Agora Verkehrswende

Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern

12 Thesen zur Verkehrswende

Impressum

Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern

Eine Diskussion zu den wichtigsten Herausforderungen der Verkehrswende (Langfassung)

Dieses Dokument skizziert grundlegende Thesen zur Verkehrswende, die das Team von Agora Verkehrswende entwickelt hat. Für die Publikation ist ausschließlich der Direktor verantwortlich, die Mitglieder des Rates tragen hierfür keine Verantwortung.

ERSTELLT VON

Agora Verkehrswende
Anna-Louisa-Karsch-Str. 2 | 10178 Berlin
T +49 (0)30 700 14 35-000
F +49 (0)30 700 14 35-129
www.agora-verkehrswende.de
info@agora-verkehrswende.de

PROJEKTLEITUNG

Christian Hochfeld

DURCHFÜHRUNG

Autoren: Christian Hochfeld, Alexander Jung, Anne Klein-Hitpaß, Dr. Urs Maier, Kerstin Meyer, Dr. Fritz Vorholz

Redaktion: Dr. Fritz Vorholz

Korrektorat: Anne Vonderstein
Satz: Juliane Franz
Titelbild: xijian/iStock

Veröffentlichung: März 2017
01-2017-DE

Gedruckt auf 100 % Recycling Naturpapier

Bitte zitieren als:
Agora Verkehrswende (2017): Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern. 12 Thesen zur Verkehrswende

Vorwort

Neben „kindergarten" und „zeitgeist" hat sich der Begriff „the German Energiewende" im angelsächsischen Sprachgebrauch eingebürgert. Das Projekt zum Ausstieg aus der Atomenergie und zum Klimaschutz ist eben ein Exportschlager, sogar sprachlich. Im Gegensatz dazu müssen wir für das deutsche Wort Verkehrswende im internationalen Diskurs noch immer nach einer umständlichen Übersetzung suchen – *Transformation of the Transport Sector*. Der Grund dafür: Die Verkehrswende, die weitgehende Dekarbonisierung des Verkehrssektors, hat in Deutschland kaum begonnen.

Dabei ist sie dringend nötig, um die nationalen und internationalen Klimaschutzziele zu erreichen. Was zu tun ist, damit sie möglich wird, möchten wir mit den 12 Thesen zur Verkehrswende dokumentieren. Wir verstehen das Thesenpapier nicht als fertiges Konzept, gleichwohl als „Karte und Kompass" für unser zukünftiges Arbeitsprogramm. Karte deshalb, weil es die Handlungsfelder und Themen beschreibt, die für die Navigation in Richtung Verkehrswende relevant sind. Kompass, weil die Thesen glasklar auf ein Ziel ausgerichtet sind: auf den Abschied von fossilem Öl und Gas bis zum Jahr 2050. Der kontroverse Diskurs um den schon weitaus früher notwendigen Kohlekonsens zeigt eines deutlich: Wer nicht beizeiten dafür sorgt, das Alte aus der Welt zu schaffen, wird wenig Erfolg haben, das Neue in den Markt zu bringen – die Erneuerbaren Energien.

Doch die Verkehrswende ist mehr als eine Energiewende im Verkehr, mehr als das, was mitunter Antriebswende genannt wird – nach der Devise: weg vom Verbrennungsmotor, hin zur Elektromobilität. Vielmehr gilt, dass die Verkehrswende nicht erfolgreich sein kann, wenn wir nicht unser Verkehrssystem und -verhalten ändern. Damit wird aber auch klar: Mehr noch als die Energiewende spielen Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz eine Rolle. Die Verkehrswende setzt einen gesellschaftlichen Strukturwandel in Gang, der die mit der Energiewende verbundenen Veränderungen an Komplexität übertrifft. Umso wichtiger ist es, Mehrheiten zu gewinnen, die es heute scheinbar noch nicht gibt. Dabei hat die Verkehrswende einen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Mehrwert über den Klimaschutz hinaus. Auch dieser Aspekt wird in unseren Thesen adressiert.

Der Klimaschutzvertrag von Paris hat ein ambitioniertes Ziel vorgegeben. Die Bundesregierung hat mit ihrem Klimaschutzplan 2050 dieses Ziel auf Deutschland heruntergebrochen und erstmals in der Geschichte auch für den Verkehrssektor in Deutschland anspruchsvolle Ziele gesetzt. Nun gilt es, gemeinsam den besten Weg zu finden – und dann auch zu gehen.

Mit den 12 Thesen zur Verkehrswende laden wir Sie ein zur gemeinsamen Diskussion. Anregungen, Kommentare und Kritik sind willkommen! Lassen Sie uns gemeinsam daran arbeiten, die Verkehrswende in Deutschland zu gestalten und damit die Mobilität von morgen zu sichern.

Vor dem Hintergrund der hohen Veränderungsdynamik im Bereich der Mobilität und der Verkehrstechnologien verstehen wir unser Thesenpapier als *living document*, das wir zum gegebenen Zeitpunkt aktualisieren werden. Wer hätte vor drei Jahren gedacht, mit welch enormer Geschwindigkeit die Kosten für Antriebsbatterien fallen? Wer könnte heute verlässlich wissen, welche Bedeutung private Pkw in Zukunft für die Bevölkerung haben?

Wie wird wohl in einigen Jahren im internationalen Diskurs über die Verkehrswende gesprochen? Unser Ziel wäre: *„The Verkehrswende is about to complete the success of the Energiewende in Germany."* –
Was denken Sie?

Christian Hochfeld
für das Team von Agora Verkehrswende
Berlin, 28. März 2017

Inhalt

Vorwort 3

Präambel
Nur mit der Verkehrswende ist die Vollendung der Energiewende möglich. 9

These 01
Die Verkehrswende gelingt mit der Mobilitätswende und der Energiewende im Verkehr. 15

These 02
Effizienz ist Leitprinzip der Verkehrswende. 23

These 03
Die Mobilitätswende hat in den Städten bereits begonnen. 27

These 04
Auch das Land wird von der Mobilitätswende profitieren. 37

These 05
Autonome Fahrzeuge werden gemeinschaftlich genutzt. 43

These 06
Elektromobilität ist der Schlüssel der Energiewende im Verkehr. 53

These 07
Klimaneutrale Kraftstoffe ergänzen Strom aus Wind und Sonne. 61

These 08
Beim Güterverkehr gilt: Schiene stärken, Straße dekarbonisieren. 67

These 09
Stromversorgung und Verkehr profitieren von der Sektorenkopplung. 75

These 10
Verkehrsinfrastruktur wird neu gedacht, geplant und finanziert. 79

These 11
Die Verkehrswende sichert den Industriestandort Deutschland. 85

These 12
Der gesellschaftliche Nutzen der Verkehrswende wird zu ihrem Treiber. 91

Literaturverzeichnis 95

Präambel

Nur mit der Verkehrswende ist die Vollendung der Energiewende möglich.

Foto: Mike_Kiev / iStock

Mobilität und Verkehr sind Garanten für Wohlstand und wirtschaftliche Prosperität. Wie kaum ein anderer Faktor bestimmen sie den Alltag arbeitsteiliger Gesellschaften. Mobilität ermöglicht es Menschen, zu ihren Arbeitsplätzen zu gelangen und Besorgungen zu erledigen, Freunden und Familienmitgliedern zu begegnen und fremde Länder und Landschaften kennenzulernen. Mobilität ist damit Voraussetzung für die Teilhabe am sozialen Leben und trägt maßgeblich zur Stabilität von Gesellschaften bei. Aber auch die internationale Arbeitsteilung und der Transport von Gütern sind ohne Mobilität und ihre Realisierung durch Verkehr nicht denkbar. Viele Menschen erhalten so die Möglichkeit, Waren aus fernen Ländern zu erwerben oder die Produkte eigenen Schaffens in der Ferne anzubieten. Die Globalisierung ist zuweilen zu weit getrieben worden, doch per saldo hat sie die Völker der Erde zusammenrücken lassen. Ohne Verkehr wäre das unmöglich geblieben.

Verkehr hat allerdings oft auch Begleiterscheinungen, die Gesundheit und Lebensqualität beeinträchtigen. Verkehr verursacht Lärm und Schadstoffe, beansprucht Fläche und zerschneidet Landschaften. Diese Erkenntnis formulierte der Sachverständigenrat für Umweltfragen bereits 1973 in seinem ersten Gutachten. Darin heißt es, Verkehr könne für die Allgemeinheit sogar „mehr Schaden als Nutzen stiften".[1]

Was der Umweltrat vor beinahe 50 Jahren feststellte, gilt heute für viele Länder der Erde, insbesondere für viele ihrer Metropolen. Und es gilt nach wie vor auch für Deutschland.

Aktuell ist der Verkehrssektor Deutschlands größter Energieverbraucher und nach der Energiewirtschaft zweitgrößter Emittent von Treibhausgasen. Insofern spielt er eine herausragende Rolle sowohl für die Energiewende als auch für den Klimaschutz. Beides kann nur mit dem Verkehrssektor, nicht ohne ihn gelingen.

Bis heute ist der Verkehr allerdings absolute Beiträge zum Klimaschutz und zum Erreichen der Energiewendeziele der Bundesregierung schuldig geblieben. Umgekehrt hat auch die Energiewendepolitik bisher kaum Spuren im Verkehrsbereich hinterlassen. Der Endenergieverbrauch des Verkehrs steigt an, die CO_2-Emissionen stagnieren auf hohem Niveau und auch die Abhängigkeit von nur einem einzigen Energieträger, dem Mineralöl, nimmt zu. Neue Technologien und Antriebsenergien konnten sich bisher noch nicht durchsetzen.

Mittlerweile ist erkennbar, dass die Emissionen des Verkehrssektors in den kommenden Jahren allenfalls unwesentlich sinken werden. Auch deshalb wird Deutschland seine nationalen Klimaschutzziele für 2020 mit hoher Wahrscheinlichkeit verfehlen. Setzt sich dieser Trend längerfristig fort, wird Deutschland darüber hinaus auch seinen Beitrag zur Begrenzung der weltweiten Temperaturerhöhung auf maximal zwei Grad gegenüber der vorindustriellen Ära nicht leisten können. Mit dem Inkrafttreten des Paris-Abkommens ist dieses Ziel Bestandteil des Völkerrechts geworden.

Der Verkehrssektor trägt bislang nicht zum Klimaschutz bei.

Nach der Energiewirtschaft, also vor allem den fossil befeuerten Kraftwerken, ist der binnenländische Verkehr die größte Quelle von Treibhausgasen (THG). Insgesamt sind Deutschlands Treibhausgasemissionen zwischen 1990 und 2016 von knapp 1,251 Mrd. Tonnen CO_2-Äquivalenten auf 906 Mio. Tonnen gesunken, also um 345 Mio. Tonnen CO_2-Äquivalente. Die Emissionen des Verkehrs sind unterdessen nach einem deutlichen Anstieg in den 1990er Jahren zwar wieder heruntergegangen, in den vergangenen Jahren allerdings erneut etwas gestiegen. Per saldo liegen sie nun mit 166 Mio. Tonnen sogar etwas über auf dem Niveau des Jahres 1990 (163 Mio. Tonnen THG-Äquivalente). Der Anteil des Verkehrs an den nationalen Treibhausgasemissionen lag 1990 bei gut 13 Prozent, bis zum Jahr 2016 stieg er auf 18 Prozent an. Damit hat der Anteil des Verkehrs an den nationalen Treibhausgasemissionen um ein gutes Drittel zugenommen.[2]

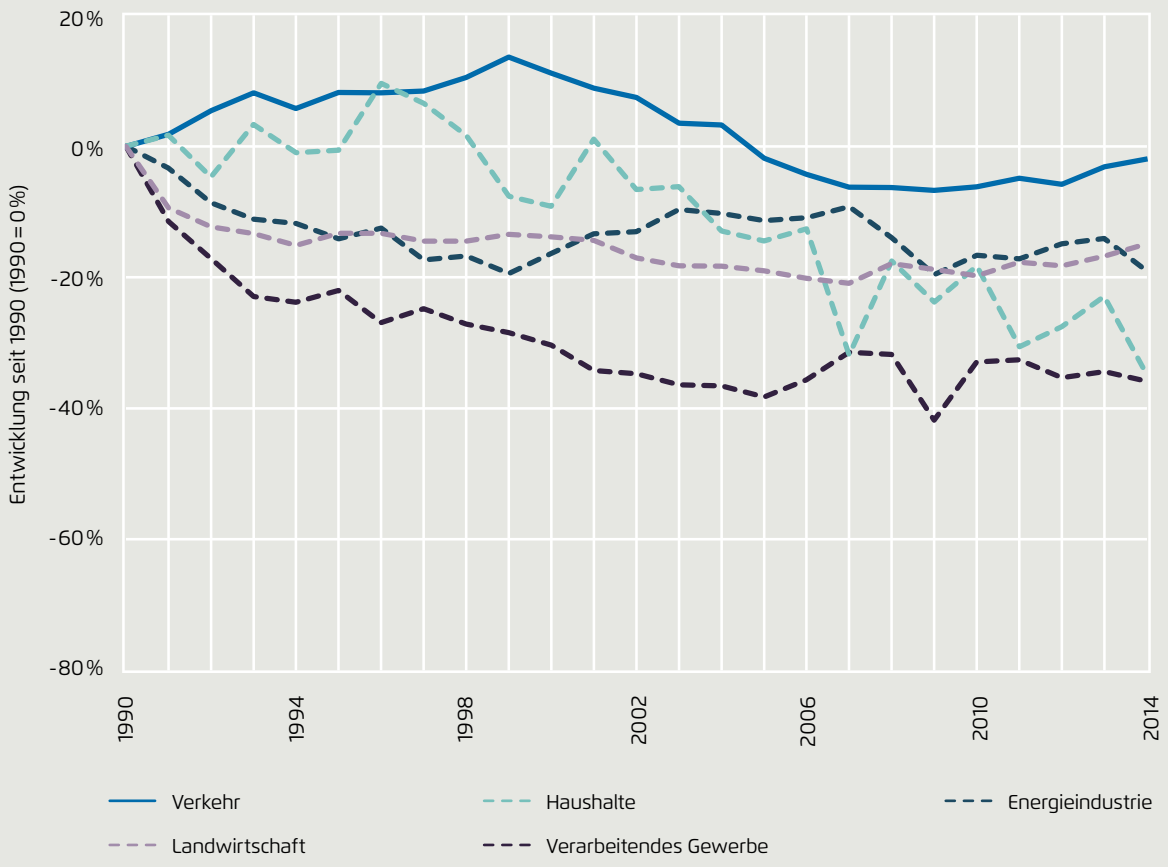
Zuzuschreiben ist das vor allem den emissionsintensiven Transportmitteln Pkw und Lkw, die sowohl beim Personen- als auch beim Gütertransport dominieren.[3] Sie verursachen fast sämtliche transportbedingten CO_2-Emissionen aus dem Straßenverkehr, ebenso wie die zwar

1 SRU (1973), S. 1

2 Alle Daten laut UBA (2017a) und UBA (2017d)

3 BMVI (2016a), S. 221 f. und S. 246 f.

Relative Entwicklung der Treibhausgasemissionen seit 1990 nach Kategorien — Abbildung 0.1



Eigene Darstellung nach UBA (2016e), S. 73

sinkenden, aber nach wie vor in gesundheitsschädlichen Mengen emittierten Luftschadstoffe.[4] Das Umweltbundesamt beziffert die Umweltkosten des Straßenverkehrs einschließlich Lärm und Flächenverbrauch auf 52,2 Mrd. Euro (2014).[5]

Die Emissionsentwicklung vollzog sich vor dem Hintergrund eines steigenden Verkehrsaufkommens und einer steigenden Verkehrsleistung. Im motorisierten Individualverkehr stieg die Verkehrsleistung allein zwischen 2005 und 2015 um rund acht Prozent, im Straßengüterverkehr um rund 14 Prozent.[6] Doch während die Menge der Luftschadstoffe nicht nur relativ, sondern auch absolut deutlich sank,[7] blieb der CO_2-Ausstoß des Verkehrs nahezu konstant. Demgegenüber verminderten sich die Emissionen der privaten Haushalte trotz steigender Wohnfläche[8] – und die des Verarbeitenden Gewerbes trotz steigender Produktion (vgl. Abbildung 0.1).

