Elektromobilität als Schlüsseltechnologie der Mobilitätswende

3

Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Christian Offermanns, Janis Vienenkötter, Merlin Frank, Tobias Robben, Domenic Klohs, Natalia Soldan Cattani, Nikolaus Lackner, Nils Christen, Kim Kreisköther, Christoph Deutskens, Kai Kreisköther und Sarah Fluchs

Elektromobilität besitzt das Potenzial, den Verkehr vollständig CO_2-frei, abgasfrei und ressourceneffizient zu gestalten. Da der Verkehrssektor im Jahr 2019 nach der Energiewirtschaft und der Industrie noch für ein Fünftel der deutschen Treibhausgasemissionen verantwortlich war, ist schnelles Handeln unabdingbar.[1] Die Vorteile der Elektromobilität wurden nach einigem Zögern der Industrie und der Politik in den 2010er-Jahren nun gemeinhin erkannt. Die E-Mobilität ist längst keine Zukunftstechnologie mehr, sondern hat mittlerweile den Weg aus der Grundlagenforschung hinein in die Großserie gefunden. Ausgehend von der aktuellen Marktsituation erörtert das folgende Kapitel die Perspektiven und die aktuellen Bestrebungen der unterschiedlichen Akteure – Verbraucher, Politik, Automobilindustrie und Energiewirtschaft.

[1] Vgl. Bundesregierung 2022.

H. H. Heimes
Mitglied der Institutsleitung, Production Engineering of E-Mobility Components (PEM), RWTH Aachen, Aachen, Deutschland
E-Mail: H.Heimes@pem.rwth-aachen.de

A. Kampker
Universitätsprofessor, Production Engineering of E-Mobility Components (PEM), RWTH Aachen, Aachen, Deutschland
E-Mail: A.Kampker@pem.rwth-aachen.de

C. Offermanns
Oberingenieur, Production Engineering of E-Mobility Components (PEM), RWTH Aachen, Aachen, Deutschland
E-Mail: c.offermanns@pem.rwth-aachen.de

J. Vienenkötter (✉) · D. Klohs
Gruppenleiter, Production Engineering of E-Mobility Components (PEM), RWTH Aachen, Aachen, Deutschland
E-Mail: j.vienenkoetter@pem.rwth-aachen.de; d.klohs@pem.rwth-aachen.de

© Der/die Autor(en) 2024

A. Kampker, H. H. Heimes (Hrsg.), *Elektromobilität*,
https://doi.org/10.1007/978-3-662-65812-3_3

3.1 Aktuelle Marktsituation

Lange Zeit war die Situation in der Automobilbranche äußerst unsicher: Kommt die Mobilitätswende – und wenn ja: wann? Doch nun befindet sich der Markt in einem disruptiven Wandel, weg von verbrennungsmotorischen Fahrzeugen hin zu alternativen Antriebsarten. In den vergangenen Jahren hat sich durch verschiedene Faktoren eine klare Linie innerhalb der Politik und der Automobilindustrie in Richtung batterieelektrischer Fahrzeuge (BEV) gebildet, sodass bis 2030 mindestens 15 Mio. elektrische Pkw auf den deutschen Straßen fahren sollen.[2]

Während im Jahr 2018 der Anteil von BEV gegenüber der Gesamtanzahl von Pkw-Neuzulassungen noch bei rund einem Prozent lag, konnte sich der Anteil im Jahr 2019 um 75 auf 1,75 % steigern. Die größten Zuwächse gab es jedoch 2020 und 2021. Im Jahr 2020 betrug die Neuzulassungsquote der BEV schon 6,65 %, was einem Zuwachs von knapp 400 % entspricht. 2021 (im Zeitraum Januar bis Oktober) verdoppelte sich die BEV-Neuzulassungsquote noch einmal knapp auf 12,17 %.[3] Gleichzeitig ist zu beachten, dass der Fahrzeugmarkt insgesamt stagniert: So wurden 2019 in Deutschland noch rund

[2] Vgl. SPD, FDP, Die Grünen 2021, S. 27.

[3] Vgl. Kraftfahrbundesamt 2021.

M. Frank · T. Robben · N. S. Cattani · N. Lackner
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Production Engineering of E-Mobility Components (PEM), RWTH Aachen, Aachen, Deutschland
E-Mail: m.frank@pem.rwth-aachen.de; t.robben@pem.rwth-aachen.de; n.soldan@pem.rwth-aachen.de; n.lackner@pem.rwth-aachen.de

N. Christen
Business Development E-Mobility, STAWAG, Stadtwerke Aachen AG, Aachen, Deutschland
E-Mail: Nils.christen@stawag.de

K. Kreisköther
Specialist Battery Cell/System – Adhesives Automotive Components, Henkel, Düsseldorf, Deutschland
E-Mail: kim.kreiskoether@henkel.com

C. Deutskens
CEO & Partner, PEM Motion GmbH, Aachen, Deutschland
E-Mail: c.deutskens@pem-motion.com

K. Kreisköther
Co-Founder & CEO, Ducktrain, Aachen, Deutschland
E-Mail: Kai.kreiskoether@ducktrain.io

S. Fluchs
Economist im Bereich Umwelt, Energie, Infrastruktur, Institut der deutschen Wirtschaft, Köln, Deutschland
E-Mail: Fluchs@iwkoeln.de

3,61 Mio. Fahrzeuge abgesetzt, 2020 nur noch 2,92 Mio. und 2021 (von Januar bis Oktober) lediglich 2,2 Mio. Fahrzeuge.[4] Insgesamt waren im Oktober 2021 rund 517.000 BEV in Deutschland zugelassen. Bei rund 48,2 Mio. Pkw in Deutschland entspricht das einem Anteil von rund einem Prozent.[5,6]

In Europa ist der Verkauf batterieelektrischer Fahrzeuge und Plug-in-Hybride im Jahr 2019 im Vergleich zum Vorjahr in Europa um 44 % auf 600.000 Fahrzeuge gestiegen und weist damit weltweit das größte Wachstum auf. In China nahmen die E-Fahrzeug-Verkäufe (BEV und PHEV) nur um 3 % auf 1,2 Mio. zu. Im US-amerikanischen Markt sind die Neuzulassungen 2019 im Vergleich zum Vorjahr sogar um 12 % auf 300.000 Fahrzeuge gesunken. 2019 wurden insgesamt 2,3 Mio. E-Fahrzeuge (BEV und PHEV) und damit 9 % mehr als im Jahr 2018 verkauft. Damit lag der Anteil der Neuzulassungen von E-Fahrzeugen (BEV und PHEV) im Jahr 2019 weltweit bei 2,8 %.[7]

Für das Jahr 2030 wird in Deutschland eine Neuzulassungsquote von Elektrofahrzeugen (BEV und PHEV) von 75 bis 95 % prognostiziert. Dies entspricht kumuliert etwa einem Bestand von 17,7 Mio. beziehungsweise 22,4 Mio. Fahrzeugen auf deutschen Straßen im Jahr 2030.[8] Abb. 3.1 zeigt die Entwicklung der kumulierten Fahrzeugzulassungen mit rein alternativen Antrieben. Dazu zählen nur Fahrzeuge, die ohne fossile Treibstoffe betrieben werden. In Abb. 3.1 sind drei verschiedene Szenarien dargestellt, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgestellt wurden. Sie beinhalten ein Szenario aus dem Jahr 2019 und zwei spätere Szenarien, die nach Schlüsselereignissen im Markt aufgestellt wurden. Dabei handelt es sich um die Veröffentlichung des neuen Klimaschutzprogramms

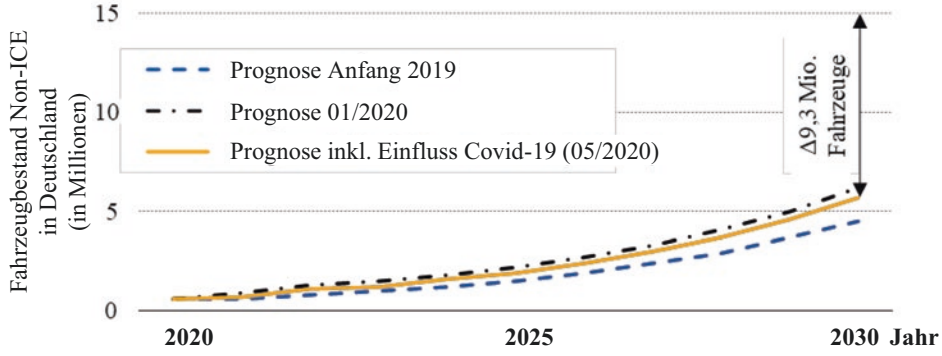

Abb. 3.1 Neuzulassungen von Non-ICE-Fahrzeugen in Deutschland bis 2030. (Vgl. Proff 2020)

[4] Vgl. Kraftfahrbundesamt 2021.
[5] Vgl. Kraftfahrbundesamt 2021.
[6] Vgl. Kraftfahrbundesamt 2021.
[7] Vgl. McKinsey 2020.
[8] Vgl. Rudolph und Jochem 2021.

samt dessen Auswirkungen auf Bestimmungen im Verkehr sowie um die Corona-Pandemie. Der kumulierte Anteil der Fahrzeugzulassungen steigt im Szenario aus dem Jahr 2019 in Deutschland bis 2030 auf 5,7 Mio. Fahrzeuge. Einen erheblichen Einfluss auf die Prognose der Zulassungszahlen haben die Beschlüsse aus dem Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung und dem Autogipfel 2019. Im Zuge dessen wurde die Prognose in Abb. 3.1 von zunächst 4,5 Mio. Fahrzeugen auf 6,2 Mio. Fahrzeuge angehoben. Dies entspricht einem Marktanteil in Deutschland von 29 % beziehungsweise 38 % im Jahr 2030. Im Zuge der Corona-Pandemie und der damit einhergehenden wirtschaftlichen Einbußen wurde die Prognose für 2030 um 0,5 Mio. auf 5,7 Mio. Fahrzeuge gesenkt.[9]

Die Bunderegierung verfehlt damit scheinbar das im Jahr 2020 gesetzte Ziel von zehn Millionen Fahrzeugen mit alternativen Antrieben bis 2030 deutlich.[10] Nach der Bundestagswahl im Jahr 2021 wurde das Ziel der zugelassenen Fahrzeuge mit vollelektrischem Antrieb auf mindestens 15 Mio. angehoben.[11] Gemäß aktuellen Prognosen wird das Ziel um etwa 9,3 Mio. Fahrzeuge verfehlt. Zu beachten ist jedoch der Einfluss künftig noch folgender Beschlüsse, die den Absatz von Elektrofahrzeugen weiter antreiben können.

