

Döring, Thomas; Aigner-Walder, Birgit:

Neue Antriebstechnologien in Form von Elektrofahrzeugen unter Berücksichtigung des Nutzerverhaltens

URN: urn:nbn:de:0156-0990098



CC-Lizenz: BY-ND 3.0 Deutschland

S. 219 bis 243

In:

Reutter, Ulrike; Holz-Rau, Christian; Albrecht, Janna; Hülz, Martina (Hrsg.)
(2020):

Wechselwirkungen von Mobilität und Raumentwicklung im Kontext
gesellschaftlichen Wandels.

Hannover = Forschungsberichte der ARL 14

Thomas Döring, Birgit Aigner-Walder

NEUE ANTRIEBSTECHNOLOGIEN IN FORM VON ELEKTROFAHRZEUGEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DES NUTZERVERHALTENS

Gliederung

- 1 Einleitung und Problemstellung
 - 2 Elektrofahrzeuge aus Sicht potenzieller Nutzer
 - 2.1 Relevante Opportunitätskosten der Nutzung von E-Fahrzeugen
 - 2.2 Weitere Bestimmungsfaktoren des individuellen Substitutionsverhaltens
 - 3 Verkehrs-, umwelt- und raumbezogene Aspekte von E-Fahrzeugen
 - 3.1 Verkehrsbezogene Implikationen der Nutzung von E-Fahrzeugen
 - 3.2 Umwelteffekte einer verstärkten Nutzung von E-Fahrzeugen
 - 3.3 Räumliche Dimension der Nutzung von E-Fahrzeugen
 - 4 Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Ausblick
- Literatur

Kurzfassung

Um die individuelle Akzeptanz und gesellschaftliche Verbreitung technologischer Neuerungen in Form von Elektrofahrzeugen angemessen einschätzen zu können, muss die Perspektive eines potenziellen Nutzers und seines Entscheidungsverhaltens berücksichtigt werden. In Anbetracht dessen liefert der Beitrag einen Einblick in die vorliegenden Erkenntnisse zu den Bestimmungsfaktoren der subjektiven Substitutionsbereitschaft zwischen konventionellen Antriebssystemen und Elektrofahrzeugen im Bereich des motorisierten Individualverkehrs. Auf dieser Grundlage werden zudem einige sich daraus ergebende Implikationen für den Verkehrsbereich, die Umwelt sowie die mögliche Verbreitung von Elektrofahrzeugen im urbanen und ländlichen Raum abgeleitet.

Schlüsselwörter

Elektrofahrzeuge – Nutzerverhalten – Verkehr – Umwelteffekte – urbaner Raum – ländlicher Raum

New Propulsion Technology in the Form of Electric Vehicles from a User Behavior Perspective

Abstract

For the individual acceptance and social dissemination of technological innovations like electric vehicles in an appropriate manner the decision behavior of potential users should be taken into account. In consideration of this the paper provides an overview concerning relevant determinants of individual willingness to substitute between conventional propulsion technologies and electrical drive engineering in the field of indi-

vidual motor car traffic. Based on these insights some significant implications of electric vehicles regarding future trends in traffic, important environmental effects as well as the spread of electric vehicles in urban and rural areas will be derived.

Keywords

E-Mobility – user behavior – traffic – environmental effects – urban areas – rural areas

1 Einleitung und Problemstellung

Zweifelsohne wirken sich technologische Neuerungen im Verkehrsbereich auf die Alltagsmobilität einschließlich der damit verbundenen Wahl verfügbarer Verkehrsmittel aus (vgl. für entsprechende Beispiele Bamberg 2010; Frick/Grimm 2014). Dies trifft auch auf die Entwicklung neuer Antriebstechniken im Bereich des motorisierten Individualverkehrs in Form der Elektromobilität zu. Technologische Neuerungen dieser Art bleiben dabei zum einen nicht ohne Folgen für das Nutzerverhalten. Zum anderen sind mit ihnen in aller Regel verkehrs-, umwelt- und raumbezogene Implikationen verbunden. In Mobilitäts- und Verkehrsstudien zeigt sich jedoch bisweilen eine vergleichsweise deterministische Sichtweise der Wirkung solcher Neuerungen dergestalt, dass von der Verfügbarkeit technologischer Möglichkeiten vorbehaltlos auf deren Nutzung geschlossen wird (vgl. stellvertretend Kunert/Horn/Kalinowska et al. 2008; ifmo 2011). So wird dort etwa der massenhafte Anstieg der individuellen Pkw-Nutzung der zurückliegenden Jahrzehnte weitestgehend auf ein Zusammenwirken von technologischen Möglichkeiten (hier: der Option „Pkw“) und allgemeinen ökonomischen und sozialen Entwicklungstrends zurückgeführt (vgl. stellvertretend Kutter 2001; Kutter/Stein 1998). Soweit das Nutzerverhalten dabei eine Rolle spielt, wird es mehr oder weniger unmittelbar aus den technischen und sozioökonomischen Rahmenbedingungen abgeleitet und nicht oder kaum eigenständig untersucht.

Bezogen auf die Nutzung technischer Neuerungen sollte jedoch die Perspektive des Akteurs nicht vernachlässigt werden. Dies erfordert Analysen, die das individuelle Entscheidungsverhalten im Umgang mit technologischen Neuerungen im Verkehrsbereich untersuchen, da solche Neuerungen noch nicht zwingend auch zu Änderungen im individuellen Verhalten führen müssen. Vielmehr sind häufig subjektive Einflussgrößen (Präferenzen, Einstellungen, Emotionen, Wahrnehmung etc.) ausschlaggebend, ob technische Innovationen verhaltenswirksam werden. Fragt man vor diesem Hintergrund danach, wie Innovationen im Bereich der Antriebstechnologie von Fahrzeugen im Bereich des Individualverkehrs zu bewerten sind, ist zunächst zu klären, was unter einer neuen Antriebstechnik zu verstehen ist. Hierzu werden solche technischen Lösungen gerechnet, die sich entweder bezogen auf die Energieart oder die konstruktive Lösung von den marktüblichen Antriebstechniken unterscheiden (vgl. Pischinger/Seifert 2016: 173 ff.). Zu den alternativen Antriebstechniken zählen aus aktueller Sicht zum einen reine Elektrofahrzeuge (E-Fahrzeuge) ebenso wie Brennstoffzellenfahrzeuge, bei denen kein Anteil eines konventionellen Antriebs (Verbrennungsmotor) mehr vorhanden ist. Zum anderen gelten aber auch Kombinationen aus einem konventionellen Antrieb mit Verbrennungsmotor in Verbindung mit einer elektrischen Antriebskomponente (Hybridantrieb) als neue Antriebstechnik. Schließlich wird in einem weiten Begriffsverständnis die Verwendung alternativer Kraftstoffe (z. B.

Wasserstoff, Biodiesel, Erdgas etc.) mit einbezogen, da deren Einsatz nicht ohne Anpassung der Fahrzeugtechnik erfolgen kann, auch wenn die zugrunde liegende Antriebstechnik (Verbrennungsmotor) konventioneller Natur ist.

Nachfolgend werden ausschließlich E-Fahrzeuge betrachtet, d.h. auf die Verwendung alternativer Kraftstoffe wird nicht eingegangen, da dies den vorgegebenen Rahmen des Beitrags sprengen würde. Zu den E-Fahrzeugen zählen dabei rein batterie-elektrisch betriebene Fahrzeuge (BEV) ebenso wie Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV), welche die benötigte Energie direkt an Bord erzeugen. Zudem werden solche Fahrzeuge berücksichtigt, die entweder über einen Verbrennungsmotor zur Reichweitenverlängerung verfügen (REEV) oder bei denen sowohl ein E-Motor als auch ein Verbrennungsmotor für den Antrieb sorgen (Plug-in-Hybridfahrzeuge – PHEV). Wird auf das Nutzerverhalten im Umgang mit E-Fahrzeugen abgestellt, kann festgestellt werden, dass die Zahl an Untersuchungen, die neben technischen auch subjektive Faktoren einbeziehen, in jüngerer Zeit stark zugenommen hat (vgl. etwa Frenzel/Jarass/Trommer et al. 2015; Bongard 2014; Fazel 2014; Paternoga/Pieper/Woisetschläger et al. 2013; Peters/Hoffmann 2011). Zudem ist insbesondere im Bereich der Marketingforschung die Analyse des Nutzerverhaltens von „grünen Innovationen“, zu denen auch E-Fahrzeuge gerechnet werden, vermehrt in den Fokus gerückt (vgl. etwa Steinhilber/Wells/Thankappan 2013; Moons/De Pelsmacker 2012; Lebeau/van Mierlo/Lebeau et al. 2012; Egbue/Long 2012; Ziegler 2012; Hidrue/Parsons/Kempton et al. 2011). Soweit diese Untersuchungsergebnisse hier näher dargestellt werden, liegt der Schwerpunkt auf der Nutzung vierrädriger Fahrzeuge im Bereich des individuellen Personenverkehrs privater Haushalte. Lediglich am Rande wird auch auf zweirädrige E-Fahrzeuge, den öffentlichen Personenverkehr sowie auf die gewerbliche Nutzung von E-Fahrzeugen eingegangen. Die zeitliche Betrachtungsperspektive ist – ausgehend von den aktuellen Gegebenheiten – auf die kommenden 5–10 Jahre beschränkt. Eine über diesen Zeithorizont hinausreichende Analyse ist aufgrund der Ungewissheit über zukünftige technologische Entwicklungen im Gegenstandsbereich sowie sich verändernder sozioökonomischer und politischer Rahmenbedingungen einschließlich deren jeweiligen Wechselwirkung mit dem Nutzerverhalten nicht fundiert möglich.

Ausgehend von einer zusammenfassenden Darstellung der relevanten – vorrangig objektiven – Bestimmungsfaktoren des Nutzerverhaltens im Umgang mit E-Fahrzeugen (Kap. 2) werden im Anschluss daran schlaglichtartig verkehrs-, umwelt- und raumbezogene Implikationen des Gebrauchs von E-Fahrzeugen aufgezeigt (Kap. 3). Der Beitrag schließt mit einer Zusammenfassung der Kernaussagen, den daraus abzuleitenden (politischen) Schlussfolgerungen sowie einem knappen Ausblick auf die zukünftig zu erwartende Nutzungsintensität von E-Fahrzeugen (Kap. 4).

2 Elektrofahrzeuge aus Sicht potenzieller Nutzer

Den Ausgangspunkt der nachfolgenden Überlegungen bildet die Frage, wie wahrscheinlich aus Sicht potenzieller Nutzer der Wechsel von einem konventionellen Fahrzeug zu einem E-Fahrzeug ist, unter Berücksichtigung der damit verbundenen Opportunitätskosten (d.h. der für den Fall des Wechsels entgangenen Vorteile aus der Nutzung treibstoffgetriebener Fahrzeuge und deren charakteristischen Eigenschaf-

ten). Zur Abschätzung des Nutzerverhaltens wird ein duales Handlungsmodell zugrunde gelegt, wie es auch in der Entscheidungspsychologie ebenso wie der Verhaltensökonomik zur Anwendung kommt. Danach kann zwischen einem intuitiv-automatischen und einem reflexiv-rationalen System unterschieden werden, wobei ersteres permanent und unangestrengt auf der Grundlage unbewusster und erlernter Verhaltensmuster funktioniert und letzteres selektiv und mühevoll mittels eines deduzierenden sowie kontrollierenden Denkens arbeitet (vgl. Kahneman 2011; Thaler/Sunstein 2012). Während das reflexive System rationales Verhalten begünstigt, ist das intuitiv-automatische System durch den Gebrauch von Heuristiken, den Einfluss von Emotionen sowie durch Wahrnehmungsverzerrungen und Verhaltensroutinen gekennzeichnet, die das Ausmaß an Rationalität individueller Entscheidungen schmälern. Der Betrachtungsschwerpunkt liegt hierbei allerdings vor allem auf objektiven Einflussgrößen, wie sie für eine rationale Entscheidungsabwägung von Bedeutung sind. Stärker subjektiv geprägte Faktoren bei der Kaufentscheidung zugunsten eines E-Fahrzeugs (z.B. die Präferenz für neue Technologien oder auch die subjektive Reichweitenangst) werden demgegenüber lediglich in ergänzender Form zu den objektiven Faktoren thematisiert. Die nachfolgenden Ausführungen werden zeigen, dass aus der Perspektive beider Verhaltensmodi angesichts der gegebenen technischen, infrastrukturellen wie marktbezogenen Rahmenbedingungen die Wahrscheinlichkeit einer verstärkten Nutzung von E-Fahrzeugen zum aktuellen Zeitpunkt (noch) vergleichsweise gering ist.