4 Auskunft des UBA, Emissionen des Straßenverkehrs in Tonnen 2014, Tremod 5.63

5 UBA (2016f), S. 36

6 BMVI (2016a), S. 218 f. und S. 244 f.

7 UBA (2016e)

8 So sind zwischen 2005 und 2014 trotz steigender Wohnfläche die direkten und indirekten Emissionen im Bedarfsfeld Wohnen um sechs Prozent gesunken. Siehe Destatis (2016b), S. 569 sowie UBA (2016d)

Auch der Energieverbrauch des Verkehrssektors entwickelt sich gegenläufig zum nationalen Gesamttrend. Deutschlands Endenergieverbrauch war 2015 gut sechs Prozent niedriger als 1990. Dazu haben in den ersten zehn Jahren nach der Wiedervereinigung die Industrie und das Gewerbe maßgeblich beigetragen, später vor allem die privaten Haushalte. Demgegenüber verbraucht der Verkehrssektor heute zehn Prozent mehr Endenergie als 1990, gut ein Prozent mehr im Vergleich zu 2005 und sogar gut zwei Prozent mehr im Vergleich zu 2010; sein Anteil am deutschen Endenergieverbrauch liegt inzwischen bei rund 30 Prozent (vgl. Abbildung 0.2). Diese Entwicklung konterkariert das Ziel der Bundesregierung, den Endenergieverbrauch des Verkehrs bis zum Jahr 2020 im Vergleich zu 2005 um zehn Prozent und bis 2050 um 40 Prozent zu senken.[9]

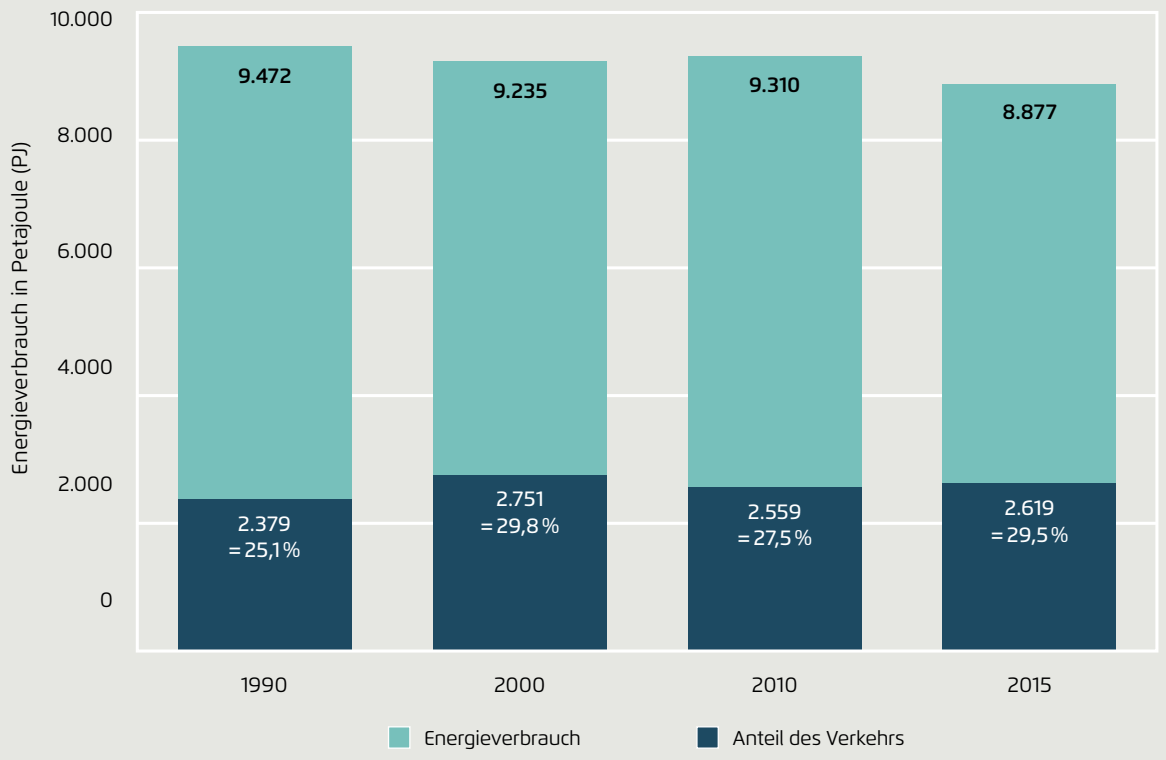
9 Bundesregierung (2010), S. 5

Vorerst wird im Verkehrssektor nicht nur mehr Endenergie umgesetzt als in jedem anderen Sektor der Volkswirtschaft;[10] der Verkehrssektor ist auch mit Abstand der größte Verbraucher von Mineralöl in Deutschland.[11] Als Energieträger hat Mineralöl im Verkehr sogar fast ein Monopol: 94 Prozent aller im Verkehrssektor verbrauchten Energie bestehen aus Mineralöl. Elektrischer Strom steuert nur in vernachlässigbarem Umfang zur Deckung des Energiebedarfs im Verkehr bei; zudem sinkt der Beitrag des Stroms seit einigen Jahren, absolut und relativ – während er in allen anderen Sektoren der Volkswirtschaft wächst.[12]

10 AGEB (2016a)
11 BMWi (2016a)
12 AGEB (2016a)

Entwicklung des jährlichen Endenergieverbrauchs in Deutschland und Anteil des Verkehrs

Abbildung 0.2



Eigene Darstellung nach AGEB (2016a)

Das Pariser Klimaschutzabkommen verlangt die Dekarbonisierung des Verkehrs bis 2050.

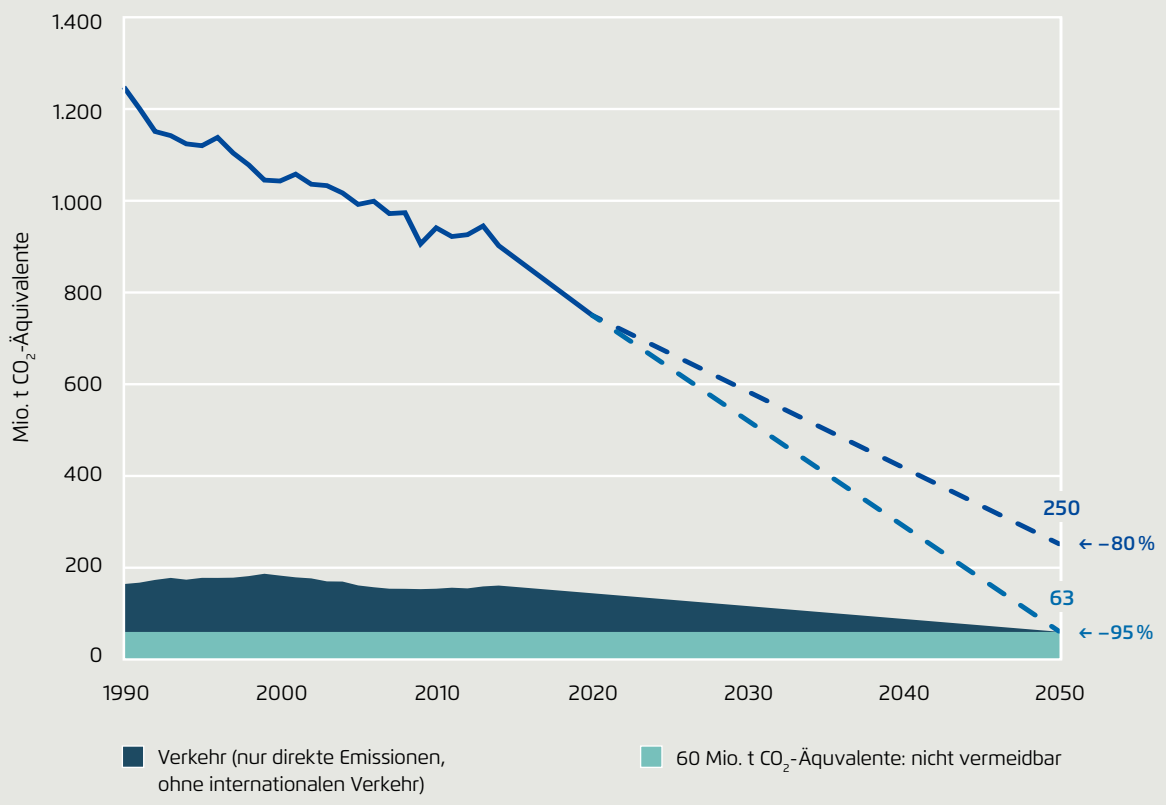
Der ungebrochen hohe Energieverbrauch und die nur relative Entkopplung der CO_2-Emissionen vom Verkehrswachstum gefährden die Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele, welche die Bundesregierung im Herbst 2010 beschlossen und im Klimaschutzplan 2050 konkretisiert hat. Diese Ziele erfordern die Transformation des Verkehrssektors.

Laut Energiekonzept vom September 2010 strebt die Bundesregierung an, Deutschlands Treibhausgasemissionen bis 2050 im Vergleich zu 1990 um 80 bis 95 Prozent zu senken – das entspricht einem verbleibenden Emissionskorridor von rund 63 bis 250 Mio. Tonnen CO_2-Äquivalente (vgl. Abbildung 0.3).[13] Im Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung vom November 2016 ist darüber hinaus von einem weltweit „vollständigen Umstieg auf ein Wirtschaften ohne Treibhausgasemissionen" im Laufe des Jahrhunderts die Rede; für Deutschland wird das Ziel einer „weitgehenden Treibhausgasneutralität bis 2050" genannt.[14]

13 Bundesregierung (2010), S. 4 sowie UBA (2016c). Die Minderungsziele für Treibhausgasemissionen und für den Energieverbrauch beziehen sich auf die in Deutschland getankten Kraftstoffmengen. Der internationale zivile Luftverkehr und der Seeverkehr bleiben bei den Zielfestlegungen unberücksichtigt. Diese Abgrenzung liegt auch den Thesen der Agora Verkehrswende zugrunde.

14 Bundesregierung (2016b), S. 6 und S. 9

Mögliche Entwicklungspfade der Treibhausgasemissionen in Deutschland bis 2050 — Abbildung 0.3



Eigene Darstellung nach UBA (2014), S. 38, UBA (2017a), Bundesregierung (2010), S. 4

Erstmals hat die Bundesregierung im Klimaschutzplan 2050 auch für den Verkehrssektor sowohl ein Mittelfrist- wie auch ein Langfristziel für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen definiert. Bereits bis zum Jahr 2030 soll der Verkehr seine Emissionen um 40 bis 42 Prozent gegenüber 1990 reduziert haben, im Jahr 2050 soll er „nahezu unabhängig von Kraftstoffen mit fossilem Kohlenstoff und somit weitgehend treibhausgasneutral sein".[15]

Schon die Abschlusserklärung des G7-Gipfels 2015 in Elmau hatte die politische Absicht zum Ausdruck gebracht, auch den Verkehrssektor in Richtung Kohlenstofffreiheit umzugestalten. Darin heißt es, tiefe Einschnitte bei den weltweiten Treibhausgasemissionen seien erforderlich, „einhergehend mit einer Dekarbonisierung der Weltwirtschaft im Laufe dieses Jahrhunderts".[16]

Dieses Ziel entspricht dem Postulat des völkerrechtlich verbindlichen *Paris Agreement*, wonach die Erderwärmung bei „deutlich unter zwei Grad über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen" ist und die globalen Netto-Emissionen von Treibhausgasen in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts auf null zu senken sind.[17] Schon heute ist evident, dass sich dieses Ziel nicht erreichen lässt, ohne früher oder später sogenannte negative Emissionen[18] herbeizuführen. Das ist teuer und politisch nur schwer durchsetzbar, wie die Auseinandersetzung um die unterirdische Lagerung von CO_2 bereits gezeigt hat.

Daraus folgt, dass bis auf den unvermeidbaren Rest[19] eine vollständige Emissionsreduktion anzustreben, also die Volkswirtschaft zu dekarbonisieren ist – einschließlich des Verkehrssektors.

Dafür spricht auch die Logik des vom Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) entwickelten Budgetansatzes. Demnach beträgt das für den Zeitraum 2010 bis 2050 weltweit zur Verfügung stehende CO_2-Budget aus fossilen Quellen noch 750 Mrd. Tonnen CO_2, soll die Zwei-Grad-Leitplanke „mit hoher Wahrscheinlichkeit" eingehalten werden.[20] Bei einer gleichmäßigen Verteilung des zulässigen Budgets auf die Weltbevölkerung stünde Deutschland laut WBGU für den gesamten Zeitraum bis 2050 ein Emissionsbudget von neun Mrd. Tonnen CO_2 zu, 220 Mio. Tonnen pro Jahr. Mit gegenwärtig jährlichen CO_2-Emissionen von rund 160 Mio. Tonnen würde allein der Verkehrssektor fast drei Viertel davon beanspruchen. Eine derartige Privilegierung des Verkehrssektors gegenüber der Industrie oder den privaten Haushalten ist nicht zu begründen.

Im Gegensatz zu dieser Herausforderung hat unter anderem der Rückgang des Ölpreises sogar einen Anstieg des verkehrsbedingten Energieverbrauchs und der Emissionen bewirkt. Amtlichen Prognosen zufolge wird die Emissionsentwicklung auch in Zukunft weit hinter dem erforderlichen Umfang zurückbleiben.[21] Diese Diskrepanz zwischen Ziel und Wirklichkeit offenbart den enormen politischen Handlungsbedarf.

15 Bundesregierung (2016b), S. 26 und S. 48

16 Bundesregierung (2015), S. 17

17 UNFCCC (2016a), S. 21 (Artikel 2 und Artikel 4). Dass die „entwickelten Länder" dabei „die Führung übernehmen" sollen, also ihre Treibhausgasemissionen entsprechend schneller zu senken haben, ist bereits seit Inkrafttreten der Klimakonvention im Jahr 1994 Bestandteil des Völkerrechts. Vgl. UNFCCC (1992), Artikel 3

18 Der Begriff negative Emissionen bezeichnet Technologieoptionen, die über Emissionsminderungen hinaus der Atmosphäre Treibhausgase entziehen. Dies gelingt zum Beispiel durch die Kombination von verstärktem Bioenergie-Einsatz mit der Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid. Siehe Geden, O.; Schäfer, S. (2016)

19 Nach heutigem Wissen gelten Emissionen in Höhe von 60 Mio. Tonnen CO_2-Äquivalenten aus den Sektoren Industrie und Landwirtschaft als unvermeidbar. Siehe UBA (2014), S. 38

20 Unterstellt ist dabei eine Wahrscheinlichkeit von 67 Prozent. Siehe WBGU (2009), S. 27 ff. Seit dem Erscheinungsjahr der WGBU-Studie sind jährlich rund 30 Mrd. Tonnen CO_2 emittiert worden; das Emissionsbudget ist entsprechend kleiner geworden. Hinzu kommt eine weitere Verringerung aufgrund der Verschärfung des Klimaschutzziels durch das Paris Agreement.

21 Laut Projektionsbericht der Bundesregierung (2016c), S. 300 sinken die Emissionen bis 2030 im Vergleich zu 2005 lediglich um 18 Prozent, laut Ifeu, INFRAS, LBST (2016), S. 32 und S. 202 bis zum Jahr 2050 um gut 40 Prozent.

These
01

Die Verkehrswende gelingt mit der Mobilitätswende und der Energiewende im Verkehr.

Foto: mbbirdy / iStock

Energie ist ein knappes Gut. Das gilt nicht nur für fossile Energieträger, sondern auch für Erneuerbare Energien. Doch selbst wenn es für die Energiegewinnung aus Sonnenstrahlung und Windkraft, aus Biomasse und Wasserkraft keine technischen Potenzialgrenzen gäbe, würde ihr massiver Ausbau Mensch und Umwelt mit unerwünschten Wirkungen konfrontieren. Denn umweltneutral sind auch die Erneuerbaren nicht.

Obwohl die gesellschaftliche Akzeptanz der Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen generell hoch ist, sind vor allem Windkraftanlagen schon heute nicht überall willkommen.[22] Diese Akzeptanzproblematik dürfte sich mit der wachsenden Zahl von Windkraftanlagen noch verschärfen.[23] Daraus folgt, dass klimaneutrale Energien sparsam zu nutzen sind, zumal auf diese Weise die Kosten ihrer Erzeugung begrenzt werden.

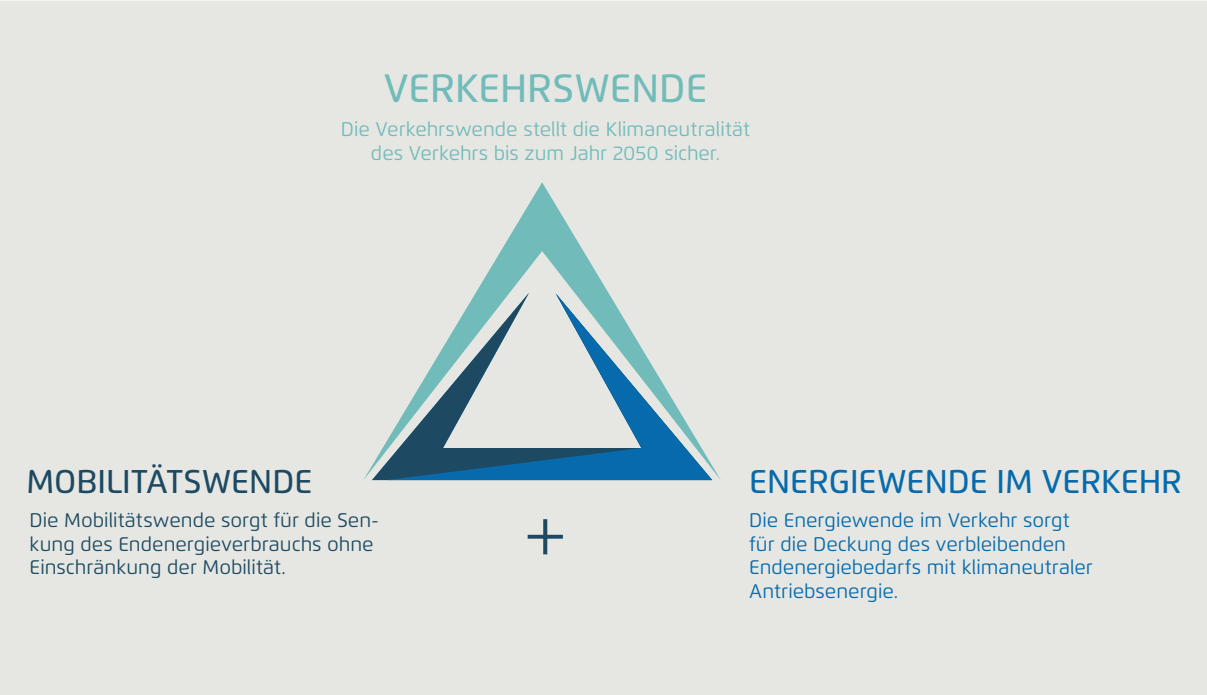
22 Tagesspiegel (2016)

23 Ende 2016 gab es in Deutschland 28.217 Windkraftanlagen. 2016 trug die Windkraft 11,9 Prozent zur Bruttostromerzeugung bei. Siehe BWE(2017) sowie AGEB(2016b)

Der Umstand, dass auch klimaneutrale Energien zumindest mittelfristig nicht im Überfluss vorhanden sind, hat Folgen für die Strategie zur Verkehrswende. Sie ist weit mehr als eine Antriebswende, die lediglich den Austausch der Antriebssysteme von Fahrzeugen zum Ziel hat. Vielmehr geht es darum, den Energieverbrauch zu senken und den verbleibenden Energiebedarf mit klimaneutraler Energie zu decken. Notwendigerweise ruht die Verkehrswende damit auf zwei Säulen: auf der Mobilitätswende – und auf der Energiewende im Verkehr (vgl. Abbildung 1.1).

Die Mobilitätswende sorgt dafür, dass der Endenergieverbrauch des Verkehrssektors ohne Einschränkung der Mobilität sinkt. Gestützt auf technologische Entwicklungen erweitert sich das Verkehrsangebot und multimodales Verkehrsverhalten wird erleichtert. Flankiert durch politische Rahmensetzung und befördert durch generelle gesellschaftliche Trends wird es auf diese Weise möglich, bislang nicht gehobene Potenziale der Vermeidung, der Verlagerung und der Verbesserung des Verkehrs zu erschließen.

Die Geometrie der Verkehrswende — Abbildung 1.1



Eigene Darstellung

Demgegenüber ist die Energiewende im Verkehr vor allem eine technische Herausforderung, die allerdings ebenfalls politischer Gestaltung bedarf. Ziel der Energiewende ist es sicherzustellen, dass der verbleibende Endenergiebedarf des Verkehrs mit klimaneutralen Antriebsenergien gedeckt wird und dass diese Energien in motorisierten Fahrzeugen effizient und sparsam eingesetzt werden.

Die Mobilitätswende ermöglicht Mobilität mit weniger Verkehr.

