

IMPRESSUM

ANSPRECHPARTNER/HERAUSGEBER

NOW GmbH
Nationale Organisation
Wasserstoff- und
Brennstoffzellentechnologie
Fasanenstraße 5
10623 Berlin

GEFÖRDERT DURCH

Bundesministerium für Verkehr und digitale
Infrastruktur (BMVI)
Invalidenstraße 44
10115 Berlin

ERSTELLT DURCH

Ingenieurgruppe IVV GmbH & Co. KG
fka Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen
mbH Aachen

AUTOREN

Dr. Stephan Krug,
Ingenieurgruppe IVV GmbH & Co. KG/
Oliver Krey, Ingenieurgruppe IVV GmbH & Co. KG
Birte Ohm, Ingenieurgruppe IVV GmbH & Co. KG
Oliver Braune, NOW GmbH
Marc Weider, NOW GmbH

LAYOUT & SATZ

Wolf/Osmankovic
advertisingwithamore.de

BILDNACHWEIS

Alle Bilder: NOW GmbH mit freundlicher
Unterstützung durch unsere Partner aus den
Förderprojekten
Ergänzend lizenzierte Motive: istockphoto.com

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Koordiniert durch:

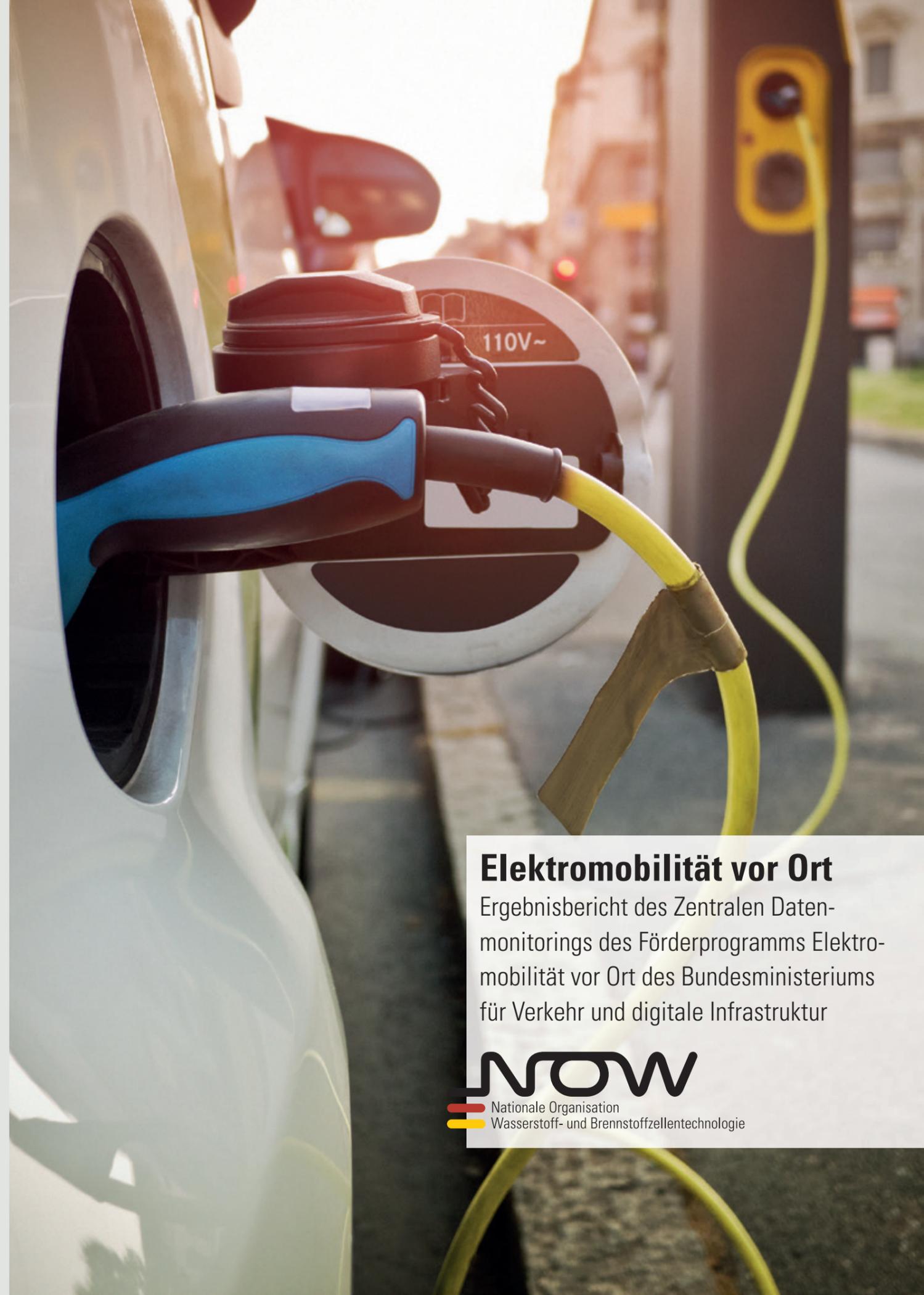
NOW

Nationale Organisation
Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

Erstellt durch:

ivv Ingenieurgruppe für
Verkehrswesen und
Verfahrensentwicklung

fka



Elektromobilität vor Ort

Ergebnisbericht des Zentralen Daten-
monitorings des Förderprogramms Elektro-
mobilität vor Ort des Bundesministeriums
für Verkehr und digitale Infrastruktur

NOW

Nationale Organisation
Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

Vorwort

Diese Publikation entstand im Kontext der Programm-Begleitforschung Elektromobilität des Bundesministeriums für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI). Die Ergebnisse basieren auf Daten und Informationen einer Vielzahl von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben aus den Jahren 2012 bis 2017. Diese werden im Rahmen der Förderrichtlinie Elektromobilität des BMVI vom 9.6.2015 (Anpassung am 5.12.2017) durch die Bundesregierung gefördert.

Elektromobilität ist ein zentraler Schlüssel zur Reduzierung der klima- und umweltschädlichen Wirkungen des motorisierten Verkehrs. Zudem leistet sie einen Beitrag zur Verbesserung der Luftqualität in schadstoffbeeinträchtigten Kommunen. Daher fördert das BMVI auf Basis der beschriebenen Richtlinie den weiteren Markthochlauf von Fahrzeugen mit elektrischen Antrieben in Deutschland, inklusive der notwendigen Ladeinfrastruktur. Im Fokus der Förderung stehen Kommunen als zentrale Akteure des Markthochlaufs. Das übergeordnete Ziel der Förderung ist die Klärung offener zentraler Forschungsfragen, die Unterstützung bei der Steigerung des Marktangebots und die Erhöhung von Fahrzeugzahlen in allen Verkehrsbereichen.

Zudem hat die Bundesregierung am 28.11.2017 in Berlin ein „Sofortprogramm Saubere Luft 2017 bis 2020“ zur Verbesserung der Luftqualität in besonders von Stickoxiden (NO_x) belasteten Kommunen vorgelegt. Das Sofortprogramm hat einen Umfang von einer Milliarde Euro. Elektromobilität spielt eine zentrale Rolle im Sofortprogramm. Für die Elektrifizierung des Verkehrs sollen 350 Millionen bereitgestellt werden. Als eine Maßnahme des Sofortprogramms unterstützt das BMVI im Kontext der oben beschriebenen Förderrichtlinie belastete Kommunen beim Aufbau von Elektrofahrzeugflotten und Lade-Infrastruktur. Erkenntnisse dieser Förderung werden zukünftig ebenfalls im Rahmen der Programmbegleitforschung verwertet. Zudem besteht die Möglichkeit der Entwicklung kommunaler Masterpläne zur Verbesserung der Luftqualität.

Das Zentrale Datenmonitoring (ZDM) ist mit der Bündelung und Auswertung der Projektdaten betraut. Diese werden innerhalb der Programmbegleitforschung zusammengeführt und bewertet. Die Aufgabe der Gesamtkoordination des Förderprogramms und der Begleitforschung übernimmt die NOW GmbH Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW). Der Projektträger Jülich (PtJ) setzt das Förderprogramm im Auftrag des BMVI um.

INHALT	SEITE
Vorwort	03
Zusammenfassung	06
Einleitung und Hintergrund	12
Entwicklung Elektrofahrzeugbestand und Ladeinfrastrukturangebot in Deutschland	20
Marktsituation der Fahrzeuge	30
Elektromobilität in der Praxis	34
Kostenbetrachtung	52
Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit	58
Ausblick	63
Impressum	64

Zusammenfassung

Der Klimaschutz und die Luftreinhaltung in deutschen Städten und Kommunen rücken zunehmend in den Fokus von Politik und Öffentlichkeit. Deutschland hat sich zum Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen bis 2020 (um 40 Prozent) bzw. 2050 (um 80 Prozent) gegenüber dem Bezugsjahr 1990 zu senken. Nach neuesten Erkenntnissen wird das Ziel im Jahr 2020 vermutlich verfehlt. Allerdings ist sich die Politik einig in dem Ziel, die Lücke der Verfehlung so gering wie möglich zu halten. In derzeitigen Sondierungsgesprächen wird der weitere Ausbau erneuerbarer Energien und der Elektromobilität bekräftigt. Die internationalen Klimaschutzziele für 2030 und 2050 sollen erreicht werden.

Neben dem Klimaschutz ist die Luftqualität in Innenstädten ein weiteres bedeutendes Ziel. In diesem Zusammenhang sehen sich einige Städte und Kommunen mit anhaltenden Grenzwertüberschreitungen (Stickstoffdioxid, NO₂) konfrontiert. Von einer dauerhaften NO₂-Belastung geht ein ernstzunehmendes Gesundheitsrisiko aus. Ein Großteil dieser Emissionen entsteht im Straßenverkehr. Daher hat die Europäische Kommission mehrfach Mahnungen an diese Regionen versandt. Im nächsten Schritt drohen im Rahmen des EU-Vertragsverletzungsverfahrens Klagen vor dem Europäischen Gerichtshof.

Elektromobilität kann einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgas- und Stickoxidemissionen leisten. Daher fördert die Bundesregierung die Marktvorbereitung und den Markthochlauf seit 2009 mit dem Ziel eines Massenmarktes und einer Leitanbieterschaft Deutschlands ab 2020. Das Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI) fördert aktuell im Rahmen der bestehenden Förderrichtlinie Elektromobilität BMVI (von 2015) die Forschung und Entwicklung, den kommunalen Flotten- und Infrastrukturaufbau und den Wissensaufbau in Kommunen. Erkenntnisse dieser Förderbereiche werden innerhalb der Programmbegleitforschung in verschiedenen Themenfeldern zusammengeführt. Das Zentrale Datenmonitoring (ZDM) ist Teil dieser Begleitforschung. Es hat die Aufgabe, die gewonnenen

Informationen und Daten im Interesse eines offenen Erfahrungsaustauschs in der Programmbegleitforschung zu bündeln.

In der ZDM-Datenbank sind derzeit Informationen von mehr als 6.000 Elektrofahrzeugen hinterlegt. Für etwa 1.200 von diesen Elektrofahrzeugen liegen detaillierte Fahr- und Ladedaten vor. Die Daten zu Ladevorgängen an der Ladeinfrastruktur stammen von etwa 400 Ladestationen. Daten zum Nutzerverhalten liegen von 3.625 Personen/Institutionen aus 25 Befragungen vor. Ersten Informationen stammen aus dem Jahr 2012. Die meisten Daten wurden in den Jahren 2014–2016 zusammengeführt.

Die Auswertung dieser Daten führt zu den nachfolgenden Erkenntnissen in den Themenbereichen

- Marktsituation Elektromobilität in Deutschland,
- Fahrzeugnutzung, Betriebs- und Ladeverhalten,
- Kosten und Wirtschaftlichkeit,
- Umwelt und Gesundheit.

Die Marktsituation im Bereich Elektromobilität in Deutschland

Neben anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung werden derzeit auch Maßnahmen zur Marktunterstützung und Marktvorbereitung förderseitig unterstützt. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Förderung von Kommunen. Die Kommunen werden bei der Erstellung von kommunalen Elektromobilitätskonzepten, bei der Beschaffung von Elektrofahrzeugen und beim Aufbau der dazugehörigen Ladeinfrastruktur unterstützt. Die Förderung im Bereich Forschung und Entwicklung und die Investitionsförderung sind wichtige Instrumente zur Entwicklung eines Marktes für Elektromobilität.

Neben großem Engagement im Bereich Forschung und Entwicklung unterstützt die Bundesregierung seit dem 2. Juli 2016 mithilfe eines Umweltbonus den Absatz neuer Elektrofahrzeuge. Im Jahr 2017 wurden zwei Drittel aller neu zugelassenen Elektro-Pkw mit Unterstützung der Kaufprämie (Umweltbonus) angeschafft. Zudem werden die Möglichkeiten und Regelungen des seit 2015 bestehenden Elektromobilitätsgesetzes (EmoG) genutzt. Zwei Drittel der Neuzulassungen haben im Jahr 2017 ein E-Kennzeichen erhalten. Über das E-Kennzeichen können die im EmoG aufgeführten Sonderregeln umgesetzt und kontrolliert werden.

Wenn auch nicht auf dem Niveau des Fahrzeughochlaufs, schreitet der Aufbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur seit 2016 merklich voran. Seit Anfang 2016 wurden etwa 5.800 Ladestationen in Deutschland errichtet. Dies sind entsprechend mehr als 200 Ladestationen pro Monat. Zurzeit gibt es in Deutschland etwa 9.800 öffentlich zugängliche Ladestationen (Stand 12/2017).

Der Bestand an Elektrofahrzeugen entwickelt sich ebenfalls seit 2016 mit hoher Dynamik und kann bei gleichbleibendem Wachstum bis 2020 auf einen Anteil von 350.000 bis 1,0 Mio. Fahrzeuge anwachsen. Der Anteil an rein batterieelektrischen Fahrzeugen dominiert den Bestand, allerdings sind Plug-in-Hybride zurzeit sehr gefragt und werden ihren Marktanteil wahrscheinlich weiter erhöhen.

Zum aktuellen Zeitpunkt ist bei deutlich gestiegener Zahl von Neuzulassungen ein beginnender Markthochlauf für Elektrofahrzeuge erkennbar, auch wenn das Fahrzeugangebot, die Kosten der Beschaffung der Fahrzeuge und die Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur dies noch nicht untermauern.

Derzeitige Fahrzeugnutzung, Betriebs- und Ladeverhalten

Im Realbetrieb ist die mittlere Fahrtweite von Elektrofahrzeugen (BEV) derzeit noch geringer als die von Plug-in-Hybriden und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Die tägliche Fahrleistung eines Elektro-Pkw könnte bei Ausnutzung der verfügbaren Reichweite mehr als doppelt so hoch ausfallen. Daher ergeben sich weitere Potenziale zur optimalen Nutzung der Fahrzeuge.

Die Fahrzeuge werden selten im Grenzbereich der batteriebedingten Reichweite betrieben, sondern bereits nach 25–30 km wieder aufgeladen, obwohl die mittlere Reichweite bei über 100 km liegt. Zu Beginn eines Ladevorgangs liegt der SOC mehrheitlich bei 50 % und darüber. Bei mehr als 80 % aller Ladevorgänge wird die Batterie vollständig aufgeladen (SOC größer 90 %). Die Umgebungstemperatur, besonders bei Temperaturen unter 10 °C, hat einen wesentlichen Einfluss auf die Reichweite.

Entsprechend diesen Erkenntnissen bestehen zurzeit noch deutliche Unterschiede in der Jahresfahrleistung von Elektro-Pkw und Verbrennern. Elektro-Pkw werden jedoch immer häufiger und intensiver genutzt und könnten bei Fortschreibung des Trends bald die Jahresfahrleistung von Pkw mit Ottomotor erreichen.

Die Anzahl Ladevorgänge hat seit 2012 eher abgenommen. Je Ladestation erfolgt im Mittel ein Ladevorgang pro Tag. Dieser dauert durchschnittlich etwa 2,2 Stunden (durchschnittliche Ladedauer an AC- und DC-Ladestationen).

Die Elektrofahrzeuge weisen eine hohe Verfügbarkeit auf. In den Modellregionen sind im Realbetrieb nur wenige Ausfälle aufgetreten, ganz überwiegend nicht wegen unzureichender Ladung.

Kostenbetrachtung und Wirtschaftlichkeit

Elektrofahrzeuge sind aufgrund der geringeren Betriebskosten heute schon wirtschaftlich, sofern sie intensiv genutzt werden. Die jährliche Mindestfahrleistung für einen wirtschaftlichen Betrieb von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen liegt in der Gesamtkostenbetrachtung bei kleinen Fahrzeugen bei 4.700 km, und bei Fahrzeugen mittlerer Größe bei 12.200 km und bei großen Fahrzeugen bei 44.400 km. Bei gleicher Fahrleistung sind die Fahrzeuge nach vier (klein), fünf (mittel) oder acht (groß) Jahren wirtschaftlicher als ein Benzinfahrzeug.

Dem deutlichen Nachteil der Elektrofahrzeuge infolge der höheren Anschaffungskosten steht ein ebenso deutlicher Vorteil bzgl. der fahrleistungsabhängigen Betriebskosten gegenüber. Zum einen liegen die Energiekosten pro Kilometer von Elektrofahrzeugen (BEV) deutlich unter denen konventioneller Fahrzeuge. Zum anderen verfügen Elektrofahrzeuge über weniger Teile, die dem Verschleiß, der Reparatur und der regelmäßigen Wartung unterliegen. So entfallen beispielsweise die Ölschmierung, der Riementrieb, Dichtungen und viele Verschleißteile im Bereich des Verbrennungsmotors und des Getriebes.

Die geringen Betriebskosten der Elektrofahrzeuge gegenüber Verbrennerfahrzeugen wirken sich positiv auf die Gesamtkosten aus (TCO). Einige Elektro-Pkw sind schnell wirtschaftlicher als konventionelle Pkw.

Bestehende Betriebskostenvorteile und sinkende Anschaffungskosten machen Elektrofahrzeuge in den nächsten Jahren immer wettbewerbsfähiger.

Elektrofahrzeuge werden auch in Zukunft signifikante Vorteile bei den Energiekosten behalten. Zugleich wird es hinsichtlich ihres relativen Nachteils bei den Anschaffungskosten zu Verbesserungen kommen. Der Anschaffungspreis von Elektrofahrzeugen hängt wesentlich vom Preis der Batterie ab. Technische Entwicklungen in der Fertigung und die einsetzende Kostendegression wirken auf einen weiter fallenden Batteriepreis hin.

Umweltwirkung und Gesundheit

Die Kohlenstoffdioxid-Emissionen (CO₂) bei der Herstellung eines Elektrofahrzeugs sind bei Minis und Fahrzeugen der Kompaktklasse um rund 60 % höher als bei einem vergleichbaren Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Dies ist in erster Linie auf die Batterieherstellung zurückzuführen.

Der Herstellung gegenüber steht allerdings die Nutzungsphase des Fahrzeuges. Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor emittieren auch während der Nutzungsphase CO₂. Bei einem Elektrofahrzeug hingegen wird bei ausschließlicher Nutzung von erneuerbarem Strom, lediglich während der Stromerzeugung CO₂ freigesetzt.

Die Ökobilanz eines Elektro-Pkw ist deshalb in der Betrachtung des gesamten Lebenszyklus besser als die eines vergleichbaren Pkw mit Verbrennungsmotor. Je nach Art der Erzeugung des Ladestroms (Strommix oder ausschließlich erneuerbare Energien) ergeben sich frühe Eintrittszeitpunkte des Umweltvorteils.

Elektrofahrzeuge werden eine wesentliche Rolle bei der Lösung der Luftqualitätsprobleme in deutschen Städten spielen. Denn im Gegensatz zu konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (insbesondere Dieselfahrzeuge) entstehen bei Elektrofahrzeugen während der Fahrt keine Stickstoffdioxid-Emissionen (NO₂). Elektro-Pkw leisten somit einen Beitrag zur Reduzierung der Luftschadstoffe am Einsatzort.

Auch bei der Lärmemission zeigt ein Elektrofahrzeug Vorteile gegenüber einem konventionellen Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Während bei konventionellen Kraftfahrzeugen Antriebsgeräusche (Motor, Ansaug- und Abgastrakt, Getriebe) bis etwa 25 km/h dominieren, ist bei Elektrofahrzeugen nahezu kein Antriebsgeräusch vorhanden. Insbesondere bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten sind Elektro-Pkw deshalb deutlich leiser als vergleichbare Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor und leisten so einen Beitrag zu Reduzierung der Lärm-Emissionen in Innenstädten.

1 Einleitung und Hintergrund

Deutschland hat sich zum Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen bis 2050 um mindestens 80 % gegenüber 1990 zu senken. Bis 2020 sollen diese um 40 % gesenkt werden. Gleichzeitig soll der Primärenergieverbrauch bis 2050 um die Hälfte gegenüber 2008 sinken. Im Verkehrssektor soll der Endenergieverbrauch bis 2050 um rund 40 % gegenüber 2005 reduziert werden. Ziel ist es, die klima- und umweltschädlichen Auswirkungen des motorisierten Individualverkehrs zu verringern. In den Jahren 2015 und 2016 wurde dieses Ziel allerdings nicht erreicht. Die Treibhausgasemissionen sind gleichbleibend oder sogar leicht gestiegen. Die Hauptursache stellt der kontinuierliche Anstieg im Verkehrsaufkommen dar. Einen Beitrag zur Reduzierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen im Verkehr kann die Elektromobilität leisten.

Elektromobilität bezeichnet das Nutzen von Elektrofahrzeugen und gilt als zentraler Baustein eines nachhaltigen und klimaschonenden Verkehrssystems auf Basis erneuerbarer Energien. Ein Elektrofahrzeug ist ein Verkehrsmittel, das mit elektrischer Energie angetrieben wird und seine Energie überwiegend aus dem Stromnetz bezieht, also extern aufladbar ist. Dazu gehören:

- Batteriebetriebenes Elektrofahrzeug (Battery Electric Vehicle, kurz BEV): klassisches Elektroauto, das als Energiespeicher ausschließlich eine Batterie mit sich führt.
- Elektrofahrzeug mit Range Extender (Range Extended Electric Vehicle, kurz REEV): Fahrzeug, das ausschließlich über einen Elektromotor angetrieben wird, zusätzlich jedoch einen Verbrennungsmotor mit sich führt, der vorrangig der Stromerzeugung dient („Reichweitenverlängerer“) und mechanisch nicht mit dem Antriebsstrang verbunden ist.
- Plug-in-Hybrid (Plug-In Hybrid Electric Vehicle, kurz PHEV): Fahrzeug, das sowohl von einem Elektromotor als auch von einem Verbrennungsmotor angetrieben werden kann. Die Batterie dieses Fahrzeugs kann an das Stromnetz angeschlossen und wieder aufgeladen werden.

Brennstoffzellenfahrzeuge (Fuel Cell Electric Vehicle, kurz FCEV) zählen ebenfalls zu den Elektrofahrzeugen. Im Rahmen der Förderprojekte in den Modellregionen und Schaufenstern der Elektromobilität wurden jedoch keine Fahrzeuge mit Brennstoffzellen im Detail untersucht. Dies erfolgt im Rahmen der Clean Energy Partnership

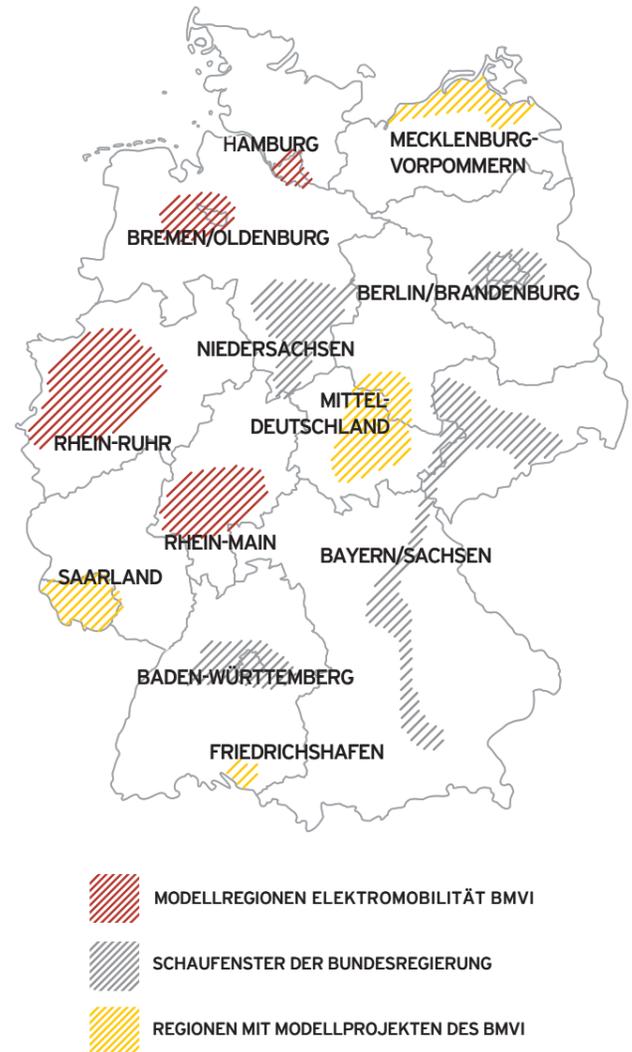
(CEP) als Leuchtturmprojekt innerhalb des „Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ (NIP). Hybridfahrzeuge ohne Anschlussmöglichkeit ans Stromnetz (Hybrid Electric Vehicle, kurz HEV) zählen ebenfalls zu den Elektrofahrzeugen. Diese Fahrzeuge werden aber in den aktuellen Förderprogrammen der Bundesregierung nicht berücksichtigt, da ihre Batterie nicht extern aufladbar ist.

