POWER II konnten Forschungsarbeiten abschließen, deren zukünftige Umsetzung wesentlich zum Wandel der Branche und damit zur Wettbewerbsstärke der deutschen elektromobilitätsproduzierenden Industrie beitragen wird. Elektromobilität ist in den Zeiten globaler Vernetzung auch ein weltumspannendes Wertschöpfungsnetzwerk. Daher steht am Ende dieses Kapitels ein internationaler Vergleich industriepolitischer Ansätze.

3.2 Produktion von Fahrzeugen

3.2.1 Operationalisierung des Themenfeldes

Deutschland befindet sich seit Jahren in einem dramatischen Wandel seiner Industrielandschaft. Die in ihrer Dynamik nicht nachlassenden Veränderungen durch Digitalisierung und Vernetzung führen zu Anpassungsnotwendigkeiten in nahezu allen Ebenen der industriellen Wertschöpfung. Die Visionen „Smart Factory“ und „Ökonomie skalierbarer Plattformen“ werden zunehmend mit konkreten Ansätzen zur Transformation in vielen Bereichen der Wirtschaft umgesetzt. Die Kommunikation in der digitalen Produktion führt zu kurzen Abstimmungs- und Entscheidungswegen. Neue Prozessszenarien lassen sich kurzfristig entwerfen und in die Praxis umsetzen.

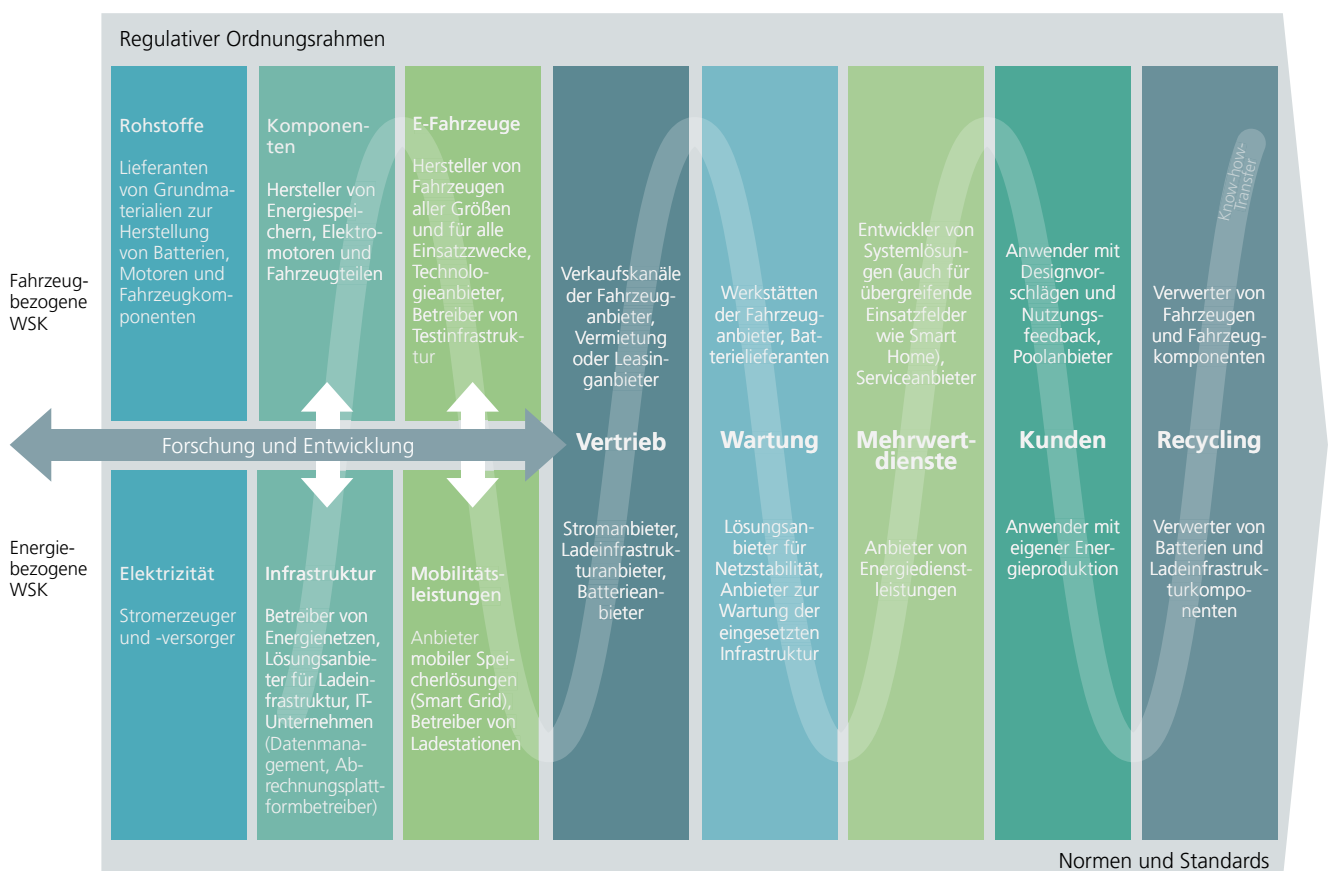


Abbildung 4: Wertschöpfungskette (WSK) Elektromobilität (Quelle: eigene ergänzte Darstellung basierend auf EuPD Research und DCTI – Deutsches CleanTech Institut (2011): Potenzialanalyse für die Elektromobilität im Land Bremen. Online unter <http://e-mobility-nsr.eu/info-pool/>, zuletzt geprüft am 01.10.2018.)

Dies kann als Chance begriffen werden, insbesondere in den Branchen, in denen die Vorteile der „Industrie 4.0“ besonders stark wirken und zu positiven Wettbewerbseffekten gewandelt werden können. Die Elektromobilität ermöglicht wirkungsvolle Veränderungen in vielen Branchen. Positive Effekte können dann erreicht werden, wenn die Wertschöpfungspartner in der Lage sind, auf neue Anforderungen, z. B. durch volatile Märkte, mit geeigneten Anpassungen auf Produktionsseite flexibel und qualitativ hochwertig zu reagieren. Eine der traditionellen Stützen der deutschen Wirtschaft muss sich neu erfinden.

Deutsche OEM und Zulieferer nehmen eine internationale Spitzenposition ein, die auf langjähriger Markenbildung, dem vorhandenen Vertrauen der Öffentlichkeit und vor allem der Besetzung vieler bedeutender Märkte durch global aufgestellte Produktions-, Service- und Vertriebsketten beruht. Dennoch war bereits 2014 der deutschen Automobilindustrie die Wichtigkeit angepasster Produktionssysteme sehr präsent: „Auf unvorhersehbare Änderungen muss eine Produktionsanlage nicht flexibel, sondern wandlungsfähig reagieren können, um wirtschaftlich am Markt zu bestehen. Die Wandlungsfähigkeit einer Anlage beschreibt dabei das Vermögen und das Potenzial, mit minimalem Aufwand beliebig umgestaltet zu werden. Ziel ist es, mit nur geringem finanziellen Aufwand zwischen verschiedenen Zuständen zu wechseln. Im Gegensatz zur Flexibilität kommt die Wandlungsfähigkeit also ohne einzuplanenden Ressourcenvorhalt aus“ (Bauernhansl et al. 2014). Wandlungsfähigkeit wird zum Synonym für den Umbruch einer Branche. Die ehemals klaren Strukturen des zeitlichen Ablaufs – Modellreihenplanung, Ressourcenbeschaffung, Produktion, Verkauf, Wartung – werden durch ständig neue Anforderungen auf Kundenseite und durch Effizienznotwendigkeiten aufgebrochen, bedingt durch Wettbewerber, die durch den Einsatz neuer Materialien oder Fertigungsprozesse flexibler, schneller und wirtschaftlich erfolgreicher sind. Neue Technologien zur Umsetzung innovativer Fahrzeugkonzepte und immer stärker auf Datenaustausch basierende Geschäftsmodelle werden in global vernetzten Planungs- und Produktionsprozessen umgesetzt. Elektromobilität erzeugt veränderte Wettbewerbssituationen. Neue Fahrzeug-, Komponenten- und Batterie(zellen-)hersteller agieren mit traditionellen Akteuren in globalen Wertschöpfungsbeziehungen. Um Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten, müssen Marktakteure eingesetzte Produktionsverfahren optimieren, einzelne Produktionsschritte effizienter gestalten und Synergien im Wertschöpfungsverlauf erzeugen. Beschaffungs- und Lieferketten werden segmentiert

und dezentral organisiert. Zunehmend werden Produktionsstrecken in unterschiedlichen Fabriken miteinander vernetzt und auch Zulieferer direkt in die automatisierten Produktionsabläufe miteinbezogen. Damit eröffnen sich weitere Möglichkeiten, Kunden als direkte Einflussfaktoren in die Produktionsabläufe von vermehrt individualisierten und personalisierten Endprodukten miteinzubeziehen.

Die „elektromobile Wertschöpfung“ fokussiert sich nicht nur auf das eigentliche Fahrzeug und seine Komponenten, sondern auch auf die Integration der energierelevanten Bestandteile, die das Gesamtsystem erst besonders werden lassen. Die Erzeugung, die Speicherung und die Rückführung von Energie sind ebenso Teil der Wertschöpfung wie die Infrastruktur zur Energieversorgung. Abbildung 4 umfasst alle Bereiche dieser Wertschöpfung und soll das Zusammenwirken der einzelnen Disziplinen verdeutlichen.

Wie die meisten Wertschöpfungsprozesse bewegen sich die Akteure der Elektromobilität in einem regulativen Ordnungsrahmen, der aufgrund der Einbindung der Energiekomponenten, der Entwicklung und Fertigung neuer Materialien dafür ebenfalls sehr komplex ist. Die Neuartigkeit der technologischen Umsetzung und die Einbindung energierechtlicher Herausforderungen erschwert es, eindeutige, international geltende Normen und Standards zu verabschieden und anzuwenden.

3.2.2 Beschreibung der Hauptakteure in Deutschland entlang der Wertschöpfung

Der zukünftige Markterfolg Deutschlands als führender Anbieter für Elektromobilität wird durch die Wettbewerbsfähigkeit der in Deutschland entwickelten technologischen Lösungen und die Integrationsfähigkeit dieser Lösungen in länder- und branchenübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke entschieden. Der verfolgte systemische Ansatz – mit einem engen Schulterschluss von Gesellschaft, Politik, Wissenschaft und Forschung mit industrieller Entwicklung – hat Deutschland in eine grundsätzlich gute Ausgangsposition für die Befriedigung zukünftiger Marktbedarfe gebracht. Es besteht eine klare Vision, wie die Produktion der Zukunft zu gestalten ist. Die hochdynamischen Entwicklungen im globalen Wettbewerb zwingen die deutsche Wirtschaft zu weiteren Anstrengungen. Themen wie additive Fertigung (Fahrzeugteile aus dem 3D-Drucker) oder Losgröße-1-Individualisierungen, aber auch der Einsatz künstlicher Intelligenz treiben die Innovation voran.

Die folgende Beschreibung der Hauptakteure liefert einen kompakten Überblick zum aktuellen Status der Wertschöpfungspartner der Elektromobilität in Deutschland.

Rohstofflieferanten

Nach Expertenschätzungen werden die globalen Rohstoffvorkommen ausreichen, um den Bedarf der Elektromobilität in den nächsten 20 bis 25 Jahren abzudecken. Wie andere Herstellländer verfügt auch Deutschland auf lange Sicht nicht über ausreichend eigene Rohstoffe für die Fahrzeug- und die Batterieproduktion. Die Abhängigkeit von Importerzeugnissen ist gravierend, eine daraus entstehende Zwangssituation im Zweifelsfall dramatisch für die Wettbewerbsfähigkeit. Nach Expertenschätzungen dominieren weniger als 150 Unternehmen weltweit mehr als 80 Prozent des Handels mit mineralischen Rohstoffen. Vorhandene Komplexität und notwendige Logistik der Rohstoffversorgung sind zentrale Herausforderungen, insbesondere für die Elektromobilität. Bisher stellte Rohstoffverfügbarkeit kein relevantes Problem für die deutsche Wirtschaft dar. Die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen in schnell wachsenden Schwellenländern kann zukünftig jedoch zu Engpässen in der Zulieferung führen. Zwar ließen sich in Deutschland durchaus Lagerstätten erschließen, z. B. seltene Erden und Lithium im Erzgebirge. Der Bezug aus dem Ausland ist aber derzeit wirtschaftlicher. Aus der aktuell entspannten Situation kann mittelfristig eine massive Dringlichkeit für neue Bezugsquellen oder alternative Materialien entstehen.

Status und Chancen für Akteure in Deutschland

Wesentliche Rohstoffe für die Fahrzeugproduktion sind für deutsche Anbieter verfügbar, bzw. eventuell auftretende Versorgungsprobleme oder -abhängigkeiten werden minimiert durch den Einkauf integrierter Komponenten statt eigener Produktion. Eine Reduzierung des Rohstoffbedarfs für Elektrofahrzeuge kann zudem durch innovative, von deutschen Ingenieuren und Materialtechnologern entwickelte Fahrzeugkonzepte erreicht werden.

Entscheidende Vorteile für die Rohstoffbilanz entstehen auch durch die Verwendung von Konstruktionen und Bauteilen, die eine Wiederverwertung in Recyclingkreisläufen möglich machen.

Stromerzeuger und -versorger

Ein wichtiger Erfolgs- und Akzeptanzfaktor für die Elektromobilität ist die Versorgung der Fahrzeugbatterien aus

erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung. Die absehbare Verknappung fossiler Brennstoffe und weitere, globale Klimaschutzbemühungen geben der Elektromobilität Rückenwind. In Deutschland betrug der Anteil erneuerbarer Energie im Jahr 2017 bereits rund 36 Prozent (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi]) mit ansteigender Tendenz. Ein wachsender Trend sind dezentrale Stromerzeuger, die in die Netze einspeisen. Dabei kommen vorwiegend fluktuierende Erzeuger wie Photovoltaik und Windkraft zum Einsatz. Dies erfordert einen Ausbau von Speicherkapazitäten und Anstrengungen für weitere Effizienzmaßnahmen.

Status und Chancen für Akteure in Deutschland

Trotz Liberalisierung bilden noch immer vier Energiekonzerne in Deutschland den überwiegenden Teil der Stromerzeugung und -versorgung ab. Dabei verstetigen sich Tendenzen der dezentralen Stromerzeugung und der Einrichtung von Smart Grids. Dabei kann zukünftig Elektrofahrzeugen als Verbraucher und Speicher von Strom eine maßgebliche Bedeutung in der energiewirtschaftlichen Systemlandschaft und für den Ausgleich von Netzschwankungen zukommen.

Komponentenhersteller

Antriebstechnologie und Fahrzeugintegration sind wichtige Kompetenzfelder, um die Elektromobilität mit attraktiven, im Markt nachgefragten Fahrzeugen erfolgreich zu etablieren. Neue Anforderungen entstehen für die Produzenten durch kundenseitig gewünschte Veränderungen im Fahrzeugdesign und dem ökonomischen Anspruch nach optimierten Bauteilen durch effizientere Fertigungsweisen. Effizienzsteigerungen sind durch Fortschritte in der Entwicklung und Produktion von Leichtbauteilen zu erreichen. Innovative Komponenten aus Verbundwerkstoffen mit hoher Bauteilkomplexität verbessern die Wettbewerbsposition deutscher Anbieter ebenso wie neue Batteriepack- und Antriebskonzepte. In diesen Bereichen besteht, trotz bereits erzielter Erfolge, weiterhin hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Status und Chancen für Akteure in Deutschland

Traditionell verfügt Deutschland über einen gut besetzten, innovationsstarken Maschinen- und Anlagenbau, der für die Automobilindustrie und zunehmend auch für die Komponentenfertigung von Elektrofahrzeugen zum Erfolgsgaranten wird. Neue Kompetenzen und neue Vernetzungsformen, auch über Branchengrenzen hinweg, sind notwendig, um traditionelle Fertigungsbetriebe auf die Prozess- und Wertschöpfungsket-

ten der Produktion von kleineren Losgrößen einzustellen. Die immer kürzer werdenden Innovations- und Produktionszyklen lassen sich nur durch zunehmende Digitalisierung und Datenaustausch zwischen Wertschöpfungspartnern erreichen.

Infrastrukturanbieter

Elektromobilität braucht Infrastruktur und neue Konzepte für Lösungen, die über das reine Fahrerlebnis hinausgehen. Besonders im Fokus steht dabei die benötigte Ladeinfrastruktur. Zwar wird auch zukünftig die Mehrzahl der Elektrofahrzeuge im privaten Umfeld geladen. Dennoch ist die Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum ein wesentlicher Faktor zur Akzeptanz der neuen Technologie. Neben der Einrichtung von Ladepunkten wird es zukünftig neue Lösungen für die Kommunikation und Vernetzung der Elektrofahrzeuge untereinander und mit Serviceanbietern im öffentlichen Verkehrsraum geben. Dafür stehen die Betreiber von Energienetzen, Verteilnetzbetreiber, spezialisierte Lösungsanbieter für Ladeinfrastruktur und IT-Unternehmen (für Datenmanagement, Abrechnungsplattformbetreiber) bereit.

Status und Chancen für Akteure in Deutschland

Die Infrastruktur ist im Aufbau; eine Vielzahl von Anbietern für die Energieversorgung und das -management befinden sich im Wettbewerb. Trotzdem ist die Flächenabdeckung mit Ladeinfrastruktur noch immer unbefriedigend, was als eine wesentliche Barriere für die Etablierung der Elektromobilität wahrgenommen wird. Für die Entwicklung neuer Services rund um Elektrofahrzeuge (privat und gewerblich genutzt) stehen eine Vielzahl innovativer, traditioneller Unternehmen bereit, aber auch zunehmend neu gegründete Anbieter mit hoher Flexibilität und frischen Ideen.

E-Fahrzeughersteller

Bei den traditionellen Fahrzeugherstellern besteht im Jahr 2018 kein Zweifel daran, dass die eigene Angebotspalette elektrifiziert werden muss. Angesichts der globalen Nachfrage, insbesondere aus China, könnten diese Bemühungen deutlich ausgebaut werden, um der Elektromobilität aus deutscher Produktion zum Durchbruch zu verhelfen. Dabei wächst auch das Angebot an Fahrzeugen und integrierten Servicekonzepten durch neu gegründete oder branchenfremde Unternehmen. Diese sehen durch den Einsatz neuer Fertigungsverfahren und -materialien und durch innovative Fahrzeugangebote echte Chancen, um im Wettbewerb gegen etablierte Wettbewerber zu bestehen.

Status und Chancen für Akteure in Deutschland

Deutschland versteht sich noch immer als Leitanbieter der Elektromobilität, spürt jedoch auch deutlich die zunehmende Konkurrenz ausländischer, insbesondere chinesischer Wettbewerber, die mittelfristig auf den europäischen Markt drängen. Von den 63 Modellen (batterieelektrische Fahrzeuge, Plug-in-Hybrid und Range Extender), die die NPE in ihrem Bericht aus dem Jahr 2018 als in Deutschland verfügbar gelistet hat, waren über die Hälfte von deutschen Herstellern (Nationale Plattform Elektromobilität [NPE] 2018b, S. 21f.). Mittelfristig wird die Angebotspalette erweitert und die deutschen Anbieter werden sich über Leistung und Preis noch wettbewerbsfähiger präsentieren. Die traditionellen OEM bauen auf innovative Fertigungskonzepte, Prozessanpassungen durch Industrie 4.0 und die enge Zusammenarbeit mit motivierten Zulieferern. Auch in Deutschland setzen sich neue Fahrzeugkonzepte durch, wie der Streetscooter im Logistikbereich, hergestellt durch neue, schnell wachsende Unternehmen jenseits der traditionellen Anbieter. Diese Marktteilnehmer zeichnen sich



durch ein hohes Maß an Kreativität, insbesondere für intermodale Lösungen, aus.

Anbieter von Mobilitätsleistungen

Vorhandene Mobilitäts- und Verkehrsangebote werden durch Akteure der Elektromobilität und neue Serviceanbieter z. B. durch Apps für die Buchung von Fahrzeugen oder Abrechnungsmodalitäten ausgebaut. Dies betrifft auch die Einrichtung mobiler Speicherlösungen und die Anbindung des Elektrofahrzeugs in das individuelle Energiemanagement für den Privatgebrauch (Smart Grid), aber auch das Betreiben öffentlicher Infrastruktureinrichtungen (z. B. Ladestationen) und neue Serviceleistungen wie Batteriemangement oder Vernetzungsangebote von Fahrzeugen mit Anbietern unterstützender Leistungen (z. B. Parkraummanagement).

Status und Chancen für Akteure in Deutschland

Das Serviceangebot im Kontext der Elektromobilität wächst mit seiner Verbreitung und damit mit der Anzahl potenzieller Kundinnen und Kunden. In der Vergangenheit hat sich in anderen Branchen (z. B. Telekommunikation) gezeigt, wie schnell kreatives Potenzial in neue Leistungsangebote umgesetzt wird, sobald der Markt groß genug erscheint. Durch die entstandene Marktdynamik kann das Jahr 2018 als echtes Umbruchsjahr für das Servicesegment bezeichnet werden. Die Akteursstruktur in Deutschland ist mit einem innovativen Mittelstand, einer guten Hochschullandschaft und kreativen Unternehmensgründern, gut aufgestellt, um die Elektrofahrzeuge durch attraktive Serviceangebote zu flankieren. Auch die traditionellen OEM haben sich auf diesen Trend eingestellt und bauen eigene „Innovation Labs“ auf.

Vertrieb

Die Verkaufskanäle aller Wertschöpfungspartner stellen sich auf die massiven Veränderungen traditioneller Geschäftsprozesse durch die Digitalisierung ein. Deutsche OEM haben teilweise ihren Vertrieb bereits komplett umgebaut. Insbesondere bei E-Fahrzeugen wird zunehmend auf Direktvertrieb gesetzt. Fahrzeuganbieter, Fahrzeugvermieter oder Leasinganbieter, aber auch Stromlieferanten, Ladeinfrastrukturbetreiber oder Batterieanbieter finden neue, auch kollaborative Konzepte, um ihr Leistungsangebot im Markt zu platzieren. Gute Beispiele aus dem Ausland können adaptiert und auf die lokalen Bedürfnisse angepasst werden.

Status und Chancen für Akteure in Deutschland

Die Vertriebskanäle deutscher Anbieter entlang der Wertschöpfung sind gut ausgebaut und können flexibel angepasst werden.

Wartung

Elektrofahrzeuge sind deutlich wartungsärmer als Verbrennerfahrzeuge, dies führt zu deutlichen Kostenvorteilen für die Kunden und zu sinkenden Umsätzen bei klassischen Wartungs- und Reparaturdienstleistungen. Sie müssen sich zudem auf neue, elektromechanische Technologien einstellen. Dies führt auch zu neuen Herausforderungen für die Ausbildung fahrzeugtechnischer Berufe. Zukünftig bieten die Werkstätten der Fahrzeughersteller, aber auch die Netzbetreiber und Batterie-lieferanten spezielle Wartungsleistungen an.

Status und Chancen für Akteure in Deutschland

Als notwendiges, flankierendes Leistungsangebot für Service und Wartung sind deutsche Akteure gut aufgestellt und nutzen zunehmend auch die Vorteile vernetzter Dienste (z. B. remote control services) durch Digitalisierung.

Mehrwertdienste

Ein wesentlicher Bereich für neue Wertschöpfung sind die Entwicklung und die Integration von Systemlösungen, meist ermöglicht durch kontinuierliche Datenversorgung, in das „Leistungsangebot Elektromobilität“. Neue Serviceanbieter bieten Datenplattformen und IKT-Dienstleistungen, um Zusatzangebote zu generieren, die das reine Fahrerlebnis durch weiteren Zusatznutzen anreichern. Intelligente Online-Lösungen können einen Beitrag zur weiteren Akzeptanz und Etablierung der Elektromobilität leisten. Der zukünftige Einsatz von Methoden auf Basis künstlicher Intelligenz eröffnet neue, unmittelbar auf den jeweiligen Kunden zugeschnittene Nutzungsangebote.

Status und Chancen für Akteure in Deutschland

Ähnlich wie bei den Anbietern von Mobilitätsleistungen ist Deutschland im Bereich intelligenter, smarter Services gut aufgestellt. Hier kann zukünftig das vorhandene Kreativpotenzial für neue Dienste eingesetzt werden.

Kunden

Nutzerinnen und Nutzer von Elektrofahrzeugen verfolgen oftmals nicht nur das Ziel, regelmäßige Wegstrecken von A nach B zurückzulegen. Ihre Motivation berücksichtigt auch Nachhaltigkeits- und Umweltaspekte oder das grundsätzliche Interesse

an neuen Mobilitätsformen, wie das Teilen von Fahrzeugen mit anderen und die Nutzung neuer Logistikooptionen. Dies kann schon im Vorfeld der Fahrzeugkonzeption (Design- oder Ausstattungsvorschläge über partizipative Plattformen oder Nutzungsfeedback zu ersten Prototypen) zum Engagement der Kunden führen. Insbesondere gewerbliche Großkunden, wie Lieferdienste, Flottenbetreiber oder Poolanbieter haben individuelle Bedarfe und kommunizieren diese als Partner der Wertschöpfung. Die Philosophie der Industrie 4.0 ermöglicht die wirtschaftliche Produktion auch kleinerer Losgrößen und damit einen höheren Grad an Individualisierung entsprechend der Kundenwünsche.

Status und Chancen für Akteure in Deutschland

Die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen steigt in den letzten Jahren spürbar und wird sich hoffentlich exponentiell weiterentwickeln. In Deutschland bildet sich derzeit auch zunehmend das Marktsegment des gewerblichen Einsatzes von Elektrofahrzeugen aus. Flottenbetreiber (Deutsche Post, Sicherheits- und Pflegedienste), aber auch Städte und Kommunen suchen nach Mobilitätslösungen für ihren spezifischen Bedarf. Durch enge Kommunikation mit Fahrzeugentwicklern und Herstellern entstehen Fahrzeugkonzepte, die dann in kleineren Stückzahlen und bedarfsgerecht umgesetzt werden.

Verwerter, Recycling

Der Nachnutzung von Fahrzeugteilen und Batterien kommt in Zeiten knapper Rohstoffressourcen eine besondere Bedeutung zu. Die in Elektrofahrzeugen eingesetzten Batterien, die für eine weitere Verwendung im Fahrzeug nicht mehr geeignet, aber immer noch leistungsfähig sind, können z. B. als Energiespeicher in Privathaushalten zum Einsatz kommen. Batteriespeicher mit 5 Megawatt Leistung sind als Hausspeicher realistisch. Zukünftig werden neue Verwertungskonzepte für Elektrofahrzeuge und Fahrzeugkomponenten entstehen.

Status und Chancen für Akteure in Deutschland

Deutschland hat gut ausgebaute Strukturen für das Recycling von Wertstoffen und deren Rückführung in den Wertstoffkreislauf. Langjährige Erfahrungen können zukünftig auch für alle Verwertungsaspekte der Elektromobilität zum Einsatz kommen. Wichtig ist der Aufbau von Kommunikationswegen über Branchengrenzen hinweg. OEMs, Tier-1 und Energieversorger sollten hier stärkere Allianzen bilden.

3.2.3 Zentrale, aktuelle Entwicklungen

Auf der industriepolitischen Agenda der Bundesregierung für die aktuelle Legislaturperiode steht weiterhin die Stärkung der Wertschöpfungskette Elektromobilität:

„Wir wollen die Industrie dabei unterstützen, die gesamte Wertschöpfungskette der Elektromobilität in Deutschland und Europa vorzuhalten. Die Ansiedlung einer Batteriezellfertigung ist für Deutschland und Europa ein wichtiges wirtschafts- und industriepolitisches Handlungsfeld“ (CDU et al. 2018, S. 57).

Diesem Ziel entsprechend sind auch die aktuellen Förderinitiativen ausgestaltet.

Überblick über zentrale, aktuelle Entwicklungen aus Industrie und Entwicklung

Bei der Vorbereitung auf die Fahrzeugproduktion der Zukunft haben sich bereits starke Allianzen aus Industrie und Wissenschaft gebildet, nicht zuletzt in den Förderprojekten des Programms ELEKTRO POWER II, in denen z. B. an neuen automatisierten und robusten Produktionssystemen für E-Traktionsantriebe, an smarten Rohbauzellen (jeweils unter Einbindung eines OEM und KMU sowie Wissenschaftseinrichtungen) oder an invest-minimalen und hocheffizienten Verfahren zur Elektrofahrzeugmontage geforscht wird. Besonders hervorzuheben ist das Thema der Refabrikation (Remanufacturing), der Aufarbeitung von Fahrzeugkomponenten für den Einsatz in neuen Fahrzeugen. Hier erarbeitet sich die deutsche Elektromobilitätswirtschaft derzeit neue Kompetenzen mit erwartbaren wirtschaftlichen Vorteilen. Dies kann neben der Rückgewinnung von Rohstoffen auch zu neuen Erlösquellen führen.

Stärkung der deutschen Position im globalen Wettbewerb

Besonders wichtig im globalen Wettbewerb ist der Erfahrungsaustausch zwischen verschiedenen Branchen und die Nutzung von Lerneffekten. In der jüngsten Vergangenheit wurden bereits intensive, branchenübergreifende Diskussionen um die intelligente Vernetzung von Maschinen und Abläufen in der Industrie mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologien geführt. Vertreter des Maschinen- und Anlagenbaus haben diese Diskussion maßgeblich mitbestimmt und durch neue Angebote von Maschinen und Produktionsprozessen im Markt umgesetzt. Auch die Akteure des „Ökosystems

Elektromobilität“, seien es die Fahrzeug- oder die Batterie-zellhersteller, können von diesen Erfolgen lernen und sie an eigene Produktionsprozesse anpassen. Die Digitalisierung der Produktion und die dadurch ermöglichte Vernetzung von Prozesspartnern werden zukünftig für mehr Effizienz sorgen und die Bedienung der Nachfrage nach Variantenvielfalt befördern. Für die erfolgreiche Nutzung durchgängiger Daten- und IT-Strukturen ist eine gut ausgebaute digitale Infrastruktur ein entscheidender Faktor. Auch der Einsatz von Robotersystemen, die mit dem Werker interagieren, wird zunehmen, ebenso wie der Einsatz des 3D-Drucks als unterstützende Fertigungstechnologie. Die Einbindung künstlicher Intelligenz in die Entscheidungsprozesse einer modernen Produktionslandschaft wird derzeit von der Wissenschaft als zukunftsweisend und mittelfristig realisierbar angesehen. Um die grundsätzlich realistische Vision einer selbstlernenden, sich eigenständig und stetig optimierenden Fabrik zu ermöglichen, sind weitere Forschungsressourcen notwendig.

Die deutsche Automobilindustrie stellt sich verstärkt den Herausforderungen digitaler Wertschöpfungsnetzwerke, mehr noch: Die Branche erkennt die Chancen, die in der flexiblen Fertigung zunehmend individualisierter Fahrzeuge liegen. Industrie 4.0 ist nicht länger ein wenig ernst genommener Modebegriff. Die Vorteile der Entwicklung und Umsetzung neuer, digital vernetzter Fertigungsabläufe, auch über Unternehmens- und Ländergrenzen hinweg, werden erkannt und in neue, attraktive Geschäftsmodelle überführt.

Verantwortlichkeiten von der Idee bis zur marktreifen Umsetzung von Produkten sind in Netzwerkstrukturen verteilt, die einen stetigen informellen und physischen Austausch über Branchen- und Unternehmensgrenzen hinweg nötig werden lassen. Sofern sich Unternehmen auf solche Organisations-szenarien einlassen, verwischen Hierarchiestufen innerhalb des Unternehmens und im Zusammenspiel mit externen Partnern zugunsten einer nach Bedarf gesteuerten Kollaboration, die keinen festen Regeln und Normen unterliegt.

Die Digitale Transformation integriert Softwarebefehle und IT-Werkzeuge in komplexe Industrieprozessketten. Sowohl Produkte, Materialien als auch einzelne Produktionsstätten sind Teilkomponenten der digitalen Fabrik 4.0. Deutsche Industriekonsortien (auch gefördert durch das BMWi) suchen den Weg zum Erfolg, indem sie praxisrelevante Referenzarchitekturen, die allen Akteuren im Kontext Industrie 4.0 als Orientierung

dienen sollen, formulieren. Um die Visionen von flexibler und standortübergreifender Produktion umzusetzen, müssen diese Architekturen offene und standardisierte Schnittstellen anbieten. Bei der Integration innerhalb von Systemen sind verlässliche und automatisierte IT-Sicherheitsmechanismen für die Kommunikation zwischen verschiedenen Standorten erfolgsentscheidend. Nur so lassen sich effiziente Prozesse mit horizontaler und vertikaler Integration von Prozessschritten erreichen. Engineering und Softwareentwicklung nehmen für die Automobilindustrie massiv an Bedeutung zu. In diesen Bereichen haben die OEM bereits vielfach investiert.

Infrastruktur zum Energiemanagement

Auch in die notwendige Infrastruktur zum Energiemanagement, wie Ladesäulen, digitale Verbrauchserfassung und -abrechnung sind bereits Investitionen geflossen. Um den Transformationsprozess weiter auszugestalten, wird es neben öffentlichen Anreizsystemen, den juristischen und durch Normung bestimmten Rahmenbedingungen und dem weiteren Breitbandausbau vor allem darauf ankommen, dass es den Produzenten gelingt, technisch wettbewerbsfähige Lösungen zu marktconformen Kosten herstellen zu können. Ein Beispiel ist die Zellfertigung der Generationen 3 und 4 in Deutschland. Wenn hier die derzeit etablierten Marktstrukturen durch vorwiegend asiatische Anbieter in Europa aufgebrochen werden, setzt dies eine Optimierung der in Deutschland oder Europa eingesetzten Produktionsverfahren und eine Effizienzsteigerung im Wertschöpfungsverlauf voraus.

Im Zukunftsbild der industriellen Fertigung werden Prozessketten – von den ersten Design-Entwürfen bis zu After-Sales-Services – durchgängig digital abgebildet und gesteuert. In der Vision bewegen sich Materialien, Werkstücke und Bearbeitungsmaschinen in automatisierten Prozessen selbstständig durch die digitale Fabrik. In neuen Wertschöpfungsnetzen werden Beschaffungs- und Lieferketten zunehmend fragmentiert und dezentral organisiert. In zukünftigen Fabriken kommunizieren einzelne Werkzeuge einer Produktionsstrecke sowohl miteinander als auch mit den entstehenden Produkten und ermöglichen somit eine sehr flexible, hocheffiziente Produktion. Hier kommt dem Maschinen- und Anlagenbau eine Schlüsselrolle zu. Zudem werden Produktionsstrecken in unterschiedlichen Fabriken miteinander vernetzt und auch Zulieferer direkt in die automatisierten Produktionsabläufe integriert. Es ist sogar geplant, Kunden direkt in die individualisierte und personalisierte Produktion einzubeziehen.

Mit den industriepolitischen Förderinitiativen des BMWi werden Leistungen von Forschungs- und Industriekreuren unterstützt, aus dieser Vision realistisch umsetzbare und skalierbare Praxislösungen zu entwickeln. Das Programm ELEKT-

RO POWER II ist dafür ein gutes Beispiel. Die nachfolgenden Ergebnisbeschreibungen einzelner Förderprojekte sollen deren Relevanz und die daraus zu erwartenden Wirkungen für den Wertschöpfungsstandort Deutschland belegen. Eine Gesamt-

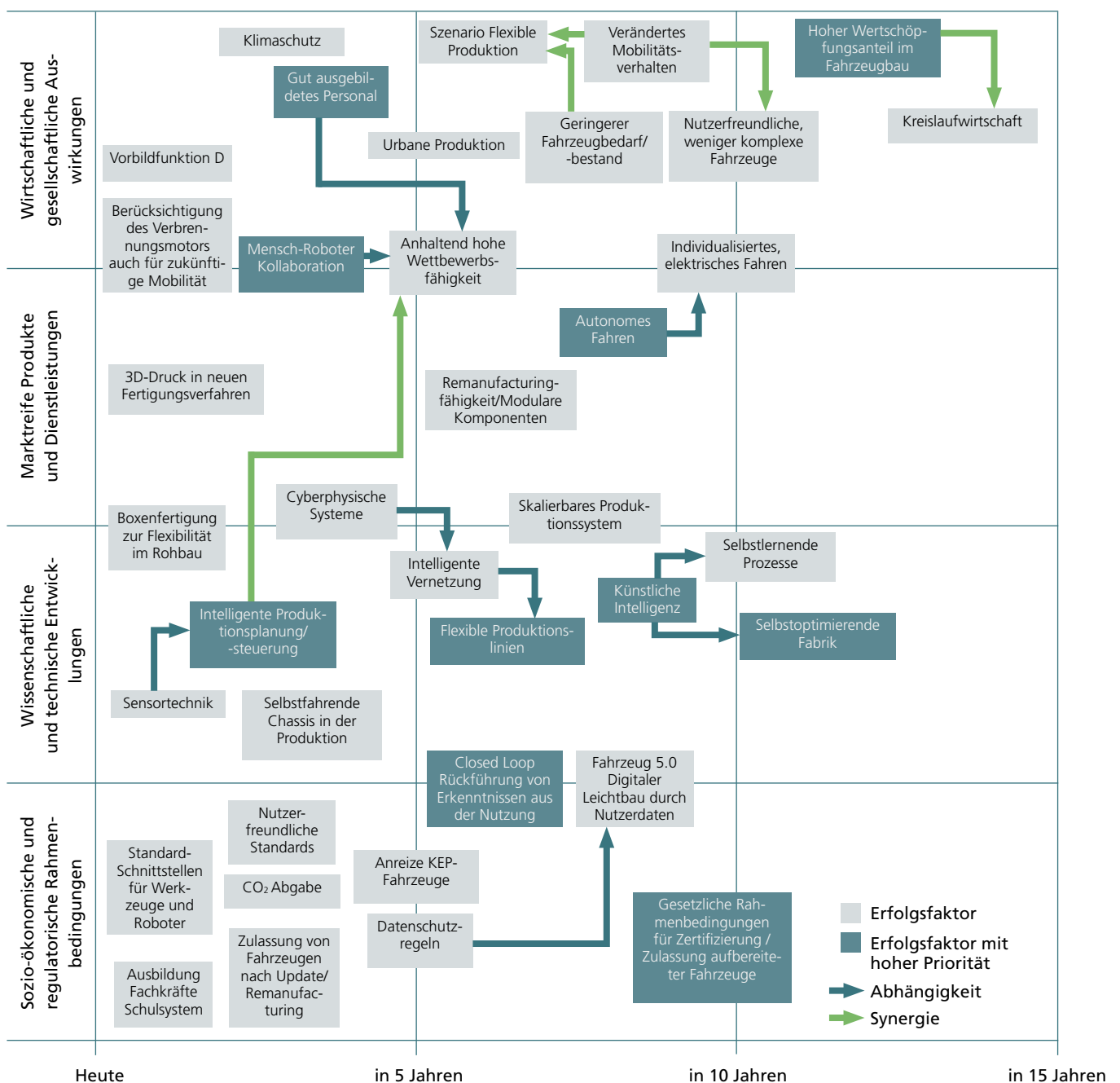


Abbildung 5: Roadmap der Erfolgsfaktoren und Meilensteine für die Produktion von Elektrofahrzeugen

übersicht zu den Beiträgen der einzelnen Projekte des Förderprogramms ELEKTRO POWER II liefert Abbildung 2.

Beitrag der geförderten Projekte

Das Forschungsprojekt POLICE setzt das bis dato nicht mögliche Remanufacturing von Elektrofahrzeugen um. Diese Aufbereitung von gebrauchten Fahrzeugen wird über eine Neugestaltung der Basiskomponenten, wie modularen Traktionsbatterien und flexiblen Anbindungselementen, auf Zellebene sowie der Ermöglichung von Montage und Demontage erreicht. Das Ziel des Projekts ist die Vervielfachung der Nutzungsdauer von Elektrofahrzeugen. Eine ressourceneffiziente Produktion und die Weiternutzung von Elektrofahrzeugen tragen zu einer Weiterentwicklung umweltfreundlicher Mobilität bei und senken gleichzeitig die Kosten für den Verbraucher.

Die Entwicklung einer Low-Cost-Montageeinheit für E-Fahrzeuge steht im Fokus des Projekts LoCoMo. Das Projektteam, zusammengesetzt aus Wissenschaft und Industrie, arbeitet an Konzepten, die zukunftsweisende Montagetechnologien in hochflexiblen und investitionsarmen Fertigungslinien ermöglichen. Selbstfahrende E-Fahrzeug-Chassis und additive Fertigungsverfahren werden zu innovativen Elementen in einem ganzheitlichen Konzept der automobilen Endmontage.

Das Projekt PRO-E-Traktion erforscht die Vernetzung von Prozesstechnologien moderner Elektromotoren für E-Traktionsantriebe. Anlagen- und technologieübergreifend vernetzte Produktionseinrichtungen sollen Prozesszeiten und Herstellkosten reduzieren sowie die Qualität bei der Fertigung elektrischer Antriebe erhöhen. Die Erkenntnisse aus dem Förderprojekt können branchenunabhängig für die Fertigung von Elektromotoren angewendet werden. Intelligent vernetzte Prozesse ermöglichen den für Industrie 4.0 benötigten hohen Automatisierungsgrad im Elektromaschinenbau bei ebenfalls hoher Prozessstabilität. Nachhaltig wirtschaftlich hergestellte innovative E-Motoren werden dadurch möglich.

Der grundsätzliche Paradigmenwechsel für den hochkomplexen Rohbau von Fahrzeugen steht im Fokus des Projekts SmartBodySynergy. Um bei der Produktion von Elektrofahrzeugen eine verbesserte Wirtschaftlichkeit zu erreichen, arbeiten die Partner an Verfahren zur Erhöhung der Flexibilität, um die Produktion von Fahrzeugkarosserien in frei skalierbaren Modellvarianten aus konventionellen und elektrifizierten Fahrzeugen möglich zu machen. Im Ergebnis entstehen

flexible Karosseriebauten durch den Einsatz universell einsetzbarer, modularer Rohbauzellen. Die Projektergebnisse lassen geringere Lieferzeiten von Elektrofahrzeugen erwarten, da der Modellmix und somit das jeweilige Produktionsvolumen gemäß der Nachfrage wählbar ist. Zusätzlich lässt sich die zu entwickelnde neue Generation wandlungsfähiger Anlagen und Betriebsmittel nahtlos und medienbruchfrei in die Automobilproduktion der Zukunft integrieren.

Fachdialoge der Begleit- und Wirkungsforschung

Expertinnen und Experten aus den geförderten Projekten haben im Frühjahr 2018 an einem Diskussionsforum zur Begleit- und Wirkungsforschung ELEKTRO POWER II teilgenommen. Zur Abschätzung zukünftiger Entwicklungen und Trends in dem Themenfeld haben die Teilnehmenden zwei Roadmaps (Abbildung 3 und Abbildung 5) entwickelt, die die Diskussionen zu den Produktionsthemen zusammenfassen. Dies erfolgte in zwei thematischen Arbeitsgruppen zu den Themen „Produktion von Elektrofahrzeugen“ und „Produktion von Batteriezellen“.

Die Diskussion der Fachexpertinnen und -experten zum Themenfeld „Produktion von Elektrofahrzeugen“ wird in Abbildung 5 dargestellt und im weiteren Verlauf auf den Folgeseiten konkretisiert vertieft.

Sozio-ökonomische und regulatorische Rahmenbedingungen

Heute und in naher Zukunft

Die Produktion von Elektrofahrzeugen wird in Deutschland von den OEM bestimmt. Zunehmend positionieren sich aber auch neue Anbieter, wie die e.GO AG, die mit eigenen Fahrzeug-, aber auch Produktionskonzepten den Markt bereichern. Um diesen Unternehmen neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zuzuführen, bildet das Schul- und Ausbildungssystem in Deutschland eine gute Basis.

Die Produktion von Elektrofahrzeugen muss nicht gänzlich neu erfunden werden. Es können Standardschnittstellen für Werkzeuge und Roboter sowie vorhandene Standards für Prozessabläufe genutzt werden. BMW hat dies durch die Umsetzung der innovativen Fahrzeugkonzepte des i3 und des i8 und den Einsatz neuer Materialien und Produktionsabläufe nachgewiesen.

Als Motivation für eine höhere Nachfrage nach Elektrofahrzeugen haben die Teilnehmenden kurzfristig finanzielle Anreize für kleinere Lieferfahrzeuge im Logistikbereich und eine CO₂-Abgabe für weniger umweltschonende Mobilität gesehen.

Regulatorisch wären die Zulassungsbedingungen für Elektrofahrzeuge nach einem Update oder Remanufacturing zu beleuchten. Hier fehlt es noch an eindeutigen Regeln. Zu klären ist auch die Anwendung bestehender Datenschutzregeln, sowohl in vernetzten Produktionsverfahren mit hoher Sensordatenerhebung als auch beim späteren Einsatz des Fahrzeugs auf der Straße.

In fünf bis zehn Jahren

Innerhalb der nächsten Dekade erwarten die Expertinnen und Experten verabschiedete, gesetzliche Rahmenbedingungen für die Zertifizierung und die Zulassung aufbereiteter Fahrzeuge.

Wissenschaftliche und technische Entwicklungen

Heute und in naher Zukunft

Die Teilnehmenden sehen in der bereits sehr weit entwickelten Sensortechnik einen wesentlichen Enabler für neue Produktionsverfahren. Hier hat der Fertigungsstandort Deutschland echte Stärken und Alleinstellungsmerkmale vorzuweisen. Diese lassen sich aus anderen Branchen auch auf die Elektromobilität übertragen. Wichtige erste Ansätze von intelligenter Produktionsplanung und -steuerung sind bereits im Einsatz. So können selbstfahrende Chassis für die Produktionslogistik eingesetzt werden. Diese Entwicklung oder auch das Konzept der Boxenfertigung zur Flexibilität im Rohbau sind konkrete Ergebnisse von ELEKTRO-POWER-II-Projekten. Die hier aktiven FuE-Partner sind auch in anderen Forschungsprojekten involviert und arbeiten an Lösungen, die sich in der Fertigungspraxis umsetzen lassen.

In fünf bis zehn Jahren

Mittelfristig ist die Produktion von Elektrofahrzeugen nach Ansicht der Teilnehmenden intelligent vernetzt und in flexiblen Linien organisiert. Closed-Loop-Ansätze ermöglichen die Rückführung von Daten und daraus ableitbare Lerneffekte zur stetigen Optimierung der Prozessketten. Das „Fahrzeug 5.0“ wird ein Produkt, hergestellt als digitaler Leichtbau und im Design und der Ausstattung geprägt durch Nutzerdaten, die im Datenkreislauf erhoben und verwertet werden. Trotz eines hohen Individualisierungsgrads der Endprodukte werden die

Produktionssysteme skalierbar an die Nachfrage anpassbar sein.