Menschen haben den Wunsch nach Mobilität, weil sie bestimmte Bedürfnisse nicht an ihrem aktuellen Aufenthaltsort befriedigen können. Mobilität ist aber nicht gleichzusetzen mit Verkehr, der lediglich das Mittel zum Zweck darstellt: dem Zweck der Distanzüberwindung. Tatsächlich kann Mobilität mit kurzen oder mit langen Wegen verbunden sein, sie kann großen Verkehrsaufwand verursachen oder geringen, sie kann mit hohem Energie- und Umweltverbrauch einhergehen oder mit niedrigem. Jedenfalls sind zurückgelegte Kilometer kein Maßstab für Mobilität.[24]

Die Entwicklung der Siedlungsstrukturen während der vergangenen Jahrzehnte hat Verkehr erzeugt und Verkehrsströme wachsen lassen; die Ursachen dieser verkehrserzeugenden Strukturen sind schnell nicht wieder zu ändern.[25] Gleichzeitig wurde das Verkehrshandeln und -verhalten jahrzehntelang durch einen „Individualisierungstrend" geprägt; private Pkw haben dadurch eine dominante Position erobert.[26] Weil Pfadabhängigkeiten und die Bedeutung von Routinen im Verkehr groß sind, blieben bisherige Versuche, Verkehr zu vermeiden und auf umweltverträglichere Verkehrsmittel zu verlagern, meist erfolglos – von einzelnen positiven Beispielen abgesehen.

In Zukunft muss das nicht so bleiben.

Seit etwa zehn Jahren zeichnet sich in den städtischen Gesellschaften Nordamerikas, Europas und teilweise auch Asiens ein grundlegender Einstellungswandel zum Auto ab. Oft wird der Verkehr mit individuellen Pkw mehr als Last denn als Lust wahrgenommen, es werden deshalb immer häufiger Alternativen zum privaten Auto gesucht – und auch gefunden.

Möglich wird dieser Wandel durch die Digitalisierung sowie die Informations- und Kommunikationstechnologien (siehe These 5). Inzwischen zeichnen sich Verhaltensstrukturen ab, die mit weniger Verkehr verbunden und multimodal ausgerichtet sind. Sie können sogar zu einem prägenden Element des Lebensstils werden, ohne die Mobilität einzuschränken. Wege können verkürzt oder ersetzt werden, zum Beispiel durch elektronische Kommunikation und durch die Vernetzung verschiedener Verkehrsträger. Die Nutzung von Apps auf dem Smartphone ermöglicht diese Vernetzung, die spontan, effizient und zuweilen sogar lustvoll zu realisieren ist. Der Umstieg vom eigenen Auto auf eine Stadtbahn erspart die Suche nach einem Parkplatz, der Umstieg auf ein geteiltes Auto erlaubt die problemlose bedarfsorientierte Nutzung verschiedener Fahrzeugtypen vom Cabrio bis zum Transporter. Stimmen die Rahmenbedingungen, dann wird die Änderung von Gewohnheiten auf diese Weise zu einem Gewinn – mit dem Effekt, dass die Bewegung im Raum weniger klimaintensiv erfolgt.

Die Mobilitätswende führt also nicht zu weniger Mobilität, sondern zu einer anderen Qualität von Mobilität: Die effiziente Gestaltung der eigenen Mobilität vermag Wege auf umweltverträgliche Verkehrsmittel zu verlagern, zu bündeln und so Verkehrsaufwände zu verringern. So entsteht eine neue, multimodale Mobilität, die wie nebenbei auch den Erfordernissen des Klimaschutzes gerecht wird.

Voraussetzung hierfür ist politische Rahmensetzung. Anders als bisher verschaffen die neuen technischen Möglichkeiten der Politik allerdings die Chance und die Freiheit, die Regulierung des Verkehrsgeschehens konsequenter als bisher am Klimaschutz auszurichten. Dafür bedarf es der Förderung neuer Mobilitätsangebote, aber auch fiskal- und ordnungspolitischer Instrumente wie der Parkraumbewirtschaftung.

Tatsächlich verhilft nur entschlossenes politisches Handeln dem Potenzial der Mobilitätswende zur vollen Entfaltung. Und dieses Potenzial ist gewaltig: Die Mobilitätswende hat das Zeug dazu, den Energieverbrauch des nationalen Verkehrs bis 2050 um rund ein Viertel zu vermindern, zusätzlich zum ohnehin vor allem über

24 Becker, U. (2016), S. 17
25 SRU (2005), S. 135
26 Knie, A. (2016), S. 43

Effizienz erwarteten Rückgang[27]; der Energieverbrauch läge dann bei nur noch knapp der Hälfte des Wertes von 2005.[28] Damit wäre das im Energiekonzept der Bundesregierung formulierte Langfristziel deutlich übertroffen – und die für den Verkehrssektor benötigte Menge klimaneutraler Energie bliebe begrenzt. Eingesparte Energie muss nicht erzeugt werden. Davon profitiert die Energiewende im Verkehr.

Die Energiewende im Verkehr ermöglicht klimaneutrales Fahren.

Anders als die Mobilitätswende ist die Energiewende im Verkehr vor allem eine technische Herausforderung, die allerdings ebenfalls politischer Gestaltung bedarf. Klimaneutral wird der Verkehr der Zukunft nur, wenn motorisierte Fahrzeuge mithilfe von CO_2-neutralen Energien angetrieben werden. Die im Inland vor allem aus Sonnenstrahlung und aus Windenergie gewonnenen CO_2-freien Energiemengen bleiben jedoch auf absehbare Zeit begrenzt. Die völkerrechtlichen Verpflichtungen zum Klimaschutz verlangen allerdings die Dekarbonisierung der gesamten Volkswirtschaft. Um die begrenzten CO_2-freien Strommengen konkurrieren deshalb bis auf Weiteres sämtliche Sektoren der Volkswirtschaft: die Industrie, die privaten Haushalte und der Verkehr. Kannibalisierten sie sich im Wettbewerb um klimaneutrale Energie, dann bliebe der Netto-Emissionseffekt null. Daraus folgt, dass nur zusätzlich erzeugte CO_2-freie Energiemengen einen Beitrag zur Energiewende im Verkehr leisten können.

Zwei Gründe sprechen dafür, dass die Fahrzeuge der Zukunft auf Basis von Strom angetrieben werden. Erstens lassen sich große und wachsende Mengen klimaneutraler Energie nur mit Sonne und Wind in Form von Strom erzeugen. Zweitens lässt sich Strom nicht nur direkt in Antriebsleistung umwandeln, sondern auch in jeden anderen flüssigen oder gasförmigen Energieträger, beispielsweise in Wasserstoff oder strombasierte Kraftstoffe. Handelt es sich um klimaneutral erzeugten Strom, dann sind die aus ihm gewonnenen Energieträger ebenfalls klimaneutral.

Allerdings kostet der Umwandlungsprozess selbst Energie. Je öfter elektrischer Strom in andere Energieformen überführt wird, desto mehr Kilowattstunden, die von Solar- und Windkraftanlagen aufwendig erzeugt werden, stehen als Endenergie nicht mehr zur Verfügung. Weil jeder Umwandlungsprozess obendrein mit technischem Aufwand einhergeht, steigen mit jedem Umwandlungsschritt auch die Kosten der Energiebereitstellung. Beides spricht dafür, den Strom direkt zu nutzen.

So greift eines ins andere:

- Je erfolgreicher die Mobilitätswende ist, desto weniger erneuerbar erzeugte Energie benötigt der Verkehrssektor.
- Je mehr erneuerbar erzeugte Elektrizität in Kraftstoffe umgewandelt wird, desto mehr Wind- und Solarstrom muss erzeugt werden, um die gleiche Kilometerleistung zu ermöglichen.
- Je mehr Wind- und Solarenergieanlagen für die Versorgung des Verkehrssektors mit Antriebsenergie benötigt werden, desto größer werden die Umweltwirkungen der Energiewende im Verkehr – und womöglich auch die Akzeptanzprobleme.

Für die Energiewende im Verkehr lässt sich daraus zwar auf eine Kernoption schließen: auf die direkte Stromnutzung, also auf den batterieelektrischen Antrieb und auf per Oberleitung mit Strom versorgte Busse und schwere Lkw. Angesichts noch vieler existierender Unsicherheiten ist es allerdings ratsam, alternative technische Optionen nicht heute schon auszuschließen. Technologieoffenheit ist ein wichtiges Leitprinzip der Regulierung.

Auf dem Weg zum Verkehrswendekonzept 2030 – die Politik setzt den Rahmen.

Ohnehin ist es nicht die primäre Aufgabe der Politik, Technologien festzulegen. Das ist eine Sache von Angebot und Nachfrage. Allerdings hat staatliche Politik die Funktion, den notwendigen Regulierungsrahmen für ein klimaneutrales Verkehrssystem zu setzen, zum Beispiel durch CO_2-Standards für Fahrzeuge und Kraftstoffe oder durch Parkraummanagement. Klarheit in der Zielsetzung und Planungssicherheit für die Gesellschaft entstehen nur, wenn eindeutig kommuniziert wird, wohin die

27 So das Ergebnis der Fortschreibung der Verkehrsverflechtungsprognose bis 2050. Siehe Ifeu, INFRAS, LBST (2016), S. 153 ff. und S. 189

28 Ifeu, INFRAS, LBST (2016), S. 189

Reise schon kurz- bis mittelfristig gehen muss, um die völkerrechtlich vereinbarten Klimaschutzziele zu erreichen. Der technische Fortschritt allein sorgt nicht für die notwendige CO_2-Minderung – weder die Potenziale der Elektromobilität noch die der Digitalisierung tun das.[29]

Jedenfalls lehrt die Erfahrung, dass die Verkehrswende ohne eine grundlegende Änderung der regulatorischen Rahmenbedingungen auf deutscher und europäischer Ebene nicht zu realisieren ist: Infrastrukturinvestitionen müssen in Zukunft ebenso konsequent am Ziel der Emissionsminderung ausgerichtet sein wie die verhaltenssteuernden Signale des Staates an die Verkehrsteilnehmer. Den staatlichen Akteuren stehen hierfür eine Reihe von Instrumenten zur Verfügung: Abgaben und Umlagen sowie Auflagen und Standards, die dem Verursacherprinzip folgen – aber auch die finanzielle Förderung nach dem Gemeinlastprinzip. Wer allerdings monetäre Anreize für nicht zumutbar hält, Ordnungsrecht für tabu erklärt und gleichzeitig der Haushaltskonsolidierung Priorität einräumt, macht den Staat de facto handlungsunfähig.

Die EU-Kommission hat Mitte 2016 mit ihrer Strategie für eine emissionsarme Mobilität die Richtung zwar vorgegeben.[30] Doch in vielen Mitgliedstaaten, auch in Deutschland, ist von der beabsichtigten Wende noch zu wenig zu spüren. So trägt zum Beispiel der Bundesverkehrswegeplan praktisch nichts zur Emissionsminderung bei (siehe These 10). Dass die Förderung der Anschaffung von Elektrofahrzeugen unvermittelt neben dem Steuerprivileg für Dieselkraftstoff steht, offenbart ebenfalls Inkonsistenzen der Politik – genauso wie die Dienstwagenbesteuerung, die Vielfahrer begünstigt und keine Anreize zur Anschaffung emissionsarmer Fahrzeuge schafft. Dadurch wird der Trend zu immer höheren Motorleistungen gefördert – und der CO_2-Ausstoß erhöht.[31] Auch das fehlende generelle Tempolimit auf Autobahnen trägt dazu bei.

Nach bestem heute vorhandenem Wissen geht die Entwicklung in Richtung Elektrifizierung des Verkehrssektors. Das erfordert ein integriertes, auf Elektrizität basierendes Mobilitätssystem für verschiedene Verkehrsträger, die kohlenstoffarme Erzeugung von Strom, Wasserstoff und strombasierten Kraftstoffen sowie die Schaffung nachhaltiger Transportprinzipien. Weltweit müssen bereits 2030 mindestens 20 Prozent aller Straßenfahrzeuge, darunter 100 Millionen Pkw, elektrisch angetrieben sein.[32] Ob das von der Bundesregierung für das Jahr 2030 angepeilte Ziel von sechs Millionen Elektrofahrzeugen ausreicht, um das für dieses Jahr angestrebte nationale Emissionsminderungsziel für den Verkehr zu erreichen, erscheint unwahrscheinlich.

Als eine Quer- und Längsschnittaufgabe erfordert die Verkehrswende Kohärenz.[33] Politische Akteure verschiedener staatlicher Ebenen, von Europa bis zu den Kommunen, müssen sich mit ihren Aktivitäten ergänzen; neutralisieren oder behindern sie einander, wird die Verkehrswende unmöglich. Das Gleiche gilt für verschiedene sektorale Politikfelder; auch sie müssen aufeinander abgestimmt sein, damit die Verkehrswende gelingt. Eine zeitnahe politische Verständigung auf die wichtigsten strukturellen wie instrumentellen Eckpfeiler und Reformvorhaben in einem Verkehrswendekonzept 2030 wäre ein wichtiges Signal. Ein solches Konzept könnte ein politischer Leitstrahl mit dem Ziel sein, die beschlossene Emissionsminderung für den Verkehr von 40 bis 42 Prozent bis 2030 zu erreichen.

Das gilt umso mehr, als die Verkehrswende nicht allein ein Verkehrs- und Umweltprojekt ist. Es geht mit ihr auch um den Industriestandort Deutschland, um Arbeitsplätze, um Wohlstand, um die menschliche Gesundheit. Tatsächlich zeigen unter anderem die Marktanteile von Elektrofahrzeugen in verschiedenen Märkten, dass einige Länder beim Umbau ihres Verkehrssystems bereits vorangeschritten sind – um die Luftverschmutzung zu bekämpfen, um die Abhängigkeit von Mineralölimporten zu begrenzen, um sich im Wettbewerb um die Märkte der Zukunft Vorteile zu verschaffen.[34] Deutschland gehört bisher nicht zu den Vorreitern (vgl. Abbildung 1.2).

29 OECD, ITF (2017), S. 14

30 EU COM (2016a)

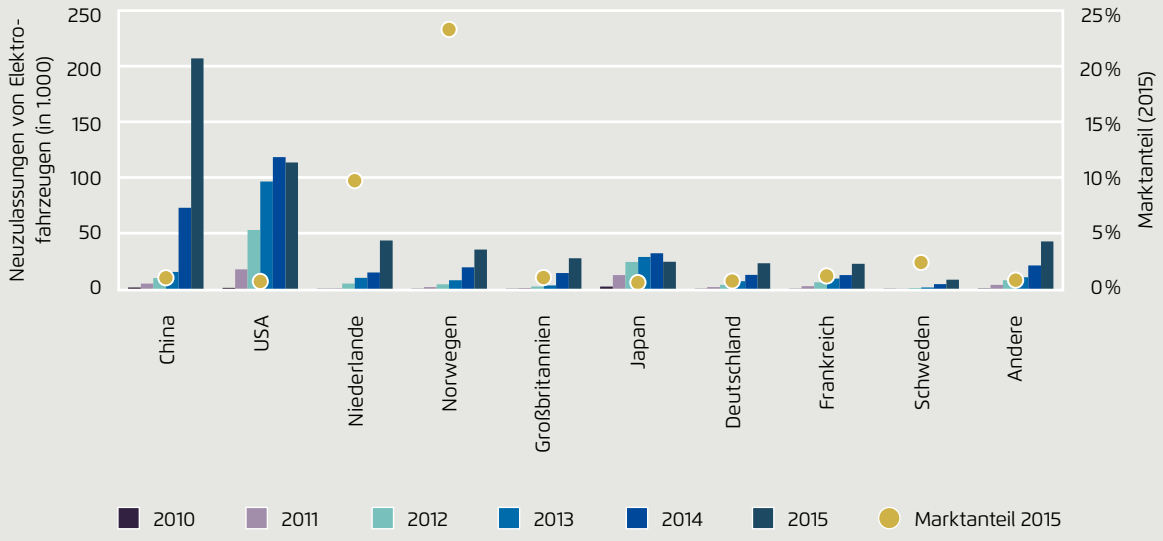
31 Destatis (2016c). Laut Statistischem Bundesamt hat die Erhöhung der durchschnittlichen Motorleistung von neuzugelassenen Pkw im Jahr 2015 im Vergleich zu 2008 zu zusätzlichen Kohlendioxid-Emissionen in Höhe von 9,3 Mio. Tonnen geführt.

32 UNFCCC (2016b)

33 Dass die Kohärenz der Politik zugunsten nachhaltiger Entwicklung zu verbessern ist, wird von der Bundesregierung selbst betont. Siehe Bundesregierung (2016a), S. 43

34 Siehe beispielsweise IEA (2016a)

Verkauf von Elektrofahrzeugen* in verschiedenen Ländern und Regionen — Abbildung 1.2



IEA (2016a), S. 11; *Batterieelektische Fahrzeuge und Plug-in-Hybride

Je länger mit dem Umsteuern gezögert wird, während anderswo der Umbau bereits stattfindet, desto größer wird der Rückstand, und desto weniger Zeit bleibt, um den unausweichlichen Strukturwandel zu bewältigen. Ohne Verkehrswende ist der Industriestandort Deutschland gefährdet.

Allerdings erweist sich die Verkehrswende bei genauerem Hinsehen als eine an Komplexität kaum zu übertreffende soziale Herausforderung. Denn sie verlangt vielen Millionen Menschen eine Änderung ihres Alltagsverhaltens und den Abschied von Gewohnheiten ab, die zuweilen zu Ritualen geronnen sind. Das unterscheidet die Verkehrswende fundamental von der Energiewende, die nach der Reaktor-Katastrophe von Fukushima konsensual zu einem Bestandteil der deutschen Politik geworden ist. Die Energiewende, die bisher im Wesentlichen eine Stromwende geblieben ist, ändert zwar den Prozess der Stromerzeugung, nicht aber das Produkt selbst und verlangt dem Verbraucher keine Verhaltensänderung ab. Schließlich kommt auch bei wachsenden Anteilen von Solar- und Windstrom Elektrizität mit einer Spannung von 220 Volt und einer Frequenz von 50 Hertz aus den Steckdosen. Im Gegensatz dazu hängt der Erfolg der Verkehrswende entscheidend von Verhaltensänderungen ab. Erzwingen lassen sich diese gleichwohl nicht. Vielmehr müssen sie attraktiv gemacht, überzeugend vermittelt, über längere Zeit erlernt werden, um sich allgemein durchsetzen zu können und im Alltag akzeptiert zu sein. Erfahrungsgemäß beansprucht ein solcher Prozess eher Jahrzehnte als Jahre. Auch deshalb ist es Zeit zum sofortigen Handeln.

Die Verkehrswende ist nur international erfolgreich.