Bis 2030 könnte der weltweite Anteil von BEV an der Neuzulassungsquote auf 14 % wachsen.[12] Ein optimistisches Szenario mit zunehmender Regulierung auch auf Städteebene, einem massiven Ausbau der Ladeinfrastruktur und einer höheren Kundenakzeptanz prognostiziert Neuzulassungsanteile von Fahrzeugen mit elektrischem Antrieb (BEV und PHEV) von 57 % für China, 51 % für Europa und 42 % für die USA.[13]

In China stagnierten die Pkw-Absatzzahlen seit mehreren Jahren: Wurden 2017 noch 24,72 Mio. Pkw neu zugelassen, sank die Anzahl der Neuzulassungen 2020 auf 20,18 Mio. Pkw. In der ersten Jahreshälfte 2021 jedoch wurden in China 11,56 Mio. Fahrzeuge zugelassen.[14] Damit zeigt sich ein Ausbruch aus der Abwärtstendenz hin zu einem Aufwärtstrend der Absatzzahlen im chinesischen Markt: Noch nie wurden so viele Pkw in den ersten beiden Monaten eines Jahres zugelassen wie 2021.[15]

Die fokussierte Ausrichtung auf die Elektromobilität spiegelt sich auch in der langfristigen Strategie zahlreicher globaler Automobilhersteller wider, von denen bereits viele ihren „Ausstieg aus dem Verbrennungsmotor“ angekündigt haben. Abb. 3.2 liefert einen Überblick zum Ausstiegsdatum unterschiedlicher Automobilhersteller und zu deren Marktanteilen im Jahr 2020. Es wird deutlich, dass vor allem in den 2030er-Jahren zahlreiche Automobilhersteller dem Verbrennungsmotor ein Ende setzen. Ausgangs der 2030er-Jahre werden Automobilhersteller mit einem kumulierten Marktanteil von rund

[9] Vgl. Proff 2020.

[10] Vgl. Bundesregierung Deutschland 2021.

[11] Vgl. SPD, FDP, Die Grünen 2021, S. 27.

[12] Vgl. Wilker 2017.

[13] Vgl. McKinsey 2019.

[14] Vgl. Kords 2021.

[15] Vgl. manager magazin 2021.

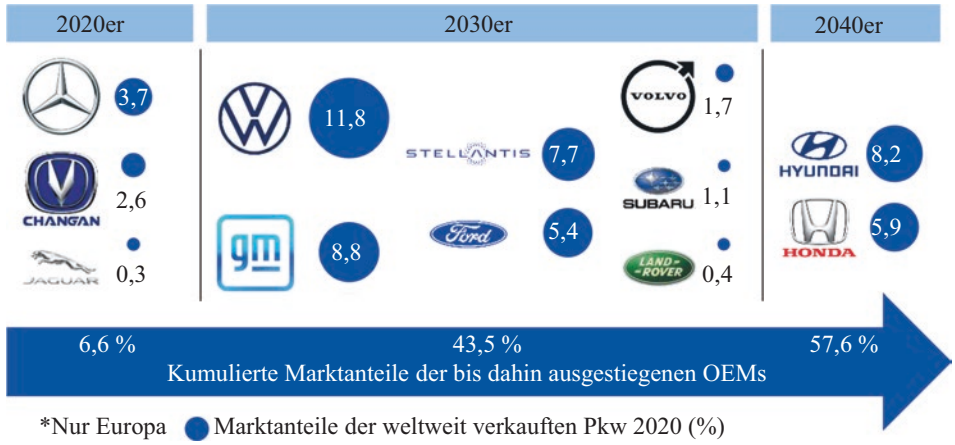

Abb. 3.2 Zeitpunkt des Ausstiegs aus dem Verkauf von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. (Vgl. Köllner 2021b)

43,5 % voraussichtlich keine Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor mehr produzieren. Bis 2040 steigt der Anteil auf etwa 57,6 %.[16,17]

Ab 2025 wird die Produktion von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren bei Jaguar eingestellt, Ford und Volvo folgen ab 2030. Volkswagen und GM haben angekündigt, bis 2035 auszusteigen. Ab 2040 beenden auch Hyundai und Honda ihre Produktion von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Bis auf wenige Ausnahmen konzentrieren sich sämtliche Hersteller auf die Entwicklung batterieelektrischer Fahrzeuge und streben den „Ausstieg aus dem Verbrennungsmotor" an. Eine Ausnahme bildet Porsche: Das Unternehmen forscht neben reinen Elektrofahrzeugen vermehrt auch an synthetischen Kraftstoffen.[18]

Der „Ausstieg aus dem Verbrennungsmotor" stellt insbesondere Zulieferer vor Herausforderungen, die derzeit Kernkomponenten wie Motorblöcke, Zylinderköpfe oder Einspritzanlagen produzieren. Diese Unternehmen geraten durch künftig sinkende Absatzzahlen von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor zunehmend unter Druck, neue Wertschöpfungspotenziale zu finden. Für Produzenten von Komponenten wie etwa Getrieben, Bremsen und Tanks ergibt sich durch die veränderte Antriebstopologie Handlungsbedarf, um sich auf die neuen Anforderungen des elektrischen Antriebsstrangs umzustellen. Große Chancen bieten sich für Hersteller von Batterien, Elektromotoren, Leistungselektronik und Thermomanagementsystemen, die vom stark wachsenden Markt profitieren.[19]

[16] Vgl. Kords 2021.
[17] Vgl. AUTOHAUS Spezial 2021.
[18] Vgl. Köllner 2021.
[19] Vgl. Strathmann 2019.

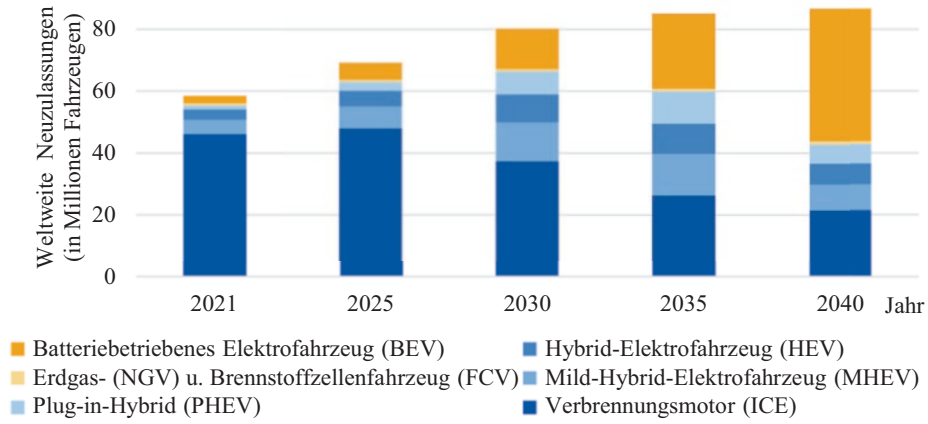

Abb. 3.3 Prognostizierter Pkw-Absatz weltweit nach Antriebsart von 2021 bis 2040. (Vgl. Harrison 2021)

In den vergangenen Jahren hat sich der OEM Tesla von einem Nischenanbieter unter den Autobauern zum größten Hoffnungsträger der Elektrofahrzeugindustrie am Markt entwickelt. Konnte Tesla im Jahr 2017 lediglich 103.000 BEV absetzen, waren es 2020 rund 500.000. Auch im Jahr 2021 steigerte das Unternehmen seinen Absatz deutlich: In den ersten drei Quartalen wurden insgesamt bereits 624.000 BEV der Marke Tesla zugelassen.[20] Die hohen Absatzsteigerungen sind vor allem auf die Markteinführung des „Model 3" als das günstigste Fahrzeug der Marke zurückzuführen.[21] Im Jahr 2020 war das Tesla-Modell das am dritthäufigsten verkaufte Elektroauto in Deutschland. Den ersten Platz belegte der Renault Zoe gefolgt vom VW Golf.[22]

Die Prognose der Entwicklung der Neuzulassungszahlen nach Antriebsart ist in Abb. 3.3 dargestellt. Zunächst wird deutlich, dass der weltweite Pkw-Absatz bis ins Jahr 2040 stetig steigt, der Markt sich jedoch zunehmend in die Sättigung bewegt. Im Jahr 2040 werden voraussichtlich rund 87 Mio. Pkw zugelassen. Das entspricht einer Steigerung von 48 % im Vergleich mit den für das Jahr 2021 prognostizierten Absatzzahlen, in dem rund 58 Mio. Fahrzeuge zugelassen wurden.[23]

Im Jahr 2025 wird voraussichtlich der Höchststand der Neuzulassungen von reinen Verbrennungsfahrzeugen erreicht und in absoluten Zahlen anschließend bis 2040 kontinuierlich sinken. Bis 2035 wachsen die Zulassungszahlen von Hybridfahrzeugen stetig an, verlieren jedoch nach 2035 zugunsten der reinen Elektrofahrzeuge an Bedeutung. Als do-

[20] Vgl. elektroauto-News 2021.

[21] Vgl. Kords 2021.

[22] Vgl. Kraftfahrbundesamt 2021.

[23] Vgl. Harrison 2021.