2.1 Relevante Opportunitätskosten der Nutzung von E-Fahrzeugen

Nutzungskosten, Reichweite und Sicherheit – Studien zeigen, dass die Energiekosten als Bestandteil der Opportunitätskosten eines E-Fahrzeugs im Durchschnitt lediglich der Hälfte dessen entsprechen, was an direkten Kosten für die Nutzung eines treibstoffbetriebenen Fahrzeugs zu veranschlagen ist (vgl. Bertram/Bongart 2014; Döring/Aigner 2012; Döring 2012). Allerdings sind im Fall des E-Fahrzeugs weitere Kosten zu berücksichtigen, die aufgrund der Batterieabnutzung entstehen und sich nach eigenen Berechnungen auf rund 7 Euro je 100 Kilometer belaufen. Bei diesem Wert werden eine Gesamtfahrleistung des E-Fahrzeugs von 150.000 km sowie Batteriekosten in Höhe von 10.000 Euro unterstellt (vgl. für die Batteriekosten Karle 2015: 170). Untersuchungen zeigen allerdings, dass zukünftig mit jährlich sinkenden Batteriekosten in einer Größenordnung von 6–9% zu rechnen ist (vgl. Nykvist/Nilsson 2015 mit weiteren Literaturverweisen). Weitere Zusatzkosten können dadurch entstehen, dass bezogen auf den aktuellen Stand der Technik eine Batterie nach maximal 1.500 Ladezyklen erneuert werden muss. Die Zahl der maximal zu realisierenden Ladezyklen variiert dabei sowohl in Abhängigkeit vom Batterietyp (Blei-Batterie, Nickel-Metallhydrid-Batterie, Lithium-Ionen-Batterie etc.) als auch von der Außentemperatur (vgl. Wallentowitz 2013). Bezüglich der Präferenzen der Nachfrager ist zudem davon auszugehen, dass die potenziellen Nutzer von E-Fahrzeugen die gleiche Qualität und Quantität des Gutes „Mobilität“ bezüglich Reichweite, zeitlicher Verfügbarkeit oder Sicherheit erwarten (vgl. Ahrend/Delatte/Kettner et al. 2014; Bozem/Nagel/Rath et al. 2013). Auch diesbezüglich stellt wiederum die Batterie eine besondere Herausforderung dar. Problematisch ist hierbei zum einen die räumliche Reichweite von reinen E-Fahrzeugen (BEV, FCEV), die bei mittlerer Geschwindigkeit sowie in Abhängigkeit von topographischen und klimatischen Faktoren gegenwärtig 150 bis 350 Kilometer beträgt, bevor

die Batterie erneut aufgeladen werden muss (vgl. Bertram/Bongard 2014). Prognosen für 2020 gehen diesbezüglich von einer deutlich größeren Reichweite von durchschnittlich 450 Kilometern aus (Smarterfahren 2018 – Zum Vergleich: Ein Dieselfahrzeug mit einem 50-Liter-Tank hat aktuell eine Reichweite von 900 Kilometern). Weitere Opportunitätskosten ergeben sich aus bislang nur unzureichend geklärten Sicherheitsfragen: So stellt die Brand- und Explosionsgefahr nach wie vor ein großes Problem im Bereich der Speichertechnik dar. Dies gilt vor allem für die Lithium-Batterie-Varianten, die zwar vergleichsweise langlebig sind, zugleich aber als besonders explosiv gelten (vgl. Hucko 2013).

Ladeinfrastruktur – Zusätzliche Opportunitätskosten verbinden sich zudem mit der Ladezeit von marktüblichen E-Fahrzeugen, die die Betankungszeit eines konventionellen Fahrzeugs um ein Vielfaches übersteigt (vgl. Karle 2015; Döring/Aigner 2011). Während bei letztgenanntem Fahrzeugtyp nicht mehr als 5 Minuten ausreichen, um rund 100.000 kWh im Tank aufzunehmen, benötigen E-Fahrzeuge 8–12 Stunden für das Wiederaufladen der Batterie an der Haushaltssteckdose. Selbst im Fall einer Schnellaufladung („fast charging“) beansprucht der Ladevorgang üblicherweise rund 30 Minuten. Folgt man Befragungsergebnissen, wird dabei die „Akzeptanz der Lademöglichkeiten und der damit verbundenen Ladedauer [...] bei dem Großteil der bisherigen Nutzer [...] stärker gewichtet als die Reichweite“ (Ahrend/Delatte/Kettner et al. 2014: 7). Dieser Zusammenhang von Nutzerakzeptanz und Ladezeiten wird auch von anderen Untersuchungen belegt (vgl. etwa Hidrue/Parsons/ Kempton et al. 2011). Auch fällt laut einer Studie die Zahlungsbereitschaft für E-Fahrzeuge in Abhängigkeit von der Ladetechnik unterschiedlich aus, d.h. für den Komfortgewinn des induktiven Ladens im Vergleich zur konduktiven Ladetechnik waren rund zwei Drittel der Befragten bereit, beim Kauf eines Elektroautos 1.000 Euro mehr zu verausgaben (Papendick/Brennecke/Márquez et al. 2012: 8). Während das induktive Laden drahtlos (z.B. über in die Verkehrsfläche eingelassene elektromagnetische Felder) erfolgt, wird beim konduktiven Laden die Batterie eines E-Fahrzeugs kabelgestützt mit neuer Energie versorgt (vgl. auch Schraven/Kley/Wietschel 2010). Neuere Befragungsergebnisse unter privaten und gewerblichen E-Fahrzeug-Nutzern deuten allerdings darauf hin, dass die Bereitschaft zum Zahlen von Aufpreisen für das schnelle Laden abnimmt. Vielmehr erwartet die Mehrheit der Nutzer, dass „das Elektrofahrzeug serienmäßig über die technischen Voraussetzungen für eine Schnellladung verfügt“ (Frenzel/Jarass/Trommer et al. 2015: 11). Gleichzeitig besteht gemäß dieser Untersuchung bei 58% der privaten und 68% der gewerblichen Nutzer der Wunsch vor allem nach Schnellladestationen im (halb-)öffentlichen Raum. Das Problem der langen Ladezeiten verweist auf das grundlegendere Problem einer zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur unzureichend ausgebauten Infrastruktur für E-Fahrzeuge. Dies betrifft neben Werkstätten und Servicestellen vor allem die geringe Zahl öffentlich zugänglicher (Schnell-)Ladestationen. Inwieweit hier die jüngste Ankündigung der Automobilindustrie, verstärkt in die Entwicklung eines schnelleren Ladenetzes zu investieren, akzeptanzsteigernd wirkt, bleibt aus aktueller Sicht abzuwarten (Frahm/Pander 2017).

Anschaffungskosten – Wiederum vor allem aufgrund der Batterie liegen die Anschaffungskosten bei einem elektrisch betriebenen Mittelklassewagen um rund 10.000 Euro über jenen eines konventionellen Fahrzeugs (Karle 2015: 168). Die hohen Anschaffungskosten verhindern jedoch nach vorliegenden Verbraucherstudien eine

breite Akzeptanz von E-Fahrzeugen (vgl. Ahrend/Delatte/Kettner et al. 2014; Bozem/Nagel/Rath et al. 2013; Arnold/Kuhnert/Kurtz et al. 2010). In den gleichen Studien wird darauf verwiesen, dass die Konsumenten in Deutschland lediglich einen Preisaufschlag von etwas mehr als 20% bzw. 2.500 Euro akzeptieren würden (Papendick/Brennecke/Márquez et al. 2012: 5). Auch bei einem Vergleich der Gesamtkosten („Total Cost of Ownership“), in die neben den Anschaffungs- auch die laufenden Betriebs- und Werkstattkosten sowie Steueraufwendungen einfließen, liegt die Kostendifferenz immer noch bei rund 4.000 Euro (Karle 2015: 170).

2.2 Weitere Bestimmungsfaktoren des individuellen Substitutionsverhaltens

Energiepreise und Lebenszykluskosten – Zusätzlich zu den bislang bereits genannten Einflussgrößen lassen sich noch weitere Bestimmungsfaktoren der Substitutionsentscheidung zwischen konventionell und elektrisch angetriebenen Fahrzeugen benennen. So hat eine Studie der Boston Consulting Group aus dem Jahr 2009, deren Ergebnisse im Kern auch aktuell noch zutreffen, die unterschiedlichen Lebenszykluskosten verschiedener Antriebstechnologien mit geringem CO₂-Ausstoß (BEV, REEV, PHEV, verbrauchsarme Verbrennungsmotoren) miteinander verglichen. Danach stellen zwar reine Elektroantriebe (BEV) jene Antriebstechnologie dar, welche die größte Menge an CO₂-Emissionen zu vermeiden in der Lage ist. Sie sind jedoch nicht die kosteneffektivste Form der CO₂-Vermeidung. Letzteres trifft vielmehr auf verbrauchsarme Verbrennungsmotoren zu, bei denen sich die Vermeidungskosten zur Reduktion von einem Prozent CO₂-Emissionen bei gegebenen Energiepreisen im Vergleich zu BEV auf lediglich rund die Hälfte belaufen (vgl. Boston Consulting Group 2009). Die Studie zeigt somit, dass die umweltbezogene Kosteneffektivität von E-Fahrzeugen unterhalb der von verbrauchsarmen konventionellen Fahrzeugen liegt, solange der Ölpreis sich auf einem moderaten Niveau bewegt. In Anbetracht dessen überrascht nicht, dass aufgrund der momentan niedrigen Treibstoffpreise „Neuwagenkäufer in alte Verhaltensmuster“ zurückfallen, was von Dudenhöffer (2015: 549) wie folgt kommentiert wird: „Bei Preisen konventioneller Kraftstoffe, die auf dem Niveau des Jahres 2005 liegen, verkümmert jeder Anreiz, lokal emissionslose Fahrzeuge zu kaufen“.

Psychologische Einflüsse und Angebotssituation – Bei den zurückliegenden Überlegungen zu den Opportunitätskosten von E-Fahrzeugen wurde bislang von einem weitgehend rationalen Nutzerverhalten ausgegangen. Zusätzlich sind hier jedoch auch Verhaltensanomalien und Verhaltensgewohnheiten infolge von subjektiven Einstellungsmustern, Werthaltungen, Wahrnehmungsverzerrungen etc. zu berücksichtigen, wie diese aus psychologischen Studien zur Verkehrsmittelwahl bekannt sind (vgl. Huncke 2006; Bamberg 2010; Bamberg/Schmidt 2001). Danach erfordert die erstmalige Ausführung einer neuen Verhaltensweise (Kauf eines E-Fahrzeugs) eine kognitiv aufwendige Entscheidung. Ist ein Akteur jedoch mit seiner bisher getroffenen Entscheidung zufrieden (Kauf eines konventionellen Fahrzeugs), setzt eine Gewohnheitsbildung ein (vgl. Fujii/Gärling/Kitamura 2001). Solche bestehenden Verhaltensroutinen beeinflussen jedoch stark das zukünftige Entscheidungsverhalten. Begünstigt wird dieses Verhaltensmuster durch den „Status quo Bias“, der den empirisch belegten Tatbestand kennzeichnet, dass Akteure eine bestehende Situation (Nutzung konven-

tioneller Fahrzeuge) möglichst nicht verändern wollen. Für die Kaufentscheidung zugunsten eines E-Fahrzeugs ist aus verhaltenspsychologischer Sicht ebenso bedeutsam, wie gut dieses zum eigenen Lebensstil sowie den Alltagsgewohnheiten passt (vgl. Fraunhofer ISI 2011). Damit werden Verhaltensänderungen unwahrscheinlicher, was durch die vorherrschende Berücksichtigung irreversibler Kosten (z.B. Anschaffungs- und Reparaturkosten eines im Besitz befindlichen konventionellen Fahrzeugs) noch zusätzlich begünstigt wird. Dies gilt auch für den „Availability Bias“, d.h. Verbraucher entscheiden sich häufiger für die leichter verfügbaren konventionellen Fahrzeuge als für die – entsprechend der gegebenen Marktsituation (vgl. Dudenhöffer 2014; Döring 2012) – nach wie vor weniger gut verfügbaren E-Fahrzeuge.