Allerdings setzt der Erfolg der Verkehrswende neue Impulse für die internationale, vor allem für die europäische Kooperation voraus. Erstens, weil der Verkehr nicht an europäischen Grenzen haltmacht, und zweitens, weil die Verkehrsemissionen nicht durch den europäischen Emissionshandel (EU ETS) reguliert sind. Stattdessen setzt die EU mit ihrer Strategie für emissionsarme Mobilität[35] einen Rahmen für die zukünftige Entwicklung und mit diversen, bereits in Kraft befindlichen oder

35 EU COM (2016a)

geplanten Direktiven konkrete Normen für Fahrzeug-, Kraftstoff- und Infrastrukturtechnologien. Je höher das dabei in der EU einvernehmlich vereinbarte Ambitionsniveau ist, desto weniger ist auf nationaler Ebene zu regeln, um die Verkehrswende zum Erfolg zu führen. Nationale Alleingänge stoßen erfahrungsgemäß nicht nur auf den Widerstand nationaler Interessengruppen; sie stehen auch unter dem Verdacht, mit den Regelungen zum EU-Binnenmarkt unvereinbar zu sein. Auch deshalb ist mit hoher Priorität ein koordiniertes europäisches Vorgehen anzustreben.

Es kommt hinzu, dass die Verkehrswende bereits heute ein Projekt auch jenseits der europäischen Grenzen ist. Vorreiter sind vor allem China und Kalifornien. Einerseits können die Erfahrungen dort die hiesige Debatte befruchten; gewinnt die Verkehrswende hierzulande hohe politische Priorität, dann könnten andererseits aber auch von Deutschland und von Europa Impulse für viele weitere Länder ausgehen. Zu dieser Vermutung geben die mit der Energiewende im Stromsektor gemachten Erfahrungen Anlass. Ohne das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) wären Wind- und Solarenergie auch heute noch für viele arme Länder unerschwinglich; ähnliche Effekte bei den Batteriekosten haben die genannten Pionierländer (China, Kalifornien) bereits ausgelöst, zum Nutzen auch von Deutschland und von Europa. In Zukunft wird die Verkehrswende armen Ländern ebenfalls eine klimaverträgliche Mobilität ermöglichen; sie ist deshalb ein Projekt, das auch die internationale Gerechtigkeit fördert. Dass von der Diffusion neuer Verkehrstechnologien auf internationalen Märkten darüber hinaus hiesige Anbieter profitieren können, ist ein willkommener Zusatzeffekt.

Internationale Kooperation ist aus einem weiteren Grund geboten: Die Digitalisierung des Verkehrssektors und strombasierte Antriebstechnologien werden auf breiter Basis erst mit einer massiven Steigerung an Importen bestimmter Rohstoffe (Lithium, Kobalt) oder von klimaneutralen, strombasierten Kraftstoffen möglich. Im Prinzip sorgt der Markt für den Ausgleich von Angebot und Nachfrage. Zur Vermeidung von Engpässen oder monopolistischen Strukturen ist internationale Kooperation aber insbesondere in der Phase des Markthochlaufs neuer Verkehrstechnologien dringend geboten. Sie schafft die Basis für die Errichtung von Förder- und Verarbeitungskapazitäten in den Herkunftsländern und sorgt dafür, dass Nachfragespitzen die Preise nicht exorbitant steigen lassen, was die Verkehrswende bremsen würde. So oder so, es braucht eine Strategie für Kooperation im Wettbewerb, um Energiesicherheit und die Ressourcenbasis für die Verkehrswende zu sichern. Dieser Zwang zur Zusammenarbeit lässt das Vorhaben zu einem Bestandteil der internationalen Sicherheits- und Friedenspolitik werden.

These
02

Effizienz ist Leitprinzip der Verkehrswende.

Foto: LydiaGoolia / iStock

Die Verkehrswende wird einen Strukturwandel mit sich bringen, der den Alltag vieler Menschen verändert. Diesen Strukturwandel sollte das ökonomische Prinzip leiten: Es verlangt, die Dekarbonisierung des Verkehrs mit dem geringsten Einsatz knapper Ressourcen anzusteuern.

Zu den knappen Ressourcen gehören Energieträger und Geld, die Zahlungsbereitschaft privater und öffentlicher Akteure, aber auch gesellschaftliche Akzeptanz. Die Verkehrswende ist demnach eine technische, vor allem aber eine gesellschaftspolitische Herausforderung. Sollte sich herausstellen, dass technische Effizienz und öffentliche Akzeptanz in Konflikt miteinander geraten, sind zweitbeste Lösungen zu finden.

Die Akzeptanz der Öffentlichkeit setzt der Schlagzahl der Modernisierung jedenfalls Grenzen. Effizienz sollte zwar das oberste Gebot der Verkehrswende sein, aber kein Dogma.[36]

36 Neben mangelnder Akzeptanz können beispielsweise auch Verteilungswirkungen oder unerwünschte Effekte auf die Systemflexibilisierung den Effizienzvorrang einschränken. Siehe hierzu Löschel, A. et al. (2016), S. 35 ff.

Eingesparte Kilometer sind am günstigsten.

Im Rahmen dieser Auslegung des Effizienzgebotes sind bei der Gestaltung der Verkehrswende die Potenziale zur Kostensenkung auszuloten und zu nutzen. Räumliche Strukturen, die es erlauben, Bedürfnisse zu befriedigen, ohne große Distanzen mithilfe motorisierter Verkehrsmittel überwinden zu müssen, sind der effizienteste Weg zur Verkehrswende (siehe These 3). Denn jeder eingesparte Kilometer spart Antriebsenergie, die erst kostenträchtig erzeugt werden muss und Spuren in der natürlichen Umwelt hinterlässt. Insofern dient das jahrzehntelang bei der Stadtplanung vorherrschende Leitbild der Funktionstrennung den Zielen der Verkehrswende ebenso wenig wie der immer noch vorherrschende Ausbau der Infrastruktur mit dem Ziel, die Ferne in greifbare Nähe rücken zu lassen. Umsteuern erfordert Zeit und Entschlossenheit für eine Politik, die nicht länger nahezu ausschließlich darauf fokussiert ist, Verkehrswiderstände abzubauen.[37]

Digitalisierung dient der Effizienz.

Mit digitalen Technologien und neuen Geschäftsmodellen lassen sich Effizienzfortschritte schon in kürzerer Frist realisieren. Der Umwelteffekt resultiert in diesem Fall nicht primär aus der Vermeidung von Transporten

37 Difu (2011b), S. 5

Effizenzgewinne und Wachstumsimpulse durch intelligente Netze — Abbildung 2.1

Effizienzgewinne	Mrd Euro	Wachstumsimpulse	Mrd Euro
Kraftstoff- und Zeitersparnis und weniger Verkehrsstaus durch intelligente Verkehrssteuerung (m2M, Verkehrsleitsysteme, Kopplung mit Navigationsgeräten usw.)	4,4	Neue Dienste, die auf Smart Mobility Konzepten basieren (Multimodalität per App)	1,1
Einsparungen von Wegen und Kosten durch smarte Logistik (automatisierte Verkehrsflüsse, die auf Sensordaten und zentralen IT-Funktionen basieren)	3,6	Neue Dienste für die Logistik und Services, die auf der Smart-Logistik-Infrastruktur basieren	0,9
Jährliche Einspareffekte gesamt	8,0	Jährliche Wachstumsbeiträge gesamt	2.0

Beckert, B. (2012), S. 32

oder der Verkürzung von Transportdistanzen, sondern aus Verhaltensänderungen der Verkehrsteilnehmer. Die Vernetzung von nichtmotorisiertem Verkehr, öffentlichen Verkehrsmitteln und einem durch Car- und Ride-Sharing zunehmend „öffentlich" werdenden Individualverkehr lässt den Mobilitätsverbund zur attraktiven Alternative zum privaten Pkw werden. Auch autonome Fahrzeuge haben einen positiven Umwelteffekt, allerdings nur, wenn sie effizient eingesetzt werden (siehe These 5). Vernetzung mithilfe digitaler Technologien ermöglicht es, die Potenziale jedes Verkehrsträgers stärker zu nutzen und das Verkehrssystem insgesamt intelligenter zu machen. Dadurch sind Effizienzgewinne und Wachstumsimpulse zu erwarten (vgl. Abbildung 2.1).

Gefragt sind sparsame Fahrzeuge.

Das Effizienzgebot gilt auch für die Fahrzeuge selbst (siehe These 6), wenngleich es allein nicht ausreicht, um die Ziele der Verkehrswende zu realisieren. Laut der einschlägigen EU-Richtlinie bedeutet der Begriff Energieeffizienz „das Verhältnis von Ertrag an Leistung [...] zu Energieeinsatz".[38] Energieeffizient ist danach zum Beispiel ein Fahrzeug, das bei gleichem Kraftstoffverbrauch einen leistungsstärkeren Motor hat als das Vorgängermodell, aber eben nicht weniger CO_2 emittiert. Daraus folgt, dass für die Fahrzeugtechnik das Effizienzgebot durch ein Gebot zur Sparsamkeit zu ergänzen ist: Die Verkehrswende gelingt vor allen Dingen mit Fahrzeugen, die leicht und nicht auf Leistung oder hohe Geschwindigkeiten ausgelegt sind.

Das Gebot der Sparsamkeit gilt auch für batterieelektrische Fahrzeuge. Wegen des hohen Wirkungsgrades von Elektromotoren haben sie zwar im Vergleich zu herkömmlichen Antrieben immer einen Effizienzvorteil. Dennoch verbrauchen auch Elektrofahrzeuge unterschiedlich viel Strom pro gefahrener Strecke, abhängig unter anderem von ihrer Größe, ihrer Leistung und ihrem Gewicht.

In China erleben elektrische Kleinstwagen mit limitierter Geschwindigkeit, sogenannte *Low Speed Electric Vehicles* (LSEV), einen Boom. 2015 sind mehr als 600.000 Stück davon verkauft worden. Die Fahrzeuge sind klein, flexibel, billig – und auch deshalb erfolgreich, weil sie keiner Regulierung unterliegen. Ob sie auch für den deutschen Markt geeignet sein könnten, ist ungewiss. Jedenfalls sind sie energieeffizienter als vergleichbare Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, wenn auch weniger energieeffizient als öffentliche Transportmittel oder Zweiräder.[39]

Auch die erfreuen sich wachsender Beliebtheit. Allein in China war 2015 schätzungsweise bereits eine Viertelmilliarde elektrischer Zweiräder unterwegs. In Deutschland waren Anfang 2016 nicht mehr als 7.300 Krafträder mit Elektroantrieb zugelassen.[40] Immerhin steigt hierzulande die Zahl der Elektrofahrräder. 2016 sind deutlich mehr Pedelecs abgesetzt worden als 2015, die Wachstumsrate hat sich allerdings im Vergleich zum Vorjahr abgeschwächt.

Auch die Energiebereitstellung ist effizient.

Fahrzeuge und die Energien, die sie antreiben, bilden eine Einheit. Klimarelevant ist am Ende, wie hoch die CO_2-Emissionen der motorisierten Fortbewegung sind – nicht, an welcher Stelle der Umwandlung von Energie in Vortrieb sie verursacht werden. Die gesamte Prozesskette ist von Bedeutung, von der Energiequelle bis zum Rad *(Well-to-Wheel)*. Die Fahrzeugeffizienz allein *(Tank-to-Wheel)* ist als Maßstab für die Beurteilung der Klimarelevanz demnach ebenso unzureichend wie allein die Effizienz der Kraftstoffgewinnung (*Well-to-Tank*). Auf die Systemeffizienz kommt es an (siehe Thesen 6 und 7).

Wegen des hohen Wirkungsgrades von Elektromotoren sind Elektrofahrzeuge grundsätzlich effizienter als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor; darüber hinaus fahren sie lokal emissionsfrei. CO_2-neutral fahren sie dennoch nicht. Denn bei der Erzeugung des Fahrstroms wird CO_2 freigesetzt, jedenfalls solange die Stromerzeugung nicht vollständig regenerativ erfolgt. Vorerst liegt der Anteil erneuerbarer Elektrizität am Strommix bei rund einem Drittel. Dank staatlicher induzierter Förderung der erneuerbaren Stromerzeugung wächst er allerdings. Mit zunehmendem Anteil von Strom aus Erneuerbaren Ener-

38 So Artikel 2 Absatz 4 der europäischen Energieeffizienz-Richtlinie. Siehe EU (2012)

39 IEA (2016a), S. 23

40 KBA (2016), S. 8.

gien (EE-Strom) wird der elektrische Verkehr nicht nur effizienter,[41] sondern die von ihm verursachten Treibhausgasemissionen sinken schließlich bis auf nahezu null. Deshalb ist die direkte Stromnutzung die Kernoption und der Schlüssel für die Energiewende im Verkehr.

Sollte sich diese Kernoption nicht realisieren lassen – sei es aus technischen Gründen wie bei den Verkehrsträgern Flugzeug und Schiff, sei es aus Gründen der mangelnden gesellschaftlichen bzw. politischen Akzeptanz eines Technologiewechsels – kommen auch andere, weniger effiziente Lösungsmöglichkeiten in Betracht.

Dabei sind auch herkömmliche Verbrennungsmotoren im Straßenverkehr nicht auszuschließen, obwohl sie einen schlechteren Wirkungsgrad haben als Elektromotoren. Als Technologiepfad im Rahmen der Verkehrswende sind Verbrennungsmotoren allerdings nur dann eine Option, wenn die Treibhausgasemissionen trotz dieses Effizienznachteils gegen null streben. Dies gelingt selbst bei ambitioniertester Fahrzeugoptimierung [42] nur, wenn sie mit klimaneutralem Kraftstoff betrieben werden, der sich aus erneuerbar erzeugtem Strom herstellen lässt. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Produktion solch strombasierter Kraftstoffe selbst viel Energie kostet, also im Vergleich zur direkten Stromnutzung deutlich weniger effizient ist (siehe These 7).

Klimaneutrale Verkehrsmittel mit Verbrennungsmotor haben deshalb einen doppelten Effizienznachteil: bei der Beschaffung des Kraftstoffs *(Well-to-Tank)* und bei der Umwandlung des Kraftstoffs in Vortrieb *(Tank-to-Wheel)*. Das spricht gegen ihre Nutzung. Unter dem Aspekt des langfristigen Klimaschutzes wäre ihre Nutzung nur mit einem Regulierungsrahmen akzeptabel, der dafür sorgt, dass der Betrieb solcher Fahrzeuge mit Kraftstoffen erfolgt, die nach und nach klimaneutraler werden.

Ein ambitioniertes Regelwerk, das bereits einen klaren und weitreichenden Dekarbonisierungspfad für Kraftstoffe vorgibt, wie es im Stromsektor mit dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) bereits existiert, gibt es noch nicht. Auch die Entwicklung dieses regulativen Rahmens wird eine wichtige Aufgabe im Rahmen der Verkehrswende sein.

41 Erneuerbare Energien sind nicht nur CO_2-neutral, sie haben einer internationalen Übereinkunft folgend einen Wirkungsgrad von 100 Prozent, während aus fossilen Energieträgern erzeugter Strom maximal auf knapp 60 Prozent kommt. Siehe AGEB (2011)

42 Die Potenziale dafür sind indes noch längst nicht ausgenutzt. Siehe ICCT (2016a).

These
03

Die Mobilitätswende hat in den Städten bereits begonnen.

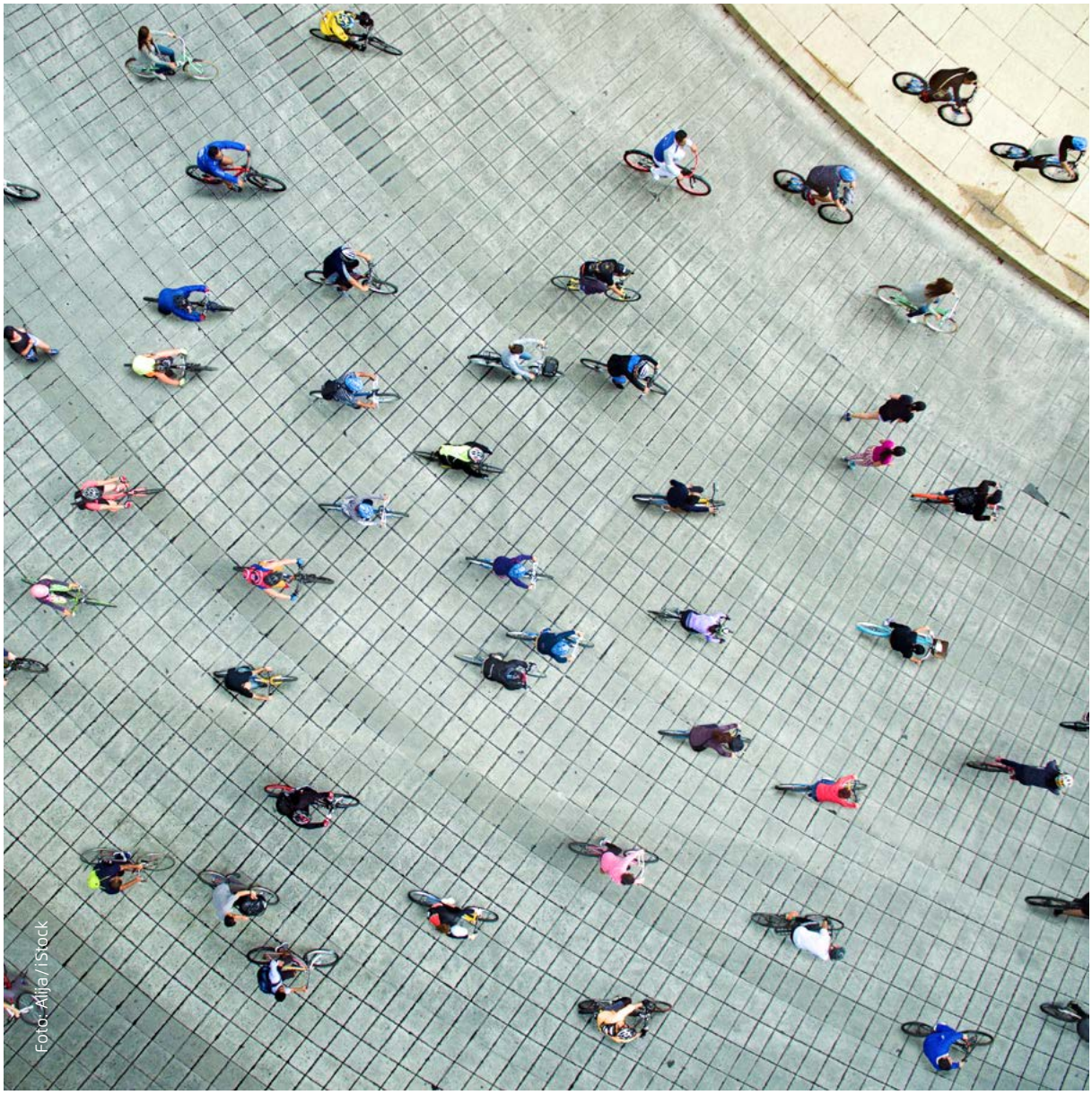


Foto: Alija / iStock

Innerhalb der größten deutschen Städte ist die Nutzung des privaten Pkw seit mehr als einem Jahrzehnt rückläufig. Zugleich nimmt der Anteil der Wege zu, die mit dem Fahrrad, zu Fuß, mit öffentlichen Verkehrsmitteln sowie per Carsharing zurückgelegt werden. Gesellschaftliche Trends und Mobilitätsstile, etwa geringerer Auto- und Führerscheinbesitz bei der jüngeren Bevölkerung, beeinflussen die Verkehrsmittelnutzung – und in Folge davon den Bedarf an Mobilitätsangeboten und Infrastrukturen.[43]

Neben dem bestehenden städtischen Verkehrsangebot, dessen Rückgrat nach wie vor der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) bildet, drängen im Zuge der Digitalisierung neue Formen individueller Mobilität in die Städte. Hierzu zählen insbesondere kollaborative Mobilitätsangebote, wie zum Beispiel Car-, Ride- und Bikesharing. Diese Angebote, die teilweise bereits elektrische Antriebe nutzen, lassen neue räumliche Nutzungsansprüche entstehen: für Mobilitätsstationen, Fahrradabstellanlagen und Ladeinfrastrukturen. Für die Stadtbewohnerinnen und Stadtbewohner bietet sich so eine immer breiter werdende Palette von Mobilitätsangeboten, die multimodales Verkehrsverhalten ermöglichen, also die Nutzung verschiedener Verkehrsmittel. Dabei sinkt die Abhängigkeit vom privaten Auto, ohne die persönliche Mobilität einzuschränken.