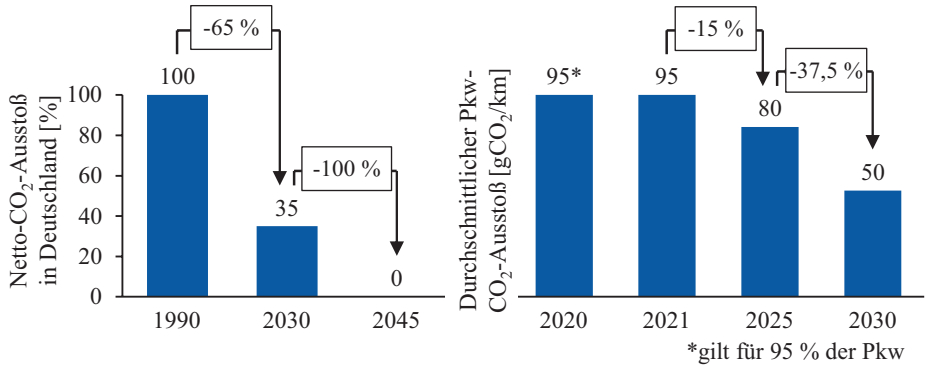

Abb. 3.4 Reduktion des CO_2-Ausstoßes bis 2045 in Deutschland (links: gesamt; rechts: Verkehr). (Vgl. Bundesministerium für Umwelt 2019; vgl. Bundesministerium für Umwelt 2020; vgl. Bundesregierung Deutschland 2021)

minierende Antriebsart wird sich langfristig der rein batteriebetriebene Pkw durchsetzen und einen Anteil von 50 % der Neuzulassungen bis 2040 haben.[24]

Die deutsche Bundesregierung hat das im Klimaschutzplan 2050 anvisierte Ziel verschärft, bis 2030 insgesamt 55 % und bis 2050 zwischen 80 und 95 % weniger Treibhausgase gegenüber dem Referenzjahr 1990 auszustoßen. So sieht das Klimaschutzgesetz 2021 jetzt vor, bis 2030 die Treibhausgasemissionen um 65 % gegenüber dem Referenzjahr 1990 zu reduzieren und bis 2045 klimaneutral zu werden – dargestellt in Abb. 3.4.[25,26] Dieses Ziel ist nur erreichbar, wenn neben dem Ausbau erneuerbarer Energie und der Umsetzung weiterer Maßnahmen zur Reduktion umweltschädlicher Emissionen auch eine weitestgehend CO_2-freie Mobilität ermöglicht wird. Für den Automobilsektor wurde eine Reduktion der Treibhausgase von zunächst 42 % bis 2030 beschlossen. Abb. 3.4 liefert einen Überblick zum konkreten CO_2-Ausstoß von Pkw in Deutschland. Zunächst bedeutet dies Grenzwerte von 95 gCO_2/km in 95 % der Fahrzeugflotte im Jahr 2020. Von 2021 bis 2024 gilt der Grenzwert von 95 gCO_2/km für die gesamte Fahrzeugflotte. Ab dem Jahr 2025 soll der CO_2-Ausstoß um 15 % und ab dem Jahr 2030 um 37,5 % verringert werden.[27] Diese Flottengrenzwerte sind technisch bedingt von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor nicht mehr einzuhalten. Die Notwendigkeit für treibhausgasneutrale Antriebe forciert die Entwicklung der Elektrifizierung und die Suche nach realistischen Lösungen für alternative Kraftstoffe.[28]

[24] Vgl. Harrison 2021.

[25] Vgl. Bundesministerium für Umwelt 2019.

[26] Vgl. Bundesregierung Deutschland 2021.

[27] Vgl. Bundesministerium für Umwelt 2020.

[28] Vgl. Maus 2019.

3.2 Verbraucherperspektive

Nutzende stellen zahlreiche Anforderungen an ein Fahrzeug, das selbst wiederum eine zentrale Rolle für die individuelle Mobilität in Deutschland spielt. In einer Befragung von „PricewaterhouseCoopers“ gaben bundesweit 31 % der Teilnehmenden an, das eigene Auto in Zukunft häufiger für den Arbeitsweg nutzen zu wollen. Außerdem stieg der Motorisierungsgrad in Deutschland über die vergangenen Jahre hinweg stetig an und erreichte laut Umweltbundesamt Ende 2019 einen Wert von 574 Pkw pro 1000 Einwohner.[29] Laut einer Studie von Deloitte bevorzugen 49 % der Deutschen beim nächsten Autokauf ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor, 31 % ein hybridelektrisches und 9 % ein vollelektrisches Auto.[30] Dieses Ergebnis offenbart, dass bei zahlreichen Verbrauchern noch Zweifel und somit generelle Hindernisse auf dem Weg zur Elektromobilität bestehen.

Die größte Hürde beim Kauf eines Elektroautos in der Bundesrepublik bilden einer Befragung des TÜV-Verbands zufolge zu hohe Anschaffungskosten.[31] Deloitte führt außerdem an, dass in Deutschland 43 % und in den USA 34 % der Menschen nicht dazu bereit sind, mehr in ein Elektroauto zu investieren als in ein vergleichbares Fahrzeug mit Verbrennungsmotor.[32] Fallende Preise für Batterien und die Entwicklung optimierter Plattformen werden laut einer Studie von „BloombergNEF“ allerdings dazu führen, dass Elektroautos zwischen 2025 und 2027 in Europa Preisparität mit Verbrennungsmotor-Autos in allen Leichtfahrzeugsegmenten erreichen werden.[33]

Das zweitgrößte Hindernis beim Elektroautokauf stellt dem TÜV-Verband zufolge indes die zu geringe Reichweite von Elektrofahrzeugen dar.[34] Deloitte ermittelte zudem, dass 34 % der Deutschen und 19 % der US-Amerikaner von einem Elektroauto mindestens 300 Meilen (rund 483 km) und weitere 34 % der Deutschen beziehungsweise 22 % der US-Amerikaner sogar mindestens 400 Meilen (etwa 644 km) Reichweite erwarten.[35] Diese Ansprüche der Verbraucher decken sich allerdings nicht mit den tatsächlich benötigten Fahrleistungen. So geben 77 % der Autofahrer in Deutschland ihre durchschnittliche tägliche Fahrleistung mit maximal 49 Kilometern und weitere 15 % mit 50 bis 99 Kilometern an.[36]

Zahlreiche Verbraucher entscheiden sich laut TÜV-Verband auch wegen der aktuellen Ladeinfrastruktur und der Dauer des Ladevorgangs gegen die Anschaffung eines Elektrofahrzeugs.[37] Eine Umfrage des ADAC e. V. mit generell an Elektroautos interessierten

[29] Vgl. Krings et al. 2020.
[30] Vgl. Vitale et al. 2020.
[31] Vgl. Verband der TÜV e. V. 2020.
[32] Vgl. Vitale et al. 2020.
[33] Vgl. Soulopoulos et al. 2021.
[34] Vgl. Verband der TÜV e. V. 2020.
[35] Vgl. Vitale et al. 2020.
[36] Vgl. Umweltbundesamt 2021.
[37] Vgl. Verband der TÜV e. V. 2020.

Verbraucherinnen und Verbrauchern ergab, dass sich 38 % der Teilnehmenden eine Ladedauer an der Autobahn von weniger als 30 min und weitere 30 % sogar von nur 15 min wünschen. An privaten Ladepunkten werden indes allerdings deutlich längere Zeiten akzeptiert. Entsprechende Ladepunkte wünschen sich die Befragten vor allem an privaten Stellplätzen und im öffentlichen Raum, aber auch am Arbeitsplatz, an der Autobahn und an Supermärkten.[38]

Die Erwartungen der Nutzenden betreffen insgesamt hauptsächlich den Preis und die Reichweite sowie die Ladedauer und -infrastruktur. Darüber hinaus spielen aber auch Bedenken zur Umweltfreundlichkeit des Elektroautos eine Rolle. Besonders in der Auto-Nation Deutschland wird die Elektromobilität häufig eher emotional als rational diskutiert – mit der Folge, dass die Nachteile überhöht dargestellt werden. Bestimmte Erwartungen erzeugen Herausforderungen auf technischer Seite, allerdings müssen Nutzende auch über die Diskrepanz zwischen Anspruch und Realität – bestes Beispiel: die Reichweite von Elektroautos – aufgeklärt werden. Technologische Entwicklungstrends lassen unterdessen erahnen, dass diese Diskrepanzen in den nächsten zehn Jahren ohnehin überwunden werden können.

3.3 Politische Perspektive

Basierend auf der Erkenntnis, dass der Klimawandel eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts ist,[39] einigten sich in der Pariser UN-Klimakonferenz im Dezember 2015 insgesamt 197 Staaten auf ein globales Klimaschutzabkommen. Die Vereinbarung trat am 4. November 2016 mit dem Ziel in Kraft, die Erderwärmung im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter unter zwei Grad Celsius zu begrenzen.[40] Dieses „Klima-Regime" bildet die Handlungsgrundlage für politische Entscheidungen im Themenfeld der Elektromobilität. Eine thematische Übersicht zu diesem Kapitel bietet Abb. 3.5.

3.3.1 Politische Anreize zur Etablierung Deutschlands als Leitmarkt für Elektromobilität

In dem im Jahr 2019 beschlossenen „Klimaschutzprogramm 2030" definiert die Bundesregierung konkrete Maßnahmen, um die nationalen Klimaziele zu erreichen. Dazu gehört die CO_2-Bepreisung unterschiedlicher Sektoren sowie die Förderung der Elektromobilität.[41] Vor diesem Hintergrund wurde der erstmals 2016 in Kraft getretene Umweltbonus für den Kauf von Elektroautos bis 2025 verlängert und durch eine „Innovationsprämie"

[38] Vgl. Hecht und Laberer 2021.

[39] Vgl. Auswärtiges Amt 2021.

[40] Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2021.

[41] Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2019, S. 76ff.