3 Verkehrs-, umwelt- und raumbezogene Aspekte von E-Fahrzeugen

Ohne spürbare Verbesserungen bei der Reichweite ebenso wie beim Ausbau der Ladeinfrastruktur, aber auch ohne eine merkliche Verringerung der Anschaffungskosten ist für die nähere Zukunft mit keiner deutlichen Steigerung der Nachfrage nach E-Fahrzeugen im Bereich des motorisierten Individualverkehrs zu rechnen. Damit rückt aber auch der von der Bundesregierung (2009) bis zum Jahr 2020 politisch als wünschenswert angesehene Nutzungsgrad dieser Antriebstechnologie in der Größenordnung von 1 Mio. Elektroautos auf deutschen Straßen sowie die bis 2030 formulierte Zielgröße von 5 Mio. E-Fahrzeugen in weite Ferne. Wie diese sich abzeichnende Zielverfehlung zu bewerten ist, hängt nicht zuletzt von den verkehrs-, umwelt- und raumbezogenen Implikationen einer verstärkten Nutzung von E-Fahrzeugen ab.

3.1 Verkehrsbezogene Implikationen der Nutzung von E-Fahrzeugen

Hinsichtlich der verkehrsbezogenen Effekte von E-Fahrzeugen soll nachfolgend der Blick ausschließlich auf die Implikationen für eine multimodale Verkehrsmittelwahl, die möglichen Auswirkungen auf die Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur sowie etwaige zusätzliche verkehrsbezogene Unfallrisiken gerichtet werden.

Elektrofahrzeuge und multimodale Verkehrsmittelwahl – Bezogen auf den motorisierten Individualverkehr in Deutschland gibt es aktuell keinerlei Anzeichen, dass elektrische Antriebe ihrem momentanen Nischendasein entwachsen könnten (vgl. NPE 2014). So waren sowohl in 2014 als auch 2015 noch mehr als 98% aller Pkw-Neuwagen reine Benzin- oder Dieselfahrzeuge (vgl. Dudenhöffer 2015: 549). Auch aktuell (Stand: Ende 2019) entfallen auf die insgesamt rund 48 Mio. in Deutschland zugelassenen Pkw immer noch nur 136.600 Fahrzeuge mit einem Elektro- (BEV, FCEV) oder Hybridantrieb (REEV, PHEV). Aus entscheidungstheoretischer Sicht ist diese Zahl keineswegs überraschend, da die prinzipielle Verfügbarkeit dieser neuen Antriebstechnologie noch keine Rückschlüsse über deren subjektive Akzeptanz und damit deren gesellschaftliche Durchsetzungsfähigkeit im Verkehrsbereich zulässt. Mit dem geringen Elektroanteil am Bestand aller Autos in Deutschland könnte sich allerdings auch die häufig kommunizierte Hoffnung nicht erfüllen, dass eine verstärkte Nutzung von E-Fahrzeugen aufgrund ihrer räumlich begrenzten Reichweite zu einer steigenden Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel im Personennah- und -fernverkehr führt, um auf

diese Weise die Vision eines „klimaneutralen Verkehrs“ zu verwirklichen (vgl. InnoZ 2014). Aber auch bei einer steigenden Akzeptanz von E-Fahrzeugen ist nicht zwingend davon auszugehen, dass sich der Gebrauch öffentlicher Verkehrsmittel erhöht. Vielmehr gilt eine „Kannibalisierung des Öffentlichen Verkehrs durch Elektroautos“ (Teufel/Arnold/Bauer et al. 2015: 60) als wahrscheinlich, da E-Fahrzeugen nicht nur ein vergleichbarer ökologischer Vorteil zugeschrieben wird, sondern diese darüber hinaus gegenüber den Mobilitätsangeboten des ÖPV über eine höhere (zeitliche) Nutzungsflexibilität verfügen.

Auswirkungen auf die Nutzung und Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur – Würden sich Elektroautos in Zukunft durchsetzen, würden mit Blick auf die individuellen Mobilitätsentscheidungen auch die Betriebskosten für die zu leistenden Fahrtstrecken an Gewicht verlieren, da – ausgehend von den bestehenden relativen Preisen – Strom deutlich günstiger als Benzin ist. Die mögliche Folge wäre ein Anstieg der Pkw-Nutzung bei einem Straßennetz, das bereits aktuell in vielen Regionen überlastet ist. Neben den Auswirkungen auf den Auslastungsgrad des Straßennetzes hätte eine vermehrte Nutzung elektrisch betriebener Fahrzeuge zudem negative Folgen für die Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur vor allem von Bund und Ländern (vgl. IW 2014). Der Grund für diesen negativen Finanzierungseffekt ist, dass bei einer umfangreichen Substitution von konventionell angetriebenen Fahrzeugen durch Elektrofahrzeuge mit einem starken Rückgang der Einnahmen aus der Mineralölsteuer gerechnet werden muss (vgl. Maaß 2014). Ein Konzept für die Anlastung der Straßeninfrastrukturkosten bei E-Fahrzeugen fehlt jedoch bislang. Da eine solche Anlastung der Verkehrsinfrastrukturkosten „über den Strompreis nicht möglich ist, wäre es wahrscheinlich nur über eine fahrleistungsabhängige Pkw-Maut entsprechend der Lkw-Maut realisierbar“ (Teufel/Arnold/Bauer et al. 2015: 60).

Erhöhte Unfallrisiken – Zu den verkehrsbezogenen Effekten ist schließlich auch das erhöhte Unfallrisiko für Fußgänger und Fahrradfahrer zu rechnen, welches nach bisherigen empirischen Befunden mit einer verstärkten Nutzung von E-Fahrzeugen im Vergleich zu konventionell angetriebenen Fahrzeugen einhergeht (vgl. Donath 2014). So belegen Daten aus den USA, dass die durch E-Fahrzeuge ausgelöste Zahl an Fußgängerunfällen um 44% höher ist, während der entsprechende Wert für Fahrradunfälle sogar 72% beträgt (US-Department of Transportation – National Highway Traffic Safety Administration 2009: 12 ff.). Der Grund für die höhere Gefährdung von Fußgängern und Fahrradfahrern durch reine Elektro- (BEV, FCEV) ebenso wie Hybridfahrzeuge (REEV, PHEV) ist, dass diese im Stadtverkehr – insbesondere bei Geschwindigkeiten unter 50km/h – aufgrund fast nicht vorhandener Motorengeräusche kaum oder gar nicht hörbar sind. Im Verkehrsgeschehen orientieren sich Fußgänger und Fahrradfahrer jedoch neben optischen auch mittels akustischer Reize, um heranahende Fahrzeuge zu erkennen. Zwar haben die Autohersteller mittlerweile durch den Einbau eines „Sound-Generators“ auf dieses Problem reagiert, dieser zählte aber bislang nur in den USA und Japan zur serienmäßigen Ausstattung von E-Fahrzeugen, auch wenn dadurch der Vorteil geringer Lärmemissionen zunichtegemacht wird (vgl. Teufel/Arnold/Bauer et al. 2015). Seit Juli 2019 muss nun auch innerhalb der EU pflichtmäßig in neuen Typen von Hybrid- und reinen E-Fahrzeugen ein akustisches Warnsignal zum Schutz von Fußgängern eingebaut sein. Ab Juli 2021 müssen darüber hin-

aus sämtliche Hybrid- und E-Fahrzeuge gemäß der entsprechenden EU-Verordnung mit einem Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS) ausgestattet sein (vgl. Europäisches Parlament/Rat der Europäischen Union 2014). Das Geräusch selbst soll dabei mit dem eines Fahrzeugs der gleichen Klasse, welches mit einem Verbrennungsmotor ausgestattet ist, vergleichbar sein.

3.2 Umwelteffekte einer verstärkten Nutzung von E-Fahrzeugen

Neben den verkehrsbezogenen Effekten spielen in der Diskussion um eine verstärkte Nutzung von E-Fahrzeugen deren ökologische Effekte eine zentrale Rolle. Sie gelten als ein bedeutsamer Beitrag zur Klimapolitik im Sinne der nachhaltigen Einsparung von CO₂-Emissionen im Verkehrsbereich, was zugleich als ein positiver Kaufanreiz für entsprechend angetriebene Fahrzeuge gilt. Deren umfassende ökologische Bewertung setzt allerdings eine vergleichende Betrachtung sowohl der umweltbezogenen Effekten, die aus der unmittelbaren Nutzung resultieren, als auch jener Effekte, die durch die Herstellung, die Entsorgung sowie die Energiegewinnung bewirkt werden, voraus.

Ökologisierung des Verkehrs durch Elektromobilität – E-Fahrzeuge gelten bezogen auf den Energieverbrauch im Vergleich zu benzin- oder dieselbetriebenen Fahrzeugen als deutlich effizienter (vgl. Degelmann 2014). Auch entstehen während des Betriebs von E-Fahrzeugen nur geringe Lärmbelastungen, keine Feinstaubemissionen sowie keine CO₂- oder NO_x-Abgase (vgl. Deutsches CleanTech Institut 2010). Ein eindeutiger Vorteil von E-Fahrzeugen ist jedoch nur dann gegeben, wenn die benötigte Energie überwiegend aus regenerativen Energiequellen gewonnen wird (vgl. Döring/Aigner 2012; Deutsches CleanTech Institut 2010).

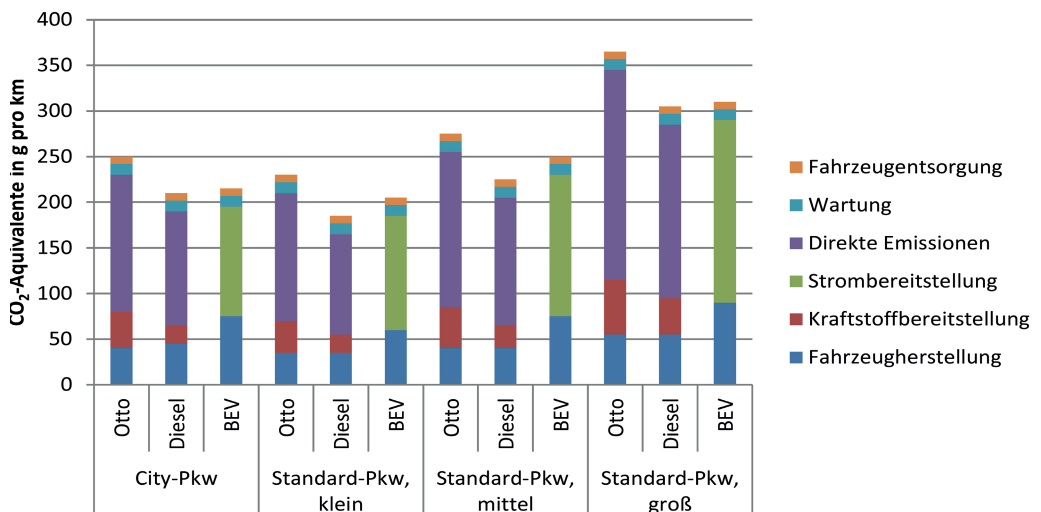


Abb. 1: Vergleich der CO₂-Äquivalente verschiedener Fahrzeugtypen mit unterschiedlicher Antriebstechnologie (in g pro km) / Quellen: Teufel/Arnold/Bauer et al. 2015, ifeu 2011, eigene Darstellung

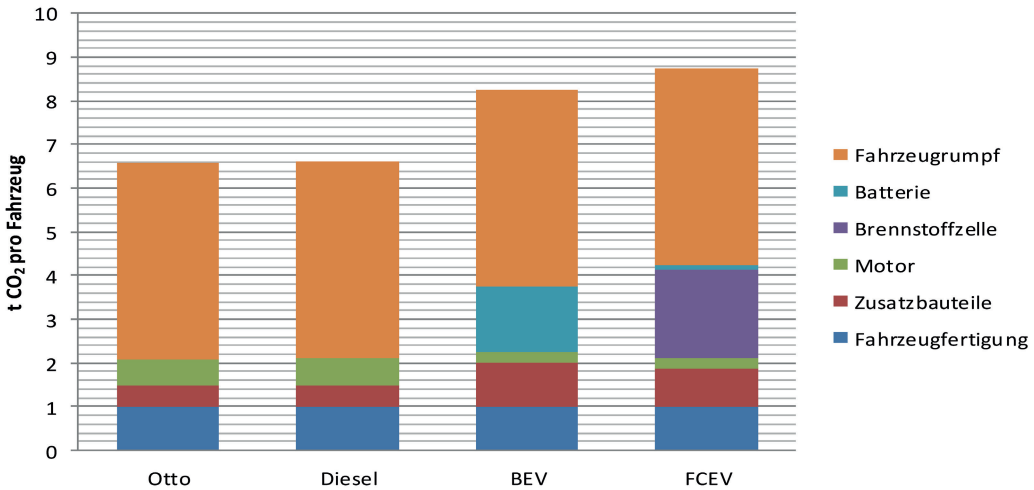


Abb. 2: Vergleich der Klimawirkung der Herstellung eines mittleren Pkw mit unterschiedlicher Antriebs-technologie (in t CO₂ pro Fahrzeug) / Quellen: Degelmann 2014, ifeu 2011, eigene Darstellung

Betrachtet man allerdings den gesamten Lebenszyklus von E-Fahrzeugen, ist dieser mit einem hohen Energiebedarf verbunden. Dies gilt nicht allein für die Fertigung der Batterien, sondern für die gesamte Wertschöpfungskette (vgl. Döring/Aigner 2012; ifeu 2011). Aber auch wenn der Blick allein auf die Treibhausgasemissionen (gemessen in CO₂-Äquivalenten) gerichtet ist, die mit der Fahrzeugherstellung, der Kraftstoff-/Strombereitstellung, dem unmittelbaren Betrieb, der Wartung sowie der Fahrzeugentsorgung verbunden sind, zeigten vergleichende Klimabilanzen bislang, dass E-Fahrzeuge zwar im Vergleich zu benzinbetriebenen Fahrzeugen günstigere Werte aufweisen, nicht jedoch gegenüber Dieselfahrzeugen (vgl. Abb.1). Betrachtet man allein den Herstellungsprozess, fällt auch die Klimawirkung von benzinbetriebenen Fahrzeugen günstiger aus (vgl. Abb. 2). Dies wird auch in einer neueren Untersuchung für Deutschland zur Auswirkung von E-Fahrzeugen auf den Strommarkt und die CO₂-Bilanz bestätigt. Dort wird ein im Vergleich zu konventionell angetriebenen Fahrzeugen um 13,6% höherer CO₂-Ausstoß berechnet (Bräuninger/Schnaars/Teuber 2017: 754).