Zur Erreichung der Klimaschutzziele im Verkehr weisen diese Trends im städtischen Personenverkehr in die richtige Richtung und sollten, politisch flankiert, gefördert und verstetigt werden.

Problematischer stellt sich die Lage im städtischen Wirtschaftsverkehr dar. Er ist wesentliche Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit von Städten. Der stark gestiegene Online-Handel führt zu rasant wachsenden Zustellverkehren – mit negativen Auswirkungen auf Lärm- und Schadstoffemissionen, auf die Flächeninanspruchnahme und auf die Abnutzung der Infrastruktur. Diesen lokalen Herausforderungen hat die Kommunalpolitik zu begegnen, auch durch innovative Lösungen.[44]

43 Ahrens, G. (2013) und DLR, infas (2010)
44 Difu (2014)

Attraktive Städte sind nicht autogerecht.

Das Leitbild der „autogerechten Stadt", das in den ersten Dekaden der Nachkriegszeit städtebauliches Ideal war, stellte das Auto in den Mittelpunkt eines erstrebenswerten Lebensmodells. Ökologische Erfordernisse und Bedürfnisse nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer wurden diesem Paradigma oft untergeordnet. Dieser Ansatz hat sich in den vergangenen Jahrzehnten überlebt. Ein Grund dafür sind veränderte Wertvorstellungen. So wünschen sich beispielsweise 82 Prozent der Bevölkerung, in Städten und Gemeinden zu leben, in denen man nicht auf ein eigenes Auto angewiesen ist.[45] In aktuellen Leitbildern liegt der Fokus heute verstärkt auf ökologischen und sozialen Aspekten. Das Bild der „lebenswerten Stadt" als attraktiver Aufenthalts-, Wohn- und Arbeitsort erfährt nicht nur in nationalen und internationalen Standortwettbewerben verstärkte Aufmerksamkeit.[46] Städte, die in solchen Rankings das Prädikat „lebenswert" erhalten, zeichnen sich in der Regel durch eine moderne Verkehrsplanung und eine ambitionierte Verkehrspolitik aus.

Das setzt voraus, Siedlungsentwicklung und Verkehrsplanung zusammenzudenken und sich am Leitbild der „Stadt und Region der kurzen Wege"[47] zu orientieren. Kompakte Siedlungsstrukturen und die Mischung unterschiedlicher städtischer Funktionen in „qualitätsvoller Dichte"[48] führen zu verkehrsvermeidenden Raumstrukturen. Sie bieten gute Voraussetzungen für die Vermeidung und Verlagerung von Verkehr, zeichnen sich durch kurze Lieferstrecken und einen geringen Flächenverbrauch aus, aber auch durch Angebote neuer Mobilitätsdienstleistungen. Vom Autoverkehr dominierte Strukturen werden in Flächen für den Rad- und Fußverkehr oder in Aufenthalts- und Grünflächen umgewidmet und rücken den Menschen wieder stärker in den Mittelpunkt.[49]

Die Umsetzung entsprechender stadtplanerischer Konzepte kann den willkommenen Zusatzeffekt haben, die Kosten für die Erhaltung der Verkehrsinfrastruktur

45 BMUB, UBA (2015), S.35
46 Engel, B. (2015)
47 Difu (2011b)
48 Gehl, J. (2015), S. 87
49 ebd.

sowie für den Betrieb des Verkehrs zu senken. Davon können sowohl private wie auch öffentliche Haushalte profitieren.[50]

Mit dem Auto wird der Umweltverbund zum Mobilitätsverbund.

Ein qualitativ hochwertiger öffentlicher Verkehr ist und bleibt das Rückgrat einer klimagerechten Stadtentwicklung; er ist für die Erzeugung urbaner Lebensqualität ebenso unverzichtbar wie für die Funktionsfähigkeit von Städten und Regionen. Er bietet sichere und leistbare Mobilitätsoptionen für alle und sichert die Erreichbarkeit – bei deutlichen Umweltvorteilen gegenüber anderen motorisierten Verkehrsmitteln.[51]

Technologische Entwicklungen wie die Elektromobilität bieten allerdings das Potenzial, die Attraktivität des ÖPNV noch zu verbessern: Elektrobusse fahren ruhiger und im Betrieb emissionsfrei. In sensiblen Innenstadtbereichen und Wohnquartieren können sie die Akzeptanz von Durchfahrten und Haltestellen erhöhen; im Vergleich zu Dieselbusflotten können mit elektrisch angetriebenen Bussen erhebliche Verbesserungen bei der Luftqualität erzielt werden, insbesondere in Innenstädten mit hohen Feinstaub- und Stickstoffoxidkonzentrationen.[52]

Trotz dieser technischen Verbesserungen wird sich der ÖPNV in den kommenden Jahren wandeln und sich neuen Trends anpassen müssen. Neue Trends und Entwicklungen prägen den Verkehrsmarkt und in der Folge das Verkehrsverhalten: So steht den Menschen – getrieben durch die wachsende Verbreitung von Informationstechnologien – ein immer breiteres Spektrum an Mobilitätsoptionen (z. B. Car- und Bikesharing, Ridesharing, Fernbusse) zur Verfügung; diese Optionen spielen ihre Vorteile insbesondere durch die Vernetzung mit dem klassischen Umweltverbund aus. Das Internet und das Smartphone werden dabei zum Schlüssel für vernetzte Mobilität (siehe These 5). Mit ihrer Hilfe werden zunächst die Erprobung und schließlich die einfache und spontane Verkehrsmittelnutzung möglich.

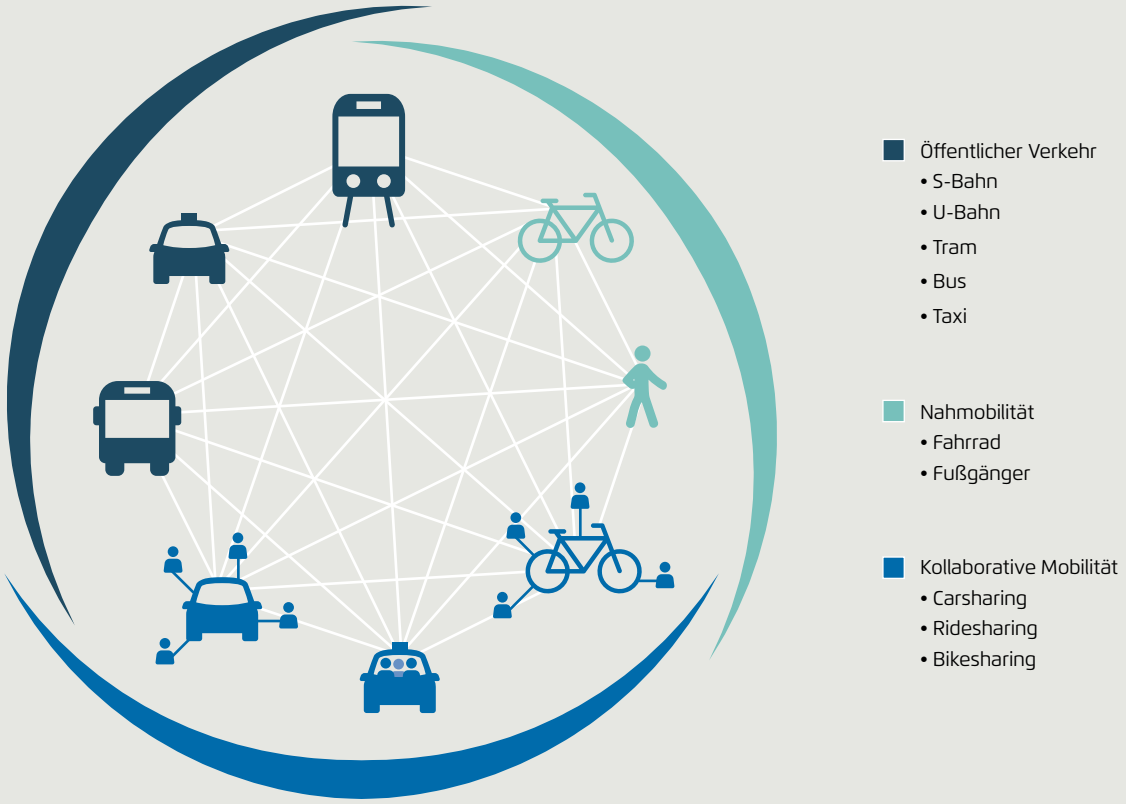
Auf diese Weise mit neuen Mobilitätsangeboten vernetzt, wird aus dem klassischen ÖPNV ein umfassender Mobilitätsverbund (vgl. Abbildung 3.1). Dabei verwischen die Grenzen zwischen öffentlichem Verkehr und Individualverkehr. Unabhängig vom privaten Auto wählen Stadtbewohner aus verschiedenen Mobilitätsoptionen ihren optimalen Verkehrsmittelmix. Das bedeutet nicht, dass das Auto aus der Stadt verbannt wird: Vielmehr wird es fester Bestandteil dieses Mixes sein, durch die wachsende Anzahl von Carsharing-Fahrzeugen und Ridesharing-Angeboten. Sie stellen eine verlässliche automobile Option dar, die die Abhängigkeit vom eigenen Pkw verringert. Die vielfach beschriebene „Kannibalisierung des ÖPNV" ist dabei nicht zu erwarten: Carsharing-Nutzer sind treue ÖPNV-Kunden – und umgekehrt.[53]

Was auf diese Weise als Mobilitätswende in den Städten beginnt, wirkt sich auch auf die Verkehrsströme aus, die aus den Städten herausführen. Wer für alltägliche Wege auf den Mobilitätsverbund setzt, wird den Mehrwert eines Privatfahrzeugs auch für seltenere Wegezwecke wie Urlaub und Freizeit hinterfragen. Mobilitätsangebote wie Mietwagen und Bahnreisen ergänzen den städtischen Mobilitätsverbund und können das Mobilitätsverhalten auch auf der Langstrecke positiv beeinflussen.

Wesentlich für die Akzeptanz eines solchen Mobilitätsverbunds ist die flächenhafte Ausweitung der Mobilitätsangebote. Nicht nur die Bewohnerinnen und Bewohner von Innenstädten größerer Metropolen, sondern auch die am Stadtrand und in weniger großen Städten Lebenden müssen von solchen Angeboten profitieren können. Darüber hinaus müssen die Angebote zuverlässig, einfach zugänglich und für alle bezahlbar sein. Hierfür benötigt der ÖPNV kalkulierbare Rahmenbedingungen, vor allem ein verlässliches finanzielles Rückgrat. Es kann zum Beispiel durch die Weiterentwicklung des Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes geschaffen werden oder mithilfe einer Nahverkehrsabgabe. Bund, Länder und Gemeinden müssen sich dringend dieser Herausforderung stellen.[54]

50 FGSV (2013)
51 Gies, J.; Deutsch, V.; Beckmann, K. J.; Gertz, C.; Holz-Rau, C.; Huber, F. (2016)
52 Difu (2015)
53 Topp, H. (2013)
54 Gies, J.; Deutsch, V.; Beckmann, K. J.; Gertz, C.; Holz-Rau, C.; Huber, F. (2016)

Mobilitätsverbund Abbildung 3.1



Eigene Darstellung

Fuß- und Radverkehr sind ein Gewinn für die Städte.

Der Fuß- und Radverkehr ist bezahlbar, gesundheitsfördernd und schließt kaum jemanden von der Teilnahme aus. Er ist emissionsfrei, benötigt wenig Fläche und ist allen anderen Verkehrsarten in Hinblick auf Lärm, Abgase und Feinstaub überlegen.[55] Städte mit einem hohen Radverkehrsanteil zeichnen sich meist auch durch eine geringere Stauintensität aus.[56] Aus diesem Grund spielt die Nahmobilität, so der Sammelbegriff für den Fuß- und Radverkehr, eine zentrale Rolle, wenn es um umwelt- und klimaverträgliche Fortbewegung und um die Lebensqualität in Städten geht.

Das Fahrrad als Verkehrsmittel ist in den vergangenen Jahren in der gesellschaftlichen Bedeutung stark gestiegen. Die Anzahl der Wege, die mit dem Rad zurückgelegt werden, wächst – ebenso wie ihre Länge.[57] Die stärkere Radnutzung führt dazu, dass vermehrt Ziele im Nahbereich der Wohnung aufgesucht werden.[58] Dadurch wird Verkehr ohne Einschränkung der Mobilität vermieden.

Für den Erfolg der Mobilitätswende ist es entscheidend, diese positive Entwicklung fortzusetzen – auch gegen nicht auszuschließende Widerstände. Voraussetzung dafür ist eine sichere und bedarfsgerechte Radverkehrsinfrastruktur. Sind gute Radwege vorhanden, werden sie auch genutzt. So steigt der Radverkehrsanteil.

55 FGSV (2014)
56 Tomtom Traffic Index
57 BMVBS (2012)
58 Difu (2011a)

Der Fußverkehr ist ähnlich vorteilhaft wie der Radverkehr, wurde aber in den vergangenen Jahrzehnten von der städtischen Verkehrsplanung oft vernachlässigt; erst neuerdings wird ihm wieder mehr Aufmerksamkeit gewidmet. Durch Schaffung einer entsprechenden Infrastruktur, beispielsweise durch grüne durchgängige Wegenetze, lässt sich dieser Trend verstärken. Auf diese Weise kann der gesamte Anteil nichtmotorisierter Wege im Stadtverkehr bis auf über 50 Prozent steigen. Selbst im städtischen Wirtschaftsverkehr bietet sich mit (elektrisch unterstützten) Lastenrädern und Cargo-E-Bikes ein bislang noch nicht ausgeschöpftes Potenzial.[59]

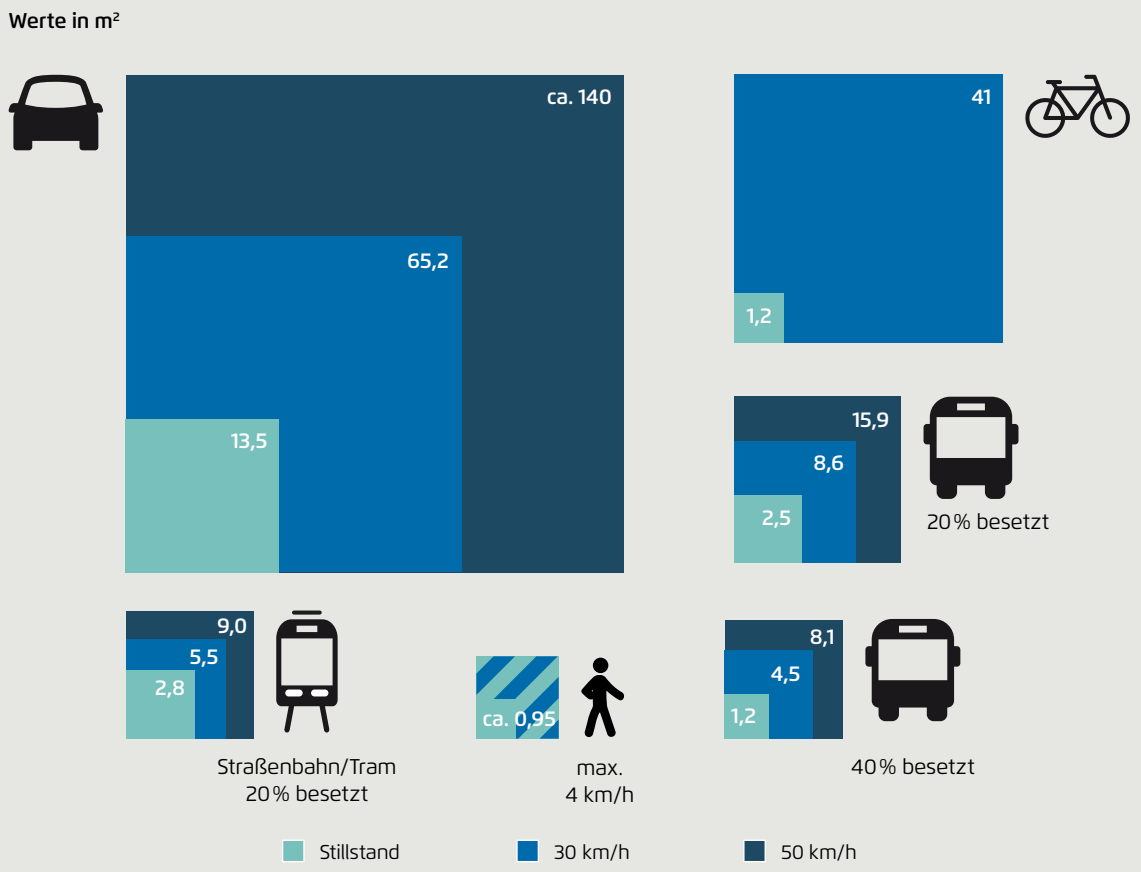
59 FGSV (2014)

Weniger private Autos schaffen wertvollen öffentlichen Raum.

Städtische Flächen sind knapp und wertvoll. Die Art ihrer Nutzung entscheidet darüber, ob eine Stadt lebenswert, attraktiv und damit letztlich auch als Standort begehrt ist. Nutzungskonkurrenzen unterschiedlicher Bewohnergruppen oder Verkehrsteilnehmer können zu Konflikten führen.