Um die ambitionierten Umwelt- und Energieverbrauchsziele zu erreichen, fördert die Bundesregierung seit 2009 den Ausbau und die Marktvorbereitung der Elektromobilität. Zum Aufbau von Fahrzeugflotten und der für den Betrieb notwendigen Ladeinfrastruktur sowie zur Verankerung der Elektromobilität im öffentlichen Raum hat das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) 2009 den Förderschwerpunkt „Elektromobilität in Modellregionen“ geschaffen.

Mit der Zielstellung „Elektromobilität in Deutschland wird für jedermann sichtbar“ wurden im Zeitraum von 2012 bis 2016 zudem in sogenannten „Schaufenstern Elektromobilität“ bundesweit groß angelegte regionale Demonstrations- und Pilotvorhaben vorgestellt. Im Mittelpunkt der Förderung stand insbesondere die Forschung und Entwicklung. Das Schaufensterprogramm wurde ressortübergreifend geführt durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB).

Die Übersichtskarte der Modellregionen und Schaufenster Elektromobilität zeigt Bild 1-1.

Bild 1-1:
Regionale Demonstrationsvorhaben
Elektromobilität im Zeitraum 2012 bis
2016 (Quelle: BMVI)



Aktuell werden die Förderaktivitäten unter der seit Juni 2015 geltenden Förderlinie Elektromobilität des BMVI durchgeführt. Neben anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung ermöglicht diese Richtlinie auch Maßnahmen zur Marktunterstützung und Marktvorbereitung bis 2020 und legt einen besonderen Schwerpunkt auf die Förderung von Kommunen. Die Kommunen werden bei der Erstellung von kommunalen Elektromobilitätskonzepten, bei der Beschaffung von Elektrofahrzeugen und beim Aufbau der dazugehörigen Ladeinfrastruktur unterstützt.

Bei der Zusammenführung und Analyse der Ergebnisse der Förderaktivitäten kommt der Programm-Begleitforschung eine besondere Rolle zu. Diese ist in vier Themenfeldern organisiert und beantwortet zentrale Forschungsfragen zur Unterstützung des weiteren Markthochlaufs. Innerhalb der Themenfelder sind Forschungskonsortien mit der wissenschaftlichen Bewertung betraut. Das Zentrale Datenmonitoring ist Teil der Begleitforschung.



Bild 1-2:
Übersicht Themenfelder Programm-Begleitforschung¹
(Quelle: NOW GmbH)

Zentrales Datenmonitoring stellt wesentliche Daten und Informationen bereit und unterstützt den offenen Erfahrungsaustausch innerhalb und zwischen den Förderprogrammen. Es liegen detaillierte Daten zu etwa 1.200 Fahrzeugen und 400 Ladestationen vor.

In diesem Kontext hat das Zentrale Datenmonitoring (ZDM) die Aufgabe, die in den regionalen Demonstrationsvorhaben (Modellregionen Elektromobilität und Schaufenster Elektromobilität) sowie in weiteren Projekten im Rahmen der Beschaffungsförderung und Marktaktivierung gewonnenen Informationen und Daten im Interesse eines offenen Erfahrungsaustauschs und zur Unterstützung der jeweiligen Begleitforschungen der Förderprogramme gebündelt, d. h. zentral zu erfassen und für weitere Zugriffe sachgerecht abzulegen. Hierfür wurde eine vorhabenübergreifende Datenplattform erstellt. Erfassbare Daten werden darin strukturiert und soweit möglich vergleichbar abgelegt. Grundlage der Datenerfassung bilden Minimalanforderungen an Daten (sogenannte Minimaldatensets), die die Datenstruktur vorgeben und eine Vergleichbarkeit sicherstellen (vgl. „Minimaldatensets zur Erhebung von Forschungsdaten in der Elektromobilität“, Herausgeber DDI/IVV/NOW, Februar 2017). Diese wurden definiert für:

- Pkw und leichte Nutzfahrzeuge,
- Ladeinfrastruktur,
- Nutzer (privat und gewerblich),
- Busse,
- Zweiräder,
- schwere Nutzfahrzeuge und Sonderfahrzeuge.

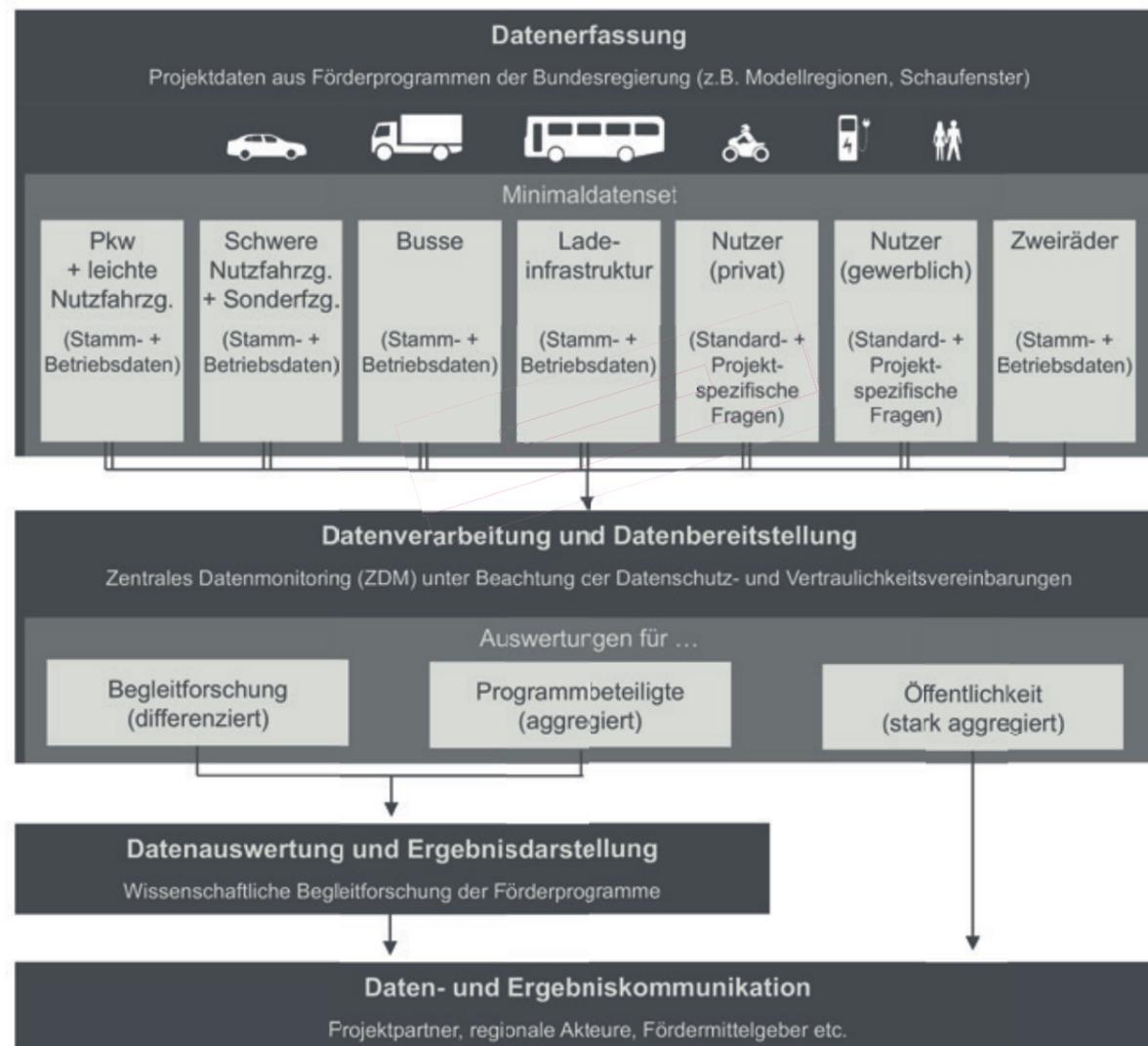
Dadurch ist es möglich, über die verschiedenen Projekte hinweg Auswertungen des gesamten Datenmaterials durchzuführen und nun auszugsweise zu veröffentlichen.

Die Datenaufnahme des ZDM läuft seit Januar 2015. Da einige Projekte bereits vor 2015 mit der Erhebung von Fahr- und Ladedaten begonnen haben, konnten mit Start des ZDM Daten rückwirkend in die Datenbank integriert werden, sodass die ersten Informationen bereits aus dem Jahr 2012 stammen. Die meisten Daten wurden in den Jahren 2014–2016 erfasst.

¹ Das Starterset Elektromobilität ist das Informationsportal für Kommunen und weitere relevante Akteure rund um den Auf- und Ausbau von emissionsarmer und effizienter Elektromobilität.

Die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Datenerhebung und Auswertung im ZDM zeigt Bild 1-3. Aus den Forschungsprojekten der verschiedenen Förderprogramme werden die Projektdaten zentral gesammelt. Dies kann kontinuierlich über die Projektlaufzeit oder einmalig erfolgen. Für die verschiedenen Fahrzeugklassen sowie für die Ladeinfrastruktur und das Nutzerverhalten werden verschiedene speziell entwickelte Minimaldatensets angewendet. Das ZDM plausibilisiert und verarbeitet die Daten und erstellt nach spezifischen Datenschutzregeln aggregierte und anonymisierte Auswertungen, die der Begleitforschung, den verschiedenen Programmpartnern oder auch der Öffentlichkeit bereitgestellt werden.

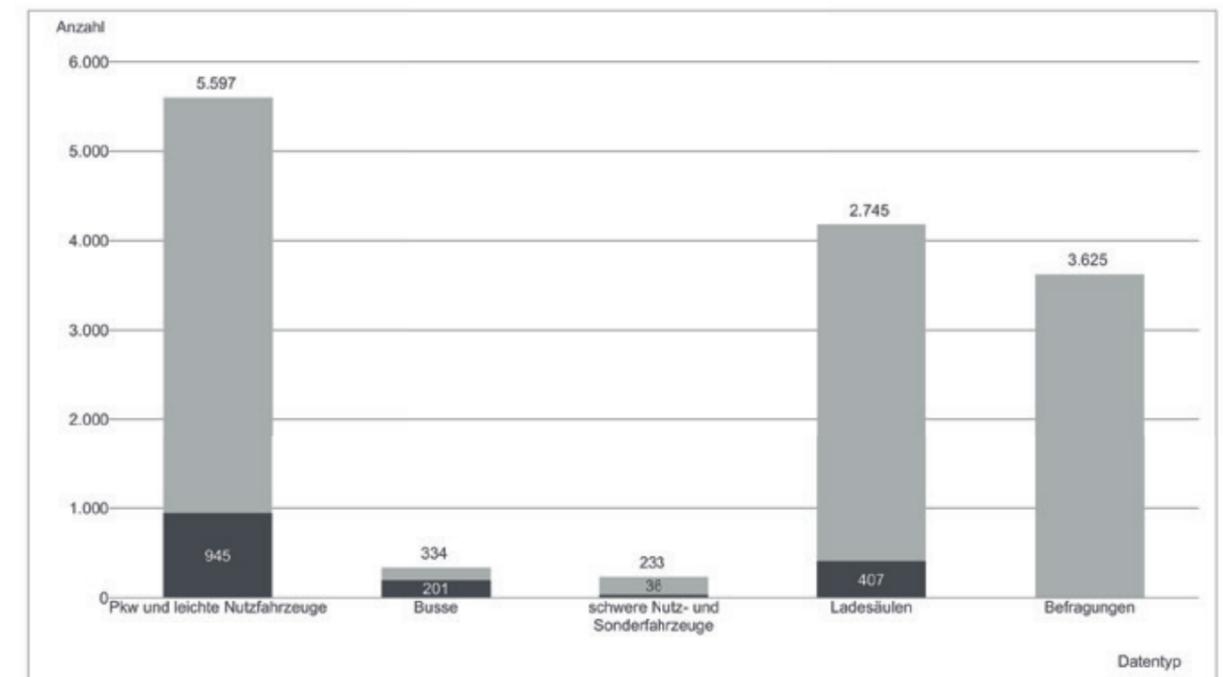
Bild 1-3:
Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Datenerhebung und Datenauswertung im Zentralen Datenmonitoring (Quelle: eigene Darstellung)



Erfasst werden Fahrzeugdaten (Stamm- und Betriebsdaten von Pkw, Nutzfahrzeugen und Bussen), Daten der Ladeinfrastruktur und ihrer Nutzung (Ladedaten) sowie Ergebnisse von Nutzerbefragungen. Um den Markthochlauf der Elektrofahrzeuge zu beobachten, werden zusätzlich Bestandszahlen (jährlich) sowie Neuzulassungen (monatlich) von Elektrofahrzeugen in Deutschland vom Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) gemeldet und in der ZDM-Datenbank gespeichert. Im Dezember 2017 waren dort ca. 29 Mio. Datenpunkte hinterlegt (ohne Rohdaten und nicht plausible Datensätze), davon etwa 66 % Fahr- und Ladedaten von Fahrzeugen und ca. 22 % Daten zu Ladevorgängen an Ladeinfrastruktur.

In der ZDM-Datenbank sind Informationen (im Wesentlichen Stammdaten) über mehr als 6.000 Elektrofahrzeuge hinterlegt, inkl. 560 Busse (Hybrid- und Batteriebusse) und schwere Nutzfahrzeuge. Für etwa 1.200 von diesen Elektrofahrzeugen (945 Pkw und leichte Nutzfahrzeuge, 36 schwere Nutz- und Sonderfahrzeuge sowie 201 Busse) liegen detaillierte Fahr- und Ladedaten vor. Die Daten zu Ladevorgängen an der Ladeinfrastruktur stammen von etwa 400 Ladestationen. Daten zum Nutzerverhalten liegen von 3.625 Personen/Institutionen aus 25 Befragungen vor (vgl. Bild 1-4).

Bild 1-4:
Datenbestand der ZDM-Datenbank nach Datentyp (Quelle: eigene Darstellung, Datenquelle: ZDM)



Den inhaltlichen Schwerpunkt der ZDM-Datenbank bilden somit die Fahr- und Ladedaten von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen (vgl. Kap. 4 „Elektromobilität in der Praxis“). Das Datenportfolio bildet in erster Näherung die derzeitige Marktsituation bei Fahrzeugen ab. Im Fokus dieser Publikation stehen daher Pkw und leichte Nutzfahrzeuge. Zudem sind mehr als die Hälfte aller Fahrzeuge (53 %) in Firmenflotten oder kommunalen Flotten im Einsatz. Über 1.000 Fahrzeuge (ca. 23 %) werden im Carsharing genutzt. Die verbleibenden Fahrzeuge sind meist Privat- oder Dienstfahrzeuge bzw. werden als Busse im ÖPNV eingesetzt.

Etwa 2/3 aller in den Projekten bis Ende 2017 betriebenen Ladestationen sind öffentlich oder halböffentlich und damit frei zugänglich. Fast die Hälfte der erfassten Stationen wird in einer Metropolstadt betrieben (Stadt mit mehr als 500.000 Einwohnern).



2 Entwicklung Elektrofahrzeugbestand und Ladeinfrastrukturangebot in Deutschland

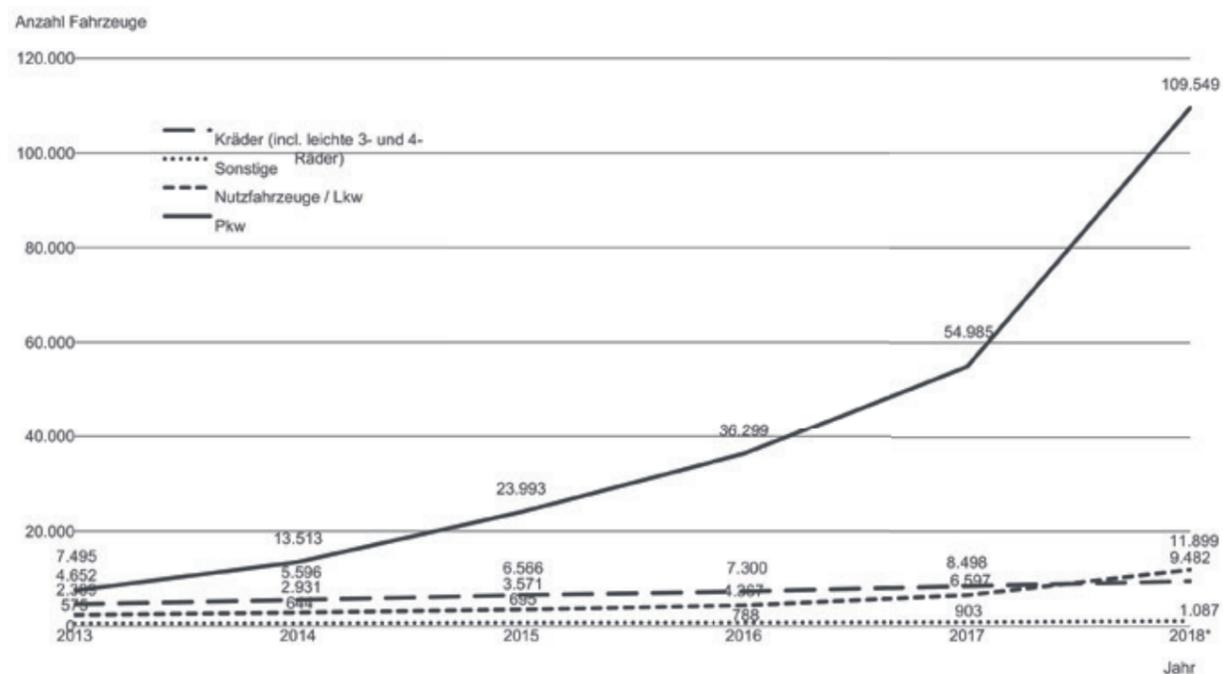
Der Bestand an Elektrofahrzeugen in Deutschland entwickelt sich seit 2016 mit hoher Dynamik und kann bei gleichbleibendem Wachstum bis Ende 2020 auf 350.000 bis 1,0 Mio. Fahrzeuge anwachsen.

Der Bestand an Elektrofahrzeugen hat in den letzten fünf Jahren deutlich zugenommen. Am 01.01.2013 waren in Deutschland 15.111 Fahrzeuge mit Elektroantrieb zugelassen, davon 7.495 Pkw (50 %), 4.652 Krafträder (31 %), 2.389 Nutzfahrzeuge (16 %) sowie 575 sonstige Fahrzeuge (3 %) wie z. B. Busse, Zugmaschinen und Sonderfahrzeuge (vgl. Bild 2-1).

5 Jahre später, am 01.01.2017, waren 70.983 Elektrofahrzeuge in Deutschland gemeldet (vgl. Bild 2-1), davon 54.985 Pkw (77 %), 8.498 Krafträder (12 %) und 6.597 Nutzfahrzeuge (10 %) sowie 903 sonstige Fahrzeuge (1 %).

Im Jahr 2017 wurden weitere 61.034 Elektrofahrzeuge in Deutschland neu zugelassen. Ohne Berücksichtigung der im Jahresverlauf 2017 erfolgten Abmeldungen waren nach Berechnungen des ZDM am 01.01.2018 insgesamt 132.017 Elektro-

Bild 2-1:
Bestandsentwicklung der Elektrofahrzeuge in Deutschland seit 2013 nach Fahrzeugtyp jeweils zum 01.01. des Jahres (* Bestand 2018 durch ZDM errechnet aus Bestand am 01.01.2017 + Neuzulassungen 2017)
(Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg 2017)

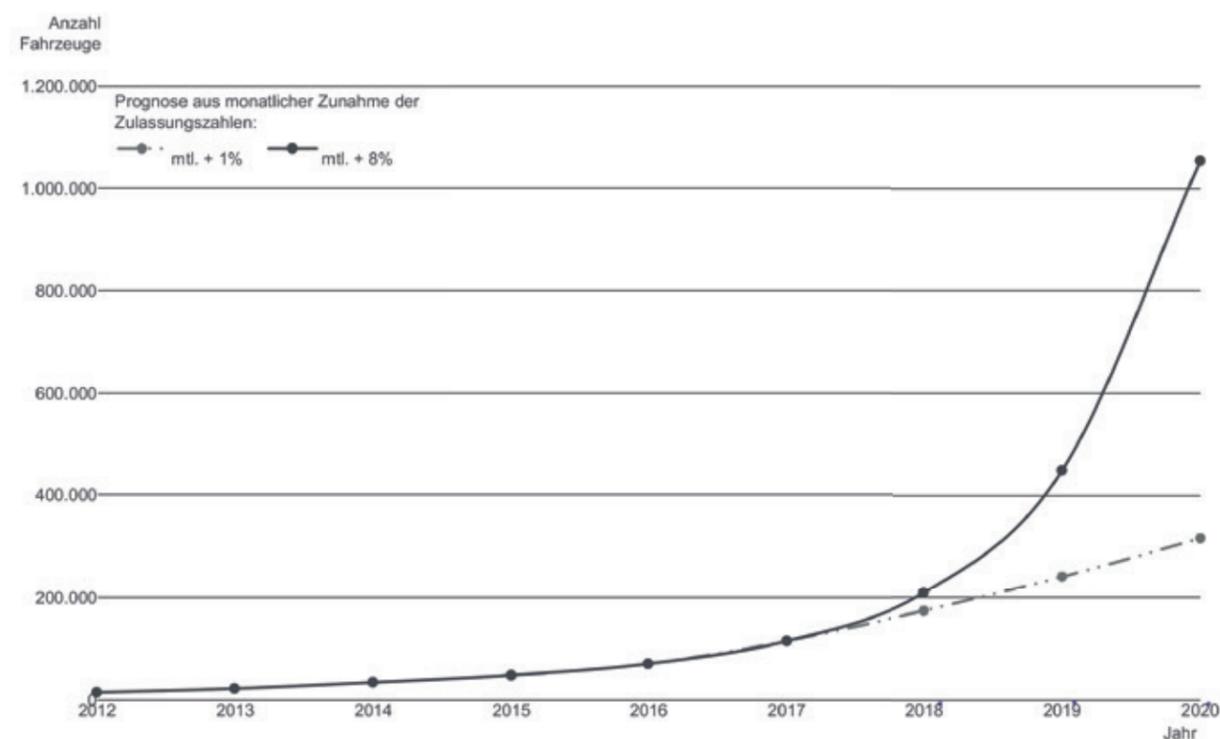


fahrzeuge gemeldet, davon 109.549 Pkw (83 %), 9.482 Krafträder (7 %) und 11.899 Nutzfahrzeuge (9 %) sowie 1.087 sonstige Fahrzeuge (1 %).² Im Zeitraum von 2013 bis einschließlich 2016 (4 Jahre) wurden in Deutschland 47.490 Elektro-Pkw zugelassen, entsprechend ca. 12.000 Elektro-Pkw pro Jahr. Der Anstieg der Neuzulassungen in den Jahren 2013 bis 2016 betrug monatlich lediglich 1 %. Würde sich diese Entwicklung fortsetzen, wären Ende 2020 rund 350.000 Elektrofahrzeuge in Deutschland zugelassen.

Am 01.01.2017 waren in Deutschland 70.983 Elektrofahrzeuge zugelassen. Im Verlauf des Jahres 2017 ist die Entwicklung der Neuzulassungen jedoch besonders dynamisch verlaufen.

Während Anfang 2017 monatlich rund 3.000 Elektrofahrzeuge neu zugelassen wurden, sind die monatlichen Neuzulassungen im Laufe des Jahres 2017 um durchschnittlich 8 % gestiegen. Unter der Annahme eines ähnlichen Anteils an Abmeldungen wie im Jahr 2016 (26 % aller neu zugelassenen Elektrofahrzeuge wurden im Jahresverlauf wieder abgemeldet) kann für den 01.01.2018 von einem Bestand von rund 116.000 Elektrofahrzeugen in Deutschland ausgegangen werden. Sollte sich die dynamische Entwicklung des Jahres 2017 bis zum Jahr 2020 fortsetzen, könnten Ende 2020 etwa 1,0 Mio. Elektrofahrzeuge in Deutschland zugelassen sein (vgl. Bild 2-2).

Bild 2-2:
Mögliche Bestandsentwicklung von Elektrofahrzeugen bis 2020 jeweils zum 31.12. eines Jahres
(Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg (01.01.2011–31.12.2017), sowie Berechnungen des ZDM (2018–2020))



² Die Bestandszahlen des KBA stehen erst ab März des Folgejahres zur Verfügung. Erfahrungsgemäß reduziert sich die Zahl der Neuzulassungen aufgrund von Um- und Abmeldungen um rund 25 %.

Förderung im Bereich Forschung und Entwicklung und die Investitionsförderung sind wichtige Instrumente zur Etablierung eines Marktes.

Der 2009 geschaffene Förderschwerpunkt „Elektromobilität in Modellregionen“ stellt den ersten Schub für einen Fahrzeughochlauf dar. Im diesem Rahmen wurden von 2009 bis 2011 insgesamt 2.476 Elektrofahrzeuge und mehr als 1.100 Ladestationen beschafft. In dem darauffolgenden Förderprogramm „Schaufenster Elektromobilität“ wurden zwischen 2012 und 2016 weitere 2.500 Elektrofahrzeuge beschafft mit dem Ziel, Elektromobilität in Deutschland für jedermann sichtbar zu machen.