Auch das Umweltbundesamt kommt in einer Studie zu den Klimawirkungen von E-Fahrzeugen zu dem Ergebnis, dass diese aktuell (Stand: 2016) zwar Vorteile gegenüber benzinbetriebenen Fahrzeugen, nicht aber gegenüber Dieselfahrzeugen aufweisen (vgl. UBA 2016: 19). Erst mit einem sich ändernden Strommix zugunsten eines höheren Anteils regenerativer Energiequellen wird bis 2030 mit entsprechenden Klimavorteilen von E-Fahrzeugen auch gegenüber Dieselfahrzeugen gerechnet. Zu einem ähnlichen Ergebnis gelangt eine ADAC-Studie, in der die Ökobilanz verschiedener Antriebstechniken untersucht wird (ADAC 2018). Die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse der verschiedenen Studien ist allerdings nur eingeschränkt gegeben, da deren jeweilige Resultate von den betrachteten Fahrzeugtypen (klein, mittel, groß), der Modellierung des Energieverbrauchs der verschiedenen Antriebstechnologien, der unterstellten Reichweite der betrachteten E-Fahrzeuge (und damit letztlich dem Gewicht der Batterie), der gesamten Fahrleistung über den Lebenszyklus der

betrachteten Fahrzeuge hinweg und – vor allem – vom Anteil regenerativer Energien an der gesamten Strombereitstellung abhängen. Dies trifft auch auf die jüngst vom Bundesumweltministerium veröffentlichten Untersuchungsergebnisse zu den CO₂-wEmissionen von E-Fahrzeugen zu, die allerdings nicht erst in Zukunft (hier: 2025), sondern auch schon aktuell unter den entsprechenden Vergleichswerten von Benzin- und Dieselfahrzeugen liegen sollen (BMU 2018: 7). Allerdings wird in dieser Studie ebenso festgestellt: „Beim kumulierten Rohstoffverbrauch schneiden Elektrofahrzeuge hingegen heute schlechter ab als verbrennungsmotorische Fahrzeuge“ (ebd.: 15).

Verbesserte Ressourcennutzung durch höhere Energieeffizienz – Der Vorteil von E-Fahrzeugen relativiert sich auch dann, wenn man deren Energieeffizienz, die üblicherweise zugunsten des Elektroantriebs ins Feld geführt wird, eingehender betrachtet. Das Verhältnis zwischen abgegebener und aufgenommener Energie bestimmt den Wirkungsgrad eines Fahrzeugs und damit dessen Energieeffizienz. Bei einem konventionell angetriebenen Fahrzeug liegt der Wirkungsgrad bei 30–35%, während ein Elektromotor diesbezüglich einen Wert von 90% erreicht (Klodt 2017: 1). Berücksichtigt man allerdings den Energieverlust, der beim Laden der Batterie entsteht (10–30%), ebenso wie den durchschnittlichen Wirkungsgrad deutscher Kraftwerke bei der Stromerzeugung (40%), reduziert sich die Energieeffizienz eines E-Fahrzeugs annähernd auf das Niveau von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Dieses Vergleichsergebnis hat auch dann Bestand, wenn man berücksichtigt, dass auch die Belieferung von Tankstellen mit herkömmlichem Kraftstoff energieaufwendig ist. Diesen Effizienzeinbußen stehen im Fall des E-Fahrzeugs „die Leitungsverluste im Netz der Energieversorger oder der hohe Energieverbrauch beim Herstellen der Batterien“ gegenüber (Klodt 2017: 1), sodass insgesamt „der Elektromotor bei der Energieeffizienz also keineswegs besser [...] als der Verbrennungsmotor“ (ebd.) abschneidet. Soweit technische Vorteile aufseiten des Elektroantriebs auszumachen sind, liegen diese im Straßenverkehr. Hierzu zählt zum einen das sich Abschalten bei stehenden Rädern sowie das rasche Erreichen des vollen Drehmoments bei Wiederanfahrt. Zum anderen gestaltet sich im Vergleich zu konventionellen Antrieben die Rückgewinnung von Bremsenergie technisch einfacher.

Umwelteffekte und Nutzerverhalten – Ob diese umweltbezogenen Aspekte aus Sicht des Nutzerverhaltens von besonderer Bedeutung sind, muss allerdings als offen gelten. So kommt eine Untersuchung, bei der es sich um eine Stated-Preference-Studie mit knapp 1.200 Befragten handelt, zu dem Ergebnis, dass lediglich ein geringer Prozentsatz der Probanden (d. h. rund 5% der Befragten) bei der Reihung von „Kauf-faktoren“ von E-Fahrzeugen deren ökologischen Vorteil unter den ersten drei Rängen platzieren (vgl. hierzu und zu den nachfolgend genannten Prozentwerten Bongard 2014: 6). Von größerer Relevanz sind demgegenüber – wie Tabelle 1 zeigt – Faktoren wie die Qualität und Zuverlässigkeit von E-Fahrzeugen (33,1%), deren Wirtschaftlichkeit (31,2%), Alltagstauglichkeit (14,9%) oder auch Sicherheit (8,5%). Im Vergleich dazu spielen stärker psychologisch bedeutsame Determinanten wie etwa das Design (3,0%) oder das Image (0,8%) eine ähnlich geringe Rolle wie ökologische Effekte. Die Prozentwerte für die beiden erstgenannten Kauffaktoren sinken leicht, wenn man kumulativ auf die Platzierung der einzelnen Faktoren auf den ersten drei Rängen abstellt. Dieses auf den ersten Blick überraschende Ergebnis lässt sich damit erklären, dass die beiden Betrachtungsweisen (nur Rang 1 vs. Ränge 1–3) zu unterschiedlichen Häufigkeitsverteilungen führen.

Relevante Kauffaktoren	Platzierung auf Rang 1	Platzierung auf Rängen 1-3
Qualität und Zuverlässigkeit	33,1	26,1
Wirtschaftlichkeit (Kaufpreis, sonst. Kosten)	31,2	21,1
Alltagstauglichkeit	14,9	16,2
Sicherheit	8,5	15,1
Ökologie (CO ₂ -Emissionen etc.)	3,7	5,5
Design	3,6	4,6
Leistungsfähigkeit	3,0	6,2
Ausstattung	0,8	3,3
Image	0,8	1,6
Andere Gründe	0,3	0,3

Tab.1: Bestimmungsfaktoren des Kaufs von E-Fahrzeugen (Zustimmung der Befragten in %) / Quelle: Bongard 2014, eigene Darstellung

Eine isolierte Betrachtung einzelner Kauffaktoren ist jedoch nur eingeschränkt aussagekräftig, da die Kaufentscheidung in aller Regel einen multifaktoriellen Charakter besitzt. Das hohe Gewicht ökonomischer Faktoren für die Kaufentscheidung zeigt sich im Rahmen der genannten Untersuchungen darüber hinaus mit Blick auf die Frage nach den wünschenswerten Fördermaßnahmen für E-Fahrzeuge (vgl. Tab. 2). Danach präferieren 42,3% der befragten Personen staatliche Subventionen als wichtigste Maßnahme zur Förderung des Kaufs von E-Fahrzeugen, gefolgt von 35,1% der Nennungen, die für eine Befreiung von der Kfz-Steuer votieren (vgl. hierzu und für die nachfolgenden Prozentwerte Bongard 2014: 5). Im Vergleich dazu wird solchen Fördermaßnahmen, die in der aktuellen politischen Diskussion häufig genannt werden – wie die Einrichtung von Sonderparkplätzen für E-Fahrzeuge (8,1%), etwaige finanzielle Vorteile bei der Dienstwagenbesteuerung von Unternehmen (6,5%), die Aufhebung von Zufahrtsverboten (3,9%), die Freigabe von Busspuren im städtischen Raum (2,3%) oder auch die Einrichtung von Sonderfahrspuren (1,7%) –, nur eine vergleichsweise geringe Bedeutung als Kaufanreiz beigemessen.

Zu einem abweichenden Ergebnis mit Blick auf die Bewertung der ökologischen Vorteile von E-Fahrzeugen kommt eine Untersuchung des Instituts für Verkehrsforschung der DLR, bei der insgesamt mehr als 3.000 Eigentümer bzw. Erstnutzer von E-Fahrzeugen (BEV und PHEV) nach ihrer Motivation zum Fahrzeugwerb befragt wurden (s. Tab. 3). Danach waren das Interesse an der innovativen Fahrzeugtechnologie sowie die Reduzierung der Umweltbelastung mit jeweils 79% die beiden Hauptmotive für die Anschaffung des E-Fahrzeugs (vgl. hierzu und zu den nachfolgenden Prozentwerten Frenzel/Jarass/Trommer et al. 2015: 33). Ebenfalls als bedeutsames Kaufmotiv wurden die im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen günstigeren Energiekosten

(69%) und – als emotionale Komponente – der Fahrspaß durch den Elektroantrieb (65%) genannt. Demgegenüber von untergeordneter Bedeutung für die Anschaffungsentscheidung waren spezifische (monetäre) Anreize wie etwa die Befreiung von der Kfz-Steuer oder auch ein kostenloses Parken und Laden.

Bevorzugte Fördermaßnahmen	Platzierung auf Rang 1	Platzierung auf Rängen 1-3
Direkte staatliche Käufersubventionen	42,3	31,1
Befreiung von der Kraftfahrzeugsteuer	35,1	29,7
Sonderparkplätze	8,1	13,2
Vorteile bei der Dienstwagenbesteuerung	6,5	12,2
Aufhebung von Zufahrtsverboten	3,9	5,7
Freigabe von Busspuren	2,3	3,8
Sonderfahrspuren	1,7	4,4

Tab. 2: Präferenz von Fördermaßnahmen zugunsten von E-Fahrzeugen (Zustimmung der Befragten in %) / Quelle: Bongard 2014, eigene Darstellung

Motive für die Anschaffung eines E-Fahrzeugs (BEV, PHEV)	Wichtig oder sehr wichtig
Interesse an innovativer Fahrzeugtechnologie	79
Reduzierung der Umweltbelastung	79
Günstige Energiekosten pro Kilometer	69
Fahrspaß durch den Elektroantrieb	65
Geringe Wartungskosten	44
Nutzung von Strom aus eigener Erzeugung	44
Image	42
Kostenlose (halb-)öffentliche Ladeinfrastruktur	18
Kostenlose Lademöglichkeiten beim Arbeitgeber	18
Befreiung von der Kfz-Steuer	16
Kostenloses Parken	10

Tab. 3: Motive für die Anschaffung eines E-Fahrzeugs (Zustimmung der Befragten in %) / Quelle: Frenzel/Jarass/Trommer et al. 2015, eigene Darstellung

Abgesehen davon, dass die beiden hier zitierten Studien grundsätzlich ein unterschiedliches Untersuchungsdesign aufweisen, dürften die voneinander abweichenden Ergebnisse vor allem darauf zurückzuführen sein, dass es sich beim Kreis der jeweils Befragten zum einen um solche Personen handelt, die bislang noch keine Kaufentscheidung getroffen haben (Bongard 2014), und im anderen Fall um solche, bei denen die Anschaffung bereits erfolgt ist (Frenzel/Jarass/Trommer et al. 2015). Zumindest mit Blick auf die zuletzt genannte Gruppe der Befragten ist daher zu vermuten, dass die Untersuchungsergebnisse wenigstens in Teilen einem autoselektiven Effekt geschuldet sind.