Die größten Nutzungsansprüche an den öffentlichen Raum stellt der motorisierte Individualverkehr (MIV). Gemessen am Modal Split beansprucht er Flächen im Übermaß und dominiert die Nutzung und Gestaltung der öffentlichen Stadt- und Verkehrsräume (vgl. Abbildung 3.2).

Unterschiedliche Flächeninanspruchnahme nach Verkehrsarten und Geschwindigkeit — Abbildung 3.2



Eigene Darstellung nach Randelhoff, M. (2015)

Gemessen am Gemeinwohl stellt insbesondere der ruhende Verkehr den „funktional am wenigsten notwendigen und damit am ehesten zu verlagernden"[60] Nutzungsanspruch an den Straßenraum dar.

In vielen Städten – unabhängig von ihrer Größe – übersteigt die Nachfrage nach Autostellplätzen das vorhandene Angebot und beeinträchtigt den öffentlichen Raum in seiner Qualität, Attraktivität und Funktionsfähigkeit, beispielsweise durch das Parken in zweiter Reihe sowie auf Rad- und Gehwegen. Außerdem binden Parkflächen Finanzmittel einer Kommune, die nicht zwingend über Parkgebühren zu refinanzieren sind.[61]

Die Kommunen verfügen jedoch über wirkungsvolle Instrumente und Maßnahmen, mit denen sie den Flächenverbrauch spürbar reduzieren und die Flächennutzung gezielt steuern können: zum Beispiel das Parkraummanagement und die Förderung von Carsharing.

Das Parkraummanagement nimmt im Bereich der integrierten Verkehrsplanung eine Schlüsselrolle ein. Neben der Verkehrslenkung legt es den Umgang mit Flächen und ihre Nutzungsbedingungen fest. So lassen sich die insgesamt benötigten Flächen beschränken, Parkvorgänge zum Beispiel für Liefer- und Anwohnerverkehre priorisieren und Lärm- und Schadstoffemissionen reduzieren.[62] Grundsätzlich entscheiden Kommunen über Angebot und Preis von Parkmöglichkeiten, allerdings nur in einem sehr eng gesteckten Rahmen. Sie können zwar gebührenpflichtige Parkzonen ausweisen, die Höhe der Bußgelder wird jedoch auf Bundesebene festgelegt. Gleiches gilt für die Bepreisung von Anwohnerparkausweisen, auch hier gibt der Bund den finanziellen Spielraum vor. Der Blick ins europäische Ausland, beispielsweise nach Zürich, Amsterdam oder Edinburgh zeigt, dass dort die kommunalen Handlungsspielräume größer sind. Um die Steuerung wirksam zu machen, sind sie auch hierzulande zu erweitern.[63] Das Parkraummanagement ließe sich dann effizienter gestalten, Flächen könnten für die Allgemeinheit zurückgewonnen werden.

60 DStGB zitiert in AGFS (2012), S.63
61 Bracher, T.; Lehmbrock, M. (2008)
62 Becker, U. (2016)
63 DST (2016)

Die Förderung von Carsharing – und von Ridesharing – kann zu einer niedrigeren Besitzquote privater Pkw und in der Folge ebenfalls zu einem reduzierten Flächenbedarf führen. Empirische Studien belegen, dass in den Innenstadtquartieren verschiedener Großstädte ein Carsharing-Auto acht bis 20 private Fahrzeuge ersetzen kann.[64] Der Vergleich der Kosten, die ein Carsharing-Unternehmen für die Nutzung eines öffentlichen Stellplatzes zahlen muss, mit den Kosten eines durchschnittlichen Anwohnerparkausweises, offenbart, dass der private Pkw, der durchschnittlich 23 Stunden am Tag geparkt ist, gegenüber einem gemeinschaftlich genutzten Fahrzeug deutlich subventioniert wird.[65] Soll Carsharing als gemeinwohlorientierte Form individueller Mobilität gefördert werden, sind diese Gebühren auf den Prüfstand zu stellen – insbesondere in Gebieten, in denen Carsharing mehr Förderung benötigt, um sich zu entwickeln. Hier sind die Länder und Kommunen gefordert, das jüngst beschlossene Carsharing-Gesetz mit Leben zu füllen und eine zeitnahe und koordinierte bundesweite Umsetzung zu erwirken.

Diese beiden beispielhaft angeführten Maßnahmen sind geeignet, die städtische Flächennutzung stärker auf ein Gleichgewicht zwischen den unterschiedlichen Nutzungsansprüchen auszurichten und nicht – wie heute meist üblich – auf einzelne Verkehrsträger zu fokussieren. Im Ergebnis wirkt sich dies positiv auf die Konkurrenzfähigkeit der Städte im internationalen Standortwettbewerb um Bewohner, Arbeitskräfte und Unternehmen aus.

Der Wirtschaftsverkehr funktioniert auch klimaneutral.

Der städtische Wirtschaftsverkehr ist in den vergangenen Jahren weit stärker als prognostiziert angestiegen, und auch für die zukünftige Entwicklung ist von einem anhaltenden Wachstum auszugehen. Insbesondere die Kurier-, Express- und Paket-Dienstleistungen (KEP) haben durch

64 BCS (2016)
65 Carsharing-Unternehmen zahlen für die Nutzung eines Stellplatzes im öffentlichen Parkraum zwischen 35 und 85 Euro im Monat, Free-Floating-Angebote häufig noch mehr. Der durchschnittliche Anwohnerparkausweis in Deutschland dagegen kostet zwischen 20 und 30 Euro für zwei Jahre. Schriftliche Auskunft des BCS.

den rasant wachsenden Internet-Versandhandel stark zugenommen: So wurden im Jahr 2015 knapp drei Milliarden KEP-Sendungen in Deutschland zugestellt, das ist ein Wachstum von 5,9 Prozent im Vergleich zum Vorjahr. Zwischen 2000 und 2015 ist die Zahl der KEP-Sendungen um 74 Prozent gestiegen.[66] Hinzu kommt ein ebenfalls wachsendes Aufkommen beim Personen- und Güterwirtschaftsverkehr.[67]

Diese wachsenden Verkehrsmengen werden überwiegend mit Dieselfahrzeugen abgewickelt, die für 80 Prozent der verkehrsbedingten Stickstoffdioxid-Immissionen verantwortlich sind. Die seit 2010 geltenden Luftqualitätsgrenzwerte der EU für diesen Schadstoff Nummer eins werden an der überwiegenden Anzahl von Messstellen überschritten.[68] Im Jahr 2015 wurde aus diesem Grund ein Vertragsverletzungsverfahren gegen Deutschland eingeleitet. Hohe Strafzahlungen drohen, wenn keine wirksamen Maßnahmen, wie beispielsweise Fahrverbote für Dieselfahrzeuge, ergriffen werden. Der Druck wird zusätzlich erhöht, weil Umweltverbände vor Gerichten das Recht auf saubere Luft einklagen.

Nicht nur die gesundheitsschädlichen Immissionen (siehe These 12) durch den wachsenden Lieferverkehr stellen die Städte vor Herausforderungen, sondern auch die zunehmende Behinderung von Verkehrsfluss und die Verkehrssicherheit. Bereits die nur kursorisch dargestellte Befundlage zeigt den dringenden kommunalpolitischen Handlungsbedarf. Das Ziel formuliert die EU-Kommission in ihrem Weißbuch Verkehr: eine „im Wesentlichen CO_2-freie Stadtlogistik in größeren städtischen Zentren bis 2030".[69] Die Lösungen dafür sind im Grunde schon vorhanden.

Erstens bieten City-Logistik-Konzepte Möglichkeiten, Warenströme vor dem Stadtgebiet zu sammeln und dann gebündelt zu verteilen. Verbesserte Lösungen sind im Zuge der Digitalisierung zu erwarten, durch eine anbieterübergreifende Bündelung können Fahrten eingespart werden (siehe These 5). Es bietet sich außerdem die Möglichkeit, die Waren auf kleinere Nutzfahrzeuge zu verteilen und beispielsweise an „Urban Hubs", innerstädtischen Distributionsflächen, auf (elektrisch unterstützte) Lastenräder zu verladen, mit denen anschließend die Feinverteilung an die Kunden übernommen wird. Modellvorhaben haben gezeigt, dass eine solch multimodale Warenverteilung im städtischen Wirtschaftsverkehr wirtschaftlich darstellbar ist

Zweitens können durch den Einsatz elektrischer Nutzfahrzeuge negative Umweltfolgen minimiert werden. Die ohnehin sehr effizienten und optimierten Routen der KEP-Dienstleister sind schon heute im städtischen Lieferverkehr überwiegend mit den gegenwärtigen Batteriereichweiten zu bewältigen. Intelligentes Lademanagement kann dafür sorgen, dass die Fahrzeuge über Nacht auf den Betriebshöfen mit Strom versorgt werden.[70]

Die innerstädtische Belieferung mit kleineren elektrischen Fahrzeugen bietet für die Kommunen viele Vorteile: geringerer Flächenbedarf, insbesondere beim Einsatz von Lastenrädern, und weniger Lärm sowie positive Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit. Auch auf Seiten der Unternehmen und Spediteure hat die klimaverträgliche Gestaltung des städtischen Wirtschaftsverkehrs Vorteile: Durchdachte City-Logistik-Konzepte führen zu vermeidbaren Fahrten, zu effizienten Verteilwegen und sparen Kosten.[71]

Kommunale Strategien zur Umsetzung entsprechender Konzepte sind trotzdem nötig und möglich – etwa Fahrverbote für Dieselfahrzeuge oder Lkw-Führungskonzepte. Auf diese Weise können Kommunen dafür sorgen, beispielsweise Schwerlastverkehr aus sensiblen Gebieten herauszuhalten

Städte brauchen mehr Unterstützung.

Um die Mobilitätswende zu verwirklichen, müssen Städte eigenständige Visionen entwickeln, Ziele definieren und Maßnahmen umsetzen. Das erfordert Mut zu Experimenten und zur Erprobung neuer, auch unkonventioneller Strategien und Konzepte.[72] Für langfristig tragfähige Strukturen sind mehr als nur marginale Änderungen an

66 BIEK (2016)
67 Difu (2014)
68 UBA (2017b)
69 EU KOM (2011), S. 144
70 TAB (2012)
71 Difu (2014)
72 DST (2016)

der bisherigen kommunalpolitischen Praxis nötig. Kommunale Aktivitäten sollten daher unter der Frage stehen: In welcher Stadt wollen wir leben? Wie kann der technologische Wandel der Stadt dienen – und nicht umgekehrt?

Die Mobilitätswende bzw. die Transformation des städtischen Verkehrssystems ist in weiten Teilen eine kommunale Planungs- und Steuerungsaufgabe. Im Grundsatz gilt: Die Städte kennen die Herausforderungen, sie kennen ihre spezifischen Problemlagen, und auch Lösungsansätze sind vielfach schon vorhanden. Die erforderliche Transformation scheint offenbar weniger ein Erkenntnis-, als vielmehr ein Umsetzungsproblem zu sein. Die zentralen Fragen lauten: Wie können Politik und Verwaltung sich gegenseitig unterstützen und diese Transformationsaufgabe gemeinsam bewältigen? Wie gelingt die erfolgreiche Umsetzung der komplexen und vielfältigen erforderlichen Maßnahmenbündel über vereinzelte, erfolgreiche Pilotprojekte hinaus?

Um erwünschte Wirkungen zu erzielen und unerwünschte Nebenwirkungen zu vermeiden, sind nicht nur die beschriebenen integrierten Vorgehensweisen in über- und untergeordneten Planungsebenen wichtig, zum Beispiel im Rahmen integrierter Stadtentwicklungs- und Verkehrsentwicklungspläne. Auch benachbarte Planungsräume jenseits der eigenen Stadtgrenze sind einzubeziehen. Gerade in Zeiten, in denen Städte, Gemeinden und Kreise zunehmend unter dem Druck stehen, Kosten zu senken und zugleich ihre Leistungen qualitativ und quantitativ zu erhalten oder gar zu steigern, stellt die interkommunale Zusammenarbeit eine wichtige kommunale Handlungsoption dar.[73]

Neben personellen, finanziellen und zeitlichen Ressourcen sind zu diesem Zweck Akteursallianzen notwendig. Nur weitgehend gemeinsam können Politik, Verwaltung, Privatwirtschaft, Bürgerschaft, Wissenschaft und Medien die notwendige breite Unterstützung und Akzeptanz für kommunalpolitische Ziele erreichen. Die Handlungsbedingungen sind dabei von Stadt zu Stadt unterschiedlich. Einen übertragbaren und allgemein gültigen Königsweg kann und wird es nicht geben.[74] Die handelnden Akteure müssen das Rad allerdings auch nicht immer wieder neu erfinden: Es gibt viele gute Ansätze, die von einer Stadt auf andere Städte übertragen werden können. Hierfür ist ein zielgruppengerechter Wissenstransfer in die Kommunen und Kommunalverwaltungen seitens der Wissenschaft, der Projektträger und der Ministerien notwendig.

Auch wenn die Kommunen Planungshoheit für ihre örtlichen Planungen haben, sind sie vielfach in der Umsetzung durch die bestehenden Gesetze des Straßenrechts und des Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) eingeschränkt. Grundsätzlich sind sie auf die Unterstützung der Länder, des Bundes und auch der EU angewiesen. Bund, Länder und die EU sollten die Erstellung und Umsetzung integrierter Entwicklungskonzepte fördern, sowohl durch inhaltlich und interministeriell abgestimmte Förderprogramme als auch durch kommunale Erfahrungsaustausche und praxisorientierte Projekte. Die Kommunen benötigen Verlässlichkeit bei der Finanzierung des kommunalen Verkehrs (siehe These 10) ebenso wie erweiterte Spielräume kommunalen Handelns.[75, 76] Ein sinnvoller Weg, Kommunen in ihrer Innovationstätigkeit zu unterstützen, ließe sich über Anreizsysteme schaffen, um nachhaltige Mobilitätsformen zu erproben und in den Realbetrieb zu überführen.

Von Bedeutung ist vor allem eines: Städte benötigen Rechtssicherheit. Insbesondere bei der Erprobung von temporären und flexiblen Nutzungen sollten sogenannte Experimentierklauseln kommunales Handeln erleichtern (siehe These 5). Die StVO und gegebenenfalls die Straßengesetze der Länder sollten dahingehend geändert werden, dass sie innovative Entwicklungen ohne aufwendige Widmungsänderungen ermöglichen. Die Maßnahmen und Instrumente, die für die Umsetzung genutzt werden, sollten nicht nur flexibel in der Anwendung sein, sondern auch an ihrem Beitrag für Umwelt- und Klimaschutz sowie für das Gemeinwohl gemessen werden.

73 Beckmann, K. J. (2013)

74 Difu (2015)

75 Ein Beispiel für die mögliche Erweiterung des kommunalen Handlungsspielraums liegt etwa in der Gebührenbemessung von Anwohnerparkausweisen. Die Kommunen haben bislang nicht die Möglichkeit, die Gebühren für das Anwohnerparken beispielsweise am ökonomischen Wert innenstädtischer Flächen auszurichten, sondern müssen sich an die Vorgaben des Bundes halten.

76 DST (2016)

Über den Erfolg der Mobilitätswende wird aber nicht nur innerhalb der Städte entschieden. Es muss auch gelingen, die neu entstehenden Angebote verstärkt in der Fläche, also auch außerhalb der großen Zentren, anzubieten und so die Erreichbarkeit und die Mobilität von Menschen zu sichern.

These
04

Auch das Land wird von der Mobilitätswende profitieren.

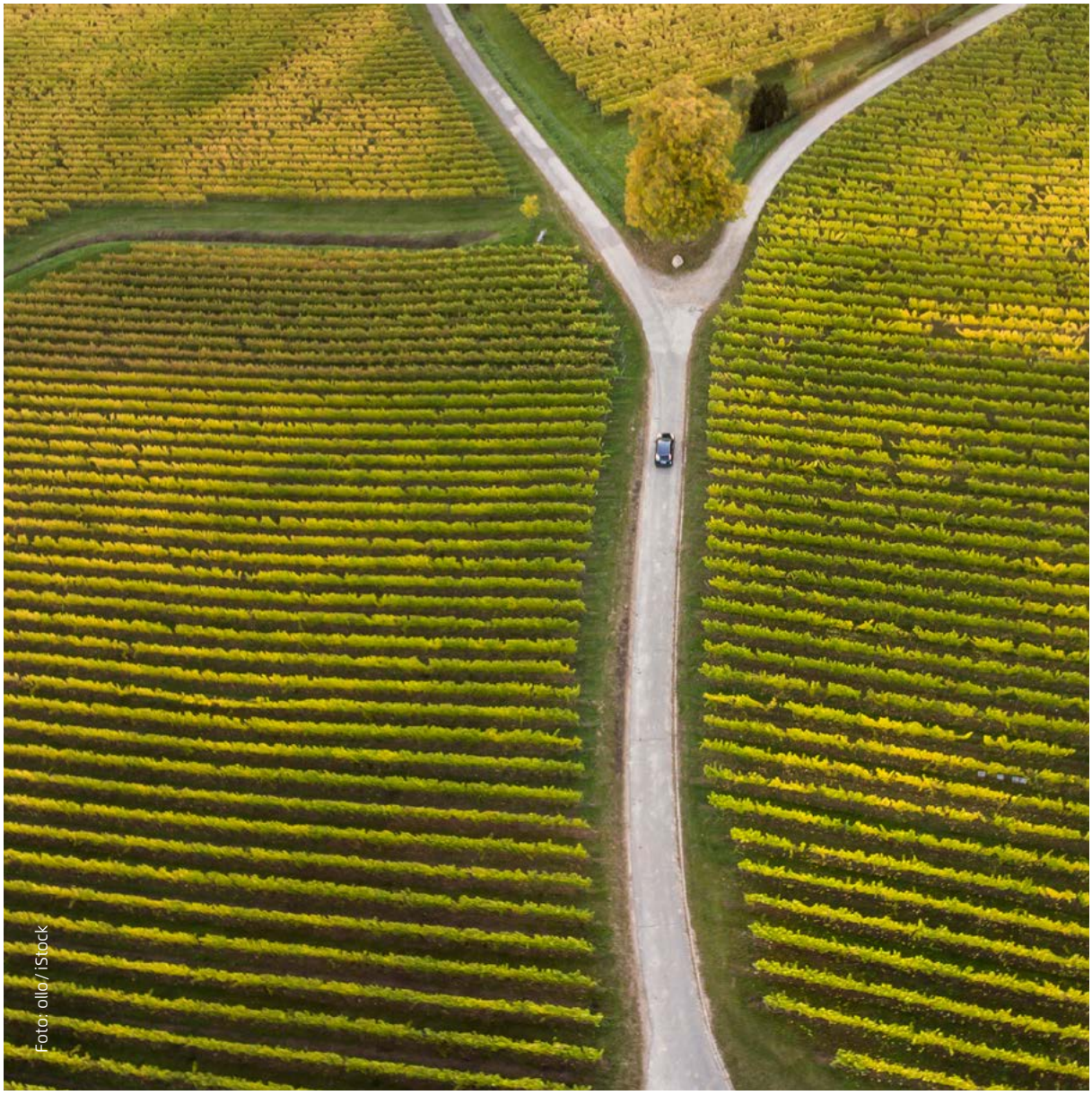


Foto: ollo / iStock

Während in den Städten das Verkehrsverhalten zunehmend multimodal geprägt ist, bleibt auf dem Land für die überwiegende Mehrheit der Bevölkerung das private Auto Verkehrsmittel Nummer eins. Es wird für die meisten Wege genutzt und erst recht für weitere Strecken. Die Dominanz des Autos gilt im Übrigen auch für den Urlaubs- und Freizeitverkehr, der einen erheblichen Anteil an der Verkehrsleistung hat. Die Schaffung klimaverträglicher Alternativen zum herkömmlichen Pkw, sei es durch technische Effizienzsteigerungen oder durch Verlagerung auf umweltfreundliche Alternativen, stellt eine große Herausforderung dar.