Abb. 3.5 Übersicht kapitelspezifischer Themenstellungen (Auszug)

erweitert. Dadurch steigen die Fördersätze für neue BEV, die nach dem 8. Juli 2020 erworben werden, von 4000 € auf maximal 9000 €. Für PHEV erhöhen sich die Fördersätze von 3000 € auf 6750 €.[42]

Mit dem im November 2019 veröffentlichten „Masterplan Ladesäuleninfrastruktur" fokussiert sich die Bundesregierung auf den Ausbau elektrischer Lademöglichkeiten. Inhaltlich umfasst dieser Jahresplan das Ziel, bis zum Jahr 2030 eine flächendeckende und nutzerfreundliche Ladeinfrastruktur für bis zu zehn Millionen E-Fahrzeuge aufzubauen. Dies entspricht etwa einer Million öffentlicher Ladestationen.[43] Da die meisten Ladevorgänge jedoch zu Hause oder am Arbeitsplatz stattfinden, wird der Ausbau privater und gewerblicher Ladeinfrastruktur ebenfalls subventioniert. Die Bezuschussung für den Kauf und die Installation privater Ladeboxen am Wohngebäude beträgt pauschal 900 €. Der initiale Fördertopf von 200 Mio. € wurde aufgrund der hohen Nachfrage mehrfach aufgestockt.[44] Zusätzlich wurden zum 1. Dezember 2020 die Vorschriften im Mietrecht und im Wohneigentumsgesetz (WEG) zur Errichtung von Ladeinfrastruktur geändert. Künftig sind Vermieter dazu verpflichtet, die Installation von Ladeinfrastruktur durch den Mieter zu dulden.[45]

Die bereits erwähnten Maßnahmen unterstreichen das Bestreben der Bundesregierung, den Verkehr zu elektrifizieren. Während einerseits monetäre Förderungen den Kauf von Elektrofahrzeugen wirtschaftlich attraktiver machen, werden andererseits Pkw mit konventionellen Antrieben durch die seit Januar 2021 für den Verkehrssektor geltende

[42] Vgl. Bundesregierung 2021.

[43] Vgl. Bundesregierung 2019.

[44] Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2019, S. 78.

[45] Vgl. Deutscher Bundestag 2020.

CO_2-Bepreisung im Unterhalt teurer. Grundsätzlich gilt die CO_2-Bepreisung für alle Kraftstoffe, die bei der Verbrennung CO_2 freisetzen. Der jeweilige Preis pro Tonne CO_2 wird politisch festgelegt.[46]

Gleichzeitig wird seit Januar 2021 auch die Kfz-Steuer maßgeblich anhand der CO_2-Emissionen ausgerichtet. Dazu werden die CO_2-Emissionen pro Kilometer als Bemessungsgrundlage der Kfz-Steuer für Neuzulassungen herangezogen und ab einem Grenzwert von 95 gCO_2/km stufenweise erhöht.[47] Als Konsequenz werden Pkw mit fossilen Brennstoffen zunehmend teurer und letztlich unattraktiver für den Nutzenden. Im unmittelbaren Vergleich steigt die Rentabilität von Elektrofahrzeugen.

Wie dargestellt, werden diverse Fördermaßnahmen genutzt, um die Energie- und Mobilitätswende in Deutschland zu beschleunigen. Ein solches Vorantreiben ist deswegen wichtig, weil das 2020 beschlossene Klimaschutzgesetz der Bundesregierung aus Sicht des Bundesverfassungsgerichts zu kurzfristig und ungenau ausformuliert ist. Das Urteil vom 29. April 2021 verpflichtet den Gesetzgeber, bis zum Ende des Jahres 2022 die Reduktionsziele für Treibhausgasemissionen für die Zeit nach 2030 genauer zu regeln.[48]

Als Reaktion legte die Bundesregierung am 12. Mai 2021 einen Entwurf für die Novelle des Klimaschutzgesetzes vor. Es sieht die Verschärfung und Konkretisierung der Klimaschutzvorgaben bis zum Jahr 2030 vor. Der Kerninhalt der Gesetzesänderung umfasst eine Verminderung der deutschen Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 65 % gegenüber dem Jahr 1990 (10 % höher als das vorherige Klimaschutzziel). Analog gilt ein neues Minderungsziel von 88 % für das Jahr 2040 sowie Klimaneutralität bis 2045. Dies hat direkte Auswirkungen auf die CO_2-Minderungsziele in den jeweiligen Sektoren der Energiewirtschaft, im Verkehrs- und im Gebäudebereich.[49] Um die Minderungsziele in den einzelnen Sektoren erreichen zu können, bereitet die Bundesregierung ein Sofortprogramm mit einem Fördervolumen von acht Milliarden Euro vor, das schwerpunktmäßig in den Feldern „Industrie“, „klimafreundliche Mobilität“ und „Landwirtschaft“ sowie im Gebäudebereich zur Verfügung stehen soll.[50]

3.3.2 Politische Anreize zur Etablierung Deutschlands als Leitanbieter für Elektromobilität

Zwischen 2009 und 2020 hat die Bundesregierung insgesamt drei Milliarden Euro für die Forschung und Entwicklung der Elektromobilität zur Verfügung gestellt.[51] Auch in Zukunft wird die Regierung Forschung und Innovation im Bereich der E-Mobilität durch Förderungen ermöglichen. Daher wurde im März 2021 in Zusammenarbeit zwischen Bun-

[46] Vgl. Bundesregierung 2021.

[47] Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2019, S. 77.

[48] Vgl. Bundesverfassungsgericht 2021.

[49] Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2021.

[50] Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2021.

[51] Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2021.

deswirtschaftsministerium und Bundesumweltministerium beschlossen, dass weitere 400 Mio. € bis 2025 im Rahmen verschiedener Ausschreibungen im Bereich der Forschung und Entwicklung zur Elektromobilität freigesetzt werden.[52] Förderfähig sind demnach vor allem Schwerpunkte im Bereich der Digitalisierung, Komponenten smarter Fahrzeugplattformen sowie systemübergreifende Innovationen. Gleichzeitig gibt es diverse weitere Förderprogramme, die künftig den Forschungs- und Entwicklungsprozess der Elektromobilität begünstigen. Aus der Vielzahl von Förderprogrammen werden im Folgenden „KoPa 35c", „Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle FFB" und „IPCEI Batterie" exemplarisch vorgestellt.

Mit der bevorstehenden Mobilitätswende erlebt die Automobilbranche einen umfangreichen Strukturwandel, der Herausforderungen in verschiedenen Bereichen entstehen lässt. Digitalisierung, neue Geschäftsmodelle und innovative Antriebsmöglichkeiten führen Fahrzeughersteller und Zulieferer in die Transformation. Das Konjunkturpaket „KoPa 35c" fokussiert diese Problematik und begünstigt den Transformationsprozess deutscher Fahrzeughersteller sowie die Zuliefererindustrie. Das Förderpaket umfasst insgesamt 1,5 Mrd. € und verteilt sich auf drei Module:

- Modul A: *Modernisierung der Produktion als Schub für Produktivität und Resilienz*
- Modul B: *Neue, innovative Produkte als Schlüssel für Fahrzeuge und Mobilität der Zukunft*
- Modul C: *Gemeinsame Lösungen finden, regionale Innovationscluster aufbauen*[53]

Insgesamt verfolgt das heutige Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz mit „KoPa 35c" das Ziel, die Wettbewerbsfähigkeit der Automobilbranche über den Transformationsprozess hinweg nachhaltig zu stärken.[54]

Ein weiterer Teil der politischen Förderlandschaft beschäftigt sich mit der Produktion des Herzstücks eines Elektroautos – mit der Batterie beziehungsweise der Batteriezelle. Im Rahmen des Forschungsprogramms „Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle FFB" in Münster werden Rahmenbedingungen für den Aufbau einer Batteriezellproduktion in Deutschland aufgezeigt und entwickelt.[55] Im Detail handelt es sich um die Produktion moderner, hochleistungsfähiger Speicher, die sowohl in der Elektromobilität als auch in der Industrie, der Logistik, der Energiewirtschaft und der Robotik sowie im Maschinen- und Anlagenbau Anwendung finden. Dazu stellt die Landesregierung NRW bis zu 200 Mio. € zur Verfügung. Für Anlagen und den Betrieb in der Aufbauphase werden vom Bund weitere 500 Mio. € mobilisiert. Zu den Projekt- und Kooperationspartnern gehört die Fraunhofer-Gesellschaft als wissenschaftliche Betreiberin des Projekts, das Batterieforschungszentrum „Münster Electrochemical Energy Technology" (MEET)

[52] Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2021.

[53] Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020.

[54] Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020.

[55] Vgl. Landesregierung Nordrhein-Westfalen 2020.

unter Leitung des international renommierten Batterieforschers Professor Martin Winter, das Helmholtz-Institut Münster sowie der Lehrstuhl „Production Engineering of E-Mobility Components“ (PEM) der RWTH Aachen University unter Leitung von Professor Achim Kampker.[56]

Um den Aufbau der Batteriezellfertigung in Europa weiter auf- und auszubauen, arbeitet Deutschland eng mit zwölf weiteren europäischen Mitgliedstaaten zusammen. Zwei „Important Projects of Common European Interest“ (IPCEI) fördern Batterie-Innovationen und -Investitionen. Begünstigt werden verschiedene Projekte entlang der gesamten Batterie-Wertschöpfungskette: von der Rohstoffgewinnung über die Batteriezellfertigung und -integration bis hin zur Zweitnutzung („Second-Life“-Anwendungen) und zum Batterie-Recycling. Im ersten Förderrahmen („IPCEI on Batteries“) wurden im Dezember 2019 von der EU-Kommission bereits 3,2 Mrd. € genehmigt, wovon 17 Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus sieben Ländern profitieren. Die zweite Förderrunde („IPCEI on European Battery Innovation“ – EuBatIn) wurde im Januar 2021 genehmigt. Insgesamt sind dazu 46 Projekte entlang der Batterie-Wertschöpfungskette geplant, woran sich 46 Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus zwölf EU-Staaten beteiligen. Die Koordination für das zweite europäische Gesamtvorhaben übernimmt das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Auf Basis der beiden im Rahmen der IPCEI geförderten Innovationen ist der Produktionsbeginn für Batteriezellen in Deutschland für 2022 geplant.[57]

3.3.3 Internationale politische Rahmenbedingungen für die Elektromobilität

Auch auf internationaler Ebene besteht die Motivation, Initiative zu ergreifen und klimaschonende Maßnahmen umzusetzen. Ein bedeutender Schritt in eine nachhaltige Zukunft geht der „European Green Deal“: Seine Kernidee ist eine Wachstumsstrategie, mit der die EU zu einer fairen Gesellschaft mit moderner, ressourceneffizienter und wettbewerbsfähiger Wirtschaft heranreift.[58] Im Kontext der Elektromobilität betrachtet die Europäische Kommission nachhaltige Batterien als Schlüssel für die Ziele des europäischen „Green Deal“ und das darin genannte Nullverschmutzungsziel bis 2050.[59] Daher schlug die Europäische Kommission am 10. Dezember 2020 die Überarbeitung und Modernisierung der aktuellen EU-Gesetzgebung zu Batterien aus dem Jahr 2006 vor. Die Modernisierung des Rechtsrahmens schlägt verbindliche Anforderungen für alle Batterien vor – also Industrie-, Starter-, Traktions- und Gerätebatterien –, die in der EU in Verkehr gebracht werden. Zu diesen Anforderungen zählen die Verwendung verantwortungsvoll beschaffter Materi-

[56] Vgl. Landesregierung Nordrhein-Westfalen 2020.