3.3 Räumliche Dimension der Nutzung von E-Fahrzeugen

Die Analyse bliebe unvollständig, wenn nicht auch auf räumliche Unterschiede bezogen auf das gegebene wie zukünftig zu erwartende Entscheidungsverhalten bezüglich der Nutzung von E-Fahrzeugen eingegangen würde. Vor allem von Bedeutung sind hierbei solche Verhaltensunterschiede, die sich bei einer Differenzierung zwischen urbanen und ländlichen Räumen zeigen. Sollte in Anbetracht der zurückliegenden Überlegungen die zukünftige Nachfrage nach E-Fahrzeugen insgesamt vergleichsweise gering bleiben, muss dies nicht zugleich auch auf alle Raumkategorien zutreffen. Dies gilt vor allem für den städtischen und stadtnahen Raum. Dabei ist es nur bedingt die verbesserte Luftqualität, zu der in städtischen Ballungsgebieten ein vermehrter Einsatz von E-Fahrzeugen beitragen kann. Denn solange der Energiebedarf für den elektrischen Antrieb nicht annähernd vollständig aus regenerativen Energiequellen gewonnen wird, wäre eine dergestalt bewirkte Verringerung von Luftschadstoffen in räumlicher Hinsicht lediglich ein ökologisches Nullsummenspiel, da der Luftqualitätsverbesserung im urbanen Raum andernorts eine vermehrte Luftverschmutzung gegenüberstünde.

Abschwächung des Reichweitenproblems im urbanen Raum – Ein Vorteil von Agglomerationsräumen ist, dass die geringe Reichweite von E-Fahrzeugen hier keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielt. Dies trifft sowohl auf die rein private Nutzung von E-Fahrzeugen als auch den Einsatz solcher Fahrzeuge im städtischen Lieferverkehr zu. So müssen Fahrzeuge im Auslieferungsdienst im Durchschnitt tägliche Strecken von 100–120 Kilometer zurücklegen, was mit reinen Elektrofahrzeugen (BEV) im Regelfall ohne Zwischenspeicherung möglich ist (vgl. Gries/Zelewski 2015; Canzler/Knie 2015). Zudem eignen sich die städtischen Verdichtungsräume aus Nutzersicht nicht nur für einen verstärkten Gebrauch von Elektroautos, sondern auch von E-Fahrrädern und E-Motorrädern (vgl. Ahrend/Delatte/Kettner et al. 2014; Klein 2016). Hinzu kommt, dass in urbanen Räumen vermehrt jene Bevölkerungsschichten anzutreffen sind, die sowohl hinsichtlich ihrer ökologischen Präferenzen als auch aufgrund ihres Pro-Kopf-Einkommens über die notwendige Zahlungsbereitschaft ebenso wie die erforderliche Zahlungsfähigkeit für den Kauf von E-Fahrzeugen verfügen. Zu berücksichtigen ist jedoch auch, dass in den Agglomerationsräumen die Ansprüche, ein eigenes Auto besitzen zu müssen, merklich niedriger als in Deutschland insgesamt sind (vgl. Abb. 3). Letzteres dürfte allerdings mit ein Grund dafür sein, dass bei einer Befragung von E-Fahrzeug-Nutzern in Deutschland bislang lediglich 22% ihren Wohnsitz in einer

größeren Stadt mit mehr als 100.000 Einwohnern hatten (vgl. Frenzel/Jarass/Trommer et al. 2015: 25). Demgegenüber wohnen 53% der Besitzer von E-Fahrzeugen in einer Kleinstadt oder Landgemeinde mit weniger als 20.000 Einwohnern.

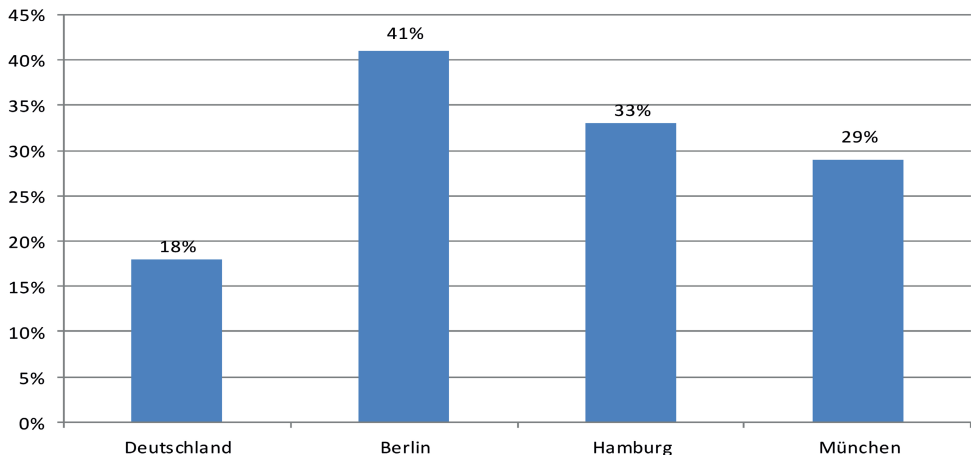


Abb. 3: Anteil autofreier Haushalte in Deutschland sowie in ausgewählten Großstädten, 2008 (in %) / Quelle: infas/DLR 2010, eigene Darstellung

Mobilitätsverhalten im urbanen Raum – Vor allem die Mitglieder der jüngeren Alterskohorten in den Städten erwerben zwar nach wie vor den Führerschein, im Vergleich zu ihren Altersgenossen im ländlichen Raum fahren sie jedoch deutlich weniger mit dem Auto (vgl. McDonald 2015; Delbosc/Currie 2014; Kuhnimhof/Buehler/Wirtz et al. 2012; Schönduwe/Bock/Deibel 2012; Kuhnimhof/Armoogum/Buehler et al. 2012; vgl. allgemein zur Auswirkung des gesellschaftlichen Wandels auf das Mobilitätsverhalten auch Dangschat 2020 in diesem Band). Demgegenüber gewinnt die Nutzung von Bussen, Bahnen und Fahrrädern zunehmend an Bedeutung. Dieses Verhaltensmuster ist in Deutschland nicht allein bei den jüngeren Altersjahrgängen anzutreffen, sondern zeigt sich auch bei der Verkehrsmittelwahl von Erwerbstätigen aller Altersklassen in Agglomerationsräumen und verstädterten Räumen, wie sich aus Tabelle 4 entnehmen lässt. Als Agglomerationsraum zählt dabei, was eine Dichte von mindestens 300 Einwohnern je km² und ein städtisches Zentrum mit mehr als 300.000 Einwohnern aufweist, während verstädterte Räume (mindestens 150 Einwohner je km², städtisches Zentrum mit mehr als 100.000 Einwohnern) und ländliche Räume durch eine jeweils deutlich geringere Einwohnerdichte voneinander abgegrenzt werden. Soweit Autos als Fortbewegungsmittel genutzt werden, gewinnen in den städtischen Zentren und Ballungsräumen wiederum privates Autoteilen und gewerbliches Carsharing stetig an Relevanz (vgl. zum „Peak-Car-Phänomen“ etwa van Wee 2015; Schreckenber 2015; Kuhnimhof/Zumkeller/Chlond 2013). Damit verbunden ist eine Digitalisierung des Alltagslebens, bei der sich für Smartphone-gewöhnte urbane Akteure die Handhabung des Carsharing, aber auch die Nutzung des ÖPNV vergleichsweise einfach gestaltet

(vgl. Reutter/Wittowsky 2020 in diesem Band; Konrad/Wittowsky 2016; Jacoby/Wappelhorst 2016; Bratzel/Lehmann/Tellermann 2011). Die genannten Verhaltens-trends sind insofern bedeutsam, als ein nutzerfreundlicher Gebrauch von E-Fahrzeu-gen vor allem im Rahmen von Fahrzeugflotten gewährleistet werden kann. Zugleich begünstigt dies sog. Hub-and-Spoke-Konzepte: Durch wohn- und arbeitsortnahe Standorte von zu buchenden E-Fahrzeugen wird der städtisch-kleinräumige Verkehr individualisiert unternommen, während längere Strecken auf der Schiene absolviert werden. In dieser multimodalen Kombination – so die Erwartung – verlieren bisherige Hemmnisse einer vermehrten Nutzung von E-Fahrzeugen (lange Batterieladezeiten, geringe Reichweite) an Gewicht.

Verkehrsmittel	Agglomerations-räume	Verstädterte Räume	Ländlicher Raum
Öffentlicher Personenverkehr	31	18	4
Motorisierter Individualverkehr	50	55	73
Fahrrad	9	15	11
zu Fuß	8	10	9
Sonstige	1	2	2

Tab. 4: Verkehrsmittelnutzung der Erwerbstätigen in Deutschland differenziert nach Regionstypen (Ergebnisse Mikrozensus), 2012 (in %) / Quelle: Destatis/WZB – Datenreport 2016, eigene Darstellung

Zu diesen Überlegungen passt der bereits genannte empirische Befund, dass die Be-sitzer von E-Fahrzeugen gegenwärtig weniger in den städtischen Agglomerationen als vielmehr in Kleinstädten sowie dem ländlichen Raum zu finden sind (siehe oben). Zu-gleich scheinen aber die Nutzung von E-Fahrzeugen und jene von Angeboten des öf-fentlichen Personenverkehrs nicht in einem sich wechselseitig ergänzenden, sondern vielmehr in einem substitutiven Verhältnis zueinander zu stehen. So werden gemäß der Nutzerbefragung von Frenzel/Jarass/Trommer et al. (2015: 27 f.) die regionalen Bus- und Bahnangebote von 76% der E-Fahrzeugbesitzer nie oder seltener als monat-lich genutzt. Mit Blick auf die Nutzung des öffentlichen Personenfernverkehrs beträgt der entsprechende Wert sogar 90%, was für die an früherer Stelle formulierte These der Kannibalisierung von individueller Elektromobilität und öffentlichem Verkehr spricht.

Elektromobilität und Energiewende – Ein verstärkter Einsatz von E-Fahrzeugen im Rahmen von gewerblichen Fahrzeugflotten (Carsharing, Taxiunternehmen, Logistik-unternehmen etc. – vgl. Hacker/von Waldenfels/Mottschall 2015), wie dies vor allem im urbanen Raum möglich ist, könnte einen Beitrag zur Energiewende leisten, wenn man zusätzlich zur Mobilitätsfunktion auch die Energiespeicherfunktion der Fahrzeu-ge (vehicle-to-grid – V2G) nutzt. Dabei können mit dem Energienetz verbundene E-Fahrzeuge bekanntermaßen als Puffer fungieren (vgl. Karle 2015). Eine potenzielle Zielgruppe hierfür sind noch am ehesten Pendler in Agglomerationsräumen, die auf

Betriebsparkplätzen ihr Fahrzeug an das Stromnetz anschließen und auf diese Weise mit zur Absorption der Mittagsspitzen, die bei der Gewinnung von Energie aus regenerativen Quellen auftreten, beitragen. Von größerer Bedeutung ist hier jedoch der unternehmensbezogene Flottenbetrieb, wie er sich in einem ausreichenden Umfang vorrangig im urbanen Raum findet. Eine in diesem Zusammenhang wichtige Einflussgröße dürfte sein, in welchem Maße durch differenzierte Tarife, Einspeisungsvergütungen und Netzstabilisierungsboni die individuellen Anreize so verändert werden können, dass das Interesse an der Nutzung von E-Fahrzeugen steigt (vgl. Sterner/Eckert/Thema et al. 2015; Fraunhofer IWES/IKEM 2013).

Nutzung von E-Fahrzeugen im ländlichen Raum – Nicht zu erwarten ist demgegenüber eine kurz- bis mittelfristig im Vergleich zu den Agglomerationsräumen vermehrte (alleinige) Nutzung von E-Fahrzeugen im ländlichen Raum, da hier die zu überwindenden Distanzen bei der Befriedigung bestehender Mobilitätsbedürfnisse einer größeren Verbreitung elektrischer Antriebe im Wege stehen. Diesbezüglich dürfte sich noch am ehesten für Hybridfahrzeuge (PHEV, REEV) eine größere Nachfrage ergeben. Inwieweit hier die räumliche Ausprägung der demographischen Entwicklungen in Form einer zukünftig zunehmenden Entleerung der ländlichen Räume bei einem gleichzeitigen Bevölkerungszuwachs in den Ballungsräumen zu einer Ausweitung der Nachfrage nach E-Fahrzeugen führen wird, bleibt zum gegenwärtigen Zeitpunkt abzuwarten (vgl. auch die verschiedenen Beiträge in Mager 2014). Grundsätzlich ist jedoch von einem unterschiedlichen Mobilitätsverhalten in urbanen und ländlichen Räumen auszugehen: „Außerhalb der großen Städte sieht die Welt [...] noch anders aus. Polyzentrische Raumstrukturen und disperse Siedlungsweisen auf der einen und flexible Arbeitszeiten sowie ein über Jahrzehnte gestiegener Freizeitverkehr auf der anderen Seite sind weiterhin dominante Tatbestände“ (Canzler/Knie 2015: 38). Unter Bezug auf die habituelle Komponente des Mobilitätsverhaltens lässt sich daher feststellen, dass gerade im ländlichen Raum die „eingeübte Praxis, das Leben um das eigene Auto herum zu gruppieren, [...] noch über Jahre nach[wirkt]“ (ebd.: 13).