Die Mehrzahl der Menschen lebt in Mittelstädten und in den sogenannten Speckgürteln der Ballungszentren. Das „Häuschen im Grünen" erfreut sich einer ungebrochenen Beliebtheit. Die Arbeitsplätze befinden sich dagegen meist in der Stadt oder am Rand der Städte, wodurch es zu ausgeprägten Stadt-Land-Verflechtungen und zu einem großen Pendleraufkommen kommt. Im Zusammenhang mit flexibleren Arbeitsverhältnissen und Lebenslagen führt dies zu immer entfernungsintensiveren Lebensstilen und folglich zu einem anhaltenden Verkehrswachstum. Je disperser die Siedlungsstruktur, desto höher der alltägliche Radius der Aktivitäten und damit die Anzahl der Personenkilometer, die zurückgelegt werden.[77] Dieser Prozess wird durch klimaschädliche Subventionen gefördert, zum Beispiel durch die Pendlerpauschale und Steuervorteile für Dienstwagen.

Auf dem Land bleibt das private Auto wichtig.

Die Anzahl der alltäglich zurückgelegten Kilometer ist in ländlichen Regionen höher als in Städten – Gleiches gilt für die Autoverfügbarkeit. In Orten mit weniger als 50.000 Einwohnern sind fast 600 Autos pro 1.000 Einwohner zugelassen, in Großstädten mit mehr als 500.000 Einwohnern sind es lediglich 360 Pkw auf 1.000 Einwohner.[78] Analog dazu nehmen Angebot und Qualität des Öffentlichen Personenverkehrs (ÖPV) mit abnehmender Siedlungsdichte ab. Aufgrund der hohen Autoverfügbarkeit und der damit verbundenen geringeren und schwer zu bündelnden Nachfrage ist der ÖPV im Vergleich mit dem privaten Pkw kaum konkurrenzfähig. Für die Daseinsvorsorge und Mobilitätssicherung mobilitätseingeschränkter und nichtmotorisierter Personen bleibt er jedoch unverzichtbar. Zwar lassen sich alternative Mobilitätsdienstleistungen wie Peer2Peer-Sharing, Mitfahrplattformen etc. auch auf dem Land realisieren – und zwar mit fortschreitender Digitalisierung und Verbreitung von Informationstechnologien sogar zunehmend einfacher. Dennoch ist aufgrund der dispersen Nachfragestrukturen mit wirtschaftlichen Geschäftsmodellen erst mittelfristig zu rechnen. Eine bislang auch aufgrund des geltenden Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) wenig berücksichtigte Finanzierungsmöglichkeit sind Querfinanzierungen zwischen nachfragestarken und -schwachen Regionen.

Für die Aufrechterhaltung der Mobilität in ländlichen Räumen sind die Bewohner heute und auch perspektivisch auf ihr Auto angewiesen. Damit die Autonutzung im Einklang mit den Erfordernissen des Klimaschutzes geschieht, ist auf die technische Effizienz, in diesem Fall auf die Elektrifizierung des Antriebsstranges, zu setzen. Die Furcht vor ungenügenden Reichweiten batterieelektrischer Fahrzeuge ist dabei unbegründet: 80 bis 87 Prozent aller Wege der ländlichen und suburbanen Bevölkerung können bereits mit heutigen Batteriereichweiten elektrisch angetriebener Fahrzeuge bewältigt werden.[79] Auch weitere berufliche Pendelwege sind zu bewältigen, wie detaillierte Auswertungen von Fahrprofilen zeigen.[80] Das oft für Städte identifizierte Problem mangelnder Ladeinfrastruktur stellt sich dabei außerhalb der Zentren kaum. Die E-Fahrzeuge können auf dem eigenen Grundstück oder in der eigenen Garage einfach aufgeladen werden. Mit dem Inkrafttreten des Gesetzes zur Förderung von Elektromobilität ist das Laden der E-Fahrzeuge am Arbeitsplatz ebenfalls rechtlich möglich.[81] Hinzu kommen weitere mögliche Vorteile in Verbindung mit der Stromproduktion im Eigenheim. So kann beispielsweise durch eine Solaranlage auf dem Dach eigener Strom produziert und zum Laden der Batterie verwendet werden (siehe These 9).

77 Canzler, W. (2016)
78 ebd.
79 TAB (2012)
80 Fraunhofer ISI (2014)
81 BMF (2016)

Elektrifizierung und Verlagerung gehen Hand in Hand.

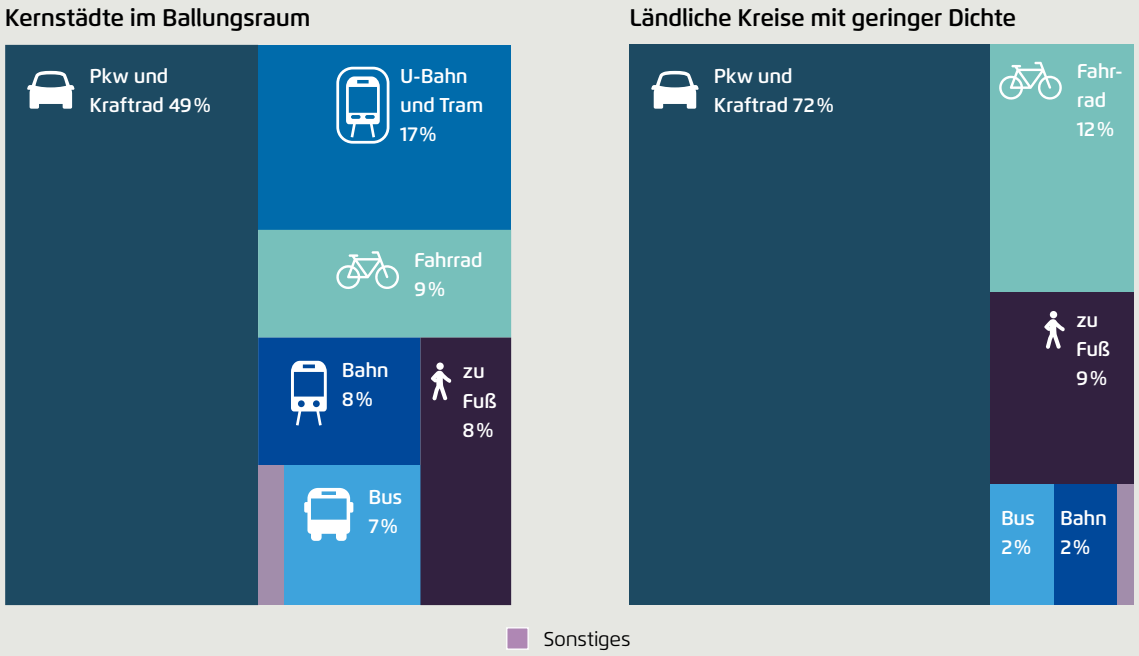
Die Elektrifizierung des Antriebsstranges ist gerade in suburbanen Regionen nicht der einzige Weg zu mehr Klimaschutz. Es gibt durchaus auch Potenzial zur Verlagerung des Pkw-Verkehrs auf umweltverträglichere Verkehrsmittel. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die Pendlerverkehre.[82] Interessant ist: Auf dem Land gelangt man schneller zur Arbeit als in den Städten. Sehr kurze Pendelzeiten sind überraschenderweise eher in ländlichen Räumen ohne größeres Oberzentrum verbreitet. Dort benötigen 30 Prozent der Erwerbstätigen maximal zehn Minuten zum Arbeitsplatz. Auch bei der Verkehrsmittelwahl zeichnet sich ein klares Bild ab: Außerhalb der Ballungsräume und der städtischen Zentren nutzen mindestens 70 Prozent der Erwerbstätigen das Auto für den Weg zur Arbeit, unabhängig davon, wie weit dieser Weg ist (vgl. Abbildung 4.1).[83]

Dieser Befund bietet Ansatzpunkte für eine klimaverträglichere Gestaltung der Pendlerverkehre. 29 Prozent der Arbeitswege sind kürzer als fünf Kilometer, 20 Prozent zwischen fünf bis 10 Kilometer lang. Hier bestehen Potenziale zur Verlagerung von MIV-Fahrten auf das Rad bzw. Pedelec sowie zur Reduktion der verkehrlichen und ökologischen Folgen der Pendlerverkehre. Aufgrund des Geschwindigkeitsvorteils der Pedelecs im Vergleich zum Fahrrad erhöht sich der Aktionsradius enorm und Studien zeigen, dass selbst Pendeldistanzen von rund 15 Kilometer noch eine attraktive Alternative zum Pkw sein können – bei vergleichsweise geringen Kosten.[84] Analog zur Dienstwagenregelung gibt es seit einiger Zeit eine Dienstradregelung, die einen guten Ansatzpunkt für betriebliches Mobilitätsmanagement bietet.

82 Destatis (2014)
83 Schüller, F.; Wingerter, C. (2016)

84 Czowalla, L. (2016)

Verkehrsmittelwahl von Berufspendlern im Vergleich zwischen Stadt und Land — Abbildung 4.1



Eigene Darstellung nach Zeit Online (2016)

Voraussetzung für die regelmäßige Pedelec-Nutzung als Pendelverkehrsmittel sind attraktive und durchgängige Radwegenetze oder sogar Radschnellwege, die darüber hinaus noch einen touristischen Mehrwert bieten. Ebenso notwendig sind sichere Abstellanlagen.[85]

Aber auch bei der Nutzung des ÖPNV spielt die regionale Infrastruktur für das Pendlerverhalten eine entscheidende Rolle. In Regionen mit gut ausgebautem ÖPNV-Netz werden Arbeitswege oft mit dem öffentlichen Verkehr zurückgelegt. Sind die Netze gut, wird der ÖPNV in der Regel auch genutzt.

Innovationen im öffentlichen Verkehr bringen Alternativen auf das Land.

Für diese Erweiterung und Modernisierung des Mobilitätsangebots in der Fläche sind grundlegend neue Ansätze notwendig. Fast überall gilt: Der klassische ÖPNV ist auf dem Land zu starr organisiert, mit der Folge zu großer Lücken in Netz und Taktung. Potenzielle Nutzer haben deshalb nur selten die Möglichkeit, das effizienteste Verkehrsmittel zu wählen oder es mit anderen Verkehrsmitteln zu kombinieren. Deshalb ist der Pkw mit einem Anteil von mindestens 50 Prozent aller Wege fast über sämtliche Lebensphasen eines Bewohners hinweg das vorrangige Verkehrsmittel im ländlichen Raum.[86]

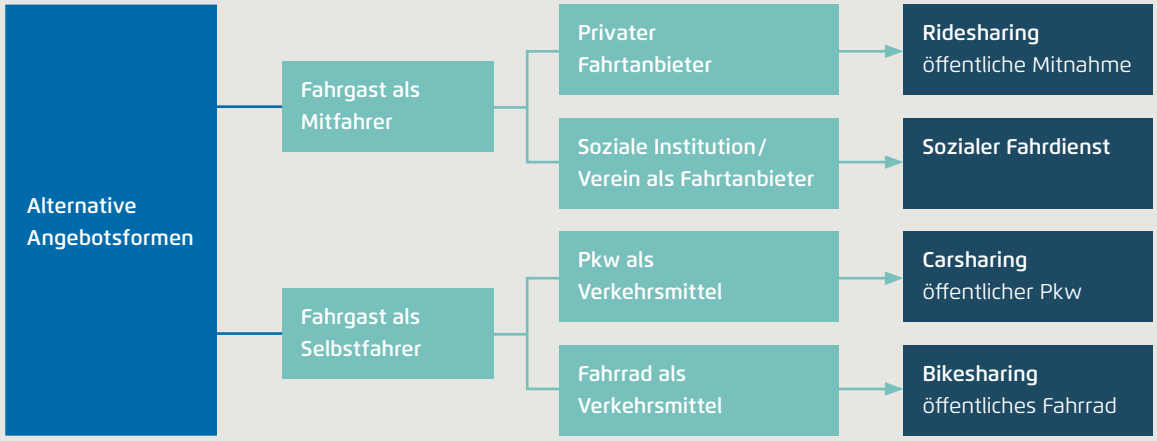
Schüler und Auszubildende bilden im ländlichen ÖPNV die nachfragestärkste Bevölkerungsgruppe. Die Subventionierung der Schülerverkehre finanziert die ländlichen ÖPNV-Angebote, entsprechend bestimmen diese das Angebot, die Fahrzeiten und Routen im öffentlichen Landverkehr. Die mit der demografischen Entwicklung verbundene zahlenmäßige Abnahme der Schüler stellt dieses herkömmliche Finanzierungssystem in Frage.

Vor diesem Hintergrund bietet sich jedoch auch die Chance, ländliche Mobilität neu zu denken und neu zu gestalten (vgl. Abbildung 4.2). So können insbesondere liniengebundene und für die tatsächliche Nachfrage oft überdimensionierte Busse durch kleinere Fahrzeuge ersetzt werden, die flexibel buchbar mit intelligenter Routenführung das bestehende Angebot verbessern. Die Weiterentwicklung bestehender Ruf- und Bürger-

85 Difu (2016)

86 VDV (2016)

Alternative Angebotsformen für den ländlichen Raum — Abbildung 4.2



Eigene Darstellung nach BMVI (2016c), S. 29

buskonzepte mithilfe von Smartphone-Apps bietet zum Beispiel die Möglichkeit, den rückläufigen Schülerverkehr effizienter abzuwickeln und zugleich die Attraktivität der neuen ÖPNV-Angebote zu erhöhen; ein Großteil der Kosten würde in dem Fall nur dann entstehen, wenn das Fahrtenangebot auch tatsächlich nachgefragt wird. In Gebieten, in denen das Fahrgastpotenzial gering und die Infrastruktur- und Betriebskosten des ÖPNV hoch sind, könnte auf diese Weise sowohl die Mobilität der Landbevölkerung als auch die Wirtschaftlichkeit der Verkehrsunternehmen verbessert werden.

Auch der perspektivische Einsatz autonomer Fahrzeuge in ländlichen Gebieten bietet großes Potenzial für die Gestaltung finanzierbarer und attraktiver ÖPNV-Angebote (siehe These 5). Diese könnten jederzeit und allerorts buchbar sein und damit besonders nah an die die Qualität und Flexibilität eines privaten Pkw heranrücken. Darüber hinaus zeigt eine Vielzahl von Pilotprojekten und Bürgerinitiativen, dass auch Mobilitätsdienstleistungen wie Car- und Bikesharing auf dem Land in bedarfsgerechter Skalierung darstellbar sind und insbesondere für den Freizeitverkehr einen Mehrwert darstellen können.

These
05

Autonome Fahrzeuge werden gemeinschaftlich genutzt.

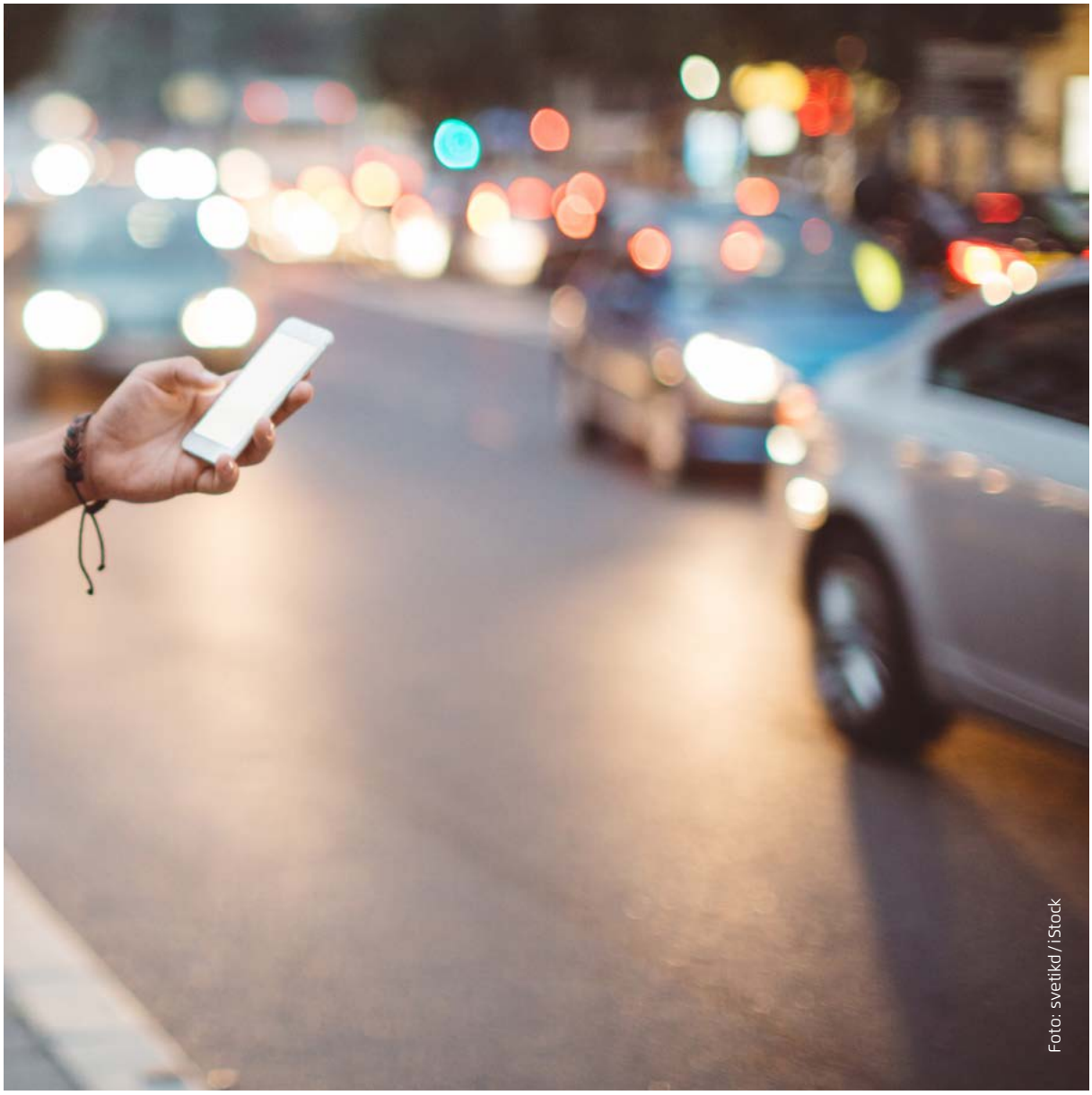


Foto: svetikd / iStock

Die Digitalisierung verändert den Verkehrssektor mit hoher Geschwindigkeit. Sie hat bereits heute Einfluss darauf, welche Verkehrsträger genutzt und kombiniert, welche Routen gefahren und welche Mobilitätsdienstleistungen in Anspruch genommen werden. Dabei steht der Verkehrssektor erst am Anfang des digitalen Wandels. Die rasante Entwicklung der Automatisierung und Vernetzung, aber auch eine steigende Zahl an kollaborativen Mobilitätsangeboten werden noch wesentlich weiterreichende Veränderungsprozesse im Mobilitätsverhalten und Verkehrssystem in Gang setzen. Diese Trends bieten nicht nur die Chance, einen Beitrag zu Sicherheit, Effizienz und Klimaverträglichkeit des Verkehrs zu leisten, sondern bilden auch eine wichtige Grundlage für die Transformation des Verkehrssektors, getrieben von innovativen Technologien und Geschäftsmodellen (vgl. Abbildung 5.1).[87]

Der genauere Blick auf die möglichen Auswirkungen des digitalen Wandels im Verkehr zeigt jedoch, dass dieser Prozess als Gestaltungsaufgabe zu verstehen ist. Er führt nicht zwangsläufig zu positiven Effekten, sondern kann auch mit Risiken verbunden sein; er kann die Verkehrswende sogar gefährden.