Die Bedeutung der künstlichen Intelligenz nimmt zu. Bereits heute basieren Prozessabläufe in stark automatisierten Produktionen mehr und mehr auf dem Einsatz künstlicher Intelligenz. Der ableitbare Nutzen wird auch in innovativen Konzepten für die Produktion von Elektrofahrzeugen zum Wettbewerbsvorteil werden. Voraussetzung dafür ist eine transparente Kommunikation über Branchengrenzen hinweg.

In fünfzehn Jahren

Langfristig werden Produktionsprozesse und Fabriken als selbstlernende Systeme organisiert, sehr stark automatisiert und durch künstliche Intelligenz in der Lage sein, sich stetig zu optimieren.

Marktreife Produkte und Dienstleistungen

Heute und in naher Zukunft

Auf der Ebene marktreifer Produkte und Dienstleistungen kommen heute bereits 3D-Druckanwendungen in neuen Fertigungsverfahren zum Einsatz. Auch der Einsatz cyber-physischer Systeme wird im Maschinen- und Anlagenbau sowie in Fertigungsprozessen unterschiedlicher Branchen praktiziert. Auch hiervon profitieren die OEM, aber auch die neuen Teilnehmer im Markt der Elektromobilproduktion, wenn ein Austausch über Branchengrenzen ermöglicht wird.

In fünf bis zehn Jahren

Aktuell wird die Diskussion um neue Mobilitätsformen stark durch die erwartete Einführung des autonomen Fahrens geprägt. Die Teilnehmenden haben diesen Trend auch als Unterstützung für die Elektromobilität eingeschätzt. Autonom fahrende Elektrofahrzeuge werden als eindeutige Zukunftsentwicklung für die nächste Dekade angesehen.

Große Erwartungen haben die Experten in die Kreislaufwirtschaft und damit in die Fähigkeit von Elektrofahrzeugen, durch Remanufacturing oder den Austausch bzw. die Wiederverwendung modularer Komponenten langlebiger und wirtschaftlich attraktiver zu sein. Hier sollten positive Entwicklungen in der nächsten Dekade zum Tragen kommen.

Wirtschaftliche und gesellschaftliche Auswirkungen

Heute und in naher Zukunft

Grundsätzlich werden in allen derzeitigen Mobilitätskonzepten saubere Verbrenner Teil der mittelfristigen Strategie zur Erreichung von Klima- und Umweltzielen bleiben. Der Umstieg auf die Elektromobilität und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Automobilbranche werden noch einige Jahre in Anspruch nehmen. Deutschland wird bei der Kombination von Mobilität und Klimaschutz (Energiewende) eine Vorbildfunktion zugesprochen. Mit guten Beispielen, die auch internationale Aufmerksamkeit erzeugen, könnte sich Deutschland als Anbieter intelligenter Produktions- und Integrationslösungen positionieren.

Für die Produktion von Elektrofahrzeugen scheint den Experten in Deutschland gut ausgebildetes Personal zur Verfügung zu stehen. Wo menschliche Arbeitskraft sinnvoll und wirtschaftlich ergänzt werden kann, sind Mensch-Roboter-Kollaborationen denkbar, wie sie in anderen Branchen bereits umfassend zum Einsatz kommen.

In fünf bis zehn Jahren

Die Experten des Workshops erwarten in den nächsten zehn Jahren eine starke Veränderung des Mobilitätsverhaltens in Deutschland. Dies wird zu einem grundsätzlich geringeren Fahrzeugbedarf und -bestand führen. Die Kunden werden verschiedene Formen der Mobilität in Anspruch nehmen, sehr individuell und zunehmend elektrisch. Es wird erwartet, dass zukünftige Fahrzeuge deutlich weniger komplex, dafür merklich nutzerfreundlicher werden.

Im Bereich der Produktion von Elektrofahrzeugen kann Deutschland seine Position der hohen Wettbewerbsfähigkeit beibehalten. Szenarien von stark flexibler Produktion werden, ebenso wie die Produktion im städtischen Umfeld, als realistisch eingeschätzt.

In fünfzehn Jahren

Langfristig sehen die Experten des Workshops nach wie vor einen hohen Wertschöpfungsanteil im Fahrzeugbau, auch und vor allem beim Bau elektrischer Fahrzeuge. Sofern sich eine echte Kreislaufwirtschaft etablieren lässt, können bereits bestehende Wertschöpfungsanteile noch deutlich steigen.

3.2.4 Internationale Einordnung

Internationale Verflechtungen industrieller Wertschöpfungsprozesse sind kein Phänomen des 21. Jahrhunderts. Seit jeher haben Handel und Zusammenarbeit über Landesgrenzen hinweg den Erfolg einer Industriebranche ausgemacht. Die Stärke der deutschen Automobilindustrie rührt nicht zuletzt aus der Absicherung von Ressourcenverfügbarkeit, der Nutzung dezentraler, kundennaher Fertigungsstätten und der Fähigkeit, global attraktive Fahrzeugmodelle vertreiben zu können. Wirklich neu und bahnbrechend sind dagegen die Auswirkungen des Einsatzes digitaler, datenbasierter Verfahrensschritte, die zu einer Vernetzung in Realzeit von Partnern auf dem Industrieglobus führen.

Der Einsatz digitaler Technologien wirkt sich auf bestehende Prozessschritte aus, ermöglicht aber auch völlig neue Geschäftsoptionen. Nachdem sich die Branche langsam von dem ehemals geltenden Mantra einer langjährig laufenden Modellproduktion in großen Stücken verabschiedet, nehmen Kunden gerne die Vorteile hoher Individualität in Anspruch. Insbesondere Elektromobile sollen möglichst auf den konkreten Bedarf des Kunden zugeschnitten sein, bei gleichzeitig hocheffizienter Fertigung. Diese erfordert völlig neue Liefer- und Versorgungsprozesse für Materialien, Bauteile und Halbfertigteile. Die Logistik innerhalb des Wertschöpfungsnetzes lässt sich durch die Auswertung vorhandener Daten deutlich wirtschaftlicher planen und organisieren, ebenso wie die Produktionsprozesse, die sich über Ländergrenzen hinweg optimieren lassen.

Industrie 4.0 ist der durch die deutsche Wirtschaft geprägte Begriff für die Veränderungen der datenbasierten, stark vernetzten Produktion. In anderen Regionen wird das gleiche Phänomen erkannt und unter verschiedenen Begrifflichkeiten in die Praxis umgesetzt. In den USA hat sich ein „Industrial Internet Consortium“ gebildet, in China wurde das staatliche Programm „Made in China 2025“ ausgerufen, um die Transformation der Produktionsindustrie zu forcieren. In Japan wurde hierfür eine „Robot Revolution Initiative“ und in Südkorea eine „Smart Factory Initiative“ gebildet.

Die Studie „Industrie 4.0 im globalen Kontext“ der acatech (Kagermann et al. 2016) ordnet die weit fortgeschrittene Situation in Deutschland in eine internationale Landkarte der Transformationsprozesse industrieller Produktion ein. Die Länderkapitel dieser wissenschaftlichen Untersuchung (gefördert durch das BMWi) fassen am Ende wesentliche Schlussfolge-

rungen zusammen. Aus diesen wurden die folgenden Ausführungen zusammengestellt:

USA

- Eigene Produktionsstandorte werden gefördert, dadurch entstehen Chancen für den deutschen Maschinen- und Anlagenbau
- Start-Ups mit erheblichem Risikokapital
- Starke Wissenschaftslandschaft
- De-Facto-Standards durch Markteinführung
- Fokus auf Geschäftsmodellinnovationen
- Softwareplattformen für das Internet of Things werden national und international vermarktet
- Nach wie vor offen für Kooperationen

China

- Klare Vorgaben der Zentralregierung
- Global führender Wachstumsmarkt, stark geprägt durch industrielle Produktion
- Fokus auf Modernisierung der Industrie, Automatisierungsgrad soll durch die Strategie „Made in China 2025“ landesweit angehoben werden
- Absatzmarkt für den deutschen Maschinen- und Anlagenbau (Automatisierungstechnik)
- Schnell wachsender Inlandsmarkt
- Standardisierung als einer der wesentlichen Erfolgsfaktoren für Handelsabkommen
- Ökologisch nachhaltige Industrie-4.0-Lösungen werden nachgefragt
- Recht auf geistiges Eigentum und Datenschutz sind kritische Faktoren
- Ausbau von Wirtschaftsbeziehungen ist notwendig

Japan

- Hohes Niveau bei der Prozessautomatisierung
- Fragmentierte Industrie-4.0-Initiativen in Schlüsselbranchen, noch kein einheitliches Verständnis
- Integration in Wertschöpfungssysteme noch ausbaufähig
- Fokus staatlicher Förderung auf Robotik und datenbasierte Technologien
- Standardisierung als eines der wesentlichen Erfolgsfaktoren für Handelsabkommen
- Gewachsene Beziehungen mit Deutschland, politisch und wirtschaftlich

Südkorea

- Industriestruktur mit global operierenden Mischkonzernen (hochinnovativ)
- Geringer Automatisierungsgrad bei KMU
- Wettbewerbsstarke Nachbarn
- Offen für Kooperationsprojekte

Vereinigtes Königreich

- Industrie 4.0 soll industrielle Wertschöpfung stärken
- Noch unterentwickelte Automatisierungstechnologien für die Produktion im Einsatz
- Digitalisierung der Industrie wird forciert
- Hoher Anteil des Dienstleistungssektors am BIP, adaptierbare Geschäftsmodelle für Smart Services
- Zusammenarbeit bei der Standardisierung

3.2.5 Fazit

Der Produktionsstandort Deutschland kann bei der Elektromobilität auf eine Vielzahl von Erfolgen in Industrie und Wissenschaft verweisen. Der deutsche Maschinen- und Anlagenbau kann seine Fertigungskompetenz erfolgreich in die zunehmend agilen, mit hoher Innovationsgeschwindigkeit organisierten Prozesse der Elektromobilproduktion einbringen. Es wird deutlich, dass die Wertschöpfungspartner in Deutschland noch vor einer Vielzahl ungeklärter Herausforderungen stehen und sich daraus noch umfangreicher Forschungsbedarf ableiten lässt. Die Prozesstechnologie für die Produktion „Made in Germany“ ist zwar in der Fahrzeugproduktion wettbewerbsfähig, für andere industriepolitische Aspekte, wie z. B. das Thema Batteriezellfertigung gilt dies aber noch nicht. Um die Position im globalen Wettbewerb zu halten oder auszubauen, sind weitere Anstrengungen notwendig. Das betrifft die Komponenten und die Fahrzeuge, vor allem aber die Batteriezellfertigung. Hier gilt es, in Europa, unter starker Beteiligung der deutschen Fertigungsindustrie, gegenüber etablierten Anbietern aus Asien und den USA aufzuholen und die eigenen Stärken auszuspielen.

3.3 Produktion von Batteriezellen

3.3.1 Operationalisierung des Themenfeldes

Die Nationale Plattform Elektromobilität unterscheidet bei ihren Zielstellungen bezüglich der Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland zwischen Leitmarkt und Leitanbieter. Mit dem Leitmarktziel möchte Deutschland einer der wichtigsten

Anwender und damit einer der wichtigsten Absatzmärkte für Elektrofahrzeuge weltweit werden. Für den Leitanbieter ist es das Ziel, dass deutsche Hersteller „über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg, von den Batterien bis zu internetbasierten Dienstleistungen rund um die Elektromobilität, technologische Vorreiter“ sind (Nationale Plattform Elektromobilität [NPE] 2018a).

Das Bundeswirtschaftsministerium fokussiert mit seinen industriepolitischen Instrumenten auf eine ausgewogene Förderung des Gesamtsystems Elektromobilität. Eingesetzt werden angebot- und nachfrageunterstützende Maßnahmen. Außerdem werden Anpassungen des Rechtsrahmens und der Steuergesetzgebung vorgenommen.

Eine große Bedeutung in der Wertschöpfungskette „Elektromobilität“ kommt der Produktion der Batterie zu. Circa 30–40 Prozent der Wertschöpfung eines Elektrofahrzeugs entfallen auf die Batterie. Ein Großteil der Kosten für ein Batteriepack inklusive Batteriemanagementsystemen wiederum entsteht in der Herstellung der Batteriezellen (60–70 Prozent/Nationale Plattform Elektromobilität [NPE] 2016). Zwar sind Kostenreduktionen durch Lernkurveneffekte in der Batteriezellfertigung zu erwarten. Da dies in gewissem Maß jedoch auch für andere Komponenten des E-Fahrzeugs (z. B. Elektromotor) gilt und die Batteriekapazitäten in E-Fahrzeugen zukünftig steigen werden, um größere Reichweiten als die aktuell möglichen Distanzen zu verwirklichen, wird die Batterie ein wesentlicher Kostenpunkt von E-Fahrzeugen bleiben. Eine leicht abnehmende Tendenz des Wertschöpfungsanteils von Batterien an Elektrofahrzeugen kann jedoch zukünftig erwartet werden (Thielmann et al. 2015, S. 17).

Vor dem Hintergrund des prognostizierten Wachstums der Elektromobilität bis 2025 und dem damit verbundenen Bedarf an Batteriezellen (bis zu 400 GWh/a im Jahr 2025) (Nationale Plattform Elektromobilität [NPE] 2016) ist die Höhe der Wertschöpfungsanteile der deutschen Industrie an Elektrofahrzeugen von zentraler Bedeutung für den Automobilstandort Deutschland. Aus diesem Grund ist die Unterstützung der Produktionskompetenzen für Batteriezellen, Batteriepacks und Batteriemanagementsysteme inklusive deren Recycling in Deutschland ein sehr wichtiges Thema, auch im Rahmen des Begleitforschungsauftrags ELEKTRO POWER II.

Die Thematik der Batteriezellproduktion wird in Deutschland kontrovers diskutiert. Verschiedene Fragestellungen sind hierbei zentral:

- **Brauchen wir eine Zellproduktion in Deutschland?** Während die Produktion von Lithium-Ionen-Akkupacks in Deutschland und Europa nach wie vor erfolgt, werden die Batteriezellen ausschließlich eingekauft, in erster Linie aus Asien. Aus wirtschaftspolitischer Sicht erscheint es für den Standort Deutschland erforderlich, dass auch in Deutschland Batteriezellen produziert werden, um erstens Wertschöpfungsanteile und damit Arbeitsplätze an dieser Zukunftstechnologie in Deutschland zu halten, und um zweitens strategische Lieferabhängigkeiten von asiatischen Herstellern zu vermeiden oder mindestens zu verringern. Diese standortbezogene, wirtschaftspolitische Schlussfolgerung muss sich jedoch nicht unbedingt mit privatwirtschaftlichen Rentabilitätsbetrachtungen der Industrie decken. Die heimische (Automobil-)industrie hält sich nach wie vor mit Investitionen in die Zellproduktion zurück.
- **Batteriezellen: Commodity oder Alleinstellungsmerkmal?** Hierfür werden verschiedene Argumente ins Feld geführt. Einige Industrievertreter erwarten, dass die Batteriezelle kein wettbewerbsentscheidendes Element eines E-Fahrzeugs sein wird, sondern eine sogenannte „Commodity“ (Standardware), die auf einem funktionierenden Markt jederzeit zu günstigsten Konditionen von verschiedenen Anbietern beschafft werden kann. Diese Einschätzung ist jedoch umstritten. Es wird auch die Meinung vertreten, dass eine eigene Batteriezellenproduktion entscheidend ist, um E-Fahrzeuge erfolgreich am Markt zu platzieren. Selbst wenn dies der Realität entspräche, wird doch die fehlende Wettbewerbsfähigkeit des Standorts Deutschland im Bereich der Zellproduktion als Grund für das Ausbleiben von Investitionen in eine deutsche Zellproduktion genannt. Dies wird nicht nur mit hohen Investitionskosten und vorhandenen Standortnachteilen, u.a. hohe Lohn- und Energiekosten, begründet, sondern insbesondere mit einem kaum mehr aufzuholenden Kompetenzvorsprung der asiatischen Hersteller in der industriellen Großproduktion der Zellen.
- **Zelltechnologie der Zukunft?** Bei der Beurteilung der Zukunftsperspektiven wird häufig diskutiert, welche Technologien sich in den nächsten Jahren gegenüber der aktuellen Lithium-Ionen-Technologie durchsetzen werden und ob im Rahmen eines Technologiesprungs Chancen bestehen, wieder eine wettbewerbsfähige Produktion von Batteriezellen

len in Deutschland zu etablieren. Erwartet werden nach der aktuellen Lithium-Ionen-Technologie (3. Generation) Solid-State-Batterien (4. Generation) und Lithium-Luft-Batterien (5. Generation) (Michaelis et al. 2016, S. 7). Auch hier fallen die Einschätzungen unterschiedlich aus, inwieweit eine Zellproduktion der 3. Generation notwendige Fertigungs- und Skalierungskompetenzen verschafft, um in die Produktion der nächsten Generationen wettbewerbsfähig einzusteigen.

3.3.2 Zentrale, aktuelle Entwicklungen in dem betrachteten Themenfeld

Auch im Jahr 2018 ist noch unklar, ob eine Batteriezellproduktion durch deutsche Akteure etabliert und der Wissens- und Erfahrungsvorsprung der asiatischen Hersteller in der Großserienproduktion kompensiert werden kann. Nach dem im Jahr 2015 eingestellten Versuch von Daimler und Evonik, in Kamenz eine Zellproduktion zu etablieren (Litarion), investiert Daimler weiter in diesen Standort, jedoch nur in die Produktion von Batteriepacks bei Zukauf der Zellen (Accumotive).

Volkswagen zeigt mit seinem Center of Excellence für Batteriezellproduktion in Salzgitter inklusive Pilotanlage zwar ein Engagement diesbezüglich, ob aber tatsächlich eine Großserienfertigung erfolgen wird, ist fraglich. Während der Betriebsrat eine solche Produktion nicht ausschließt, ist die Konzernleitung zum Zeitpunkt der Berichtslegung offensichtlich der Meinung, dass die Zellfertigung nicht zum Kernkompetenzbereich des Unternehmens gehört (dpa 2018).

Bosch hat zu Beginn des Jahres 2018 verkündet, aufgrund zu hoher Investitionskosten und eines zu hohen unternehmerischen Risikos keine weiteren Pläne für eine Batteriezellfertigung zu verfolgen (Buchenau 2018).

Mit TerraE versucht eine Holding aus 17 Unternehmen und Forschungseinrichtungen eine Zellproduktion in Deutschland aufzubauen, wengleich aktuelle Entwicklungen zeigen, dass die Holding ihre Standortsuche auf Europa ausweitet. TerraE verfolgt ein sogenanntes Foundry-Modell, d. h. TerraE beabsichtigt die Fabriken für Dritte zu betreiben, die ihre Zellen dort gemäß ihrer individuellen Spezifikation fertigen lassen können (Frese 2018).

Mit dem nun öffentlich gewordenen Engagement des chinesischen Marktführers CATL (Contemporary Amperex Technology

Co) in Thüringen erhält die Diskussion um die Batteriezellproduktion in Deutschland insofern eine neue Dynamik, als dass der Industriestandort offensichtlich von CATL als wettbewerbsfähig eingeschätzt wird. CATL investiert einen dreistelligen Millionenbetrag für eine Zellproduktion in der Nähe von Erfurt und hat langfristige Lieferverträge mit BMW abgeschlossen. Die zentrale Lage und Nähe zu Standorten von VW (Wolfsburg), BMW (Dingolfing) und Daimler (Kamenz) sprachen für diese Lage ebenso wie das verfügbare Fachkräfteangebot (Theile 2018).

Die deutsche Forschungslandschaft hat – nicht zuletzt durch öffentliche Forschungsförderung verschiedener Bundesministerien – eine hohe Kompetenz im Bereich der Batterie(zell)produktion. Als wichtiges, aktuelles Projekt im vorwettbewerblichen Bereich ist z. B. das Projekt Fab4Lib zu nennen. Unter der Leitung der TerraE Holding GmbH erforschen 19 Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft innovative Lösungen entlang der „Wertschöpfungskette Lithium-Ionen-Technologie“ und validieren diese in Demonstratoren. Ziel des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit 5,5 Millionen Euro geförderten Projektes ist der Aufbau einer Großserienfertigung für Lithium-Ionen-Batteriezellen mit einer Produktionskapazität von sechs GWh pro Jahr (Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF] 2018).

Das BMBF verfolgt zudem ein Konzept für eine „Forschungsfabrik Zellfertigung“. Im Rahmen dieser Forschungsfabrik sollen Kompetenzen zur industriellen Zellherstellung entwickelt und eine entsprechende Hochskalierung demonstriert werden. Zunächst für Zellen mit flüssigen Elektrolyten konzipiert, soll im weiteren Verlauf auch die Produktion von Festkörperzellen umgesetzt werden (Schütte 2018).

Neben den hier genannten großen und wichtigen Projekten existiert eine Vielzahl weiterer FuE-Fördermaßnahmen des BMBF sowie anderer Ministerien, so dass die Kompetenzen für eine Zellfertigung in der deutschen Industrie grundsätzlich sowohl in der Automobilindustrie als auch im deutschen Maschinen- und Anlagenbau, der in die Errichtung von Produktionsanlagen zur Batteriezellfertigung in diversen Regionen der Welt involviert ist, vorhanden sind.

Ziel dieser Maßnahmen ist die Unterstützung der deutschen Industrie bei ihren Bemühungen zur Etablierung einer großskaligen Batteriezellproduktion in Deutschland. Denn trotz der

gemeinsamen Bemühungen von Wissenschaft, Industrie und Politik sind für eine wettbewerbsfähige industrielle Produktion von Batteriezellen große technische Herausforderungen zu

meistern, die insbesondere in der Hochskalierung der Produktion (Automatisierung) bei gleichzeitiger Erhöhung der Prozessstabilität (Reduzierung Ausschussraten) zu sehen ist.

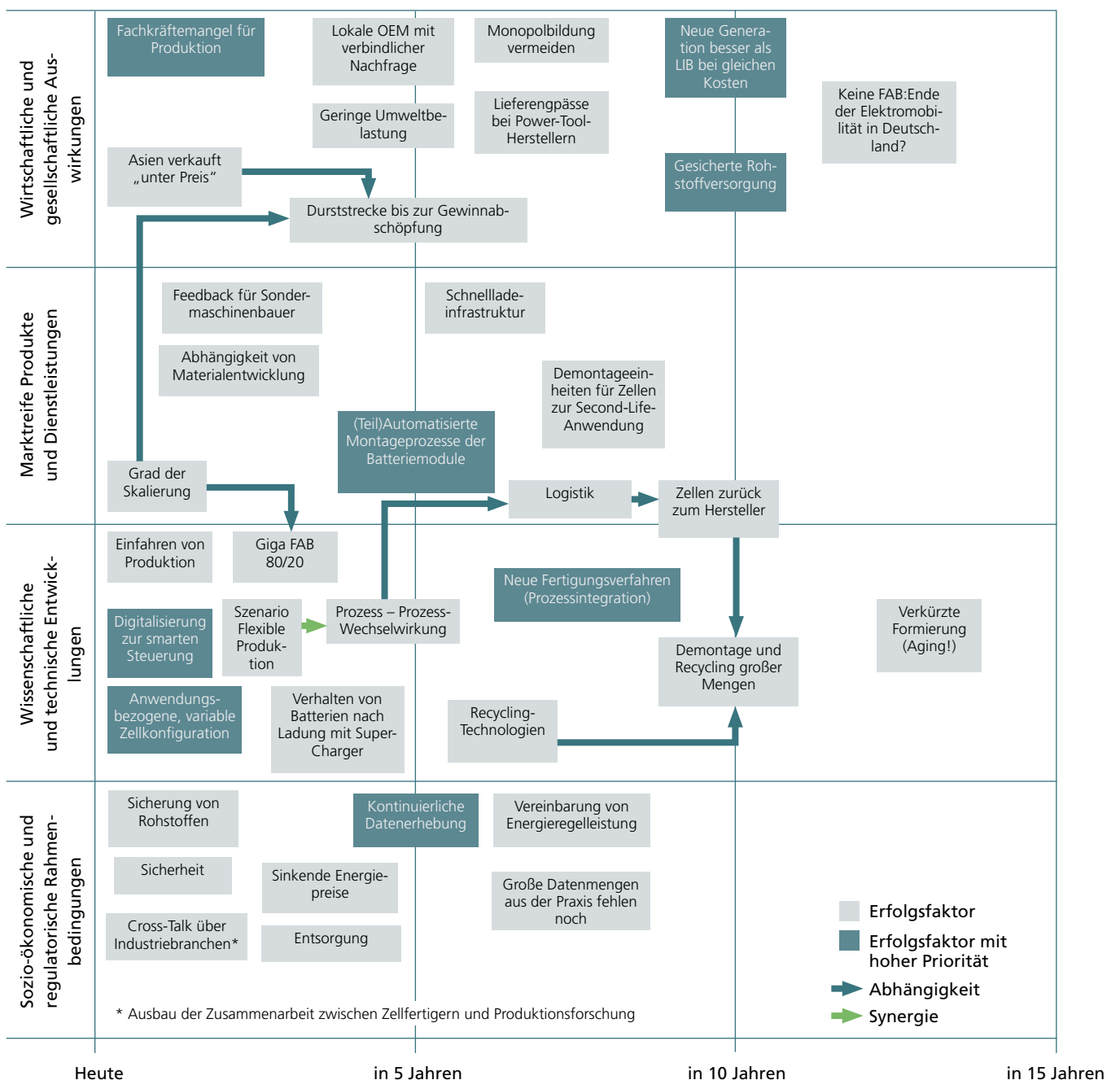
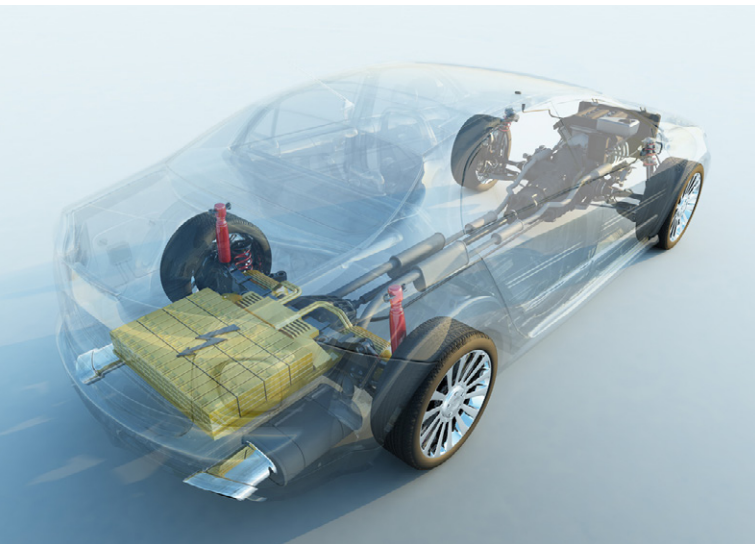


Abbildung 6: Roadmap der Erfolgsfaktoren und Meilensteine für die Produktion von Batteriezellen



Insbesondere für die Auslegung und das Einfahren größerer Produktionsanlagen und die Skalierbarkeit auf große Ausbringungsmengen sind Prozesstechnologien notwendig, die heute noch in der Entwicklung sind. Der deutsche Maschinen- und Anlagenbau kann hier grundsätzlich auf erfolgreiche Konzepte aus anderen Branchen zurückgreifen. Die speziellen Herausforderungen einer hochskalierten Batteriezellfertigung sind jedoch noch weitgehend unbekannt.

Positiv wurde in dem von der Begleit- und Wirkungsforschung durchgeführten Fachdialog bewertet, dass auch in der Automobilindustrie Szenarien zur flexiblen Produktion bereits in der Erprobung sind und diese auf Konzepte zur anwendungsbezogenen, variablen Zellkonfiguration anwendbar sein sollten. Nach Einschätzung der Teilnehmenden am Fachdialog werden innerhalb der nächsten Dekade innovative Fertigungsverfahren industriell einsetzbar, die die Prozesse der Batteriezellfertigung hocheffizient und wettbewerbsfähig gestalten lassen. Die Roadmap in Abbildung 6 zeigt die identifizierten Erfolgsfaktoren zur Batteriezellfertigung. Diese Darstellung versteht sich als fachliche Ergänzung zu bereits umfassend publizierten Roadmaps, wie z. B. die im Oktober 2018 veröffentlichte „Roadmap Batterie-Produktionsmittel 2030“ des VDMA.

In dem Fachdialog wurden neben der Notwendigkeit innovativer Fertigungsverfahren weitere Erfolgsfaktoren für eine industrielle Batteriezellproduktion identifiziert. Hierbei wurde auch auf die Notwendigkeit einer ausreichenden Anzahl von Fach-

kräften, der Entwicklung neuer Zellgenerationen sowie variabler Zellkonfigurationen hingewiesen. Als weiterer wesentlicher Punkt wurde die Absicherung der Rohstoffversorgung als eine wichtige Randbedingung für eine mögliche Produktion von Batteriezellen in Deutschland genannt. Die Versorgung mit den Basismaterialien wurde als bedeutend eingeschätzt. Die Liefersituation erscheint jedoch in der mittelfristigen Perspektive noch grundsätzlich abgesichert zu sein.

3.3.3 Beitrag der jeweiligen geförderten Projekte zu diesem Themenfeld

In Ergänzung zu den genannten Projekten, die explizit Forschung und Entwicklung im Bereich der Zellfertigung unterstützen, adressieren ELEKTRO-POWER-II-Projekte bestimmte Teilaspekte in der Batterieproduktion (Abbildung 2). Das Konsortium des Projekts FlexJoin erprobte eine neuartige Kontaktierungsmethode zur Verschaltung der Batterie. Die Bändchen, die die einzelnen Zellen zu einer Batterie verbinden, werden per Laserstrahl aufgeschweißt. Der Laser-basierte Bondkopf wird durch eine Software gesteuert, sodass die Hersteller die Zellen ganz nach ihrem Bedarf miteinander verknüpfen können. Mit diesem hochflexiblen Fertigungsverfahren, das für die Produktion jedes Batterietyps geeignet ist, können die Kosten gesenkt werden und die Herstellung der Batterie wird wirtschaftlicher. Die Anlage ist mittlerweile am Markt verfügbar und kann von und in der Industrie eingesetzt werden.

Im Projekt InnoDeliBatt erprobte ein Konsortium aus mittelständischen Unternehmen Möglichkeiten zur Produktion demontagegerechter Batterien und Batteriepacks. Dies wurde dadurch erreicht, dass mittels einer auf Funk basierenden Zellsensorik der Zustand von Lithium-Ionen-Zellen über den gesamten Lebenszyklus hinweg analysiert und ausgewertet werden kann. Zudem wurden Stromverbindungen zwischen Zellen und Zellpacks so gestaltet, dass sie ohne Beschädigung von Zellen aufgetrennt und wiederholt kontaktiert werden können. Ebenso wurde ein demontagegeeignetes Konzept für ein Modulgehäuse entwickelt. Die Forschungsergebnisse fließen in die Erstellung eines Batterie-Prototyps ein, der dann auf Demontagefähigkeit geprüft wird.

Beide Projekte adressieren damit Themenfelder, die Expertinnen und Experten als zentrale Handlungsfelder für eine industrielle Großserienproduktion von Batteriezellen sehen (Michaelis et al. 2016).

3.3.4 Internationale Betrachtung

Die EU-Kommission vereint in der „European Battery Alliance“ nationale, industriepolitische Initiativen und ist dabei auf regionale Strategieansätze angewiesen.

- Im Oktober 2017 lud die Kommission Automobilhersteller, Chemieunternehmen und weitere Industrievertreter zu einem Batteriegipfel nach Brüssel ein mit dem Ziel, die Möglichkeiten einer Zellproduktion durch ein europäisches Konsortium (ggfs. vergleichbar zu Airbus im Flugzeugbau) in Europa auszuloten.
- Im Februar 2018 gab es ein „2nd high level meeting“ zu diesem Thema, in dem die Kommission ihre Handlungsabsichten zur Unterstützung einer europäischen Batteriezellproduktion dargelegt hat (u. a. 9. Forschungsrahmenprogramm, IPCEIs⁴).

Gleichzeitig ist zu beobachten, dass etablierte Zellhersteller sich mit einem Standort im europäischen Markt positionieren wollen. Neben schon erfolgten Investitionen in Polen (Breslau/LG Chem) und Ungarn (Göd/Samsung) engagiert sich der chinesische Hersteller CATL nun in Thüringen (siehe oben). Weitere Aktivitäten umfassen Anstrengungen der Firma Northvolt, in Schweden eine Zellproduktion aufzubauen sowie des französischen Batterieherstellers SAFT.

3.3.5 Fazit

Der Aufbau einer Zellproduktion der deutschen Industrie in Deutschland ist nach wie vor anzustreben; der Koalitionsvertrag der aktuellen Regierung benennt dies als ein wesentliches industriepolitisches Ziel. Prognosen zum Bedarf von Batteriezellen sehen einen steigenden Bedarf, der mit den aktuell verfügbaren Produktionskapazitäten, die sich vor allem in Asien befinden, nicht mehr gedeckt werden kann. Es ist zu befürchten, dass bei Produktionsengpässen vor allem die asiatischen Heimatmärkte bedient werden. Ohne eine eigene Batteriezellproduktion besteht deshalb die Gefahr, dass die deutsche Automobilindustrie zukünftig aufgrund von Lieferabhängigkeiten bei der Batteriezellbeschaffung ggfs. von Lieferengpässen oder steigenden Preisen betroffen sein könnte.

Die Tatsache, dass mit CATL ein chinesisches Unternehmen in Deutschland eine Batteriezellfertigung etablieren möchte,

bedeutet aus einer industrie- und standortpolitischen Sicht natürlich nicht, dass ein Engagement deutscher Akteure nun obsolet wäre. Das Gegenteil ist der Fall: Die deutsche Industrie sollte ihre Produktionsexpertise einbringen und in eine skalierbare Fertigungslinie überführen.

Bei einem abgesicherten Zukunftsszenario, als umfassendes Ökosystem einer Batteriezellfertigung in Deutschland, müssen die Versorgung mit den notwendigen Rohstoffen und das Recycling von ausgedienten Batterien ebenso mitgedacht werden wie der Bedarf an Batteriezellen für nicht-mobile Anwendungen (z. B. stationäre Speicher/Smart Grids, industrielle Anwendungen etc.).

Neben den schon angesprochenen notwendigen umfangreichen Finanzmitteln (öffentlich und privat) ist die Bündelung von Prozess- und Produktionsinnovationen für Lithium-Ionen-Zellen und perspektivisch für die Produktion der übernächsten Generation erforderlich.

Neben der vorhandenen umfangreichen FuE-Förderung erscheint eine staatliche Unterstützung konkret für den Aufbau einer Zellproduktion in Deutschland/Europa weiterhin wichtig, um den positiven gesamtwirtschaftlichen Standorteffekten einer Batteriezellproduktion in Deutschland/Europa Rechnung zu tragen und das unternehmerische Risiko des Investments zu reduzieren. Aber auch das Engagement der deutschen Industrie ist gefragt.

Wie auf den vorangegangenen Seiten berichtet, formieren sich verschiedene Initiativen. Es konnte jedoch noch kein Durchbruch erzielt werden, so dass aktuell kein konkretes Umsetzungsprojekt für eine industrielle Batteriezellproduktion in Deutschland existiert. Da mit der Elektromobilität notwendige Kompetenzen, Wertschöpfungsketten und strategische Austauschbeziehungen neu definiert werden, stellt eine Investition in eine Batteriezellproduktion für alle beteiligten Akteure aufgrund der damit verbundenen Unsicherheit eine große Herausforderung dar. Diese sollte zügig angegangen werden, z. B. indem die notwendigen Kompetenzen im Rahmen eines Cluster-Ansatzes gebündelt werden.

4 IPCEI = Important Projects of Common European Interest (wichtiges Vorhaben von gemeinsamem europäischen Interesse)

4 INDUKTIVE LADESYSTEME IM ÖFFENTLICH ZUGÄNGLICHEN RAUM

Nachhaltig überzeugen wird die Elektromobilität dann, wenn lange Reichweiten und komfortable Ladeabläufe möglich werden. Das induktive Laden als Schwerpunkt der Fördermaßnahme hat auch direkte Interdependenzen mit der Energiewirtschaft: „Die erfolgreiche Integration der E-Fahrzeuge in die Energiewirtschaft macht es erforderlich, dass möglichst viele E-Fahrzeuge im Einsatz sind und durch einfach handhabbare Lösungen möglichst oft mit dem Stromnetz verbunden sind. Dazu sind komfortable Lademöglichkeiten, wie z. B. das induktive Laden, besonders gut geeignet. Beim induktiven Laden kommt der Tankvorgang weitgehend ohne manuelle Schritte, wie das Handling von Kabeln, aus. Erste technische Lösungen sind bereits für den Heimgebrauch verfügbar und werden zunehmend auch im öffentlich zugänglichen Raum eingesetzt. Für den Busbereich sind sogar sehr hohe Ladeleistungen realisiert worden. Herausforderungen bestehen aber noch darin, hohe Ladeleistungen im PKW-Bereich für Ladevorgänge im öffentlich zugänglichen Raum zu ermöglichen, die sicher für Mensch und Umwelt sind. Für aktuelle und zukünftige Lösungen gilt es, diese sowohl infrastruktur- als auch fahrzeugseitig besser zu integrieren und die Energieeffizienz für alle Varianten des induktiven Ladens zu erhöhen. Der Normungs- und Standardisierungsprozess muss kontinuierlich vorangetrieben werden, wobei internationale Märkte und Marktteilnehmer berücksichtigt werden sollten“ (BMW 2015).

4.1 Kurzvorstellung des Themenfeldes und Bezug zu ELEKTRO POWER II

Für das Laden im öffentlich zugänglichen Raum kommen alle Formen der Ladeinfrastruktur in Frage. Das kabellose Laden ist dabei noch nicht so weit entwickelt wie das konduktive Laden und wird daher in diesem Innovationsbericht vertieft betrachtet. Dieses Kapitel geht gezielt auf induktive Ladesysteme⁵ und hierbei insbesondere auf die Integration der Ladetechnologie im öffentlich zugänglichen Raum ein, denn hier besteht konkreter, rahmengebender Handlungsbedarf. Im Weißbuch zum Verkehr der EU-Kommission ist es u. a. formuliertes Ziel, bis 2050 auf Fahrzeuge mit konventionellem Kraftstoff im Stadtverkehr vollständig zu verzichten, in der Stadtlogistik in größeren Städten sogar bereits bis 2030 (Europäische Kommission 2011).

Folglich bedarf es einer komplett neuen Strukturierung des städtischen Verkehrssystems, in dem die Elektromobilität neben der Stärkung des Fuß- und Radverkehrs, des ÖPNV, multimodaler Angebote und Sharing-Konzepten eine tragende Säule darstellt. An die Stelle von konventionellen Tankstellen werden dezentrale Ladesysteme sowohl im privaten als auch halböffentlichen und öffentlichen Raum treten.

In den Städten ist der öffentliche Raum ein kostbares Gut, an dessen Nutzung hohe Anforderungen gestellt werden und an dem ein hohes Interesse für unterschiedliche Nutzungszwecke besteht. Es konkurrieren Nutzungszwecke für den ruhenden und fließenden automobilen Verkehr mit Aufgaben zur Verbindung von Orten für alle Bewegungsarten, dem Aufenthalt und der Kommunikation, der Erholung und Gewährleistung der Frischluftzufuhr, der Ökologie und der Nutzung für Wohn- und Wirtschaftszwecke. Die Bereitstellung von Ladeinfrastruktur tritt hiernach verstärkt in den Wettbewerb zu den bereits bestehenden Nutzungszwecken des öffentlichen Raums.

In diesem Zusammenhang gewinnt das induktive Laden besondere Relevanz, denn mit wachsender Marktdurchdringung der Elektromobilität wächst auch die Nachfrage nach ausreichender Infrastruktur. Im urbanen Raum ist aufgrund der höheren Bevölkerungsdichte und der weitgehend geschlossenen baulichen Struktur mit einem geringeren Anteil an privaten Kfz-Stellplätzen die Notwendigkeit besonders ausgeprägt, im öffentlichen und halböffentlichen Raum Ladeinfrastruktur verstärkt auszubauen. Das induktive Laden bietet im Vergleich zum konduktiven Laden besondere Vorteile in Bezug auf Flexibilität, Raumnutzung, Ladekomfort und den Einsatz für netzdienliche Leistungen für das Stromnetz. Mit Unterstützung autonomer Fahrzeugführung für den Parkverkehr und einem induktiven Ladesystem ließen sich multimodale Verkehrskon-

5 Das „kabellose Laden“ ist ein Oberbegriff für das „induktive Laden“ und kann, neben dem induktiven Laden, auch das Laden mithilfe von Pantografen und Stromschienen bezeichnen. Die Nutzung des Begriffs „kabellos“ in diesem Kapitel bezieht sich spezifisch auf das induktive Laden.

zepte, die u. a. Sharing-Angebote und Rad- und Fußverkehr stärken würden, stadtplanerisch und für den Fahrzeugnutzer elegant und ohne Komfortverlust umsetzen. Beispielsweise könnten Parkplatzflächen im direkten Wohnumfeld in öffentlichen Raum umgewidmet werden, der für die Aufenthaltsqualität attraktiv gestaltet ist. Elektrofahrzeuge könnten autonom zu zentralen Parkflächen, die am Rand eines Quartiers oder Häuserblocks gelegen sind, geführt und dort geladen werden. Auch in vorhandenen Parkhäusern oder Parkflächen von Supermärkten oder Einkaufszentren, also im semi-öffentlichen Raum, könnten Elektrofahrzeuge automatisiert im Austausch induktiv geladen werden. Das induktive Laden ermöglicht folglich eine raumsparende Integration der Ladeinfrastruktur im öffentlichen und halböffentlichen Raum der Städte und kann eine erhöhte Auslastung der Ladeinfrastruktur erleichtern und gleichzeitig die Verbindungszeit mit dem Stromnetz erhöhen.

4.2 Operationalisierung des Themenfeldes

4.2.1 Technische Eingrenzung

Für das induktive Laden wird in der Regel eine Primärspule am oder im Boden angebracht, welche an das Energienetz angeschlossen ist. Eine Sekundärspule wird im Regelfall in den Fahrzeugunterboden integriert. Wird die Primärspule von elektrischem Strom durchflossen, baut sich ein magnetisches Feld auf. Dieses induziert einen Stromfluss in der Sekundärspule, der die Fahrzeugbatterie lädt. Die Energie wird über den Luftspalt übertragen.

Die Ladesysteme für das induktive Laden unterteilen sich in Systeme, die auf dem Boden befestigt werden oder ebenerdig in den Boden eingelassen sind; die Spuleneinheiten auf der Infrastrukturseite können beweglich oder nicht beweglich sein (Fockers 2017). Elektrofahrzeuge können induktiv wie konduktiv mit Leistungen bis 22 kW (Normalladen) oder ab 22 kW (Schnellladen) geladen werden. Eine Besonderheit des induktiven Ladens im Vergleich zum konduktiven Laden ist, dass man zusätzlich zum stationären Ladevorgang auch die Möglichkeit eines dynamischen Ladevorgangs hat, sogenanntes „Laden während der Fahrt“. Unter dem dynamischen induktiven Laden werden zwei technische Umsetzungen verstanden:

- a) „static inductive en-route charging“: Das Fahrzeug befindet sich während des Ladevorgangs kurzzeitig im Stillstand, ist aber grundsätzlich in Bewegung.
- b) „dynamic inductive en-route charging“: Das Fahrzeug ist kontinuierlich in Bewegung.

4.2.2 Förderpolitischer Hintergrund des induktiven Ladens

Im Regierungsprogramm Elektromobilität aus 2011 wurde festgehalten, dass die meisten Ladevorgänge langfristig zu Hause oder am Arbeitsplatz stattfinden werden. Man hat den Bedarf erkannt, das private Laden mit dem Laden an öffentlicher Ladeinfrastruktur zu ergänzen (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi] et al. 2011). Als künftige Maßnahmen der Bundesregierung wurden daher auch hier Vorhaben im Bereich Ladeinfrastruktur benannt. Dabei soll die Zukunftsfähigkeit der Ladeinfrastruktur durch Erforschung neuer Technologien rund um das induktive und das Schnellladen sichergestellt werden, denn „Ziel der Bundesregierung ist eine bedarfsgerechte, kunden- und wettbewerbsfreundliche, diskriminierungs- und barrierefreie öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur“ (ebd., S. 38).

Wie bereits dargestellt, wird die Forschungsförderung im Bereich Ladeinfrastruktur seit 2009 betrieben. Der förderpolitische Rahmen für das induktive Laden im öffentlich zugänglichen Raum entwickelte sich ab 2012. Erste Projekte zum Themenfeld „Induktive Ladesysteme“ wurden von der Bundesregierung u. a. in dem Förderprogramm Schaufenster Elektromobilität gefördert. Dabei wurde beispielsweise das kabellose Laden von Bussen und Taxis in Braunschweig und Berlin erforscht (Schaufenster Elektromobilität 2014). Das ELEKTRO-POWER-I-Projekt EmoNorm (BMWi) zog den Schluss, dass die Normung und Standardisierung des induktiven Ladens durch weitere Zusammenarbeit der Projektpartner in den Mittelpunkt gerückt werden soll (Schmieder 2016). Neben den Schaufenstern Elektromobilität beschäftigten sich verschiedene Förderinitiativen in der Vergangenheit mit dem kabellosen Laden, beispielweise Erneuerbar mobil (BMU) mit dem Projekt InterOp oder das Spitzencluster Elektromobilität Süd-West (BMBF) mit dem Projekt BiPolPlus (Erneuerbar Mobil 2016; Cluster Leistungselektronik 2018).

4.2.3 Forschungsförderung im Bereich Induktives Laden im Rahmen von ELEKTRO POWER II

Im März 2015 veröffentlichte das BMWi die Förderbekanntmachung „Elektromobilität – Positionierung der Wertschöpfungskette (ELEKTRO POWER II)“ und beschreibt dort industriepolitische Herausforderungen für die Entwicklung Deutschlands zum Leitanbieter und Leitmarkt für Elektromobilität. Diese sollen von den geförderten Projekten adressiert werden. Mit ELEKTRO POWER II fördert das BMWi insbesondere die Technologieentwicklung in der Elektromobilität. Hierzu gehören sowohl fahrzeugseitige Entwicklungen als auch Ladetechnologien. Das Themenfeld „Induktive Ladesysteme“ behandelt dabei u. a. das einfach handhabbare Laden von Strom (wobei das induktive Laden als eine Art des einfachen Ladens gilt), technische Lösungen für das induktive Laden im öffentlich zugänglichen Raum und hohe Ladeleistungen beim Induktivladen.