Eingeschränkte Substitutionsbereitschaft im ländlichen Raum – Die Unterschiede zwischen urbanen und ländlichen Räumen spiegeln sich auch darin, dass sich der Aufbau der für E-Fahrzeuge erforderlichen Ladeinfrastruktur schwerpunktmäßig bislang „auf die größeren Städte und auf Rastanlagen entlang der Autobahnen“ konzentriert (Jacoby/Wappelhorst 2016: 208). Dies führt zu der Einsicht, dass im ländlichen Raum noch mehr als im urbanen Raum der Gebrauch von E-Fahrzeugen einen höheren oder auch anderen Nutzen stiften muss, als dies für konventionell angetriebene Fahrzeuge gilt, um eine entsprechende Substitutionsentscheidung auszulösen. Während jedoch im städtischen Raum ein solcher Zusatz- oder Andersnutzen von E-Fahrzeugen darin gesehen werden kann, Bestandteil einer umfassenderen Energieinfrastruktur (vehicle-to-grid) sowie Element eines verkehrsmittelübergreifenden Mobilitätssystems (Carsharing, Multimodalität etc.) zu sein (vgl. Bratzel 2015), entfällt dieser Zusatznutzen in der Regel im ländlichen Raum. Soweit E-Fahrzeuge hier eine Alternative darstellen, dürfte dies lediglich für den Ersatz eines vorhandenen Zweitwagens gelten, was auch durch eine empirische Untersuchung zur Nutzung von E-Fahrzeugen bestätigt wird (Frenzel/Jarass/Trommer et al. 2015: 24 ff.). Danach verfügen 80% der Haushalte in Kleinstädten und Landgemeinden, die ein E-Fahrzeug besitzen, noch über ein weiteres (konventionell angetriebenes) Fahrzeug. Handelt es sich bei dem E-Fahrzeug um

ein rein elektrisch betriebenes Fahrzeug (BEV), liegt der genannte Anteilswert sogar bei 84%. Hierzu passt, dass mehr als die Hälfte der befragten privaten Nutzer angab, „aufgrund der eingeschränkten elektrischen Reichweite keine Wochenend- und Urlaubsfahrten mit dem Fahrzeug durchführen zu können. Hierfür kommt meist ein weiterer, konventionell angetriebener Pkw des Haushalts zum Einsatz“ (Frenzel/Jarass/Trommer et al. 2015: 11).

Zwar wird auch für den ländlichen Raum die Praktikabilität von Hub-and-Spoke-Konzepten nicht grundsätzlich ausgeschlossen (vgl. Canzler/Knie 2015). Je peripherer der ländliche Raum jedoch ist, desto unwirtschaftlicher dürfte die Umsetzung eines solchen, die individuelle Nutzung von E-Fahrzeugen begünstigenden Konzeptes sein. Optimistischer fällt die Einschätzung dann aus, wenn auf das Potenzial des ländlichen Raums für eine dezentrale Stromgewinnung für E-Fahrzeuge mittels Biomasse-, Photovoltaik- und Windkraftanlagen (vgl. Jacoby/Wappelhorst 2016) oder auf etwaige wirtschaftliche Chancen für den ländlichen Raum abgestellt wird, wie dies sich bei Umstellung der Automobilindustrie in Richtung Elektromobilität aus der Neugestaltung von räumlichen Produktions- und Lieferstrukturen ergeben könnte (vgl. Weber 2016). Solange jedoch E-Fahrzeuge nicht in nennenswertem Umfang nachgefragt werden, dürfte letzteres kaum zur Realität werden.

4 Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Ausblick

Die zurückliegenden Ausführungen – sowohl zu den grundlegenden entscheidungstheoretischen Aspekten der (potenziellen) Nutzung von Elektrofahrzeugen als auch zu den damit einhergehenden verkehrs-, umwelt- und raumbezogenen Implikationen – legen zusammenfassend die folgenden Schlussfolgerungen nahe:

Aus Sicht privater Nutzer bestehen zum gegebenen Zeitpunkt rationale Gründe, sich gegen die Anschaffung eines E-Fahrzeugs zu entscheiden. Zu diesen Gründen zählen vor allem die nach wie vor vergleichsweise hohen Anschaffungskosten elektrisch betriebener Fahrzeuge, deren gegenüber konventionell angetriebenen Fahrzeugen geringe Reichweite, noch bestehende Sicherheitsprobleme mit Blick auf die verfügbare Batterietechnologie, eine begrenzte Angebotspalette sowie komparative Nachteile bezogen auf die Lebenszykluskosten von E-Fahrzeugen infolge zumindest aktuell niedriger Preise für Benzin und Diesel. Aber auch wenn man davon ausgeht, dass sich potenzielle Nutzer nicht rational verhalten, sondern vielmehr psychologischen Effekten wie etwa einem am Status quo und an tradierten Gewohnheiten ausgerichteten Mobilitätsverhalten sowie einer hohen subjektiven Wertschätzung von – zeitlich wie räumlich – unbegrenzter Mobilität eine hohe Bedeutung zukommt, ist zumindest eine rasche Substitutionsentscheidung zugunsten von E-Fahrzeugen unwahrscheinlich. Darüber hinaus verstärkt aus psychologischer Sicht der (immer noch) vergleichsweise hohe Kaufpreis von E-Fahrzeugen die Verlustaversion potenzieller Käufer. Dies führt bei Entscheidungsprozessen unter Unsicherheit, zu denen auch die Anschaffung eines E-Fahrzeugs zu rechnen ist, dazu, dass „die Angst vor Verlust (etwa möglicher Wertverlust) stärker gewichtet wird als die Aussicht auf Gewinne (beispielsweise Einsparungen bei den Betriebskosten)“ (Bobeth/Matthies 2016: 45).

Die bezogen auf den Verkehrsbereich bestehende Hoffnung, dass eine verstärkte Nutzung von Elektrofahrzeugen aufgrund von deren Reichweitenproblem Vehikel einer zugleich steigenden Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel im Personennah- wie im -fernverkehr ist, wird unerfüllt bleiben, solange E-Fahrzeuge keinen nennenswerten Marktanteil realisieren können. Aber auch im Fall einer steigenden Nachfrage nach E-Fahrzeugen ist eine solch multimodale Verkehrsmittelwahl keineswegs zwingend zu erwarten, da dies zum einen den Ausbau des Personennahverkehrs voraussetzen würde. Zwar einigten sich Bund und Länder bereits 2015 auf eine Fortführung des 2019 auslaufenden Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes (GVFG), aus dem die Kommunen Zuschüsse für den Ausbau des Personennahverkehrs erhalten. Da jedoch die jüngst beschlossene Fortführung des GVFG keine Aufstockung der seit 1996 jährlich verteilten Mittel vorsieht, ist fraglich, ob der erforderliche Ausbau des Personennahverkehrs auch in hinreichendem Umfang erfolgen kann. Zum anderen ist nicht auszuschließen, dass eine steigende Akzeptanz von E-Fahrzeugen aufgrund der vergleichsweise niedrigen Betriebskosten zu einem Anstieg der Pkw-Nutzung führt.

Hinsichtlich der positiven Umweltwirkungen von E-Fahrzeugen ist vor dem Hintergrund der bestehenden Klimaschutzziele vor überzogenen Erwartungen zu warnen. Dies gilt insofern, als zum einen deren Klimawirkung unter Berücksichtigung des gegebenen Energiemix keineswegs positiver ausfällt als jene von (kleinen sparsamen) Benzin- oder Dieselfahrzeugen. Dies gilt umso mehr, als durch den verstärkten Einsatz von regenerativen Kraftstoffen (Biosprit) auch die Umweltbilanz von Verbrennungsmotoren noch weiter gesteigert werden kann (Klodt 2017). Auch führt eine durch die Nutzung von E-Fahrzeugen vor allem in Ballungsräumen bewirkte regionale Emissionsentlastung bezogen auf den Gesamttraum häufig lediglich zu räumlichen externen Effekten, solange deren benötigte Energie nicht annähernd vollständig aus regenerativen Quellen erzeugt wird. Zum anderen ist bei der ökologischen Bewertung von E-Fahrzeugen eine umfassende Umweltbilanz zugrunde zu legen, die neben dem kumulierten Energieaufwand des Fahrbetriebs und der Fahrzeugherstellung auch die (negativen) ökologischen Effekte des kumulierten Rohstoffaufwands berücksichtigt, was zumindest bislang noch zu komparativen Nachteilen in der Bewertung von elektrisch gegenüber konventionell angetriebenen Fahrzeugen führt (BMU 2018: 14 f.). Gleiches gilt, wenn man bei der Betrachtung des energetischen Wirkungsgrads von E-Fahrzeugen all jene Energieverluste mitberücksichtigt, die beim Aufladen der Batterie, bei der Stromerzeugung in Kraftwerken oder auch durch Leitungsverluste im Energienetz entstehen.

Sollte es entgegen den genannten entscheidungstheoretischen Vorbehalten dennoch zu einer vermehrten Nutzung von E-Fahrzeugen kommen, ist diese vor allem für den urbanen Raum zu erwarten. Dort sind vermehrt jene Bevölkerungsschichten anzutreffen, die sowohl hinsichtlich ihrer ökologischen Präferenzen als auch aufgrund ihres Pro-Kopf-Einkommens über die notwendige Zahlungsbereitschaft ebenso wie die erforderliche Zahlungsfähigkeit für den Kauf von E-Fahrzeugen verfügen. Zudem ist das Reichweitenproblem im urbanen Raum von lediglich geringer Bedeutung. Beide Punkte treffen nicht auf den ländlichen Raum zu, was zu einem dort abweichenden Mobilitätsverhalten führt. Und noch etwas zeigt sich vor allem im urbanen Raum: Bislang scheint sich die eigentliche Innovation der Elektromobilität im Bereich von elektrisch betriebe-

nen Fahrrädern und Motorrädern abzuspielen und weit weniger bezogen auf Elektroautos. Dies deutet zugleich darauf hin, dass sich aus der Elektromobilität nicht vorrangig direkte Folgen für die Raumstruktur ergeben, vielmehr scheint sich umgekehrt die bestehende Raumstruktur auf die Nutzerakzeptanz von E-Fahrzeugen auszuwirken.

Ob „reinen“ E-Fahrzeugen (BEV, FCEV) mittel- bis langfristig der Durchbruch gelingt und es damit zu grundlegenden Veränderungen innerhalb des Verkehrssektors kommt, hängt zudem sowohl vom technischen Fortschritt vor allem im Bereich der Energiespeichertechnik als auch von der Preisentwicklung auf den relevanten Rohstoff- und Energiemärkten ab, da beide Bestimmungsfaktoren einen entscheidenden Einfluss auf das Kostensenkungspotenzial bzw. die Wirtschaftlichkeit und damit die Nutzerakzeptanz von E-Fahrzeugen haben. Welchen Beitrag staatliche Fördermaßnahmen diesbezüglich leisten können, muss als offen gelten: Eine direkte Subventionierung des Kaufs von E-Fahrzeugen, wie sie aktuell in Deutschland – bei einem Gesamtvolumen von 1,2 Mrd. Euro – in Höhe von 4.000 Euro für reine E-Fahrzeuge und 3.000 Euro für Hybridfahrzeuge gewährt wird, senkt zwar kurzfristig deren Anschaffungskosten, mindert aber mittel- bis langfristig die Innovationsanreize der Hersteller zur Produktion kostengünstigerer Fahrzeuge. Auch wird in entsprechenden Kaufprämien kein geeignetes Mittel für eine nachhaltige Verbesserung der Klimabilanz des Verkehrssektors gesehen, die weit wirksamer durch die Einführung einer einheitlichen Kohlenstoffabgabe oder die Einbeziehung der Mineralölwirtschaft in den CO₂-Zertifikatehandel erreicht werden könnte (vgl. Dietrich/Leßmann/Steinkraus 2016; Klodt 2017). Dies zeigt sich etwa in Norwegen, wo zu den größten Kaufanreizen für E-Fahrzeuge die hohe CO₂-Besteuerung von Verbrennungsmotoren zählt (vgl. Bobeth/Matthies 2016). Schließlich ist zu berücksichtigen, dass die EU-Verordnung 443/2009 ab 2020 einen verschärften CO₂-Grenzwert für neue Pkw im Flottendurchschnitt vorsieht, wobei die Hersteller bei Verstößen gegen die Norm mit empfindlichen Strafen rechnen müssen. Dies wird, um solche Strafen zu vermeiden, Auswirkungen auf den Preismechanismus von E-Fahrzeugen haben, da mit deren vermehrter Herstellung die Einhaltung des neuen Grenzwerts gewährleistet werden kann: „Elektroautos werden für die Autobauer bis zu einem gewissen Volumen um mehr als 10.000 Euro pro Fahrzeug wertvoller als der Preis, den sie am Markt erzielen“ (Dudenhöffer 2018: 148). Die Hersteller haben damit einen starken Anreiz, möglichst viele E-Fahrzeuge zu verkaufen, was wiederum Preisnachlässe erwarten lässt.