Aktuell werden die Förderaktivitäten unter der seit Juni 2015 geltenden Förderrichtlinie Elektromobilität des BMVI durchgeführt. Neben anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung ermöglicht diese Richtlinie auch Maßnahmen zur Marktunterstützung und Marktvorbereitung bis 2020 und legt einen besonderen Schwerpunkt auf die Förderung von Kommunen. Die Kommunen werden bei der Erstellung von kommunalen Elektromobilitätskonzepten, bei der Beschaffung von Elektrofahrzeugen und beim Aufbau der dazugehörigen Ladeinfrastruktur unterstützt.

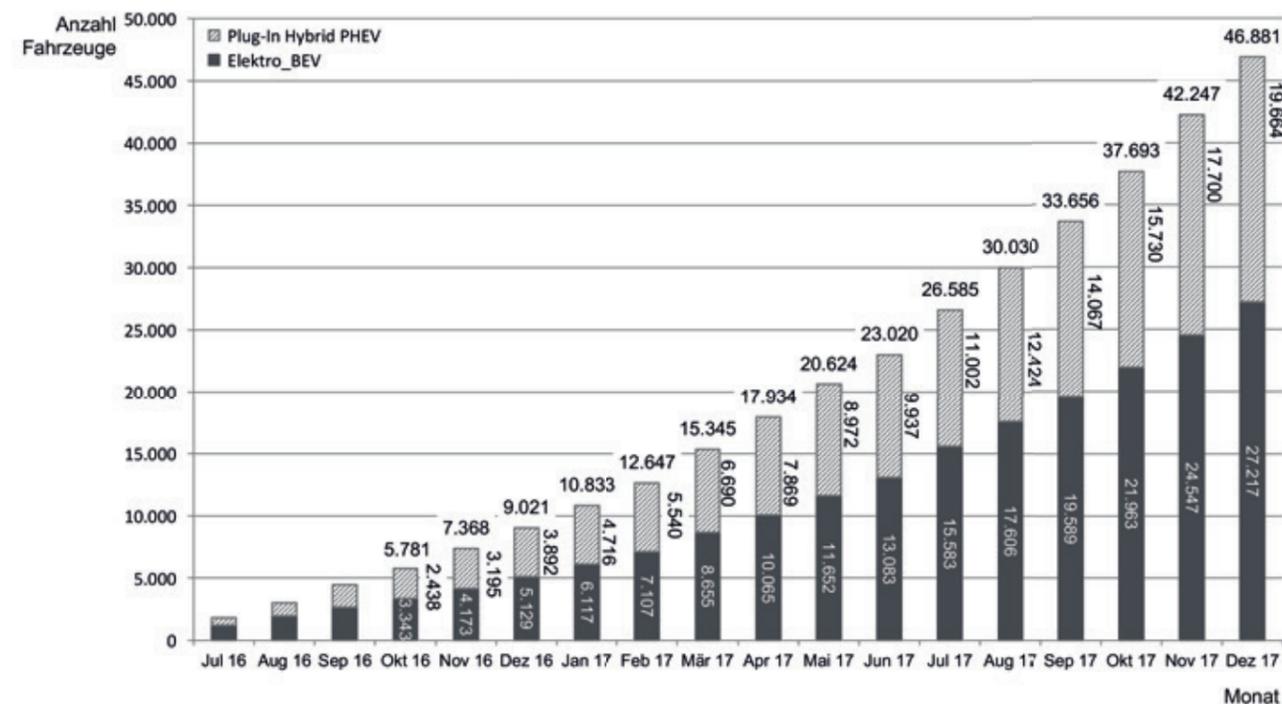
Im Rahmen der aktuellen Beschaffungsförderung wurden bis Ende 2017 in 154 Projekten 2.384 Fahrzeuge (1.644 Pkw, 114 Nutz- und Sonderfahrzeuge sowie 96 Busse) und 646 Ladestationen (davon 365 öffentlich zugängliche Ladestationen) beantragt und genehmigt. Davon wurden bis Ende 2017 insgesamt 494 Fahrzeuge in Betrieb genommen.

Neben großem Engagement im Bereich Forschung und Entwicklung unterstützt die Bundesregierung seit dem 2. Juli 2016 mithilfe eines Umweltbonus den Absatz neuer Elektrofahrzeuge. Für batteriebetriebene Pkw (BEV) beträgt der Zuschuss 4.000 EUR, für Plug-in-Hybridfahrzeuge mit Elektro- und Verbrennungsmotor (PHEV) 3.000 EUR. Außerdem sind rein elektrisch angetriebene Pkw für zehn Jahre von der Kraftfahrzeugsteuer befreit. Das gilt für Elektrofahrzeuge, die im Zeitraum vom 18. Mai 2011 bis zum 31. Dezember 2020 erstmals zugelassen wurden bzw. werden. Eine vertiefte Kostenbetrachtung und Berechnungsbeispiele enthält Kap. 5.

Die Anträge auf Kaufprämie für Elektrofahrzeuge (Umweltbonus) nehmen seit der Einführung der Kaufprämie kontinuierlich zu. Zwar ist derzeit kein Nachfrageboom erkennbar, allerdings nimmt ein Großteil der neu zugelassenen Fahrzeuge die Umweltprämie in Anspruch, sodass die dynamische Entwicklung in 2017 auch auf den Umweltbonus zurückzuführen ist. Seit Einführung wurde die Kaufprämie für rund 27.200 Elektrofahrzeuge und 19.700 Plug-in-Hybride beantragt.

Somit haben 85 % der ab diesem Zeitpunkt neu zugelassenen BEV und 53 % der neu zugelassenen PHEV den Umweltbonus in Anspruch genommen (vgl. Bild 2-3).

Bild 2-3:
Anträge auf Kaufprämie für Elektrofahrzeuge (Umweltbonus) kumuliert
(Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), 2017)



Im Jahr 2017 haben zwei Drittel der Neuzulassungen E-Kennzeichen erhalten. Die Möglichkeiten des Elektromobilitätsgesetzes werden genutzt.

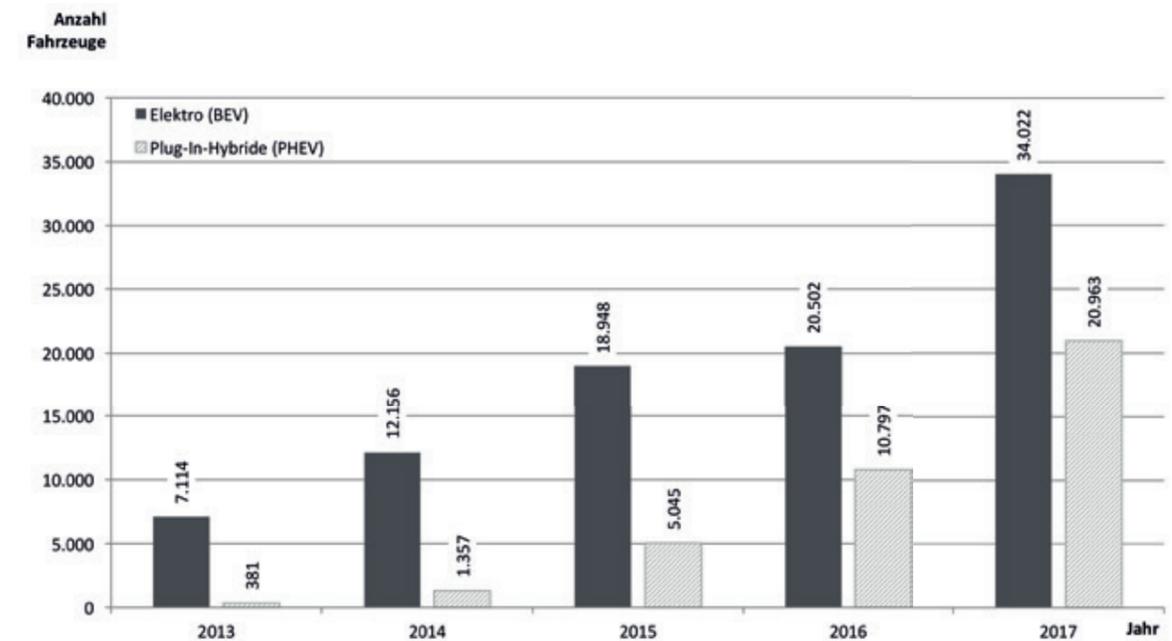
Im September 2015 wurde in Deutschland das E-Kennzeichen eingeführt. Am 01.01.2017 verfügte etwa ein Drittel der zugelassenen Elektrofahrzeuge über ein E-Kennzeichen. Seit April 2017 hat sich die Zahl der monatlich ausgegebenen E-Kennzeichen von 2.000 auf 4.000 verdoppelt mit der Folge, dass bei den Neuzulassungen 2017 rund zwei Drittel der Fahrzeuge über ein E-Kennzeichen verfügen.

Das im Juni 2015 von der Bundesregierung verabschiedete Elektromobilitätsgesetz ermöglicht Kommunen, Elektrofahrzeuge mit E-Kennzeichen in unterschiedlicher Weise zu bevorzugen. Damit bieten E-Kennzeichen folgende Vorteile, sofern Kommunen entsprechende Sonderrechte gewähren:

- Bevorrechtigungen beim Parken auf öffentlichen Straßen oder Wegen,
- Entfall von Parkgebühren auf öffentlichen Straßen oder Wegen (Stand Ende 2017: in 78 Kommunen bereits umgesetzt, in 15 weiteren Kommunen in Prüfung),
- Bevorrechtigungen bei der Nutzung von öffentlichen Straßen oder Wegen, die für besondere Zwecke bestimmt sind, z. B. Busspuren (Stand Ende 2017: in Dortmund und Essen umgesetzt, in Stuttgart und Siegen in Prüfung),
- Ausnahmen von Zufahrtbeschränkungen oder Durchfahrtsverboten (Stand Ende 2017: in Stuttgart, Dortmund und Leipzig in Prüfung).

Plug-in-Hybride sind aktuell sehr gefragt und werden ihren Marktanteil wahrscheinlich weiter erhöhen.

Der Anteil der Plug-in-Hybride hat in den letzten fünf Jahren deutlich zugenommen. Während im Jahr 2013 nur 5 % aller Elektro-Pkw über einen Plug-in-Hybridantrieb verfügten, waren es zwei Jahre später 21 % und zum Jahresbeginn 2017 bereits 38 %. Einzelheiten zeigt Bild 2-4.



Während am 01.01.2017 der Bestand von batteriebetriebenen Fahrzeugen ca. 50 % über dem von Plug-in-Hybriden lag, sind die aktuellen Neuzulassungszahlen von Plug-in-Hybriden geringfügig höher als von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen (Jan–Dez 2017: 29.479 PHEV und 25.085 BEV).

Bild 2-4: Bestandsentwicklung der Elektro-Pkw getrennt nach BEV und PHEV jeweils zum 01.01. eines Jahres (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg 2017)

Vor dem Hintergrund der zukünftigen restriktiven CO₂-Flottengrenzwerte in der EU besteht für die Fahrzeughersteller ein starker Anreiz, Plug-in-Hybride in allen Fahrzeugsegmenten anzubieten. Entsprechend ist das Angebot an Fahrzeugmodellen mit Plug-in-Hybridantrieb in den vergangenen fünf Jahren in Deutschland von fünf auf 30 Modelle deutlich angestiegen. Der Anstieg bei den am Markt verfügbaren batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen ist dagegen weniger deutlich (von 17 auf 27 Modelle).

Das Preisniveau von Plug-in-Hybridfahrzeugen ist vergleichbar mit dem batteriebetriebener Elektrofahrzeuge. Beispielsweise kostet ein Golf GTE (PHEV) nur 1.000 EUR mehr als ein e-Golf (BEV), ein Hyundai IONIQ PHEV sogar 4.000 EUR weniger als ein Hyundai IONIQ Elektro (BEV). Allerdings fällt auch die Unterstützung durch die Kaufprämie bei Plug-in-Hybriden etwas geringer aus als bei batteriebetriebenen Fahrzeugen.

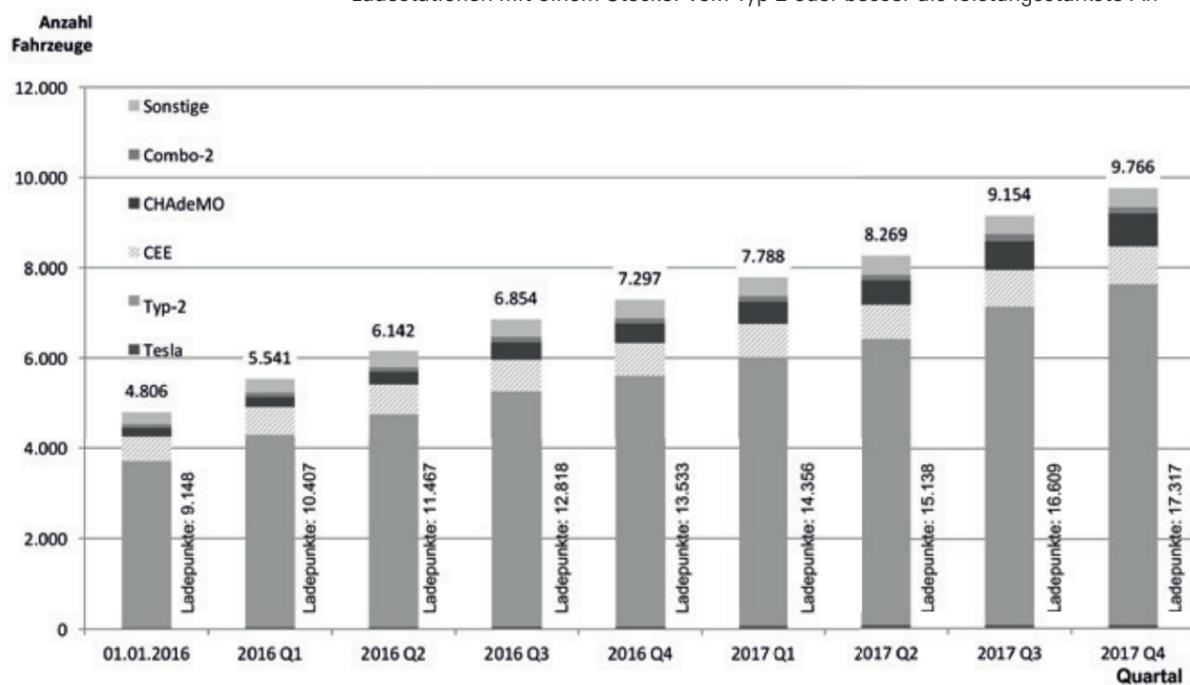
Aktuelle Ankündigungen von Fahrzeugherstellern lassen erwarten, dass bei neu entwickelten batteriebetriebenen Modellen, die in 2018 oder 2019 auf den Markt kommen sollen, Reichweiten von 400 und mehr km zu realisieren sind. Batterieelektrische Reichweiten dieser Größenordnung kämen dem Niveau von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor sowie Plug-in-Hybriden näher.

Wie viele öffentliche und halböffentliche Ladestationen gibt es in Deutschland und wo stehen sie?

Auch der Ausbau der Ladeinfrastruktur schreitet kontinuierlich voran. In den Jahren 2009–2011 wurden in den Modellregionen rund 600 öffentlich zugängliche Ladestationen errichtet.³ Zum Vergleich weist das Stromtankstellen-Verzeichnis GoingElectric⁴ für Januar 2012 rund 600 Ladestationen in Deutschland aus. Dieser Wert ist bis 2014 kontinuierlich auf rund 1.800 öffentliche Ladestationen angestiegen. Anfang 2016 sind laut GoingElectric rund 5.200 Ladestationen in Deutschland registriert.

Nach Recherchen des ZDM existierten Anfang 2016 ca. 4.800 öffentlich zugängliche Ladestationen. Im Vergleich zu GoingElectric werden hier jedoch ausschließlich Ladestationen mit einem Stecker vom Typ 2 oder besser als leistungsstärkste An-

Bild 2-5: Bestandsentwicklung öffentlicher Ladestationen in Deutschland (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: ZDM)



schlussmöglichkeit ausgewiesen.

Seit Anfang 2016 wurden etwa 5.000 Ladestationen in Deutschland errichtet, das entspricht mehr als 200 Ladestationen pro Monat (vgl. Bild 2-5).

Nach Recherche des ZDM gibt es zurzeit in Deutschland etwa 9.800 öffentlich zugängliche Ladestationen (Stand 12/2017). Diese Zahl ergibt sich aus einem Abgleich öffentlicher Quellen wie z. B. OpenStreetMap, Lemnet und Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) sowie den Projekten der Modellregionen und Schaufenster Elektromobilität. Doppelerfassungen wurden bereinigt. Der

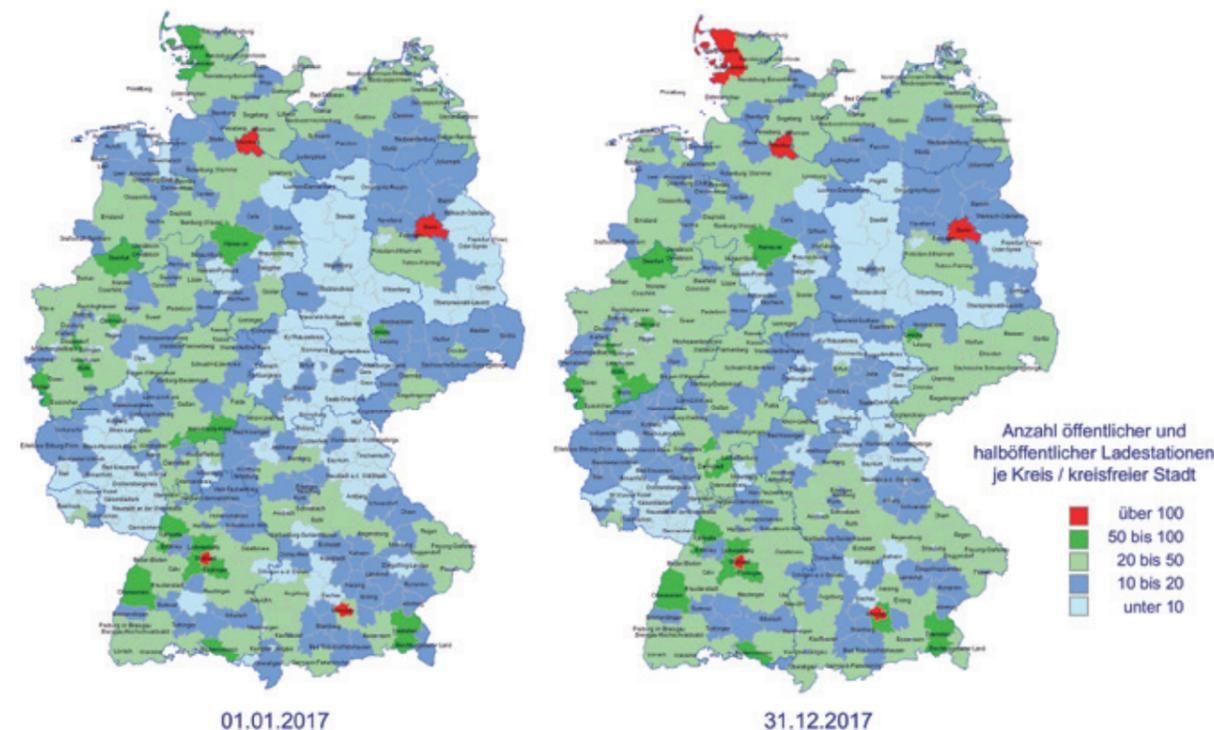
BDEW kommuniziert deutlich niedrigere Zahlen. Das liegt im Wesentlichen daran, dass BDEW ausschließlich ihre Mitgliedsunternehmen befragt und keine allgemeine Bestandserfassung durchführt.

Die meisten Ladestationen bieten derzeit nur Normalladen an. An rund 7.500 Ladestationen ist die leistungsstärkste Anschlussmöglichkeit der Typ-2-Stecker, an rund 800 Ladestationen der CEE-Stecker. Ca. 400 Ladestationen verfügen über andere Anschlussmöglichkeiten. Rund 10 % der bislang errichteten Ladestationen verfügen über eine Schnellladeoption (721 Ladestationen mit CHAdeMO-Stecker und 147 Ladestationen mit Combo-2-Stecker als leistungsstärkste Anschlussmöglichkeit sowie 68 Tesla Supercharger). Die 9.800 Ladestationen verfügen zusammen über etwa 17.300 Ladepunkte.

Die Ladeinfrastruktur kann im öffentlichen oder im halböffentlichen Raum stehen. Halböffentlich sind privat bewirtschaftete Straßenräume wie z. B. Bahnhofsvorplätze, Supermärkte, Tankstellen oder Parkgaragen.

Der Ausbau der öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur in Deutschland macht Fortschritte (vgl. Bild 2 6). Während am 01.01.2017 noch rund die Hälfte aller Kreise /kreisfreien Städte über weniger als zehn öffentliche Ladestationen verfügten, waren es Ende 2017 weniger als 20 % der Kreise/kreisfreien Städte. Besonders viele Ladestationen stehen in Berlin (487 Ladestationen), Hamburg (413 Ladestationen),

Bild 2-6: Anzahl öffentlicher und halböffentlicher Ladestationen je Kreis/kreisfreier Stadt am 01.01.2017 sowie am 31.12.2017 (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: ZDM)



³BMVI [Hrsg]: Ergebnisbericht der Modellregionen Elektromobilität 2009–2011. Berlin 2012.

⁴GoingElectric, <https://www.goingelectric.de/stromtankstellen/statistik/Deutschland/>, abgerufen am: 28.01.2018.

Stuttgart (237 Ladestationen) und München (216 Ladestationen).

Im Rahmen der im Februar 2017 erlassenen Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur fördert die Bundesregierung den beschleunigten Ausbau öffentlicher Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in den kommenden vier Jahren mit insgesamt 300 Millionen Euro. Davon sind 100 Millionen Euro für Normalladung und 200 Millionen Euro für Schnellladung vorgesehen. Bis 2020 sollen somit rund 15.000 zusätzliche Ladestationen entstehen.

Zur genannten Förderrichtlinie hat das BMVI bereits zwei Aufrufe veröffentlicht. Im ersten Aufruf sind zum 31.12.2017 bereits 8.119 Ladestationen bewilligt, davon 1.116 Schnellladepunkte. Diese werden in den Jahren 2018 und 2019 aufgebaut.

Das BMVI investiert in ein Netz von Schnellladestationen an Bundesautobahnen und treibt dort gemeinsam mit Tank & Rast den Ausbau der Ladeinfrastruktur voran. Bisher sind ca. 300 Stationen verfügbar. Perspektivisch sollen ca. 400 Schnellladestationen entstehen. Die derzeit angebotene Ladeleistung liegt bei 50 kW (DC) und 43 kW (AC). Perspektivisch sind auch höhere Ladeleistungen geplant. Damit sind Ladevorgänge mit einer Dauer von ca. 20 bis 30 Minuten möglich.⁵

Aus den Fahrzeug- und Infrastrukturbestandszahlen ergeben sich die momentanen Versorgungsverhältnisse von Fahrzeug zu Ladeinfrastruktur. Die folgenden Zahlen machen deutlich, dass sich der Fahrzeughochlauf derzeit wesentlich dynamischer entwickelt als der Infrastrukturausbau: Anfang 2017 standen im Mittel für zehn Elektro-Pkw 1,1 öffentliche bzw. halböffentliche Ladestationen zur Verfügung. Ende 2017 waren es mit 0,9 Ladestationen für zehn Elektro-Pkw kaum weniger (vgl. Bild 2-7). In München und Köln ist das Verhältnis etwas ungünstiger. Dort entfallen 25 Elektro-Pkw (München) bzw. 20 Elektro-Pkw (Köln) auf eine frei zugängliche (öffentliche/halböffentliche) Ladestation.