Die konkreten Förderziele im Themenfeld „Induktive Ladesysteme“ im öffentlich zugänglichen Raum sind zu diesem Zeitpunkt wie folgt definiert worden:

- Der rechtliche Anpassungsbedarf, vor allem im Energiewirtschaftsrecht, bei der Integration von Elektromobilität in den Strommarkt, soll identifiziert werden.
- Technologische Lösungen zum induktiven Laden sollen weiter entwickelt werden mit Rücksicht auf Sicherheit, Umweltverträglichkeit und Energieeffizienz.
- Normungs- und Standardisierungsprozesse zum induktiven Laden sollen national und international vorangebracht werden.

Die Projekte in ELEKTRO POWER II haben durch die Bearbeitung dieser Herausforderungen wesentlich zu einem Fortschritt induktiver Ladesysteme sowie zum Erreichen der Förderziele beigetragen.

4.2.4 Aktuelle und zukünftige Forschungsförderung im Bereich Induktives Laden im Rahmen des „Sofortprogramms Saubere Luft 2017 – 2020“

Schon vor Ablauf des Förderprogramms ELEKTRO POWER II veröffentlichte das BMWi gemeinsam mit dem BMUB weitere Fördermöglichkeiten für die Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum. In der in Kapitel 2 bereits erwähnten „Richtlinie zu einer gemeinsamen Initiative zur Förderung von Forschung und

Entwicklung im Bereich der Elektromobilität“ werden unter Punkt 2.3 die Grundlagen für den Förderaufruf „Errichtung von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge im engen Zusammenhang mit dem Abbau bestehender Netzhemmnisse sowie dem Aufbau von Low-Cost-Infrastruktur und Mobile Metering-Ladepunkten“ (BMWi) genannt.

Diese Förderrichtlinie ist Teil des „Sofortprogramms Saubere Luft“, welches mithilfe unterschiedlicher Förderrichtlinien des Bundes insgesamt eine Milliarde Euro für Maßnahmen für bessere Luft in Städten zur Verfügung stellt. Im Rahmen des „Sofortprogramms Saubere Luft“ fokussiert sich das BMWi auf die Förderung von Ladeinfrastruktur im Zusammenhang mit dem netzdienlichen Einsatz für das Stromnetz und der Integration auf kommunaler Ebene. Ziel des Sofortprogramms sind Maßnahmen mit kurzfristiger Wirksamkeit. Folglich liegt der Fokus auf technisch weit entwickelten konduktiven Lösungen intelligenter Low-Cost-Ladesysteme. Dabei handelt es sich um Ladeinfrastruktur, bei der die Stromzählung und Abrechnung im Auto oder Ladekabel erfolgt (Mobile Metering) und die schnell und günstig in Parkhäusern, Tiefgaragen oder anderen Parkflächen angebracht werden kann (Low Cost). Die Förderung soll u. a. die Wettbewerbsposition deutscher Industriebranchen

Infobox 1: Das induktive Laden in der Richtlinie zu einer gemeinsamen Initiative zur Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität

Richtlinie, Punkt 2.3, Abschnitt F:

„[Gegenstand der Förderung ist die] Entwicklung und Erprobung von Verfahren zum kontaktlosen Laden, auch mit Leistungen über 3,6 kW (gegebenenfalls unter Berücksichtigung von V2G-Applikationen). Dabei muss ein Wirkungsgrad bei der Energieübertragung von mindestens 90 Prozent gewährleistet sein. Die Entwicklungsergebnisse sind in belastbaren Flottenversuchen zu erproben, die auch Fragen der Interoperabilität von Systemen unterschiedlicher Hersteller und die entsprechende Standardisierung und Normung berücksichtigen (inklusive der entsprechenden Testverfahren). In diesem Zusammenhang kann auch das autonome Anfahren von induktiven Ladepunkten untersucht werden.“

in der Elektromobilität stärken. Hier wird insbesondere unter Punkt 2.3 Abschnitt F (Infobox 1) das Themenfeld „Induktive Ladesysteme“ vorangetrieben. Nach der Förderrichtlinie sollen Verfahren entwickelt werden, die Komfort, Verfügbarkeit und Auslastung von Ladeinfrastruktur verbessern, wobei der Fokus auf die Umsetzung und den Endanwendungsbezug gerichtet ist. Es ist vorgesehen, dass die wissenschaftliche Begleitung insbesondere auf Fragen zur Steigerung des Ladekomforts, der Verfügbarkeit und Auslastung der Infrastruktur Antworten bietet.

4.3 Entwicklungen auf nationaler und internationaler Ebene

In diesem Unterkapitel werden aktuelle Entwicklungen aus Forschung, Entwicklung und Industrie, aber auch der aktuelle Stand zu Normungs-, Standardisierungs- und Rechtsfragen im Bereich induktives Laden zusammengetragen und dargestellt.

4.3.1 Induktive Ladeinfrastruktur im öffentlich zugänglichen Raum

Die Zahl der Elektrofahrzeuge steigt kontinuierlich. In Deutschland vergrößerte sich der Bestand der Elektro-Pkw innerhalb eines Jahres um 58,3 Prozent auf 53.861 (Stand 01.01.2018) (Kraftfahrt-Bundesamt 2018). Mit steigender Zahl von Elektrofahrzeugen wird auch mehr Ladeinfrastruktur nötig. Dies bedeutet eine Verdopplung der E-Fahrzeuge zum Stand 2016.

Laut den Erkenntnissen des Projekts Laden 2020 in ELEKTRO POWER II sollte der Ausbau der Ladeinfrastruktur nicht hinter der steigenden Anzahl der E-Fahrzeuge zurückbleiben, sondern fortschreitend und zukunftsorientiert erfolgen (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt [DLR] und Karlsruher Institut für Technologie [KIT] 2016, S. 41) Je nach prognostizierter Zusammensetzung der deutschlandweiten E-Fahrzeug-Flotte und dem Ladeverhalten der E-Fahrzeugfahrer variiert die benötigte Anzahl von öffentlich zugänglichen Ladepunkten stark (ebd., S. 24). Laut Bundesnetzagentur gibt es in Deutschland bereits über 8.000 öffentlich zugängliche Normalladepunkte und 1.274 Schnellladepunkte (Bundesregierung 2018). Dabei handelt es sich um konduktive Ladeinfrastruktur.

Bisher wurden induktive Ladesysteme in Deutschland und Europa für unterschiedliche Fahrzeugtypen (z. B. Pkw und Bus) hauptsächlich in geförderten Projekten und in der Intralogistik

eingesetzt. In Deutschland wurden in Braunschweig, Mannheim und Berlin induktive Ladesysteme für Busse erprobt (Verweisquelle). Es gibt mittlerweile diverse Anbieter für induktive Ladesysteme. Sie unterscheiden sich in Systemhersteller für Pkw und Busse, wie Bombardier (Primove) oder Conductix-Wampfler, und Hersteller mit Fokus auf den Industriemarkt wie SEW Eurodrive und Vahle. Weitere Anbieter und Lieferanten sind u. a.: Qualcomm, Witricity, HEVA, Momentum Dynamics. Es hat sich bisher noch nicht durchgesetzt, dass fahrzeugseitige induktive Ladeinfrastruktur (Sekundärspule) an den Fahrzeugen serienmäßig von den Fahrzeugherstellern verbaut wird. Die Firma Plugless (Evatran Group) entwickelte ein Gesamtsystem, bei welchem nicht nur die Primärspule bereitgestellt wird, sondern die Sekundärspule in Form eines Adapters an das Auto angebracht wird (Guy 2012; Plugless 2018). Private Pkw können mithilfe dieser Adapter seit geraumer Zeit für das induktive Laden nachgerüstet werden.

Induktive Ladeinfrastruktur ist in der Produktion und Logistik für die Beladung von fahrerlosen Transportfahrzeugen und anderen Anwendungen serienmäßig seit Jahren in Betrieb. Im Einsatz für Elektrofahrzeuge ist die Anzahl von induktiver Ladeinfrastruktur – wie oben beschrieben – derzeit auf die in Forschungs- und Demonstrationsprojekten verbaute solitäre Ladeinfrastruktur und private Nachrüstungen begrenzt, auch wenn das Induktivladen die zukunftsweisende Technologie darstellt.



Abbildung 7: Induktives Ladesystem eines Elektrobusse, hier beispielhaft ein Bus der Braunschweiger Verkehrs-GmbH.

Abbildung 7 zeigt die Unterseite eines Elektrobusses, an welchem fahrzeugseitig ein Aufnahme-pad montiert ist. Das Aufnahme-pad senkt sich zum induktiven Laden über die infrastrukturseitige Ladeplatte, welche versteckt ebenerdig verbaut ist.

4.3.2 Induktives Laden von Leichtfahrzeugen

Das induktive Laden von Pkw mittels eines zusätzlich beschafften Adapters ist seit geraumer Zeit möglich (mit einem Plugless Adapter z. B. für Chevrolet Volt, Nissan LEAF and Tesla Model S). Eine serienmäßige Ausstattung von Pkw mit einer induktiven Ladelösung gab es bis Juli 2018 nicht. Die Fahrzeughersteller warteten die Standardisierungsarbeit ab. BMW verbaut seit Juli 2018 induktive Ladesysteme in Serienfahrzeuge (BMW Wireless Charging) und stellt dabei ein Gesamtsystem zur Verfügung bestehend aus Primär- und Sekundärspule, welches einen Wirkungsgrad von 85 Prozent hat (Schwarzer 2018). Dabei handelt es sich um eine Leasing-Sonderausstattung für den BMW 530e iPerformance, bei welchem auf Wunsch die Sekundärspule direkt ab Werk in das Fahrzeug verbaut werden kann (Dilk 2018).

2018 soll das erste reine Elektrofahrzeug von Audi auf den Markt kommen (e-tron) (Bönnighausen 2018a). Für ausgewählte e-tron Modelle soll es laut Audi in der Zukunft die Möglichkeit geben, induktiv mit dem Audi Wireless Charging zu laden. Auch hierbei handelt es sich um ein Gesamtsystem, bei welchem die Sekundärspule als optionale Ausstattung ab Werk gekauft werden kann. Im Gegensatz zu BMW Wireless Charging hebt sich bei dem Ladesystem von Audi infrastrukturseitig die Primärspule an und verringert den Luftspalt zwischen den beiden Spulen (Audi AG). Auch der Porsche Mission E soll ab 2020 in Serie verkauft werden und induktiv laden können (Wittich, Baumann, Lang, Sommer, 2018). Daimler plante für den Mercedes-Benz S 500 e eine kabellose Ladelösung, welche für 2017 angekündigt war (Daimler AG 2018). Bisher wurde das Modell noch nicht mit einer induktiven Lademöglichkeit auf den Markt eingeführt.

Bei diesen ersten serienmäßigen Systemen zum Induktivladen handelt es sich um proprietäre Lösungen, bei denen mit Sekundärspulen versehene Fahrzeuge nicht auf markenfremden Ladeplatten laden können. Um ein herstellerunabhängiges induktives Laden zu ermöglichen, wird derzeit mithilfe von Standardisierungsarbeiten an der technischen Interoperabilität von induktiven Ladesystemen gearbeitet.

Die Sicherheitsfrage rund um Gegenstände, die während des Ladens in den Luftspalt zwischen die Spulen geraten können, haben BMW und Audi unterschiedlich gelöst. Das BMW-System hat eine integrierte Überwachung des Luftspalts zwischen den Spulen, mit welcher der Ladevorgang abgebrochen wird, sobald etwas zwischen die Spulen gerät (Huber, 2018). Das System von Audi minimiert den Abstand zwischen den beiden Spulen und verhindert so, dass Gegenstände oder Lebewesen in den Luftspalt geraten. Fragen zur Haftung für Unfälle während eines Induktivladevorgangs werden zurzeit weder für den Einsatz im Pkw-Bereich noch für Busse unter den Fachleuten diskutiert, was darauf hindeutet, dass die vorliegenden Sicherheitslösungen für zweckentsprechend gehalten werden bzw. der Tatbestand als in absehbarer Zeit ausreichend lösbar eingeschätzt wird.

Infobox 2: Vergleich der Wirkungsgrade des konduktiven und induktiven Ladens

Die Übertragungswirkungsgrade von induktiven Ladesystemen sind vergleichbar mit den Wirkungsgraden der konventionellen Ladesysteme. Wirkungsgrade beim induktiven Laden von über 90 Prozent bei Leistungen bis 22 kW sind möglich (Nolte, 2011; Reichert, 2014). Da mit steigendem Wirkungsgrad auch die Kosten für die Systeme überproportional ansteigen, muss ein System mit hohem Wirkungsgrad und geringeren Ladeverlusten aufgrund der hohen Herstellungskosten nicht das wirtschaftlichste System sein.

Einen direkten Vergleich der Wirkungsgrade von konventionellen und kontaktlosen Ladesystemen stellten Roman Bosshard und Johann W. Kolar 2016 auf. Bei den dort verglichenen Systemen ergaben sich folgende Wirkungsgrade:

	Konduktiv	Kontaktlos
Durchschnittlicher Wirkungsgrad	92,5 %	91,8 %
Wirkungsgradbereich	85–96 %	85–97 %

Tabelle 2: Vergleich der Wirkungsgrade beim konduktiven und induktiven Laden (eigene Abbildung nach Bosshard und Kolar, 2016)

4.3.3 Induktives Laden von mittelschweren und schweren Nutzfahrzeugen

Noch gibt es keine in Serie verbauten induktiven Ladesysteme für Busse. Frühe Lösungen wie in Neuseeland oder Turin sind Sonderlösungen gewesen (Schraven et al. 2010, S. 6). Zurzeit sind Vorserien bzw. Kleinserien verfügbar. Die Elektrobusse und das induktive Ladesystem kommen derzeit insbesondere in Förderprojekten zum Einsatz, in denen die Einbindung dieses Antriebs- und Ladesystems in das ÖPNV-Linienbetriebssystem erprobt werden. Beispielsweise fahren in Braunschweig Busse der Solaris Bus & Coach, welche mit einem induktiven Ladesystem von Bombardier ausgestattet sind. Auch Busse von BYD Auto sind in der Vergangenheit mit der Ladetechnik von Wireless Advanced Vehicle Electrification (WAVE) in Kalifornien zu Projektzwecken zum Induktivladen befähigt worden. Interessant sind auch die OLEV (On-Line Electric Vehicle) Busse mit kontaktloser Ladeinfrastruktur des Korean Advanced Institute of Science and Technology.

In Zukunft sollen diese Vorserien auch in die Serienproduktion überführt werden. Es bestehen Systeme, mit denen Busse bereits mit 200 kW induktiv schnellgeladen werden können (z. B. Primove von Bombardier in Braunschweig und Momentum Dynamics in den USA).

Beim Laden von Bussen kann man zwischen dem „Opportunity Charging“ und dem „Depotcharging“ unterscheiden. Bei dem Opportunity Charging werden die Busse beim Haltestopp geladen, während bei dem Depotcharging die Busse am Ende der Linienfahrt auf dem Betriebshof nachgeladen werden. Insbesondere für das Opportunity Charging bietet sich das induktive Laden an, weil sich der Ladeprozess nahtlos in den Arbeitsbetrieb der Busse integrieren lässt, durch eine Vielzahl von Lademöglichkeiten für die Busse eine kleinere Batterie ausreicht, die Flotten durch kürzere Ladezeiten auf dem Betriebshof reduziert und so im Ganzen Kosten eingespart werden können (Bosshard und Kolar 2016).

Bei dem induktiven Laden von Bussen gibt es unterschiedliche Erfahrungen. So läuft der Betrieb mehrerer Busse in Braunschweig weitestgehend problemlos (Neumann 2015). Währenddessen wird der Betrieb in Mannheim nach einem Modellversuch nicht weiter ausgebaut, da nach Aussage der Betreiber die Ladezeiten während der Stopps zu kurz für eine ausreichende Aufladung und die Anlagen für das induktive Laden zu aufwendig seien (Lang 2018). Eine Alternative zur

induktiven Ladung von Elektrobussen bietet die Ladung mithilfe von Panthografen, welche auch vollautomatisiert erfolgen kann und mit höheren Ladeleistungen als beim kontaktlosen Laden möglich ist.

4.3.4 Zukunftsthema: Dynamisches induktives Laden

Im Gegensatz zum stationären Induktivladen befindet sich die Entwicklung des dynamischen induktiven Ladens noch in einem frühen Entwicklungsstadium. Es sei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, dass unter dem Begriff des dynamischen induktiven Ladens zwei technische Umsetzungen des induktiven Ladens verstanden werden: das induktive Laden bei kurzzeitigem Stillstand während einer Fahrt (static inductive en-route charging) und das induktive Laden in kontinuierlicher Bewegung (dynamic inductive en-route charging). Das hauptsächliche Einsatzziel für diese Ladetechnologie wird darin gesehen, die Reichweite der Fahrzeuge zu erhöhen und so die Einsatzgebiete der Fahrzeuge erweitern oder die Batteriekapazität in den Fahrzeugen verringern zu können. Taxistände, Bushaltestellen oder Endhaltestellen, Ampeln, stauträchtige Kreuzungen, Bahnschranken, Straßenzüge mit hohem Aufkommen an ÖPNV-Bussen, Verteilerverkehr oder Lkws werden als Schlüsselpositionen angesehen, an denen diese Technologie erste Anwendung finden könnte (Löwer 2018).

Das dynamische induktive Laden wird seit circa 2014 beforscht. Der Schwerpunkt liegt auf der technischen Entwicklung und Erprobung. Letzteres erfolgt bisher auf Teststrecken zwischen 25 und 100 Metern sowohl unter Laborbedingungen als auch im realen Umfeld außerhalb des öffentlichen Straßenraums.

Die Firma INITS in Lathen betreibt z. B. eine 25 Meter lange Teststrecke unter Laborbedingungen und bietet Entwicklungsleistungen für externe Interessenten an. In realer Umgebung testete einer der führenden Akteure Qualcomm zusammen mit Renault 2017 nahe Paris das dynamische Laden auf einer 100 Meter langen Strecke. Verbaut wurden auf dieser Strecke 56 Spulenmodule. 20 kW Leistungsübertragung konnten erreicht werden. Zwei Fahrzeuge mit einem Abstand von 50 Metern konnten gleichzeitig bei einer maximalen Geschwindigkeit von 120 Kilometern pro Stunde geladen werden. Diese Technologie wurde auch auf der IAA 2017 in Frankfurt präsentiert.

In der Praxis wird davon ausgegangen, dass das dynamische induktive Laden in 10 bis 15 Jahren in die Umsetzung gehen kann (Broich 2017). Es heißt aber auch, dass diese Technologie nicht benötigt werden würde, sofern sich statt der Lithium-Ionen-Akkus Feststoff-Akkus, die wesentlich schneller geladen werden können, durchsetzen würden (Broich 2017).

Weiter wurden Tests durch das Fraunhofer IFAM in Lathen im Emsland, durch Bombardier Primove mit einem Lkw von Scania auf einem Testgelände in Mannheim, aber auch in Frankreich, den Niederlanden, Schweden, China und Israel durchgeführt. So testete Bombardier 2016 erfolgreich das dynamische induktive Laden von Lkw (Scania) bei einer Fahrgeschwindigkeit von bis zu 70 Kilometer pro Stunde auf einer Teststrecke in Mannheim (LOGISTRA-Redaktion 2016). In Israel erforscht das Unternehmen ElectReon (früher ELECTRIC ROAD LTD) das dynamische kabellose Laden von elektrischen Fahrzeugen. ElectReon setzt dabei auf einen Ladestreifen, welcher in die Straßen zu verbauen sein wird. Die zu ladenden Busse kommen dabei ohne Batterien aus, sodass diese leichter und energiesparender sind (ElectReon 2018a; Werwitzke 2018d, 2018d).

Nach Aussage der infrastrukturseitigen Akteure werden die Entwicklungen derzeit dadurch gebremst, dass es auf dem Markt noch keine Elektrofahrzeuge gibt, die das dynamische induktive Laden unterstützen (Franzke 2018). Fahrzeugseitig nehmen die Hersteller BMW, Volvo und Mercedes Benz eine Vorreiterrolle ein, konkrete Modelle wie den BMW i3 oder den Volvo C30 mit der induktiven Ladetechnologie zu entwickeln.

Ferner sind auf europäischer Ebene im Rahmen von Horizont 2020 drei Projekte hervorzuheben, die sich u. a. auch mit dem dynamischen induktiven Laden befassen: UNPLUGGED (Wireless charging for Electric Vehicles), FABRIC (FeASibility analysis and development of on-Road charging solutions for future electric vehicles) und ASSURED (Fast and Smart charging solutions for full size Urban Heavy Duty applications). In dem Projekt UNPLUGGED werden gezielt für den urbanen Raum potenzielle Einsatzfelder für das induktive Laden untersucht (EU Projekt unplugged 2018). In FABRIC wurde zwischen 2014 und 2017 in drei Testfeldern in Frankreich, Italien und Schweden über ein breites Spektrum an Einsatzszenarien das dynamische induktive Laden zum Betrieb, zur Sicherheit und Effizienz getestet (EU Projekt unplugged 2018). Das 2017 gestartete Projekt ASSURED (Laufzeit bis 2021) hat sich zum

Ziel gesetzt, den gewerblichen Verkehr zu elektrifizieren. Das Projekt befasst sich beispielsweise mit dem dynamischen induktiven Laden von kleinen Nutzfahrzeugen mit 100 kW Ladeleistung (ASSURED Project 2017). Konkrete Testfelder mit Bussen, Müllfahrzeugen, Liefer-Lkw und Verteilfahrzeugen in Verbindung mit automatisierten Schnellladesystemen (bis 100 Kilowatt) werden hier aufgebaut. Eines der Anwendungsfelder wird ein Test mit neun Fahrzeugen des Verteilverkehrs in Turin sein, an denen das „static inductive en-route“ Laden erprobt wird. Partner aus dem Projekt eBusCS in ELEKTRO POWER II beteiligen sich an der Forschung im Projekt ASSURED (EU Projekt ASSURED 2018). Im Zusammenhang mit dem dynamischen induktiven Laden sind innovative Entwicklungen wie ein intelligenter Fahrbahnbelag aus Photovoltaik-Modulen oder Materialentwicklungen wie Magment sowie die Entwicklungen der australischen Firma Talga zu nennen. Magment ist ein leitfähiges Material aus Zement und recycelten magnetischen Partikeln, das sich als Straßenbelag eignet. Die Firma Talga entwickelte einen mit Graphen angereicherten Spezialbeton, der ebenfalls eine hohe Leitfähigkeit aufweist und für dynamisches induktives Laden zum Einsatz kommen könnte (solmove 2018; Magment 2018; Werwitzke 2018a). Die chinesische Stadt Jinan dient derzeit als Testfeld zum einen für die Erprobung von Solar-Asphalt zur Versorgung der Straßenbeleuchtung und angrenzender Haushalte und zum anderen für sensorgesteuerte Erhebungen von verkehrsbezogenen Daten (Franzke 2018). All diese Technologien erweitern die Möglichkeiten, die Straßeninfrastruktur für weitere Zwecke wie das Laden oder die Energiegewinnung zu nutzen.

Aktuell werden die Investitionskosten für die Technologie des dynamisch induktiven Ladens noch als sehr hoch eingestuft. Prof. Busse des Fraunhofer IFAM formuliert, dass Kosten von rund 8.000 Euro je 2-Meter-Bodenelement kursieren (Berlin 2018). Dies könnte sich durch zukünftige Optimierungen noch wirtschaftlich attraktiver entwickeln.

4.3.5 Stand und Entwicklung Normung und Recht im Bereich Induktives Laden

Die Ladesäulenverordnung (LSV) in Deutschland ist ein Teil der gesamten Umsetzung der Richtlinie 2014/94/EU über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFID). Das kabellose Laden wird weder in der Richtlinie 2014/94/EU noch in der deutschen LSV geregelt. Für das kabellose Laden wurde in der europäischen Richtlinie festgelegt, „dass die zuständigen Normungsgremien europäische Normen entwickeln, die

detaillierte technische Spezifikationen für kabellose Ladepunkte und den Austausch von Batterien für Kraftfahrzeuge und für Ladepunkte für Kraftfahrzeuge der Klasse L und für Elektrobusse enthalten“ (Europäische Union 2014).

Das zuständige Normungsgremium laut Mandat M/533 für Normen und Standards rund um die Infrastruktur für alternative Kraftstoffe hat CEN/CENELEC⁶ (European Commission, 2015). Auf Empfehlung von CEN/CENELEC kann die Kommission delegierte Rechtsakte erlassen, um die technischen Spezifikationen für Ladeinfrastruktur in diesem Sinne zu ergänzen und zu aktualisieren. Die Kommission kann bei Bedarf bis

Ende 2020 einen Vorschlag zur Überarbeitung der Richtlinie vorlegen.

An der Normung und Standardisierung des induktiven Ladens wird derzeit gearbeitet. Die Deutsche Normungs-Roadmap Elektromobilität 2020 der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) gibt einen Überblick über alle Normungsaktivitäten in diesem Bereich (Nationale Plattform Elektromobilität [NPE] 2017). In der folgenden Tabelle sind die Normen, die das kabellose Laden betreffen, mit einem Zeithorizont zusammengetragen (ebenda, Seite 20 und 34). Der Zeithorizont stellt

Norm	Zeithorizont
<i>Ladeschnittstelle Ladeinfrastruktur</i>	
IEC 61980 Infrastrukturseitige Anforderungen: <ul style="list-style-type: none"> ■ 61980-1 Allgemeine Anforderungen ■ 61980-2 Besondere Anforderungen für die Kommunikation zwischen Elektrofahrzeugen und Infrastruktur in Bezug auf kontaktlose Energieübertragungssysteme ■ 61980-3 Spezifische Anforderungen für die kontaktlosen Energieübertragungssysteme mit Magnetfeld 	etwa 2012–2018
<i>Ladeschnittstelle Fahrzeug</i>	
ISO 19363 Drahtlose magnetische Energieübertragung – Sicherheit und Interoperabilitätsanforderungen	etwa 2013–2019
<i>ISO 15118 Kommunikation</i>	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 15118-1 Allgemeine Informationen und Use Cases für kabelgebundene und kabellose Datenübertragung ■ 15118-2 Anforderungen an Netzwerk- und Anwendungsprotokoll ■ 15118-8 Anforderungen an Physical Layer und Data Link Layer für kabellose Kommunikation 	etwa 2015–2018 etwa 2015–2019 etwa 2014–2018
Laden während der Fahrt	ab 2018
Rückspeisung (hier unter kabelgebundenes Laden)	ab 2018

Tabelle 2: Normungsaktivitäten im Bereich Induktives Laden (eigene Abbildung nach Nationale Plattform Elektromobilität [NPE] 2017)

⁶ Das „European Committee for Standardization“ (CEN) und das „European Committee for Electrotechnical Standardization“ (CENELEC) sind europäische Standardisierungsorganisationen, welche in diesem Fall zusammenarbeiten, um Standards für den Europäischen Binnenmarkt zu entwickeln (CEN/CENELEC, 2018).

den Start der Normungsarbeit dar und prognostiziert den Abschluss der Normungsarbeit.

Wie man der Tabelle 2 entnehmen kann, soll die Normungs- und Standardisierungsarbeit rund um das stationäre induktive Laden im Jahr 2018 größtenteils abgeschlossen sein. Aufgrund der Komplexität des Themas und der Zielstellung, auch aktuelle Erkenntnisse aus FuE-Projekten in die relevanten Normen einfließen zu lassen (z. B. aus dem Projekt STILLE in ELEKTRO POWER II), wird der angestrebte Zeitplan jedoch nicht vollständig eingehalten werden können. Dennoch zeigt die Tabelle, dass man sich den Lösungen für einen flächendeckenden Einsatz erheblich annähert. Dies erklärt auch, warum die ersten serienmäßig verbauten, stationären induktiven Ladesysteme bei den Leichtfahrzeugen in diesem Jahr auf den Markt kommen.

In der IEC 61980 und in der ISO 19363 werden die infrastruktureitigen und fahrzeugseitigen Anforderungen an das induktive Ladesystem beschrieben. Seit 2016 werden Teile aus beiden Normen veröffentlicht. Diese Normen behandeln für den Anwendungsfall des stationären induktiven Ladens u. a. elektromagnetische Grenzwerte, elektrische Sicherheit und die Interoperabilität zwischen den Ladesystemen. Erste Editionen der ISO 15118-1 und ISO 15118-2 wurden bereits 2013 bzw. 2014 veröffentlicht und sollen beide Ende 2018/Anfang 2019 in einer aktualisierten zweiten Version veröffentlicht werden (Schwaiger 2017). Die erste Edition des Normteils 15118-8 wurde bereits Anfang 2018 veröffentlicht. In den ersten Editionen der ISO 15118-1 und ISO 15118-2 wurde die kabellose Energieübertragung nicht behandelt. In den zweiten Editionen der Normteile 15118-1 und 15118-2 und mit der ersten Edition des Normteils 15118-8 kommen jetzt sowohl Use Cases für die Kommunikation beim induktiven Laden hinzu als auch die drahtlose Informationsübertragung, die beim induktiven Laden unerlässlich ist, aber auch für kabelgebundene Ladevorgänge genutzt werden kann (Großmann 2016).

Die Nationale Plattform Elektromobilität plante im Jahr 2018 einen Fortschrittsbericht zu der Deutschen Normungs-Roadmap Elektromobilität 2020 zu veröffentlichen, welcher zum Zeitpunkt des Erstellens dieses Berichts noch nicht öffentlich zugänglich war. Darin sollte auch der aktuellste Stand zu den Normungsarbeiten zum induktiven Laden zu finden sein.

Die rechtliche Einordnung des induktiven Ladens in bestehendes Recht wurde bisher vernachlässigt, da die Technologien noch nicht marktreif sind und sich größtenteils im Projektstatus befinden. Auch zukünftig wird sich der Gesetzgeber mit Anpassungen des Rechtsrahmens für technologieoffene Ladeszenarien und somit auch zum induktiven Laden befassen. Dies betrifft u. a. das deutsche Energiewirtschaftsrecht, das Mess- und Eichrecht sowie das Verkehrsrecht. Aktuell ist beispielsweise unklar, ob die Definition des Ladepunkts der LSV auf das dynamische induktive Laden angewendet werden kann. Per Definition der LSV kann an einem Ladepunkt nur ein Fahrzeug laden, es ist aber technologisch möglich, dass beim dynamischen Laden auf Ladestrecken mehr als nur ein Fahrzeug gleichzeitig lädt. Ein anderes Beispiel ist die fehlende spezifische Auslegung des Mess- und Eichrechts für die Messung der Energieübertragung beim induktiven Laden.

4.4 Beitrag der jeweiligen geförderten Projekte zu diesem Themenfeld

Das folgende Unterkapitel erläutert die Beiträge, die die Projekte zur Weiterentwicklung der induktiven Ladesysteme und zur Zielerreichung der ELEKTRO-POWER-II-Förderbekanntmachung geleistet haben. Es gibt vier Projekte in ELEKTRO POWER II, die sich mit dem Induktivladen beschäftigen: EmoStar²K, STILLE, BiLawE, und IILSE (Abbildung 2). Die drei Förderziele aus der Bekanntmachung fokussieren sich auf technologische Lösungen, Normung und Standardisierung sowie den rechtlichen Anpassungsbedarf. Der Beitrag der vier ELEKTRO-POWER-II-Projekte zu diesen Zielen wird in Folge dargestellt. Einen vollständigen Überblick über die Ergebnisse aller geförderten Projekte bietet die Ergebnisbroschüre der Begleit- und Wirkungsforschung zu ELEKTRO POWER II.

4.4.1 Technologische Lösungen für das induktive Laden und Normungs- und Standardisierungsprozesse

Ein Förderziel von ELEKTRO POWER II ist es, die technologischen Lösungen zum induktiven Laden mit Rücksicht auf Sicherheit, Umweltverträglichkeit und Energieeffizienz weiter zu entwickeln. Ein weiteres Förderziel ist es, Normungs- und Standardisierungsprozesse zum induktiven Laden national und international voran zu bringen.

Die „Deutsche Normungs-Roadmap Elektromobilität 2020“ beschreibt die Vision, dass es in der Zukunft interoperable, öffentliche Ladeinfrastrukturen gibt, welche auf international gültigen Normen für kabelloses Laden aufbauen (Nationale Plattform Elektromobilität [NPE] 2017, S. 20). Das Projekt STILLE (Standardisierung induktiver Ladesysteme über Leistungsklassen) untersucht bestehende technologische Ansätze zur Interoperabilität induktiver Ladesysteme und erarbeitet Empfehlungen zur Gestaltung dieser mit dem Ziel, die internationale Normung und Standardisierung voranzutreiben. Eine Vielfalt wie beim konduktiven Laden soll so verhindert werden, damit Kundinnen und Kunden perspektivisch überall öffentlich induktiv laden können. Proprietäre Lösungen sollen langfristig durch interoperable Lösungen ersetzt werden. Interessant ist, dass die NPE die Rückspeisung unter kabelgebundenes Laden einordnet, wobei die Rückspeisung auch für das induktive Laden Sinn macht. Bei STILLE werden Ladeleistungen bis 22 kW beim Induktivladen betrachtet.

Vor dem Hintergrund der Energiewende sollen Elektrofahrzeuge als intelligente Stromspeicher für nachhaltig produzierten Strom und zur Stabilisierung des Stromnetzes dienen. Für ein direktes Einspeisen des Stroms aus dem Elektrofahrzeug in das Netz ist ein bidirektionales Ladesystem Voraussetzung. Das Projekt BiLawE (Bidirektionale, induktive Ladesysteme wirtschaftlich im Energienetz) entwickelt und untersucht dabei ein induktives bidirektionales Ladesystem mit einfacherer und komfortablerer Handhabung und vergleicht es mit konventionellen Ladelösungen. Überprüft wird auch, wie das entwickelte Ladesystem unter Alltagsbedingungen im öffentlichen Raum einsatzfähig ist. Auch die Standardisierung der Bidirektionalität wird in diesem Projekt vorangetrieben.

Das Projekt IILSE (Interoperabilität von induktiven Ladesystemen für E-Pkw) unterstützt mit wirtschaftlichen, elektrotechnischen, nutzerakzeptanzspezifischen und rechtlichen Analysen eine einheitliche Strategie zur internationalen Harmonisierung von Standards im Bereich des induktiven Ladens.

Die Normungs- und Standardisierungsaktivitäten mit Bezug zur Elektromobilität werden unter dem Dach des Projekts EmoStar²K beobachtet und koordiniert. Abgestimmte deutsche Positionen werden in internationale Gremien eingebracht, strategische Allianzen aufgebaut und die betroffenen Kreise informiert. Zukünftiger Normungs- und Standardisierungsbedarf wird erkannt. Somit wird die deutsche Nor-

mungsstrategie im Kontext Elektromobilität weiterentwickelt. Die Arbeit in EmoStar²K geht dabei über den grundsätzlichen Dienstleistungsauftrag der Normungsorganisationen hinaus.

4.4.2 Rechtlicher Anpassungsbedarf beim induktiven Laden

Ein drittes Förderziel von ELEKTRO POWER II ist es, den rechtlichen Anpassungsbedarf bei der Integration von Elektromobilität in den Strommarkt zu identifizieren.

Das Ziel, den rechtlichen Anpassungsbedarf zu identifizieren, sind die Projekte gemeinsam mit der Begleit- und Wirkungsforschung in Workshops und Expertengesprächen angegangen. Ein erster Einstieg in die rechtliche Bewertung rund um das kabellose Laden wurde gemacht, indem die Projekte Rechtsfragen in dem bis dato weitestgehend noch nicht rechtlich eingeordneten Bereich formulierten. Erste Ergebnisse dazu wurden in der folgenden Textbox von der Rechtsanwältin für die Begleit- und Wirkungsforschung ELEKTRO POWER II, Frau Dr. Katharina Vera Boesche, zusammengefasst.

Ziel für die Zukunft ist es, bestehende Regelungen beispielsweise aus dem Bereich „Konduktives Laden“ zu finden, die man analog für das induktive Laden anwenden kann und/oder den Gesetzgeber anzuregen, aktiv zu werden.

Infobox 3

Energiewirtschafts- und eichrechtliche Herausforderungen beim induktiven Laden

Energiewirtschaftsrecht

Grundsätzlich findet das Energiewirtschaftsgesetz auch Anwendung auf das induktive Laden. Die Ladeplatte wird mit Strom versorgt und ist angeschlossen an das Energieversorgungsnetz. Es findet also eine Belieferung durch Stromlieferanten statt. Folglich ist sie Teil der leitungsgebundenen Energieversorgung.

Der Ladepunktbetreiber ist als Letztverbraucher definiert im Energiewirtschaftsgesetz (EnWG), in der Stromsteuerverordnung (StromStV) und im Messstellenbetriebsgesetz (MsbG). Dadurch ist klargestellt, dass der Betreiber eines Ladepunktes kein Stromlieferant ist. Dies bringt deutliche Erleichterungen mit sich, da der Betreiber andernfalls

eine Genehmigung als Stromlieferant benötigt hätte und den Strommix sowie die Stromsteuer gegenüber dem Fahrzeugnutzer hätte ausweisen müssen. Die Letztverbraucherdefinition des EnWG findet auf das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) allerdings keine Anwendung, was sich als problematisch für Ladesäulenbetreiber erweist, die auch Stromerzeuger sind, da sie gegenüber dem Fahrzeugnutzer die EEG-Umlage auszuweisen haben.

Grundsätzlich findet die Ladesäulenverordnung (LSV) auch auf das induktive Laden Anwendung. Dies folgt schon daraus, dass der Gesetzgeber ausdrücklich einzelne Vorschriften von der Anwendung auf induktives Laden ausgenommen hat. So gelten nach § 3 Abs. 5 LSV die Vorgaben über den Einbau der Typ 2-Steckdose nicht für induktives Laden. Dazu ist allerdings festzustellen, dass die Definition des Ladepunktes in § 2 Nr. 6 LSV nur für das statische induktive Laden passt (ein Ladepunkt ist eine „Einrichtung, die zum Aufladen von Elektrofahrzeugen geeignet und bestimmt ist und an der zur gleichen Zeit nur 1 EV aufgeladen werden kann“). Für das dynamische Laden passt sie nicht, da hierbei eine Ladestrecke existiert, auf der mehrere Fahrzeuge gleichzeitig laden. Noch ungeklärt ist, ob eine Ladestrecke als eine Reihe von Ladepunkten zu verstehen ist. Technisch gesehen gibt es unterschiedliche Möglichkeiten: mehrere Spulen hintereinander schalten, an denen pro Spule immer nur ein Auto laden kann oder längere Spulen, an denen gleichzeitig mehrere Autos laden können. Wenn die rechtliche und technische Einordnung geklärt ist, würde es Sinn machen, eine solche Definition des Ladepunktes für eine Ladestrecke in die LSV aufzunehmen.

Dabei muss beachtet werden, dass beim Laden bisher immer von Parkflächen ausgegangen wird und nicht vom Laden auf der Straße. Hier müssen verkehrsrechtliche Fragen behandelt werden: Wann genau wird vom Laden im ruhenden und wann vom Laden im fließenden Verkehr gesprochen (z. B. Laden, während man an der Ampel steht – stationär oder dynamisch?). Steht ein Taxi am Taxiparkplatz, handelt es sich um ein statisches Laden. Fährt es und wird währenddessen aufgeladen, handelt es sich um ein Laden im fließenden Verkehr, auf den die Straßenverkehrsordnung (StVO) Anwendung findet.

Das induktive Laden sollte als relevanter Anwendungsfall für das gesteuerte Laden mitbetrachtet werden. Die technische Möglichkeit zur intelligenten Steuerung des induktiven Ladens besteht auch für kurze Ladezeiten, sodass man rechtlich die Einbeziehung nicht begrenzen sollte. Wenn viele Nutzer additiv kurz laden, hätte man auch schon eine kritische Masse.

Mess- und Eichrecht

Die Vorgaben des Mess- und Eichrechts finden grundsätzlich ebenso Anwendung auf das induktive Aufladen wie auf das konduktive Laden. Derzeit befinden sich mehrere AC-Ladesäulenhersteller und DC-Messgeräte- und Ladesäulenhersteller im Konformitätsbewertungsverfahren der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB). Umstritten war im Frühjahr 2018, ob das Autorisierungsmedium, wie z. B. eine RFID-Karte, auch dem Mess- und Eichrecht unterfällt und damit Teil des Konformitätsbewertungsverfahrens ist. Im Ergebnis wurde dies zu Recht abgelehnt, da das Autorisierungsmedium dem eigentlichen Messvorgang vorgelagert ist.

Der beste Messpunkt für die Abrechnung der Energieübertragung beim induktiven Laden ist mit Hinblick auf Fehlergrenzen und Verluste, die dem zahlenden Kunden in Rechnung gestellt werden, noch nicht abschließend gefunden. Der Messung am Netzübergangspunkt als aus Industriesicht unkomplizierteste Variante steht der Verbraucherschutz gegenüber. Es liegt im Interesse der Ladesäulenhersteller, die Systeme mit so geringen Verlusten wie möglich zu bauen, da mit fallendem Wirkungsgrad viel Nebenwärme erzeugt wird, die wiederum technisch abgefangen werden muss. Alle Ladevorgänge sind mit Verlusten verbunden, und die Verluste sollten dem Kunden für alle Arten des Ladens, ob konduktiv oder induktiv, transparent dargestellt werden. Ein Austausch zwischen der Industrie und der PTB sollte dazu angestrebt werden.

4.5 Fazit

Im öffentlichen Personennahverkehr wird das induktive Laden bereits in mehreren deutschen und europäischen Städten erprobt und demonstriert. Es werden Induktivladungen von Bussen mit bis zu 200 kW im öffentlichen Raum durchgeführt. Der Einsatz von kabellosen Ladesystemen bietet insbesondere dann einen Mehrwert, wenn wie bei Bussen und Taxis festgelegte Haltestellen bestehen, an denen beim Halten zwischengeladen werden kann. Mit einer induktiven Ladelösung wird ein einfaches ad-hoc-Laden überhaupt erst möglich. Die Vorteile einer induktiven Ladelösung bestehen weiterhin darin, dass die Batterie im Fahrzeug relativ klein gehalten werden kann und somit Kosten und Energie gespart werden können, und darin, dass die Ladeinfrastruktur weniger anfällig ist für klimatisch bedingte Alterung und Abnutzung.

Derzeit ist für Leichtfahrzeuge die bestehende Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum für das konduktive Laden ausgelegt, und auch die zukünftigen Ausbaupläne und berechneten Bedarfe berücksichtigen bisher nicht das induktive Laden. Mit einer fortschreitenden Standardisierung des kabellosen Ladens und einer steigenden Zahl von Fahrzeugherstellern, die fahrzeugseitig eine induktive Lademöglichkeit in Serienproduktion von Pkw anbieten, wird auch die Installation von kabellosen Ladesystemen an Parkplätzen bei Arbeit, Einkauf und Freizeit denkbar. Denn mittelfristig wird eine kritische Anzahl von Pkw mit standardmäßiger induktiver Ladeausstattung

auf den Markt kommen. Die Einschätzung, dass die kabellose Ladelösung zur Markteinführung als „premium feature“ für höherpreisige Pkw genutzt werden kann (Bossard und Kolar 2016), bestätigt sich mit den Plänen der Pkw-Hersteller, diese Technik als Zusatzausstattung für ZZahlungswillige für die heimische Garage oder im öffentlichen Raum zur Verfügung zu stellen. Dabei erzielen induktive Ladesysteme vergleichbare Wirkungsgrade wie konventionelle Ladesysteme. Es zeichnet sich derzeit jedoch ab, dass Pkw über konventionelle und kabellose Lademöglichkeiten verfügen werden. Deshalb sollten auch die Bedarfe für induktive Ladesysteme im öffentlichen Raum abgefragt und im weiteren Ladeinfrastrukturausbau bedacht werden. Der Ausbau öffentlich zugänglicher induktiver Ladeinfrastruktur macht allerdings erst dann Sinn, wenn die Normung und Standardisierung zur Interoperabilität der Systeme besonders für den Pkw-Verkehr abgeschlossen ist, man folglich hersteller- und modellübergreifend induktiv laden kann und die Sicherheits- und Haftungsaspekte auch im Pkw-Bereich eine ausreichend leistungsstarke induktive Ladung ermöglichen. Das BMWi hat mit dem Förderprojekt STILLE wesentliche nationale und internationale Akteure aus Industrie und Standardisierung zusammengeführt. Ziel ist es, Standards als Rahmenbedingungen zu schaffen, die die technische Interoperabilität der induktiven Ladesysteme realisierbar machen. Es ist davon auszugehen, dass das induktive Laden in naher Zukunft im öffentlich zugänglichen Raum auch außerhalb von Förderprojekten sinnvoll betrieben werden kann.



5 INTERNATIONALE MARKTENTWICKLUNG DER ELEKTROMOBILITÄT

Um die Einordnung der Ergebnisse aus der Fördermaßnahme in einen internationalen Kontext zu ermöglichen und die Rahmenbedingungen anderer Industrienationen für den Markthochlauf der Elektromobilität zu beschreiben, wird im folgenden Kapitel der Blick über den „deutschen Tellerrand“ präsentiert.

In den vorherigen Kapiteln wurden verschiedene Aspekte in den für ELEKTRO POWER II relevanten Themenfeldern dargestellt, die die Verbreitung der Elektromobilität zum Teil maßgeblich vorantreiben und so zum weltweiten Wachstum des Fahrzeugbestandes an Elektrofahrzeugen beitragen. Um diese Prozesse einordnen zu können, soll nachfolgend anhand ausgewählter Länder ein kurzer Überblick über die internationale Marktsituation zur Elektromobilität und ihrer Entwicklung gegeben werden.

Weltweit ist die Elektromobilität auf dem Vormarsch. Trotz nach wie vor nur geringer Marktanteile in den hier betrachteten Ländern (mit Ausnahme von Norwegen), konnten die Neuzulassungszahlen und der Bestand an Elektrofahrzeugen vor allem im letzten Jahr deutlich an Wachstum zulegen (International Energy Agency [IEA] 2018).

Auch in Deutschland hat sich der Markt für die Elektromobilität in den letzten Jahren beständig weiterentwickelt (Abbildung 8).