[57] Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2021.

[58] Vgl. Europäische Kommission 2019, S. 2.

[59] Vgl. Europäische Kommission 2019, S. 10.

alien mit begrenztem Einsatz gefährlicher Stoffe, ein Mindestgehalt recycelten Materials, die Kennzeichnung und Erfüllung der Sammel- und Recycling-Vorgaben sowie ein kleiner CO_2-Fußabdruck. Im Detail dürfen ab Juli 2024 ausschließlich wiederaufladbare Industrie- und Traktionsbatterien auf den Markt gebracht werden, für die eine detaillierte CO_2-Bilanz erstellt wurde. Außerdem ist für das Jahr 2027 eine Richtlinie geplant, die den Anteil recyclebarer Rohstoffe in Batterien offenlegt, gefolgt von Anforderungen, ab 2030 einen Mindestanteil recycelten Kobalts (12 %), Lithiums (4 %), Nickels (4 %) und Bleis (85 %) in Batterien zu verwenden. Dies stellt sicher, dass Rohstoffe aus Industrie-, Automobil- oder Elektrofahrzeugbatterien nach ihrer Nutzungsdauer für die europäische Wirtschaft erhalten bleiben.[60] Die Bedeutung und das Potenzial des Recyclings als Teil der Wertschöpfungskette eines Elektrofahrzeugs wird in Abschn. 33.2 näher beschrieben.

Neben den Bemühungen, Recycling-Prozesse in den Wertschöpfungskreislauf der Batterie zu integrieren, adressiert die Kommission weitere „End-of-Life"-Nutzungsmöglichkeiten. Dazu schafft der Verordnungsvorschlag einen Rahmen, die Wiederverwendung von Batterien aus Elektrofahrzeugen zu erleichtern, etwa als stationäre Energiespeicher oder durch die Integration in Stromnetze als Energieressourcen. Gleichzeitig forciert die Kommission den Einsatz neuer IT-Technologien und insbesondere des Batteriepasses, um den sicheren Datenaustausch, eine größere Transparenz des Batteriemarktes und die Rückverfolgbarkeit von Großbatterien zu fördern.[61]

Bei der Ankündigung des „European Green Deal" schloss die Europäische Kommission zunächst eine entscheidende Frage aus: Wann würde der Verkauf von Verbrennerfahrzeugen zeitlich limitiert werden? Im Jahr 2021 haben einige Länder der Europäischen Union die EU-Kommission um das Festlegen eines Ausstiegsdatums für die Veräußerung von Benzin- und Dieselfahrzeugen gebeten, da ein offizielles EU-Ausstiegsdatum bis dato nicht bekannt ist.[62] Dennoch gibt es europäische Regierungen, die inzwischen entsprechende nationale Zeitpläne festgelegt haben. So verpflichteten sich Dänemark, Island, Irland, Slowenien und Schweden, die Neuzulassung von Verbrennern bis zum Jahr 2030 einzustellen. Auf die strengsten Zeitpläne verständigten sich Norwegen und die Niederlande. Neuzugelassene Busse etwa müssen ab 2025 in den Niederlanden lokal emissionsfrei sein. Gleiches gilt für Personenfahrzeuge ab dem Jahr 2030. Im Umkehrschluss werden dort künftig ausschließlich batterie- oder wasserstoffelektrische Fahrzeuge zugelassen.[63] Vergleichbare Ambitionen wie die Niederlande verfolgt auch die norwegische Regierung: Die Skandinavier streben an, ab 2025 lediglich lokal emissionsfreie Pkw, Stadtbusse und leichte Nutzfahrzeuge zuzulassen.[64] Dabei ist zu beachten, dass Gebrauchtwagen, die erneut zugelassen werden, Bestandsschutz besitzen.[65]

[60] Vgl. European Automobile Clubs 2021.

[61] Vgl. Europäische Kommission 2020.

[62] Vgl. Europäische Mitgliedstaaten 2021.

[63] Vgl. Niederländische Regierung 2017.

[64] Vgl. Ola Elvestuen 2018.

[65] Vgl. Wappelhorst und Cui 2020.

Auf der anderen Seite des Atlantiks lassen sich ähnliche Ambitionen beobachten. In den USA verpflichteten sich zu Beginn des Jahres 2021 insgesamt zehn US-Bundesstaaten dazu, ab 2050 ausschließlich lokal emissionsfreie Pkw zuzulassen. Spitzenreiter ist dabei Kalifornien. Dort sollen Verbrenner ab 2035 nicht mehr zulassungsfähig sein. Plante China 2020 noch das Jahr 2060 als Ausstiegsdatum, wären Kaliforniens Straßen bereits 25 Jahre früher weitestgehend lokal emissionsfrei.[66] Einschränkungen wie Fahrverbote für Verbrenner sind jedoch sowohl in China als auch in den USA bislang nicht geplant.

Um den Wechsel vom Verbrennungsmotor hin zu lokal emissionsfreien Fahrzeugen zu begünstigen, werden international diverse Fördermaßnahmen beschlossen. Dazu gehören Kaufprämien, Steuersubventionen oder Bevorteilungen für Elektroautos in der Stadt. Derartige Regelungen machen sich in Form von kostenlosen Parkplätzen oder als Erlaubnis bemerkbar, mit einem E-Kennzeichen auf entsprechend markierten Busspuren fahren zu dürfen. Im europäischen Vergleich sind jedoch Kaufprämien die am weitesten verbreiteten Fördermaßnahmen. Spitzenreiter hinsichtlich Prämienhöhe sind neben Deutschland die Länder Rumänien mit 10.000 € (BEV) beziehungsweise 4250 € (PHEV), Kroatien, Polen und die Slowakei. Außerdem sind Steuersubventionen in Europa sehr beliebt: Mit Stand von Mai 2021 bieten insgesamt 22 von 27 europäische Mitgliedstaaten beim Kauf eines Elektrofahrzeugs länderspezifische Steuervorteile an.[67]

Unabhängig von den länderspezifischen Ambitionen gibt es international politische Maßnahmen, welche die Attraktivität des Verbrenners indirekt reduzieren. Dazu gehören Umweltzonen beziehungsweise Dieselfahrverbote sowie die geplante Abgasnorm Euro 7, die im Jahr 2025 eingeführt werden soll.[68] Mit dieser neuen Norm werden die zulässigen Abgasemissionen zunehmend eingeschränkt. Es ist absehbar, dass in der Folge das Pkw-Angebot auf Basis fossiler Brennstoffe sinkt und damit der „Ausstieg aus dem Verbrennungsmotor“ zusätzlich forciert wird. Die genannten Ambitionen der europäischen Länder sind in Abb. 3.6 zusammengefasst.

Die von der Bundesregierung und weiteren europäischen Staaten initiierten Anreize und Förderungen wirken. Mit einer Wachstumsrate von 134 % gegenüber dem Vorjahr erreichte Europa 2020 eine Zulassungszahl von 1,37 Mio. elektrischer Fahrzeuge. Dies entspricht rund 40 % der weltweiten Neuzulassungen elektrischer Pkw. Damit überholt Europa die zwei großen Märkte China (1,25 Mio. E-Auto-Neuzulassungen im Jahr 2020) sowie die USA (320.000 Elektrofahrzeug-Neuzulassungen 2020), auf die im Folgenden eingegangen wird.[69]

US-Präsident Joe Biden reagierte auf die unter seinem Amtsvorgänger nur mäßig erfolgten E-Auto-Neuzulassungen, indem er im April 2021 einen Investitionsplan von 174 Mrd. US$ für die US-Mobilitätswende vorstellte, der unter anderem Kaufprämien für

[66] Vgl. California Environmental Protection Agency 2019.

[67] Vgl. European Automobile Manufacturers Association 2020.

[68] Vgl. Europäische Kommission 2020.

[69] Vgl. Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) 2021.