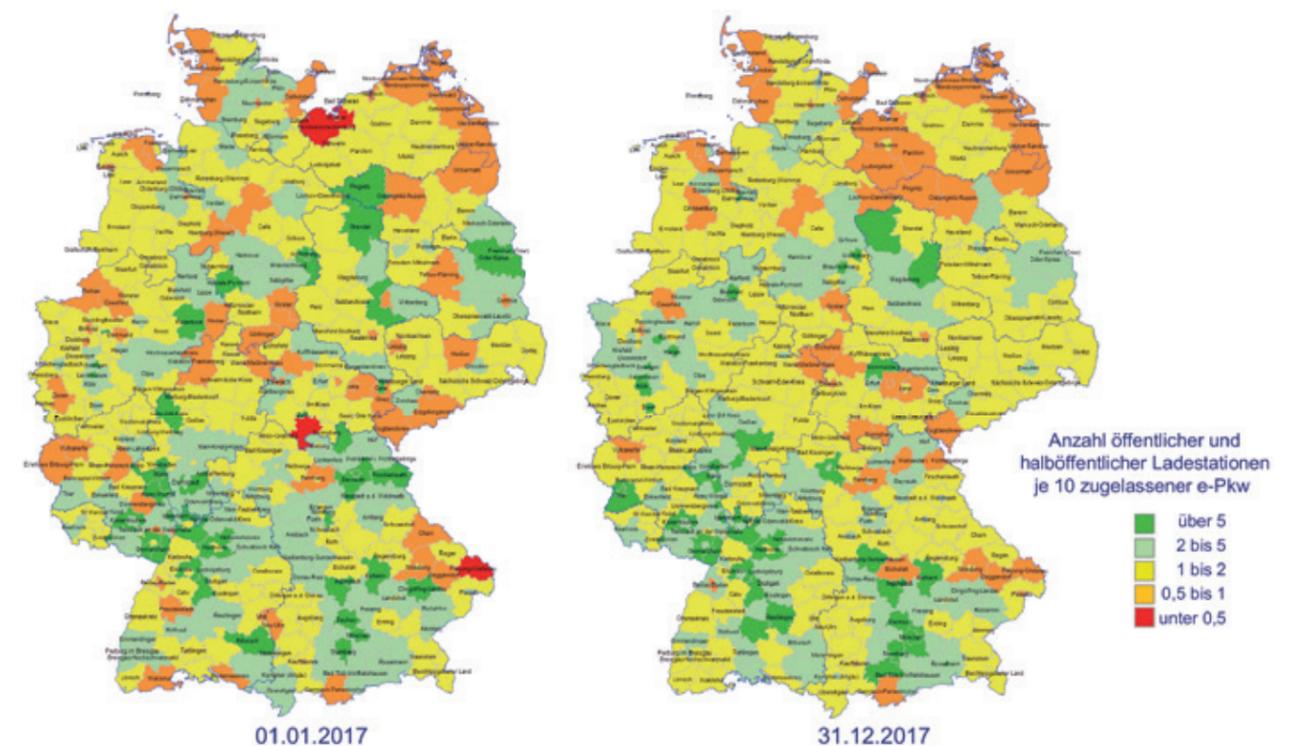
In Berlin, Hamburg, Leipzig, Dortmund und Stuttgart ist das Verhältnis von öffentlicher/halböffentlicher Ladestation zu Elektro-Pkw mit etwa fünf Elektro-Pkw je Ladestation deutlich günstiger. Da es sich hierbei oftmals um Städte aus Modellregionen oder Schaufenstern handelt, die frühzeitig mit dem Aufbau der Ladeinfrastruktur begonnen haben und zum Teil Landesförderprogramme für den Aufbau bereitstellen oder Masterpläne für den koordinierten Aufbau entwickelt haben (vgl. Hamburg mit 5,3 Mio. Euro und Stuttgart mit Masterplan),⁶ scheint die frühe Förderung im Kontext der Forschung und Entwicklung und Demonstration dort besonders ihre Wirkung zu entfalten. In Großstädten wie Bonn, Solingen oder Leverkusen ist das Verhältnis deutlich schlechter. Hier entfallen 100 Elektro-Pkw auf eine öffentliche Ladestation.

Zehn Städte und Kreise weisen ein sehr gutes Angebot an Ladeinfrastruktur und gleichzeitig eine hohe Dichte an Elektro-Pkw auf. Diese liegen größtenteils in Baden-Württemberg und Bayern. Dabei handelt es sich vorwiegend um Kreise in den Regionen Stuttgart und München, die auch aufgrund ihrer Teilnahme am Modellregionen- und Schaufensterprogramm eine hohe Dichte an Infrastruktur und gleichzeitig an E-Pkw aufweisen.

Etwa 8.400 Gemeinden in Deutschland verfügen aktuell über keine öffentliche oder halböffentliche Ladestation. Diese Gemeinden haben zusammen über 20 Mio. Einwohner. Das entspricht etwa einem Viertel der Bevölkerung in Deutschland.

Die Verfügbarkeit von öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur je 10 zugelassener Elektro-Pkw zeigt im Laufe des Jahres 2017 eine erkennbare Breitenentwicklung (vgl. Bild 2-7). So standen Ende 2017 in allen Kreisen/kreisfreien Städten mindestens 0,5 Ladestationen je zehn Elektro-Pkw zur Verfügung, entsprechend eine Ladestation je 20 Elektro-Pkw.

Bild 2-7:
Anzahl öffentlicher und halböffentlicher Ladestationen je zehn zugelassene Elektro-Pkw am 01.01.2017 sowie am 31.12.2017 (Bestand Elektro-Pkw 01.01.2017 + Neuzulassungen 2017) (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: Kraftfahrt-Bundesamt Flensburg, 2017, und ZDM)



⁵Tank-und-Rast-Website, <https://tank.rast.de/emobility>, abgerufen am: 31.01.2018.

⁶Nationale Plattform Elektromobilität (NPE): Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland – Statusbericht und Handlungsempfehlungen 2015. Berlin 2015.

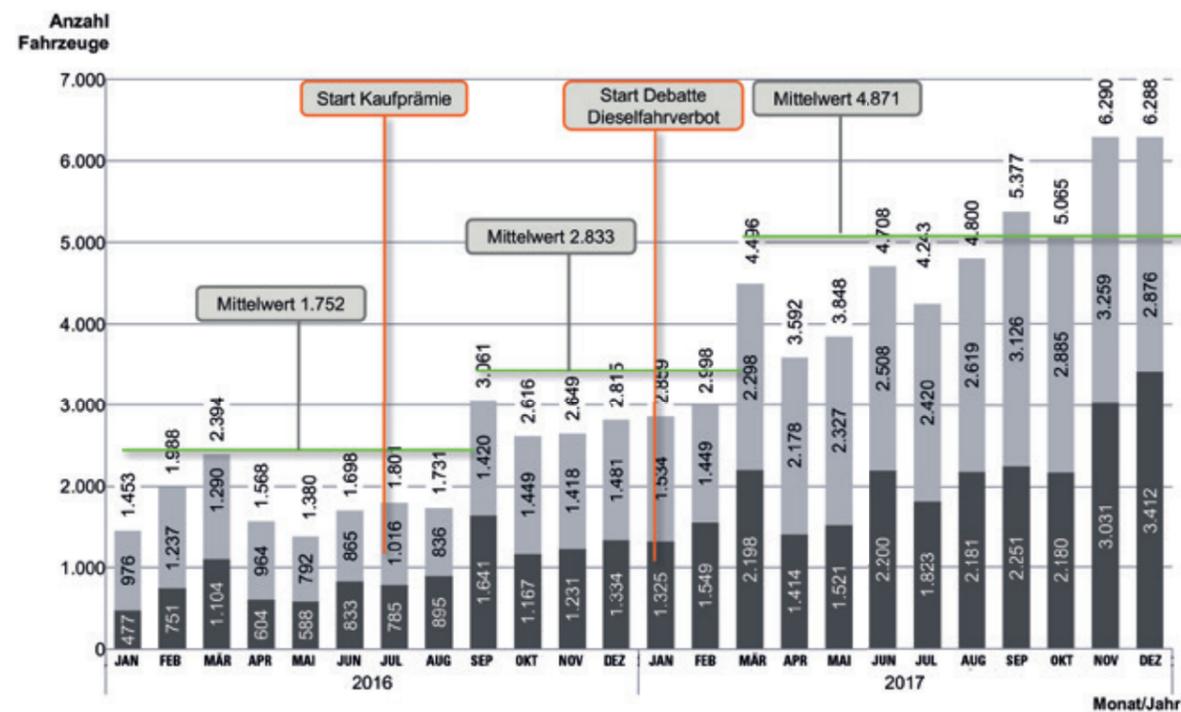
3 Marktsituation der Fahrzeuge

Seit 2016 ist ein beginnender Markthochlauf für E-Fahrzeuge erkennbar, der 2017 deutlich ansteigt.

Von 1.000 Pkw, die in Deutschland zugelassen sind, verfügen zurzeit 1,2 Pkw über einen elektrischen Antrieb (entsprechend 0,12 %). Dieser Wert zeigt die historisch bedingte Dominanz der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Betrachtet man jedoch ausschließlich die Neuzulassungen im Jahr 2017, beträgt der Anteil batteriebetriebener Fahrzeuge (BEV und PHEV) an allen neu zugelassenen Pkw im Jahresdurchschnitt bereits 1,58 %.

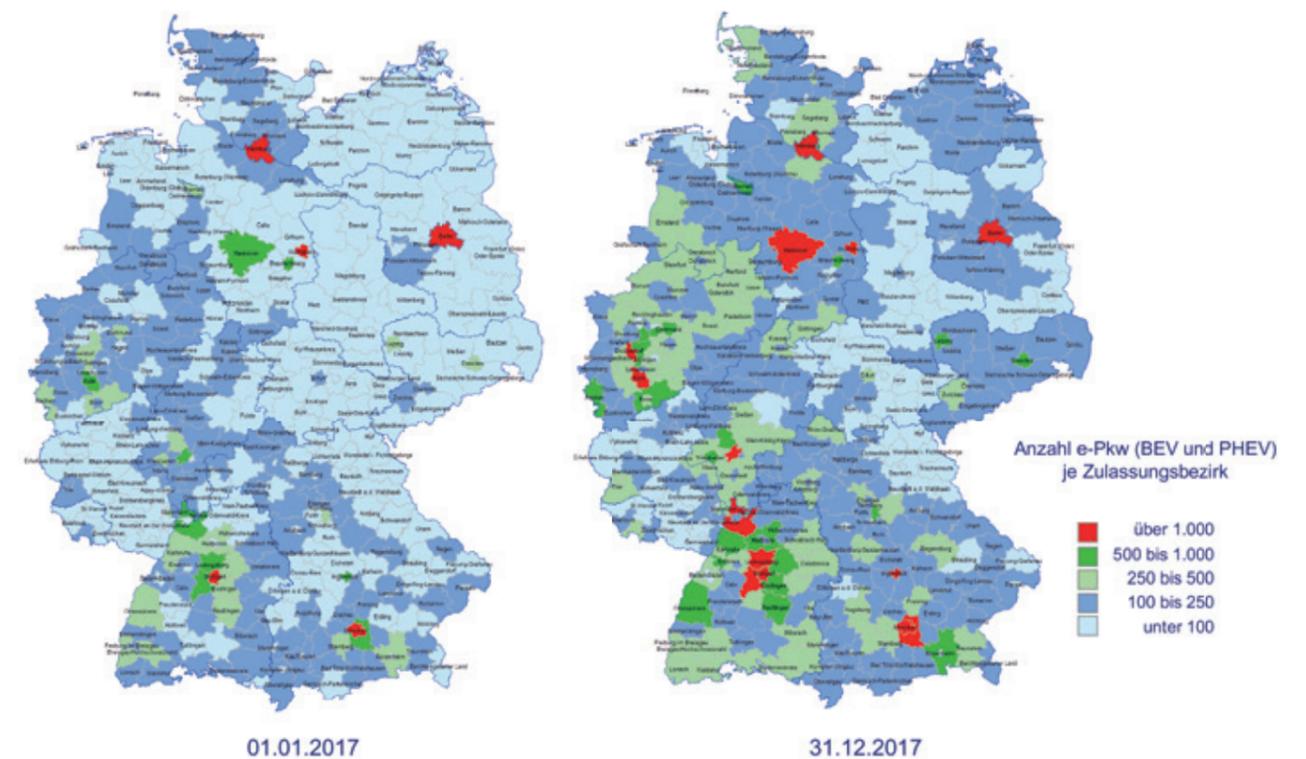
Die Entwicklung der letzten zwölf Monate kann als Anzeichen eines sich langsam entwickelnden Massenmarkts gedeutet werden. Die Entwicklung im Jahr 2017 im Vergleich zum Jahr 2016 zeigt Bild 3-1. Deutlich erkennbar sind die Wirkungen der Kaufprämie und vergleichbarer Förderprogramme der Bundesregierung (z. B. Investitionsförderung) und die Debatte um Dieselfahrverbote, die sich jeweils etwa zwei Monate später in den Neuzulassungszahlen bemerkbar machen.

Bild 3-1:
Entwicklung der Neuzulassungen von Elektro-Pkw (BEV und PHEV) (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg 2017)



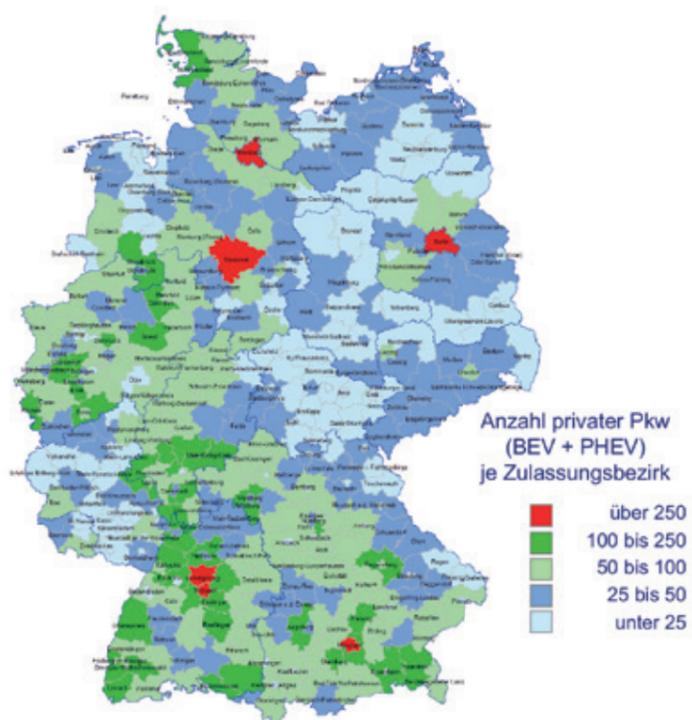
Die meisten Elektro-Pkw sind in den Großstädten gemeldet (z. B. Berlin, Hamburg, München) oder an Standorten großer Fahrzeughersteller (z. B. München, Stuttgart, Wolfsburg). Bild 3-2 zeigt, dass auch in den Modellregionen Hamburg, Bremen-Oldenburg, Rhein-Ruhr und Rhein-Main sowie in den Schaufenster-Regionen Baden-Württemberg, Berlin-Brandenburg, Niedersachsen und Bayern-Sachsen besonders hohe Zulassungszahlen festzustellen sind, also jeweils dort, wo die Elektromobilität besonders gefördert wurde und relevante Akteure besonders aktiv sind. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass der Zulassungsbezirk nicht zwingend dem Einsatzort der Fahrzeuge entspricht.

Bild 3-2:
Bestand an Elektro-Pkw am 01.01.2017 sowie am 31.12.2017 (Bestand 01.01.2017 + Neuzulassungen 2017) (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: Kraftfahrt-Bundesamt Flensburg, 2017)

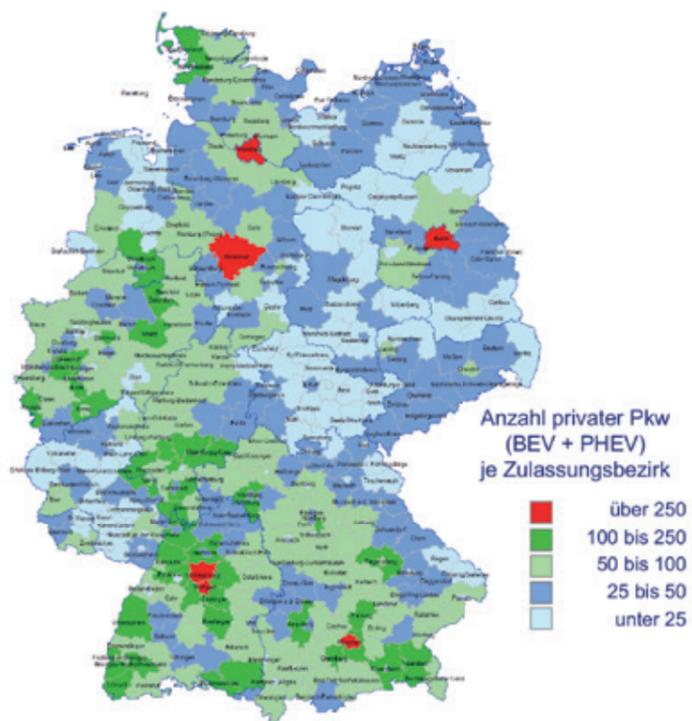


Der Vergleich des Fahrzeugbestands Anfang 2017 und Ende 2017 (Bestand 01.01.2017 + Neuzulassungen 2017) zeigt eine deutliche Breitenentwicklung der Verfügbarkeit von Elektro-Pkw (BEV und PHEV). Ein Zuwachs an Elektro-Pkw ist nicht nur in Großstädten wie Köln und Frankfurt erkennbar, sondern auch in ländlichen Regionen.

Auch eine Korrelation mit der regionalen Kaufkraftverteilung ist erkennbar (vgl. Bild 3-3). Der Anteil Elektro-Pkw an allen zugelassenen Pkw ist in Bayern und Baden-Württemberg sowie im Rhein-Ruhr- und Rhein-Main-Gebiet besonders hoch.



Private Elektro-Pkw (31.12.2017)

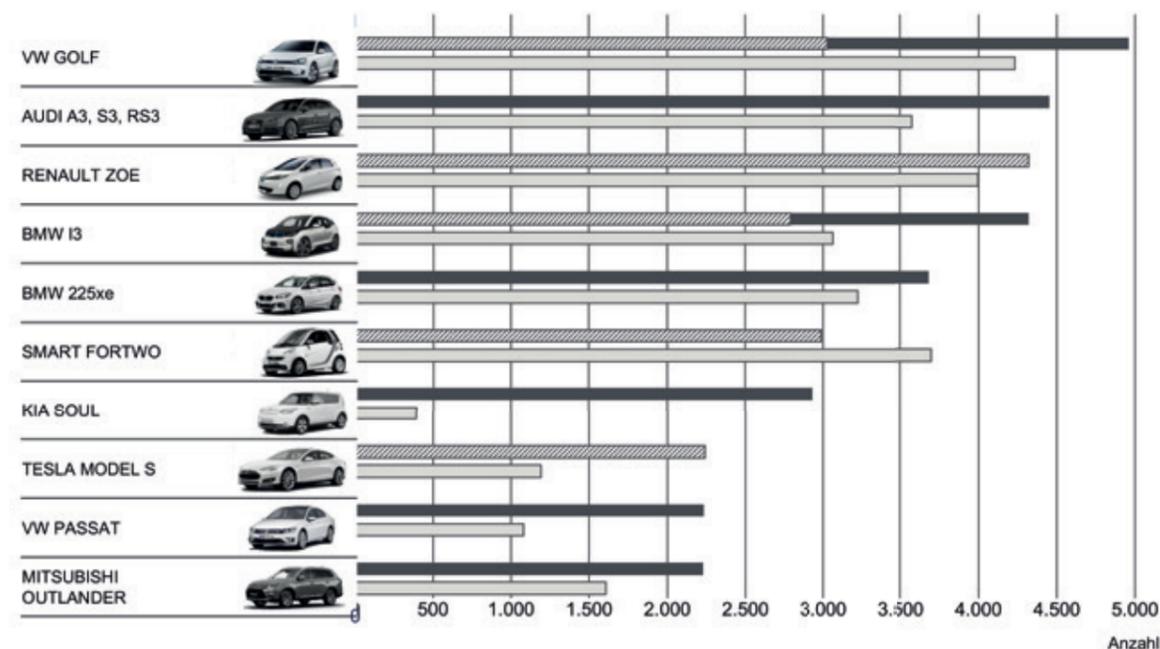


Private Elektro-Pkw (31.12.2017)

Bild 3-3: Bestand privater Pkw am 31.12.2017 (Bestand 01.01.2017 + Neuzulassungen 2017) und Kaufkraft 2017 (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), Flensburg, 2017; MB Research, 2017)

Aus den monatlich erscheinenden Neuzulassungszahlen wird in Bild 3-4 deutlich, dass im Jahr 2017 sieben der zehn meistverkauften Elektrofahrzeuge wahlweise oder ausschließlich über einen Hybridantrieb verfügten. Dazu gehört auch das aktuell beliebteste Elektrofahrzeug in Deutschland, der VW Golf (e-Golf und Golf GTE kombiniert). Bezogen auf den rein elektrischen Antriebsstrang ist es der Renault ZOE. Die sechs beliebtesten Elektrofahrzeuge gehören der Klein- und Kompaktkwagenklasse an.

Bild 3-4: Anzahl Neuzulassungen und Anträge auf Kaufprämie (Umweltbonus) im Zeitraum von Januar bis Dezember 2017 (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: Kraftfahrt-Bundesamt Flensburg, 2017, und Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle 2017)



Der Vergleich der Neuzulassungen gemäß KBA mit den Zahlen des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) zeigt, dass bei rund 65 % der Neuzulassungen im Jahr 2017 die Kaufprämie (Umweltbonus) in Anspruch genommen wurde. Beim Renault ZOE wurde die Kaufprämie für mehr als 90 % der Fahrzeuge in Anspruch genommen. Im Jahr 2017 überstiegen beim smart fortwo sogar die Anträge auf Kaufprämie die Neuzulassungen. Dies lässt darauf schließen, dass die Fahrzeuge zwar 2017 gekauft, jedoch noch nicht zugelassen wurden. Für den Kia Soul wurde der Umweltbonus hingegen nur für 12 % der Fahrzeuge beantragt. Hintergrund ist hier die hohe Zahl an Tageszulassungen mit anschließendem Weiterverkauf ins europäische Ausland.

⁷ MB Research (2017), <http://www.mb-research.de/marktdaten-deutschland/kaufkraft.html>, abgerufen 28.01.2018.

4 Elektromobilität in der Praxis

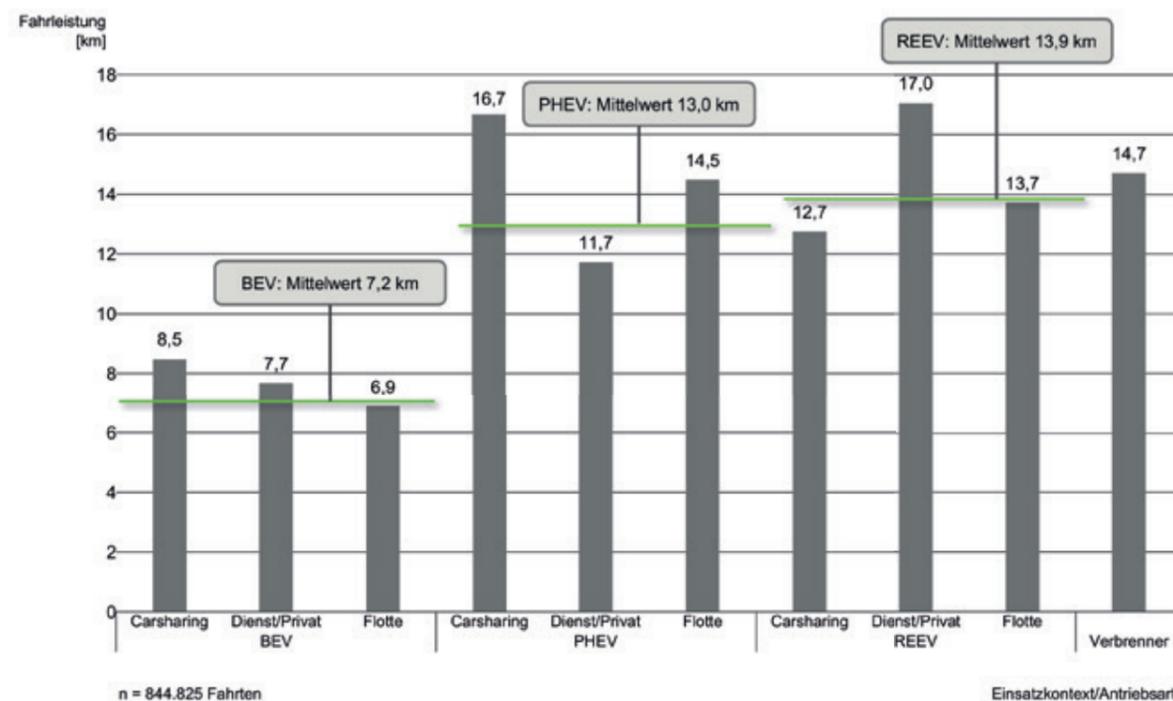
Im Zeitraum 2014 bis 2017 wurden 945 Pkw und leichte Nutzfahrzeuge in der Praxis detailliert bewertet. Zusammen erzeugten sie eine Laufleistung von 6,7 Mio. Kilometern und fuhren damit 167-mal um die Erde.

Im Realbetrieb ist die mittlere Fahrtweite von batterieelektrischen Fahrzeugen derzeit geringer als die von Plug-in-Hybriden und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor.

Die realen Fahrdaten, die auf der Grundlage des Minimaldatensets für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge erhoben wurden, lassen Rückschlüsse auf die Nutzungsmuster der Fahrzeuge zu. Hierzu wurden von Oktober 2014 bis Dezember 2017 in den Modellregionen und Schaufenstern Elektromobilität in 42 Projekten Daten erhoben. Die Datenbasis umfasst rund 860.000 Fahrten mit einer Fahrleistung von 6,7 Mio. Pkw-km (BEV: 5,1 Mio. km, PHEV und REEV: 1,6 Mio. km), zurückgelegt mit 945 Pkw und leichten Nutzfahrzeugen (796 BEV, 110 PHEV, 39 REEV). Neben der Fahrtweite können Aussagen zu Tages- und Jahresfahrleistung der Fahrzeuge getroffen werden.

So ist in Bild 4-1 zu erkennen, dass die mittlere Fahrtweite einer einfachen Fahrt von reinen Elektro-Pkw (BEV) bei etwa 7,2 km liegt. Dabei ist kein signifikanter Einfluss des Einsatzkontextes festzustellen (Carsharing, dienstliche/private Nutzung, Flotte). Eine signifikante Veränderung der Fahrtweite seit Beginn der Datenaufnahme in früheren Förderphasen in 2012 konnte nicht festgestellt werden.

Bild 4-1:
Mittlere Fahrtweite von Elektro-Pkw im Vergleich zum Verbrenner
(Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: ZDM und Mobilität in Deutschland (MiD 2008))



Laut Mobilität in Deutschland (MiD)⁸ aus dem Jahr 2008 beträgt die mittlere Fahrtweite von Pkw mit Verbrennungsmotor 14,7 km. MiD ist eine bundesweite Befragung von Haushalten zu ihrem alltäglichen Verkehrsverhalten im Auftrag des BMVI.