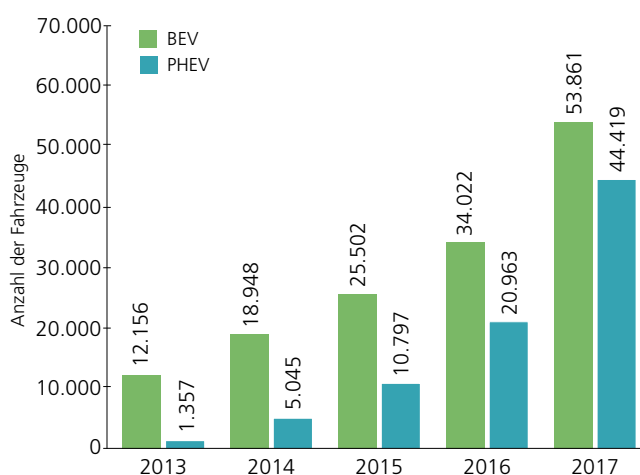


Abbildung 8: Entwicklung des Fahrzeugbestandes (Pkw) an batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen (BEV) und Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen (PHEV) in Deutschland seit 2013 (eigene Darstellung, Datenbasis: KBA)

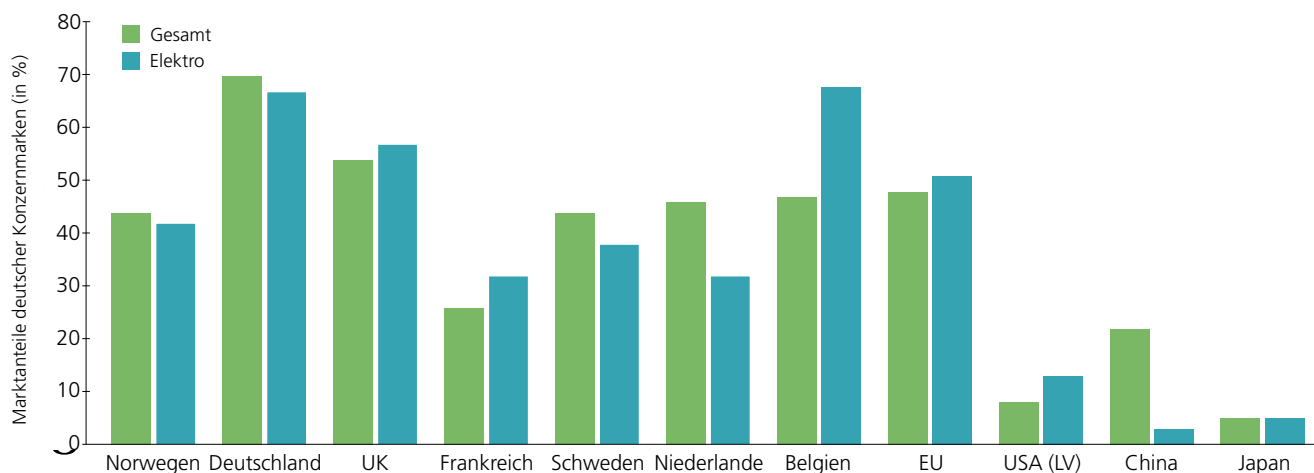


Abbildung 9: Marktanteile deutscher Konzernmarken im Zeitraum Januar bis August 2018 (Japan: Januar bis Mai 2018): Elektro-Pkw vs. Pkw gesamt (Quelle: VDA 2018)

Die Vorreitermärkte im internationalen Raum sind, teilweise mit großem Abstand, China, die USA und Japan. Sie verfügen über die im weltweiten Vergleich größten Märkte der Elektromobilität. Japan hat bereits langjährige Erfahrung mit der Elektromobilität: Bereits 1997 hat Japan mit dem ersten Hybridfahrzeug den Markt eröffnet und gilt als einer der Pioniere im Bereich der Elektromobilität. Dennoch sind Fahrzeuge deutscher Hersteller praktisch in allen wichtigen Märkten präsent, und der Anteil von Elektrofahrzeugen bei Pkw entspricht weitestgehend dem Gesamtmarktanteil (VDA 2018) (Abbildung 9). Eine Ausnahme bildet hier China, da der Markt aufgrund staatlicher Rahmenbedingungen zum Großteil von einheimischen Marken beherrscht wird (VDA 2018). Dies spricht für den Erfolg von Elektrofahrzeugen „Made in Germany“.

Auch in Europa entwickelt sich der Markt zur Elektromobilität beständig. Hier sind neben Deutschland vor allen Dingen Norwegen, aber auch Frankreich, die Niederlande und Österreich zu nennen. Sie haben größere Märkte gebildet und können insbesondere für 2017 ein dynamisches Wachstum verzeichnen.

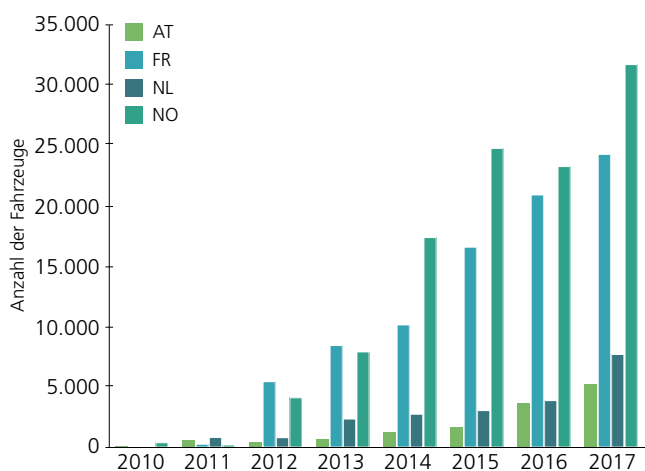


Abbildung 10: Entwicklung der Pkw-Neuzulassungen von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen (BEV) 2010–2017 in Österreich (AT), Frankreich (FR), Niederlande (NL) und Norwegen (NO) (eigene Darstellung, Datenbasis: European Alternative Fuels Observatory [eafo] 2018a)

Die genannten Länder werden nachfolgend in einem kurzen Marktüberblick hinsichtlich Elektromobilität dargestellt. Zudem werden die dortige Situation zum Ausbau der Ladeinfrastruktur und die wichtigsten Rahmenbedingungen, die die Entwicklung der Elektromobilität in diesen Ländern maßgeblich beeinflussen, skizziert. Darüber hinaus wird die Automobilindustrie des jeweiligen Landes in einem Kurzporträt mit Fokus auf die Elektromobilität illustriert.

Die hier dargestellten Ergebnisse beruhen auf Daten, die im Laufe von 2016 bis 2018 im Rahmen von ELEKTRO POWER II recherchiert und für den Innovationsbericht aufbereitet wurden.

5.1 Ausgewählte europäische Länder

5.1.1 Marktentwicklung der Elektromobilität und Status der Ladeinfrastruktur

In den letzten Jahren haben viele europäische Länder Maßnahmen durchgeführt, um Elektromobilität zu fördern. Eine Steigerung der Anzahl an Elektrofahrzeugen kann in fast allen

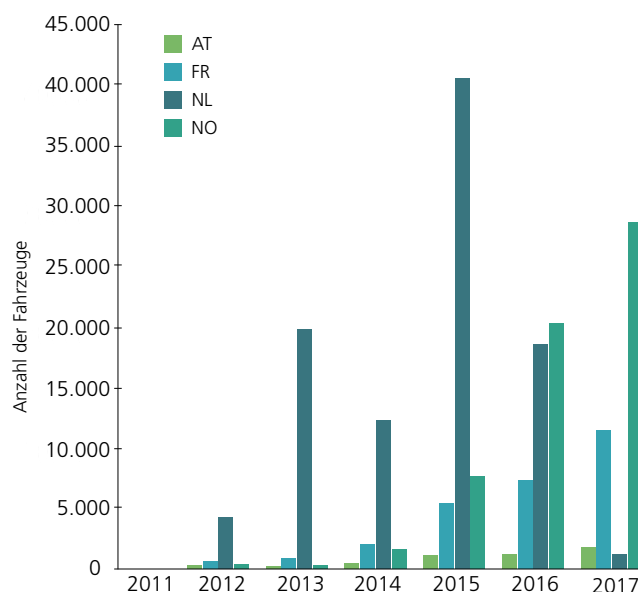


Abbildung 11: Entwicklung der Pkw-Neuzulassungen von Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen (PHEV) 2010–2017 in Österreich (AT), Frankreich (FR), Niederlande (NL) und Norwegen (NO) (eigene Darstellung, Datenbasis: European Alternative Fuels Observatory [eafo] 2018a)

europäischen Ländern beobachtet werden. Die Entwicklung in den Nachbarländern Österreich, Frankreich, den Niederlanden und Norwegen, dem Vorreiter der Elektromobilität in Europa, wird hier zusammengefasst.

Die Anzahl der Neuzulassungen der batteriebetriebenen Fahrzeuge (BEV) in diesen Ländern kann ab 2010 verfolgt werden. Insgesamt ist ein stetiger Zuwachs zu verzeichnen. In individuellen Fällen sind leichte Schwankungen zu beobachten, wie beispielweise in Österreich. In Norwegen betrug die Anzahl neu zugelassener BEV 2016 1.568 und war damit niedriger als 2015. Diese Schwankungen sind von vielen Faktoren abhängig, zeigen aber keine Tendenz zu einer langfristigen Neuzulassungsabnahme der BEV (Abbildung 10).

Bei den Neuzulassungen der Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge (PHEV) ist nicht in allen Ländern eine stetige Steigerung erkennbar, da in manchen Ländern wie den Niederlanden eine sehr große Schwankung zwischen 2012 und 2017 beobachtet wird (Abbildung 11).

Die Anzahl der Neuzulassungen spiegelt die Marktentwicklung von batteriebetriebenen Fahrzeugen wider (Abbildung 12). Allerdings wird dadurch auch klar, dass im Vergleich zu konventio-

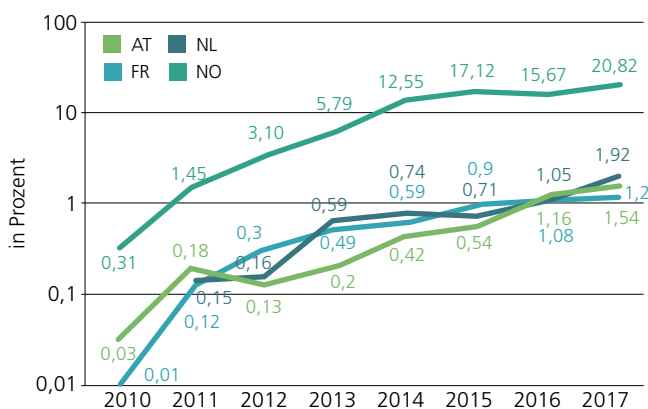


Abbildung 12: Entwicklung des Pkw-Marktanteils von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen (BEV) 2010–2017 in Österreich (AT), Frankreich (FR), Niederlande (NL) und Norwegen (NO) (Darstellung in logarithmischer Skala) (eigene Darstellung, Datenbasis: European Alternative Fuels Observatory [eafo] 2018a)

nellen Fahrzeugen der Marktanteil von BEV sehr gering ist. Die einzige Ausnahme in Europa ist der Marktanteil in Norwegen, in dem ein Fünftel (ca. 21 Prozent) der verkauften Fahrzeuge batteriebetrieben sind (Abbildung 12). Für den norwegischen sowie österreichischen und französischen PHEV-Markt ist eine ähnlich steigende Tendenz zu beobachten (Abbildung 13). In den Niederlanden zeigt der PHEV-Marktanteil seit 2015 eine bedeutende Abnahme. Grund war eine Änderung der Steuerermäßigungen von BEV und PHEV, die bis zu dem Zeitpunkt ähnlich besteuert wurden. Die Verbraucher hatten sich aufgrund der höheren Flexibilität und den geringeren Anschaffungskosten für den Kauf von Plug-In-Hybridfahrzeugen entschieden. Dies führte somit zu einer stärkeren Marktaufnahme der PHEV, bis batterieelektrisch betriebene Elektrofahrzeuge günstiger besteuert wurden als PHEV (International Energy Agency [IEA] 2016b).

In Abbildung 14 und Abbildung 15 ist die Anzahl von Ladepunkten angezeigt. Auch wenn tendenziell die Anzahl von Normalladestationen (≤ 22 kW) und Schnellladestationen (> 22 kW) in den vier Ländern steigt, ist die Anzahl an Normalladestationen zum Teil über 40 Mal so groß wie die Anzahl an Schnellladestationen, wie beispielsweise in den Niederlanden. Die Anzahl an Normalladestationen nimmt in Frankreich und

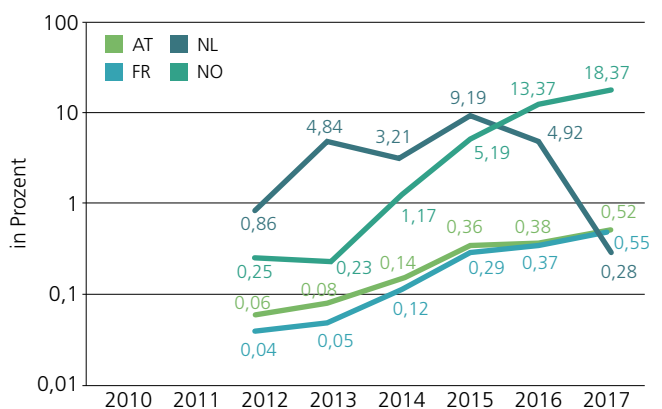


Abbildung 13: Entwicklung des Pkw-Marktanteils von Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen (PHEV) 2009–2017 in Österreich (AT), Frankreich (FR), Niederlande (NL) und Norwegen (NO) (Darstellung in logarithmischer Skala) (eigene Darstellung, Datenbasis: European Alternative Fuels Observatory [eafo] 2018a)

den Niederlanden stärker zu und korreliert mit den Maßnahmen zum Aufbau von Ladeinfrastrukturen.

Österreich

Der weitaus überwiegende Teil der Schnellladestationen in Österreich verfügt über den Multi-Standard (Typ2, CCS, CHAdeMO). Je nach Auslegung verfügt eine derartige Schnellladestation über zwei bis drei Schnellladepunkte. Die österreichische Regierung hat eine befristete Förderaktion initiiert, die den Ausbau von E-Ladestationen unterstützen soll: die Förderaktion der Umweltförderung (Aktion 2017/2018) im Inland (Kommunalkredit Public Consulting 2018).

Frankreich

In Frankreich wird die Ladeinfrastruktur stetig erweitert. Normalladestationen und Schnellladestationen werden installiert, um die Elektromobilität voranzubringen. Die französische Regierung hat gefordert, dass die Entwicklung der Ladestationen an die Bedürfnisse angepasst wird (International Trade Administration [ITA] and export.gov 2017). Bauherren von Gemeinschaftswohnungen müssen auf Anfrage der Bewohner eine Ladeeinrichtung installieren. Kommunalverwaltungen sind dazu verpflichtet, öffentliche Parkplätze mit Lademöglichkeiten auszustatten (HEV TCP 2018).

Aufgrund des zu erwartenden Bestands an Elektroautos bis 2020 (350.000) sind eine Million Ladestationen notwendig. Dies wurde vom Branchenverband AVERE prognostiziert (eMobilitätOnline.de 2017a). Deshalb sollen mit Hilfe von staatlichen Förderungen bis 2020 eine Million Ladestationen entstehen. Diese sind aufgeteilt in 100.000 öffentliche und 900.000 private Ladestationen. Aktuell gibt es etwa 16.000 Ladepunkte.

Niederlande

Es gibt verschiedene Faktoren, die zur Installation der Ladeinfrastruktur in den Niederlanden beigetragen haben. Zu Beginn der Elektrofahrzeugeinführung hat die Organisation Elaad mehrere tausend Ladepunkte eingerichtet. Elaad wurde von Verteilernetzbetreibern gegründet um sicherzustellen, dass sie ihr gesamtes System nicht aufrüsten müssten. Denn wenn alle gleichzeitig ihre Elektroautos zu Hause aufladen, benötigt das gesamte Stromnetz ein teures Upgrade.

Ein intelligentes Ladesystem kann diese teure Aufrüstung vermeiden. Der Besitzer eines Fahrzeugs zeigt an, wann das Fahrzeug wieder gebraucht wird, und das intelligente Ladesystem entscheidet, wann der richtige Zeitpunkt ist, die Batterie zu laden. Die Batterie wird vorwiegend geladen, wenn ein

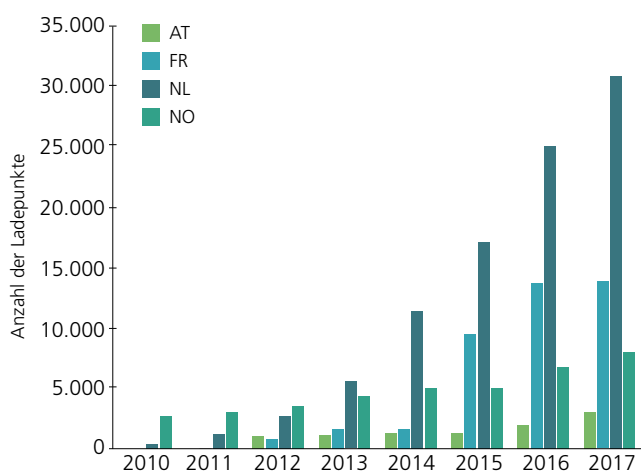


Abbildung 14: Entwicklung des Ausbaus der Normalladeinfrastrukturen (≤ 22 kW) in Österreich (AT), Frankreich (FR), Niederlande (NL) und Norwegen (NO) 2010–2017 (eigene Darstellung, Datenbasis: European Alternative Fuels Observatory [eafo] 2018a)

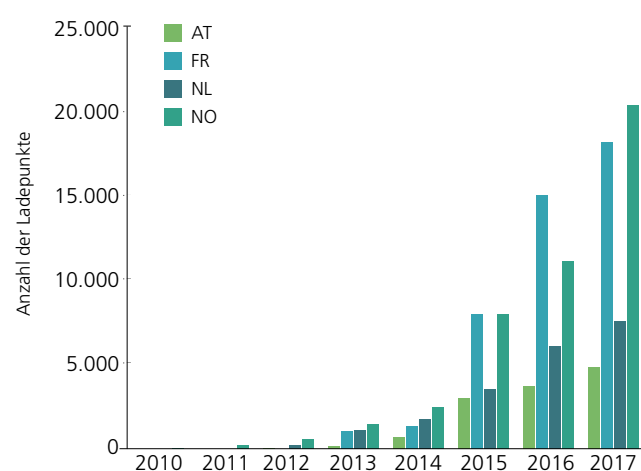


Abbildung 15: Entwicklung des Ausbaus der Schnellladeinfrastrukturen (> 22 kW) in Österreich (AT), Frankreich (FR), Niederlande (NL) und Norwegen (NO) 2010–2017 (Eigene Darstellung, Datenbasis: European Alternative Fuels Observatory [eafo] 2018a)

Leistungsüberschuss verfügbar ist. Interoperabilität und Open Source waren zwei der wichtigsten Aspekte bei der Schaffung von Märkten. Auf diese Weise können verschiedene Marktparteien gewährleisten, dass ihre Kunden auch in anderen Orten versorgt werden. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Regierung, Forschungseinrichtungen und Unternehmen war in den Niederlanden dabei unerlässlich. Eines der wichtigsten Ergebnisse sind Standards für die Interoperabilität. Eine einzige Karte kann für die Anmeldung zum Laden an allen öffentlichen und halböffentlichen Ladepunkten verwendet werden. Der Ansatz am Back-End ist ähnlich wie bei Geldautomaten und Banken (Niederland 2017). Auch die Gemeinden in den Niederlanden haben durch Einhaltung der Luftqualität eine zentrale Rolle bei der Förderung der Ladeinfrastruktur gespielt. Die niederländische Regierung hat die Ladeinfrastruktur finanziell gefördert und die Gemeinden erhielten dadurch Unterstützung. Etwa die Hälfte der Ladepunkte ist „halböffentlich“, die beispielsweise für Mitarbeiter oder Kunden bestimmter Unternehmen zugänglich sind. Da das Laden Zeit kostet, gibt es Möglichkeiten für neue Geschäftsmodelle, wie zum Beispiel während des Ladevorgangs eine Tasse Kaffee an Kunden zu verkaufen.

Norwegen

In Norwegen wird hauptsächlich grüner Strom für Ladestationen verwendet. Denn 98 Prozent des in Norwegen erzeugten Stroms stammt aus Wasserkraft. Selbst wenn alle Fahrzeuge elektrisch angetrieben werden sollten, würden hierfür lediglich fünf Prozent der Wasserkraft benötigt. Die Ladeinfrastruktur wird kontinuierlich ausgebaut. Die norwegische Regierung hat ein Programm ins Leben gerufen, das bis 2017 alle 50 km eine Einrichtung von mindestens zwei Multi-Standard-Schnellladestationen bereitstellen soll. Bei einem Marktanteil von 22 Prozent im Jahr 2015 und einem bis 2020 prognostizierten Marktanteil von 30 Prozent entspricht dies im Jahr 2020 circa 250.000 Elektrofahrzeugen. Daher sollen im Jahr 2020 25.000 öffentliche Ladestationen vorhanden sein (Norsk elbilforening 2018). Dies unterscheidet sich dabei beispielsweise von dem von der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) empfohlenen und in Deutschland verfolgten Ansatz, der einen bedarfsgerechten und anwendungsorientierten Ausbau der Ladeinfrastruktur vorsieht (Nationale Plattform Elektromobilität [NPE] 2012, S. 48, 2014, S. 45).

5.1.2 Rechtliche und politische Rahmenbedingungen zur Förderung der Elektromobilität

Zusätzlich zu den zuvor betrachteten Maßnahmen bezüglich des Aufbaus der Ladeinfrastruktur setzen sich die betrachteten Länder zur Förderung des Markthochlaufs verschiedene Ziele, die jeweils durch entsprechende Strategien, Maßnahmen und Anreize umgesetzt werden sollen.

Nationale Strategien und Ziele

In Österreich spielen Demonstrationsprojekte eine wichtige Rolle, während in Frankreich der Fokus auf einer strikten CO₂-Zielvorgabe und konsequent darauf ausgerichteten politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen liegt. Die niederländische Regierung unterstützt die Elektromobilität durch eine Vielzahl an Aktionsplänen, die alle notwendigen Akteure involviert. In Norwegen werden dagegen langfristige Anreizpakete angeboten, um Nutzerinnen und Nutzer für Elektroautos zu gewinnen. Im Folgenden werden die nationalen Ziele und Strategien der betrachteten europäischen Länder skizziert, um darauf aufbauend im nächsten Abschnitt konkrete Fördermaßnahmen und Initiativen anderer Akteure dazustellen.

Österreich

Die Elektromobilität stellt für die österreichische Bundesregierung eine Schlüsselmaßnahme für die Dekarbonisierung des Verkehrs dar. Österreich will bis 2050 einen weitestgehend klimaneutralen Verkehrssektor erreichen. Das bedeutet neben der Verkehrsverlagerung, dem Ausbau des öffentlichen Verkehrs und der Förderung unterschiedlicher Mobilitätsformen auch den überwiegenden Umstieg auf Nullemissionsfahrzeuge auf Basis von erneuerbaren Energien. Hierzu zählt insbesondere eine Elektrifizierung des Straßenverkehrs (öffentlicher Verkehr, Logistikverkehre und Individualverkehr) (bmvit 2017b).

Das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) hat die Ziele und Leitlinien der österreichischen Verkehrspolitik bis 2025 in einem Gesamtverkehrsplan für Österreich formuliert. Das Thema Elektromobilität wird unter dem Aspekt Umweltschutz und Ressourceneffizienz behandelt (bmvit 2012).

Für die Umsetzung der EU-Richtlinie 2014/94/EU „über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe“ verfolgt

die österreichische Regierung die Ziele der Elektrifizierung und Nachverdichtung durch:

- eine Elektrifizierungsoffensive der Schiene,
- die Erarbeitung von Richtlinien für den (Um-)Bau von Park & Ride-Anlagen, welche eine Errichtung von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge umfassen, womit ein signifikanter Teil der österreichischen Bahnhöfe mit Ladeinfrastruktur ausgestattet werden soll (Initiative „Charge & Ride“ des bmvit),
- die Studie des österreichischen Autobahnbetreibers ASFINAG zu Entwicklungsszenarien inklusive Konzept zur Etablierung einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur im ASFINAG-Netz,
- den Ausbau auf 3.000 bis 4.000 Normalladepunkte sowie 500 bis 700 Schnellladepunkte als Zielwert für das Jahr 2020.

Langfristig hat Österreich als Ziele:

- die Erreichung eines weitestgehend CO₂-neutralen Verkehrssektors im Jahr 2050,
- den Umstieg auf Null- und Niedrigemissionsfahrzeuge auf Basis von erneuerbaren Energien,
- die Elektrifizierung der Verkehrsträger als übergeordnetes Ziel und Baustein für ein effizientes Gesamtverkehrssystem (bmvit 2016).

Frankreich

Aktuell beträgt der E-Fahrzeug-Anteil in Frankreich ca. 1,2 Prozent. Er soll durch zahlreiche staatliche Programme wie die Reduzierung von Mautgebühren, lokale Subventionen, Prämienzahlungen, eine Dieselabwrackprämie sowie eine Anschaffungsprämie beim Kauf eines Elektrofahrzeugs erhöht werden. Bereits 2016 konnte die Anzahl der Neuzulassungen von E-Autos erhöht werden, sodass Frankreich zu den führenden europäischen Staaten im Bereich der Neuzulassungen zählt. Außerdem sind Hybridfahrzeuge mit geringen Emissionen die ersten zwei Jahre von der Kfz-Steuer befreit (European Alternative Fuels Observatory [eafv] 2018b).

Seit 2014 gibt es den französischen Energy Transition for Green Growth Act zur Förderung der Elektromobilität, der in 2016 in Kraft getreten ist. Dieser setzt Ziele für den Anteil an Elektrofahrzeugen bei öffentlichen und gewerblichen Flotten fest. Die Hälfte aller neuen Fahrzeuge der Regierung muss emissionsarm sein. Innerhalb des Fuhrparks der lokalen Behör-

den gilt, dass bis zu 20 Prozent der Fahrzeuge emissionsarm betrieben werden müssen. Bei Mietwagen und Taxiunternehmen sind es 10 Prozent der Flotte (Tietge et al. 2016).

Als kurzfristige und mittelfristige Ziele im Bereich Infrastruktur, Markt- und Technologieentwicklung hat Frankreich sich folgendes vorgenommen (Kölch 2015):

- eine Million Ladestationen mithilfe staatlicher Förderung bis 2020 (eMobilitätOnline.de 2017a),
- sieben Millionen Ladestationen bis 2030 in Planung,
- die vollständige Umstellung des öffentlichen Fuhrparks auf Elektrofahrzeuge bis 2025.

Die französische Regierung hat als oberstes Ziel, ab 2040 keine Fahrzeuge mit Benzin- oder Dieselantrieb mehr zuzulassen. Dies ist eine Maßnahme, um die Klimaneutralität bis 2050 zu erreichen (Ministère de la Transition écologique et solidaire 2017).

Niederlande

Die niederländische Regierung formuliert Klimaschutzziele und Maßnahmen zum nachhaltigen Wachstum des Energiesektors im „National Energy Agreement for Sustainable Growth“. Darunter fallen auch Beiträge, die der Verkehrssektor zum Erreichen der Klimaziele leisten soll (Social and Economic Council of the Netherlands [SER] 2013):

- eine CO₂-Ausstoß-Reduktion um 17 Prozent im Vergleich zu 1990 auf maximal 25 Millionen Tonnen bis 2030,
- eine CO₂-Ausstoß-Reduktion um 60 Prozent bis 2050 im Vergleich zu 1990,
- emissionsfrei fahrende Neufahrzeuge ab 2035 (EAFO, 2018),
- die Verdichtung des Netzes öffentlicher Ladestationen (aktuelle Förderung 5,7 Millionen Euro) (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland [RVO] 2017).

Um diese Ziele erreichen zu können, setzt die niederländische Regierung seit 2016 auf verschiedene staatliche Maßnahmen, wie die Befreiung von der Zulassungssteuer, Pkw-Kaufsteuer und Kfz-Steuer für emissionsfreie Fahrzeuge, ein Bonus-Malus-System und den Ausbau der Ladeinfrastruktur (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland [RVO] 2017).

Eine Reihe von Aktionsplänen wurde publiziert, um die Erreichung dieser Ziele zu unterstützen. Der erste Aktionsplan zur Vorgehensweise der Regierung und zum Förderbeitrag von bis zu 65 Millionen Euro wurde 2009 veröffentlicht, um „die Niederlande zum Führer und zum internationalen Labor für elektrisches Fahren“ zu machen. (Hall et al. 2017). Der 2016 ins Leben gerufene „Electric Green Deal Transport“ hat zum Ziel, die Initiativen im Bereich Elektromobilität schneller zusammenzubringen und den Übergang zum elektrischen Transport zu beschleunigen. Involviert sind verschiedene Regierungsstellen wie das Formula-E-Team, das eine Art Public-Private-Partnership darstellt, die Zentralregierung, Marktteilnehmer und Organisationen der Zivilgemeinschaft. Das Formula-E-Team ist für die Umsetzung zuständig (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland [RVO] 2017).

Norwegen

Norwegen ist führend im Umgang mit Elektrofahrzeugen. 2017 hatten Elektrofahrzeuge einen Marktanteil von 29,1 Prozent (Norsk elbilforening 2018). Circa fünf Prozent aller Fahrzeuge in Norwegen fahren mit einem elektrischen Antrieb (Statistik sentralbyrå [Statistics Norway] 2018). Ein Grund für den hohen Marktanteil sind die langfristigen Anreize für die Förderung von emissionsfreien Fahrzeugen. Diese umfassten z. B. bereits 1990 die Befreiung von Einfuhr-/Kaufsteuern oder die Einführung von kostenfreiem Parken 1999.

Folgende Prioritäten sind dabei aus dem National Transport Plan 2018-2029 (NTP) in Bezug auf Elektromobilität zu erkennen (National Transport Plan 2016):

- das Setzen von Anreizen zur Nutzung emissionsfreier und -armer Verkehrsträger, alternative Kraftstoffe, eine bessere Kapazitätsauslastung zur Erreichung der Klimaziele ohne Einschränkungen in der Mobilität,
- Investitionen in koordinierte Landnutzung und Verkehrsplanung sowie Ausbau von Fahrrad-Schnellstraßen in großen städtischen Gebieten.

Als mittelfristige Ziele im Bereich Infrastruktur, Markt- und Technologieentwicklung plant die norwegische Regierung, ab 2025 keine neuen Verbrenner mehr zuzulassen. Ein Ziel des norwegischen Parlamentes ist es, dass ab 2025 nur Neuwagen mit Null- (Elektro, Wasserstoff) oder Niedrig-Emissionen (Plug-In-Hybrid) verkauft werden (Norsk elbilforening 2018).

Fördermaßnahmen der Regierungen und Initiativen anderer Akteure

Zur Umsetzung der zuvor skizzierten Ziele und Strategien setzen alle hier näher betrachteten Länder eine Reihe von Fördermaßnahmen um, die den Markthochlauf der Elektromobilität unterstützen sollen und die im Folgenden ausgeführt werden. Weiterhin sind diese Maßnahmen jeweils für unterschiedliche Zielgruppen ausgelegt.

Österreich

Zusammen mit dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) fördert das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) Autoimporteure sowie Zweiradimporteure, um die Elektromobilität in Österreich zu beschleunigen. Die Förderung richtet sich gleichermaßen an den betrieblichen, kommunalen und privaten Bereich (bmvit 2017a). Die wichtigste Voraussetzung aller Förderangebote für E-Mobilität ist die Nutzung von 100 Prozent Strom oder Wasserstoff aus erneuerbaren Energieträgern. Die Gesamtfördersumme beträgt insgesamt rund 72 Millionen Euro, zu der BMLFUW, bmvit und Autoimporteure jeweils anteilig beitragen.

In Kooperation mit dem bmvit unterstützt der Klima- und Energiefonds im Rahmen des Programms „Zero Emission Mobility“ aktuell auch verschiedene Leitprojekte und Forschungsprojekte zur Elektromobilität mit einem Volumen von insgesamt sieben Millionen Euro. Damit sollen vor allem marktnahe Lösungen weiterentwickelt und in Demonstratoren erprobt werden (Klima+Energie Fonds 2018).

Frankreich

Elektro- und Hybridfahrzeuge, welche weniger als 20 g/km CO₂ ausstoßen, erhalten eine Bonus-Malus Prämie in Höhe von 6.000 Euro. Beim Kauf eines Fahrzeuges mit einem Ausstoß von 21-60 g/km CO₂ beträgt die Prämie 1.000 Euro. Die Diesel-Abwrackprämie für 11-jährige Dieselfahrzeuge beim Kauf eines neuen BEV beträgt zusätzlich 4.000 Euro, beim PHEV 2.500 Euro. In der Fahrzeugkategorie „L“ (z. B. Vierräder, Motorräder, Roller) beträgt die Kaufprämie 250 Euro pro kWh mit einem Limit von höchstens 1.000 Euro oder 27 Prozent des Kaufpreises. Des Weiteren sind Elektrofahrzeuge von der Kfz-Steuer befreit. Allerdings sind auch Hybridfahrzeuge, die weniger als 100 g/km emittieren, in den ersten Jahren von der Kfz-Steuer befreit. Weitere Maßnahmen sind die Reduzierung

der Mautgebühren und andere lokale Subventionen (European Alternative Fuels Observatory [eafo] 2018b).

Weitere Fördermaßnahmen, um die Elektromobilität zu fördern, sind Steuergutschriften von 30 Prozent für Heimpladestationen oder Subventionen für die Installation von Wohn- und Arbeitsplatzladegeräten. Eine neue Gesetzgebung schreibt vor, dass bei 50 bis 75 Prozent der neuen oder renovierten Parkbuchten Leitungen für Ladestationen zwischen 7 kW und 22 kW vorinstalliert werden müssen. Im gewerblichen Bereich muss dies bis zu 10 Prozent betragen und die Leitungen müssen mindestens 22 kW haben (International Energy Agency [IEA] 2017a).

Niederlande

In den Niederlanden sind Nullemissionsfahrzeuge, d. h. BEV und Brennstoffzellenfahrzeuge, von der Zulassungssteuer befreit. Für andere Fahrzeuge (inkl. PHEV) gibt es bei der Zulassungssteuer ein progressives Stufen-System, welches die Höhe der Steuer bestimmt. (European Alternative Fuels Observatory [eafo] 2018c). Für PHEV gelten beispielsweise folgende Bedingungen

- Level 1: 1–30 g CO₂/km; Preis: 19 Euro pro Gramm CO₂,
- Level 2: 31–50 g CO₂/km; Preis: 85 Euro pro Gramm CO₂,
- Level 3: > 50g CO₂/km; Preis: 282 Euro pro Gramm CO₂.

Für Plug-In-Hybride sollen die Steuervorteile weiter abgebaut werden. Ab 2019 gelten für Plug-In-Hybride die gleichen Regeln wie für Verbrenner (Diewitz 2016).

Des Weiteren sind Elektrofahrzeuge von der Kfz-Steuer befreit. Plug-In-Hybride (< 51 g CO₂/km) bezahlen 50 Prozent der Mautgebühr gegenüber den Verbrennern. Elektrofahrzeuge, die als Dienstwagen und privat genutzt werden, werden mit vier Prozent versteuert. Bei Plug-In-Hybriden liegt der Prozentsatz bei 15 (< 51 g CO₂/km) sowie bei 21 Prozent (51–106 g CO₂/km) (European Alternative Fuels Observatory [eafo] 2018c).

Die Steuervorteile für Elektrofahrzeuge sollen weiter ausgebaut werden, während die Vorteile für PHEV weiter abgebaut werden sollen.

Norwegen

Die norwegische Regierung setzt auf verschiedene Maßnahmen, um den Kauf von Elektrofahrzeugen zu steigern. In Norwegen hängt die Steuer für Verbrenner vom Gewicht und der Emission ab. Für den Kauf von Verbrennern wird eine Mehrwertsteuer von 25 Prozent fällig. Elektrofahrzeuge sind hingegen von beiden Steuern befreit. Für Elektrofahrzeuge ist die Kraftfahrzeugsteuer geringer als für Verbrenner. Die Kraftfahrzeugsteuer beträgt für Verbrenner umgerechnet 300–350 Euro und für Elektrofahrzeuge 45 Euro. Staatliche Fähren transportieren Elektroautos kostenlos und die Mautgebühren entfallen (GOLEM 2017).

Die Steueranreize bleiben zunächst bis 2018 bestehen und werden in den nächsten Jahren überarbeitet und an die Marktsituation angepasst.

Die meisten Elektrofahrzeuge werden nicht in Norwegen produziert, sondern müssen importiert werden. Um einen zusätzlichen Anreiz zu schaffen, sind keine Importsteuern für Elektrofahrzeuge erforderlich. Auch die Ladeinfrastruktur wird in Norwegen gefördert (vgl. Kapitel 5.1.1).

Die Fördermaßnahme „Kostenloses Parken“ für Elektrofahrzeuge galt bis 2016 landesweit. Nun wurde die Fördermaßnahme herabgestuft auf eine lokale, durch Kommunen umzusetzende Maßnahme (International Energy Agency [IEA] 2017a).

Die Brüsseler Behörde European Free Trade Association Surveillance Authority (ESA), welche die Einhaltung der Normen für die Freihandelszone des Europäischen Wirtschaftsraums (EWR) überwacht, hat die Befreiung der Mehrwertsteuer für Elektrofahrzeuge in Norwegen bis 2020 verlängert. Zudem wird die Befreiung der Kfz- und Zulassungssteuer um sechs Jahre verlängert. Auch Fahrzeuge mit Brennstoffzellen werden weiterhin subventioniert. Diese sind sechs Jahre von der Mehrwertsteuer befreit und erhalten weitere Steuervorteile. Eine Überprüfung der Mehrwertsteuerbefreiung soll nach zwei Jahren stattfinden (Koeller 2017a).

5.1.3 Beitrag der Industrie zur Wertschöpfungskette Elektromobilität

Die Strategien und Ziele von Österreich, Frankreich, den Niederlanden und Norwegen berücksichtigen sowohl die ansässigen Industrien als auch deren Wertschöpfungsketten,

die im Folgenden beschrieben werden. Interessant ist, dass alle betrachteten Länder ein unterschiedliches Industrieprofil besitzen. Frankreich kann eine große Automobilindustrie aufweisen, in Österreich werden verstärkt Antriebssysteme entwickelt und hergestellt. Die Niederlande setzen bei der Produktion dagegen den Fokus sehr stark auf elektrische Busse und kleine Lkw, Norwegen hingegen importiert den Großteil seiner Elektrofahrzeuge.

Österreich

In Österreich sind einige Automobilhersteller und -zulieferer ansässig, welche sich mit der Entwicklung von Fahrzeugen und deren Komponenten beschäftigen. Vor allem innovative Antriebsstränge für Elektrofahrzeuge werden in Österreich entwickelt.

Die Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen List (AVL) entwickelt Antriebssysteme sowie die dazugehörige Simulation und Prüftechnik. Das Unternehmen ist weltweit vertreten und hat drei große Geschäftsbereiche. Im Geschäftsbereich „Powertrain Engineering“ werden innovative Antriebsstränge entwickelt. Der Bereich „Instrumentation and Test Systems“ beschäftigt sich mit der Entwicklung von Prüfständen und der Messtechnik für Motoren, Fahrzeuge und Komponenten. Der dritte Bereich „Advanced Simulation Technology“ entwickelt die Simulationssoftware für Motoren und Fahrzeuge (AVL 2018).

Kreisel Electric ist ein österreichisches Unternehmen, welches den elektrischen Antrieb in allen Bereichen der Mobilität integrieren möchte. Das Unternehmen entwickelte die weltweit leichteste und effizienteste Hochleistungsbatterie. In den Bereichen E-Karts, Pkw, Lkw, Busse, Boote und Flugzeuge sowie Stationäre Speicherlösungen ist das Unternehmen in verschiedene Projekte involviert. Die Kernkompetenzen reichen von eigener Batterie-Entwicklung, -Produktion, Integration und Testing, Prototypen und Serienfertigung bis hin zur Software-Entwicklung (Kreisel 2018).

Das Unternehmen Magna Steyr ist ein marktunabhängiger Entwicklungs- und Fertigungspartner der Automobilindustrie. Magna Steyr befasst sich mit den Prozessen der Automobilindustrie, von der Entwicklung zur Produktion, vom Konzept bis zum Fahrzeug. Weiterhin kommt ein Produkt- und Dienstleistungsportfolio für alternative Antriebs- und Energiespeichersysteme sowie Tank- und Türmodule hinzu. Das Spektrum

reicht von Kleinwagen bis zu Nutzfahrzeugen (Magna Steyr 2018). U. a. arbeitet Magna Steyr mit Volkswagen zusammen. So setzt das Unternehmen u. a. Elektro-Lkw der Volkswagen-Tochter MAN ein und fertigte in der Vergangenheit VW-Fahrzeuge im Grazer Magna-Werk, ebenso wie Fahrzeuge von BMW und Daimler (Magna Steyr 2017).

Frankreich

Die französischen Hersteller bringen verschiedene Elektrofahrzeuge unterschiedlicher Kategorien auf den Markt. Die Hersteller entwickeln, vermarkten und verkaufen verschiedene Modelle für den Elektromobilitätsbereich. Die Bandbreite an Elektrofahrzeugen reicht vom Stadtauto bis zum Nutzfahrzeug.

Die Bolloré Gruppe ist in den drei großen Geschäftsfeldern Transport und Logistik, Kommunikation, Energiespeicherungen und Lösung tätig. Das Geschäftsfeld Energiespeicherung und Lösung beschäftigt sich mit dem Thema Elektromobilität. In dem Themenbereich werden Stromspeicherlösungen für den mobilen und stationären Einsatz entwickelt und produziert (Bolloré 2018). Citroën produziert und entwickelt Elektrofahrzeuge vom City Car bis zum Nutzfahrzeug (Citroën 2018).

Peugeot ist ein französischer Fahrzeughersteller der PSA Gruppe, die 2017 Opel und Vauxhall übernahm (Bönnighausen 2017; Koeller 2017b). Mit der Übernahme von Opel ist, gemessen an den Absatzzahlen, der nach Volkswagen zweitgrößte Autokonzern Europas mit einem Marktanteil von rund 17 Prozent entstanden (ak/dpa-afx 2017). Peugeot bietet Elektrofahrzeuge für private und gewerbliche Nutzung an (Peugeot 2018).

Ein weiterer führender französischer Automobilhersteller ist Renault. Seit 2011 bringt Renault verschiedene Elektrofahrzeuge auf den Markt (Renault 2018).

Valeo ist ein französischer Automobilzulieferer. Das französische Unternehmen entwickelt, produziert und vertreibt Komponenten, integrierte Systeme und Module für die Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie. Spezialisiert hat sich Valeo auf die Reduzierung von CO₂-Emissionen (Valeo 2018).

Niederlande

In den Niederlanden sind einige Hersteller für Elektrofahrzeuge und Zulieferer ansässig. Vor allem in den Bereichen

Dienstleistungs- und Nutzfahrzeuge sind hier Unternehmen vertreten. Von einzelnen Komponenten bis hin zum kompletten Fahrzeug entwickeln und verkaufen die Unternehmen ihre Produkte für den Elektromobilitätsbereich.

VDL Bus & Coach hat als Hauptaktivität die Entwicklung, die Produktion und den Verkauf einer breiten Palette von Bussen, Reisebussen, Fahrgestellmodulen sowie den Um- oder Ausbau von Mini- und Midibussen mit dem dazugehörigen After-Sales-Service sowie den An- und Verkauf von Gebrauchtbussen. VDL Bus & Coach besteht aus mehreren Busherstellern, die gemeinsam auf dem Weltmarkt tätig sind. Die Produktion erfolgt in den Niederlanden und Belgien (VDL 2018).

Die Stärke von Spijkstaal liegt in der eigenen Entwicklung, Produktion und Montage von Fahrzeugen kombiniert mit dem exklusiven Vertrieb von Produkten, die von strategischen Partnern entwickelt wurden. Spijkstaal Elektrofahrzeuge eignen sich für diverse Einsatzbereiche in einer Vielzahl von Märkten, u. a. in den Bereichen Großmarkt, Militär, Wirtschaft, Pflegedienst, Luftfahrtindustrie, Paket- und Lieferdienste, Speditionen, Freizeitindustrie, Gastronomie, Gemeindeverwaltung und Automobilindustrie (Spijkstaal 2018).

EBUSCO ist ein Unternehmen, welches sich mit der Entwicklung, Vermarktung und dem Verkauf von vollelektrischen Bussen für den europäischen Markt spezialisiert hat. Bestehende Konstruktionen sind an die europäischen Vorschriften angepasst. EBUSCO ist ein Vorreiter in der Entwicklung des elektrischen Busverkehrs. Zudem erhielt das Unternehmen als erstes in Europa eine vollständige europäische Typenzulassung für einen vollelektrischen Bus (Ebusco 2018).

EMOSS entwirft, entwickelt, produziert und testet innovative elektrische Antriebsstränge und ist in der Lage, jedes Nutzfahrzeug auf Elektroantrieb umzustellen – von Lieferwagen bis zu vollelektrischen Lkws und verlängerten Elektro-Sattelschleppern. EMOSS bietet elektrische Stadtbusse mit einer Kapazität von bis zu 16 Personen (EMOSS 2018).

Das Unternehmen DAF Trucks N.V war eines der ersten, die ein Hybrid-Fahrzeug mit Elektroantrieb für den Verteilerverkehr vorgestellt haben. Es hat seitdem an der Weiterentwicklung eines hybriden oder rein elektrischen Antriebsstrangs weitergearbeitet. Im Frühjahr 2018 hat DAF verkündet, dass es gemeinsam mit dem niederländischen Hersteller VDL auf Basis

des konventionellen DAF CF neue E-Trucks für einen Feldversuch aufbauen wird (Hoffmann 2018).

Norwegen

Norwegen ist vom Import von Elektrofahrzeugen sehr stark abhängig. Ein Automobilhersteller, welcher kleine Elektrofahrzeuge für den Stadtverkehr produziert, ist Buddy Electric. Buddy Electric, früher u. a. bekannt als „Pure Mobility“ und „ElBil Norge AS“, ist der Produzent von Buddy, einem norwegischen Stadt-Elektroauto. Das Unternehmen wurde 1992 gegründet und ist seitdem in der Elektrofahrzeugbranche tätig. Die Elektrofahrzeuge sind 3-Sitzer und sehr sparsam im Verbrauch (Buddy Electric 2018).

5.2 China

5.2.1 Marktentwicklung der Elektromobilität und Status der Ladeinfrastruktur

China entwickelte sich innerhalb kurzer Zeit zum Leitmarkt für Elektromobilität und ist nunmehr der größte Elektromobilitätsmarkt weltweit (Abele 2018b). China ist vor allem in Absatz und Wachstum des Gesamtmarktes führend (Bratzel et al. 2017, S. 20), was in einem bemerkenswert großen Bestand an rein batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugen resultiert, der 2017 knapp unter einer Million lag (Abbildung 16). Zusätzlich kommen noch größere Flotten an Nutzfahrzeugen und Bussen dazu, deren Ausbau in China massiv gefördert wird. In ähnlichen Größenordnungen mithalten können derzeit nur die USA. Zumindest beim Bestand der Plug-In Hybrid-Fahrzeuge lagen die USA 2017 noch vor China. Bis 2020 möchte die chinesische Regierung insgesamt fünf Millionen Elektrofahrzeuge, davon 4,6 Millionen sogenannte Passenger Light Duty Vehicles (PLDV), 0,2 Millionen Busse und 0,2 Millionen Lkw, zusätzlich auf die Straßen bringen (International Energy Agency [IEA] 2018, S. 34).