Staatliche Fördermaßnahmen sollten sich in Anbetracht dessen auf den Forschungsbereich konzentrieren, um weiteren Fortschritt bei der Entwicklung leistungsfähiger Batterien zu ermöglichen oder die Erforschung des Einsatzes von Leichtbaumaterialien in der Automobilherstellung finanziell zu unterstützen. Gefördert werden sollte aber auch die Entwicklung (noch) sparsamerer Verbrennungsmotoren, da dies zumindest gegenwärtig aus gesamtwirtschaftlicher Sicht die beste Möglichkeit darstellt, um im Bereich des Individualverkehrs eine CO₂-Einsparung in nennenswerter Form zu realisieren (vgl. Klodt 2017). Dies schließt auch die Förderung der Entwicklung von sog. schadstoffarmen Designer-Kraftstoffen (wie etwa e-Crude) als Ersatz für Diesel und Benzin mit ein (vgl. Menne 2018). Eine solche Strategie, d. h. die Förderung von sparsamen Verbrennungsmotoren, wäre zudem mit dem Vorteil verbunden, auch einen Beitrag zur CO₂-Minderung im Bereich des Straßengüterverkehrs zu leisten, der von

E-Fahrzeugen – insbesondere mit Blick auf den Güterfernverkehr – kurz- bis mittelfristig nicht zwingend zu erwarten ist. Hier sind allerdings die Ergebnisse aktuell laufender Versuche mit E-Fahrzeugen im Güterfernverkehr abzuwarten. Für eine Begrenzung staatlichen Handelns auf Maßnahmen der Forschungsförderung spricht darüber hinaus, dass es dem marktlichen Wettbewerb überlassen bleiben sollte, geeignete Lösungen in Gestalt klimaschonender Antriebstechniken hervorzubringen, anstatt diese zum Gegenstand einer aktiven Subventionspolitik zu machen, die aufgrund von Fehlanreizen für Hersteller und Käufer mit unnötig hohen gesamtwirtschaftlichen Kosten verbunden sein kann.

Gegen eine staatliche Subventionierung des Kaufs von E-Fahrzeugen spricht schließlich auch, dass unter dem ökologischen Aspekt eine Elektrifizierung des öffentlichen Nahverkehrs (z. B. in Form von 10.000 Hybridbussen) den gleichen Klimanutzen wie die von der Bundesregierung für 2020 formulierte Zielvorgabe von 1 Mio. Elektroautos stiftet (vgl. Asendorpf 2015). Die gezielte Förderung von Kommunen, die zu einer entsprechenden Umrüstung ihrer Busflotte bereit sind, kann folglich zum gleichen oder sogar einem höheren ökologischen Grenzertrag führen, als dies für die staatliche Gewährung individueller Kaufprämien gilt. Aber auch nicht-monetäre Maßnahmen zur Steigerung der Nutzerakzeptanz sind nicht frei von Problemen, wie bspw. das jüngst verabschiedete Gesetz zur Förderung einer vermehrten Nutzung von E-Fahrzeugen zeigt. Mit ihm wird den Kommunen die Möglichkeit eröffnet, für E-Fahrzeuge u. a. die Nutzung von Busspuren zu erlauben oder kostenfreie Innenstadtparkplätze auszuweisen. Dies kann jedoch bei entsprechender Umsetzung sowohl zu einer unerwünschten Begünstigung PS-starker Hybridfahrzeuge (PHEV) gegenüber CO₂-armen konventionell angetriebenen Fahrzeugen beitragen als auch zu Problemen bei der Parkraumbewirtschaftung im urbanen Raum führen (vgl. Lamparter 2014).

In Anbetracht der genannten Punkte ist von einer ebenso raschen wie flächendeckenden Durchsetzung von E-Fahrzeugen gegenüber konventionell angetriebenen Fahrzeugen im Bereich des motorisierten Individualverkehrs zumindest in den nächsten 5–10 Jahren nicht auszugehen. Mit einer vermehrten Nutzung von E-Fahrzeugen wäre nur dann zu rechnen, wenn der Gesetzgeber bundeseinheitliche Regelungen – etwa in Form deutlich strengerer Emissionsgrenzwerte für private Pkws, in Gestalt vorgegebener Produktionsquoten für E-Fahrzeuge oder auch einem Nutzungsverbot von konventionell angetriebenen Fahrzeugen in städtischen Verdichtungsräumen – verabschiedet, deren Einhaltung systematisch überwacht und im Fall von Verstößen spürbar sanktioniert wird.

Literatur

- ADAC – Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. (2018): Ökobilanz gängiger Antriebstechniken – Konventionelle Antriebe sind lange nicht am Ende. <https://www.adac.de/infotestrat/umwelt-und-innovation/abgas/oekobilanz/default.aspx> (18.07.2019).
- Ahrend, C.; Delatte, A.; Kettner, S.; Schenk, E.; Schuppan, J. (2014): Multimodale Mobilität ohne eigenes Auto im urbanen Raum. Berlin.
- Arnold, H.; Kuhnert, F.; Kurtz, R.; Bauer, W. (2010): Elektromobilität – Herausforderungen für Industrie und öffentliche Hand. Frankfurt am Main.
- Asendorpf, D. (2015): Sauber? Kommt darauf an – Elektroautos sind keinesfalls automatisch sauberer als Benzin- oder Diesel. In: Die Zeit (47), 19.11.2015, 40.

- Bamberg, S. (2010): Alltagsmobilität und Verkehrsmittelwahl. In: Linneweber, V.; Lantermann, E.-D.; Kals, E. (Hrsg.): Spezifische Umwelten und umweltbezogenes Handeln. Göttingen, 549-586.
- Bamberg, S.; Schmidt, P. (2001): Theory-driven subgroup-specific evaluation of an intervention to reduce private car use. In: Journal of Applied Social Psychology 31 (6), 1300-1329.
- Bertram, M.; Bongard, S. (2014): Elektromobilität im motorisierten Individualverkehr. Grundlagen, Einflussfaktoren und Wirtschaftlichkeitsvergleich. Wiesbaden.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2018): Wie umweltfreundlich sind Elektroautos? – Eine ganzheitliche Bilanz. Frankfurt am Main.
- Bobeth, S.; Matthies, E. (2016): Elektroautos: Top in Norwegen, Flop in Deutschland? Empfehlungen aus Sicht der Umweltpsychologie. In: GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society 25 (1), 38-48.
- Bongard, S. (2014): ECAR-Studie zur Akzeptanz der Elektromobilität. Ludwigshafen.
- Boston Consulting Group (2009): The Comeback of the Electric Car? Boston.
- Bozem, K.; Nagel, A.; Rath, V.; Haubrock, A. (2013): Elektromobilität: Kundensicht, Strategien, Geschäftsmodelle. Wiesbaden.
- Bräuninger, M.; Schnaars, P.; Teuber, M. O. (2017): Die Auswirkungen der Elektromobilität auf den Strommarkt und die CO₂-Bilanz. In: Wirtschaftsdienst 97, 752-754.
- Bratzel, S. (2015): Mobilitätschip statt eigenes Auto? In: Die Zeit (23), 03.06.2015, 33.
- Bratzel, S.; Lehmann, L.; Tellermann, R. (2011): i-Car – die junge Generation und das vernetzte Auto. Empirische Befragung zu den Einstellungen und Verhaltensmustern der 18-35 Jährigen in Deutschland. Bergisch Gladbach. = CAM Working Paper 2011/03.
- Bundesregierung (2009): Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung. Berlin.
- Canzler, W.; Knie, A. (2015): Die neue Verkehrswelt – Mobilität im Zeichen des Überflusses: schlau organisiert, effizient, bequem und nachhaltig unterwegs. Berlin.
- Dangschat, J. S. (2020): Gesellschaftlicher Wandel, Raumbezug und Mobilität. In: Reutter, U.; Holz-Rau, C.; Albrecht, J.; Hülz, M. (Hrsg.): Wechselwirkungen von Mobilität und Raumentwicklung im Kontext gesellschaftlichen Wandels. Hannover, 32-75. = Forschungsberichte der ARL 14.
- Degelmann, R. (2014): Elektromobilität – ein Hype-Thema? In: VSVI Bayern – Jahreszeitschrift der Vereinigung der Straßenbau- und Verkehrsingenieure in Bayern e.V. 5, 22-29.
- Delbosc, A.; Currie, G. (2014): Changing demographics and young adult driver license decline in Melbourne, Australia (1994–2009). In: Transportation 41, 529-542.
- Destatis; WZB – Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (2016): Datenreport 2016 – Ein Sozialbericht für die Bundesrepublik Deutschland. Bonn.
- Deutsches CleanTech Institut (2010): eMobilität. CleanTech-Branche. Treiber im Fokus. Bonn.
- Dietrich, A.-M.; Leßmann, C.; Steinkraus, A. (2016): Kaufprämien für Elektroautos – Politik auf dem Irrweg? In: ifo-Schnelldienst 69 (11), 21-26.
- Döring, T. (2012): Hat die Elektromobilität eine Zukunft? In: Wirtschaftsdienst 92, 563-571.
- Döring, T.; Aigner, B. (2011): E-Mobility: Realistic Vision or Hype? In: Electrical Review 87, 37-40.
- Döring, T.; Aigner, B. (2012): Zukunftsperspektiven der Elektromobilität: Treibende Faktoren und Hemmnisse in ökonomischer Sicht. In: Wirtschaft und Gesellschaft 38, 103-132.
- Donath, N. (2014): Sound-Design für Elektroautos: Studie zur künstlichen Erzeugung markentypischer Fahrgeräusche. Hamburg.
- Dudenhöffer, F. (2014): Pkw-Neuwagen: geringere CO₂-Belastungen ohne Zusatzkosten möglich. In: Wirtschaftsdienst 94, 600-602.
- Dudenhöffer, F. (2015): Niedrige Treibstoffpreise lassen Neuwagenkäufer in alte Verhaltensmuster zurückfallen. In: Wirtschaftsdienst 95, 548-552.
- Dudenhöffer, F. (2018): Elektroautos: EU-Regulierung löst ungewohnten Preismechanismus aus. In: Wirtschaftsdienst 98, 148-150.
- Egbue, O.; Long, S. (2012): Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions. In: Energy Policy 48, 717-729.
- Europäisches Parlament; Rat der Europäischen Union (2014): Verordnung (EU) Nr. 540/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über den Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen und von Austauschschalldämpferanlagen sowie zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 70/157/EWG. Amtsblatt der Europäischen Union (27.05.2014), L 158/131-194.
- Fazel, L. (2014): Akzeptanz von Elektromobilität: Entwicklung und Validierung eines Modells unter Berücksichtigung der Nutzungsform des Carsharing. Wiesbaden.
- Frahm, C.; Pander, J. (2017): Zapfsäulen zu Steckdosen: Die Autohersteller entwickeln ein schnelleres Ladenetz für E-Autos. In: Die Zeit (2), 05.01.2017, 30.
- Fraunhofer ISI (2011): Gesellschaftspolitische Fragestellungen der Elektromobilität. Karlsruhe.