Die mittlere Fahrtweite von Plug-in-Hybriden und Elektrofahrzeugen mit Range-Extender entspricht hingegen in etwa der Fahrtweite herkömmlicher Pkw (PHEV: 13,0 km und REEV: 13,9 km statt 14,7 km pro Fahrt).

Die Tagesfahrleistung von Plug-in-Hybriden ist beinahe doppelt so hoch wie die von reinen Elektro-Pkw.

Auch die mittlere Tagesfahrleistung von Plug-in-Hybriden ist fast doppelt so hoch wie die der rein batterieelektrisch angetriebenen Pkw (60 km statt 34 km pro Tag). Der Unterschied kann durch die größere mittlere Fahrtweite aufgrund einer deutlich größeren Reichweite der Plug-in-Hybride erklärt werden.

Die mittlere Tagesfahrleistung von Fahrzeugen mit Range Extender liegt deutlich über der von reinen Elektro-Pkw, jedoch erkennbar unter der von Plug-in-Hybriden. Dies lässt darauf schließen, dass Plug-in-Hybride aufgrund ihrer Reichweite quasi wie Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor genutzt werden. Die Nutzung von Elektrofahrzeugen mit Range Extender ist hingegen vergleichbar mit der Nutzung von rein batterieelektrischen Fahrzeugen.

Bild 4-2 zeigt, dass die mittleren Tagesfahrleistungen zum Teil sogar deutlich unterhalb der im Realbetrieb erreichbaren Reichweiten der Fahrzeuge liegen (vgl. Bild 4-5). Elektro-Pkw (BEV) müssen deshalb auch nicht täglich geladen werden. Bei den Plug-in-Hybriden wird die herstellerseitig angegebene rein elektrische Reichweite allerdings im Mittel übertroffen. Unter Umweltgesichtspunkten spricht das für ein tägliches Nachladen. Dies setzt wiederum eine ausreichende Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur voraus.

⁸ infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR): Mobilität in Deutschland 2008 – Ergebnisbericht. Bonn und Berlin 2010.

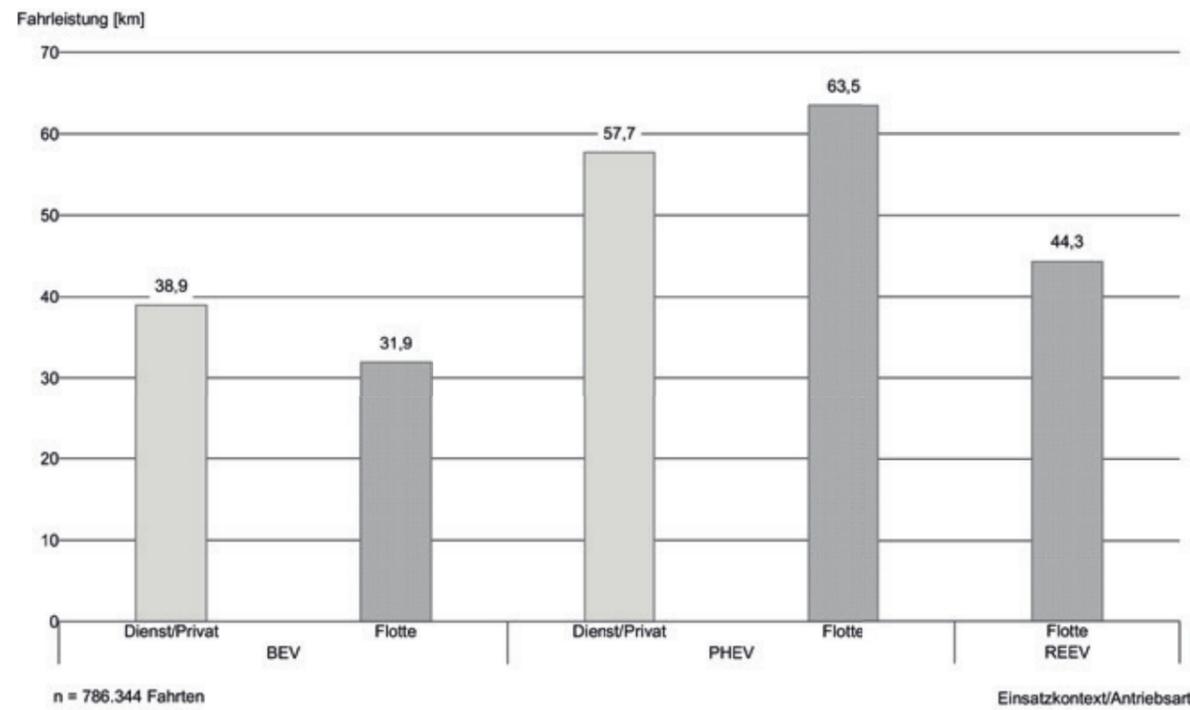


Bild 4-2:
Mittlere Tages-Fahrleistung von Elektro-Pkw pro Betriebstag nach Antriebstechnologie und Einsatzkontext (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: ZDM)

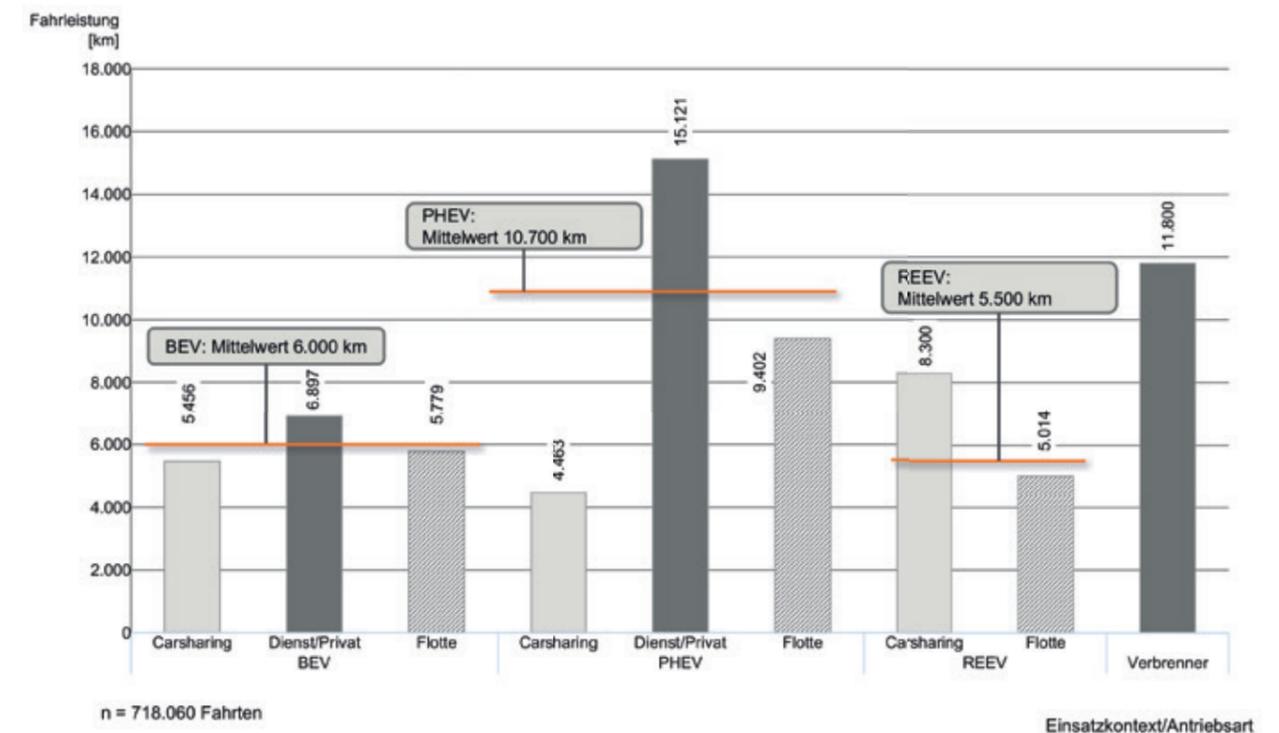
Ein Vergleich der Jahresfahrleistung von Elektro-Pkw und konventionellen Fahrzeugen zeigt deutliche Unterschiede.

Über alle Einsatzkontexte (Carsharing, dienstliche/private Nutzung, Flotte) und den gesamten Zeitraum der Datenerfassung (2012–2017) hinweg liegt die Jahresfahrleistung von Elektro-Pkw etwa bei der Hälfte von Pkw mit Ottomotor (6.000 km (BEV) statt 11.800 km (Benzin) pro Jahr) (vgl. MID 2008). Mit 22.000 km liegt die Jahresfahrleistung von Diesel-Pkw deutlich höher. Als durchschnittliche Jahresfahrleistung über alle Verbrenner hinweg ergibt sich ein Wert von 14.300 km. Bei Plug-in-Hybriden ist der Unterschied sehr viel geringer (10.700 km (PHEV) statt 11.800 km (Benzin) bzw. 14.300 km pro Jahr). Bild 4-3 verdeutlicht, dass vor allem dienstlich oder privat genutzte Plug-in-Hybride viel gefahren werden.

Bei den Elektro-Pkw (BEV) ist die vergleichsweise geringe Jahresfahrleistung auf die geringe Anzahl Fahrten mit hohen Reichweiten zurückzuführen, d. h. keine geschäftliche Nutzung für lange Dienstfahrten, keine Freizeit- und Urlaubsnutzung. Gestützt wird diese Annahme durch die Durchschnittsgeschwindigkeiten. Während die mittlere Geschwindigkeit von BEV in den Förderprojekten bei 24,3 km/h liegt, ist diese bei PHEV mit 42,7 km/h und REEV mit 39,8 km/h deutlich höher. Dabei lässt die niedrige Durchschnittsgeschwindigkeit der BEV eine überwiegend städtische

Nutzung der Fahrzeuge mit entsprechend kürzeren Entfernungen vermuten. Die höhere Durchschnittsgeschwindigkeit von PHEV und REEV deutet auf Fahrten mit größeren Entfernungen hin, z. B. Überland- und Autobahnfahrten. Besonders deutlich ist dieser Unterschied im Einsatzkontext Flotte: BEV mit 5.800 km/Jahr bei durchschnittlich 26 km/h und PHEV mit 9.400 km/Jahr bei durchschnittlich 42 km/h.

Bild 4-3:
Mittlere Jahres-Fahrleistung von Elektro-Pkw nach Antriebstechnologie und Einsatzkontext (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: ZDM und Mobilität in Deutschland (MiD 2008))



Elektro-Pkw werden immer häufiger genutzt und könnten bei Fortschreibung des Trends bald die Jahresfahrleistung von Pkw mit Ottomotor erreichen.

Die mittlere Tagesfahrleistung von Elektro-Pkw (BEV) je Betriebstag ist seit 2012 kontinuierlich von knapp 30 km auf über 40 km angestiegen. Da zusätzlich die Wegehäufigkeit von 3,5 auf 4,5 Wege je Betriebstag angewachsen ist, hat sich die mittlere Jahresfahrleistung seit 2012 mehr als verdoppelt (10.300 km im Jahr 2017 statt 4.700 km im Jahr 2012, vgl. Bild 4-4). Eine steigende Fahrleistung zeigt sich sowohl im Einsatzkontext Dienst/privat als auch bei der Nutzung in Fahrzeugflotten. Beim Einsatzkontext Carsharing ist hingegen keine Entwicklung der Fahrleistung erkennbar.

Bild 4-4:
Entwicklung der durchschnittlichen
Jahres-Fahrleistung von Elektro-Pkw
(BEV) nach Jahren
(Quelle: eigene Darstellung, Daten-
grundlage: ZDM)

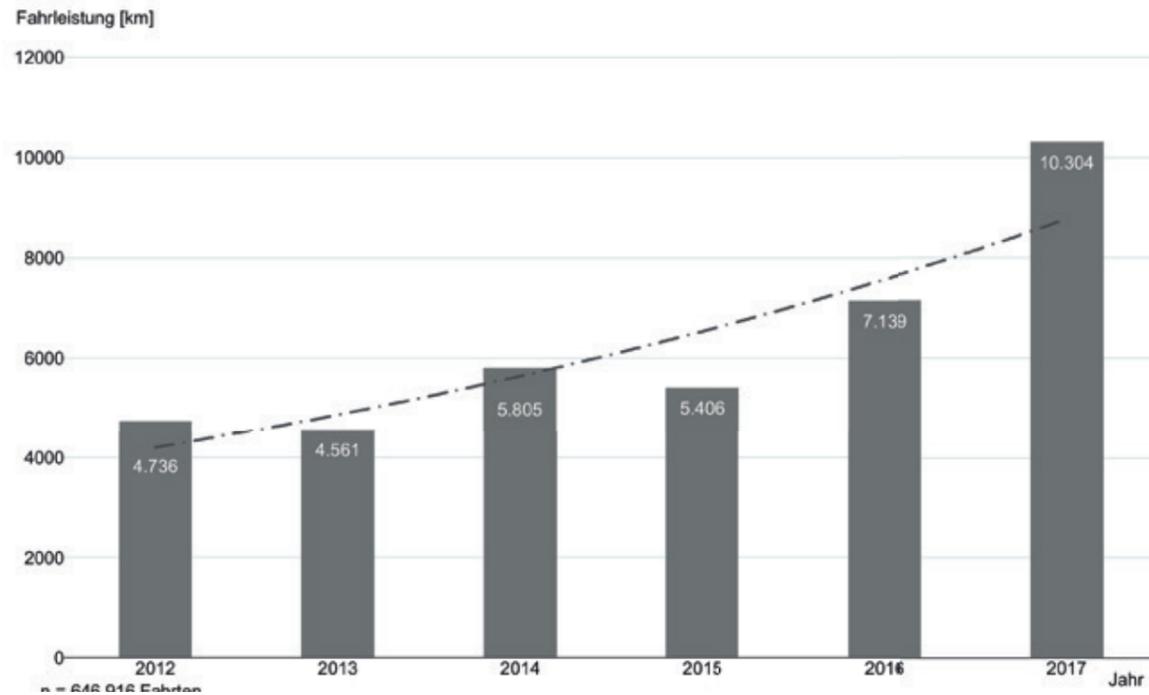
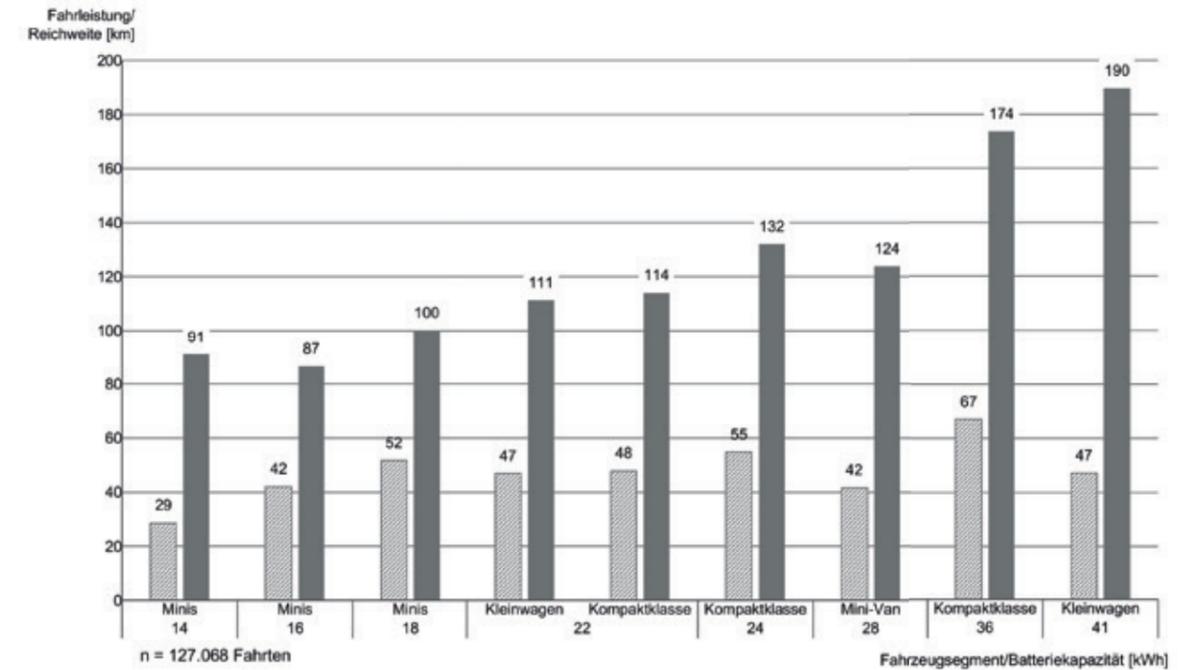


Bild 4-4 macht deutlich, dass batteriebetriebene Elektro-Pkw immer häufiger genutzt werden und bei Fortschreibung des Trends bald die Jahresfahrleistung von Pkw mit Ottomotor erreichen könnten. Mögliche Einflussgrößen für die Erhöhung der Fahrleistung sind z. B. die steigenden Batteriekapazitäten und die damit verbundenen erhöhten Reichweiten sowie das wachsende Vertrauen in eine ausreichende Reichweite des Elektrofahrzeuges und Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur.

Um die tatsächliche Reichweite auszuschöpfen, könnte die tägliche Fahrleistung eines Elektro-Pkw mehr als doppelt so hoch ausfallen. Daher ergeben sich weitere Potenziale beim Betrieb und der optimalen Nutzung der Fahrzeuge.

Im Rahmen der Programmbegleitforschung in den Modellregionen und Schaufenstern Elektromobilität wurden mithilfe des Minimaldatensets neben Fahrdaten auch Energieverbrauchsdaten im Realbetrieb erhoben (inklusive des Energieverbrauchs der Nebenverbraucher). Aus dem tatsächlichen Energieverbrauch und der Batteriekapazität wurde die real verfügbare elektrische Reichweite der Fahrzeuge ermittelt (vgl. Bild 4-5).

Bild 4-5:
Mittlere Tages-Fahrleistung und reale
Reichweite von Elektro-Pkw nach Batterie-
kapazität und Fahrzeugmodell
(Quelle: eigene Darstellung, Daten-
grundlage: ZDM)



Während Kleinfahrzeuge mit geringer Batteriekapazität von weniger als 20 kWh rechnerisch eine tatsächliche Reichweite von bis zu 100 km erzielen, können Fahrzeuge mit größeren Batterien bis zu 190 km Reichweite erzielen. Bild 4-5 verdeutlicht jedoch, dass die tatsächliche Reichweite eines Elektro-Pkw die ermittelte durchschnittliche Tagesfahrleistung deutlich übersteigt, und zwar unabhängig von der Batteriekapazität. Bei den im Rahmen des Zentralen Datenmonitorings erfassten Fahrzeugen handelt es sich primär um Minis, Kleinwagen und Fahrzeuge der Kompaktklasse. Fahrzeuge mit 75-, 90- oder 100-kWh-Batterie (Reichweiten von 450 bis 600 km) waren nicht Gegenstand der Bewertung.

Der ADAC EcoTest⁹ kam zu ähnlichen realen Reichweiten von Elektro-Pkw wie das ZDM. Für einen vergleichbaren Pkw der Kompaktklasse mit einer Batteriekapazität von 24 kWh ergab der ADAC EcoTest eine Reichweite von 142 km (ZDM: 132 km).

⁹ ADAC EcoTest, <https://www.adac.de/infotestrat/tests/eco-test/>, abgerufen am 30.01.2018.

Für einen vergleichbaren Kleinwagen mit einer Batteriekapazität von 41 kWh beträgt die reale Reichweite laut ADAC EcoTest 202 km (ZDM: 190 km).

Die tägliche Fahrleistung könnte also mehr als doppelt so hoch ausfallen, ohne die tatsächliche Reichweite eines Elektro-Pkw auszuschöpfen. Im Durchschnitt werden täglich lediglich rund 40 % der tatsächlich verfügbaren Reichweite genutzt.

Die aus dem tatsächlichen Energieverbrauch rechnerisch ermittelte reale Reichweite beträgt rund 60–70 % der vom Hersteller angegebenen Reichweite im „Neuen Europäischen Fahrzyklus“ (NEFZ). In Bild 4-6 wird deutlich, dass der reale Energieverbrauch im Durchschnitt über alle Fahrzeugsegmente vor allem in den Wintermonaten bis zu 20 % höher ist als im Sommer.

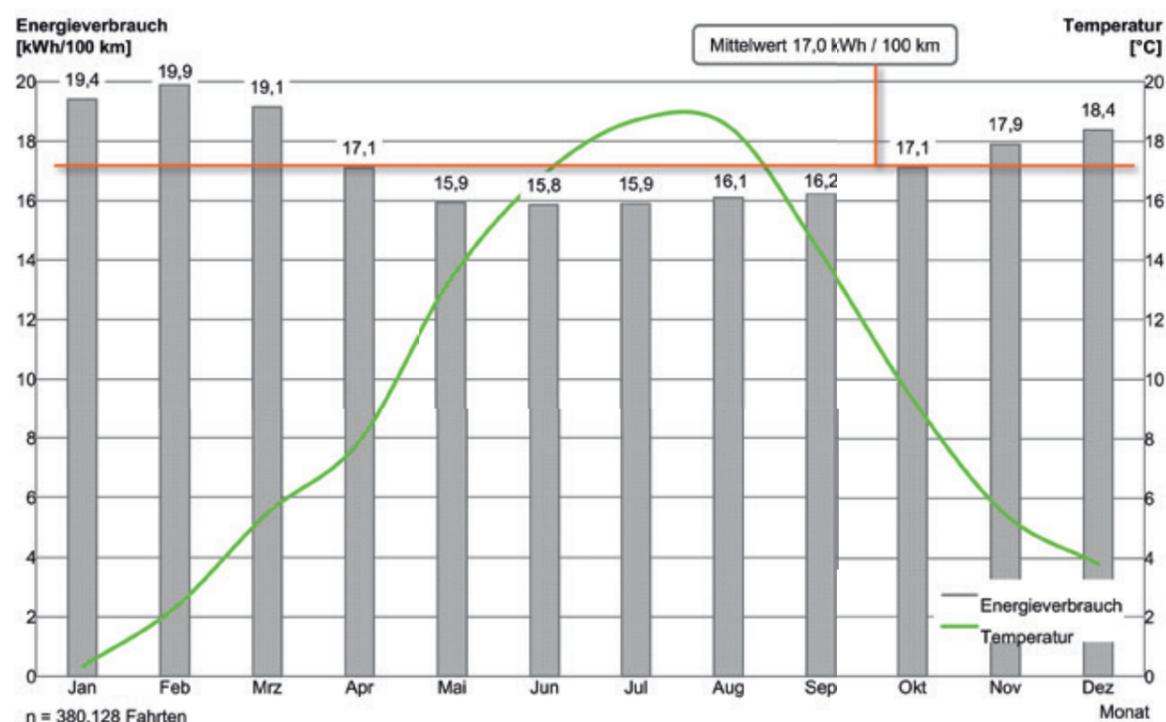


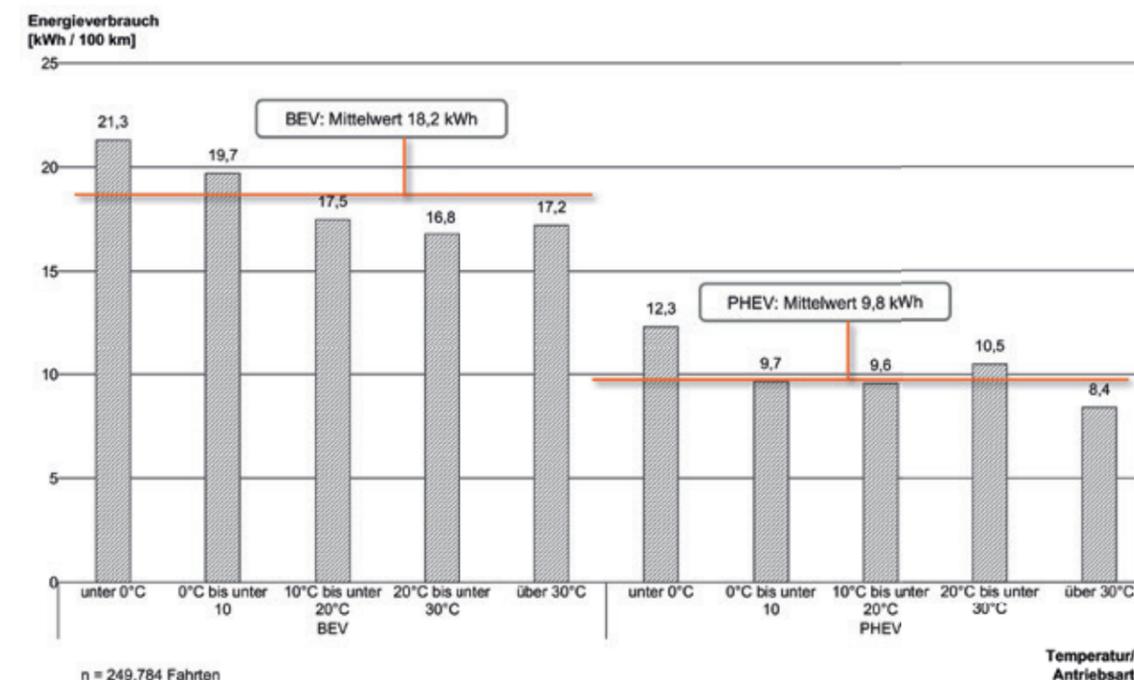
Bild 4-6:
Mittlerer Energieverbrauch von Elektro-Pkw und Temperaturmittelwerte der Jahre 2015–2017 in Deutschland nach Monaten
(Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: ZDM und Deutscher Wetterdienst, 2015–2017)

Unter 10 °C hat die Umgebungstemperatur großen Einfluss auf den Energieverbrauch.