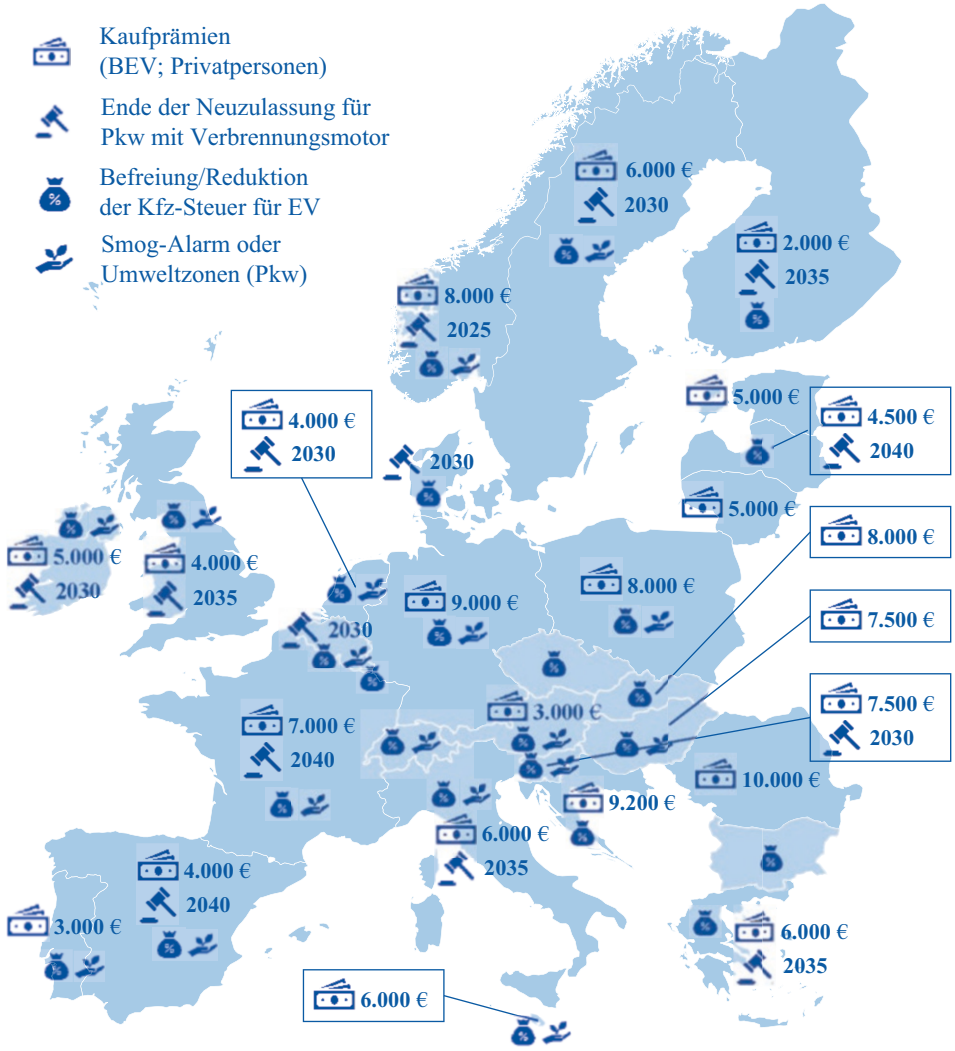

Abb. 3.6 Länderspezifische Ambitionen zur Förderung der Elektromobilität (Stand: Oktober 2021). (Vgl. Köllner 2021b; vgl. ADAC 2021; vgl. European Automobile Manufacturers Association 2020; vgl. Solisch 2021; vgl. European Automobile Manufacturers Association (ACEA) 2021)

Elektrofahrzeuge und den Ausbau der Ladeinfrastruktur vorsieht.[70] Zwei Monate zuvor präsentierten die Kongressabgeordneten den „CLEAN Future Act" – eine US-amerikanische Version des deutschen „Klimaschutzprogramms 2030". Der Gesetzesentwurf beschreibt umwelt- und klimapolitische Maßnahmen zur Realisierung einer emissi-

[70] Vgl. US-Regierung 2021.

onsfreien Wirtschaft bis zum Jahr 2050. Dazu sollen im ersten Schritt die klimaschädlichen Emissionen bis 2030 um 50 % gegenüber dem Jahr 2005 gesenkt werden.[71]

Indes war mit rund fünf Millionen Elektroautos im Jahr 2020 weltweit jedes zweite Elektrofahrzeug in China zugelassen. Der Grund dafür waren die umfassenden Subventionen der chinesischen Regierung zwischen 2015 und 2018. Eine erste Reduktion der Förderhöhe erfolgte im Juni 2019, als die Zentralregierung die Zuschüsse für E-Autos mit einer Reichweite von weniger als 250 Kilometern entfallen ließ und für Elektrofahrzeuge mit Reichweiten von mehr als 250 Kilometern nahezu halbierte. Die Förderhöhe nimmt seitdem jährlich ab und soll im Jahr 2022 endgültig auslaufen.[72] Dennoch wurden im ersten Quartal des Jahres 2021 maßgeblich höhere Verkaufszahlen gemeldet. Der Zuwachs verkaufter Elektroautos betrug im März 2021 rund 240 % gegenüber dem Vorjahresmonat.[73]

In Anbetracht der dargestellten Maßnahmen und Aspekte ist ein deutlicher Fortschritt in der Förderung elektrisch betriebener Fahrzeuge aufgrund politischen Engagements festzustellen. Dabei adressiert die Förderlandschaft in der Bundesrepublik jegliche Themenstellungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette einer Batterie. Besonders große, nationale Förderprogramme wie „FFB“ oder „KoPa 35c“ überzeugen Industriepartner, an der Batterieentwicklung teilzunehmen. Gleichzeitig äußert sich das internationale politische Engagement in Form von grenzüberschreitenden Projekten innerhalb der EU wie dem „European Green Deal“ oder „IPCEI“. Im chinesischen Markt, wo die elektrische Mobilität bereits hohe Akzeptanz erfährt, ist ein Rückgang politischer Förderprogramme für die kommenden Jahre angekündigt. Zusammengefasst ist eine deutliche Weiterentwicklung politischer Fördergrundlagen für die Elektromobilität zu beobachten. Der aktuelle Trend verdeutlicht die sinnvolle Nutzung politischer Anreize zum Hochlauf der Elektromobilität. Nachdem die Technologie eine gewisse Akzeptanz am Markt erreicht, ist ein Rückgang politischer Ambitionen analog zum chinesischen Markt absehbar.

3.4 Perspektive der Automobilindustrie

Der wachsende Wille von Bürgern und Politik, die CO_2-Emissionen zu reduzieren, wirkt sich auch auf die Automobilindustrie aus. So werden beispielsweise in der EU durch Flottengrenzwerte immer mehr Anreize für die Automobilhersteller geschaffen, den Anteil elektrisch betriebener Fahrzeuge in ihren Flotten zu erhöhen. Daher bereiten sich viele Automobilhersteller darauf vor, die Produktion ausschließlich mit einem Verbrennungsmotor angetriebener Modelle auslaufen zu lassen. In diesem Zuge hat die Mehrheit der

[71] Vgl. US-Regierung 2021.
[72] Vgl. Barrett 2021.
[73] Vgl. Werwitzke 2021.

Fahrzeughersteller angekündigt, Mitte der 2020er-Jahre die letzten vollständig neuen Modelle mit Verbrennungsmotor auf den Markt zu bringen. Bei durchschnittlichen Fertigungszeiträumen von sieben bis acht Jahren kommt dies einem Produktionsende für Verbrennungsmotor-Fahrzeuge zwischen Anfang und Mitte der 2030er-Jahre gleich.

Laut einer Schätzung von J.P. Morgan wird der Anteil der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor an den weltweiten Autoverkäufen zugunsten von hybridelektrischen Fahrzeugen und reinen Elektroautos von 88 % im Jahr 2015 auf 41 % im Jahr 2030 sinken. Obwohl die Corona-Pandemie für die Automobilindustrie als Ganzes einen negativen Einfluss hatte, haben vor allem die im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen staatlichen Konjunkturprogramme insbesondere in Europa den Trend zur Elektrifizierung verstärkt.[74]

China ist weltweit führend in der Produktion elektrisch angetriebener Fahrzeuge sowie von Batteriezellen und baut den Vorsprung weiter aus. Deutsche OEMs verzeichnen in der Fahrzeugherstellung ebenfalls ein starkes Wachstum und rangieren im Produktionsvolumen auf dem zweiten Platz hinter China. Die Produktionskapazitäten für Batteriezellen sind in Deutschland aktuell jedoch noch gering. In Europa werden die Produktionskapazitäten für elektrische Fahrzeuge in den nächsten Jahren stark ausgebaut, sodass im Jahr 2025 jedes vierte produzierte Auto teil- oder vollelektrisch sein wird. Deutschland spielt bei dieser Entwicklung eine zentrale Rolle: Dort werden 2025 rund 50 % aller in Europa hergestellten vollelektrischen Pkw produziert. Dabei haben die deutschen Automobilhersteller einen großen Anteil an dieser Entwicklung – und die größten Werke zur Produktion elektrisch angetriebener Fahrzeuge entstehen ebenfalls in Deutschland.[75]

Dieser Trend der Elektrifizierung bringt viele Herausforderungen für die Automobilhersteller und deren Zulieferer mit sich. Es kommt zu einer Verschiebung der Wertschöpfung im gesamten Antriebsbereich. Statt dem Verbrennungsmotor nehmen nun der Elektromotor und vor allem die Batterie einen gewichtigen Platz in der Wertschöpfungskette ein. Abb. 3.7 verdeutlicht die drastische Veränderung in der Kostenstruktur zwischen konventionellen Fahrzeugen und Elektrofahrzeugen. Bei einem rein batterieelektrisch angetriebenen Auto macht die Batterie alleine – je nach Fahrzeug – 33 % bis 44 % der Gesamtkosten aus. Davon entfallen wiederum etwa 60 % der Kosten auf die Batteriezellen. Das unterstreicht die Bedeutung der Batterie für das Elektrofahrzeug. Darüber hinaus erfolgt die Montage eines elektrifizierten Antriebsstrangs mit einer deutlich geringeren Komponentenzahl und ist somit günstiger. Auch die Kosten der Planung und Wartung sind geringer, was aus der geringeren Wertschöpfungstiefe resultiert.[76]

Diesen Herausforderungen begegnen die Automobilhersteller mit unterschiedlichen Strategien. Eine Methode, der Verschiebung der Wertschöpfung und somit Wertschöpfungsverlusten entgegenzuwirken, ist der Aufbau eigener Kompetenzen der Automobilhersteller im Bereich der Komponentenfertigung des elektrifizierten Antriebsstrangs. Dieses strategische Ziel verfolgen sämtliche Automobilhersteller, allerdings mit unter-

[74] Vgl. J.P. Morgan 2018.

[75] Vgl. Bernhardt et al. 2021.

[76] Vgl. Tschiesner et al. 2020.