- Fraunhofer IWES/IKEM – Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität I (2013): Wissenschaftliche Unterstützung bei der Erstellung von fahrzeugbezogenen Analysen zur Netzintegration von Elektrofahrzeugen unter Nutzung erneuerbarer Energien. Kassel, Bremerhaven.
- Frenzel, I.; Jarass, J.; Trommer, S.; Lenz, B. (2015): Erstnutzer von Elektrofahrzeugen in Deutschland – Nutzerprofile, Anschaffung, Fahrzeugnutzung. Berlin.
- Frick, R.; Grimm, B. (2014): Langstreckenmobilität – Aktuelle Trends und Zukunftsperspektiven. Bern, Kiel.
- Fujii, S.; Gärling, T.; Kitamura, R. (2001): Changes in drivers' perceptions and use of public transport during a freeway closure. In: *Environment and Behavior* 33, 796-808.
- Gries, S.; Zelewski, S. (2015): Wirtschaftlichkeit von Elektronutzfahrzeugen. Wirtschaftlichkeitsanalyse als Einsatzvoraussetzung für CO₂-arme urbane Wirtschaftsverkehre. In: Proff, H. (Hrsg.): Entscheidungen beim Übergang in die Elektromobilität. Wiesbaden, 599-615.
- Hacker, F.; Waldenfels, R. von; Mottschall, R. (2015): Wirtschaftlichkeit von Elektromobilität in gewerblichen Anwendungen. Betrachtung von Gesamtnutzungskosten, ökonomischen Potenzialen und CO₂-Minderung. Berlin.
- Hidru, M.; Parsons, G.; Kempton, W.; Gardner, M. (2011): Willingness to pay for electric vehicles and their attributes. In: *Resource and Energy Economics* 33, 686-705.
- Hucko, M. (2013): Wie sicher sind Elektroautos. In: Spiegel Online, 09.11.2013
<http://www.spiegel.de/auto/aktuell/tesla-braende-experten-glauben-an-sicherheit-von-elektroautos-a-932594.html> (18.07.2019).
- Hunecke, M. (2006): Zwischen Wollen und Müssen. Ansatzpunkte zur Veränderung der Verkehrsmittelnutzung. In: *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis* 15 (3), 31-37.
- ifeu – Institut für Energie und Umweltforschung (2011): UMBReLA Umweltbilanzen Elektromobilität – Ergebnisbericht. Heidelberg.
- ifmo – Institut für Mobilitätsforschung (2011): Mobilität junger Menschen im Wandel – multimodaler und weiblicher. München.
- infas – Institut für angewandte Sozialwissenschaft; DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (2010): Mobilität in Deutschland 2008 – Struktur, Aufkommen, Emissionen, Trends. Bonn, Berlin.
- InnoZ – Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel GmbH (2014): Klimaneutraler Verkehr in Berlin 2050. Berlin.
- IW – Institut der deutschen Wirtschaft (2014): Infrastruktur zwischen Standortvorteil und Investitionsbedarf. Köln.
- Jacoby, C.; Wappelhorst, S. (2016): Potenziale neuer Mobilitätsformen und -technologien für eine nachhaltige Raumentwicklung – Fazit und Ausblick. In: Jacoby, C.; Wappelhorst, S. (Hrsg.): Potenziale neuer Mobilitätsformen und -technologien für eine nachhaltige Raumentwicklung. Hannover, 205-219. = Arbeitsberichte der ARL 18.
- Kahneman, D. (2011): *Thinking, Fast and Slow*. London.
- Karle, A. (2015): Elektromobilität: Grundlagen und Praxis. München.
- Klein, R. (2016): Elektromobilität – Entwicklung bei Pedelecs. In: Jacoby, C.; Wappelhorst, S. (Hrsg.): Potenziale neuer Mobilitätsformen und -technologien für eine nachhaltige Raumentwicklung. Hannover, 126-156.
- Klodt, H. (2017): Kaufprämien für Elektroautos: Flop für die Umwelt oder Flop für die Politik? In: *Wirtschaftswissenschaftliches Studium* 46, 1.
- Konrad, K.; Wittowsky, D. (2016): Digitalisierung der Lebenswelten junger Menschen – der Zusammenhang von virtueller und physischer Mobilität. Dortmund. = ILS-Trends 1/16.
- Kuhnimhof, T.; Armoogum, J.; Buehler, R.; Dargay, J.; Denstadli, J. M.; Yamamoto, T. (2012): Men Shape a Downward Trend in Car Use among Young Adults – Evidence from Six Industrialized Countries. In: *Transport Reviews* 32, 761-779.
- Kuhnimhof, T.; Buehler, R.; Wirtz, M.; Kalinowska, D. (2012): Travel trends among young adults in Germany: increasing multimodality and declining car use for men. In: *Journal of Transport Geography* 24, 443-450.
- Kuhnimhof, T.; Zumkeller, D.; Chlond, B. (2013): Who made peak car, and how? A breakdown of trends over four decades in four countries. In: *Transport Reviews* 33, 325-342.
- Kunert, U.; Horn, M.; Kalinowska, D.; Kloas, J.; Ochmann, R.; Schulz, E. (2008): Mobilität 2025 – Der Einfluss von Einkommen, Mobilitätskosten und Demografie. Berlin.
- Kutter, E. (2001): Alltäglicher Verkehrsaufwand zwischen Individualität und sachstruktureller Determination. In: Flade, A.; Bamberg, S. (Hrsg.): Ansätze zur Erklärung und Beeinflussung des Mobilitätsverhaltens. Darmstadt, 205-238.
- Kutter, E.; Stein, A. (1998): Minderung des Regionalverkehrs. Bonn.

- Lamparter, D. H. (2014): Auf der falschen Spur? In: *Die Zeit* (41), 01.10.2014, 33.
- Lebeau, K.; van Mierlo, J.; Lebeau, P.; Mairesse, O.; Macharis, C. (2012): The market potential for plug-in hybrid and battery electric vehicles in Flanders: A choice-based conjoint analysis. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 17, 592-597.
- Maaß, C. (2014): Damit es brummt: Eine Pkw-Maut für alle muss her. In: *Die Zeit* (37), 04.09.2014, 11.
- Mager, T. J. (2014) (Hrsg.): *Liegt die Zukunft der Elektromobilität im ländlichen Raum?* Köln.
- McDonald, N. C. (2015): Are Millennials Really the "Go-Nowhere" Generation? In: *Journal of the American Planning Association* 8, 90-103.
- Menne, K. (2018): Was tanken wir morgen? In: *Die Zeit* (3), 11.01.2018, 35.
- Moons, I.; Pelsmacker, P. De (2012): Emotions as determinants of electric car usage intention. In: *Journal of Marketing Management* 28 (3-4), 195-237.
- NPE – Nationale Plattform Elektromobilität (2014): *Fortschrittsbericht 2014 – Bilanz der Marktvorbereitung*. Berlin.
- Nykqvist, B.; Nilsson, M. (2015): Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. In: *Nature Climate Change* 5, 329-332.
- Papendick, K.; Brennecke, U.; Sánchez Márquez, J. S.; Deml, B. (2012): *Nutzerverhalten beim Laden von Elektrofahrzeugen*.
http://www.iaf-ag.ovgu.de/inaiafag_media/downloads/publikationen/Nutzerverhalten+beim+Laden+von+Elektrofahrzeugen.pdf (11.09.2019).
- Paternoga, S.; Pieper, N.; Woisetschläger, D.; Beuscher, G.; Wachalski, T. (2013): *Akzeptanz von Elektrofahrzeugen – Aussichtsloses Unterfangen oder große Chance?* Wolfsburg.
- Peters, A.; Hoffmann, J. (2011): *Nutzerakzeptanz von Elektromobilität*. Karlsruhe.
- Pischinger, S.; Seiffert, U. (2016) (Hrsg.): *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*. Wiesbaden.
- Reutter, U.; Wittowsky, D. (2020): Technologische Neuerungen und mögliche Folgen für Raum und Verkehr. In: Reutter, U.; Holz-Rau, C.; Albrecht, J.; Hülz, M. (Hrsg.): *Wechselwirkungen von Mobilität und Raumentwicklung im Kontext gesellschaftlichen Wandels*. Hannover, 196-218. = *Forschungsberichte der ARL* 14.
- Schönduwe, R.; Bock, B.; Deibel, I. (2012): *Alles wie immer, nur irgendwie anders? Trends und Thesen zu veränderten Mobilitätsmustern junger Menschen*. Berlin.
- Schraven, S.; Kley, F.; Wietschel, M. (2010): *Induktives Laden von Elektromobilen – Eine techno-ökonomische Bewertung*. Karlsruhe. = *Fraunhofer ISI – Working Paper Sustainability and Innovation* S 8/2010.
- Schreckenberger, M. (2015): *Mobilität und Mensch: Wie geht es weiter?* In: Korthauer, R. (Hrsg.): *Handbuch Elektromobilität*. Frankfurt am Main, 15-27.
- Smarterfahren (2018): *Welche Reichweite haben Elektroautos?*
<https://www.smarter-fahren.de/elektroautos-reichweite/> (18.07.2019).
- Steinhilber, S.; Wells, P.; Thankappan, S. (2013): Socio-technical inertia: Understanding the barriers to electric vehicles. In: *Energy Policy* 60, 531-539.
- Sterner, M.; Eckert, F.; Thema, M.; Bauer, F. (2015): *Der positive Beitrag dezentraler Batteriespeicher für eine stabile Stromversorgung*. Regensburg.
- Thaler, R. H.; Sunstein, C. R. (2012): *Nudge – Wie man kluge Entscheidungen anstößt*. Berlin.
- Teufel, D.; Arnold, S.; Bauer, P.; Schwarz, T. (2015): *Ökologische Folgen von Elektroautos – ist die staatliche Förderung von Elektro- und Hybridautos sinnvoll?* Heidelberg. = *UPI-Bericht* 79.
- UBA – Umweltbundesamt (2016): *Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen*. Dessau-Roßlau. = *Texte* 27/2016.
- US Department of Transportation – National Highway Traffic Safety Administration (2009): *Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles*. Washington DC.
- Van Wee, B. (2015): Peak car: The first signs of a shift towards ICT-based activities replacing travel? A discussion paper. In: *Transport Policy* 42, 1-3.
- Wallentowitz, H. (2013): *Fokus Batterie – Zur technischen Entwicklung von Elektroautos*. In: Keichel, M.; Schwedes, O. (Hrsg.): *Das Elektroauto – Mobilität im Umbruch*. Wiesbaden, 127-152.
- Weber, J. (2016): *Elektromobilität als Impulsgeber für ländliche Räume: Erste Erfahrungen aus dem südbayerischen Automobilcluster und dem Modellprojekt Elektromobilität im Bayerischen Wald (E-Wald)*. In: Jacoby, C.; Wappelhorst, S. (Hrsg.): *Potenziale neuer Mobilitätsformen und -technologien für eine nachhaltige Raumentwicklung*. Hannover, 87-106.
- Ziegler, A. (2012): Individual characteristics and stated preferences for alternative energy sources and propulsion technologies in vehicles: A discrete choice analysis for Germany. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 46, 1372-1385.

Autor und Autorin

Thomas Döring (*1963), Prof. Dr. rer. pol., Studium der Volkswirtschaftslehre und der Soziologie (jeweils Diplom) in Marburg; 1994 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin; 1997 Promotion und 2001 Habilitation, beides an der Philipps-Universität Marburg; 2003–2006 Referent für Hochschulentwicklungsplanung an der Universität Kassel; 2006–2011 Professur für Volkswirtschaftslehre mit Schwerpunkt öffentliche Finanzwirtschaft, 2008–2011 Leiter des Forschungszentrums für Interregionale Studien und Internationales Management (ISMA), beides an der Fachhochschule Kärnten; seit 2011 Professur für Politik und Institutionen mit Schwerpunkt Institutionenökonomik an der Hochschule Darmstadt, dort auch seit 2012 Leiter des Zentrums für Forschung und Entwicklung (ZFE) sowie seit 2015 Leiter des Servicezentrums Forschung und Transfer (SFT); Forschungsschwerpunkte: Umwelt- und Verbraucherökonomik, Stadt- und Regionalökonomik sowie Fiskalföderalismus und Kommunalfinanzen.

Birgit Aigner-Walder (*1983), Dr. der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften, Diplomstudium Public Management in Spittal/Drau und Halberstadt; im Anschluss Forschung (und Lehre) an der Fachhochschule Kärnten (2005–2011 Wissenschaftliche Mitarbeiterin; 2012–2014 Nebenberuflich Lehrende), der University of Illinois at Urbana-Champaign (2008 und 2010 Visiting Scholar) und dem Institut für Höhere Studien Kärnten (2011–2014 Senior Researcher; 2016–2018 Freie Dienstnehmerin); 2012 Promotion an der Universität Klagenfurt; seit 2014 Professorin für Volkswirtschaftslehre an der Fachhochschule Kärnten; seit 2016 Leiterin des Departments „Demographic Change and Regional Development“ am Institute for Applied Research on Ageing (IARA); Forschungsschwerpunkte: Regionalökonomik, Öffentliche Finanzen und Bevölkerungsökonomik.