Im Rahmen der Datenerhebung wurde neben dem Energieverbrauch auch die Außentemperatur während der Fahrt erfasst. In Bild 4-7 wird der Einfluss der Umgebungstemperatur auf den Energieverbrauch grafisch dargestellt, und zwar gemittelt über alle Fahrzeugsegmente. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Umgebungstemperatur einen deutlichen Einfluss auf den Energieverbrauch des Fahrzeugs hat, dies jedoch erst bei Temperaturen von unter 10 °C. Verbrauchsoptimal sind Temperaturen zwischen 20 °C und 30 °C.

Bei Umgebungstemperaturen von ca. 10 °C–20 °C steigt der Energieverbrauch im Vergleich zum verbrauchsoptimalen Temperaturbereich von ca. 20 °C–30 °C um 3-5 % an. Bei Umgebungstemperaturen unter 10 °C fällt der Verbrauchsanstieg mit 17 % wesentlich deutlicher aus. Bei Umgebungstemperaturen unter 0 °C steigt der Energieverbrauch sogar um 27 % im Vergleich zum verbrauchsoptimalen Temperaturbereich an (vgl. Bild 4-7).

Bild 4-7:
Einfluss der Umgebungstemperatur auf den Energieverbrauch von Elektro-Pkw
(Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: ZDM und Deutscher Wetterdienst, 2015–2017)



Der höhere Energieverbrauch bei niedrigen Temperaturen (< 10 °C) ist vor allem durch die vermehrte Nutzung von Nebenverbrauchern zu erklären. Im Winter werden Nebenaggregate wie Heizung (bis zu 4,5 kW), Scheinwerfer (0,15 kW), Scheibenwischer (0,15 kW) oder Heckscheibenheizung (0,3 kW)¹⁰ vermehrt genutzt. Der zusätzliche Energieverbrauch kann dabei bis zu 50 % betragen. Im Rahmen der ZDM-Datenerfassung sind jedoch keine differenzierten Daten über den Energieverbrauch von Nebenverbrauchern wie Heizung, Klimaanlage, Infotainment oder Assistenzsysteme ermittelt worden. Auch konventionell angetriebene Fahrzeuge weisen im Winter einen höheren Kraftstoffverbrauch auf infolge der vermehrten Nutzung von Nebenverbrauchern. Der Mehrverbrauch ist jedoch nicht so erheblich wie bei Elektrofahrzeugen.

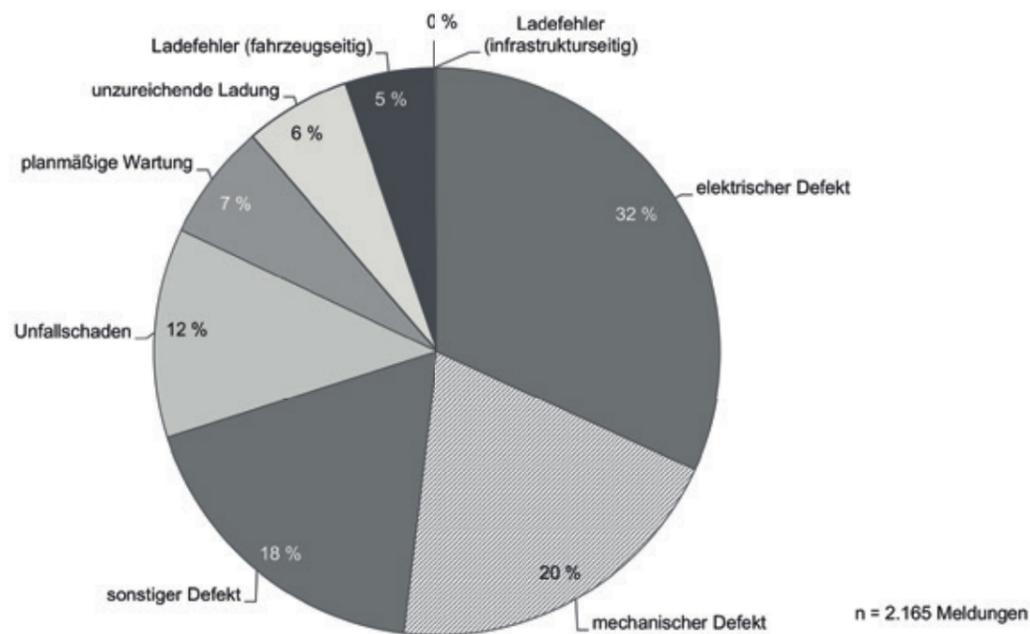
¹⁰ Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität (BUW) und Deutsches Dialog Institut GmbH (DDI) [Hrsg.]: Schaufenster-Programm Elektromobilität Abschlussbericht der Begleit- und Wirkungsforschung 2017. 2017.

Die Elektrofahrzeuge weisen eine hohe Verfügbarkeit auf. In den Modellregionen sind im Realbetrieb nur wenige Ausfälle aufgetreten (insbesondere wegen unzureichender Ladung).

Im Rahmen der regelmäßigen Abfrage von Fahr- und Ladedaten ausgewählter Elektrofahrzeuge in den Projekten der Modellregionen wurden u. a. die Ausfalltage der Fahrzeuge je Quartal und der Ausfallgrund erfasst. Die Datenbank des ZDM umfasst diesbezüglich 27.257 Meldungen zu 3.065 Fahrzeugen. Informationen zum Fahrzeugausfall stehen somit für 50 % aller in der Datenbank erfassten Fahrzeuge zur Verfügung. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Ausfallquote der Fahrzeuge insgesamt bei etwa 2 % liegt. Die Fahrzeugverfügbarkeit an den erfassten Tagen beträgt somit 98 %.

Fahrzeugausfälle aufgrund von unzureichender Ladung (Batterieladezustand ist nicht ausreichend für die zu fahrende Strecke) oder eines fahrzeugeitigen Ladefehlers (Defekt am Ladesystem des Fahrzeugs) waren mit einem Anteil von 11 % an der Gesamtausfallquote eher gering. Die Hälfte der Ausfalltage der Elektro-Pkw ist auf einen elektrischen (32 %) oder mechanischen Defekt (20 %) zurückzuführen (vgl. Bild 4-8). Typische elektrische Defekt sind z. B. Defekte am Batteriemanagementsystem (BMS) und an der Leistungselektronik, Defekte am Lenk- oder Bremssteuergerät, Defekte des Bordnetzsteuergerätes sowie Defekte am Elektrik- und Elektronik-System generell. Unter die Kategorie mechanischer Defekt fallen z. B. Schäden am Motor oder Bremssystem. Sonstige Defekte umfassen Fehler wie Reifenpannen, die keiner anderen Kategorie zugeordnet werden können.

Bild 4-8: Ausfallgrund von Elektro-Pkw (anteilig an der Gesamtausfallquote) (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: ZDM)

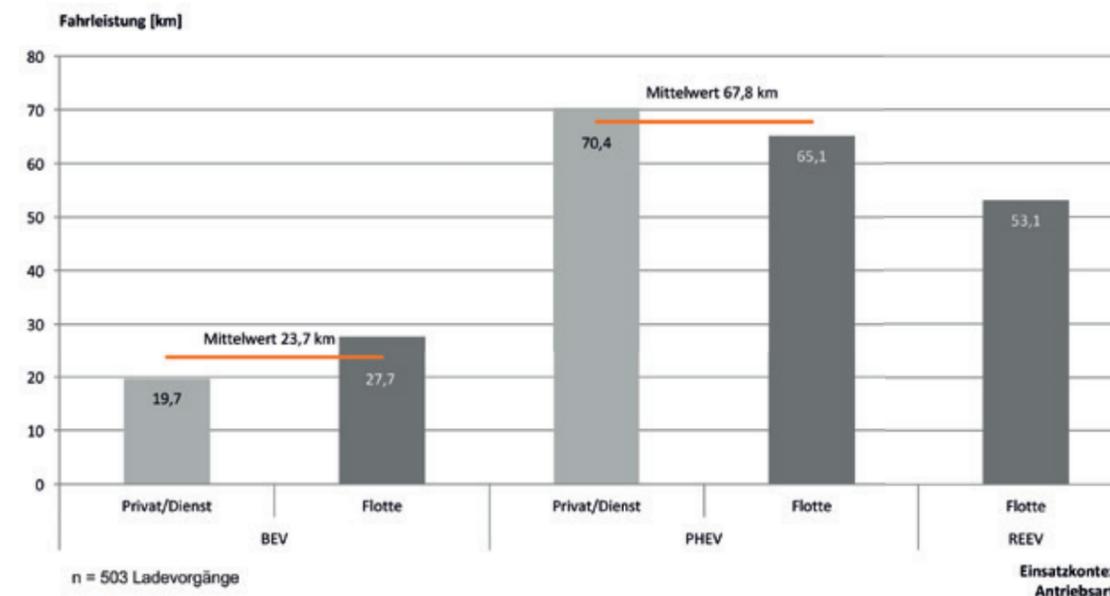


Elektro-Pkw werden bereits nach kurzen Wegstrecken wieder aufgeladen.

Auf Grundlage des Minimaldatensets für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge wurden neben Fahrdaten für 749 Fahrzeuge rund 156.600 Ladevorgänge erfasst. Elektro-Pkw (BEV) im Kontext der Modellregionen und Schaufenster werden bereits nach 25–30 km wieder aufgeladen, obwohl die mittlere Reichweite bei über 100 km liegt (vgl. Bild 4-5). Im Einsatzkontext Dienst/privat wird das Fahrzeug somit durchschnittlich bereits nach der Hälfte der Tagesfahrleistung wieder aufgeladen, im Einsatzkontext Flotte nach rund 80 % der Tagesfahrleistung. Selbst Fahrzeuge mit Range-Extender fahren nur etwa 50 km, bevor ihre Batterie wieder geladen wird (vgl. Bild 4-9). Dies könnte aus dem Wunsch resultieren, möglichst rein elektrisch unterwegs zu sein. Es könnte aber auch eine reine Vorsichtsmaßnahme sein aus Unsicherheit über die im Bedarfsfall verfügbare Ladeinfrastruktur. Möglicherweise werden auch alle Standzeiten konsequent zum Laden genutzt.

Plug-in-Hybride hingegen legen fast 70 km zurück, bevor sie wieder geladen werden. Ihre elektrische Reichweite liegt bei 30–50 km. Somit entspricht die Entfernung zwischen zwei Ladevorgängen beinahe dem Doppelten ihrer elektrischen Reichweite.

Bild 4-9: Entfernung zwischen zwei Ladevorgängen von Elektro-Pkw nach Antriebstechnologie und Einsatzkontext (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: ZDM)

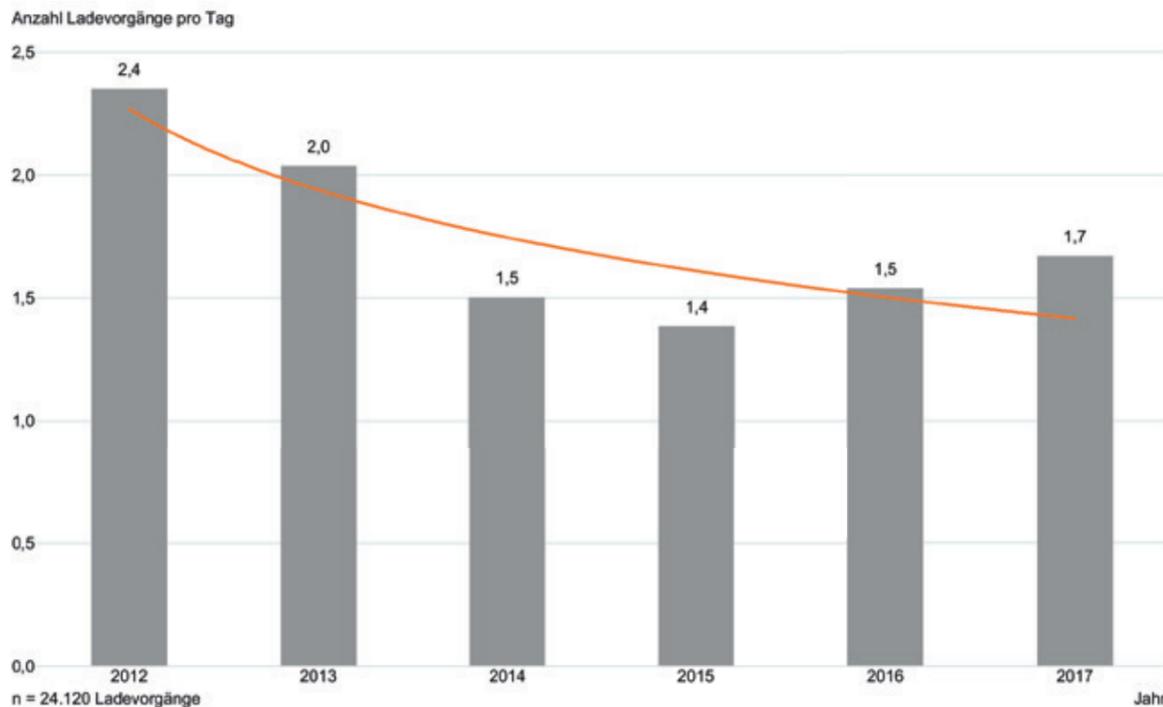


Die Anzahl täglicher Ladevorgänge ist im Vergleich zu 2012 gesunken.

Elektro-Pkw (BEV) werden beinahe 2 Mal pro Tag geladen, obwohl die mittlere Tagesfahrleistung bei nur 35 km liegt und damit deutlich unter der mittleren Reichweite von ca. 100 km (vgl. Bild 4-10). Dies wird durch einen mittleren Ladezustand des Akkus (State of Charge, kurz SOC) größer 50 % bei Ladebeginn bestätigt.

Auf Basis der Ladedaten des ZDM ist zu vermuten, dass bei batterieelektrischen Fahrzeugen beinahe jede Gelegenheit zum Laden der Batterie genutzt wird. Bei einer mittleren Fahrtweite von 7,5 km bzw. einer kombinierten Fahrtweite von 15 km für Hin- und Rückweg und einer täglichen Fahrleistung von 35 km/Tag kann angenommen werden, dass quasi nach jeder Fahrt (Hin- und Rückweg) wieder geladen wird.

Bild 4-10: Anzahl Ladevorgänge pro Elektro-Pkw (BEV) und Betriebstag nach Jahren (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: ZDM)



Plug-in-Hybride werden etwa 1,5 Mal pro Tag geladen. Bei einer elektrischen Reichweite von real ca. 30 km bedeutet das, dass Plug-in-Hybride genauso wie batterieelektrische Fahrzeuge bei „jeder Gelegenheit“ geladen werden, vermutlich um die elektrischen Fahrtanteile zu maximieren. Dies wird durch einen (relativ geringen) SOC zwischen 20 und 30 % bei Ladebeginn bestätigt.

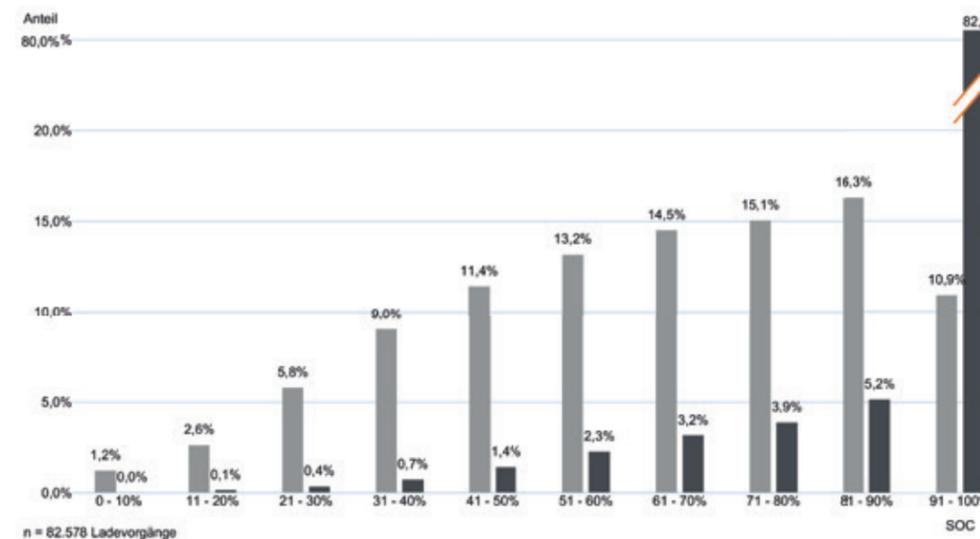
Positiv im Sinne eines wachsenden Vertrauens in die Reichweite von Elektrofahrzeugen ist zu bewerten, dass die Ladehäufigkeit seit 2012 von 2,5 Ladevorgängen pro Tag auf unter zwei Ladevorgänge pro Tag zurückgegangen ist (vgl. Bild 4-10). Dabei ist jedoch keine deutliche Entwicklung der Ladedauer erkennbar. Dies dürfte auf vergleichbare Fahrzeuggenerationen und somit auf den ähnlichen technischen Stand der in der Datenbank verfügbaren Fahrzeuge zurückzuführen sein.

Elektrofahrzeuge werden selten im Grenzbereich der batteriebedingten Reichweite betrieben. Zu Beginn eines Ladevorgangs liegt der SOC mehrheitlich bei 50 % und darüber. Etwa 80 % aller Ladevorgänge werden zum vollständigen Laden der Batterie genutzt (SOC größer 90 %).

Bild 4-11 zeigt, dass 83 % der erfassten Ladevorgänge von Elektro-Pkw (BEV) bei einem SOC von über 90 % enden, die Fahrzeuge damit nahezu vollständig geladen sind. Ladevorgänge, die bei einem SOC kleiner 90 % enden, werden als Zwischenladen angesehen und haben wesentlich kleinere Anteile an der Verteilung der Ladezustände (z. B.: 3,9 % aller Ladevorgänge liegen im Bereich von 71 bis 80 % SOC-Ende). Nur 1 % aller Ladevorgänge startet bei einem SOC von 10 % oder weniger, d. h. bei nahezu vollständig leer gefahrener Batterie. Die Mehrheit der Ladevorgänge startet bei einem SOC von 50 % und mehr.

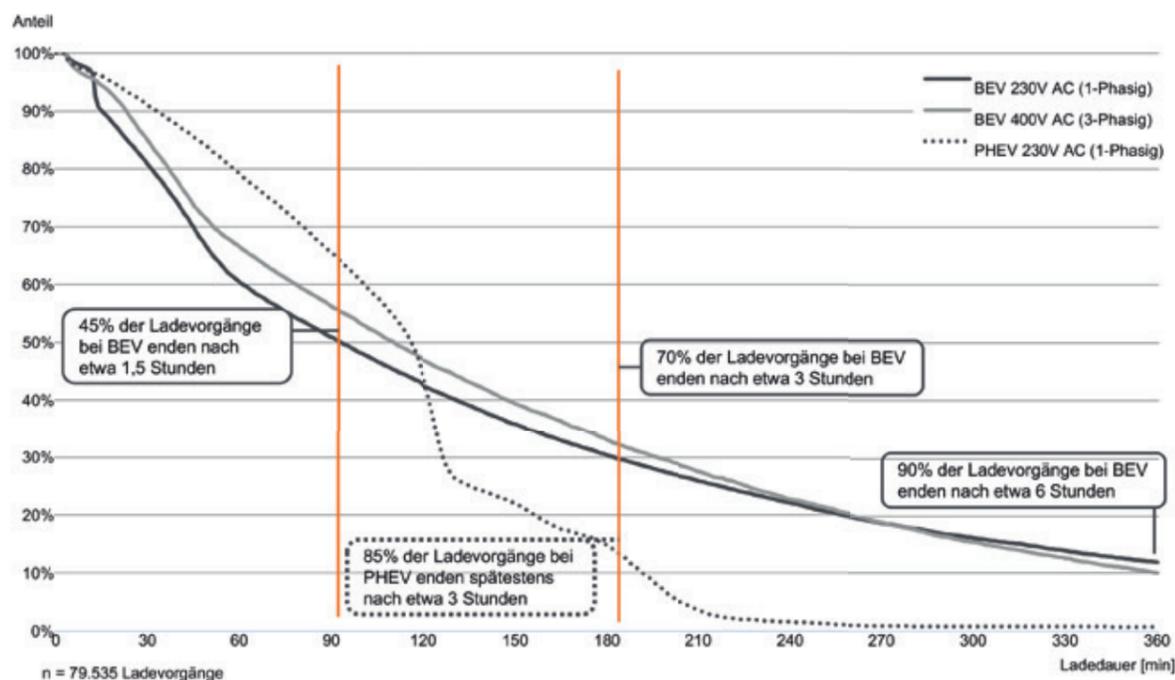
Eine Auswertung der Einsatzkontexte (Dienst/privat und Flotte) hat ergeben, dass bei Fahrzeugen mit dem Einsatzkontext Dienst/privat etwa 30 % aller Ladevorgänge dem Zwischenladen zugordnet werden können. Bei Fahrzeugflotten sind nur 20 % der Ladevorgänge Zwischenladungen. Daraus kann geschlossen werden, dass im Einsatzkontext Dienst/privat häufiger auf öffentliche Ladeinfrastruktur zurückgegriffen wird, während Fahrzeuge aus Flotten im Regelfall auf betriebseigene Infrastruktur zurückgreifen.

Bild 4-11: Relative Häufigkeit des Batterieladezustands (SOC) bei Ladebeginn und Ladeende bei Elektro-Pkw (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: ZDM)



In Bild 4-12 wird die Verteilung der Ladedauer nach Antriebstechnologie dargestellt. Es zeigt sich, dass bei Elektro-Pkw (BEV) etwa 45 % der Ladevorgänge nach 1,5 Stunden und 70 % der Ladevorgänge nach drei Stunden enden. Diese kurzen Ladedauern sind darauf zurückzuführen, dass die Batterie in der Regel bereits bei einem SOC von 50 % und höher wieder aufgeladen wird. 90 % der Ladevorgänge sind nach sechs Stunden abgeschlossen.

Bild 4-12: Kumulierte Verteilung der Ladedauer nach Antriebstechnologie und Ladestrom bei Elektro-Pkw (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: ZDM)



Die Ladedauer hängt von der Batteriekapazität, der Ladeleistung des Bordladegerätes/der Leistungselektronik und der verfügbaren Ladeleistung der Infrastruktur ab. In Bezug auf den Ladestrom wird zwischen ein- bzw. dreiphasigem Wechselstrom (AC) und Gleichstrom (DC) unterschieden. Bei einphasigem AC-Laden mit einer Spannung von 230 V und einem Ladestrom von 16 A ergibt sich eine maximale Leistungsabgabe von 3,7 kW. Mit dieser Ladetechnik können nach einer Ladedauer von 30 min rund 10 km zurückgelegt werden.¹¹

¹¹ Reichweite ermittelt aus dem mittleren Energieverbrauch von BEV (18,1 kWh/100 km) und der Batteriekapazität.

Bei einer dreiphasigen AC-Ladung mit einer Spannung von 400 V und einem Ladestrom von 32 A ergibt sich eine maximale Leistungsabgabe von 22 kW. Bei gleicher Ladedauer (30 min) können in diesem Fall bereits rund 60 km zurückgelegt werden.

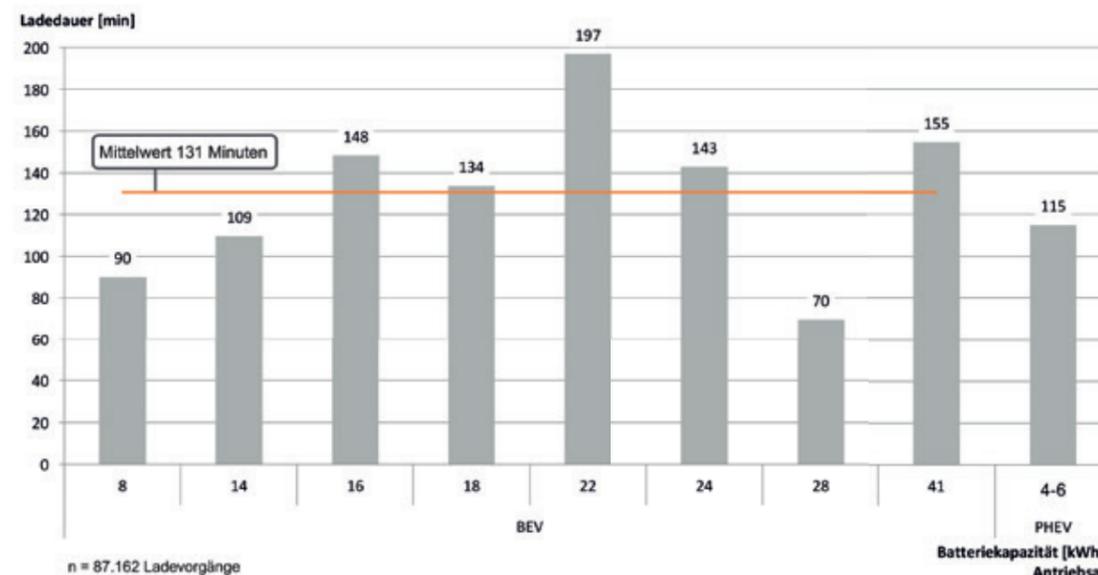
Bei einer DC-Ladung mit einer Spannung von 400 V und einer Ladeleistung von 50 kW kann eine Batterie mit einer Kapazität von 20 kWh in 30 min von 0 auf 80 % aufgeladen werden. Die Reichweite beträgt dann rund 90 km.