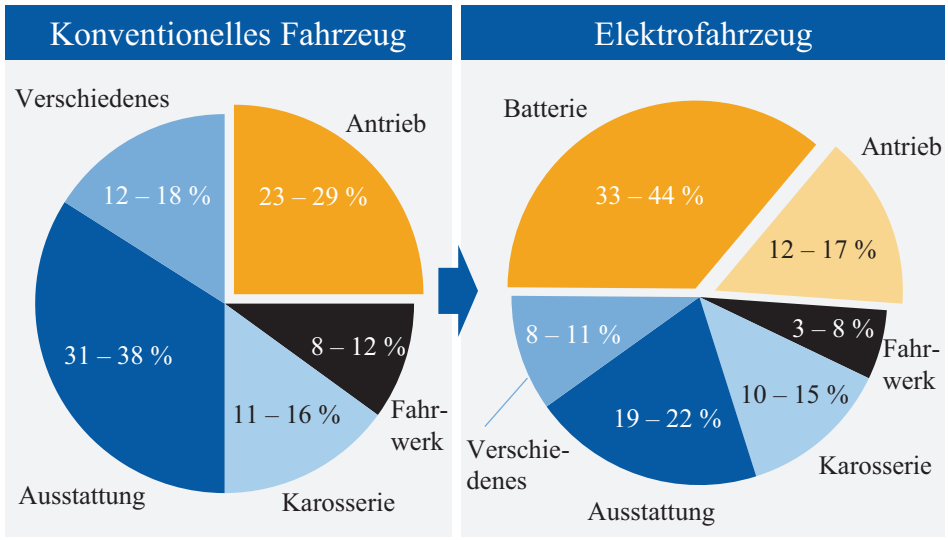

Abb. 3.7 Veränderung der Kostenstruktur zwischen konventionellen und elektrisch angetriebenen Fahrzeugen

schiedlichen Prioritäten.[77] Im Zuge dessen ist zu beobachten, dass zahlreiche Batteriezellfabriken in Europa unter Federführung von Automobilherstellern entstehen, diese häufig aber auch Kooperationsprojekte mit entweder anderen Automobilherstellern und/oder etablierten Batteriezellproduzenten sind. Diese Kooperationen dienen dem Teilen der Kosten und der Risiken beim Aufbau derartiger Kompetenzen und deuten auf herstellerübergreifende Vereinheitlichungen hin, was auch in den nächsten Punkt der Plattformstrategien spielt.

Plattformstrategien gewinnen als zweite Strategie im Zuge der Elektromobilität weiter an Bedeutung. Dabei gibt es einerseits Automobilhersteller, die ihre Plattformen vollständig auf Elektroautos ausrichten, andererseits haben sich viele Produzenten für die Entwicklung flexibler Plattformen entschieden, die nicht auf einen rein batterieelektrischen Antriebsstrang fokussiert ist.[78] Innerhalb dieser flexiblen Strategien ist wiederum zu unterscheiden, ob die jeweilige Plattform zuerst auf den elektrischen Antriebsstrang ausgelegt wurde und den Einbau eines konventionellen Antriebsstrangs ermöglicht oder umgekehrt ein konventionelles Fahrzeug mit der Möglichkeit zum Einbau eines elektrischen Antriebsstrangs ist. Die Tendenzen in den jeweiligen Ankündigungen deuten jedoch verstärkt auf rein elektrische Plattformen beziehungsweise solche hin, die zuerst auf den elektrischen Antriebsstrang ausgelegt wurden.

[77] Vgl. Olle et al. 2020.

[78] Vgl. Olle et al. 2020.

Die Automobilindustrie befindet sich folglich in einem radikalen Umbruch, der sehr viele Veränderungen mit sich bringen wird. Bei diesem Umbruch spielt vor allem die Batterie eine zentrale Rolle. Weiterentwicklungen der Batterietechnologie versprechen in Zukunft geringere Kosten und fördern den Wettbewerb. Durch optimierte Plattformen und geringere Batteriekosten wird erwartet, dass Elektroautos zwischen 2025 und 2027 Preisparität mit Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren im Segment der Leichtfahrzeuge erreichen. Gleichzeitig werden die Automobilhersteller eigene Kompetenzen in der Batterieproduktion ausweiten. Allerdings bringt die steigende Batterie-Nachfrage für die Hersteller weitere Herausforderungen mit sich.

3.5 Energiewirtschaftliche Perspektive

Der durch die Elektromobilität herbeigeführte steigende Strombedarf und der Ausbau der Infrastruktur verlangen von den Energieunternehmen in den nächsten Jahren hohe Investitionen, bergen im Gegenzug aber ein Umsatzpotenzial von mehreren Milliarden Euro. Nur mit der Nutzung erneuerbarer Energiequellen ist es möglich, die Potenziale der Elektromobilität voll auszuschöpfen. Aus energiewirtschaftlicher Perspektive wird in Deutschland der zusätzliche jährliche Strombedarf von 90 TWh für die Ladung einer vollständig elektrifizierten deutschen Pkw-Flotte von 45 Mio. Fahrzeugen zusätzlich benötigt.[79] Diese Zahl entspricht einem Sechstel des im Jahr 2019 produzierten Nettostroms und stellt eine Herausforderung für Energiekonzerne dar.[80]

Durch den Ausbau der erneuerbaren Energien (EE) und der entsprechenden Dezentralisierung der Energieerzeugung sind Systemumstellungen im Netz erforderlich. Die verschiedenen EE-Anlagen benötigen Netzzugang und somit eine Infrastruktur, um ins Netz integriert werden zu können. Häufig sind Standorte für eine effiziente und ertragreiche Erzeugung weit entfernt von den größten Verbrauchern. Diese Entfernung zwischen Produzenten und Konsumenten und die hohen Produktionsschwankungen der erneuerbaren Energien erfordern ein effizientes Netzmanagement. Durch die große Volatilität in der Produktion von Wind- und Solarstrom werden künftig bei einem großen Anteil dieser Technologien erhebliche Speicherkapazitäten benötigt, um die zuverlässige Energieversorgung zu jedem Zeitpunkt zu gewährleisten.[81]

Eine wichtige Rolle zur Etablierung der Elektromobilität spielt der Aufbau einer Ladeinfrastruktur, die einen erheblichen Einfluss auf die Verbreitung von Elektrofahrzeugen hat. Diverse Ladeinfrastrukturkonzepte werden derzeit diskutiert. Um nicht nur einzelne Gruppen von Nutzenden anzusprechen, sondern ein breites Spektrum an Verbraucherinnen und Verbrauchern zu gewinnen, müssen öffentliche Ladestationen entstehen. Dieser Ausbau ist allerdings mit langfristig hohen Investitionen verbunden. Am weitesten

[79] Vgl. BMU 2018.

[80] Vgl. Fraunhofer 2019.

[81] Vgl. Horenkamp et al. 2020.

voraus sind diesbezüglich bisher die Niederlande.[82] Dort sind mit Bezug auf den Pkw-Gesamtbestand europaweit die meisten Ladesäulen installiert, sodass ein weit ausgeprägtes Ladenetz in Städten und Wohngebieten sowie bei Arbeitgebern existiert und weiterhin ausgebaut wird. In Deutschland weisen einzelne Regionen bereits eine gute Versorgung mit Ladestationen auf. So sind beispielsweise in Bayern und Hamburg mehr als 650 Normal- und über 90 Schnellladepunkte pro eine Million Einwohner installiert. Im Gegensatz dazu sind insbesondere in den neuen Bundesländern deutlich weniger Ladepunkte vorhanden. In Mecklenburg-Vorpommern sind es aktuell 273 Normal- und 52 Schnellladepunkte pro eine Million Einwohner.[83,84]

Damit Elektromobilität in Deutschland für jede Bürgerin und jeden Bürger eine Alternative darstellen kann, ist also in möglichst naher Zukunft eine deutliche Weiterentwicklung der Netz- und Ladeinfrastruktur erforderlich.

Literatur

Teil I: Einführung in die Elektromobilität

ADAC *Zufahrtsbeschränkung in Europa*. https://www.adac.de/verkehr/abgas-diesel-fahrverbote/fahrverbote/fahrverbote-ausland/. Abruf 09.09.2021

Auswärtiges Amt: *Der Klimawandel – eine außenpolitische Herausforderung*. https://www.auswaertiges-amt.de/de/aussenpolitik/themen/klima/aussenpolitische-herausforderung/205756. Abruf 18.05.2021

AUTOHAUS Spezial:*Mobilität 2.0*. In: Autohaus, Jg. 2021, Nr. 19/2021Nr.

Barrett, E.: *China is rolling back the subsidies that fueled its electric-vehicle boom*. https://fortune.com/2021/01/05/china-electric-vehicle-subsidies-sales-tesla/. Abruf 19.05.2021

Bernhardt, W; Riederle, S; Hotz, T; Olschewski, I; Busse, A.: *E-Mobility Index 2021*, 03/2021

BMU: *Kurzinformation Elektromobilität bzgl. Strom- und Ressourcenbedarf. Strombedarf der Elektromobilität und Auswirkungen auf das Stromnetz*, 2018

Bundesministerium für Umwelt:*Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung* 2019.

Bundesministerium für Umwelt:*Das System der CO2-Flottengrenzwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge* 2020.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU): *Klimaschutzprogramm 2030. Maßnahmen zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030*, Oktober 2019

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU): *Novelle des Klimaschutzgesetzes beschreibt verbindlichen Pfad zur Klimaneutralität 2045. Klimaziel für 2030 von 55 auf 65 Prozent Treibhausgasminderung gegenüber 1990 angehoben, Bundesregierung beschließt noch 2021 weitere Maßnahmen*, 12.05.2021. Pressemitteilung Nr. 098/21

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Pariser Abkommen*. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-abkommen-von-paris.html. Abruf 18.05.2021

[82] Vgl. VDA 2020.

[83] Vgl. Bundesnetzagentur 2021.