Bezogen auf den Marktanteil relativieren sich diese Zahlen jedoch wieder (Abbildung 17). Denn hier zeigt sich, dass der Anteil an Elektrofahrzeugen im Verhältnis zum Gesamtfahrzeugbestand in China mit 1,81 Prozent (BEV) bzw. 0,43 Prozent (PHEV) nach wie vor sehr gering ist.

Auch im Bereich der Ladeinfrastruktur ist China führend, denn China hat im internationalen Vergleich den größten Bestand an Ladepunkten (International Energy Agency [IEA] 2018).

Hervorzuheben ist dabei auch der vergleichsweise große Anteil an Schnelllade-Infrastruktur (Abbildung 18).

2016 verfügten weniger als zehn Prozent aller Besitzer von New Energy Vehicles über einen Stellplatz mit Ladesäule. Das Fehlen rentabler Geschäftsmodelle hemmt den Ausbau von Ladestationen an öffentlichen Plätzen. Auch Normen und Standards für Schnellladesysteme befinden sich erst in der Entwicklung (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [GIZ] 2016). Trotz des im Vergleich mit den USA oder Japan weit fortgeschrittenen Ausbaus der Ladeinfrastruktur besteht in deren Bereitstellung nach wie vor eine große Herausforderung für die Elektromobilität in China (Abele 2018c). So leben beispielsweise viele Menschen in China in Hochhauskomplexen ohne eigene Garage mit Stromanschluss (Viehmann 2018). Daher investiert die chinesische Regierung auch weiterhin massiv in den Ausbau der Ladeinfrastruktur. Bis 2020 sollen insgesamt 4,8 Millionen neue Ladepunkte in China entstehen (Eckl-Dorna 2017).

Um den Ausbau der Ladeinfrastruktur voranzutreiben, hat eine Reihe chinesischer Kommunen gemeinsam mit vorwiegend staatlichen Betrieben die Anstrengungen verstärkt, eine Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge aufzubauen sowie großangelegte Forschungsaktivitäten zu Stromnetzkontroll-technologien zu bündeln. In den „Richtlinien für den Ausbau

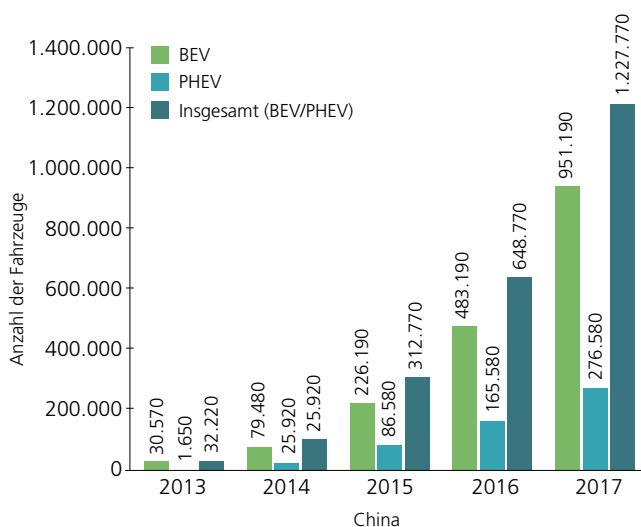


Abbildung 16: Entwicklung des Fahrzeugbestandes von Elektrofahrzeugen (Pkw) in China 2013–2017 (eigene Darstellung, Datenbasis: International Energy Agency [IEA] 2018)

der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge 2015–2020“ der chinesischen Regierung wurde beispielsweise festgeschrieben, dass auf allen Parkplätzen neuer Wohnimmobilien die Möglichkeit zur Installation privater Ladesäulen geschaffen werden muss. Dies soll dazu beitragen, dass bis 2020 mindestens 120.000 öffentlich zugängliche Ladestationen in China zur Verfügung stehen werden (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [GIZ] 2016, S. 7). Ein Ziel, das nunmehr überholt ist.

Mittlerweile wird angestrebt, bis 2020 4,3 Millionen private Ladepunkte und eine halbe Million öffentliche Ladestationen für Pkw, sowie 4.000 Ladestationen für Busse, rund 2.500 Ladestationen für Taxis, 2.500 Ladestationen für Spezialfahrzeuge, circa 2.400 öffentliche Ladestationen in Städten und eine halbe Million öffentliche Ladepunkte und circa 850 Schnellladestationen auf den Schnellstraßen zwischen Großstädten („intercity quick-charge-stations“) einzurichten (International Energy Agency [IEA] 2016b, S. 29).

In China werden mit dem privaten Pkw nur selten größere Entfernungen zwischen Städten oder über Land zurückgelegt. Fahrten mit dem Privatwagen beschränken sich weitgehend auf innerstädtische Fahrten und sind damit vergleichsweise kurz. Die allgemeinen Nachteile von batterieelektrischen Fahrzeugen fallen somit weniger ins Gewicht.

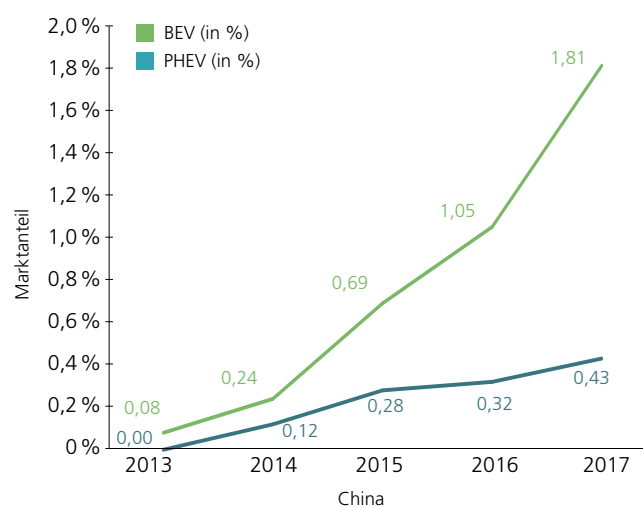


Abbildung 17: Entwicklung des Marktanteils von Elektrofahrzeugen (Pkw) in China 2013–2017 (eigene Darstellung, Datenbasis: International Energy Agency [IEA] 2018)

Nichtsdestotrotz möchte die chinesische Regierung den Aufbau von Ladeinfrastruktur auch für den Fernverkehr fördern, um die Verbreitung von Elektrofahrzeugen in China weiter zu beschleunigen, und tätigt Investitionen in den Aufbau von Schnellladestationen an Autobahnen.

5.2.2 Trends auf dem Markt und bei der Forschung und Entwicklung

Der chinesische Automobilmarkt wird von verschiedenen Trends und Entwicklungen beeinflusst. Aktuelle Trends gehen in Richtung Vernetzung und Automatisierung von Fahrzeugen (Abele 2018c). Diese Trends werden vor allem von den Bemühungen getrieben, nicht nur die Emissionen, sondern auch das Verkehrsaufkommen insgesamt zu reduzieren. Diese technologischen Entwicklungen und Konzepte wie z. B. Car-Sharing können vor allem in Kombination mit Elektrofahrzeugen ihr volles Potenzial in Richtung einer nachhaltigen Mobilität entfalten. Potenziale für kleinere Elektrofahrzeuge ergeben sich daraus, dass in Großstädten Zweitwagen aktuell sehr gefragt sind (Abele 2018c).

Carsharing ist in Verbindung mit der Elektromobilität seit einiger Zeit ein wichtiges Thema in China (Abele 2018c). Nach einer Prognose der Unternehmensberatung Roland Berger wird es bis 2018 in China rund 18.000 Carsharing-Fahrzeuge

geben (Trentman 2015). Diese Anzahl ist allerdings gegenüber einer Verkaufszahl von 18 Millionen Fahrzeugen im Jahr 2014 immer noch sehr gering. Allerdings werde der steigende Bewusstseinswandel bei jüngeren Chinesen und der Mangel an verfügbaren Taxis das Carsharing langfristig immer attraktiver machen. Das bietet auch Geschäftsmöglichkeiten für ausländische Hersteller. Weitere Attraktivität kann das Carsharing durch den Einsatz selbstfahrender Fahrzeuge gewinnen. Dafür gibt es in China großes Potenzial, bedingt durch chinesische Internetkonzerne wie Alibaba, Tencent und Baidu, die mittlerweile in den Sektor der Mobilitätsdienstleistungen eingestiegen sind.

Beispielsweise forscht Alibaba zusammen mit SAIC an autonomen Fahrzeugen. Gemeinsam haben sie kürzlich ein sogenanntes Internet-Car auf den Markt gebracht (Feijter 2016). Dieser Ausdruck ist angelehnt an das Internet of Things, in dem Smartphone, Auto und Zuhause miteinander verbunden sind und sich wechselseitig steuern können. Während das Fahrzeug von SAIC entwickelt wurde, bestand der Anteil von Alibaba in der Entwicklung des Betriebssystems für das Infotainment System im Auto „YunOS for Car“. Dessen verschiedene Features können unterschiedliche Geräte im eigenen Internet of Things steuern wie Fernseher, Klimaanlage, Kühlschrank, Mikrowelle, Spielekonsolen, Smart Watches und Roboterstaubsauger.

Auch die Entwicklung intelligenter Transportsysteme ist derzeit ein Thema auf dem chinesischen Markt. Sie dient dem Ziel, den Verkehr in Chinas schnell wachsenden dichtbesiedelten Stadtgebieten in den nächsten Jahrzehnten besser zu bewältigen. Bereits seit 2013 ist in diesem Thema SAP engagiert (SAP 29.05.2013), die 2017 zusammen mit der Stadt Nanjing auf Basis der SAP-IoT-Plattform und SAP HANA ein intelligentes Verkehrssystem aufsetzen (Taylor 2017). Weiterhin sind an dem Thema verschiedene andere deutsche Zulieferer und OEM beteiligt, darunter Daimler und VW (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau [VDMA] 2017).

Die Integration von Elektrofahrzeugen in die städtische Infrastruktur erfährt eine wachsende Bedeutung in China. Die Verbindung von Elektromobilität mit Smart Grids zu einem Internet of Cars stellt für China eine große Chance dar, sich zum weltweiten Marktführer zu entwickeln. Aus diesem Grund unternimmt das Land große Anstrengungen hinsichtlich der

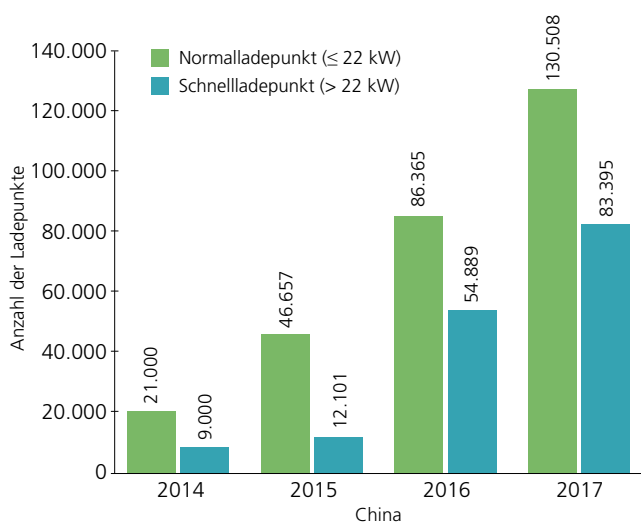


Abbildung 18: Entwicklung des Ausbaus der Ladeinfrastrukturen in China 2014–2017 (eigene Darstellung, Datenbasis: International Energy Agency [IEA] 2018)

Entwicklung einer digitalen Infrastruktur und eines eigenen Telekommunikationsstandards (Meissner und Wübbeke 2016).

5.2.3 Sozio-ökonomische Rahmenbedingungen zur Unterstützung/Förderung der Elektromobilität

Die Volksrepublik China ist eine der größten Volkswirtschaften der Welt (Schmitt 2017). Gleichzeitig hat China auch ein massives Umweltproblem (Flatten 2017), weshalb das Land großes Interesse an der Nutzung erneuerbarer Energien hat. Dies betrifft auch den Verkehrssektor, wo China mit großer Kraft auf den Umstieg in Richtung Elektromobilität drängt. Denn ihr volles Potenzial kann die Elektromobilität erst dann entfalten, wenn der Strom, mit dem die Elektrofahrzeuge geladen werden, aus erneuerbaren Energieträgern gewonnen wird.

Laut einer Studie der Tsinghua Universität (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [GIZ] 2016, S. 8f.) sind die ökologischen Vorteile der Elektromobilität in China noch gering. Dadurch, dass Kohle derzeit und in absehbarer Zukunft einen Großteil der Energie in China erzeugen wird, werden New Energy Vehicles (NEV)⁷ weiterhin mit Kohlestrom geladen. Dies führt dazu, dass durch die Elektromobilität in China derzeit eher eine Verlagerung von Emissionen aus den Städten in die außerstädtischen Gebiete erfolgt, in denen die Kohlekraftwerke stehen, anstatt eine wahre Reduzierung von Emissionen zu erwirken. Eine Senkung von CO₂-Emissionen wird dennoch in geringem Umfang erreicht.

Nach dem derzeitigen Stand der Technik haben NEV in China durch die Verwendung von Kohle als wichtigstem Energieträger eine geringere Energieeffizienz als konventionelle Verbrennerfahrzeuge und verursachen einen höheren Ausstoß von Feinstaub. Hinzu kommen veraltete Produktionsprozesse für Fahrzeuge und Komponenten sowie ineffiziente Kraftwerke, die den Ausstoß von Emissionen zusätzlich erhöhen und die ökologischen Vorteile der Elektromobilität in China noch begrenzen (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [GIZ] 2016, S. 9).

Der mit dem wachsenden Wohlstand der chinesischen Bevölkerung verbundene Wunsch nach dem eigenen Fahrzeug

und die stark ansteigende Motorisierung und die wachsenden Fahrzeugzahlen in China führten zu einem Anstieg an Luftverschmutzung und Treibhausgasemissionen, verursacht durch den Verkehrssektor, der insbesondere in größeren Städten die Grenzen des Erträglichen erreicht bzw. überschritten hat. Im Jahr 2014 betrug der Ausstoß von Treibhausgasemissionen durch den Verkehrssektor 989 Millionen Tonnen. Laut Prognosen wird dieser sich bis 2030 verdoppeln (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [GIZ] 2016). Damit einhergehend wächst in China die Abhängigkeit von Erdölimporten zur Sicherstellung der Kraftstoffversorgung für den Fahrzeugmarkt.

Seit 2009 ist China der weltweit größte und dynamischste Fahrzeugmarkt und der Trend geht klar zu weiterem Wachstum. Ohne Elektromobilität – verbunden mit einer Reform des Energiesystems – kann diese Entwicklung in ökologisch und sozial verträglicher Weise nicht vonstatten gehen (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [GIZ] 2016).

Die chinesische Bevölkerung fordert zunehmend mehr Umwelt- und Klimaschutz ein (Ankerbrand 2015; tagesschau.de 2018) und erhöht so zusätzlich den Druck auf die Regierung, auf diesem Gebiet tätig zu werden.

5.2.4 Rechtliche und politische Rahmenbedingungen zur Förderung der Elektromobilität

Nationale Strategien und Ziele

China verfolgt das Ziel, die Elektromobilität voranzubringen, um damit vor allem die einheimische Wirtschaft zu stärken, denn Elektromobilität wird als wichtiges industriepolitisches Thema verstanden (Wolter und Scherf 2016, S. 53). Durch „Leapfrogging“⁸ im Bereich der Elektrofahrzeuge sollte der technische Rückstand chinesischer Hersteller gegenüber ausländischen Herstellern bei Verbrennerfahrzeugen wettgemacht werden (Wolter und Scherf 2016, S. 53). Der Staat hat somit sehr großen Einfluss auf die Entwicklungen der Elektromobilität und fördert diese nicht nur durch entsprechende Förderprogramme. Fahrzeughersteller wie BAIC sind staatliche

7 Mit diesem Sammelbegriff werden in China sowohl batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge als auch Fahrzeuge mit Plug-In-Hybridantrieb oder Brennstoffzellenfahrzeuge bezeichnet.

8 Mit Leapfrogging wird sinngemäß das Überspringen bzw. Auslassen eines gegenwärtig am Markt erhältlichen Produkts bezeichnet. Stattdessen wird die Innovationskraft auf zukünftige Produktgenerationen gerichtet, um dort frühzeitig einen Marktvorteil zu erlangen (vgl. Kirchgeorg et al. 2018).

Unternehmen (Fasse 2018), weshalb der Staat auch großen, direkten Einfluss auf die Produktion von Elektrofahrzeugen – und den Wettbewerb – hat.

Industriepolitisch bildet die Elektromobilität einen zentralen Bestandteil der langfristigen Strategie Chinas, die heimische Automobilindustrie zu stärken und chinesische Marken als Hochqualitätsprodukte auf dem globalen Markt zu etablieren. Nach Präsident Xi Jinping möchte China mit Hilfe der Elektromobilität die Entwicklung zu einer „starken Autonation“ bewältigen, deren Automobilmarkt durch hohe Verkaufszahlen, insbesondere aber auch durch eigene Innovationen und heimische Wertschöpfung bestimmt ist (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [GIZ] 2016).

Anstatt den Rückstand Chinas hinsichtlich traditioneller Verbrennertechnologien gegenüber westlichen Industrienationen aufzuholen, setzt man den Fokus auf „New Energy Vehicle“-Technologien. China strebt an, in diesen Bereichen schnell Expertenwissen aufzubauen und sich somit einen Wettbewerbsvorsprung auf dem globalen Markt zu verschaffen. So erklärte die chinesische Regierung die NEV-Industrie als eine der sieben neuen Schlüsselmärkte und definierte bereits 2011 135 verschiedene Fahrzeugmodelle als NEV (Doraczynska und Bierau 2014).

Eine zentrale Rolle dabei spielt der im Mai 2015 vom Staatsrat veröffentlichte nationale Entwicklungsplan „Made in China 2025“, in dem ambitionierte Ziele für die chinesische Automobilindustrie vorgegeben werden: 2020 sollen insgesamt fünf Prozent des Kfz-Absatzes NEV stellen. Damit dürfte der Verkauf zwei Millionen erreichen. Bis 2025 könnte der Anteil auf mindestens 20 Prozent steigen. Dabei müssen die Fahrzeuge zu 70 Prozent aus chinesischer Produktion stammen. (Abele 2018c).

Darüber hinaus wird ein Zeitplan für den Komplettausstieg aus Verbrennungsmotoren diskutiert, welcher bislang jedoch noch nicht offiziell feststeht (Abele 2018c). Bis 2030 soll der Anteil der NEV an den verkauften Fahrzeugen in China 40 bis 50 Prozent betragen (International Energy Agency [IEA] 2018, S. 34). Dass der Komplettausstieg erfolgen soll, darüber gibt es auch bei den Automobilherstellern keine Zweifel (Abele 2018a).

In ihrem Bestreben, sich unabhängig von ausländischem Know-how und ausländischen Produkten zu machen und

heimische Hersteller und Produkte zu stärken, unternimmt die chinesische Regierung verschiedene Maßnahmen.

Vor allem mit ihren verkündeten Plänen zur Einführung einer E-Auto-Quote geht sie einen großen Schritt weiter. Hersteller, die ausschließlich oder überwiegend Elektrofahrzeuge produzieren, werden dadurch bevorzugt. Zukünftig soll es für Automobilhersteller zur Pflicht werden, für jedes in China verkaufte Fahrzeug Kreditpunkte zu sammeln. Die erzielte Punktzahl muss hierbei mindestens zehn Prozent (ab 2020: 12 Prozent) seines produzierten Kfz-Volumens entsprechen. Wird diese Quote nicht erfüllt, müssen sie alternativ auch Punkte von anderen Herstellern abkaufen oder eine Strafe zahlen (Abele 2018a). Dabei bringt nach Faustformel jedes batterieelektrische Fahrzeug vier Kreditpunkte und jeder Plug-in-Hybrid zwei Punkte ein. Auch Fahrzeuge mit längerer Reichweite bringen zusätzliche Punkte (Abele 2017). Ursprünglich sollte die Quotenregelung bereits ab 2018 gültig sein. Nach Protesten der in- und ausländischen Automobilindustrie hat die chinesische Regierung die Einführung der Quote allerdings auf 2019 verschoben (Abele 2017). Sie gilt dann für alle Hersteller ebenso wie für Importeure, die mehr als 30.000 Fahrzeuge pro Jahr produzieren. Um die Verkäufe von Pkw mit Verbrennungsmotoren aufrechterhalten zu können, müssen daher auch deutsche Hersteller künftig vermehrt NEV herstellen (Abele 2018b).

Innerhalb der nächsten fünf Jahre will die chinesische Regierung außerdem alle Investitionsbeschränkungen im Automobilbau aufheben. Damit setzt China stärker als bisher auf den Wettbewerb mit dem Ziel, an die internationale Weltspitze zu fahren (Abele 2018d).

In China herrschte lange Zeit für ausländische Unternehmen ein Joint-Venture-Zwang (Abele 2018a). Ausländische Unternehmen durften nicht allein auf dem Markt aktiv werden und im Rahmen des zuvor erwähnten Planes „Made in China 2025“ treibt die Regierung somit den Aufbau einer vollständigen NEV-Wertschöpfungskette mit hohen inländischen Marktanteilen voran (Abele 2018b). Im April 2018 kündigte die chinesische Regierung an, den Joint-Venture-Zwang für Fahrzeughersteller aufzuheben, zunächst nur für Hersteller von Elektrofahrzeugen und Plug-In-Hybriden, ab 2020 auch für nicht elektrifizierte Nutzfahrzeuge und ab 2022 für nicht elektrifizierte Pkw (Werwitzke 2018b). Auch die Importzölle sollen in diesem Zusammenhang gesenkt werden (Werwitzke 2018b). Erwartet wird u. a., dass einheimische Hersteller

gezwungen sein werden, ihre eigene Position schneller zu stärken und nicht mehr länger auf starke Partner in Joint Ventures bauen können. Als Risiko wird aber ebenfalls gesehen, dass ausländische Hersteller innerhalb der nächsten zehn Jahre komplett unabhängig sein können und so ihre Position gegenüber chinesischen Herstellern ausbauen können (Bloomberg Hyperdrive 2018).

Fördermaßnahmen der Regierung und Initiativen anderer Akteure

Das Wachstum des NEV-Marktes resultiert aus einer deutlichen Steigerung von sowohl Produktion als auch Verkauf von NEV und ist ebenfalls eine Folge der Fördermaßnahmen als Kombination aus fiskalischen und ordnungspolitischen Instrumenten sowie steigenden Fahrzeugangeboten der Hersteller. Um ihre Ziele zum Ausbau der Elektromobilität zu erreichen, fördert die chinesische Regierung seit 2009 sowohl über Forschungs- und Entwicklungsförderprogramme den technologischen Fortschritt im Bereich New Energy Vehicles als auch über umfassende Subventionen und Initiativen das Marktwachstum in China.

Im Jahr 2015 investierte die Regierung circa zehn Milliarden Euro für die Förderung von Forschung und Entwicklung an Universitäten, in Forschungseinrichtungen und für Fahrzeughersteller sowie für den Aufbau der Ladeinfrastruktur und den Absatz von NEV über Kaufanreize (econet china 2015).

Parallel dazu wurde eine Reihe restriktiver Maßnahmen für den Betrieb konventioneller Benzin- und Dieselfahrzeuge erlassen, z. B. in Form von Fahrverboten an bestimmten Tagen oder in bestimmten Bezirken.

Einen großen Anreiz für die Anschaffung eines NEV stellen die Zulassungsbedingungen für Neufahrzeuge dar. In Shanghai werden pro Jahr nur wenige tausend Pkw-Kennzeichen versteigert und dafür hohe Summen bis zu umgerechnet 10.000 Euro verlangt. Für NEV werden Nummernschilder hingegen direkt vergeben (AHK Delegations of German Industry and Commerce, German Industry and Commerce Co. Ltd 2015a).

Einen großen Anreiz stellen auch die vergleichsweise hohen Subventionen für den Kauf eines NEV dar. Abhängig von der elektrischen Reichweite des Fahrzeugs betrug die Höhe des staatlichen Kaufzuschusses 2016 umgerechnet etwa bis zu 7.500 Euro (International Energy Agency [IEA], 2017b, S. 333).

Dazu kommen häufig lokale Subventionen, die die Fördersumme bis auf das Doppelte erhöhen können (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [GIZ] 2016). Bei einem durchschnittlichen Kaufpreis von umgerechnet 35.000 Euro für ein batterieelektrisches Fahrzeug in China werden dem Käufer demnach nahezu 50 Prozent der Kosten vom Staat erstattet. Diese Zuschüsse werden allerdings in der Regel nur für den Kauf chinesischer NEV-Modelle gewährt.

Zwischen 2009 und 2015 hat die chinesische Regierung knapp 4,5 Milliarden Euro für Kaufzuschüsse ausgegeben. Nun sollen die Kaufprämien sukzessive abgebaut werden und bis 2020 auf 40 Prozent des Niveaus von 2016 absinken. 2017 wurde die Anreiz-Politik außerdem modifiziert und ein Bonus-Malus-Mechanismus integriert (International Energy Agency [IEA] 2017b, S. 332). 2018 wurden die Subventionen etwa dahingehend angepasst, dass Elektro-Pkw mit einer Reichweite von weniger als 150 Kilometer gar keine Subventionen mehr erhalten. Mit weniger als 300 Kilometer erhalten sie eine abgestufte Subvention. Bei Fahrzeugen mit größerer Reichweite (400 Kilometer und mehr) hingegen wird der Kaufzuschuss auf umgerechnet 6.445 Euro hochgesetzt (Bönnighausen 2018d). Damit sollen Fahrzeuge mit großer Batteriekapazität und Reichweite und somit fortschrittlichere und nachhaltigere Technologien gefördert werden.

5.2.5 Beitrag der Industrie zur Wertschöpfungskette Elektromobilität

Der chinesische Markt ist aufgrund seines gewaltigen Marktpotenzials zwar für Automobilhersteller attraktiv. Aufgrund der stark auf die Förderung chinesischer Unternehmen fokussierten Politik (vgl. Kapitel 5.2.4) ist er für ausländische Automobilhersteller bislang allerdings nur schwer zugänglich gewesen.

China wird als ein Produktionsstandort für Elektromobilität angesehen, der auch die komplette Wertschöpfungskette abbilden kann (Abele 2018a). Hervorzuheben ist in China daher vor allem die enorm starke Produktion an Elektrofahrzeugen. So wurden im letzten Jahr 592.000 NEV produziert (CAAM o. J.). Vor allem einheimische Hersteller, wie z. B. BYD Auto, Chinas Branchenführer und Chinas zweitgrößter Batteriehersteller (Abele 2018a) oder BAIC BJEV, beherrschen dabei aufgrund der zuvor geschilderten Rahmenbedingungen den Markt. 2017 betrug der Anteil ausländischer Hersteller an den verkauften Autos in China nur rund vier Prozent (Abele 2018c).

In Hinblick auf die gesamte Wertschöpfungskette strebt die chinesische Regierung folgende Ziele an: Bis 2020 soll der Anteil aus heimischer Produktion bei Batterien, Elektromotoren und Kernkomponenten für den Elektroantrieb 80 Prozent betragen und bei Elektromotorensteuerung mindestens 20 Prozent (Abele 2018a).

2014 gab es in China insgesamt mehr als 100 Fahrzeughersteller und fast 8.000 Hersteller von Fahrzeugkomponenten und -systemen. Diese sind vorwiegend in Süd-, Ost-, Nordost- und Zentralchina angesiedelt. Die größten Fahrzeughersteller wie FAW, Dongfeng und Changan sind in Staatsbesitz oder gehören Lokalregierungen (z. B. SAIC, BAIC, Chery und die Guangzhou Automotive Group) (Doraczynska und Bierau 2014). Der große Anteil der staatlichen Unternehmen ist darin begründet, dass private Unternehmen im Vergleich dazu oft große Hürden zu bewältigen haben, um sich auf dem chinesischen Markt zu etablieren. So ist beispielsweise von Regierungsseite eine Kooperation zwischen Universitäten und Forschungsinstituten nur staatlichen Unternehmen gestattet.

Die Bestrebungen der chinesischen Regierung bestehen darin, innerhalb der Automobilindustrie Allianzen für die ganze Elektromobilitätsindustrie zu bilden. Aus diesem Grund wurde die branchenübergreifende „State-owned Enterprise Electric Vehicle Industry Alliance“ (SEVIA) im Jahr 2010 von der „State-owned assets supervision and administration commission of the state council“ (SASAC) gegründet. SEVIA zielt darauf ab, chinesische staatliche Unternehmen aus den Sektoren Automobil-, Batterie- und Elektro-Industrie, Ladeinfrastruktur, Grundstückerschließung und Produktion in einer Non-Profit-Organisation zu vereinen, um zum einen Regulierung und Vereinheitlichung relevanter Technologiestandards im Bereich Elektromobilität voranzubringen und die harmonische Entwicklung von Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette zu koordinieren und zum anderen die Entwicklung der NEV-Industrie zu leiten und die internationale Wettbewerbsfähigkeit chinesischer Unternehmen im Automobilbereich zu stärken (Standards Portal 2011).

Um die Kontrolle in der Automobilindustrie weiter auszubauen, sieht die chinesische Regierung darüber hinaus vor, im Laufe der nächsten Jahre die Anzahl der staatlichen OEM auf zehn zu reduzieren, indem Pflichtallianzen zwischen Fahrzeugherstellern und Zulieferunternehmen gebildet werden, die nach und nach durch den Kauf weiterer kleinerer Unter-

nehmen vergrößert werden. Mit Hilfe dieser Strategie soll erreicht werden, dass nur noch einzelne private Unternehmen außerhalb der großen Industriekonglomerate existieren (Liu und Kokko 2013).

Bislang blieb die Strategie der chinesischen Regierung, die Zahl der Kfz-Hersteller zu reduzieren, allerdings ohne Erfolg (Abele 2018b). Inwiefern sich die in Kapitel 5.2.4 erwähnten Bemühungen zur Öffnung des Marktes für ausländische Hersteller hierauf auswirken, ist derzeit unklar.

Getrieben durch die Nachfrage nach NEV und Energiespeichern wird dem Batteriesektor in China ein Wachstum von mehr als acht Prozent über die kommenden Jahre prognostiziert (Sino Market Insight 2014). Die wachsende Bedeutung der Batterieindustrie spiegelt sich in den Maßnahmen und Investitionen wider, die die chinesische Regierung und einzelne Lokalregierungen in die Forschung und den Aufbau von Know-how im Bereich Batterietechnologien leisten. Diese Bemühungen werden auch im internationalen Kontext über die Anzahl wissenschaftlicher Publikationen sichtbar, die mit 18,4 Prozent der Veröffentlichungen im Bereich der Batterieforschung weltweit im Jahr 2010 bereits an zweiter Stelle hinter den USA mit 28,5 Prozent lagen (Doraczynska und Bierau 2014).

Der schnelle technologische Fortschritt hat China besonders im Bereich der batterieelektrischen Busse in eine führende Position auf dem Weltmarkt gebracht. Leitende Firmen sind dabei BYD, Yutong, Zhongtong, Ankai und King Long. Dabei führt insbesondere BYD den Weltmarkt an und vermarktet seine Produkte bereits seit 2015 in Asien, Europa, den USA und Südamerika. Der BYD ebus ist ein rein batterieelektrisches Modell und der weltweit erste mit einem Lithium-Eisenphosphat-Akkumulator (Weckbrodt 2015). Auch in Europa wird dieses Modell im öffentlichen Straßenverkehr eingesetzt, beispielsweise seit März 2016 im Liniendienst der Londoner Verkehrsbetriebe (Werwitzke 2017; Bönnighausen 2018c).

5.3 Japan

5.3.1 Marktentwicklung der Elektromobilität und Status der Ladeinfrastruktur

Japan gilt als Pionier hinsichtlich alternativer Antriebssysteme und hat einen der weitentwickeltesten Märkte im Bereich der

Elektromobilität. In Japan steht aber vor allem der Markt für Hybridfahrzeuge im Vordergrund, dieser ist der größte weltweit. Dies ist vor allem dem großen Erfolg des Toyota Prius zu verdanken, der bereits 1997 auf den Markt kam (Scherf und Wolter 2016, S. 37). Japanische Automobilhersteller versuchen jetzt, den technologischen Vorsprung im Bereich der Hybridfahrzeuge auf den Bereich der Elektrofahrzeuge insgesamt auszudehnen (Bierau et al. 2015, S. 10). Wenn durch Anstrengungen und Investitionen in Forschung und Entwicklung der japanischen Hersteller die Technologie ausgereifter und die Produktion günstiger geworden sind, werden die rein batterieelektrischen Fahrzeuge bzw. Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge zukünftig das zweite Standbein ihrer Produktion sein (Maurer 2018b).

Die Nachfrage nach Hybridfahrzeugen ist aktuell höher als nach BEV, was vor allem mit dem hohen Wertverlust bei BEV im ersten Jahr erklärt wird (Maurer 2018b). Dennoch steigt der Fahrzeugbestand an BEV ebenso wie PHEV stetig an (Abbildung 19). Das lässt sich dadurch erklären, dass Elektrofahrzeuge in Japan eine verhältnismäßig lange „Tradition“ haben. Der Marktanteil an BEV bzw. PHEV ist allerdings relativ gering (Abbildung 20).

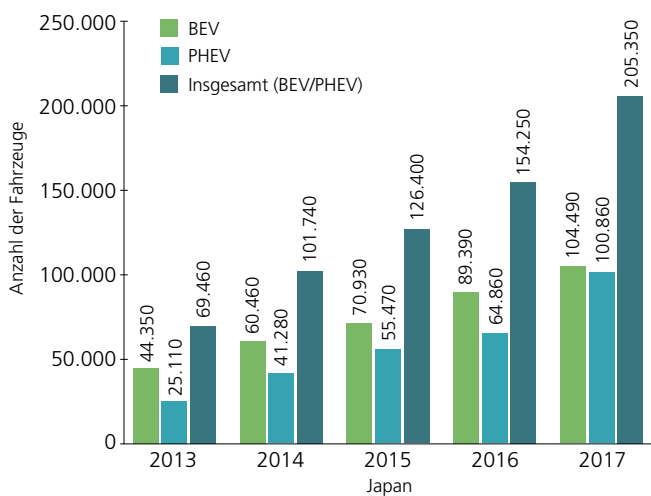


Abbildung 19: Entwicklung des Fahrzeugbestandes von Elektrofahrzeugen (Pkw) in Japan 2013–2017 (eigene Darstellung, Datenbasis: International Energy Agency [IEA] 2018 Global EV Outlook 2018)

Der japanische Markt für Elektrofahrzeuge wird stark von einheimischen Herstellern dominiert (Bierau et al. 2015, S. 11). Unter den Top Fünf der meistverkauften Elektrofahrzeuge finden sich demnach nur Fahrzeuge von Toyota, Nissan und Honda, wovon bis auf den Nissan Leaf und den Toyota Prius alle Hybridfahrzeuge sind (Maurer 2018b). Darüber hinaus zeigt sich, dass sich japanische Automobilhersteller mit der Überarbeitung der bestehenden Modelle und der Ausweitung der Modelpalette begnügen (Bernhart et al. 2017, S. 11).⁹ Die Kaufpreise für Modelle japanischer Hersteller liegen zum Teil deutlich unter denen ausländischer Hersteller (International Energy Agency [IEA] 2016c, S. 322).

Ein wichtiges Thema für den japanischen Markt ist die Mikromobilität bzw. die Nutzung von Kleinstfahrzeugen („Kei-Cars“) (Bauer et al. 2018, S. 47). Der Bedarf hierzu ergibt sich aus der hohen Urbanisierungsrate und dem Platzmangel. Deshalb eignen sich Kei-Cars besonders für die japanischen Bedingungen. Ein Beispiel für ein Kei-Car ist der Mitsubishi i-MiEV. Das Thema Mikromobilität betrifft auch die Klasse der Light Electric Vehicles, wie z. B. Lastenfahräder oder Pedelacs, mit denen vor allem das Problem der „letzten Meile“, also der

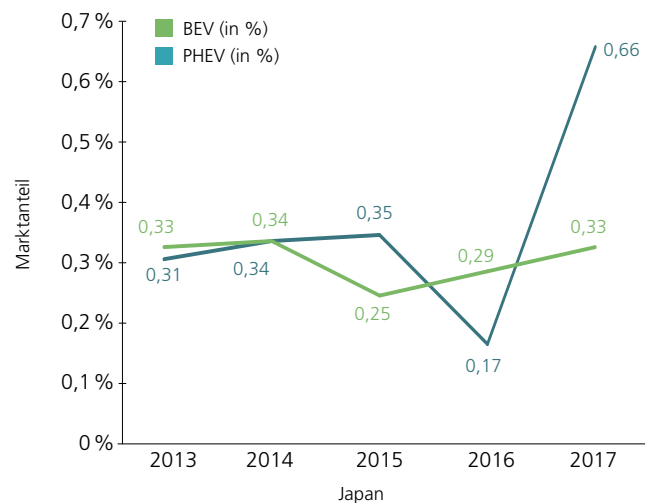


Abbildung 20: Entwicklung des Marktanteils von Elektrofahrzeugen (Pkw) in Japan 2013–2017 (eigene Darstellung, Datenbasis: International Energy Agency [IEA] 2018)

⁹ Als eine Art „Sonderfall“ ist das Vorhaben von Honda zu werten, die 2017 verstärkt in den BEV/PHEV-Markt einsteigen wollten und dazu BEV bzw. PHEV-Versionen des Honda Clarity mit Brennstoffzelle herausbringen wollten (Reuters 2017).

Feinverteilung in der Güter- oder Personenlogistik, adressiert wird.

Die Abbildung 21 gibt einen Überblick zum Ausbau der Ladeinfrastruktur in Japan. Japan fährt beim Ausbau der Ladeinfrastruktur einen anderen Ansatz als beispielsweise Deutschland (vgl. Kapitel 5.1.1). So wird das Staatsgebiet Japans in 10 x 10 Kilometer große Flächen eingeteilt und je nach Urbanisierungsgrad sind hier 10 bis 80 Normal- und Schnelladesäulen vorgesehen (Bauer et al. 2018, S. 46). Infrastruktur- und Energieversorgung spielen eine wichtige Rolle bei der Verbreitung der Elektromobilität in Japan, vor allem vor dem Hintergrund der Versorgungssicherheit. In den kommenden Jahren sollen die gesamte Energieinfrastruktur evaluiert und die Einbindung von Elektrofahrzeugen in die Energiespeicherung stärker fokussiert werden (Maurer 2018c). Der Bedarf daran wird verständlich, wenn man sich das Bewusstsein der japanischen Bevölkerung Naturkatastrophen wie Erdbeben oder Tsunamis für Augen hält. Elektrofahrzeuge bieten vor diesem Hintergrund eine gute Möglichkeit, auch bei einem Zusammenbruch der Energieversorgung zumindest temporär eine lokale Energieversorgung sicherzustellen.

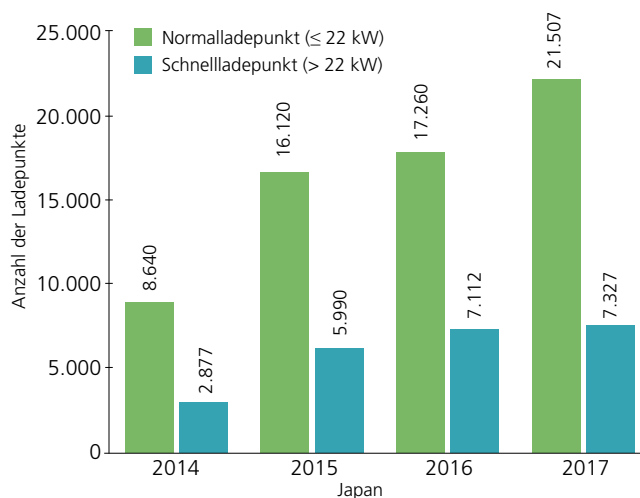


Abbildung 21: Entwicklung des Ausbaus der Ladeinfrastrukturen in Japan 2014–2017 (eigene Darstellung, Datenbasis: International Energy Agency [IEA] 2018 Global EV Outlook 2018)

Die japanische Regierung förderte den Ladeinfrastrukturausbau mit einem nationalen Subventionsprogramm bis Ende 2016 mit umgerechnet 407 Millionen Euro. Zukünftig soll sich vermehrt auf den Ausbau privater Ladeinfrastruktur fokussiert werden, wobei Immobilienentwickler dies bereits heute in ihren Planungen mitdenken (Maurer 2018c). Darüber hinaus plant die Regierung, die Bestimmungen für den Betrieb von Tankstellen zu ändern, damit auch diese Ladestationen für Elektrofahrzeuge einrichten dürfen (Maurer 2018c).

Der Ausbau der Ladeinfrastruktur wird in Japan stark von privaten Unternehmen vorangetrieben. So haben sich beispielsweise die Toyota Motor Corporation, die Nissan Motor Co., Ltd., die Honda Motor Co., Ltd. und die Mitsubishi Motors Corporation zusammengeschlossen und 2014 ein neues Unternehmen, die Nippon Charge Service, LLC, gegründet, um den Ausbau der Ladeinfrastruktur in Japan voranzutreiben. Außerdem soll die Nutzung für Fahrer durch die Verwendung einer einheitlichen Tankkarte erleichtert werden. Schon vorher haben diese Unternehmen den Ausbau der Ladeinfrastruktur finanziell unterstützt (Nissan Motor Corporation 2014; International Energy Agency [IEA] 2017b, S. 341).

Um den japanischen Schnelllade-Standard CHAdeMO zu fördern, wurde das CHAdeMO-Konsortium gegründet. Seine Mitglieder sind u. a. Mitsubishi Motors, Nissan, Fuji Heavy Industries (Subaru), TEPCO und Toyota. Auch ausländische Unternehmen können dem Konsortium gegen eine geringe Gebühr beitreten. Von deutscher Seite sind beispielsweise das Technologietransferzentrum-Elektromobilität und die Siemens AG assoziierte Mitglieder (CHAdeMO 2017). 2018 aktualisierte das Konsortium das Protokoll auf Version 2.0, womit auch Ladeleistungen von bis zu 400 kW möglich sind. Damit wird der Weg für Schnellladungen großer E-Nutzfahrzeuge wie Busse oder Lkw bereitet (Koeller 2018).

Zusammen mit China formt Japan darüber hinaus einen Ladestandard für ultraschnelles Laden bis zu 500 kW, welcher bis 2020 fertiggestellt sein soll (Bönnighausen 2018e). Der Standard soll weiterhin abwärtskompatibel zu bestehenden CHAdeMO (Japan)- und GB/T (China)-Standards sein (CHAdeMO 2018).

Der globale Marktwert für Schnellladetechnologien betrug nach einer aktuellen Studie des Yano Research Instituts bis Ende 2015 umgerechnet 141 Millionen Euro und wird bis

Ende 2020 135 Millionen Euro betragen (Bierau et al. 2013, S. 75). Neben der Verwendung von Plug-In-Ladesystemen arbeiten einige Unternehmen in Japan auch an kabellosen Ladesystemen. Hier sind vor allem Denso und Nissan zu nennen, die in Pilotprojekten engagiert sind (Bierau et al. 2015, S. 8).

Anfang 2017 erneuerte Nissan sein Engagement hinsichtlich kabelloser Ladetechnologien durch eine Kooperation mit dem amerikanischen Hersteller WiTricity. Mit dieser Kooperation möchte Nissan eine Interoperabilität mit verschiedenen Ladestandards gewährleisten (Electric Cars Report 2017). Um Fahrzeuge auch während der Fahrt laden zu können, kooperiert die Renault-Nissan-Mitsubishi-Allianz außerdem mit dem israelischen Hersteller ElectReon Wireless (Werwitzke 2018d).

5.3.2 Sozio-ökonomische Rahmenbedingungen zur Unterstützung/Förderung der Elektromobilität

Die Marktentwicklung für Elektromobilität in Japan wird durch verschiedene Faktoren begünstigt. So verfügt Japan seit langem über ausgeprägte Erfahrungen im Bereich der Lithium-Ionen-Batterietechnologie, da bereits Anfang der neunziger Jahre Batterien für kleinere Elektrogeräte von japanischen Herstellern auf den Markt gebracht wurden. Das Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) führte darauf aufbauend ein umfangreiches Förderprogramm zur Erforschung von Traktionsbatterien auf Basis der Lithium-Ionen-Technologie (Scherf und Wolter 2016, S. 36) ein.

Zudem sind auch die gesellschaftlichen Voraussetzungen für die Entwicklung des Elektromobilitätsmarktes gegeben. So zeichnen sich die Japaner sowohl durch ein hohes Umweltbewusstsein als auch eine hohe Technikaffinität und Aufgeschlossenheit gegenüber neuen Technologien aus (Bierau et al. 2013, S. 23f.). Außerdem existiert in Japan ein gut ausgebautes Schnellbahnnetz, sodass die Nachteile der kürzeren Reichweite von Elektrofahrzeugen nicht so sehr ins Gewicht fallen (Bierau et al. 2013, S. 23). Die Japanerinnen und Japaner fahren aufgrund dieses gut ausgebauten und zuverlässigen Fernbahnnetzes und der hohen Mautgebühren auf Autobahnen eher Kurzstrecken. Dies gilt vor allem in ländlichen Regionen, da in den Großstädten der Großteil der Bewohnerinnen und Bewohner kein eigenes Auto hat (Maurer 2018a).

Da Japan über keine nennenswerten eigenen Ressourcen verfügt, ist die japanische Regierung bereits seit längerem bestrebt, die Importabhängigkeit von Erdöl zu reduzieren und

hat daher schon früh begonnen, alternative Treibstoffe zu fördern (Scherf und Wolter 2016, S. 36).

Ein weiterer Faktor ist außerdem die starke Automobilindustrie Japans, denn Japan ist einer der größten Produzenten von Personenkraftwagen weltweit. Die Besonderheit liegt darin, dass die japanischen Automobilhersteller die Produktion umweltfreundlicher Fahrzeuge, sowohl von batterieelektrischen und Plug-In-Hybridfahrzeugen als auch von Fahrzeugen mit Bio-Diesel und Brennstoffzellen, selbst aktiv stark vorantreiben (International Energy Agency [IEA] und OECD 2016, S. 50). Bislang standen vor allem Hybridfahrzeuge und weniger BEV bzw. PHEV im Fokus des Marktes. Durch die Einführung der strikten Quoten für Elektrofahrzeuge in China, dem größten Absatzmarkt japanischer Automobilhersteller, sehen sich diese gezwungen, sich stärker auf die Entwicklung und Produktion von BEV und PHEV zu konzentrieren (Maurer 2018a).

5.3.3 Rechtliche und politische Rahmenbedingungen zur Unterstützung/Förderung der Elektromobilität

Die Elektromobilität hat ein großes Potenzial in Japan und wird seit Jahren politisch unterstützt (Scherf und Wolter 2016, S. 36). Bereits seit den achtziger Jahren erzeugen ambitionierte Ziele im Bereich der Reduzierung von CO₂-Emissionen zusätzlichen Handlungsdruck.