Die meisten öffentlich zugänglichen Ladestationen bieten mit einem Typ-2-Stecker derzeit nur AC-Laden an (vgl. Bild 2 5). Nur rund 9 % der im ZDM erfassten öffentlichen Ladestationen ermöglichen eine DC-Ladung. Im Gegensatz dazu verfügen rund 20 % der aktuell zugelassenen Fahrzeuge serienmäßig über eine Schnellladefunktion. Weitere 30 % der aktuell zugelassenen Fahrzeuge verfügen optional über eine Schnellladefunktion.

Entsprechend zeigt die Auswertung in Bild 4-12 beim einphasigen AC-Laden (230 V) für batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) eine höhere Ladedauer als beim dreiphasigen AC-Laden (400 V).

Eine Auswertung der Einsatzkontexte (Dienst/privat und Flotte) hat ergeben, dass diese infolge ähnlicher Tagesfahrleistungen kaum Einfluss auf die Ladedauer haben. Fahrzeuge aus dem Einsatzkontext Carsharing stellen das Ladeverhalten nicht repräsentativ für alle Elektrofahrzeuge dar. Diese Fahrzeuge werden, unabhängig vom Ladezustand, zwischen zwei Buchungsvorgängen an eine Ladestation angeschlossen, sodass im Einsatzkontext Carsharing überdurchschnittlich hohe Ladezeiten zu finden sind.

Bild 4-13: Durchschnittliche Ladedauer nach Antriebstechnologie und Batteriekapazität von Elektro-Pkw (Auswertung ohne Carsharing-Fahrzeuge und ohne REEV) (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: ZDM)



Mit steigender Batteriekapazität nimmt bei gleicher Ladeleistung die Ladedauer zu (vgl. Bild 4-13). Auffällig ist ein Rückgang in der Ladedauer bei hoher Batteriekapazität (> 22 kWh). Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass Fahrzeuge mit hohen Batteriekapazitäten schnellladefähig sind (DC-Ladung).

Jede Ladestation wird im Mittel einmal pro Tag genutzt.

Im ZDM wurden von 2014 bis 2017 an 409 Ladestationen insgesamt 279.373 Ladevorgänge erfasst. Im Mittel wird an diesen Ladestationen pro Tag ein Ladevorgang je Ladestation durchgeführt (vgl. Bild 4-14). Während an DC-Ladestationen (Laden mit Gleichstrom) im halböffentlichen Raum (z. B. Bahnhofsvorplätze, Supermärkte, Tankstellen) nur alle 1–2 Tage ein Ladevorgang durchgeführt wird, findet an öffentlichen DC-Ladestationen durchschnittlich 2 Mal pro Tag ein Ladevorgang statt.

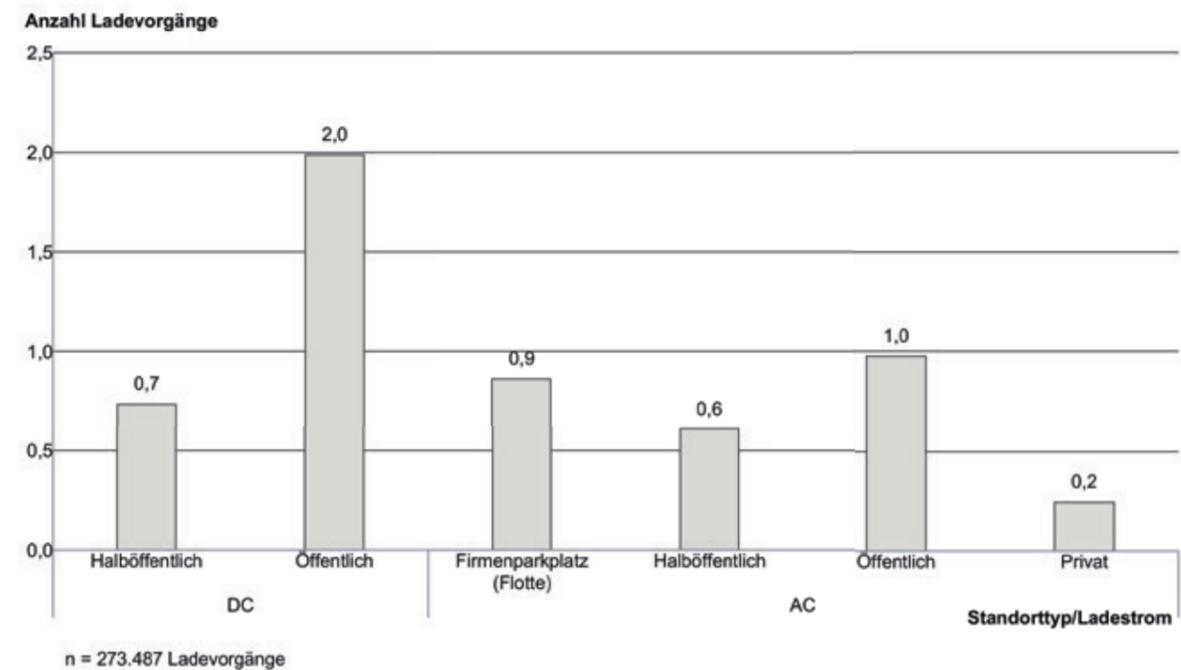
AC-Ladestationen (Laden mit Wechselstrom) werden durchschnittlich weniger als 1 Mal pro Tag genutzt. Besonders gering ist die Nutzung bei halböffentlichen und privaten Ladestationen. An AC-Ladestationen im halböffentlichen Raum wird alle 1–2 Tage ein Ladevorgang durchgeführt, an privaten Ladestationen (Ladestationen in privaten Haushalten) nur alle fünf Tage.

Die unterschiedliche Ladehäufigkeit an DC- und AC-Ladestationen kann durch die kürzere Ladedauer an DC-Ladestationen erklärt werden (Schnellladen). Die geringe Ladedauer ermöglicht eine höhere Auslastung der Ladestationen.

Bei der Auswertung der Ladedaten von Fahrzeugen wurde erkannt, dass Fahrzeuge durchschnittlich 1,5 Ladevorgänge pro Tag durchführen. Die im Vergleich geringe Auslastung der öffentlich zugänglichen Ladestationen weist darauf hin, dass die Fahrzeuge häufig am Arbeitsplatz geladen werden. Zu diesen Ladestationen in den Betrieben liegen dem ZDM keine Nutzungshäufigkeiten vor.

Im ZDM wurden die Standorte von Ladestationen sogenannten Raumkategorien zugeordnet (z. B. Großstadt/Metropolregion > 500.000 Einwohner (EW), Großstadt > 100.000 EW, Mittelstadt > 50.000 EW, Kleinstadt > 10.000 EW, Stadt/Gemeinde < 10.000 EW). Ein Einfluss der Raumkategorie des Ladestandortes auf die Ladehäufigkeit ist jedoch nicht festzustellen.

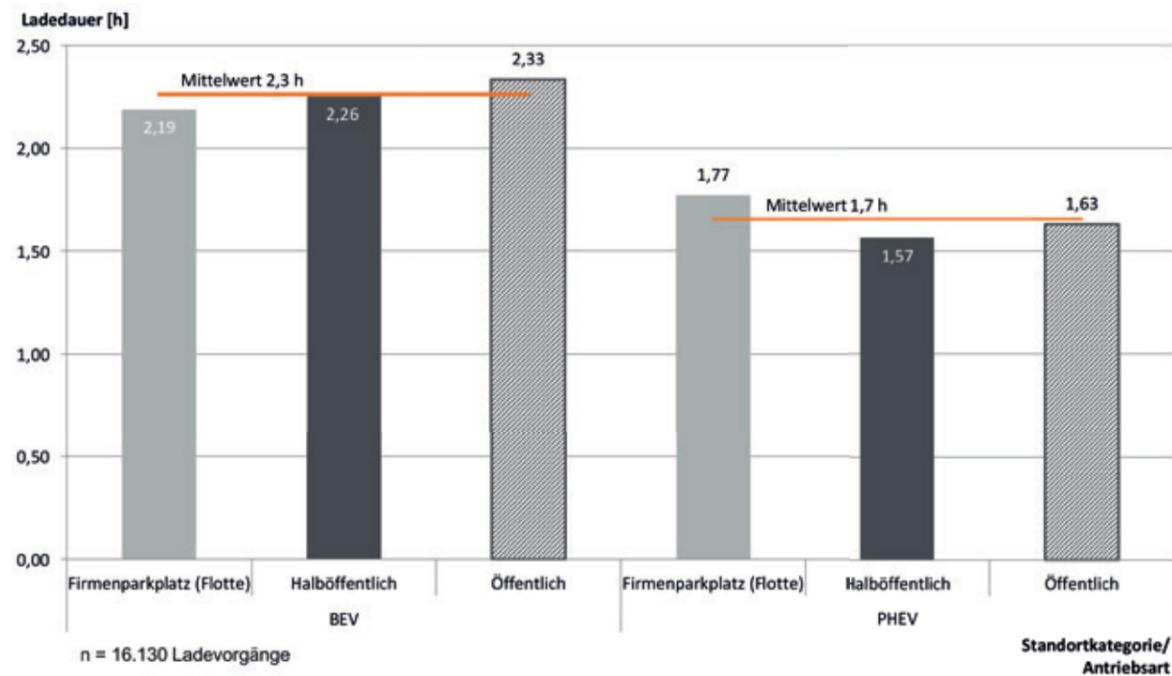
Bild 4-14:
Anzahl Ladevorgänge pro Tag nach Standorttyp und Ladestrom
(Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: ZDM)



Die mittlere Ladedauer von Elektro-Pkw (BEV) an öffentlich zugänglichen Ladestationen wird in Bild 4-15 dargestellt. Sie liegt bei rund 2,2 Stunden und entspricht damit in etwa der ermittelten Ladedauer der Fahrzeuge in Bild 4-13. Plug-in-Hybride laden mit durchschnittlich 1,7 Stunden eine halbe Stunde kürzer. Zwischen den Standortkategorien sind nur geringe Unterschiede erkennbar.

Bild 4-15:
Durchschnittliche Ladedauer an
Ladestationen (AC und DC) nach
Standortkategorie (Auswertung ohne
Carsharing-Fahrzeuge und ohne REEV)
(Quelle: eigene Darstellung, Daten-
grundlage: ZDM)

Die Auswertung der Ladedaten zeigt bisher eine nur geringe Auslastung der verfügbaren Ladeinfrastruktur, sodass ein erhebliches Potenzial für eine effizientere Nutzung gegeben ist. Die Ladedaten an der Ladeinfrastruktur wurden größtenteils in den Jahren 2014 und 2015 erfasst. Durch die dynamische Entwicklung der Neuzulassungen von Elektro-Pkw in den letzten Jahren dürfte die Auslastung der Ladeinfrastruktur perspektivisch deutlich steigen.



Im Rahmen einer Untersuchung zur Einsatzreife von Ladeinfrastruktur konnten nur wenige Ausfälle identifiziert werden. Die Einsatzfähigkeit der Ladeinfrastruktur lag im Mittel bei 99 %.



5 Kostenbetrachtung

Elektrofahrzeuge sind aufgrund der geringeren Betriebskosten heute schon wirtschaftlich, sofern sie intensiv genutzt werden.

Die Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen hängt in Wesentlichen von der Nutzungsintensität ab.¹² Die Anschaffungskosten von Elektrofahrzeugen liegen derzeit immer noch über den Anschaffungskosten vergleichbarer konventioneller Fahrzeuge. Die Unterschiede zeigen sich in den verschiedenen Segmenten. Bild 5-1 stellt in einer Übersicht die Anschaffungskosten¹³ der wichtigsten Vertreter innerhalb der einzelnen Fahrzeugsegmente dar (Stand 31.12.2017).

Bild 5-1:
Vergleich der Anschaffungskosten batterieelektrischer Fahrzeuge und konventioneller Vergleichsfahrzeuge (Quelle: eigene Darstellung; Datenquelle: eigene Recherchen)

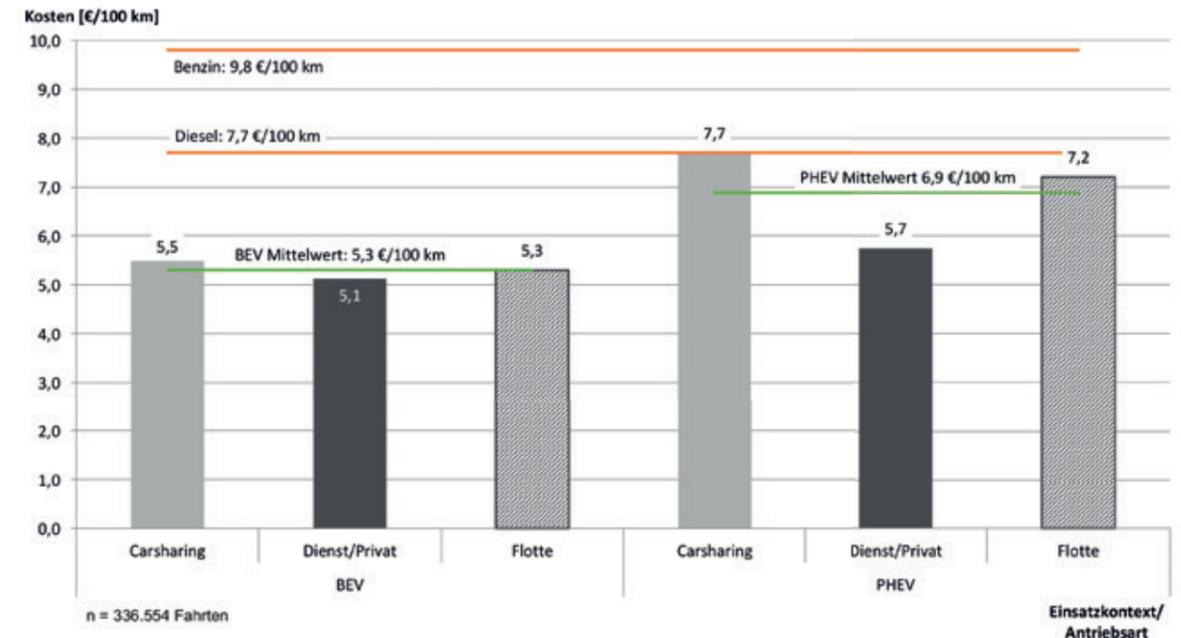
Segment	Modell E-Fahrzeug	Kosten E-Fahrzeug	Modell Vergleichsfzg. konventionell ¹⁴	Kosten Vergleichsfzg. konventionell ¹⁴
Mini	smart ED	21.940 EUR	smart fortwo	12.000 EUR
Kleinwagen	Renault ZOE	30.100 EUR	Renault Clio Intens	16.890 EUR
Kompaktklasse	Nissan Leaf	31.950 EUR	Nissan Pulsar 1,2 l DIG-T 85 kW	18.490 EUR
Oberklasse	Tesla Model S 85	105.320 EUR	Mercedes-Benz S 400 d	89.398,75 EUR
Leichte Nutzfahrzeuge	Renault Kangoo Z.E.	35.604,80 EUR	Renault Kangoo ENERGY dCi 75	17.028,90 EUR

Hinzu kommen bei den Elektrofahrzeugen in der Regel Kosten für die private Ladeinfrastruktur. Für private Haushalte mit eigenem Stellplatz oder kleine Unternehmen bzw. Unternehmensstandorte kommt hierfür eine sogenannte Wallbox in Frage. Der Preis liegt derzeit je nach Ladeleistung und Ausstattung im Bereich von 400 EUR für eine Wallbox mit einem Ladestrom von 3,7 kW und 2.000 EUR für eine Wallbox, an der zwei Autos gleichzeitig mit 11 kW oder ein Auto alleine mit 22 kW laden können.¹⁶ Hinzu kommen Installationskosten, die sich auf 800–1000 EUR belaufen.¹⁷

Umgekehrt verhält es sich jedoch bei den Betriebskosten. Diese liegen für batterieelektrische Fahrzeuge deutlich unterhalb der Kosten, die bei der Nutzung konventioneller Fahrzeuge anfallen. Die Betriebskosten können in fahrleistungsabhängige und fahrleistungsunabhängige Kosten unterteilt werden.

Aus den im Realbetrieb ermittelten Energieverbräuchen können Abschätzungen für die Energiekosten für Elektro-Pkw vorgenommen und mit den Kosten für konventionelle Fahrzeuge verglichen werden (vgl. Bild 5-2).¹⁸ Für Pkw mit Verbrennungsmotor

liegen die Energiekosten (Preisstand 2017) bei Diesel-Pkw mit 7,7 EUR/100 km und bei Benzin-Pkw mit 9,8 EUR/100 km deutlich über den Energiekosten von Elektro-Pkw (BEV: 5,3 EUR/100 km und PHEV: 6,0 EUR/100 km). Die Energiekosten pro Kilometer von BEV liegen somit deutlich unter denen konventioneller Fahrzeuge.



Bezüglich der anderen fahrleistungsabhängigen Kostenelemente ist festzustellen, dass Elektrofahrzeuge über weniger Teile verfügen, die dem Verschleiß, der Reparatur und der regelmäßigen Wartung unterliegen. So entfallen beispielsweise die Ölschmierung, der Riementrieb, Dichtungen und viele Verschleißteile im Bereich des Verbrennungsmotors und des Getriebes. Die Höhe der eingesparten Kosten ist vom Fahrzeugtyp abhängig. Unklar ist allerdings auch, ob im Gegenzug bei batterieelektrischen Fahrzeugen Wartungsarbeiten an der Batterie oder gar ein Batterietausch nötig sind, die ggf. mit hohen Kosten verbunden wären. Insgesamt dominiert bei den fahrleistungsabhängigen Kostenelementen klar der aus dem Vergleich von Kraftstoff- zu Stromkosten resultierende Kostenvorteil der Elektrofahrzeuge.

Bild 5-2:
Energiekosten von Elektro-Pkw im Vergleich zum Fahrzeug mit Verbrennungsmotor (Quelle: eigene Darstellung, Datengrundlage: eigene Berechnungen, ZDM)

¹² Dieses Kapitel ist in Zusammenarbeit mit der Begleitforschung Rahmenbedingungen und Markt (TÜV Rheinland Consulting GmbH, Institut für Innovation und Technik (iit), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)) entstanden. Insbesondere sind Teile der Ausarbeitungen zum Arbeitspaket „Mobilitätsverhalten und -bedürfnisse im privaten und gewerblichen Bereich und Ableitung von Potenzialen für die Elektromobilität“ der Begleitforschung in dieses Kapitel eingeflossen.

¹³ Preise mit MwSt. Stand Januar 2018.

¹⁴ Als konventionelles Vergleichsfahrzeug wurde nach Möglichkeit ein Fahrzeug desselben Herstellers mit ähnlicher Leistung ausgewählt.

¹⁵ Preis bezieht sich auf ein Fahrzeug mit gekaufter Batterie.

¹⁶ <http://wallbox-test.de/>, abgerufen am 26.01.2018.

¹⁷ <https://www.elektronik-zeit.de/mobilitaet-der-zukunft/elektromobilitaet/ladesysteme/wallbox-kosten-sparen-ladestation-elektroauto-preis/>, abgerufen am 06.02.2018

Zu den fahrleistungsunabhängigen Betriebskosten zählen die Kfz-Steuer, die Versicherung sowie die Haupt- und Abgasuntersuchung. Elektrofahrzeuge sind hinsichtlich der jährlich fixen Betriebskosten etwas bessergestellt als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Zum einen durch die Kfz-Steuerbefreiung für zehn Jahre für Fahrzeuge, die erstmalig zwischen dem 18.05.2011 und 31.12.2020 zugelassen wurden bzw. werden (Kraftfahrzeugsteuergesetz, § 3d Steuerbefreiung für Elektrofahrzeuge). Dies entspricht für die oben genannten Vergleichsfahrzeuge einer jährlichen Ersparnis zwischen 20 EUR und 369 EUR.

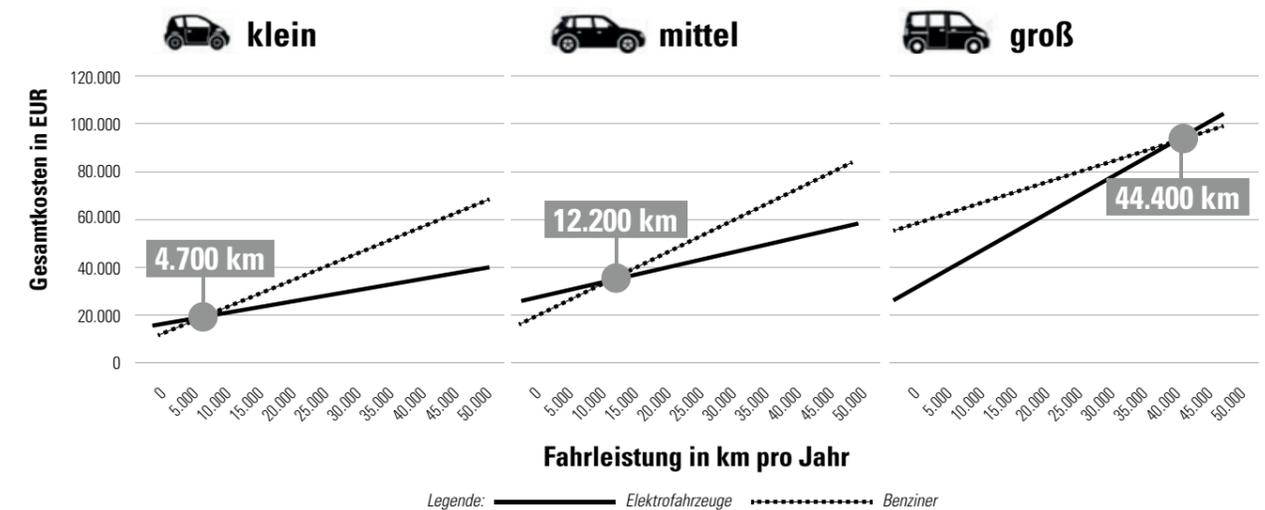
Bei den in regelmäßigen Abständen anfallenden Haupt- und Abgasuntersuchungen sind die Elektrofahrzeuge ebenfalls im Vorteil, da hier nur die Hauptuntersuchung fällig wird. Dies bedeutet in etwa halb so hohe Kosten für Elektrofahrzeuge im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen, deren Kosten pro Untersuchung etwa 100 EUR betragen.

Bei der Kfz-Versicherung bestehen keine nennenswerten Unterschiede zwischen Elektrofahrzeugen und konventionellen Fahrzeugen.

Insgesamt zeigt sich, dass hinsichtlich der fahrleistungsunabhängigen Betriebskosten zwar einige Vorteile der Elektrofahrzeuge gegenüber konventionellen Fahrzeugen existieren. Diese fallen jedoch in Relation zu den höheren Anschaffungskosten der Elektrofahrzeuge nur wenig ins Gewicht, auch wenn man sie über die Lebensdauer des Fahrzeugs summiert.

Dem deutlichen Nachteil der Elektrofahrzeuge infolge der höheren Anschaffungskosten steht aber ein ebenso deutlicher Vorteil bzgl. fahrleistungsabhängiger Betriebskosten gegenüber. Demzufolge existiert eine kritische Fahrleistung, ab der das Elektrofahrzeug die kostengünstigere Wahl ist. Um die kritische Fahrleistung zu ermitteln, ist eine vergleichende Kostenbetrachtung notwendig, die sich über die gesamte Nutzungsdauer der Fahrzeuge erstreckt. Man berechnet dazu die sogenannte Lebenszykluskosten oder Total Cost of Ownership (TCO).

Vergleichende TCO-Rechnungen werden von verschiedenen Instituten vorgenommen. Ein öffentlich zugänglicher TCO-Rechner¹⁹ wird vom Schaufenster Elektromobilität zur Verfügung gestellt.²⁰ Bild 5-3 zeigt, dass die erforderliche Mindestfahrleistung für den wirtschaftlicheren Betrieb von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen in kleineren Fahrzeugsegmenten geringer und damit schneller erreicht ist. Dies gilt auch für die Nutzung von Pkw im gewerblichen Bereich.



Im Vergleich zu den realen Nutzungsmustern, die innerhalb des ZDM erfasst wurden (Stand 31.12.2017), ergibt sich:

Die mittlere jährliche Fahrleistung von erfassten Elektrofahrzeugen im ZDM lag bei 6.000 km. Da sich der Großteil der im ZDM erfassten Fahrzeuge den kleineren Segmenten zuordnen lassen, ist ein Vergleich mit der Wirtschaftlichkeitsgrenze bei 4.700 km angebracht. Flottenfahrzeuge in Firmen aus dem ZDM kommen auf eine mittlere jährliche Verkehrsleistung von 5.900 km, kommunale Flottenfahrzeuge auf 4.600 km. Auch hier gilt, dass ein Großteil der Fahrzeuge den kleinen Fahrzeugsegmenten zugeordnet werden kann. In der realen Nutzung kleiner Fahrzeuge wird daher nach den Erfassungen des ZDM die Wirtschaftlichkeitsgrenze tatsächlich erreicht und überschritten.