[84] Vgl. Statistisches Bundesamt 2021.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Eckpunkte zur Umsetzung des Konjunkturpakets Ziffer 35c*. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/eckpunkte-konjunkturpaket-35c.pdf?__blob=publicationFile&v=10. Abruf 21.05.2021

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Batterien „made in Germany" – ein Beitrag zu nachhaltigem Wachstum und klimafreundlicher Mobilität*. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/batteriezellfertigung.html. Abruf 12.09.2021

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Elektromobilität in Deutschland*. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/elektromobilitaet.html. Abruf 18.05.2021

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Forschungsförderung für die E-Mobilität geht in die nächste Runde*. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/03/20210326-forschungsfoerderung-fuer-die-e-mobilitaet-geht-in-die-naechste-runde.html. Abruf 18.05.2021

Bundesnetzagentur: *Ladesäulenkarte*. https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/E-Mobilitaet/Ladesaeulenkarte/start.html. Abruf 15.12.2021

Bundesregierung: *CO2-Bepreisung*. https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/co2-bepreisung-1673008. Abruf 18.05.2021

Bundesregierung: *Kaufprämie für Elektroautos erhöht*. https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/energiewende/kaufpraemie-fuer-elektroautos-erhoeht-369482. Abruf 18.05.2021

Bundesregierung: *Mehr Ladestationen für Elektroautos*. https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/ladeinfrakstruktur-1692644. Abruf 18.05.2021

Bundesregierung: *Verkehr*. https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/verkehr-1672896. Abruf 28.03.2022

Bundesregierung Deutschland: *Klimaschutzgesetz 2021*, 2021

Bundesregierung Deutschland: *Verkehr. Umstieg auf Elektromobilität fördern*, 2021

Bundesverfassungsgericht : *Verfassungsbeschwerden gegen das Klimaschutzgesetz teilweise erfolgreich*, 29.04.2021

California Environmental Protection Agency: *Public hearing to consider the proposed advanced clean trucks regulation*. California Environmental Protection Agency, 2019

Deutscher Bundestag: *Wohnungseigentumsgesetz. WEG*, 1.12.2020

elektroauto-News:*Tesla: 241.300 Auslieferungen in Q3/2021 – neuer Absatzrekord*. In: elektroauto-News 2021.

Europäische Kommission: *Der europäische Grüne Deal*. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/european-green-deal-communication_de.pdf. Abruf 27.05.2021

Europäische Kommission: *Gemeinsam für saubere Autos: EU-Kommission in engem Dialog mit Industrie und Politik zu neuer Abgasnorm*, 22.11.2020

Europäische Kommission: *Grüner Deal: Nachhaltige Batterien für eine kreislauforientierte und klimaneutrale Wirtschaft*, 10.12.2020

Europäische Mitgliedsstaaten: *Non-paper: Transition to zero-emission light-duty vehicles*, 2021

European Automobile Clubs: *Green Deal: Sustainable batteries*. https://www.eaclubs.org/post/green-deal-sustainable-batteries. Abruf 27.05.2021

European Automobile Manufacturers Association: *Overview – Electric vehicles: Tax benefits & purchase incentives in the European Union*. https://www.acea.be/publications/article/overview-of-incentives-for-buying-electric-vehicles. Abruf 19.05.2021

European Automobile Manufacturers Association (ACEA): *ACEA Tax Guide 2021*. https://www.acea.auto/files/ACEA_Tax_Guide_2021.pdf. Abruf 16.10.2021

Fraunhofer, I. S.: *Stromerzeugung|Energy Charts*. In: Verfügbar unter: https://www.energycharts.de/energy_pie_de.htm 2019.

Harrison, D.:*Electric Vehicle Batter Supply Chain Analysis. How Battery Demand and Production are Reshaping the Automotive Industry* 2021.

Hecht, C; Laberer, C.: *Herausforderungen für die Antriebswende. ADAC Befragungen zur kommunalen Infrastruktur für alternative Antriebe*, 02/2021

Horenkamp, W; Hube, W; Jäger, J; Kleimaier, M; Kühn, W; Nestle, D; Pickhan, R; Pokojski, M; Raphael, T; Scheffler, J.: *VDE-Studie Dezentrale Energieversorgung*, 2020

J.P. Morgan: *Driving into 2025: The Future of Electric Vehicles*. https://www.jpmorgan.com/insights/research/electric-vehicles#:~:text=By%202025%2C%20J.P.%20Morgan%20estimates,-fuel%20engine%20with%20electric%20elements. Abruf 08.12.2021

Köllner, C.:*Verbrenner-Ausstieg: Die Pläne der Autohersteller. Teil 2: Wer plant wann den Verbrennungsmotor-Ausstieg?* In: SpringerProfessional 2021.

Köllner, C.: *Verbrenner-Ausstieg: Die Pläne der Autohersteller*. In: springerprofessional.de, 13.07.2021b

Kords, M.:*Absatz von Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen in China von 2008 bis 2021*. In: Statista 2021.

Kords, M.:*Anzahl der weltweit ausgelieferten Fahrzeuge von Tesla im Zeitraum vom 1. Quartal 2017 bis 2. Quartal 2021*. In: Statista 2021.

Kords, M.:*Größte Automobilhersteller weltweit nach Fahrzeugabsatz im Jahr 2020*. In: Statista 2021.

Kraftfahrbundesamt: *Anzahl der Elektroautos in Deutschland von 2011 bis 2021*, 2021

Kraftfahrbundesamt:*Anzahl der Neuzulassungen von Elektroautos in Deutschland von 2003 bis 2021* 2021.

Kraftfahrbundesamt:*Anzahl der Neuzulassungen von Personenkraftwagen mit Elektroantrieb in Deutschland nach Modell im Jahr 2020* 2021.

Kraftfahrbundesamt: *Anzahl der Pkw-Neuzulassungen in Deutschland von 1955 bis 2020*, 2021

Krings, J; Gissler, Andreas, Seyfferth, Jonas; Güthner, Hartmus, Neuhausen, Jörn; Gruber, C; Stürmer, C; Singh, A; Jiang, S.: *Digital Auto Report 2020. Navigating through a post-pandemic world*, 2020

Landesregierung Nordrhein-Westfalen: *Forschungsfertigung Batteriezelle in Münster: Landesregierung ebnet den Weg für schnelleren Endausbau*. https://www.land.nrw/de/pressemitteilung/forschungsfertigung-batteriezelle-muenster-landesregierung-ebnet-den-weg-fuer. Abruf 26.05.2021

manager magazin:*China schlägt Europa mit Rekord-Zulassungszahlen* 2021.

Maus, W.: *Zukünftige Kraftstoffe*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2019

McKinsey:*Wandel durch E-Mobilität: Markt für Antriebskomponenten wächst bis 2025 um ein Drittel* 2019.

McKinsey:*Electric Vehicle Index: Europa wird zum Hotspot der Elektromobilität*. In: McKinsey 2020.

Niederländische Regierung: *Confidence in the Future. 2017–2021 Coalition Agreement*, 2017

Ola Elvestuen: *Norway's low emissions policy*, 12.07.2018

Olle, W; Plorin, D; Vogel, D; Wächtler, A; Chmelik, R.:*Elektromobilität trotzt der Automobilkrise. Entwicklungen in Europa 2020–2025*. In: Autoland Sachsen 2020, Nr. 2

Proff, H.:*elektromobilitaet-in-deutschland. Marktentwicklung bis 2030 und Handlungsempfehlungen* 2020.

Rudolph, F; Jochem, P.:*Die Rolle von Elektroautos in der Mobilität von morgen. Ambitionierte Flottenemissionsnormen und flankierende Politikinstrumente helfen, deutsche Klimaschutzziele zu erreichen* 2021.

Solisch, M.: *Umweltzonen im Ausland und weitere Fahrverbote*. https://www.umweltplakette.org/umweltzonen-ausland/. Abruf 16.10.2021

Soulopoulos, N; Boers, M; Fisher, R; O'Donovan, A; Mckerracher, C.: *Hitting the EV Inflection Point. Electric vehicle price parity and phasing out combustion vehicle sales in Europe*, 05/2021

SPD, FDP, Die Grünen:*MEHR FORTSCHRITT WAGEN. BÜNDNIS FÜR FREIHEIT, GERECHTIGKEIT UND NACHHALTIGKEIT*. Koalitionsvertrag zwischen SPD, FDP, und Die Grünen 2021.

Statistisches Bundesamt: *Bevölerung nach Nationalität und Bundesländern*. https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/bevoelkerung-nichtdeutsch-laender.html. Abruf 15.12.2021

Strathmann, T.: *Elektromobilität als disruptive Innovation*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019

Tschiesner, A; Heuss, R; Hensley, R; Wu, T; Schaufuss, P; Hertzke, P; Knupfer, S. M; Gersdorf, T.: *The road ahead for e-mobility. How OEMs can win consumers and achieve mass-market EV adoption*, 01/2020

Umweltbundesamt: *Mobilität privater Haushalte*. https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/mobilitaet-privater-haushalte. Abruf 07.12.2021

US-Regierung: *Reducing Greenhouse Gases in the United States: A 2030 Emissions Target*, 2021

US-Regierung: *Fact Sheet: The American Jobs Plan*, 31.03.2021

VDA: *Ladenetz-Ranking Europa*, 2020

Verband der TÜV e. V.: *Mobility Studie 2020*, 2020

Vitale, J; Giffi, C; Schiller, T; Bowman, K; Hecker, M; Bae, J. H; Singh, R; Tanaka, Y; Robinson, R.: *2020 Global Automotive Consumer Study. Is consumer interest in advanced automotive technologies on the move?*, 2020

Wappelhorst, S; Cui, H.: *Growing momentum: Global overview of government targets for phasing out sales of new internal combustion engine vehicles*. https://theicct.org/blog/staff/global-ice-phaseout-nov2020. Abruf 05.06.2021

Werwitzke, C.: *Q1: Starke Zuwächse beim E-Auto-Absatz in China*. https://www.electrive.net/2021/04/08/q1-starke-zuwaechse-beim-e-auto-absatz-in-china/. Abruf 28.05.2021

Wilker, F.: *Elektrofahrzeuge werden ab 2030 voraussichtlich die Hälfte des weltweiten Automobilmarktes ausmachen*, 2017

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW): *Elektroautos: Bestand steigt weltweit auf 10,9 Millionen*, 09.03.2021

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