Seit 1976 sind Richtlinien zum Kraftstoffverbrauch von Fahrzeugen Bestandteil des Energiespargesetzes. Ende der achtziger Jahre führte Japan die ersten Emissionsstandards für Straßenfahrzeuge ein. Im Laufe der Zeit wurden diese mehrfach überarbeitet und an weitere Fahrzeugklassen (seit 2006 z. B. auch für schwere Fahrzeugklassen) und Zielwerte angepasst (International Energy Agency [IEA] o. J.). Der 2008 aufgelegte „Low Carbon Technology Plan“ sieht bis 2050 eine Verringerung der CO₂-Emissionen um 60 bis 80 Prozent vor, wobei eine Verringerung um 25 Prozent gegenüber dem Niveau von 1990 bereits 2020 erreicht werden soll (Bierau et al. 2013, S. 87f.).

Um diese Werte erreichen und diesen Wandel umsetzen zu können, ist der Einsatz von Elektromobilität erforderlich. 2010 verabschiedete die japanische Regierung den „Next Generation Vehicle Plan“ (NGVP) mit dem Ziel, dass bis 2020 20 bis 50 Prozent und bis 2030 50 bis 70 Prozent der neu verkauften Fahrzeuge „Next Generation Vehicles“ sein sollen, um den

CO₂-Ausstoß zu reduzieren. Dies umfasst sowohl Hybridfahrzeuge, BEV, PHEV, aber auch Fuel Cell Electric Vehicles (FCEV) und Fahrzeuge mit sauberer Dieseltechnologie (Clean Diesel, CDV). Aufgeschlüsselt bedeutet dies, dass 15 bis 20 Prozent aller neu verkauften Fahrzeuge Elektrofahrzeuge oder Plug-In-Hybride sein sollen, 2030 sogar 20 bis 30 Prozent (Ministry of Economy, Trade and Industry [METI] 2010). Darüber hinaus zielte der Plan auf eine Verbesserung der Ladeinfrastruktur ab und gab als Ziel vor, bis 2020 zwei Millionen Standardladestationen und 5.000 Schnellladestationen einzurichten (International Energy Agency [IEA] 2016b, S. 30).

Mit der 2015 überarbeiteten „Japan Revitalization Strategy“ wurden die Ziele des NGVP modifiziert. Das ursprüngliche Ziel, dass bis 2020 15 bis 20 Prozent aller neu verkauften Fahrzeuge Elektrofahrzeuge sein sollen, wurde ersetzt durch das Ziel, bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge in Japan zu haben (Ministry of Economy, Trade and Industry [METI] 2016; International Energy Agency [IEA] 2017b, S. 340).

Die japanische Regierung fördert die Verbreitung der Elektromobilität durch eine Reihe von verschiedenen Maßnahmen wie z. B. Kaufprämien und Steueranreize (International Energy Agency [IEA] 2016b, S. 13). Einige dieser Maßnahmen laufen bereits seit längerer Zeit.

Im Rahmen des seit 2009 laufenden Programms „Eco Car“ wurden bis 2012 Kaufprämien für Fahrzeuge von umgerechnet rund 1.000 Euro in den Zeiträumen von April 2009 bis September 2010 sowie vom zweiten Quartal 2012 bis zum vierten Quartal 2012 ausgegeben (Nationale Plattform Elektromobilität [NPE] 2012, S. 59). 2012 wurde diese Prämienzahlung im Rahmen dieses Programms allerdings eingestellt, da das hierfür bereitgestellte Budget aufgebraucht war.

Im Rahmen des „Next Generation Vehicle Plans“ gab es darüber hinaus Kaufprämien für emissionsarme Fahrzeuge in verschiedenen Höhen. So erhält z. B. ein Fahrzeug wie der Nissan Leaf eine Kaufprämie in Höhe von umgerechnet rund 10.000 Euro (International Energy Agency [IEA] 2016a). Darüber hinaus sind im Rahmen der „Clean Energy Vehicle Promotion Subsidy“ ebenfalls Kaufprämien in verschiedenen Höhen für Next Generation Vehicles (BEV; HEV, PHEV, FCEV und Clean Diesel) erhältlich: BEV und PHEV können hierbei bis zu 600.000 JPY (5.405 USD) erhalten, Fahrzeuge mit Clean Diesel bis zu 350.000 JPY (1.351 USD) und FCEV bis zu 2.080.000

JPY (18.738 USD) (International Energy Agency [IEA] 2017b, S. 340). Die Höhe der Prämie basiert dabei auf dem Preisunterschied vom Elektrofahrzeug zu einem vergleichbaren Fahrzeug mit herkömmlichem Verbrennungsmotor. Im Schnitt liegt die Höhe der Prämie für typische BEV und PHEV zwischen umgerechnet 3.000 und 5.000 Euro (International Energy Agency [IEA] 2016b, S. 14).

Zusätzlich zu den Kaufprämien werden im Rahmen des „Eco Car“ Programms auch Steueranreize gewährt. So wurde im Zeitraum von April 2009 bis April 2015 eine gestufte Befreiung der Mehrwert- und Gewichtssteuer für drei Jahre ermöglicht (Nationale Plattform Elektromobilität [NPE] 2012, S. 59). BEV, PHEV, FCEV und CDV sind außerdem von der Kaufsteuer für Kraftfahrzeuge (lokale Steuer: drei Prozent für normale Kraftfahrzeuge; zwei Prozent für Fahrzeuge mit leichten Motoren), von der Gewichtssteuer (eine nationale Steuer bei der ersten und zweiten Inspektion) sowie der Kraftfahrzeugsteuer (lokale Steuer mit teilweiser Befreiung) befreit. HEV sind von diesen Steuern teilweise befreit (International Energy Agency [IEA] 2017b, S. 340f.). Die Höhe der Steuerbefreiung ist dabei abhängig von der Kraftstoffeffizienz und dem Fahrzeugtyp. Fahrzeuge mit einer Kraftstoffeffizienz von über 20 Prozent erhalten dabei die volle Höhe der Steuererleichterung.

Neben Kaufprämien und Steuererleichterungen fördert die japanische Regierung die Verbreitung der Elektromobilität durch weitere Maßnahmen. 2015 wurden beispielsweise mit der Verabschiedung des „Energy Conservation Law“ und den bereits erwähnten Eco-Car- und Next-Generation-Vehicle-Initiativen erneuert und so wichtige Fördermaßnahmen zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes fortgesetzt (Nationale Plattform Elektromobilität [NPE] 2012, S. 59).

5.3.4 Beitrag der Industrie zur Wertschöpfungskette Elektromobilität

Das japanische Wirtschaftssystem ist auch bekannt als Keiretsu-System. Keiretsu sind eine Form von Unternehmensnetzwerken. Sie sichern den ihnen zugehörigen Unternehmen den weltweiten Güterverkehr und erschließen neue Märkte für sie. Sie leisten Unterstützung bei der Niederlassung von Tochtergesellschaften im Ausland und kümmern sich um das Vertragsgeschäft mit internationalen Unternehmen, um eine Versorgung der japanischen Industrie mit den notwendigen Rohstoffen und Wirtschaftsgütern zu sichern (Bierau et al. 2013, S. 6).

Keiretsu sind in vertikalen oder horizontalen Strukturen organisiert. Horizontale Keiretsu bestehen aus Unternehmen verschiedener Branchen, während vertikale Keiretsu aus Endherstellern und Zulieferern oder Handelsketten bestehen. Sie haben somit eine wichtige Rolle in der japanischen Wirtschaft.

Die japanische Automobilindustrie ist grundlegend in das Wirtschaftssystem der Keiretsu eingebunden und entsprechend organisiert. Sie ist bekannt für ihr hochentwickeltes Supply-Chain-Management, welches auf Just-in-Time-Delivery, Just-in-Case-Strategien und Short-Time-to-Market abzielt (Bierau et al. 2015, S. 19).

Die sechs größten Automobilhersteller Toyota, Nissan, Honda, Suzuki, Mazda und Mitsubishi gehören zu je einem der sechs größten und oft nach ihnen benannten Keiretsu (Bierau et al. 2013, S. 56f.). Toyota stellt ein Beispiel eines Vertikal-Keiretsu dar. Der Erfolg von Toyota ist eng an die Zulieferer und Komponentenhersteller, Elektronikunternehmen, Stahl- und Kunststofflieferanten sowie an die Mitarbeitenden und Grundstückseigentümer ihrer Handelsunternehmen geknüpft. Alle Neben- und Zulieferunternehmen sind Mitglieder des Horizontal-Keiretsu, kooperieren aber mit Toyota innerhalb des Vertikal-Keiretsu. Ohne Toyota als Ankerpunkt gäbe es für diese Unternehmen häufig keine Rechtfertigung für ihre Mitgliedschaft im Keiretsu.

Mitsubishi ist ein Beispiel für einen typischen horizontal organisierten Keiretsu, an dessen Spitze die Bank of Tokyo-Mitsubishi sitzt. In der Strukturierung und Organisation von Zulieferketten und -netzwerken ist die japanische Automobilindustrie also vergleichsweise fortschrittlich und hat weltweit eine Vorreiterrolle inne. Das bereits vorhandene logistische Netzwerk ermöglicht optimale Prozessabläufe in der Automobilproduktion und im Vertrieb. (Bierau et al. 2013, S. 57).

Ein Nachteil des Keiretsu-Systems ist es, dass es für neue KMU, die an die Wertschöpfungskette anschließen wollen, hohe Eintrittsbarrieren gibt. Außerdem hat sich dieses traditionelle System als verwundbar gegenüber externen Einflüssen erwiesen, wie z.B. der Katastrophe 2011 in Fukushima. Daher haben viele japanische Autohersteller angefangen, ihre Wertschöpfungsketten zu reorganisieren, sodass sich jetzt für neu in das Feld eintretende Unternehmen neue Chancen eröffnen (Bierau et al. 2015, S. 1).

Japanische Automobilhersteller entwickeln und produzieren Technologien für elektrische Antriebsstränge und decken die gesamte Palette von Elektrofahrzeugen ab, wozu sowohl rein batterieelektrische Fahrzeuge, Hybride, Plug-In-Hybride aber auch Range-Extender-Fahrzeuge und Brennstoffzellenfahrzeuge gehören. Die japanische Automobilindustrie setzt dabei neue Standards für die weltweite Entwicklung von Elektrofahrzeugen (Bierau et al. 2013, S. 40; Scherf und Wolter 2016, S. 37).

Der japanische Automobilmarkt wird von drei Herstellern dominiert. Toyota, Honda und Nissan haben zusammen einen Marktanteil von über 75 Prozent. Toyota stellt von diesen das größte Unternehmen dar und war bis 2009 auch weltweit größter Hersteller. Der Konzern hatte in den nachfolgenden Jahren zunehmend mit Problemen zu kämpfen und wurde am internationalen Markt zeitweise von General Motors überholt. Mit dem Tsunami im März 2011 und dem nuklearen GAU erlitt Toyota durch Produktions- und Lieferschwierigkeiten weitere empfindliche Rückschläge. Dennoch ist Toyota, zählt man die zur Toyota-Gruppe gehörenden Unternehmen Hino und Daihatsu hinzu, heute einer der weltweit größten Automobilhersteller (Bierau et al. 2013, S. 56).

Honda und Hitachi Automotive haben Anfang 2017 ein Joint Venture gegründet mit dem Ziel, ihre Wettbewerbssituation im Bereich für nachhaltige Fahrzeuge („green cars“) zu verbessern. Insbesondere geht es beiden Unternehmen darum, Motoren für Elektrofahrzeuge zu entwickeln, zu produzieren und auch an andere Hersteller zu verkaufen. Hitachi zählt zu seinen Kunden beispielsweise die Nissan-Renault-Allianz. Das im Rahmen des Joint Ventures geplante Werk soll 2020 in Betrieb gehen und Motoren für BEV, HEV und PHEV produzieren. Die Produktion der E-Motoren ist darüber hinaus nicht nur in Japan, sondern auch in den USA und China geplant (Reuters 2017).

Ein wesentliches Element der Elektromobilität ist die Batterietechnologie. Obwohl Südkorea und vor allem China hinsichtlich Produktionskapazitäten und Marktanteil weiter aufholen (Bernhart et al. 2018), sind japanische Unternehmen aufgrund ihrer jahrelangen Erfahrungen und der ausgeprägten Technologieförderung durch das METI in diesem Bereich weltweit führend, allen voran Panasonic (Bernhart et al. 2017, S. 12; Scherf und Wolter 2016, S. 37). Aber auch Sanyo, GS Yuasa, Toshiba und NEC sind weltweit am Markt stark vertreten. Vor

allem Panasonic, Toshiba und Sanyo haben sich dabei auf die Fertigung von Hochleistungsbatterien für Elektrofahrzeuge spezialisiert. Es wird allerdings erwartet, dass vor allem China durch Hersteller wie CATL und BYD, aber auch Südkorea durch Hersteller wie LG Chem, die Marktpositionen von Japan zunehmend übernehmen werden (Bernhart et al. 2018).

5.4 USA

5.4.1 Marktentwicklung der Elektromobilität und Status der Ladeinfrastruktur

Nach China sind die USA einer der größten Märkte für die Elektromobilität weltweit. Gleichzeitig sind die USA, ähnlich wie Deutschland, ein Land der Autofahrenden. Der große Bestand an Elektrofahrzeugen sollte daher nicht darüber hinwegtäuschen, dass Elektrofahrzeuge nach wie vor nur einen Bruchteil am gesamten Fahrzeugmarkt ausmachen (Abbildung 23). Aufgrund der Vielzahl an unterschiedlichen Regularien und Maßnahmen auf Bundesebene sowie auf Ebene der einzelnen Bundesstaaten kann an dieser Stelle nur ein grober Überblick gegeben werden.

In den USA ist der Fahrzeugbestand an Elektrofahrzeugen deutlich größer als in Deutschland (vgl. Abbildung 8 und

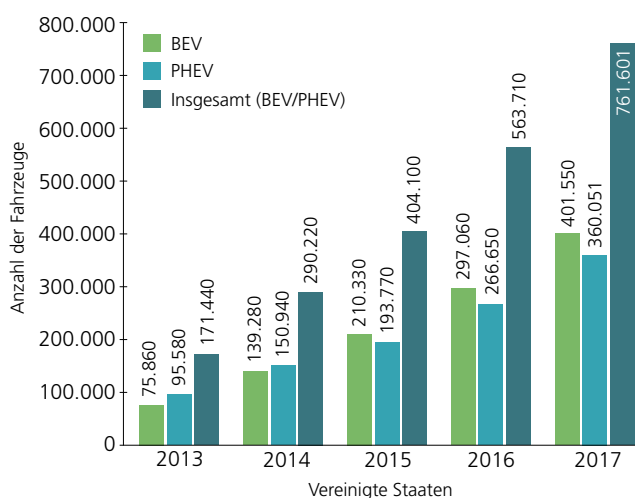


Abbildung 22: Entwicklung des Fahrzeugbestandes von Elektrofahrzeugen (Pkw) in den USA 2013–2017 (eigene Darstellung, Datenbasis: International Energy Agency [IEA] 2018)

Abbildung 22). Trotzdem liegt der Marktanteil auf einem ähnlichen Niveau wie in Deutschland (2017: 0,7 Prozent für BEV und 0,9 Prozent für PHEV) (International Energy Agency [IEA] 2018). Auch in den USA lässt sich in den letzten Jahren ein beständiges Wachstum des Elektromobilitätsmarktes feststellen. Erst 2016 hat China die USA beim Gesamtbestand an Elektrofahrzeugen überholt (International Energy Agency [IEA] 2017a, S. 22). Dies konnte vor allem durch die enormen Neuzulassungszahlen in China erreicht werden, denn die Anzahl der verkauften Elektrofahrzeuge in China war 2016 fast doppelt so hoch wie in den USA, wo die Zahl der Verkäufe nach einem kleinen Einbruch 2015 im Jahr 2016 bei rund 160.000 verkauften Fahrzeugen lag (International Energy Agency [IEA] 2017a, S. 12).

In den USA sind vor allem Hybrid-Fahrzeuge beliebt, da aufgrund der großen Entfernungen die Reichweite ein enorm wichtiges Thema ist und die Ladeinfrastruktur nach wie vor nicht ausreichend ausgebaut ist. Hybridfahrzeuge bilden daher, auch angesichts des steigenden Umweltbewusstseins vieler Amerikaner, einen guten Kompromiss (Uman 2018a). Beliebtestes Fahrzeug mit elektrischem Antrieb war 2017 mit 65.631 Fahrzeugen der Toyota Prius (Hybrid), auch wenn 2017 der Marktanteil gegenüber 2016 zurückging (Uman 2018a).

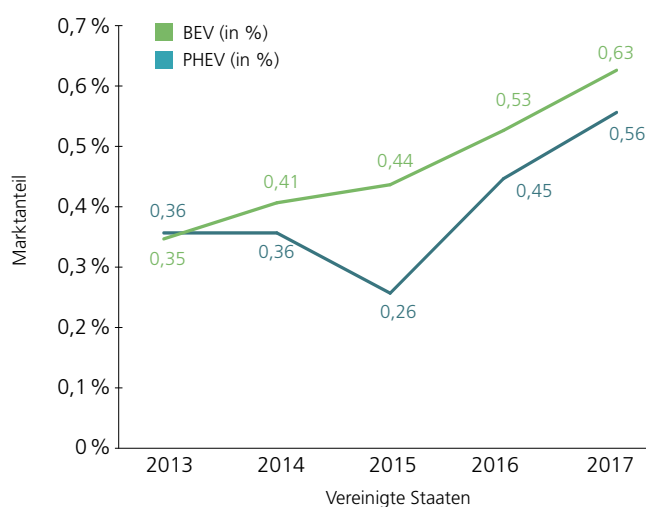


Abbildung 23: Entwicklung des Marktanteils von Elektrofahrzeugen (Pkw) in den USA 2013–2017 (eigene Darstellung, Datenbasis: International Energy Agency [IEA] 2018)

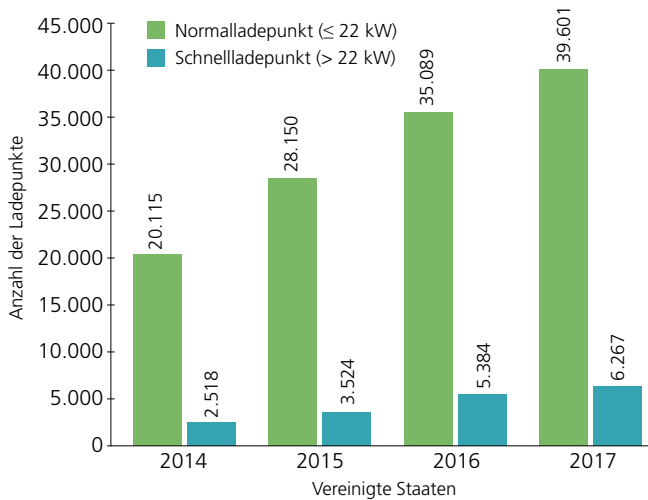


Abbildung 24: Entwicklung des Ausbaus der Ladeinfrastrukturen in den USA 2014–2017 (eigene Darstellung, Datenbasis: International Energy Agency [IEA] 2018)

Dennoch haben auch batterieelektrische Fahrzeuge ihren Marktanteil und angesichts fallender Batteriepreise und verbesserter Technologien sowie zu erwartenden Skaleneffekten bei der Produktion werden hier in Zukunft steigende Marktanteile erwartet (Uman 2018a). Beliebtestes Modell bei den BEV war 2017 der Tesla Model S mit 26.500 verkauften Fahrzeugen. Die Rangliste der meistverkauften Fahrzeuge dominieren aber asiatische Hersteller, vor allem Toyota. Von den amerikanischen Herstellern finden sich hier nur Ford mit dem Fusion Hybrid, Tesla mit den Modellen S und X sowie Chevrolet mit dem Bolt EV (Uman 2018a).

Eine zunehmend größere Rolle werden zukünftig aber auch der Güterfernverkehr und vor allem Elektrobusse spielen (Uman 2018d). Weitere Trends, die den Markt in den USA weiterhin beeinflussen werden, sind Assistenzsysteme sowie autonomes und vernetztes Fahren und die Verwendung von Big Data, sowie Car- und Ridesharing (Matschoß 2017; Noeth et al. 2017, S. 30).

Obwohl die Elektromobilität in den USA immer wichtiger wird und sich die Hersteller verstärkt darauf einstellen, werden Fahrzeuge mit herkömmlichem Verbrennungsmotor trotzdem weiterhin eine große Rolle spielen.

Eine Herausforderung in den USA ist der geringe Ausbau der Ladeinfrastruktur. Abbildung 24 gibt einen Überblick über den Bestand an Ladepunkten in den USA. Problematisch ist vor allem, dass in den USA zwischen Städten und Ortschaften teils sehr große Entfernungen zurückzulegen sind und die Ladeinfrastruktur regional sehr unterschiedlich verteilt ist (Uman 2018c).

Zwar wuchs 2016 die Anzahl der Ladestationen in den USA erheblich an. Vor allem die Anzahl an Level-2-(AC) und DC-Schnellladestationen konnte mit einem Wachstum von jeweils circa 30 Prozent erheblich gesteigert werden (International Energy Agency [IEA] 2017b, S. 328). Trotzdem muss das Netz an Ladestationen noch deutlich ausgebaut werden (Jaentzke 2017; Uman 2018c). Zu den Herausforderungen bei der Ladeinfrastruktur gehört auch nach wie vor die Vereinheitlichung der verschiedenen in den USA gebräuchlichen Standards, insbesondere vor dem Hintergrund des Aufbaus einer Schnellladeinfrastruktur (Uman 2018c)¹⁰.

Daher arbeiten zahlreiche Autohersteller, Versorger und Energieunternehmen daran, die Situation zu verbessern. Als ein entscheidendes Hindernis beim Ausbau der Ladeinfrastruktur werden – vor allem beim Ausbau des Netzes an Schnellladestationen – die hohen Kosten gesehen (Jaentzke 2017).

Seit dem Diesel-Skandal beteiligt sich auch VW am Ausbau der Ladeinfrastruktur: Hierbei einigte sich die Volkswagen AG mit der US-Umweltschutzbehörde Environmental Protection Agency (EPA) und dem California Air Resources Board (CARB), dem kalifornischen Teil der EPA, ab 2017 bis zu zwei Milliarden Dollar über die nächsten zehn Jahre in den Ausbau der Ladeinfrastruktur zu investieren (International Energy Agency [IEA] 2017b, S. 322). „Electrify America“, eine hierfür gegründete VW-Tochter, investierte im ersten Schritt 300 Millionen Dollar in ein Netzwerk von Ladestationen. Bis 2019 sollen insgesamt 240 Ladestationen an Autobahnen in 39 Bundesstaaten aufgestellt werden, die auf dem Combined Charging System (CCS), CHAdeMO und offenen Standards wie dem Open Charge Point Protocol (OCPP) basieren.

Die meisten Stationen sollen für Gleichstromladung mit mindestens 150 kW ausgelegt sein (Shah 2017). Weiterhin sollen einige Ladesäulen superschnelles Laden mit bis zu 320

¹⁰ Für einen Überblick der Standards in den USA siehe International Energy Agency [IEA] 2017a, S. 30

kW ermöglichen (Shah 2017). Dazu sind die sich aktuell auf dem Markt befindlichen Fahrzeugmodelle jedoch noch nicht in der Lage. Darüber hinaus beteiligen sich am weiteren Ausbau der Ladeinfrastruktur in den USA außerdem auch BMW und Nissan (Uman 2018c).

5.4.2 Sozio-ökonomische Rahmenbedingungen zur Unterstützung/Förderung der Elektromobilität

Die Automobilindustrie ist in den USA traditionell ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Die Bemühungen, den Umstieg auf die Elektromobilität voranzutreiben, beruhen vor allem auf zwei Faktoren (Bierau und Meyer 2014).

Zum einen versuchen die USA ihre starke Abhängigkeit von Ölexporten vor allem im Energie- und Transportsektor zu reduzieren, insbesondere vor dem Hintergrund, dass Öl eine begrenzte Ressource darstellt und die politische Situation in verschiedenen ölproduzierenden Ländern zum Teil höchst instabil ist.

Zum anderen spielen auch klimapolitische Ziele eine wichtige Rolle sowie der Versuch der US-Regierung, die Folgen des Klimawandels und des Anstiegs von Schadstoffemissionen abzumildern, um so die Gesundheit und die Sicherheit der US-Bürgerinnen und Bürger zu schützen. Auch die Aussicht auf Schaffung zusätzlicher Arbeitsplätze und auf den Aufbau einer Photovoltaik-Industrie bietet eine weitere Motivation für die Förderung der Elektromobilität (Bierau und Meyer 2014). Darüber hinaus steht auch die Automobilindustrie unter hohem Druck, vor dem Hintergrund sich ändernder Mobilitäts- und Kommunikationsbedürfnisse neue Lösungskonzepte anzubieten.

Ähnlich wandelt sich auch die Wahrnehmung des Automobils in der Gesellschaft. Verstopfte Innenstädte, steigende Kosten für Unterhalt und Kraftstoffe und die Konkurrenz durch neue Mobilitätskonzepte sorgen dafür, dass das Auto immer weniger als Symbol von Freiheit und Selbstbestimmung wahrgenommen wird. Daher investieren die Hersteller verstärkt in saubere Antriebstechnologien und in die mobile Vernetzung von Fahrzeugen (Noeth et al. 2017, S. 29f.). Das ursprünglich angestrebte Ziel der Regierung, bis 2015 eine Millionen Elektrofahrzeuge auf die Straße zu bringen, konnte nicht eingehalten werden (dpa 2015).

5.4.3 Rechtliche und politische Rahmenbedingungen zur Unterstützung/Förderung der Elektromobilität

Nationale Ziele und Strategien

Die aktuelle US-Regierung sorgt für einige Umbrüche und Unsicherheiten, sowohl hinsichtlich der Automobilindustrie allgemein als auch hinsichtlich der Weiterentwicklung der Elektromobilität in den USA. Ein erstes Zeichen war der Austritt der USA aus dem Pariser Klimaabkommen. Aber auch die verschiedenen Ankündigungen wie zum Beispiel hinsichtlich der Erhebung von Strafzöllen, die zunehmend in der Diskussion sind bzw. mittlerweile sogar bereits umgesetzt wurden, oder die Anpassungen bezüglich Steuergutschriften beim Kauf von Elektrofahrzeugen betreffen nicht nur die weiteren Entwicklungen der Automobilindustrie allgemein, sondern sorgen auch für Unsicherheiten hinsichtlich der weiteren Zukunft der Elektromobilität. Die Folgen dieser Politik sind bislang allerdings noch nicht absehbar. Dennoch wird erwartet, dass beispielsweise die 2017 erfolgte Ankündigung des US-Präsidenten, 2020 aus dem Pariser Klimaabkommen auszusteigen, auch langfristig an den Zielen der Automobilindustrie, die Fahrzeuge sauberer und effizienter zu machen, voraussichtlich nichts ändern wird (vgl. Noeth et al. 2017, S. 29f.).

Eine wichtige Rolle haben in den USA Emissionsstandards. Sie werden zusammen mit den Treibhausgasstandards von der EPA festgelegt. Die rechtliche Grundlage dafür bildet der seit 1963 bestehende „Clean Air Act“. Die Vorgaben zum Kraftstoffverbrauch von Fahrzeugen werden dabei von der National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) erlassen. Seit 1975 wird der Kraftstoffverbrauch von Fahrzeugen durch die Standards der Corporate Average Fuel Economy (CAFE) reguliert (National Highway Traffic Safety Administration [NHTSA] 2017). Die ersten Standards für Treibhausgasemissionen wurden in Harmonisierung mit den CAFE-Standards 2010 und 2012 gemeinsam von EPA und NHTSA eingeführt (Noeth et al. 2017, S. 56).

Am 28. August 2012 haben die US-Umweltbehörde EPA und die US-Verkehrssicherheitsbehörde NHTSA die neuen Kraftstoffverbrauchsstandards und die CO₂-Effizienzstandards für in den USA verkaufte Pkw und Light Trucks (z. B. Geländewagen, Pickup-Trucks und Vans) bekanntgegeben. Diese Normen regeln die zulässigen Höchstverbrauchswerte (CAFE-Standards) sowie die zulässigen CO₂-Emissionswerte eines Herstellers

für die Modelljahrgänge 2017 bis 2025 (Noeth et al. 2017, S. 56). Für Pkw wird beispielsweise eine Reduzierung des CO₂-Ausstoßes um fünf Prozent pro Jahr angestrebt. Im Bereich der leichten Kraftfahrzeuge ist für die Modelljahrgänge 2017 bis 2021 eine CO₂-Reduktion um jährlich 3,5 Prozent vorgeschrieben, die erst für die Jahrgänge 2022 bis 2025 an das Fünf-Prozent-Niveau für Pkw angeglichen werden wird (Noeth et al. 2017, S. 56).

Diese Normen gelten darüber hinaus als die bis dato strengsten Regelungen dieser Art in den USA. Sie waren unter anderem auch die Folge des zunehmenden öffentlichen Drucks, die Abhängigkeit der USA vom Erdöl weiter zu reduzieren (Noeth et al. 2017, S. 56). Eine große Herausforderung bei der Umsetzung der Ziele sind allerdings die in den USA sehr niedrigen Benzinpreise, die beim Konsumenten wenig Anreiz für den Kauf von benzinsparenden Fahrzeugmodellen liefern (Noeth et al. 2017, S. 57).

Aufgrund der CAFE-Standards sehen sich die Automobilhersteller mit großen Herausforderungen konfrontiert (Matschoß 2017). Die CAFE- und EPA-Standards üben einen sehr starken Druck auf die Zulieferer der Automobilbranche aus, da diese ihre Technologien und Planungen umgehend an die neuen Standards und Regelungen anpassen müssen, um so auch zukünftig wettbewerbsfähig zu sein. Nach allgemeiner Ansicht ist die Einhaltung der neuen Standards ohne technische Innovationen, vor allem in den Bereichen Antriebstechnologie und Getriebe, nicht möglich. Alternativ müssen Autobauer in Zukunft auf Autos mit geringerer Motorleistung setzen, um die neuen Standards erfüllen zu können (Noeth et al. 2017, S. 59).

Die neuen Standards sind bei den amerikanischen Autobauern aber auch auf große Zustimmung gestoßen. Insgesamt haben sich 13 Hersteller, darunter auch die sogenannten „Detroit Three“ Ford, Fiat Chrysler Automobiles und General Motors positiv zu den geplanten Änderungen geäußert. Dass die Autobauer die künftig geltenden Regelungen überwiegend befürworten, liegt vor allem an der landesweiten Vereinheitlichung der Standards für Kraftstoffverbrauch und Emissionen, wodurch die Planungssicherheit der Hersteller verbessert wird (Noeth et al. 2017, S. 59).

Anfang April 2018 wurde allerdings bekannt, dass die Trump-Regierung die noch unter dem Vorgänger-Präsident Obama

verabschiedeten CAFE-Standards wieder durch die EPA aufgeweicht hat (dpa/gem 2018).

Die USA sind stark vom Föderalismus geprägt, was sowohl Einfluss auf die politischen Zielsetzungen als auch auf die Gesetzgebung hat (Noeth et al. 2017, S. 52). Dadurch können einzelne Bundesstaaten eigene Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität verabschieden, so dass beispielsweise steuerliche Rahmenbedingungen je nach Bundesstaat und Kommune sehr unterschiedlich ausfallen. Einige Bundesstaaten nehmen diese Rolle zum Teil auch sehr aktiv wahr.

Hervorzuheben, insbesondere in Bezug auf Emissionsstandards, ist der Bundesstaat Kalifornien. Aufgrund der hohen Luftverschmutzung um Los Angeles stammen die strengsten Umweltregulierungen in den USA aus diesem Staat. Im Jahr 1967 hat Gouverneur Ronald Reagan das Air Resources Board ins Leben gerufen und jeden Landkreis in Kalifornien beauftragt, strengere Gesetze zur Luftverbesserung auf lokaler und Bundesstaatenebene durchzusetzen. Diese Emissionsstandards werden durch das CARB implementiert (Noeth et al. 2017, S. 58).

Die verabschiedeten Standards müssen gemäß Bundesgesetz den nationalen Standards entsprechen oder diese übertreffen (Transportpolicy.net o. J.). Alle Bundesstaaten haben die Wahl, entweder die Bundesstandards der EPA oder die kalifornischen Standards von CARB zu übernehmen. Bisher haben die CARB-Standards Connecticut, Maine, Maryland, Massachusetts, New Jersey, New Mexico, New York, Oregon, Pennsylvania, Rhode Island, Vermont, Washington und Delaware, Georgia und Carolina, die sogenannten „Section 177 States“ implementiert (Noeth et al. 2017, S. 58; Transportpolicy.net o. J.). Kalifornien, das ursprünglich strengere Richtwerte verabschiedet hatte, hatte schließlich die neuen CAFE-Standards als bindend anerkannt, wodurch Hersteller etwas mehr Planungssicherheit haben (Noeth et al. 2017, S. 59). Nachdem die EPA unter der Trump-Regierung die Ziele wieder aufweichen will, ist vor allem von kalifornischer Seite mit erneutem Widerstand zu rechnen.

Fördermaßnahmen der Regierung und Initiativen anderer Akteure

Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Regularien und Maßnahmen in den USA sowie deren jeweilige Reichweite. Das „Alternative Fuel Data Center des Department of

Kaufanreize für Elektrofahrzeuge	Rabatte auf den Kauf/die Registrierung
	Befreiung von der Kaufsteuer (exkl. MwSt)
	Befreiung von der Mehrwertsteuer
	Steuerergutschriften
Nutzung und Kraftfahrzeugssteuer für Elektrofahrzeuge	Befreiung von der Kraftfahrzeugssteuer
	Verzicht auf Gebühren (z. B. Mautgebühren, Parkgebühren etc.) (exemptions)
	Reduzierung/Erlass der Kosten beim Laden von Elektrofahrzeugen (reduction/exemption)
	Steuerergutschriften (Firmenwagen)
Erläss oder Reduzierung	Freier Zugang zu Busspuren
	Freier Zugang zu Sonderspuren
	Freier Zugang zu Gebieten mit Zugangsbeschränkung
Emissionsstandards	Verbrauchstandards
	Schadstoffstandards für Kraftfahrzeuge

■ Gezielte Maßnahme (Maßnahme wurde in bestimmten geografischen Gebieten implementiert, (z. B. in spezifische Bundesstaaten/Regionen/Kommunen), betrifft weniger als 50 Prozent der Einwohner eines Landes)

■ Landesweite Maßnahme

■ 2015 gültiger Schadstoffstandard

Tabelle 4: Überblick über Unterstützungsmaßnahmen für den Markthochlauf der Elektromobilität und nationale Reichweite der Maßnahmen 2015 (Quelle: International Energy Agency [IEA] 2016b, S. 13)

Energy“ bietet eine umfassende Datenbank an, in der sämtliche Gesetze und Anreizmaßnahmen sowohl auf nationaler Ebene als auch auf Ebene der Bundesstaaten erfasst sind¹¹ (U. S. Department of Energy o. J.). Die wichtigsten Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung der Elektromobilität umfassen verschiedene Steuerergutschriften von bis zu 7.500 USD sowie unterschiedliche Kaufprämien und Steuerbefreiungen in verschiedenen Bundesstaaten. Zusätzlich gibt es Produktionsziele für Zero Emission Vehicles (ZEV) in neun Bundesstaaten (International Energy Agency [IEA] 2017a, S. 55).

Wie schon erläutert, ist derzeit allerdings schwer abschätzbar, inwieweit die neue Regierung das förderliche Umfeld an Regularien und Fördermaßnahmen aufrechterhalten wird (Matschoß 2017). Zwar wurde etwa die geplante Verlängerung der Steuerergutschrift für Elektrofahrzeuge, die 2016 ausgelaufen war, Anfang 2018 verlängert. Der zögerliche Umgang mit dieser Verlängerung wird aber in der Branche als Zeichen für mangelnde Verlässlichkeit gedeutet (Dow 2018).

5.4.4 Beitrag der Industrie zur Wertschöpfungskette Elektromobilität

Unter der weltweiten Wirtschaftskrise zwischen 2007 und 2009 hat vor allem auch die nordamerikanische Automobilindustrie gelitten, die neben den USA auch die beiden weiteren NAFTA-Mitglieder Kanada und Mexiko umfasst. In dieser Zeit mussten viele Werke schließen und Millionen von bereits hergestellten Teilen und Komponenten wurden eingelagert oder vernichtet, weil die Nachfrage so stark gesunken war (Noeth et al. 2017, S. 23). Nach dem starken Rückgang der Produktionszahlen in dieser Zeit hat sich die Automobilindustrie mittlerweile wieder erholt (Noeth et al. 2017, S. 23).

Die Automobilindustrie ist im Umbruch. Das liegt nicht nur am allgemeinen Mobilitätswandel hin zum vernetzten und automatisierten Fahren oder an zunehmenden Sharing-Tendenzen, sondern auch an den verschärften Emissionszielen, sowohl in den USA als auch in China und Europa. Wichtige Absatzmärkte könnten jedoch abflauen, wenn die amerikanischen Automobilhersteller nicht in der Lage sind, hier technologisch mithalten (Uman 2018b). Alle traditionellen amerikanischen Automobilhersteller wie Ford, Chrysler und GM engagieren sich in der Entwicklung von Fahrzeugen mit niedrigen Emissionswerten und bringen regelmäßig neue Modelle von

11 Siehe auch www.afdc.energy.gov/laws (zuletzt aufgerufen am 23.10.2018)

Elektrofahrzeugen heraus. Dabei verfolgen sie verschiedene Strategien.

Die Chrysler-Gruppe hat eine breite Strategie zur Elektromobilität entwickelt und füllt mit ihrem Portfolio die Lücke zwischen Kleinwagen und Pick-Up-Trucks. Chryslers mittelfristige Ziele umfassen einen Piloteinsatz von 140 Plug-In-Hybrid Pick-Up Trucks über einen Zeitraum von drei Jahren, nach dem der Plan, eine Hybrid-Version des Chrysler-Ram-Pick-Ups herauszubringen, eingestellt wurde. Im April 2013 brachte Chrysler außerdem eine elektrische Version des Fiat 500 speziell für den amerikanischen Markt heraus. Dabei wurde das Fahrzeug im Hauptquartier in Auburn Hills, Michigan, hergestellt (Bierau und Meyer 2014).

Auch Ford stellt überwiegend Hybrid- bzw. Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge in seinem Werk in Michigan her. 2013 brachte Ford den Ford Fusion Energy Plug-In-Hybrid heraus. Darüber hinaus wurde die Entwicklung und Markteinführung eines Hybridmodells für 2018 angekündigt (Bierau und Meyer 2014). Entgegen den Bestrebungen der aktuellen US-Regierung, die Produktion in den USA zu konzentrieren, kündigte Ford Ende 2017 an, die Produktion des geplanten Elektro-Crossovers mit einer Reichweite von rund 482 Kilometer von Flat Rock, Michigan nach Mexiko, Cuautitlan zu verlegen, um zusätzliche Kapazitäten für die Herstellung von autonomen Fahrzeugen in seiner Heimatstätte zu schaffen. Trotz der Verlegung nach Mexiko plant Ford nach wie vor, den Elektro-Crossover ab 2020 zu bauen. Mit diesem Schritt versucht Ford, seine Wettbewerbsfähigkeit vor allem im Vergleich zu den Unternehmen aus Silicon Valley aufrecht zu erhalten und dabei die Kosten zu kontrollieren. Flat Rock soll dabei zukünftig zum Exzellenzzentrum für autonome Fahrzeuge werden, während die Produktion eines Elektrofahrzeugs mit erwarteten niedrigen Margen in ein Land mit niedrigen Produktionskosten verlegt wird (Martinez 2017).

2010 brachte GM den Chevrolet Volt Extended Range auf den Markt. Der Volt kann bis zu 64 Kilometer vollelektrisch und anschließend bis zu 603 Kilometer mit erweiterter Reichweite fahren. GM Electric Motors begann 2013 damit, Hauptbestandteile von Elektrofahrzeugen in seinem Werk in Baltimore herzustellen. Dies machte GM zu dem ersten US-amerikanischen Automobilhersteller mit eigener Herstellung von Komponenten für Elektrofahrzeuge, denn gewöhnlich wurden diese Komponenten zuvor importiert. In dem Werk werden

Elektromotoren und Antriebseinheiten für den Chevrolet Spark EV hergestellt, der in den USA zuerst nach Kalifornien und Oregon geliefert und anschließend auch außerhalb der USA nach Kanada, Europa und Südkorea exportiert wurde. Für sein Werk nutzt GM erneuerbare Energien wie Sonne, Wasser und Gas. Das Werk in Baltimore wird dabei zum Teil von einer Solaranlage auf dem Dach mit einer Kapazität von 1,23 Megawatt betrieben. Es wird erwartet, dass damit neun Prozent des jährlichen Energieverbrauchs gedeckt sowie rund 300.000 USD eingespart werden können (Bierau und Meyer 2014).

Neben den traditionellen Herstellern sind auch eine Reihe von Start-Ups im Bereich der Elektromobilität am Markt erschienen. Ein Beispiel ist der Tango T600 des Unternehmens „Commuter Cars“ aus Spokane im Bundesstaat Washington. Das Stadtauto hat eine niedrige Reichweite von nur 130 Kilometern und kann dabei innerhalb von fünf Sekunden von 0 auf 100 Kilometer pro Stunde beschleunigen. Mit seiner Breite von nur 99 Zentimeter erinnert es an eine Kombination aus Motorrad und Sportwagen. Zukünftige Modelle von Commuter Cars wurden angekündigt. Sie sollen dabei deutlich günstiger sein als der T600 mit einem Preis von 108.000 USD, sowie größere Reichweiten haben (Bierau und Meyer 2014). Auch Chryslers Tochterfirma Global Electric Motorcars produziert mit dem e2 ein eigenes Modell. Der e2 wurde dabei nach Vorbild eines Golf-Carts gestaltet und kostet lediglich 7.000 USD. Dabei hat er allerdings auch nur eine Reichweite von 56 Kilometer (Bierau und Meyer 2014).

Als bekanntestes Unternehmen gilt Tesla Motors, das sich mit der Herstellung von Elektrofahrzeugen beschäftigt. Viele Komponenten für den Tesla werden dabei von internationalen Zulieferern weltweit hergestellt. Schlüsselkomponenten wie Antriebssystem oder Energiespeicher werden hingegen in eigenen Werken hergestellt (Bierau und Meyer 2014).

Bei den deutschen Automobilherstellern ist beispielsweise Mercedes Benz zu nennen. Der Automobilkonzern will sich in den USA künftig im Bereich E-Mobilität stärker engagieren. So sollen im Werk in Alabama bereits in wenigen Jahren E-Fahrzeuge der Marke EQ gebaut werden. Darüber hinaus ist der Bau einer Batteriefabrik am Standort Tuscaloosa geplant. Mercedes investiert dabei rund 840 Millionen Euro in die Fertigungseinrichtung im südlich gelegenen Staat Alabama. Hier sollen in diesem Zusammenhang über 600 neue Arbeitsplätze entstehen (eMobilitätOnline.de 2017b). Neben dem Bau der

neuen Batteriefabrik sollen auch die Aktivitäten im Bereich Logistik weiter ausgedehnt werden, wo aktuell nach Angaben des Automobilherstellers 3.700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Alabama beschäftigt sind (eMobilitätOnline.de 2017b).

Der Großteil der US-Autoindustrie erstreckt sich dabei vom Bundesstaat Michigan im Nordosten der USA bis in die Region des Südostens des Landes. Deutsche OEM wie BMW, Mercedes und Volkswagen haben ihre Produktionsstätten und Montagewerke im Süden der USA errichtet. Diese Region wird oft als „German Triangle“ bezeichnet. Die amerikanischen OEM wie Ford, GM und Chrysler haben dagegen ihre Produktionsstätten und Montagewerke vorwiegend in den Bundesstaaten des Mittleren Westens mit dem Hauptsitz Detroit im Norden. Asiatische Hersteller wie Honda, Hyundai-Kia, Toyota, Subaru und Nissan befinden sich sowohl im Mittleren Westen als auch im Süden der USA (German American Chamber of Commerce of the Midwest, Inc. o. J.). Zu GM gehörte bis zu seinem Verkauf an den französischen PSA-Konzern bis 2017 auch der deutsche Automobilhersteller Opel (vgl. Kapitel 5.2.5). Trotz des Verkaufs werde Opel aber auch zukünftig mit GM bei der Entwicklung elektrischer Antriebe zusammenarbeiten, was vor allem die Nutzung der Lizenz des Opel ampera-e betrifft (Koeller 2017b; Bönnighausen 2017). Durch den Verkauf war die Zukunft des ampera-e zunächst unsicher, da die Lizenzgebühren nicht vom PSA-Konzern subventioniert wurden. Diese werden nun an den Kunden weitergegeben (Bönnighausen 2018b).

Insbesondere asiatische Hersteller produzieren nach wie vor gerne in den USA. Vor allem der Westen der USA, insbesondere Kalifornien, entwickelt sich zurzeit zu einem Standort, an dem die Zukunft der Automobiltechnik mitentwickelt wird. Mit einer Serienfertigung befindet sich derzeit allerdings lediglich der US-Elektroautomobilhersteller Tesla in dieser Region. Daneben gibt es weitere Neugründungen von Automobilunternehmen in Kalifornien, die teils mit großem Budget in die Automobilmassenfertigung von Elektrofahrzeugen einsteigen wollen (z. B. Karma, Lucid Motors) (Noeth et al. 2017, S. 25).

Die Automobilindustrie befindet sich aktuell durch die verschiedenen Ankündigungen des Präsidenten Trump zur Erhebung von Strafzöllen in Turbulenzen. Derzeit ist allerdings noch nicht abzusehen, welche Auswirkungen dies auf die

Automobilindustrie oder die Entwicklung der Elektromobilität in den USA allgemein haben wird. Hiervon sind zahlreiche Automobilhersteller und Zulieferer betroffen, die ihre Produktionsstätten in den USA sowie in Mexiko haben. Dies wird auch massive Auswirkungen auf die Wertschöpfungskette haben, denn diverse Teile werden bis zur Endfertigung mehrmals über die Grenze hin- und hertransportiert. Die eingespielten und stark integrierten Zulieferketten stünden dann zur Disposition (Matschoß 2017).

5.5 Ausblick: Entwicklung der Elektromobilität außerhalb der etablierten Märkte

In Zukunft ist zu erwarten, dass auch abseits der großen und etablierten Elektromobilitätsmärkte weitere Länder eine zunehmend größere Rolle spielen werden. Für den Absatz interessant sind hier vor allem aufstrebende Märkte und Schwellenländer¹² wie zum Beispiel Indien oder die ASEAN-Staaten Thailand und Indonesien, zu nennen sind aber auch Südamerika, beispielsweise mit Brasilien und Chile oder Afrika, hier vor allem Südafrika sowie weitere Länder in Subsahara-Afrika.