Bild 5-3: TCO-Vergleich Elektrofahrzeug versus Benzin (Anschaffungsjahr: 2017, Verwendungszweck: privat). Berechnung mithilfe des TCO-Rechners des Schaufensters Elektromobilität (Quelle: Begleitforschung Rahmenbedingungen und Markt (2017): Endbericht AP 3 – Mobilitätsverhalten und -bedürfnisse im privaten und gewerblichen Bereich und Ableitung von Potenzialen für die Elektromobilität)

¹⁸ Betriebskosten ermittelt aus durchschnittlichem Verbrauch und durchschnittlichen Energie-/Kraftstoffkosten (bei PHEV Berücksichtigung des elektrischen Fahranteils: Carsharing 53 %, Dienst/privat 70 %, Flotte: 57 %). Durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch Diesel 6,7 l/100 km und Benzin 7,4 l/100 km (Deutsches Mobilitätspanel 2016). Durchschnittlicher Kraftstoffpreis 2017: Diesel 1,15 EUR/l und Benzin 1,33 EUR/l (Quelle: Mineralölwirtschaftsverband). Durchschnittlicher Strompreis 2017: 0,2923 EUR/kWh (Quelle: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft). Für die Energiekosten eines Elektro-Pkw wurde der durchschnittliche Strompreis des Jahres 2017 angenommen. Ggf. abweichende Preise für die öffentliche Ladeinfrastruktur sind nicht berücksichtigt.

¹⁹ Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität (BuW), Deutsches Dialog Institut [Hrsg.]: Ergebnispapier der Begleit- und Wirkungsforschung Nr. 29: Wirtschaftlichkeit von Elektromobilität in gewerblichen Anwendungen – Anleitung und Hintergrundinformationen zum Online-TCO-Rechner. 2016.

²⁰ http://schaufenster-elektromobilitaet.org/de/content/service/tco_rechner/TCO-Rechner.html, Stand September 2017.

Bild 5-4:
Total Cost of Ownership für beispielhaft
ausgewählte Elektro-Pkw und Verbren-
ner (ICEV)²²
(Quelle: eigene Darstellung,
Datenquelle: eMERGE II)

Während der TCO-Rechner des Schaufensters Elektromobilität Berechnungen für die idealisierten Fahrzeugklassen „klein, mittel, groß“ zur Verfügung stellt, wurden im Rahmen des Förderprojekts eMerge II²¹ im Jahr 2016 TCO-Vergleiche für konkrete Fahrzeugtypen vorgenommen. Bild 5-4 zeigt den Kostenvergleich für einige Fahrzeuge mit und ohne Berücksichtigung der Kaufprämie.

Segment	Modell	Antriebsart	Mit Kaufprämie		Ohne Kaufprämie	
			TCO/Monat	TCO/Km	TCO/Monat	TCO/Km
Mini	smart fortwo ED Coupé	BEV	425,52 EUR	0,51 EUR	497,09 EUR	0,60 EUR
	smart fortwo 1.0	ICEV	360,23 EUR	0,43 EUR	360,23 EUR	0,43 EUR
Kleinwagen	Renault Zoe Z.E. Life	BEV	537,86 EUR	0,65 EUR	609,43 EUR	0,73 EUR
	Renault Clio Luxe TCe 90	ICEV	504,80 EUR	0,61 EUR	504,80 EUR	0,61 EUR
Kompaktklasse	Nissan Leaf Visia	BEV	540,40 EUR	0,65 EUR	611,97 EUR	0,73 EUR
	Nissan Pulsar Visia 1.5l dCi	ICEV	545,81 EUR	0,65 EUR	545,81 EUR	0,65 EUR
Mini-Van	Mercedes B 250e	BEV	698,91 EUR	0,84 EUR	770,48 EUR	0,92 EUR
	Mercedes B 250	ICEV	841,68 EUR	1,01 EUR	841,68 EUR	1,01 EUR
Oberklasse	Tesla S 70D	BEV	1.562,52 EUR	1,88 EUR	1.562,52 EUR	1,88 EUR
	Mercedes S 400	ICEV	1.936,36 EUR	2,32 EUR	1.936,36 EUR	2,32 EUR

Bestehende Betriebskostenvorteile und sinkende Anschaffungskosten machen Elektrofahrzeuge in den nächsten Jahren immer wettbewerbsfähiger.

Elektrofahrzeuge werden auch in Zukunft signifikante Vorteile bei den (fahrleistungsabhängigen) Betriebskosten behalten. Zugleich wird es hinsichtlich ihres relativen Nachteils bei den Anschaffungskosten zu Verbesserungen kommen. Der Anschaffungspreis von Elektrofahrzeugen hängt wesentlich am Preis der Batterien. Technische Entwicklungen in der Fertigung und die einsetzende Kostendegression wirken auf einen weiter fallenden Batteriepreis hin. Zwischen 2010 und 2016 sind die Batteriepreise bereits um rund 80 Prozent gefallen und liegen derzeit bei ca. 230 US-Dollar pro Kilowattstunde (kWh).²³

Aufgrund von möglichen Rohstoffverknappungen sind jedoch auch zeitweise stagnierende oder steigende Kosten denkbar. In aller Regel führen jedoch steigende Rohstoffpreise zu einer Ausweitung der Rohstoffbasis und/oder zu Substitutionen, sodass auf längere Sicht die Batteriepreise fallen werden. Da es sich bei der Batterie um den teuersten Teil des Fahrzeugs handelt, wird sich hieraus früher oder später ein fallender Anschaffungspreis von Elektrofahrzeugen ergeben. Entsprechend verbessert sich deren Rentabilität bereits bei niedrigerer Laufleistung.

Gleichzeitig sind in Zukunft weitere Qualitätsverbesserungen bei Akkus sowie Effizienzsteigerungen in der Fahrzeugproduktion und im Fahrzeugbetrieb zu erwarten. Dies betrifft z. B. Heizung und Klimatisierung und deren Steuerung. Da diese Nebenverbraucher zu Lasten des Akkus und damit zu Lasten der Reichweite gehen, ergäben sich hieraus eine höhere Reichweite und damit eine höhere Einsetzbarkeit der Fahrzeuge.

Kapitel 5 ist eine gemeinsame Ausarbeitung der Ingenieurgruppe IVV und des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), die Teil der Programmbegleitforschung BMVI im Themenfeld Rahmenbedingungen und Markt ist.

²¹ Im vom BMVI geförderten Forschungsprojekt „eMERGE II“ wurden über 100 BEV und PHEV in Kundenhand gegeben. Anhand der realen Kundendaten wurden Nutzungs-, Lade- und Vermarktungsmodelle im Bereich der Elektromobilität evaluiert und weiterentwickelt.

²² Der Vergleich bezieht sich auf eine angenommene Fahrleistung von 10.000 km pro Jahr, Batteriemiete anstelle von Batteriekauf plus eine Prämienauszahlung für die Benutzung eines Zwischenspeichers; ICEV steht für Internal Combustion Engine Vehicle und bezeichnet einen Otto- oder Dieselmotor.

²³ McKinsey&Company: Elektromobilität: Mehrheit der deutschen Autokäufer vertraut etablierten Herstellern. https://www.mckinsey.de/files/170104_pm_e-mobility.pdf. Düsseldorf 2017.

6 Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit

Die Ökobilanz eines Elektro-Pkw ist in der Betrachtung des gesamten Lebenszyklus besser als die eines vergleichbaren Pkw mit Verbrennungsmotor. Je nach Art der Erzeugung des Ladestroms (Strommix oder ausschließlich erneuerbare Energien) ergeben sich frühe Eintrittszeitpunkte des Umweltvorteils.

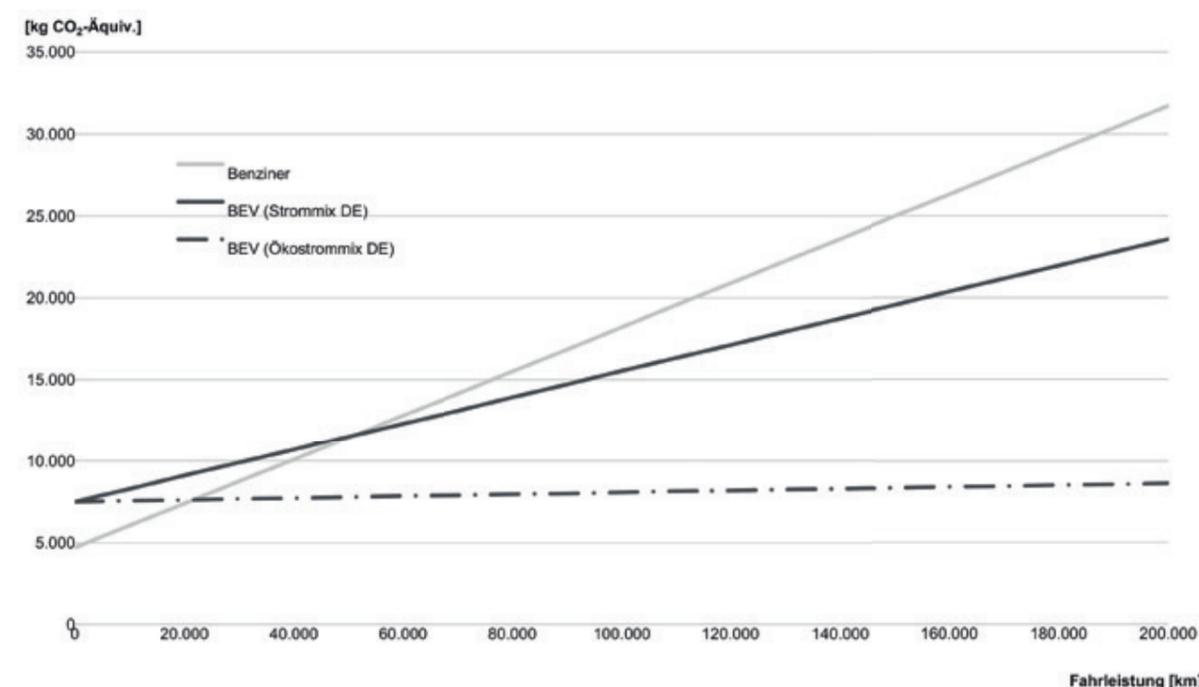
Die Beurteilung der Umweltwirkung von Elektrofahrzeugen, wenn man sie mit der von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren vergleicht, erfolgt unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus des Fahrzeugs. Treibhausgas-Emissionen können dabei während der Fahrzeugherstellung, während der Stromerzeugung und -bereitstellung, während der Fahrzeugnutzung sowie während der späteren Entsorgung des Fahrzeugs entstehen.

Für das Referenzjahr 2010 hat die Begleitforschung der Modellregionen Elektromobilität BMVI eine Gegenüberstellung der CO₂-Emission von Elektrofahrzeugen und vergleichbaren Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor vorgenommen.²⁴ Auf Grundlage der Fahr- und Ladedaten des ZDM erfolgte eine Aktualisierung für das Jahr 2016. Die Begleitforschung hat ermittelt, dass die CO₂-Emissionen bei der Herstellung eines Elektrofahrzeugs in den Segmenten Minis und Kompaktklasse um rund 60 % höher sind, als bei einem vergleichbaren Fahrzeug mit Verbrennungsmotor.²⁵ Dies ist in erster Linie auf die Batterieherstellung zurückzuführen, denn die CO₂-Emission steigt mit zunehmender Batteriekapazität.

Der Herstellung gegenüber steht allerdings die Nutzungsphase des Fahrzeuges. Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor emittieren auch während der Nutzungsphase CO₂. Bei Nutzung fossiler Otto- und Dieselmotoren entstehen beispielsweise rund 80 % der CO₂-Emissionen bei der Verbrennung, weitere 20 % entstehen während der Kraftstoffproduktion und der Kraftstoffbereitstellung.²⁶ Bei einem Elektrofahrzeug hingegen wird lediglich während der Stromerzeugung CO₂ freigesetzt, und zwar beim Deutschen Strommix (2016) 527 g/kWh und beim Deutschen Ökostrommix (2016) 38 g/kWh.^{27/28}

Bild 6-1 (Fahrzeugsegment Minis) und Bild 6-2 (Fahrzeugsegment Kompaktklasse) vergleichen die CO₂-Emissionen im Lebenszyklus batterieelektrischer Fahrzeuge mit Benzinern bzw. Dieselfahrzeugen. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Lebensdauer der Batterie der Lebensdauer des Elektrofahrzeugs entspricht. Danach weist ein Fahrzeug im Segment Kleinwagen/Mini bei ausschließlicher Nutzung von Ökostrom bereits nach rund 20.000 km eine bessere CO₂-Bilanz auf, als ein vergleichbares Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Wird hingegen das gleiche Fahrzeug mit Strom entsprechend dem derzeitigen deutschen Netzstrommix betrieben, liegt der Break-Even-Punkt gegenüber einem vergleichbaren Benzinern oder Dieselfahrzeug bei rund 50.000 km. Das Laden mit Strom aus erneuerbaren Quellen ist daher in jedem Fall vorzuziehen.

Bild 6-1:
Einfluss der Fahrleistung auf die CO₂-Emission im Lebenszyklus im Fahrzeugsegment Minis
(Quelle: eigene Darstellung;
Datenquelle: eigene Berechnungen)



²⁴ BMVI [Hrsg.]: Modellregionen – Abschlussbericht: Bewertung der Praxistauglichkeit und Umweltwirkungen von Elektrofahrzeugen. Berlin 2016.

²⁵ Die Höhe der CO₂-Emissionen bei der Produktion von Elektrofahrzeugen ist in zahlreichen Studien untersucht worden. Eine Anfang 2018 veröffentlichte Studie des International Council on Clean Transportation (ICCT) gibt einen Überblick über diese Untersuchungen (www.theicct.org/publications/EV-battery-manufacturing-emissions, letzter Zugriff: 14.02.18). Die Autoren kommen bei Vergleich der vorliegenden Studien zum Schluss, dass die höheren CO₂-Emissionen bei der Produktion nicht die Umweltvorteile von Elektrofahrzeugen über den ganzen Lebenszyklus betrachtet aufwiegen.

²⁶ Shell Deutschland Oil GmbH: Shell Pkw-Szenarien bis 2040. 2014.

²⁷ Umweltbundesamt: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990–2016. Dessau-Roßlau, Mai 2017.

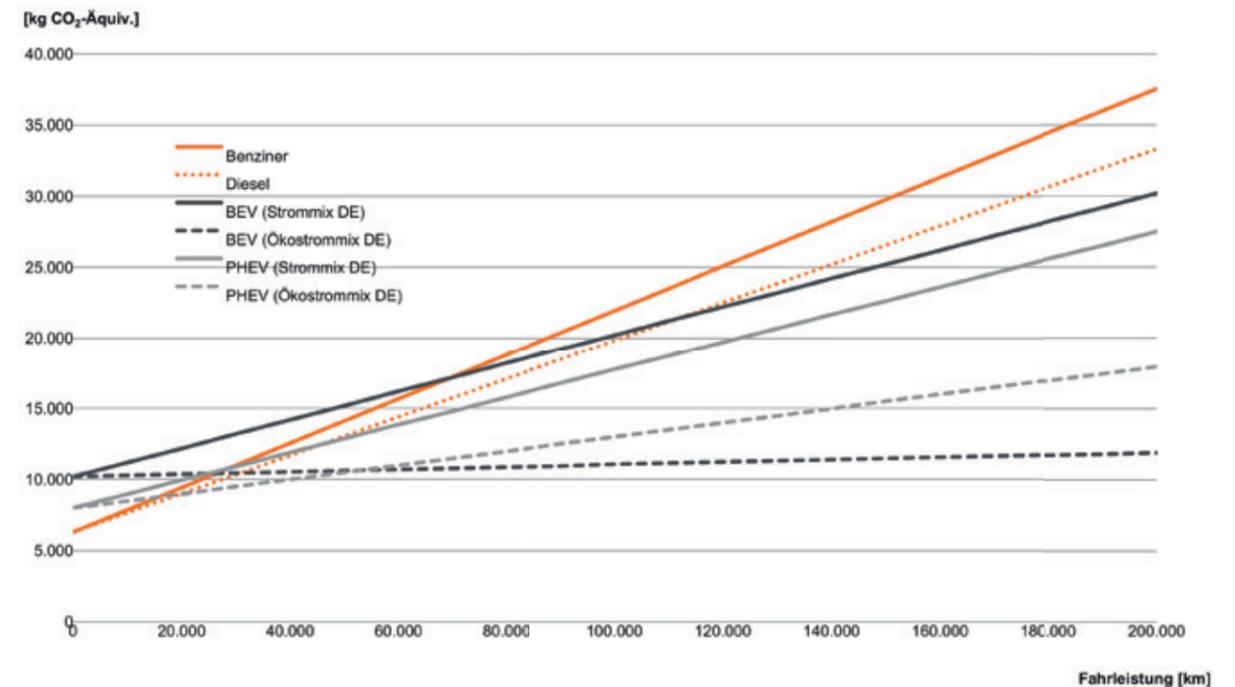
²⁸ AGEB AG Energiebilanzen e. V., <https://www.ag-energiebilanzen.de/>, letzter Zugriff: 05.02.2017.

Die im ZDM erfassten Fahrzeuge aus dem Fahrzeugsegment der Minis weisen über den Erfassungszeitraum eine durchschnittliche Jahresfahrleistung von 5.500 km auf. Bei ausschließlicher Nutzung von Ökostrom zeigen rein elektrisch betriebene Minis nach etwa vier Jahren eine bessere CO₂-Bilanz als vergleichbare Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Werden die Fahrzeuge mit dem derzeitigen deutschen Netzstrommix geladen, ist die Ökobilanz eines Elektro-Minis erst nach neun Jahren besser als die eines vergleichbaren Benziners.

Ein Elektrofahrzeug der Kompaktklassenklasse, welches ausschließlich mit Ökostrom geladen wird, spielt seinen Umweltvorteil ab einer Laufleistung von 25.000 km im Vergleich zu einem Benziner (bzw. 30.000 km im Vergleich zu einem Diesel) aus (siehe Bild 6-2). Die Fahrleistung erhöht sich infolge des größeren Materialeinsatzes, des höheren Kraftstoffverbrauchs und der ggf. größeren Batterie. Wird dieses Fahrzeug zudem mit Strom gemäß deutschem Netzstrommix geladen, weist es erst bei einer Fahrleistung von 70.000 km eine bessere CO₂-Bilanz auf als ein vergleichbares Benzinfahrzeug (Diesel: 110.000 km).

Die durchschnittliche Jahresfahrleistung eines Elektro-Pkw der Kompaktklasse beträgt laut ZDM 6.200 km. Bei ausschließlicher Ladung mit Ökostrom weisen Elektro-Pkw der Kompaktklasse nach vier Jahren (Benzin) bzw. nach fünf Jahren (Diesel) eine bessere CO₂-Bilanz auf als ein vergleichbares Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Bei Ladung mit dem deutschen Netzstrommix liegt bei Elektro-Pkw erst nach elf Jahren (Benzin) bzw. nach 17 Jahren (Diesel) ein Umweltvorteil vor.

Die Jahresfahrleistung der Elektro-Pkw ist in den letzten Jahren angestiegen (vgl. Bild 4-4). Mit der aktuellen Fahrzeuggeneration weisen Elektro-Pkw der Kompaktklasse bei ausschließlicher Ladung mit Ökostrom bei einer Jahrleistung von rund 10.000 km (2017) sogar schon nach drei Jahren eine bessere Ökobilanz auf als vergleichbare Verbrennerfahrzeuge.



Bei Plug-in-Hybriden des Segments Kompaktklasse ist bereits nach 15.000 km (Ökostrom) bzw. 45.000 km (deutscher Netzstrommix) eine – im Vergleich zum Pkw mit Verbrennungsmotor – bessere Umweltbilanz festzustellen (vgl. Bild 6-2). Hierbei ist die im Vergleich zu einem batterieelektrischen Fahrzeug geringe CO₂-Emission bei der Fahrzeugherstellung aufgrund der kleineren Batteriegröße einflussgebend. Zudem sind die vom ZDM erfassten hohen elektrischen Fahranteile (70 %) hinterlegt.

Die Jahresfahrleistung von PHEV liegt laut ZDM bei 15.800 km pro Jahr. Bei diesen im Vergleich zu batterieelektrischen Fahrzeugen hohen Fahrleistungen weisen Plug-in-Hybride bereits nach einem Jahr (Ökostrom) bzw. nach drei Jahren (deutscher Netzstrommix) eine geringere CO₂-Bilanz auf als vergleichbare Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor.

Bild 6-2:
Einfluss der Fahrleistung auf die CO₂-Emission im Lebenszyklus im Fahrzeugsegment Kompaktklasse
(Quelle: eigene Darstellung;
Datenquelle: eigene Berechnungen)

Die Vorteile von Elektrofahrzeugen in der Nutzungsphase durch die höhere Energieeffizienz des Antriebes und die Möglichkeit, erneuerbare Energien zu nutzen, wird sich in der Zukunft noch deutlich verstärken.²⁹ Hierzu trägt insbesondere der voranschreitende Ausbau erneuerbarer Energien bei. Durch die Verbesserung spezifischer Batterieeigenschaften, einer effizienteren Produktion sowie die Nachnutzung von Traktionsbatterien für stationäre Anwendungen („Second Life“) und das Entstehen von Recyclingprozessen für die Batterie werden sich zudem die Nachteile aus der Produktion von Elektrofahrzeugen entscheidend verringern.

Elektro-Pkw leisten einen Beitrag zur Reduzierung von Luftschadstoffen und des Lärms am Einsatzort.

In 90 deutschen Städten wurde 2016 eine erhöhte Stickstoffdioxid-Belastung gemessen ($\text{NO}_2 > 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).³⁰ Fast die Hälfte der NO_2 -Emissionen wird in Deutschland durch den Verkehrssektor erzeugt. Elektrofahrzeuge werden eine wesentliche Rolle bei der Lösung der Luftqualitätsprobleme in deutschen Städten spielen. Denn im Gegensatz zu konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (insbesondere Dieselfahrzeuge) entstehen bei Elektrofahrzeugen während der Fahrt keine NO_2 -Emissionen.

Nach Einschätzung des Umweltbundesamtes (UBA) würden die NO_2 -Emissionen zwischen 2014 und 2030 – bedingt durch die Euro-6-Grenzwerte – auch bei einer rein konventionellen Flotte um mehr als die Hälfte zurückgehen. Durch die Verbreitung von Elektrofahrzeugen wird von einer zusätzlichen Emissionsminderung um 28 % ausgegangen.³¹

Auch bei der Lärmemission zeigt ein Elektrofahrzeug Vorteile gegenüber einem konventionellen Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Die von konventionellen Kraftfahrzeugen ausgehenden Geräusche setzen sich zusammen aus den Antriebsgeräuschen (Motor, Ansaug- und Abgastrakt, Getriebe) und dem Reifen-Fahrbahn-Geräusch. Bei Geschwindigkeiten bis etwa 25 km/h dominiert das Antriebsgeräusch. Bei höheren Geschwindigkeiten bestimmt das Reifen-Fahrbahn-Geräusch zunehmend das Gesamtgeräusch des Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor.

Bei Elektrofahrzeugen ist nahezu kein Antriebsgeräusch vorhanden. Insbesondere bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten sind Elektro-Pkw deshalb deutlich leiser als vergleichbare Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor.

7 Ausblick

Das Zentrale Datenmonitoring (ZDM) ist zentraler Baustein der Begleitforschung im Rahmen des Förderprogramms Elektromobilität des BMVI. Es ist mit der Bündelung und Auswertung der in den unterschiedlichsten Förderprojekten anfallenden Daten betraut. Das ZDM hat inzwischen über einen mehrjährigen Zeitraum systematisch und strukturiert Fahr- und Ladedaten von etwa 1.200 Elektrofahrzeugen verschiedener Fahrzeugkategorien detailliert erfasst und ausgewertet. Wesentliche Erkenntnisse der Analyse dieser Daten sind in dieser Publikation dargestellt.

Mit der seit Juni 2015 geltenden Förderrichtlinie Elektromobilität fördert das BMVI neben anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung auch Maßnahmen zur Marktunterstützung und Marktvorbereitung. Hierbei spielt die Unterstützung von Kommunen bei der Beschaffung von Elektrofahrzeugen und beim Aufbau der dazugehörigen Ladeinfrastruktur eine entscheidende Rolle. Auf die Begleitung und das Monitoring dieses Förderschwerpunktes wird das ZDM zukünftig einen Schwerpunkt legen. Die etablierte Auswertung der Stammdaten der bewilligten Beschaffungsanträge und des Umsetzungsstandes in den Beschaffungsprojekten wird weiter fortgesetzt. Zudem ist geplant, weitere Betriebsdaten aus laufenden Projekten (insbesondere Flottenprojekte) aufzunehmen. Dies bietet die außerordentliche Möglichkeit, Fahr- und Nutzungsdaten von Elektrofahrzeugen im realen Einsatz bei Kommunen, kommunalen sowie gewerblichen Unternehmen zu analysieren. Die Daten des ZDM schaffen damit unter anderem die Möglichkeit, Vergleiche zwischen verschiedenen Fahrzeuggenerationen und Einsatzkontexten (Forschung und Entwicklungsprojekte, Demonstration und praktische Nutzung im Alltag) vorzunehmen. Dieser Arbeitsschwerpunkt wird ergänzt durch die systematische und detaillierte Analyse der Marktentwicklung bei Elektrofahrzeugen und Infrastruktureinheiten.

Als Teil der programmatischen Begleitforschung des BMVI trägt das Zentrale Datenmonitoring damit auch weiterhin zur Beantwortung zentraler Forschungsfragen zur Unterstützung des weiteren Markthochlaufs der Elektromobilität bei.

²⁹ Vgl. ICCT (2018); vgl. auch Helms, Hinrich/Jöhrens, Julius et al. (2016): Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen. UBA-Texte 27/2016, www.umweltbundesamt.de/publikationen/weiterentwicklung-vertiefte-analyse-der, letzter Zugriff: 14.02.2018.

³⁰ Umweltbundesamt, 2016.

³¹ Umweltbundesamt [Hrsg.]: Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen. Dessau-Roßlau, 2016.