Der Markt für Elektrofahrzeuge in diesen Ländern ist vor allem im Vergleich zu China, den USA, aber auch Frankreich, den Niederlanden oder Deutschland derzeit noch deutlich wenig entwickelt und die Marktanteile sind sehr gering.

So lag der Marktanteil von Elektrofahrzeugen (BEV/PHEV-Pkw) 2017 in Indien und Brasilien jeweils deutlich unter 0,1 Prozent (0,06 bzw. 0,02 Prozent). Chile und Südafrika erreichten immerhin 0,1 Prozent (International Energy Agency [IEA] 2018, S. 114).

Trotz geringer Marktentwicklung konnte sich der Bestand an Elektrofahrzeugen (BEV/PHEV-Pkw) beispielsweise in Indien seit 2013 von 2.950 Fahrzeugen auf 6.800 Fahrzeuge zumindest etwas mehr als verdoppeln. Der Marktanteil stieg erst 2017 etwas stärker an, nachdem er zuvor auf relativ geringem Niveau blieb (2013: 0,01 Prozent, 2014 und 2016: 0,02 Prozent) mit leichten Schwankungen. Ähnlich niedrig sind die Zahlen auch für Südafrika, wo der Fahrzeugbestand von lediglich 30 Fahrzeugen 2013 auf 860 Fahrzeuge anstieg. Der Marktanteil

12 Z. B. laut Internationalem Währungsfonds: www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2010/02/weodata/groups.htm#oem, letzter Zugriff am 16.07.2018

blieb stabil bei 0,1 Prozent (International Energy Agency [IEA] 2018, S. 114).

Trotzdem bieten sich auch in diesen Ländern interessante Potenziale für die Elektromobilität, die im Folgenden schlaglichtartig skizziert werden. Denn alle diese Länder stehen vor ähnlichen Herausforderungen, die sie bewältigen müssen, damit die Elektromobilität einen wichtigen Baustein bei der Lösung dieser Probleme darstellen kann.

Das steigende Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum – Indien, Indonesien, Brasilien gehören zu den zehn bevölkerungsreichsten Ländern weltweit (Central Intelligence Agency [CIA] 2018) – sorgen zusammen mit der zunehmenden Industria-

lisierung dieser Länder für einen hohen Energiebedarf (Enerdata 2018), der voraussichtlich in den nächsten Jahren weiter steigen wird. Für Afrika wird vorhergesagt, dass sich der Energiebedarf bis 2040 vervierfachen wird (Hill et al. 2016). Für Indiens Energiebedarf wird erwartet, dass sich dieser bis 2035 verdoppeln wird (Hundt 2016). Zur Deckung des Energiebedarfs werden derzeit aber noch vor allem konventionelle Energieerzeuger, wie z. B. Kohlekraftwerke genutzt.

Zudem nimmt der Verkehr in diesen Ländern zu. Denn neben den Bevölkerungszahlen wächst auch der Bestand an Fahrzeugen kontinuierlich an. In Indien wurden 2017 mit insge-

Infobox 4: Der Fall Brasilien – Bioethanol aus Zuckerrohr als Alternative zu fossilen Brennstoffen

Umweltprobleme sowie der Umgang mit Luftverschmutzung und Treibhausgasemissionen ist für viele der hier betrachteten Länder ein wichtiger Treiber zum Umstieg auf die Elektromobilität. Die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen bewegt allerdings nicht alle gleichermaßen zum Umstieg auf die Elektromobilität. In Brasilien sind viele Fahrzeuge (Pkw) seit vielen Jahren sogenannte Flex-Fahrzeuge, wobei das „Flex“ für „Flexible Fuel“ steht. Das heißt, sie funktionieren mit Benzin oder Bioethanol. Damit weisen sie eine bessere CO₂-Bilanz im Vergleich zu benzin- oder dieselbetriebenen Fahrzeugen auf (U. S. Department of Energy 2018). Der Anteil der Neuzulassungen an Flex-Fahrzeugen betrug 2017 bei den Pkw etwa 89 Prozent (Rose 2018). Allerdings ist die Verwendung von Bioethanol als Treibstoff umstritten. Ein Problem stellt der große Flächenbedarf dar, der für den Anbau des zur Herstellung von Bioethanol verwendeten Zuckerrohrs benötigt wird. Hierbei ist noch unklar, inwiefern die Gesamt-CO₂-Bilanz von Fahrzeugen, die mit Bioethanol betrieben werden, beeinflusst wird, wenn man den kompletten Lebenszyklus betrachtet (U. S. Department of Energy 2018; Lisboa et al. 2011). Neben dem Bedarf an Flächen, die auch für Forstflächen zur Verfügung stehen könnten, entstehen auch CO₂-Emissionen beim Abbrennen des Zuckerrohrs bei der Ernte.

Infobox 5: Thailands Weg in die Elektromobilität

Bereits seit zehn Jahren fördert Thailand emissionsarme Fahrzeuge und setzt auf die sogenannten Eco-Cars. Das sind schadstoffarme Kleinautos mit niedrigem Treibstoffverbrauch (Duscha 2018).

Im März 2017 hat das thailändische Board of Investment (BOI) Förderanreize für Elektrofahrzeuge geschaffen (u. a. Befreiung von Importzöllen und der Körperschaftssteuer für fünf bis acht Jahre), von denen insbesondere große OEM Gebrauch machen. Daimler investiert z. B. 100 Millionen Euro in sein Akkuwerk. Weiterhin erfolgen große Investitionen von Toyota (rund 490 Millionen Euro) und Mazda (rund 315 Millionen Euro) in Elektrofahrzeugprojekte, die hauptsächlich für die Produktion von Hybridfahrzeugen und Batterien verwendet werden (Duscha 2018).

Am Investment von Daimler in Thailand zeigt sich das Wachstumspotenzial für die Elektromobilität, das in der Region liegt: Daimler und sein thailändischer Partner Thonburi Automotive Assembly Plant (TAAP) planen, bis 2020 rund 100 Millionen Euro in die Produktion von Batterien für Elektrofahrzeuge zu investieren. Mit der Investition will Daimler der wachsenden Nachfrage nach Elektromobilität in der gesamten ASEAN-Region nachkommen. Das Werk in Thailand ist somit das sechste von Daimler in seinem weltweiten Akkuproduktionsverband auf insgesamt drei Kontinenten (Daimler 2018; Duscha 2018).



Abbildung 25: Überblick über Städte mit einer Bevölkerung von mehr als zehn Millionen Einwohnern der in diesem Bericht betrachteten aufstrebenden Märkte und Schwellenländer (Quelle: <https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/ccdb2016visual.php#int=@28.30438,23.20313,2z&v=201&cls=3&HDC=na>)

samt mehr als drei Millionen verkauften Fahrzeugen rund 9,2 Prozent mehr Fahrzeuge als im Vorjahr abgesetzt (Nazir 2018). Auch Thailand konnte 2017 mit 13,4 Prozent gegenüber dem Vorjahr zulegen und nimmt mit 871.650 verkauften Fahrzeugen (Pkw) den zweitgrößten Absatzmarkt unter den ASEAN-Staaten hinter Indonesien (1.079.300 Pkw) ein (Duscha 2018). Ähnliches gilt für Südamerika, wo der Markt 2017 ebenfalls um 13 Prozent zulegen konnte (Kallweit 2017).

Die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen, die damit zusammenhängenden, durch den Verkehr und durch Verbrennerfahrzeuge verursachten Umweltprobleme, Luftverschmutzung sowie der Umgang mit Treibhausgasemissionen – all das sind große Herausforderungen, denen sich diese Länder stellen müssen und die dort, wie auch in Europa, China oder den USA, zu einem Umdenken führen. Dadurch wird die Rolle von erneuerbaren Energien in diesen Ländern zunehmend wichtiger. Südamerika (Sonnenseite 2017) und Indien (Hundt 2016) setzen vermehrt auf den Einsatz bzw. den Ausbau erneuerbarer Energie.

Für Afrika werden ebenfalls große Potenziale im Hinblick auf erneuerbare Energien gesehen. Bereits heute setzen einige afrikanische Länder auf deren Nutzung (Hill et al. 2016). Dieses Umdenken und die vermehrte Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen kann in diesen Ländern einen wichtiger Treiber für die Elektromobilität darstellen. Darüber hinaus führt die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen dazu, dass der Finanzhaushalt stark belastet wird, wie insbesondere das Beispiel Afrika zeigt. Denn Benzin und Diesel sind hier zum Teil stark subventioniert, um die Bevölkerung vor hohen Benzinpreisen zu bewahren (Hill et al. 2016). Hier bietet Elektromobilität mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen eine günstige Alternative.

Eine weitere große Herausforderung dieser Länder ist die zunehmende Urbanisierung. Ein großer Teil der Bevölkerung in den genannten Ländern findet sich in urbanen Ballungsräumen wie São Paulo, Jakarta oder Delhi wieder, die jeweils eine Bevölkerung von mehr als zehn Millionen Einwohnern haben. Ähnliches gilt für Bangkok in Thailand oder Johannesburg in Südafrika (Abbildung 25) (European Commission 2018).

Die oben beschriebenen Problematiken treffen vor allem in urbanen Räumen verstärkt zu, sodass mit der Urbanisierung auch eine Zunahme des Verkehrs und veränderte Mobilitätsbedürfnisse einhergehen, verbunden mit einem Anstieg an CO₂- und Lärm-Emissionen, die Gesundheit und Lebensqualität in diesen Regionen massiv beeinträchtigen. Durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen ergeben sich hier Potenziale, die dazu beitragen können, diese Beeinträchtigungen zu reduzieren.

Vor allem in den urbanen Gebieten dieser Regionen spielt außerdem der öffentliche Personennahverkehr eine wichtige Rolle, um den Menschen dort die Mobilität günstig und effizient zu ermöglichen. Diese Flotten sind aber überwiegend dieselbetrieben und teilweise veraltet, sodass sie für einen gro-

Infobox 6: Indien – Neuer Fokus auf Leuchtturmprojekte

Auch Indien versucht bereits seit einiger Zeit, das Thema Elektromobilität voranzubringen. So wurde 2013 der „National Electric Mobility Mission Plan 2020“ mit dem Ziel eingeführt, bis 2020 eine Industrie für die Elektromobilität aufzubauen (Wolter und Scherf 2016, S. 60). Bis 2020 sollte der Markt für Elektro- und Hybridfahrzeuge auf sieben Millionen Fahrzeuge ausgebaut werden. Große Potenziale wurden vor allem im Zweiradsegment gesehen (4,8 Millionen Fahrzeuge) (Wolter und Scherf 2016, S. 60). 2015 wurde schließlich das Programm FAME (Faster Adoption and Manufacturing of Hybrid and Electric Vehicles) gestartet. Ziel war es, u. a. durch Kaufprämien die Nachfrage anzukurbeln, die Ladeinfrastruktur zu verbessern sowie Pilotprojekte zu fördern (Wolter und Scherf 2016, S. 63).

Im September 2018 wird das Programm unter dem Namen FAME II neu aufgelegt, wobei es Zuschüsse für den Kauf von Taxis, Bussen, Zweirädern und Autos sowie Abwrackprämien für die Verschrottung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor geben soll (Werwitzke 2018c). Darüber hinaus plant die Regierung ergänzende Maßnahmen, wie z. B. die Einführung eines speziellen E-Kennzeichens (Werwitzke 2018c).

ßen Teil der Treibhausgasemissionen in diesen Städten verantwortlich sind (UITP India 2014; Saini 2018), wodurch sich hier verschiedene Marktpotenziale für Hersteller von Elektrobussen ergeben. Kapstadt ist mit der Inbetriebnahme von zunächst elf Bussen die erste afrikanische Stadt, die Elektrobusse einsetzt (George 2018). In Indien kommen ebenfalls vermehrt Elektrobusse in Städten zum Einsatz (Saini 2018). In einigen Ländern Mittel- und Südamerikas, u. a. in São Paulo, sind Oberleitungsbusse ein wichtiger Teil des öffentlichen Personennahverkehrs (Morrison 2015).

Ein weiteres Merkmal dieser Länder ist, dass sie aktuell über keine nennenswerte eigene Automobilindustrie verfügen, wenn man von einzelnen Herstellern wie z. B. Tata Motors in Indien absieht. Diese Länder sind daher auf Importe angewiesen, wodurch ausländische Hersteller mit einem Angebot an Elektrofahrzeugen als Vorreiter auf dem Markt erscheinen können.

Teilweise existiert aber auch ein großer Gebrauchtwagenmarkt. Dies ist aus verschiedenen Gründen problematisch. So werden auch Fahrzeuge importiert, die nicht mehr den strengen Emissionsstandards entsprechen, die z. B. in Deutschland gelten, da diese in anderen Ländern, wie z. B. Südamerika eher geringer sind (The Dialogue - Leadership für the Americas 2017). Dadurch wird auch die Lebensdauer von Fahrzeugen, die bereits ausgemustert waren, weiter verlängert. Darüber hinaus sind diese Fahrzeuge in diesen Ländern oftmals weitaus günstiger als Elektrofahrzeuge, weshalb der Anreiz, ein Elektrofahrzeug zu kaufen, eher gering ist. Inwiefern sich das auf die Entwicklung der Elektromobilität in diesen Ländern auswirkt und wie vonseiten der jeweiligen Regierungen gegengesteuert wird, bleibt abzuwarten.

Wie bereits eingangs erwähnt, zeigen sich auch in Ländern und Regionen abseits der etablierten Märkte interessante Potenziale für die Elektromobilität. Diese bieten sich nicht nur aufgrund des großen Fahrzeugmarkts, der langfristig elektrifiziert werden muss wie z. B. in Indien, sondern auch aufgrund der Möglichkeiten für spezielle oder innovative Fahrzeugkonzepte. Erste Hersteller wie z. B. Daimler oder VW investieren bereits auf unterschiedlichen Ebenen in diese Märkte (siehe Infoboxen). Die Problemlage in den Ländern wurde erkannt, und viele Länder nehmen bereits verstärkt Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität in Angriff, wie Indien (Nazir 2018) oder Thailand, das seit 2015 die Etablierung der Elekt-

romobilität vorantreibt (Victor 2018) (siehe Infoboxen „Thailand“ und „Indien“).

Dabei sind noch viele Herausforderungen, wie der Ausbau der Ladeinfrastruktur, zu meistern. Die Anzahl der Ladesäulen ist aktuell in vielen Ländern oftmals zweistellig (International Energy Agency [IEA] 2018). Auch die Kostenfrage wird in diesen Ländern wichtig sein. Es bleibt abzuwarten, wie die dortige Politik diese Frage beantwortet und hier reagiert und wie diese Märkte sich schließlich weiterentwickeln.

Infobox 7: Afrika - Ein Schritt Richtung Elektromobilität

Auch in Afrika werden erste Schritte in Richtung Elektromobilität unternommen. So eröffnete VW in diesem Jahr ein Werk in Ruanda, wo zunächst nur Verbrennerfahrzeuge produziert werden (Deutsche Wirtschaftsnachrichten 2018). Dennoch steht auch die Elektromobilität auf dem zukünftigen Programm. Denn ein großer Vorteil Afrikas ist die große Verfügbarkeit von Sonnenenergie, die für den Betrieb von Elektrofahrzeugen genutzt werden kann. Insbesondere in Kombination mit Car- und Ridesharing-Angeboten sieht VW in Afrika Potenziale für die Verbreitung der Elektromobilität (Krauß 2018). Ein weiteres Beispiel ist das Elektrofahrzeug aCar, ein speziell für den Einsatz in Afrika konzipiertes Nutzfahrzeug. Dieses sollte auf die Bedürfnisse der Bevölkerung zugeschnitten sein und dazu beitragen, die ländliche Struktur in der Region zu stärken und die Wirtschaft anzukurbeln (Werwitzke 2018e). Ab 2019 soll das Fahrzeug in Serie gefertigt werden und es ist geplant, das Fahrzeug auch in anderen Ländern wie Brasilien und Indonesien anzubieten. Fahrzeuge, die für spezifische Nutzungsszenarien in diesen Ländern gebaut wurden, können aber auch für den deutschen Markt Anwendungsfälle finden, wie z. B. für Weinbauern, die das Fahrzeug bei der Ernte einsetzen (Werwitzke 2018e). Diese Beispiele zeigen, dass innovative Fahrzeugkonzepte, die für andere Zielmärkte entwickelt werden, auch für den deutschen Markt, zumindest in Nischen, interessant sein können.

6 FAZIT UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Die intensive Auseinandersetzung mit den wissenschaftlichen Ergebnissen und der industriellen Umsetzung von Innovationen im Rahmen der Begleit- und Wirkungsforschung zur Förderinitiative ELEKTRO POWER II lässt nur einen Schluss zu: Die Elektromobilität wird sich auf mittlere Sicht etablieren. Eine Vielzahl von Akteuren und Initiativen wird sie global zu einem nachhaltigen Erfolg führen.

Expertinnen und Experten für Mobilität, Klima und Stadtentwicklung sind sich der Bedeutung des wachsenden Anteils einer emissionsarmen Fortbewegung von Menschen und Gütern für die Erhaltung der Lebensqualität in Industrienationen bewusst und drängen auf Lösungen.

Die Angleichung des Mobilitätsniveaus in Schwellenländern kann nur funktionieren, wenn dieses auf umweltfreundlichen Technologien beruht. Den Großstädten der Welt droht mit dem stetig wachsenden Individualverkehr der Verkehrsinfarkt. Hinzu kommen gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Schadstoffemissionen. Diesen Entwicklungen kann mit einer Mobilitätswende hin zu elektrischen und autonomen Fahrzeugen entgegengewirkt werden.

Deutschland ist als Anbieter von Fahrzeugen und Dienstleistungen rund um die Elektromobilität gut aufgestellt und hat daher beste Chancen, im globalen, harten und schnellen Wettbewerb zu bestehen. Die Technologieführerschaft der Fahrzeughersteller ist dann in Gefahr, wenn die Abhängigkeit von Lieferanten entscheidender Wertschöpfungskomponenten, wie der Batteriezelle, weiter zunimmt. Staatlich geförderte Industrie- oder Forschungsaktivitäten, wie z. B. die E-Mobilitätsoffensive in China, führen zu einer stärkeren Annäherung in Bezug auf Wettbewerbsexzellenz.

Historisch erreichte Marktpositionen des Produktionsstandorts Deutschland, charakterisiert durch ein enges Zusammenspiel von Industrie und Wissenschaft, bilden noch immer eine sehr gute Grundlage für die Wettbewerbsfähigkeit. Ein innovativer Maschinen- und Anlagenbau sollte in der Lage sein, die vorhandene Fertigungs- und Prozesskompetenz auch zukünftig auszubauen. Bestehende Herausforderungen können durch weitere Anstrengungen in Forschung und Entwicklung, einen intensiveren Transfer von der Forschung in die Industrie sowie durch internationale Kooperationen überwunden werden.

Zur Vermeidung drohender Abhängigkeiten bei der Batterieversorgung ist der Aufbau einer Zellproduktion unter maßgeblicher Führung der deutschen Industrie in Deutschland bzw. in Europa ein wichtiges industriepolitisches Ziel. Eine öffentliche Anschubfinanzierung scheint notwendig, um zu den technologischen Standorten in Ostasien oder den USA aufzuschließen. Sie kann dabei aber nur der erste Schritt sein. Das maßgebliche Engagement wird als privates Investment von Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette geleistet werden müssen. Neben einer Finanzierungsstrategie wird vor allem die Umsetzung von Prozess- und Produktionsinnovationen für Lithium-Ionen-Zellen und perspektivisch für die Produktion von Feststoffbatterien zum nachhaltigen Erfolg führen.

Die Synergien zwischen Mobilitäts- und Energiewende finden mit der voranschreitenden Marktdiffusion der Elektromobilität verstärkt Beachtung. Im Zuge dessen hat sich in den letzten Jahren neben der Fertigungskompetenz auch eine breite Expertise zur Integration von Mobilitäts- und Energiesystem sowie eine hohe FuE-Kompetenz herausgebildet. So nimmt Deutschland in der Erforschung von Smart-Grid-Technologien die führende Position in Europa ein. Der vergleichsweise hohe Anteil volatiler erneuerbarer Energien im deutschen Stromnetz erfordert innovative Lösungen für das Management des Energiesystems. Elektrofahrzeuge und intelligente Ladelösungen sind dabei von besonderem Interesse. Hierbei wird auch der Ausbau des induktiven Ladens im öffentlich zugänglichen Raum eine zunehmend wichtigere Rolle spielen.

Aus der Begleitung der Forschungsprojekte im Programm ELEKTRO POWER II ergeben sich folgende Handlungsempfehlungen für Politik, Industrie und Gesellschaft:

- 1) Der Energie- und Rohstoffeinsatz bei der Fahrzeug-, vor allem aber bei der Batteriezellproduktion bestimmt den Umwelteffekt der Elektromobilität. Die vorhandene Produktionsprozesskompetenz des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus sollte auch weiterhin intensiv für die Prozessoptimierung und damit zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit genutzt werden.
- 2) Eine staatliche Anschubunterstützung für den Aufbau einer Zellproduktion in Deutschland bzw. in Europa erscheint unabdingbar, einerseits, um unternehmerische

Risiken in einer Schlüsselbranche zu reduzieren und andererseits als Investition in den Erhalt von Wettbewerbsfähigkeit. Für abgesicherte Zukunftsszenarien muss die Versorgung mit den notwendigen Rohstoffen und das Recycling von ausgedienten Batterien mitgedacht werden.

- 3) Die Entwicklung eines Konzeptes für die Mobilitätswende bis zum Jahr 2050 schafft Planungssicherheit bei allen Akteuren des Mobilitätssystems. Im Zentrum der Strategie sollten (autonom fahrende) Elektrofahrzeuge und deren Versorgung mit emissionsfreier Energie stehen. Entsprechend definierte Zielgrößen bilden die Basis zur Ausrichtung des industriepolitischen Handelns.
- 4) Für das Zusammenwirken von Akteuren aus der Elektromobilität (z. B. Fahrzeughersteller, Ladeinfrastrukturbetreiber, Ladestromanbieter oder virtuelle Kraftwerke) und dem Energiesystem sollten eindeutige Rollendefinitionen für die Zuordnung von Verantwortlichkeiten erstellt und zudem die konsistente Verwendung dieser Rollenbilder forciert werden.
- 5) Der Zertifizierungsprozess von Smart Metern und deren Rollout ist für die erfolgreiche Integration von Elektromobilität und Energiesystem essenziell und sollte beschleunigt werden.
- 6) Eine Analyse der Bedarfe für induktive Ladesysteme im öffentlichen Raum, die die aktuellen technischen Fortschritte berücksichtigt, steht aus. Die Ergebnisse einer solchen Analyse und die technischen Schlussfolgerungen sollten beim weiteren Ladeinfrastrukturausbau und der Ausgestaltung des legislativen Rahmens bedacht werden.
- 7) Die Verstärkung der Anstrengungen zur Normung und Standardisierung und die damit mögliche Interoperabilität induktiver Ladesysteme kann ein wesentlicher Faktor für die schnellere, hersteller- und modellübergreifende Etablierung induktiver Ladelösungen sein.
- 8) Um in der Breite komfortables und schnelles Laden zu erreichen, sind noch immer zahlreiche Herausforderungen zu bewältigen. Es erscheint sinnvoll, im Sinne eines Best-Practice-Austauschs nicht nur von den Erfahrungen anderer europäischer Länder, wie z. B. Norwegen oder den Niederlanden zu lernen, sondern auch verstärkt Hersteller, Stromnetzbetreiber, Kommunen und Nutzer in Forschungsprojekten zusammenzubringen.
- 9) Produktionsstandorte in aufstrebenden Staaten wie Indien, Thailand und Indonesien sollten zukünftig genauer beobachtet werden, um Marktpotenziale für wettbewerbsfähige Fahrzeuge und Batteriezellen aus Deutschland möglichst frühzeitig zu erkennen und eine Vermarktung anzubahnen.

7 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS FOR ACTION

The intensive examination of the scientific results and the industrial implementation of innovations within the framework of the accompanying and impact research for the funding initiative ELEKTRO POWER II allows only one conclusion: electric mobility will establish itself in the medium term. A large number of protagonists and initiatives will lead it to sustainable success on a global scale.

Experts for mobility, climate and urban development are aware of the significance of the growing share of low-emission mobility of people and goods for maintaining the quality of life in industrial nations and are pushing for solutions.

The harmonisation of mobility levels in emerging countries can only work, if it is based on environmentally friendly technologies. The world's major cities are threatened by traffic congestion as a result of the steady growth in private transport. Added to this are health impairments caused by pollutant emissions. These developments can be counteracted with a mobility shift towards electric and autonomous vehicles.

Germany is well positioned as a supplier of vehicles and services for all aspects of electric mobility and therefore has excellent opportunities to survive in tough and fast global competition. The technological leadership of vehicle manufacturers is at risk, if their dependence on suppliers of key value-added components, such as battery cells, continues to increase. State-sponsored industrial or research activities, such as the e-mobility offensive in China, are leading to greater convergence in terms of competitive excellence.

Historically achieved market positions of the production location Germany, characterised by a close interaction of industry and science, still form a very good basis for competitiveness. Innovative mechanical and plant engineering should be able to expand existing manufacturing and process competence in the future as well. Existing challenges can be overcome by further efforts in research and development, a more intensive transfer from research to industry and international cooperation.

In order to avoid threatening dependencies in battery supply, the establishment of cell production under the leadership of German industry in Germany and Europe is an important industrial policy goal. Public start-up financing seems necessary

in order to catch up with the technological locations in East Asia or the USA. However, it can only be the first step. The decisive commitment will have to be made as a private investment by companies along the value chain. In addition to a financing strategy, the implementation of process and production innovations for lithium-ion cells and, in the future, for the production of solid batteries will lead to sustainable success.

The synergies between mobility and energy turnarounds are attracting increasing attention as the market diffusion of electric mobility progresses. In recent years, this has led to the development of not only manufacturing expertise but also broad expertise in the integration of mobility and energy systems, as well as a high level of R&D competence. Germany, for example, occupies the leading position in Europe in research into smart grid technologies. The comparatively high proportion of volatile renewable energies in the German power grid requires innovative solutions for managing the energy system. Electric vehicles and intelligent charging solutions are of particular interest. The expansion of inductive charging in public spaces will also play an increasingly important role in this context.

The following recommendations for action for politics, industry and society result from the monitoring of the research projects in the ELEKTRO POWER II programme:

- 1) The use of energy and raw materials in vehicle production, but above all in battery cell production, determines the environmental effect of electric mobility. The existing production process competence of the German mechanical and plant engineering industry should continue to be used intensively for process optimisation and thus for increasing economic efficiency.
- 2) State support for the start-up of cell production in Germany and Europe appears indispensable, on the one hand to reduce entrepreneurial risks in a key sector and on the other hand as an investment in maintaining competitiveness. For secure future scenarios, the supply of the necessary raw materials and the recycling of spent batteries must be taken into consideration.
- 3) The development of a concept for the mobility turnaround by the year 2050 creates planning security for all

stakeholders in the mobility system. The strategy should focus on (autonomously running) electric vehicles and their supply with emission-free energy. Correspondingly defined targets form the basis for the orientation of industrial policy action.

- 4) Clear role definitions, that assign responsibilities, should be adopted for the interaction of stakeholders from electric mobility (e. g. vehicle manufacturers, charging infrastructure operators, electricity providers, virtual power plants) and the energy system. The consistent use of these role models should be promoted.
- 5) The certification process of smart meters and their rollout is essential for the successful integration of electric mobility and the energy system. It should be accelerated.
- 6) An analysis of the needs for inductive charging systems in public spaces, that takes the current progress into account, has yet to be conducted. The results of such an analysis and the technical conclusions should be taken into account in the further development of the charging infrastructure and the legislative framework.
- 7) Stepping up efforts towards standardisation and the resulting potential interoperability of inductive charging systems can be an essential factor in the faster establishment of inductive charging solutions across manufacturers and models.
- 8) There are still many challenges to be overcome in order to achieve comfortable and fast loading across the board. In the sense of an exchange of best practices, it seems sensible not only to learn from the experiences of other European countries, such as Norway or the Netherlands, but also to increasingly bring together manufacturers, electricity network operators, municipalities and users in research projects.
- 9) Production sites in emerging countries such as India, Thailand and Indonesia should be monitored more closely in future in order to identify market potential for competitive vehicles and battery cells from Germany as early as possible and to initiate marketing.

8 LITERATURVERZEICHNIS

- Abele, Corinne (2017): In China kommt 2019 die Quote für Elektroautos. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=in-china-kommt-2019-die-quote-fuer-elektroautos,did=1795402.html, zuletzt aktualisiert am 06.10.2017.
- Abele, Corinne (2018a): Elektromobilität VR China: Alles „Made in China“. Nahezu vollständige inländische Wertschöpfungskette vorhanden. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=elektromobilitaet-vr-china-alles-made-in-china,did=1883194.html?view=renderPdf, zuletzt geprüft am 28.05.2018.
- Abele, Corinne (2018b): Branche kompakt: Chinas Kfz-Markt vor großen Veränderungen. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/Branchen/Branche-kompakt/branche-kompakt-kfz-industrie-und-kfz-teile,t=branche-kompakt-chinas-kfzmarkt-vor-grossen-veraenderungen,did=1876384.html, zuletzt geprüft am 31.05.2018.
- Abele, Corinne (2018c): Elektromobilität VR China: Die Weichen sind gestellt. Fahrverbote, Subventionen und Elektroauto-Quote halten Kunden und Automobilbauer auf Kur. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=elektromobilitaet-vr-china-die-weichen-sind-gestellt,did=1883192.html, zuletzt geprüft am 18.05.2018.
- Abele, Corinne (2018d): China will ausländischen Autobauern freie Fahrt gewähren. Wegfall der Obergrenze für ausländische Beteiligungen im Automobilbau bis 2022 schafft Raum für mehr Wettbewerb. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=china-will-auslaendischen-autobauern-freie-fahrt-gewaehren,did=1907120.html, zuletzt geprüft am 18.05.2018.
- Agora Energiewende (Hg.) (2015): Wie hoch ist der Stromverbrauch in der Energiewende? Energiepolitische Zielszenarien 2050 – Rückwirkungen auf den Ausbaubedarf von Windenergie und Photovoltaik. Berlin.
- Agora Energiewende (Hg.) (2018): Die Energiewende im Stromsektor: Stand der Dinge 2017. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2018. Berlin.
- AHK Delegations of German Industry & Commerce, German Industry & Commerce Co. Ltd (2015a): Förderinitiativen für Elektrofahrzeuge in den Städten Beijing, Shanghai, Shenzhen und Guangzhou in 2015 – ein Vergleich. Online verfügbar unter <http://china.ahk.de/de/news/single-view/artikel/foerderinitiativen-fuer-elektrofahrzeuge-in-den-staedten-beijing-shanghai-shenzhen-und-guangzhou-in-2015-ein-vergleich/?cHash=66acf211cfbfbcdd9dde163fd9df65ea>, zuletzt geprüft am 23.12.2016.
- ak/dpa-afx (2017): Opels 88 Jahre als GM-Tochter sind Geschichte. In: manager magazin, 01.08.2017. Online verfügbar unter www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/peugeot-schliesst-opel-uebernahme-ab-a-1160822.html.
- Ankerbrand, Hendrik (2015): Weltklimavertrag: Chinas kaputte Umwelt. In: Frankfurter Allgemeine Zeitung – F.A.Z., 08.04.2015. Online verfügbar unter www.faz.net/aktuell/wirtschaft/energiepolitik/weltklimavertrag-chinas-kaputte-umwelt-13526249.html, zuletzt geprüft am 30.08.2018.
- ASSURED Project (2017): Pillar III – Electric Vans. Online verfügbar unter <https://assured-project.eu/use-cases/pillar-iii-electric-vans>, zuletzt geprüft am 05.07.2018.
- AVL (2018): Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen List. Online verfügbar unter www.avl.com, zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 11.06.2018.
- Bauer, Wilhelm; Wagner, Sabine; Albert, Florian; Nagl, Elisabeth; Stegmüller, Sebastian (2018): Standortanalyse Japan. Automobilindustrie und zukünftige Mobilitätsinnovationen. Hg. v. e-mobil BW. Stuttgart. Online verfügbar unter www.e-mobilbw.de/files/e-mobil/content/DE/Publikationen/PDF/PDF_2018/18020_Studie-Standortanalyse-Japan_RZ-Web.pdf, zuletzt geprüft am 05.03.2018.
- Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten; Vogel-Heuser, Birgit (Hg.) (2014): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung · Technologien · Migration. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

- Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8>.
- Bernhart, Wolfgang; Schlick, Thomas; Olschewski, Ingo; Busse, Alexander; Garrelfs, Jens (2017): Index Elektromobilität Q1 2017. Hg. v. Roland Berger. Aachen, München. Online verfügbar unter www.rolandberger.com/de/Publications/Index-Elektromobilit%C3%A4t-Q1-2017-2.html, zuletzt geprüft am 20.08.2018.
 - Bernhart, Wolfgang; Schlick, Thomas; Olschewski, Ingo; Busse, Alexander; Riederle, Stefan; Pieper, Gero (2018): Index Elektromobilität 2018. Hg. v. Roland Berger und Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen. Online verfügbar unter www.rolandberger.com/de/press/E-Mobilit%C3%A4t-Autohersteller-m%C3%BCssen-in-Batterieentwicklung-und-Recycling-investie.html, zuletzt geprüft am 27.07.2018.
 - Bierau, Frauke; Lidzba, Bastian; Meyer, Gereon; Müller, Beate; Schürmann, Marcus (2013): Trendbericht Elektromobilität in Japan. Hg. v. VDI/VDE-IT und AHK Japan. Online verfügbar unter <https://vdivde-it.de/publikation/trendbericht-elektromobilitaet-japan>, zuletzt geprüft am 01.08.2018.
 - Bierau, Frauke; Meyer, Gereon (2014): Electric Vehicle Supply Chain in USA. Global Opportunities for SMEs in Electro-Mobility. GO4SEM.
 - Bierau, Frauke; Meyer, Gereon; Müller, Beate; Soomaroo, Zakia (2015): Electric Vehicle Supply Chain. Global Opportunities for Electric Mobility: Japan. GO4SEM.
 - Bloomberg Hyperdrive (Hg.) (2018): Chinese Carmakers Under Pressure as Joint-Venture Caps Erased. Online verfügbar unter www.bloomberg.com/news/articles/2018-04-18/tesla-bmw-unshackled-from-jv-eraps-china-carmakers-on-notice, zuletzt aktualisiert am 18.04.2018, zuletzt geprüft am 30.08.2018.
 - bmvit (Hg.) (2012): Gesamtverkehrsplan für Österreich. Online verfügbar unter www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/gvp/downloads/gvp_gesamt.pdf.
 - bmvit (Hg.) (2016): Nationaler Strategierahmen „Saubere Energie im Verkehr“. Online verfügbar unter www.bmvit.gv.at/verkehr/elektromobilitaet/downloads/strategierahmen.pdf.
 - bmvit (Hg.) (2017a): Elektromobilität. Themenseite. Online verfügbar unter www.bmvit.gv.at/verkehr/elektromobilitaet/index.html, zuletzt aktualisiert am 27.11.2017.
 - bmvit (2017b): Start des Förderpakets für Elektromobilität. Online verfügbar unter www.bmvit.gv.at/presse/aktuell/downloads/leichtfried/emobilpaket.pdf, zuletzt geprüft am 10.10.2017.
 - Bolloré (Hg.) (2018): Webseite. Online verfügbar unter www.bolloré.com/en-us, zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 11.06.2018.
 - Bönninghausen, Daniel (2017): PSA kauft Opel – inklusive Lizenz für Ampera-e. Hg. v. electrive.net. Online verfügbar unter www.electrive.net/2017/03/06/psa-kauft-opel-ampera-e-bleibt-bestehen/, zuletzt geprüft am 29.08.2018.
 - Bönninghausen, Daniel (2018a): Audi e-tron. Alle Details zu Ladetechnik und Batterie. Hg. v. electrive.net. Online verfügbar unter www.electrive.net/2018/04/21/audi-e-tron-alle-details-zu-ladetechnik-und-batterie/, zuletzt geprüft am 06.08.2018.
 - Bönninghausen, Daniel (2018b): Opel plant weiter mit Ampera-e – und nennt neue Preise. Hg. v. electrive.net. Online verfügbar unter www.electrive.net/2018/01/05/opel-plant-weiter-mit-ampera-e-und-nennt-neue-preise/, zuletzt aktualisiert am 05.01.2018, zuletzt geprüft am 30.08.2018.
 - Bönninghausen, Daniel (2018c): London bestellt 68 elektrische Doppeldecker-Busse. Hg. v. electrive.net. Online verfügbar unter www.electrive.net/2018/06/20/london-bestellt-68-elektrische-doppeldecker-busse/, zuletzt geprüft am 13.08.2018.
 - Bönninghausen, Daniel (2018d): China will Subventionen für Elektroautos weiter senken. Hg. v. electrive.net. Online verfügbar unter www.electrive.net/2018/07/06/china-will-foerderung-von-elektroautos-weiter-senken/, zuletzt aktualisiert am 06.07.2018, zuletzt geprüft am 30.08.2018.
 - Bönninghausen, Daniel (2018e): China & Japan formen gemeinsam neuen HPC-Ladestandard. Hg. v. electrive.net. Online verfügbar unter www.electrive.net/2018/08/23/china-japan-arbeiten-an-gemeinsamen-hpc-ladestandard.

- ard/, zuletzt aktualisiert am 28.08.2018, zuletzt geprüft am 30.08.2018.
- Bosshard, Roman; Kolar, Johann W. (2016): Inductive Power Transfer for Electric Vehicle Charging – Technical challenges and tradeoffs. In: IEEE Power Electronics Magazine 3 (3), S. 22–30.
 - Bratzel, Stefan; Thömmes, Jürgen; Tellermann, Ralf (2017): Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen für das Jahr 2030: Deutschland, EU, USA und China. Eine Szenarioanalyse. Für: Industrieverband Gießerei-Chemie e.V., Herr Dr. Jochen Wilkens, Sankt-Florian-Weg 1, 30880 Laatzen. Hg. v. Center of Automotive Management [CAM]. Bergisch-Gladbach. Online verfügbar unter https://giessereichemie.de/wp-content/uploads/2018/02/Studie_Industrieverband_Giesserei_v2.7_SB.pdf.
 - Broich, Patrick (2017): Schluss mit dem Kabelsalat. Induktives Laden während der Fahrt. firmenauto – Mobilität & Management. Online verfügbar unter www.firmenauto.de/induktives-laden-waehrend-der-fahrt-schluss-mit-dem-kabelsalat-9572577.html, zuletzt geprüft am 15.06.2018.
 - Buchenau, Martin-W. (2018): Keine eigene Produktion: Bosch macht bei Batteriezellen einen Rückzieher. In: Wirtschaftswoche, 28.02.2018. Online verfügbar unter www.wiwo.de/unternehmen/industrie/keine-eigene-produktion-bosch-macht-bei-batteriezellen-einen-rueckzieher/21013610.html, zuletzt geprüft am 20.08.2018.
 - Buddy Electric (Hg.) (2018): Webseite. Online verfügbar unter www.buddyelectric.no/, zuletzt geprüft am 11.06.2018.
 - Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF] (Hg.) (2018): werkstofftechnologien.de. Vom Material zur Innovation. Online verfügbar unter www.werkstofftechnologien.de, zuletzt geprüft am 05.09.2018.
 - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hg.) (2016): Klimaschutzplan 2050 Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Berlin.
 - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi]: Erneuerbare Energien. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi]. Online verfügbar unter www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html, zuletzt geprüft am 01.10.2018.
 - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi] (2015): Bekanntmachung über die Förderung im Themenfeld „Elektromobilität – Positionierung der Wertschöpfungskette“ (ELEKTRO POWER II). Online verfügbar unter www.foerderinfo.bund.de/rss/bekanntmachung/2277/, zuletzt geprüft am 20.08.2018.
 - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi] (Hg.) (2018a): Elektromobilität in Deutschland. Online verfügbar unter www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/elektromobilitaet.html, zuletzt geprüft am 03.09.2018.
 - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi] (Hg.) (2018b): Innovationen für die Elektromobilität. Ergebnisse aus dem Förderprogramm ELEKTRO POWER II. 2016-2018. Berlin.
 - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi]; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit [BMUB] (2017): Richtlinie zu einer gemeinsamen Förderinitiative zur Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität. Hg. v. Bundesministerium der Justiz und für den Verbraucherschutz [BMJV] (Bundesanzeiger, AT 15.12.2017 B4).
 - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi]; Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [BMVBS]; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit [BMU]; Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF] (Hg.) (2011): Regierungsprogramm Elektromobilität. Berlin. Online verfügbar unter [www.bmbf.de/files/programm_elektromobilitaet\(1\).pdf](http://www.bmbf.de/files/programm_elektromobilitaet(1).pdf), zuletzt geprüft am 20.08.2018.
 - Bundesnetzagentur (Hg.) (2018a): Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende. Online verfügbar unter www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Mess-undZaehlwesen/Mess-undZaehlwesen/Smart_Metering/Smart_Metering_node.html, zuletzt geprüft am 13.06.2018.
 - Bundesnetzagentur (Hg.) (2018b): Übersicht Strom- und Gasnetzbetreiber. Online verfügbar unter www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/DatenaustauschundMonitoring/UnternehmensStammdaten/Uebersicht_Netzbetreiber/

UebersichtStromUndGasnetzbetreiber_node.html, zuletzt geprüft am 15.06.2018.

- Bundesregierung (2018): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Stephan Kühn (Dresden), Stefan Gelbhaar, Oliver Krischer, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN. Sachstand und weitere Förderung der Elektromobilität. Deutscher Bundestag (Drucksache, 19/649). Online verfügbar unter <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/009/1900986.pdf>, zuletzt geprüft am 08.06.2018.
- CAAM (Hg.) (o. J.): New Energy Vehicles. Online verfügbar unter www.caam.org.cn/Views/search.aspx?key=New%2520energy%2520Vehicles&type=0&pageindex=1, zuletzt geprüft am 31.05.2018.
- CDU; CSU; SPD (2018): Ein neuer Aufbruch für Europa. Eine neue Dynamik für Deutschland. Ein neuer Zusammenhalt für unser Land. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD. 19. Legislaturperiode. Berlin. Online verfügbar unter www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/koalitionsvertrag-inhaltsverzeichnis.html, zuletzt geprüft am 20.08.2018.
- Central Intelligence Agency [CIA] (Hg.) (2018): The World Factbook. Online verfügbar unter www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/, zuletzt aktualisiert am 19.06.2018, zuletzt geprüft am 03.08.2018.
- CHAdeMO (Hg.) (2017): Memberlist. Online verfügbar unter: www.chademo.com/membership/members, zuletzt geprüft am 04.02.2017.
- CHAdeMO (Hg.) (2018): CHAdeMO to jointly develop next-gen Ultra-Fast Charging Standard with China. Online verfügbar unter www.chademo.com/chademo-to-jointly-develop-next-gen-ultra-fast-charging-standard-with-china/, zuletzt aktualisiert am 22.08.2018, zuletzt geprüft am 30.08.2018.
- Citroen (Hg.) (2018): Webseite. Online verfügbar unter www.citroen.fr/accueil.html, zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 11.06.2018.
- Cluster Leistungselektronik (2018): Projekte. 01.01.13–31.12.2015 - BMBF Förderprogramm. BIPoLplus – Berührungsloses, induktives und positionstolerantes Laden. Online verfügbar unter www.clusterle.de/seitennavigation/cluster-service/projekte/aktuell/aktuelles-details/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=675&cHash=8ee52793113033e6e62a2d5fa0a458c0, zuletzt geprüft am 04.07.2018.
- Daimler (Hg.) (2018): Batterieproduktion in Thailand. Mercedes-Benz Cars treibt Elektro-Offensive in Südostasien weiter voran. Online verfügbar unter www.daimler.com/konzern/standorte/thailand/, zuletzt geprüft am 03.08.2018.
- Daimler AG (2018): Unter der Lupe. Ladetechnologien: Laden leicht gemacht. Online verfügbar unter <http://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Unter-der-Lupe-Ladetechnologien-Laden-leicht-gemacht.xhtml?oid=11110699>, zuletzt geprüft am 05.07.2018.
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [GIZ] (2016): Der große Strom – Elektromobilität in China. Ein Weg zu mehr Klimaschutz, nachhaltigem Verkehr und ökonomischer Stärke. Beijing. Online verfügbar unter <http://sustainabletransport.org/?wpdmdl=4187>.
- Deutsche Wirtschaftsnachrichten (Hg.) (2018): Expansion nach Afrika: VW eröffnet Werk in Ruanda. Online verfügbar unter https://deutsche-wirtschafts-nachrichten.de/2018/07/04/__trashed-4/, zuletzt aktualisiert am 04.07.18, zuletzt geprüft am 30.08.2018.
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt [DLR]; Karlsruher Institut für Technologie [KIT] (Hg.) (2016): LADEN2020 Schlussbericht. Konzept zum Aufbau einer bedarfsgerechten Ladeinfrastruktur in Deutschland von heute bis 2020. Online verfügbar unter https://elib.dlr.de/111054/2/LADEN2020_Schlussbericht.pdf, zuletzt geprüft am 20.08.2018.
- Diewitz, Marte-Marie (2016): Die Niederlande investieren in Elektromobilität. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=die-niederlande-investieren-in-elektromobilitaet,did=1433154.html.
- Dilk, Heiko (2018): Induktives Laden. BMW-Plug-in-Hybrid 530e iPerformance. BMW bringt kabelloses Laden unters Auto. Online verfügbar unter www.motor-talk.de/news/bmw-bringt-kabelloses-laden-unders-auto-t6357862.html, zuletzt geprüft am 05.07.2018.

- Doraczynska, Katarzyna; Bierau, Frauke (2014): Electric Vehicle Supply Chain. Global Opportunities for Electric Mobility: China. Go4Sem.
- Dow, Jameson (2018): US retroactively extends tax credits for charger installations, electric motorcycles and fuel cell vehicles through end of 2017 (Updated). Hg. v. electrek.co. Online verfügbar unter <https://electrek.co/2018/02/09/ev-charging-credit-extended-2018/>, zuletzt geprüft am 18.06.2018.
- dpa (2015): Elektromobilität. USA werden Elektroauto-Ziel verfehlen. In: Handelsblatt, 23.01.2015. Online verfügbar unter www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/elektromobilitaet-usa-werden-elektroauto-ziel-verfehlen/11273364.html, zuletzt geprüft am 24.11.2017.
- dpa (2018): Batteriezellen: Osterloh tickt anders als Müller. Hg. v. news38.de. Online verfügbar unter www.news38.de/wolfsburg/article213970281/Batteriezell-Produktion-Osterloh-tickt-anders-als-Mueller.html, zuletzt geprüft am 17.06.2018.
- dpa/gem (2018): Obamas Sprit-Ziel für die USA vor dem Aus: Trump-Regierung will mehr Verbrauch erlauben. In: Automobilwoche – Die Branchen- und Wirtschaftszeitung, 03.04.2018. Online verfügbar unter www.automobilwoche.de/article/20180403/AGENTURMELDUNGEN/304029963/obamas-sprit-ziel-fur-die-usa-vor-dem-aus-trump-regierung-will-mehr-verbrauch-erlauben, zuletzt geprüft am 18.06.2018.
- Duscha, Waldemar (2018): Branche kompakt. Thailands Automobilssektor auf dem Weg der Erneuerung. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigati-on/DE/Trade/Maerkte/Branchen/Branchen-kompakt/branche-kompakt-kfz-industrie-und-kfz-teile,t=branche-kompakt-thailands-automobilssektor-auf-dem-weg-der-erneuerung,did=1937470.html, zuletzt geprüft am 10.07.2018.
- Ebusco (Hg.) (2018): Webseite. Online verfügbar unter <https://ebusco.eu/>, zuletzt geprüft am 11.06.2018.
- Eckl-Dorna, Wilfried (2017): Elektroautos: Chinas will Ladeinfrastruktur mit Milliardenaufwand ausbauen. In 3 Jahren 5 Millionen Ladepunkte. In: manager magazin, 04.12.2017. Online verfügbar unter www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/elektroautos-chinas-will-ladeinfrastruktur-mit-milliardenaufwand-ausbauen-a-1181701.html, zuletzt geprüft am 29.08.2018.
- econet china (2015): „Elektromobilität in China - Entwicklung und Marktchancen“: Veranstaltungsreihe in Deutschland. In: econet monitor, 01.10.2015 (Oktober 2015), S. 15–17. Online verfügbar unter https://china.ahk2.cps-projects.de/fileadmin/AHK_China/Services/Building__Environment/Climate_Markets_Cooperation/Econet_Monitor_Oktober_2015.pdf, zuletzt geprüft am 01.03.2018.
- ElectReon (2018a): Technology. Online verfügbar unter www.electreon.com/technology, zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 14.06.2018.
- ElectReon (2018b): Webseite. Technology. Hg. v. ElectReon. Online verfügbar unter www.electreon.com/technology, zuletzt geprüft am 01.08.2018.
- Electric Cars Report (Hg.) (2017): WiTricity Collaborating with Nissan on Wireless EV Charging. Online verfügbar unter <http://electriccarsreport.com/2017/02/witricity-collaborating-nissan-wireless-ev-charging/>, zuletzt aktualisiert am 09.02.2017, zuletzt geprüft am 13.02.2017.
- eMobilitätOnline.de (Hg.) (2017a): Frankreich will 1 Million Elektroauto-Ladestationen fördern. Online verfügbar unter www.emobilitaetonline.de/news/politik/3370-frankreich-will-1-million-elektroauto-ladestationen-f%C3%B6rdern, zuletzt aktualisiert am 13.06.2017, zuletzt geprüft am 13.06.2018.
- eMobilitätOnline.de (Hg.) (2017b): Mercedes baut mehr Elektroautos in den USA. Online verfügbar unter www.emobilitaetonline.de/news/wirtschaft/3617-mercedes-baut-mehr-elektroautos-in-den-usa, zuletzt geprüft am 07.12.2017.
- EMOSS (Hg.) (2018): Webseite. Online verfügbar unter www.emoss.nl/en/, zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 11.06.2018.
- EnBW AG (Hg.) (2018): Schub für E-Mobilität in Süddeutschland: OMV und EnBW bauen Infrastruktur für Hochgeschwindigkeits-Laden in Süddeutschland aus. Pressemitteilung. Online verfügbar unter <https://www.enbw.com/unternehmen/presse/pressemitteilungen/>

presse-detailseite_185920.html, zuletzt aktualisiert am 13.06.2018, zuletzt geprüft am 13.06.2018.

- Enerdata (Hg.) (2018): Global Energy Statistical Yearbook 2018. World Energy Consumption Statistics. Online verfügbar unter <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>, zuletzt geprüft am 03.08.2018.
- Erneuerbar Mobil (Hg.) (2016): InterOp. VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Online verfügbar unter www.erneuerbar-mobil.de/projekte/interop, zuletzt aktualisiert am 2016, zuletzt geprüft am 04.07.2018.
- ERTRAC (Hg.) (2017): European Roadmap Electrification of Road Transport. 3rd Edition.
- EU Project ASSURED (2018): ASSURED. Projekt Website. Online verfügbar unter <https://assured-project.eu/>, zuletzt aktualisiert am 06.07.2018.
- EU Projekt FABRIC (2018): Feasibility analysis and development of on-road charging solutions for future electric vehicles. Projekt-Website. Online verfügbar unter www.fabric-project.eu/, zuletzt aktualisiert am 06.07.2018.
- EU Projekt unplugged (2018): FP 7 unplugged project – inductive charging for electric vehicles. Projekt-Website. Online verfügbar unter <http://unplugged-project.eu/>, zuletzt aktualisiert am 06.07.2018.
- EuPD Research; DCTI - Deutsches CleanTech Institut (Hg.) (2011): Potenzialanalyse für die Elektromobilität im Land Bremen. Bonn. Online verfügbar unter http://e-mobility-nsr.eu/fileadmin/user_upload/downloads/info-pool/EV_Potenzialanalyse_Elektromobilitaet.Final.pdf, zuletzt geprüft am 20.08.2018.
- Europäische Kommission (2011): Weissbuch. Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem. Online verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:DE:PDF>, zuletzt geprüft am 20.08.2018
- Europäische Union (Hg.) (2014): Richtlinie 2014/94/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2014 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (Amtsblatt der Europäischen Union, L 307).
- Europäische Union (Hg.) (2015): EU ETS Handbook. Brüssel.
- European Alternative Fuels Observatory [eafo] (Hg.) (2018a): Country Profiles. Online verfügbar unter www.eafo.eu/countries, zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 2018.
- European Alternative Fuels Observatory [eafo] (Hg.) (2018b): France. Country Profile. Online verfügbar unter www.eafo.eu/content/france, zuletzt aktualisiert am 2018.
- European Alternative Fuels Observatory [eafo] (Hg.) (2018c): Netherlands. Country Profile. Online verfügbar unter www.eafo.eu/content/netherlands, zuletzt aktualisiert am 16.02.2018.
- European Alternative Fuels Observatory [eafo] (Hg.) (2018d): Norway. Country Profile. Online verfügbar unter www.eafo.eu/content/norway, zuletzt aktualisiert am 16.02.2018.
- European Commission (Hg.) (2018): Global Human Settlement. City centres database visualisation. Online verfügbar unter <https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/ccdb2016visual.php#>, zuletzt aktualisiert am 21.06.2018, zuletzt geprüft am 03.08.2018.
- Fasse, Markus (2018): E-Mobilität, Fintechs, Handel, KI: In diesen Branchen ist China bald unschlagbar. In: Handelsblatt, 08.03.2018. Online verfügbar unter www.handelsblatt.com/politik/international/e-mobilitaet-fintechs-handel-ki-in-diesen-branchen-ist-china-bald-unschlagbar/21047476.html?ticket=ST-96970-JDfpFzPXF-B6dSNwzzjvd-ap3, zuletzt geprüft am 30.08.2018.
- Feijter, Tycho de (2016): Alibaba And SAIC Launch ‚Internet Car‘ In China. Forbes. Online verfügbar unter www.forbes.com/sites/tychodefeijter/2016/07/08/alibaba-and-saic-launch-internet-car-in-china/#1b21f7cb49a4, zuletzt aktualisiert am 08.07.2016, zuletzt geprüft am 06.02.2017.
- Flatten, Lisa (2017): Wirtschaftsausblick Mai 2017 – VR China. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn.

- Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/Wirtschaftsklima/wirtschaftsausblick,t=wirtschaftsausblick-mai-2017--vr-china,did=1725698.html, zuletzt geprüft am 06.12.2017.
- Fockers, Andreas (2017): Mut zur schnellen Lösung. Berührungslose Ladesysteme. Hg. v. all-electronics.de. Online verfügbar unter www.all-electronics.de/beruehrungslose-ladesysteme/, zuletzt geprüft am 08.06.2018.
 - Franzke, Carola (2018): Elektroauto laden: Künftig lädt das E-Auto während der Fahrt. Hg. v. Audi AG. Online verfügbar unter <https://aiomag.de/unendliche-reichweiten-elektroautos-waehrend-der-fahrt-laden-8840>, zuletzt aktualisiert am 28.06.2018, zuletzt geprüft am 28.06.2018.
 - Frese, Alfons (2018): Ostdeutschland aufgeladen. In: Der Tagesspiegel, 10.03.2018. Online verfügbar unter www.tagesspiegel.de/wirtschaft/elektromobilitaet-ostdeutschland-aufgeladen/21055364.html, zuletzt geprüft am 19.09.2018.
 - Gangale, Flavia; Vasiljevskaja, Julija; Covrig Catalin Felix; Mengolini Anna; Fulli, Gianluca (2017): Smart grid projects outlook 2017. Facts, figures and trends in Europe. Hg. v. Europäische Kommission. Petten.
 - George, William (2018): Cape Town: the first city in Africa to go electric on public transport. Hg. v. Focus on Transport and Logistics (3). Online verfügbar unter www.focusontransport.co.za/cape-town-the-first-city-in-africa-to-go-electric-on-public-transport/, zuletzt geprüft am 19.07.2018.
 - German American Chamber of Commerce of the Midwest, Inc. (Hg.) (o. J.): Die US-Automobilindustrie. Online verfügbar unter www.gaccmidwest.org/industrien/automobilindustrie/, zuletzt geprüft am 06.12.2017.
 - GOLEM (Hg.) (2017): Staatliche Finanzhilfen elektrisieren Norwegen. Online verfügbar unter www.golem.de/news/elektromobilitaet-staatliche-finanzhilfen-elektrisieren-norwegen-1707-129054.html, geprüft am 20.08.2018.
 - Graichen, Patrick (2017): Energiewende 2030 – The Big Picture. Megatrends, Ziele, Strategien und eine 10-Punkte-Agenda für die zweite Phase der Energiewende. Berlin, 15.06.2017.
 - Großmann, Dirk (2016): Induktives Laden – Von der Evaluierung zur standardisierten E-Mobilität. In: Hanser Automotive (10), S. 74–76.
 - Guy (2012): Chevy Volt und Nissan Leaf schnurlos Laden. Hg. v. Goingelectric.de. Online verfügbar unter www.goingelectric.de/2012/11/01/news/nissan-leaf-chevrolet-volt-schnurlos-laden-induktion/, zuletzt geprüft am 08.06.2018.
 - Hall, Dale; Moulak, Marissa; Lutsey, Nic (2017): Electric vehicle capitals of the world: Demonstrating the path to electric drive. Hg. v. International Council on Clean Transportation [ICCT]. Washington. Online verfügbar unter www.theicct.org/sites/default/files/publications/Global-EV-Capitals_White-Paper_06032017_vF.pdf, zuletzt geprüft am 21.06.2017.
 - HEV TCP (2018): France – Policies and Legislation. Hg. v. International Energy Agency [IEA]. Online verfügbar unter www.ieahev.org/by-country/france-policy-and-legislation/, zuletzt geprüft am 2018.
 - Hill, Nikolas; Kollamethodi, Sujith; Varama, Adarsh; Cesbron, Stephanie; Wells, Peter; Slater, Shane et al. (2016): Fuelling Europe's Future. How auto innovation leads to EU jobs.
 - Hoffmann, Julian (2018): DAF und VDL präsentieren Elektro-Lkw. CF Electric geht noch 2018 in die Erprobung. Hg. v. eurotransport.de. Online verfügbar unter www.eurotransport.de/artikel/daf-und-vdl-praesentieren-elektro-lkw-cf-electric-geht-noch-2018-in-die-erprobung-10145343.html, zuletzt geprüft am 09.08.2018.
 - Hundt, Thomas (2016): Erneuerbare Energien sollen Indiens Energiehunger stillen. Zubau von Kohlekraftwerken und erneuerbaren Energien gleichauf/Investitionen in Solarenergie legen zu. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=erneuerbare-energien-sollen-indiens-energiehunger-stillen,did=1442652.html, zuletzt geprüft am 10.07.2018.
 - International Energy Agency [IEA] (Hg.) (o. J.): Policies and Measures-Japan. Online verfügbar unter www.iea.org/policiesandmeasures/pams/japan/, zuletzt geprüft am 02.02.2017.

- International Energy Agency [IEA] (Hg.) (2016a): Eco-Car Tax Break and Subsidies for Vehicles. Policies and Measures-Japan. Online verfügbar unter www.iea.org/policiesandmeasures/pams/japan/name-24924-en.php, zuletzt aktualisiert am 09.06.2016, zuletzt geprüft am 05.02.2017.
- International Energy Agency [IEA] (2016b): Global EV Outlook 2016. Beyond one million electric cars. Hg. v. OECD und International Energy Agency [IEA]. Paris. Online verfügbar unter www.cleanenergyministerial.org/Portals/2/pdfs/EVI-Global_EV_Outlook_2016.pdf, zuletzt geprüft am 22.11.2016.
- International Energy Agency [IEA] (Hg.) (2016c): Hybrid and Electric Vehicles. The Electric Drive Commutes. Unter Mitarbeit von Gereon Meyer, Jadranka Dokic, Heike Jürgens und Diana M. Tobias. Online verfügbar unter [www.ieahev.org/assets/1/7/2016_IA-HEV_BOOK_web_\(1\).pdf](http://www.ieahev.org/assets/1/7/2016_IA-HEV_BOOK_web_(1).pdf), zuletzt geprüft am 04.02.2017.
- International Energy Agency [IEA] (2017a): Global EV Outlook 2017. Two Million and counting. Hg. v. OECD und International Energy Agency [IEA]. Paris. Online verfügbar unter www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf, zuletzt geprüft am 12.06.2017.
- International Energy Agency [IEA] (Hg.) (2017b): Hybrid and Electric Vehicles. The Electric Drive Chauffeurs. Online verfügbar unter www.ieahev.org/assets/1/7/HEV_TCP_Report2017-web.pdf, zuletzt geprüft am 06.01.2017.
- International Energy Agency [IEA] (2018): Global EV Outlook 2018. Towards cross-modal electrification. Hg. v. OECD und International Energy Agency [IEA]. Paris. Online verfügbar unter <https://webstore.iea.org/global-ev-outlook-2018>, zuletzt geprüft am 30.05.2018.
- International Energy Agency [IEA]; OECD (Hg.) (2016): Energy Policies of IEA Countries – Japan 2016. Paris. Online verfügbar unter www.oecd.org/japan/energy-policies-of-iea-countries-japan-2016-9789264265868-en.htm, zuletzt geprüft am 11.11.2016.
- International Trade Administration [ITA] and export.gov (2017): Market Brief – E-Mobility in France (2016). Online verfügbar unter www.export.gov/article?id=Market-Brief-E-Mobility-in-France-2016, zuletzt geprüft am 20.08.2018.
- IONITY GmbH (Hg.) (2017): IONITY-Schnellladenetz nimmt Form an: Standortpartner für 18 europäische Länder fixiert. Pressemitteilung. München.
- Irie, Hiroshi (2017): NEDO Smart Community Case Study. Japan – U.S. Collaborative Smart Grid Demonstration Project in Maui Island of Hawaii State. Hg. v. New Energy and Industrial Technology Development Organization. Kawasaki.
- Jaentzke, Christian (2017): US-Markt für Elektroautomobile kommt in Schwung. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=usmarkt-fuer-elektroautomobile-kommt-in-schwung,did=1687148.html, zuletzt geprüft am 24.11.2017.
- Joint Research Centre (Hg.) (2018): Smart Metering deployment in the European Union. Online verfügbar unter <http://ses.jrc.ec.europa.eu/smart-metering-deployment-european-union>, zuletzt aktualisiert am 12.06.2018, zuletzt geprüft am 12.06.2018.
- Kagermann, Henning; Anderl, Reiner; Gausemeier, Jürgen; Schuh, Günter; Wahlster, Wolfgang (Hg.) (2016): Industrie 4.0 im globalen Kontext. Strategien der Zusammenarbeit mit internationalen Partnern. München: Herbert Utz Verlag GmbH (acatech Studie). Online verfügbar unter www.acatech.de/Publikation/industrie-4-0-im-globalen-kontext-strategien-der-zusammenarbeit-mit-internationalen-partnern/, zuletzt geprüft am 02.10.2018.
- Kallweit, Jennifer (2017): Fünfte Batterie-Produktion weltweit. Mercedes-Benz baut Batteriefabrik in USA. Hg. v. Automobil-Produktion. Online verfügbar unter www.automobil-produktion.de/hersteller/wirtschaft/mercedes-benz-baut-batteriefabrik-in-usa-213.html, zuletzt aktualisiert am 21.09.2017, zuletzt geprüft am 01.12.2017.
- Kirchgeorg; Manfred; Möhrle, Martin G.; Specht, Dieter (2018): Leapfrogging (Gabler Wirtschaftslexikon Online). Online verfügbar unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/leapfrogging-41469/version-264833>, zuletzt aktualisiert am 15.02.2018, zuletzt geprüft am 27.09.2018.

- Klima+Energie Fonds (2018): Zero Emission Mobility: 7 Millionen Euro für Elektromobilitäts-Projekte. Online verfügbar unter www.klimafonds.gv.at/presse/presseinformationen/zero-emission-mobility-7-millionen-euro-fuer-elektromobilitaets-projekte/, zuletzt geprüft am 20.08.2018.
- Koeller, Stefan (2017a): ESA: Norwegische E-Auto-Subventionen werden fortgeführt. Hg. v. [electrive.net](http://www.electrive.net). Online verfügbar unter www.electrive.net/2017/12/20/esa-norwegische-e-auto-subventionen-werden-fortgefuehrt/, zuletzt aktualisiert am 20.12.2017.
- Koeller, Stefan (2017b): Opel-Übernahme durch PSA perfekt. Hg. v. [electrive.net](http://www.electrive.net). Online verfügbar unter www.electrive.net/2017/08/01/opel-uebernahme-durch-psa-perfekt/, zuletzt geprüft am 29.08.2018.
- Koeller, Stefan (2018): CHAdeMO 2.0 ermöglicht Ladeleistungen von bis zu 400 kW. Hg. v. [electrive.net](http://www.electrive.net). Online verfügbar unter www.electrive.net/2018/06/16/chademo-2-0-ermoeeglicht-ladeleistungen-von-bis-zu-400-kw/, zuletzt geprüft am 30.08.2018.
- Kölch, Jürgen (2015): Förderung von Elektromobilität in Deutschland im Vergleich zu anderen Ländern. Whitepaper. EVA Fahrzeugtechnik. München. Online verfügbar unter www.evafahrzeugtechnik.de/publikationen/whitepaper-4-foerderung-von-elektromobilitaet-in-deutschland-im-vergleich-zu-anderen-laendern.html, zuletzt geprüft am 20.08.2018.
- Kommunalkredit Public Consulting (2018): Umweltförderung in Österreich. Online verfügbar unter www.umweltfoerderung.at/betriebe/e-ladeinfrastruktur.html, zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 20.03.2018.
- Kraftfahrt-Bundesamt (2018): Jahresbilanz des Fahrzeugbestands am 1. Januar 2018. Online verfügbar unter www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/b_jahresbilanz.html, zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 15.06.2018.
- Krauß, Susanne (2018): Afrika: Die mobile Revolution. In: *Die Zeit*, 30.06.2018. Online verfügbar unter www.zeit.de/mobilitaet/2018-06/afrika-grossstaedte-verkehr-luftverschmutzung/komplettansicht, zuletzt geprüft am 30.08.2018.
- Kreisel (Hg.) (2018): Webseite. Online verfügbar unter www.kreiselectric.com/, zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 11.06.2018.
- Lang (2018): Nahverkehr – RNV stoppt Weiterentwicklung der kabellosen Ladetechnik in Mannheim. Primove-Busverkehr ausgebremst. Online verfügbar unter www.morgenweb.de/mannheimer-morgen_artikel,-thema-des-tages-primove-busverkehr-ausgebremst-_arid,1255730.html, zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 13.06.2018.
- Lavrijssen, Saskia; Carrillo Parra, Arturo (2017): Radical Prosumer Innovations in the Electricity Sector and the Impact on Prosumer Regulation. In: *Sustainability* 9 (7), S. 1207. DOI: 10.3390/su9071207.
- Lisboa, Carolina Cardoso; Butterbach-Bahl, Klaus; Mauder, Matthias; Kiese, Ralf (2011): Bioethanol production from sugarcane and emissions of greenhouse gases – known and unknowns. In: *GCB Bioenergy* 3 (4), S. 277–292. DOI: 10.1111/j.1757-1707.2011.01095.x.
- Liu, Yingqi; Kokko, Ari (2013): Who does what in China's new energy vehicle industry? In: *Energy Policy* 57, S. 21–29.
- Löwer, Chris (2018): Induktives Laden: Die Ladesäule ist nicht länger heilig. Hg. v. [carIT](http://www.carIT.com). Online verfügbar unter www.car-it.com/die-ladesaeule-ist-nicht-laenger-heilig/, zuletzt geprüft am 20.08.2018.
- LOGISTRA-Redaktion (2016): Elektromobilität. Induktives Laden im Lastwagen. Online verfügbar unter www.logistra.de/news-nachrichten/nfz-fuhrpark-lagerlogistik-intralogistik/7653/test-amp-technik/elektromobilitaet-induktives-laden-im-lastwagen, zuletzt aktualisiert am 2016, zuletzt geprüft am 14.06.2018.
- Magment (2018): Magment. Magnetisierbare Betone. Hg. v. Magment. Online verfügbar unter www.magment.de/de-home, zuletzt aktualisiert am 06.07.2018.
- Magna Steyr (Hg.) (2017): 360 Grad Perspektiven 2017. Performance Report mit integrierter Umwelterklärung. Graz. Online verfügbar unter www.magna.com/docs/default-source/magna-steyr---environmental-protection/ms_performance-report_de.pdf?sfvrsn=4, zuletzt geprüft am 29.08.2018.

- Magna Steyr (2018): Magna. Online verfügbar unter www.magna.com/capabilities/vehicle-engineering-contract-manufacturing, zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 11.06.2018.
- Martinez, Michael (2017): Ford EV moving to Mexico to make room for autonomous vehicles in Mich. In: *Automotive News*, 06.12.2017. Online verfügbar unter www.autonews.com/article/20171206/OEM01/171209833/ford-ev-moving-to-mexico-to-make-room-for-autonomous-vehicles-in.
- Matschoß, Robert (2017): Branche kompakt: Kein neues Absatzrekordjahr für die Automobilindustrie in den USA in Sicht. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn.
- Maurer, Jürgen (2018a): Elektromobilität Japan: Hersteller konzentrieren sich auf Hybride. Japan sieht seine Zukunft in der Brennstoffzelle. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=elektromobilitaet-japan-hersteller-konzentrieren-sich-auf-hybride,did=1883204.html, zuletzt geprüft am 31.05.2018.
- Maurer, Jürgen (2018b): Elektromobilität Japan: Hybride bestimmen den Elektrofahrzeugmarkt. Anreize für batterieelektrische Fahrzeuge zeigen geringe Wirkung. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=elektromobilitaet-japan-hybride-bestimmen-den-elektrofahrzeugmarkt,did=1883202.html, zuletzt geprüft am 31.05.2018.
- Maurer, Jürgen (2018c): Elektromobilität Japan: Infrastrukturausbau für Elektro- und Wasserstoffantriebe. Netz von Ladestationen soll rasch expandieren. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=elektromobilitaet-japan-infrastrukturausbau-fuer-elektro-und-wasserstoffantriebe,did=1883206.html, zuletzt geprüft am 31.05.2018.
- Meissner, Mirjam; Wübbeke, Jost (2016): END OF THE ROAD ... for international car makers in China? How digitisation will reshape the automobile market. *Merics China Monitor*. Online verfügbar unter www.merics.org/sites/default/files/2017-09/China_Monitor_31_Car_Digitisation_EN.pdf, zuletzt geprüft am 20.08.2018.
- Michaelis, Sarah; Maiser, Eric; Kampker, Achim; Heimes, Heiner; Lienemann, Christoph; Wessel, Saskia et al. (2016): Roadmap Batterie-Produktionsmittel 2030. Update 2016. Hg. v. VDMA Batterieproduktion. Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau [VDMA]. Frankfurt am Main.
- Ministère de la Transition écologique et solidaire (2017): Plan Climat. 1 Planet, 1 plan. Online verfügbar unter www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2017.07.06%20-%20Plan%20Climat_0.pdf, zuletzt geprüft am 06.07.2017.
- Ministry of Economy, Trade and Industry [METI] (2010): Japan's Manufacturing Industry, Juli 2010. Online verfügbar unter www.meti.go.jp/english/policy/mono_info_service/overall/overview.pdf, zuletzt geprüft am 04.02.2017.
- Ministry of Economy, Trade and Industry [METI] (Hg.) (2016): Compilation of the Road Map for EVs and PHVs toward the Dissemination of Electric Vehicles and Plug-in Hybrid Vehicles. Online verfügbar unter www.meti.go.jp/english/press/2016/0323_01.html, zuletzt aktualisiert am 30.03.2016, zuletzt geprüft am 01.02.2017.
- Morrison, Allen (2015): The Trolleybuses of Latin America. Latin American Trolleybus Installations. Hg. v. tramz.com. Online verfügbar unter www.tramz.com/tb/i.html, zuletzt geprüft am 19.07.2018.
- National Highway Traffic Safety Administration [NHTSA] (Hg.) (2017): Corporate Average Fuel Economy. Online verfügbar unter www.nhtsa.gov/laws-regulations/corporate-average-fuel-economy, zuletzt geprüft am 07.12.2017.
- National Transport Plan (2016): National Transport Plan. Online verfügbar unter www.ntp.dep.no/English/_attachment/1525049/binary/1132766?_ts=1571e02a3c0, geprüft am 20.08.2018.
- Nationale Plattform Elektromobilität [NPE] (2012): Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (Dritter Bericht). Hg. v. Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung [GGEMO]. Berlin. Online verfügbar unter

- elektromobilitaet.de/die-npe/publikationen/#tabs, zuletzt geprüft am 01.02.2017.
- Nationale Plattform Elektromobilität [NPE] (2014): Fortschrittsbericht 2014. Bilanz der Marktvorbereitung. Hg. v. Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung [GGEMO]. Berlin. Online verfügbar unter www.bmbf.de/files/NPE_Fortschrittsbericht_2014_barrierefrei.pdf, zuletzt geprüft am 07.06.2017.
 - Nationale Plattform Elektromobilität [NPE] (2016): Roadmap integrierte Zell- und Batterieproduktion Deutschland. Hg. v. Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung [GGEMO]. Berlin. Online verfügbar unter http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/NPE_AG2_Roadmap_Zellfertigung_final_bf.pdf, zuletzt geprüft am 19.04.2018.
 - Nationale Plattform Elektromobilität [NPE] (2017): Die Deutsche Normungs-Roadmap Elektromobilität 2020. Hg. v. Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung [GGEMO]. Berlin, zuletzt geprüft am 07.03.2018.
 - Nationale Plattform Elektromobilität [NPE] (2018a): Die Ziele. Nationale Plattform Elektromobilität. Hg. v. acatech. Online verfügbar unter <http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/hintergrund/die-ziele/>, zuletzt geprüft am 02.10.2018.
 - Nationale Plattform Elektromobilität [NPE] (2018b): Fortschrittsbericht 2018 – Markthochlaufphase. Hg. v. Gemeinsame Geschäftsstelle der Bundesregierung [GGEMO]. Berlin. Online verfügbar unter http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/NPE_Fortschrittsbericht_2018_barrierefrei.pdf, zuletzt geprüft am 20.09.2018.
 - Nazir, Heena (2018): Branche kompakt. Indische Automobilhersteller verzeichnen Umsatzplus. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/Branchen/Branchen-kompakt/branche-kompakt-kfz-industrie-und-kfz-teile,t=branche-kompakt-indische-automobilhersteller-verzeichnen-umsatzplus,did=1877178.html#Elektromobilitaet-soll-intensiviert-werden-.
 - Nederland, N. K.L. (Hg.) (2017): The Netherlands Knowledge Platform for Public Charging Infrastructure. NKL. Online verfügbar unter <http://en.nklnederland.nl/>, zuletzt aktualisiert am 05.12.2017, zuletzt geprüft am 05.01.2018.
 - Neumann, Peter (2015): Technikprobleme bei der BVG. Berlins peinlichste Busse sollen wieder fahren. Online verfügbar unter www.berliner-zeitung.de/berlin/technikprobleme-bei-der-bvg-berlins-peinlichste-busse-sollen-wieder-fahren-23065172, zuletzt geprüft am 13.06.2018.
 - Nissan Motor Corporation (2014): Japan Automakers Advance Electric Charging Infrastructure With New Company, Nippon Charge Service. Online verfügbar unter www.nissan-global.com/EN/NEWS/2014/_STORY/140530-01-e.html, zuletzt geprüft am 04.02.2017.
 - Noeth, Stefan; Schieban, Nadine; Rounds, Virginia Attawy; Sobota, Sonja; Strancich, Thomas; Schobert, Michaela (2017): Automobil- & Zulieferindustrie. Zielmarktanalyse USA 2017 - Fokus auf den Leichtbau. BMWi-Markterschließungsprogramm für KMU. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi]. German American Chamber of Commerce of the Midwest, Inc.; German American Chamber of Commerce of the Southern US, Inc. Berlin, Chicago, Atlanta, zuletzt geprüft am 24.11.2017.
 - Norsk elbilforening (2018): Norwegian EV Market. Elbil. Online verfügbar unter <https://elbil.no/english/norwegian-ev-market/>, zuletzt aktualisiert am 31.03.2018, zuletzt geprüft am 12.06.2018.
 - Notz, Jos Nino (2017): Die Privatisierung öffentlichen Raums durch parkende KFZ. Von der Tragödie einer Allmende – über Ursache, Wirkung und Legitimation einer gemeinwohlschädigenden Regulierungspraxis. Hg. v. TU Berlin – Institut für Land- und Seeverkehr, zuletzt geprüft am 14.06.2018.
 - Öko-Institut (Hg.) (2018): Elektrischer LKW-Verkehr. Deutsch-schwedische Forschungskooperation gestartet. Online verfügbar unter www.oeko.de/presse/archiv-presse-meldungen/2018/elektrischer-lkw-verkehr-deutsch-schwedische-forschungskooperation-gestartet/, zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 14.06.2018.

- Peugeot (2018): Webseite. Online verfügbar unter www.peugeot.fr/accueil.html, zuletzt geprüft am 11.06.2018.
- Plugless (2018): Complete Wireless Charging System for Nissan LEAF. Online verfügbar unter www.pluglesspower.com/shop/nissan-leaf-plugless-l2-3-3kw-complete-system/, zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 08.06.2018.
- pv magazine (Hg.) (2018): Erste DC-Ladesäule mit Gleichstromzähler zur Baumusterprüfung bei der PTB angemeldet. pv magazine group GmbH & Co. KG. Online verfügbar unter www.pv-magazine.de/unternehmensmeldungen/erste-dc-ladesaeule-mit-gleichstromzaehler-zur-baumusterpruefung-bei-der-ptb-angemeldet/, zuletzt geprüft am 03.09.2018.
- Renault (2018): Webseite. Online verfügbar unter www.renault.fr, zuletzt geprüft am 11.06.2018.
- Reuters (Hg.) (2017): Honda, Hitachi Automotive to form EV motor joint venture. Online verfügbar unter <http://www.reuters.com/article/us-honda-strategy-hitachi-idUSKBN15M0HR>, zuletzt geprüft am 10.02.2017.
- Reuters (Hg.) (2018): BMW will von CATL Batteriezellen für vier Milliarden kaufen. Online verfügbar unter <https://de.reuters.com/article/deutschland-bmw-catl-idDEKBN1JZ10S>, zuletzt geprüft am 31.10.2018.
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland [RVO] (Hg.) (2017): Electric transport in the Netherlands. 2016 Highlights. Utrecht. Online verfügbar unter www.rvo.nl/sites/default/files/2017/04/Highlights-2016-Electric-transport-in-the-Netherlands-RVO.nl_.pdf.
- Rose, Gloria (2018): Branche kompakt: Kfz-Industrie und Kfz-Teile. Neues Förderprogramm Rota 2030 steht weiter aus. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/Branchen/Branche-kompakt/branche-kompakt-kfz-industrie-und-kfz-teile,t=branche-kompakt-brasiliens-automobilsektor-erholt-sich,did=1876382.html, zuletzt geprüft am 03.08.2018.
- Saini, Pintu (2018): Electric buses: the foundation for India's dream of a fully electric fleet. Hg. v. Intelligent Transport. Online verfügbar unter www.intelligenttransport.com/transport-articles/67395/electric-buses-fully-electric-fleet-india/, zuletzt geprüft am 19.07.2018.
- SAP (2013): SAP und China arbeiten zusammen an intelligenten Transportsystemen auf der Basis der ultraschnellen Technologie-Plattform SAP HANA. Liedtke, Christoph. Online verfügbar unter <http://news.sap.com/germany/sap-und-china-arbeiten-zusammen-an-intelligenten-transportssystemen-auf-der-basis-der-ultraschnellen-technologie-plattform-sap-hana/>, zuletzt geprüft am 15.10.2016.
- Schaufenster Elektromobilität (2014): Projekte im Überblick. Primove. Online verfügbar unter http://schaufenster-elektromobilitaet.org/de/content/projekte_im_ueberblick/projekt_4421.html, zuletzt aktualisiert am 2014, zuletzt geprüft am 04.07.2018.
- Scherf, Christian; Wolter, Frank (2016): Electromobility. Overview, Examples, Approaches. Hg. v. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [GIZ] und Sustainable Urban Transport Project (SUTP) (Sustainable Urban Transport Technical Document, 15). Online verfügbar unter www.innoz.de/sites/default/files/td15_e-mobility_final.pdf, zuletzt geprüft am 22.11.2016.
- Schmieder, Robert (2016): Gemeinsamer Abschlussbericht zum Verbundvorhaben Elektromobilität – Umsetzung der Normungs-Roadmap (EmoNorm). Online verfügbar unter www.tib.eu/en/search/download/?tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A882513575&cHash=47dd3e2570ab9c42a26e4f49ab30bfe1#download-mark, zuletzt aktualisiert am 2016, zuletzt geprüft am 04.07.2018.
- Schmitt, Stefanie (2017): Investitionsklima und -risiken – VR China. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/Geschaefspraxis/investitionsklima-und-risiken,t=investitionsklima-und-risiken--vr-china,did=1742254.html, zuletzt geprüft am 06.12.2017.
- Schraven, Sebastian; Kley, Fabian; Wietschel, Martin (2010): Induktives Laden von Elektromobilen – Eine techno-ökonomische Bewertung. Online verfügbar unter www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2010/WP8-2010_Induktive-Ladung-EV.pdf, zuletzt aktualisiert am 2010, zuletzt geprüft am 13.06.2018.

- Schütte, Georg (2018): Batterieforum Deutschland 2018. Rede von Georg Schütte, Staatssekretär im Bundesministerium für Bildung und Forschung anlässlich des Batterieforums Deutschland 2018 am 24.01.2018. Batterieforum Deutschland 2018. Berlin, 24.01.2018. Online verfügbar unter www.bmbf.de/de/batterieforum-deutschland-2018-5569.html, zuletzt geprüft am 05.09.2018.
- Schwaiger, Michael (2017): ISO 15118 Standardization and Market Introduction. Online verfügbar unter https://vector.com/portal/medien/cmc/events/Vector_EMOB_2017_Michael_Schwaiger.pdf, zuletzt aktualisiert am 2017, zuletzt geprüft am 06.07.2018.
- Schwarzer, Christoph M. (2018): Kabellos – geht los. BMW verkauft als weltweit erster Hersteller ein induktives Ladesystem. Hg. v. electrive.net. Online verfügbar unter www.electrive.net/2018/05/28/kabellos-geht-los/, zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 08.06.2018.
- Shah, Ajaz (2017): VW investiert zunächst 300 Mio. Dollar in Ladeinfrastruktur in den USA! Hg. v. Energyload. Online verfügbar unter <http://energyload.eu/elektromobilitaet/ladestationen-infrastruktur/vw-ladeinfrastruktur-usa/>, zuletzt geprüft am 08.12.2017.
- Sino Market Insight (2014): China Battery Industry Report, 2014-2017. Online verfügbar unter www.reportsnreports.com/reports/292124-china-battery-industry-report-2014-2017.html, zuletzt geprüft am 13.02.2017.
- Social and Economic Council of the Netherlands [SER] (2013): The Agreement on Energy for Sustainable Growth. a policy in practice. Online verfügbar unter www.eesc.europa.eu/ceslink/resources/docs/netherlands--agreement-on-energy-policy-in-practice.pdf, zuletzt geprüft am 04.01.2018.
- solmove (2018): solmove. smart solar roads. Hg. v. solmove GmbH. Online verfügbar unter www.solmove.com/en/home-2-2/, zuletzt aktualisiert am 06.07.2018.
- Sonnenseite (Hg.) (2017): Lateinamerika überholt Europa bei Klimaschutz und Erneuerbaren Energien. Online verfügbar unter www.sonnenseite.com/de/politik/lateinamerika-ueberholt-europa-bei-klimaschutz-und-erneuerbaren-energien.html, zuletzt geprüft am 19.07.2018.
- Spijkstaal (2018): Webseite. Online verfügbar unter www.spijkstaal.nl/home-unternehmen, zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 11.06.2018.
- Standards Portal (2011): Brief introduction of State-owned Enterprise Electric Vehicle Industry Alliance. Online verfügbar unter www.standards-portal.de/content/assets/2011-10-Sevia, zuletzt geprüft am 21.12.2016.
- Statista (Hg.) (2017): Global smart grid market – by region 2020 | Statistic. Online verfügbar unter www.statista.com/statistics/246154/global-smart-grid-market-size-by-region/, zuletzt geprüft am 15.06.2018.
- Statistik sentralbyra [Statistics Norway] (2018): Registered Vehicles. Online verfügbar unter www.ssb.no/en/bilreg, zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 08.01.2018.
- Steep, Eckhard (2017): Informationen aus der AGME. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft Mess- und Eichwesen.
- tagesschau.de (2018): China: Vom Klimakiller zum Klimaschützer? Online verfügbar unter www.tagesschau.de/ausland/klimaschutz-china-101.html, zuletzt aktualisiert am 18.06.2018, zuletzt geprüft am 30.08.2018.
- Taylor, Paul (2017): Der digitale Stadtverkehr wird Realität mit IoT. Hg. v. SAP. Online verfügbar unter <https://news.sap.com/germany/2017/01/iot-digitaler-stadtverkehr/>, zuletzt geprüft am 29.08.2018.
- The Dialogue – Leadership für the Americas (Hg.) (2017): Advancing electric mobility in Latin America. Online verfügbar unter www.thedialogue.org/analysis/advancing-electric-mobility-in-latin-america/, zuletzt geprüft am 19.07.2018.
- Theile, Gustav (2018): Batteriezellfabrik in Erfurt: Warum die Chinesen sich ausgerechnet Thüringen ausgesucht haben. In: Frankfurter Allgemeine Zeitung – F.A.Z., 10.07.2018. Online verfügbar unter www.faz.net/aktuell/wirtschaft/diginomics/warum-catl-ausgerechnet-in-thueringen-eine-batteriezellfabrik-baut-15682736.html, zuletzt geprüft am 20.08.2018.
- Thielmann, Axel; Sauer, Andreas; Wietschel, Martin (2015): Gesamt-Roadmap Energiespeicher für die Elektromobilität 2030. Hg. v. Fraunhofer-Institut für System und

Innovationsforschung ISI. Karlsruhe. Online verfügbar unter www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/lib/GRM-ESEM.pdf, zuletzt geprüft am 02.10.2018.

- Tietge, Uwe; Mock, Peter; Lutsey, Nic; Campestrini, Alex (2016): Comparison of leading electric vehicle policy and deployment in Europe. Hg. v. International Council on Clean Transportation [ICCT]. Berlin. Online verfügbar unter www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EVpolicies-Europe-201605.pdf, zuletzt geprüft am 21.06.2017.
- Transportpolicy.net (Hg.) (o. J.): US: Section 177 States. Online verfügbar unter www.transportpolicy.net/standard/us-section-177-states/, zuletzt geprüft am 13.12.2017.
- Trentman, Nina (2015): Jetzt entdecken auch Chinesen das Car-Sharing. Welt N24. Online verfügbar unter www.welt.de/wirtschaft/article139707971/Jetzt-entdecken-auch-Chinesen-das-Car-Sharing.html, zuletzt aktualisiert am 17.04.2015, zuletzt geprüft am 06.02.2017.
- U. S. Department of Energy (Hg.) (o. J.): Alternative Fuels Data Center. Online verfügbar unter www.afdc.energy.gov/laws/, zuletzt geprüft am 07.12.2017.
- U. S. Department of Energy (Hg.) (2018): Alternative Fuels Data Center. Ethanol Vehicle Emissions. Online verfügbar unter www.afdc.energy.gov/vehicles/flexible_fuel_emissions.html, zuletzt geprüft am 03.08.2018.
- UITP India (Hg.) (2014): ELECTRIC BUS MARKET IN INDIA. Online verfügbar unter www.india.uitp.org/articles/electric-bus-market-in-india, zuletzt aktualisiert am 19.07.2018, zuletzt geprüft am 19.07.2018.
- Uman, Ullrich (2018a): Elektromobilität USA: Ottomotor nur schwer zu verbannen. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=elektromobilitaet-usa-ottomotor-nur-schwer-zu-verbannen,did=1883242.html, zuletzt geprüft am 18.05.2018.
- Uman, Ullrich (2018b): Elektromobilität USA: Planungen laufen auf Hochbetrieb. Industrie bereitet Massenproduktion von Elektrofahrzeugen vor. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=elektromobilitaet-usa-planungen-laufen-auf-hochbetrieb,did=1883244.html, zuletzt geprüft am 31.05.2018.
- Uman, Ullrich (2018c): Elektromobilität USA: Zahl der Ladestationen steigt. Größte Privatinvestoren sind VW, Tesla, BMW und Nissan. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=elektromobilitaet-usa-zahl-der-ladestationen-steigt,did=1883246.html, zuletzt geprüft am 31.05.2018.
- Uman, Ullrich (2018d): Elektromobilität USA: Nutzfahrzeuge werden elektrisch. Im Güterfern- und Stadtverkehr werden mit Hybridantrieben größere Reichweiten erreicht. Hg. v. GTAI Germany Trade & Invest. Berlin, Bonn. Online verfügbar unter www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=elektromobilitaet-usa-nutzfahrzeuge-werden-elektrisch,did=1883880.html, zuletzt geprüft am 31.05.2018.
- Valeo (Hg.) (2018): Webseite. Online verfügbar unter www.valeo.de, zuletzt geprüft am 11.06.2018.
- VDA (Hg.) (2018): Elektromobilität. Deutsche Automobilhersteller im internationalen Markt. Online verfügbar unter www.vda.de/de/themen/innovation-und-technik/elektromobilitaet/Deutsche-Automobilhersteller-im-internationalen-Markt.html, zuletzt geprüft am 29.08.2018.
- VDL (Hg.) (2018): Webseite. Online verfügbar unter www.vdlbuscoach.com, zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 11.06.2018.
- Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau [VDMA] (Hg.) (2017): China. Konjunkturbericht Automobil- und Zuliefererindustrie. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter www.vdma.org/documents/105897/21540581/Konjunkturbericht%20China%20-%202017_1509108992496.pdf/0f63848c-253a-475a-9280-0cf2f9e03583, zuletzt geprüft am 20.08.2018.
- Victor, Pamela (2018): Thailand's electric vehicle dreams. Online verfügbar unter <https://theasianpost.com/article/thailands-electric-vehicle-dreams>, zuletzt geprüft am 19.07.2018.

- Viehmann, Sebastian (2018): Chinas elektrischer Herdentrieb: Der Verbrennungsmotor ist mausetot. In: Focus, 25.04.2018. Online verfügbar unter www.focus.de/auto/automessen/peking-motor-auto-show-chinas-elektrischer-herdentrieb-der-verbrennungsmotor-ist-mausetot_id_8827435.html, zuletzt geprüft am 30.08.2018.
- Weckbrodt, Heiko (2015): Chinas Elektrobusse rollen Markt auf. Hg. v. Oiger – Neues aus Wirtschaft und Forschung. Online verfügbar unter <http://oiger.de/2015/07/27/chinas-elektrobusse-rollen-markt-auf/154723>, zuletzt geprüft am 14.10.2016.
- Werwitzke, Cora (2017): Nächster Auftrag für BYD und ADL aus London. Hg. v. electrive.net. Online verfügbar unter www.electrive.net/2017/07/24/naechster-auftrag-fuer-byd-und-adl-aus-london/, zuletzt geprüft am 13.08.2018.
- Werwitzke, Cora (2018a): Talga feilt an Spezialbeton für induktive Ladeprozesse. Hg. v. electrive.net. Online verfügbar unter www.electrive.net/2018/06/26/talga-feilt-an-spezialbeton-fuer-induktive-ladeprozesse/, zuletzt geprüft am 26.06.2018.
- Werwitzke, Cora (2018b): China hebt JV-Zwang für ausländische OEMs auf. Hg. v. electrive.net. Online verfügbar unter www.electrive.net/2018/04/17/china-hebt-jv-zwang-fuer-auslaendische-oems-auf/, zuletzt geprüft am 30.08.2018.
- Werwitzke, Cora (2018c): Indien will grüne Kennzeichen für E-Fahrzeuge einführen. Hg. v. electrive.net. Online verfügbar unter www.electrive.net/2018/05/15/indien-will-gruene-kennzeichen-fuer-e-fahrzeuge-einfuehren/, zuletzt geprüft am 09.08.2018.
- Werwitzke, Cora (2018d): Induktives Laden: ElectReon kooperiert mit Renault-Nissan-Mitsubishi. Hg. v. electrive.net. Online verfügbar unter www.electrive.net/2018/07/25/induktives-laden-electreon-kooperiert-mit-renault-nissan-mitsubishi/, zuletzt geprüft am 30.08.2018.
- Werwitzke, Cora (2018e): Afrika-Stromer aCar soll 2019 in Serie gefertigt werden. Hg. v. electrive.net. Online verfügbar unter www.electrive.net/2018/07/28/afrika-stromer-acar-soll-2019-in-serie-gefertigt-werden/, zuletzt geprüft am 30.08.2018.
- Werwitzke, Cora (2018f): Indien plant Leuchtturmprojekte in belasteten Städten. Hg. v. electrive.net. Online verfügbar unter www.electrive.net/2018/08/06/indien-plant-leuchtturmprojekte-in-belasteten-staedten/, zuletzt geprüft am 09.08.2018.
- Wolter, Frank; Scherf, Christian (2016): Elektromobilität in Asien. Überblick, Beispiele, Lösungsansätze. Hg. v. Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel [InnoZ]. Berlin. Online verfügbar unter www.innoz.de/sites/default/files/160320-innoz-paper-e-mobilitaet-in-asien.pdf, zuletzt geprüft am 01.08.2018.