Ferner gilt es zu beachten, dass die Digitalisierung weit über den Verkehrssektor hinausgeht. Sie stößt einen weitreichenden, sektorenübergreifenden Strukturwandel an. Das bezieht sich auf Arbeitsplatzeffekte im Industrie- und Dienstleistungssektor (siehe These 11) ebenso wie etwa auf den Schutz und die Sicherheit von Daten oder die Fehlertoleranz (Resilienz) technischer Systeme. Auch diese Faktoren entscheiden mit über die Akzeptanz der Digitalisierung und ihren Einfluss auf das Verkehrssystem.

87 Canzler, W.; Knie, A. (2016)

Trends und Potenziale der Digitalisierung im Verkehr — Abbildung 5.1

Eigene Darstellung

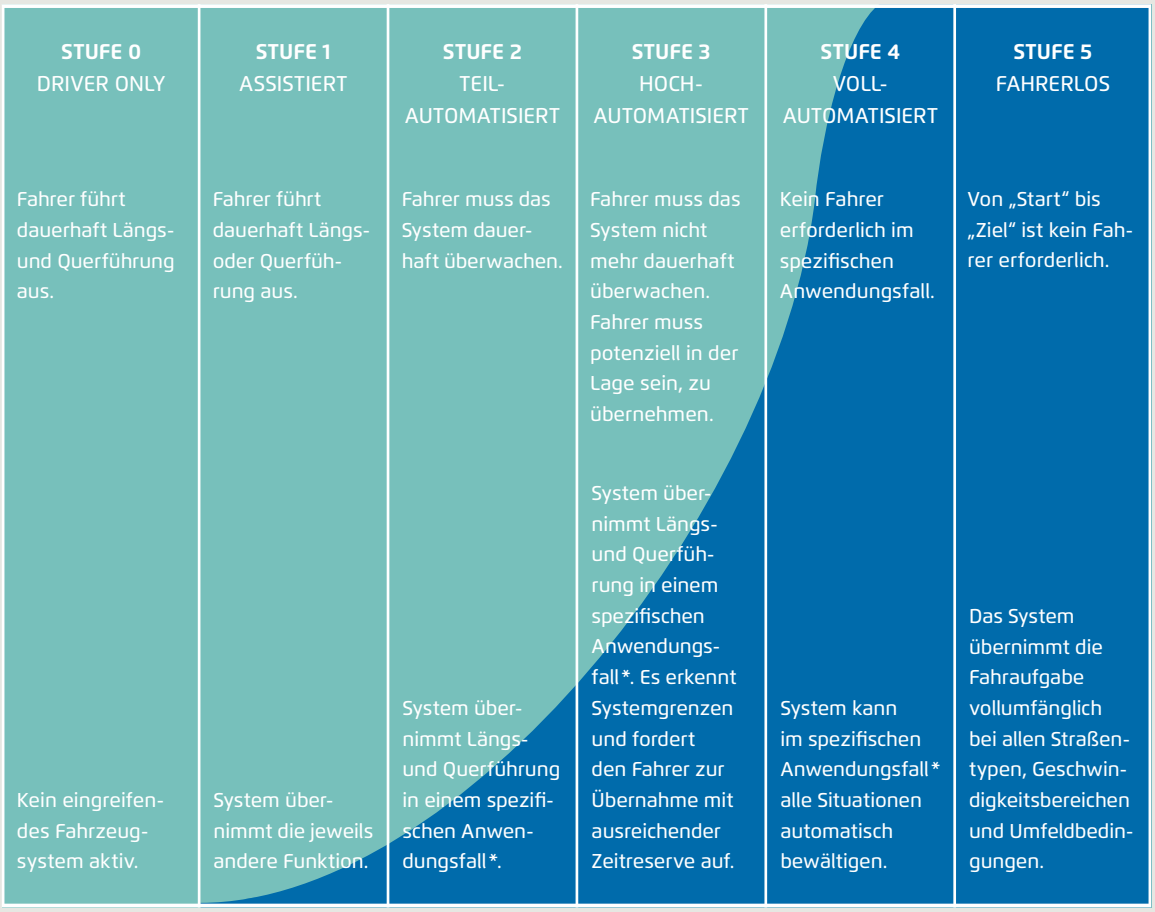
Selbst wenige autonome Fahrzeuge können zu mehr Verkehr führen.

Die Fahrzeugautomatisierung findet schrittweise statt (vgl. Abbildung 5.2). Mit der Ankündigung erster serienreifer autonomer Pkw (Stufe 5) ab dem Jahr 2018[88] rücken Fragen nach Sicherheit und Zuverlässigkeit der Fahrzeuge, aber auch haftungsrechtliche Aspekte und ethische Grundsätze ins Zentrum der fachlichen und öffentlichen Aufmerksamkeit. Auch auf Bundesebene wird der dynamischen Entwicklung der Fahrzeugautomatisierung bereits Rechnung getragen. Gesetzentwürfe zur Anpassung des Wiener Übereinkommens und des Straßenverkehrsgesetzes sollen die technischen Vorschriften für autonome Fahrzeuge sowie den Verantwortungsbereich des Fahrers klären.[89]

88 Driverless Car Market Watch (2016), u. a. Tesla ab 2018; Volkswagen ab 2019; Daimler ab 2020; Honda ab 2020; Nissan ab 2020; BMW ab 2021.

89 BMVI (2015)

Die Stufen der Fahrzeugautomatisierung — Abbildung 5.2



Eigene Darstellung nach VDA (2015), S. 15; * Anwendungsfälle beinhalten Straßentypen, Geschwindigkeitsbereiche und Umfeldbedingungen

Der Einfluss des autonomen Fahrens auf klima- und umweltrelevante Aspekte wie die Veränderung von Fahrzeugnutzung und Mobilitätsverhalten ist bislang wenig thematisiert. Dabei ist gerade dieser Aspekt entscheidend dafür, ob das autonome Fahren einen positiven Beitrag zur Verkehrswende leisten kann.

Positiv auf den Kraftstoff- bzw. Energieverbrauch der Fahrzeuge und damit auf deren CO_2-Bilanz wirkt sich zunächst aus, dass die Fahrzeugautomatisierung eine gleichmäßigere Fahrweise mit geringeren Fahrzeugabständen und einer flüssigeren Abfolge des Verkehrs ermöglicht.[90] Aber vorstellbar sind auch wesentlich tiefer greifende Effekte. Autonome Fahrzeuge, die im Flottenbetrieb ohne Einschränkungen flächendeckend innerhalb kürzester Zeit verfügbar sind, könnten den Mehrwert eines privat genutzten Pkw grundlegend in Frage stellen. In diesem Fall wäre es denkbar, dass kollaborative Mobilitätsangebote durch das autonome Fahren erkennbar an Relevanz gewinnen und der gemeinschaftlichen Fahrzeugnutzung zu einem Durchbruch in gesellschaftlicher Breite verhelfen. Im Ergebnis würde die Integration autonomer Fahrzeuge in den Mobilitätsverbund die Grenze zwischen individuellem und öffentlichem Verkehr vollständig verwischen (siehe These 3).

Erste wissenschaftliche Untersuchungen unter anderem in Lissabon, Pittsburgh und Singapur beschäftigen sich bereits mit diesem Szenario.[91] Die Simulationen zeigen, dass mit der Automatisierung des straßengebundenen ÖPNV und MIV lediglich zehn bis 30 Prozent des Fahrzeugbestandes notwendig sind, um die gegenwärtige Verkehrsnachfrage ohne Einschränkungen in der Mobilität abzudecken – vorausgesetzt die autonomen Fahrzeuge werden gemeinschaftlich, das heißt seriell in Form von Carsharing und insbesondere parallel mit Ridesharing im Flottenbetrieb genutzt. Eine Reduzierung des Fahrzeugbestandes in einer derart signifikanten Größenordnung senkt nicht nur den Energieverbrauch im Verkehr deutlich, sondern erweitert zugleich den kommunalen Gestaltungsspielraum hinsichtlich Flächennutzung und Stadtentwicklung (siehe These 3). Ähnliche Effekte sind auch für den ländlichen Verkehr zu erwarten. Hier bieten autonome Fahrzeuge die Perspektive auf neue Mobilitätsangebote, die auch in der Fläche eine hohe Mobilität ermöglichen (siehe These 4).

Die Fahrzeugautomatisierung führt jedoch nicht zwangsläufig zu einem Positivszenario. Zu den nichtintendierten Wirkungen der Fahrzeugautomatisierung könnten auch solche gehören, die ungewollten Verkehr induzieren: Halter autonomer Fahrzeuge könnten passagierlosen Parkvermeidungsverkehr verursachen, indem sie das Auto in der Stadt zirkulieren lassen, um Parkgebühren zu sparen. Auch die Bereitschaft zum Pendeln weiter Strecken mit dem privaten Pkw könnte zunehmen, da der Nutzwert der Reisezeit steigt und damit die Distanzempfindlichkeit sinkt. Ferner ist eine substanzielle Verlagerung von Wegen des klassischen Umweltverbundes auf autonome Flotten mit kostengünstigem Tür-zu-Tür-Service denkbar.

Das autonome Fahren kann demnach unter Beibehaltung der heutigen Mobilitätskultur und Besitzverhältnisse zu mehr Fahrzeugen mit einer deutlich höheren Fahrleistung führen (vgl. Abbildung 5.3). Selbst bei einer drastischen Reduzierung des Pkw-Bestandes um bis zu 90 Prozent sind verkehrsinduzierende Effekte, zum Beispiel im Falle einer weitgehenden Substituierung des ÖPNV durch gemeinschaftlich genutzte autonome Pkw und Kleinbusse, den bisherigen Szenarien zufolge nicht auszuschließen.[92]

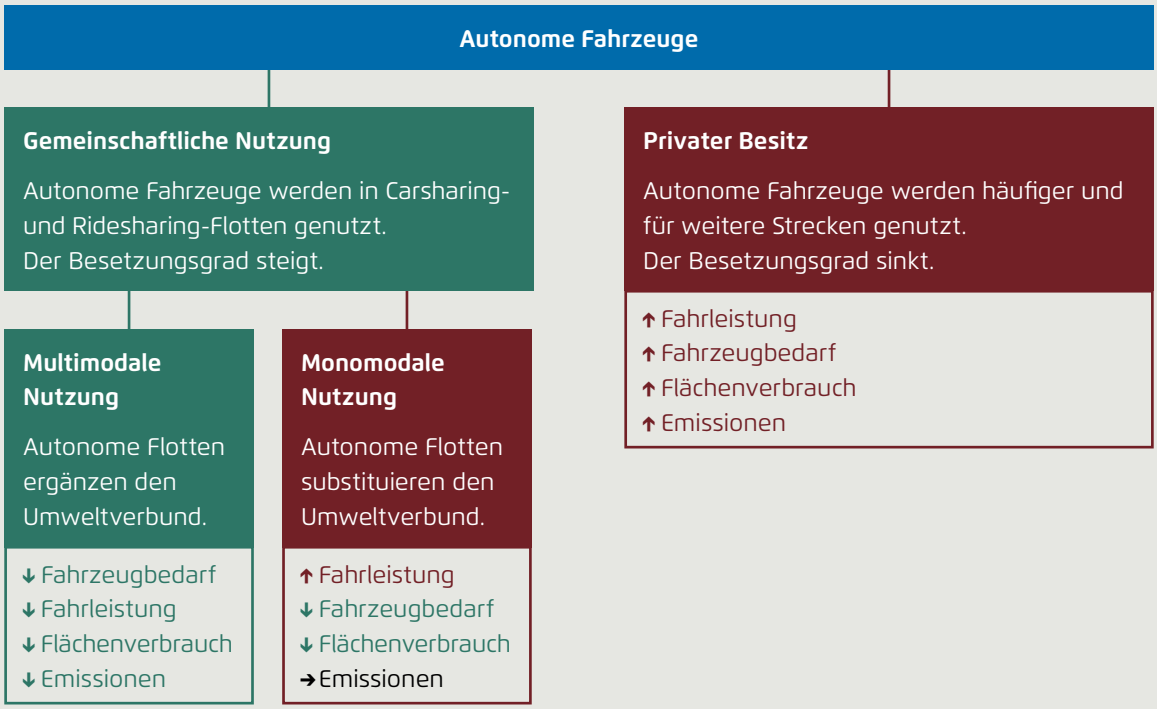
Vor diesem Hintergrund wird deutlich: Hochkapazitive öffentliche Verkehrsträger auf der Schiene und insbesondere der Straße bleiben auch in einer Zukunft mit autonomen Fahrzeugen erforderlich, um die Verkehrsnachfrage zu bündeln und möglichst effizient abzuwickeln. Auf dieser Basis können autonome Fahrzeuge – in kollaborative Mobilitätsdienstleistungen integriert und damit als Teil des Mobilitätsverbundes – eine wichtige flexible Ergänzung zum liniengebundenen ÖPNV darstellen, die positive Effekte hinsichtlich Fahrzeugbedarf und Fahrleistung erwarten lässt. Zugleich sind aber auch Strategien notwendig, um das Risiko einer steigenden Fahrleistung privat genutzter autonomer Fahrzeuge zu minimieren. Auch ordnungs- und fiskalpolitische Maßnahmen sind in diesem Zusammenhang zu diskutieren.

90 BMVI (2015), S. 10

91 ITF (2016); Spieser, K. et al. (2014); Zachariah, G; Kornhauser, M. (2013)

92 ITF (2016)

Nutzungsformen und Auswirkungen der Fahrzeugautomatisierung — Abbildung 5.3



Eigene Darstellung nach Michael Glotz-Richter

Trotz der noch vorherrschenden Ungewissheit über die Auswirkungen des autonomen Fahrens bedarf es einer frühzeitigen Auseinandersetzung mit den positiven wie negativen Effekten. Eine vielversprechende Zukunftsperspektive zeichnet sich dabei schon heute ab: Sofern die multimodale Integration autonomer Fahrzeuge in ein hochleistungsfähiges Verkehrssystem gelingt, könnte die Mobilität in Städten auch gänzlich ohne motorisierten Individualverkehr auf heutigem Niveau gehalten oder gar darüber hinaus gesteigert werden – nicht zuletzt, da auch die öffentlichen Verkehrsträger von der steigenden Fahrzeugautomatisierung profitieren und an Effizienz und Komfort gewinnen würden.

Die Vernetzung des Verkehrssystems trägt zur Mobilitätswende bei.

In einem zukunftsfähigen Verkehrssystem sind straßen- und schienengebundene Verkehrsträger mit intelligenter Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsleitsystemen (etwa Verkehrszeichen, Parkraum, Lichtsignalanlagen) auf Basis von Informations- und Kommunikationstechnologien digital zu einem kommunikativen System vernetzt. Dies ebnet den Weg für eine steigende Fahrzeugautomatisierung und schafft die Grundlage dafür, sowohl den Personen- als auch den Güterverkehr effizienter, klimaverträglicher und sicherer zu gestalten. Kombiniert mit der zielgerechten Nutzung großer Datenmengen (*Big-Data*-Anwendungen) können Verkehre vorausschauend geleitet und inter- wie multimodale Reiseketten nahtlos bewältigt werden; die vorhandene Verkehrsinfrastruktur lässt sich auf diese Weise effizienter nutzen. Als Folge davon kann nicht nur das Mobilitäts-

verhalten positiv beeinflusst und der verkehrsbedingte CO_2-Ausstoß reduziert, sondern auch der Bedarf an Neu- und Ausbau der Verkehrsinfrastruktur gesenkt werden. Ein bislang noch unterschätzter Nutzen eines vernetzten Verkehrssystems ist der Zugewinn an verkehrspolitischen Gestaltungsmöglichkeiten. Adaptive Umweltzonen und flexibel gestaltete Mautsysteme (siehe These 10), die zwischen Verkehrsdichte, Tageszeit, CO_2-Emissionen und Luftqualität differenzieren, könnten als „Software" für klimaverträglichen Verkehr auf Basis einer digitalen Infrastruktur genutzt werden.

Ein zunehmender Vernetzungsgrad bedeutet aber auch, dass jedes nicht vernetzte Fahrzeug künftig als Störfaktor innerhalb des Verkehrssystems agiert. Die Antwort auf die Frage, wie eine Transitionsphase mit vernetzten und nichtvernetzten Verkehrsteilnehmern ohne Effizienzverluste und Sicherheitsrisiken organisiert werden kann, ist noch offen – angesichts der fortschreitenden Fahrzeugautomatisierung allerdings dringend zu beantworten. Dabei wird unter anderem zu diskutieren sein, ob auch Rad- und Fußverkehr in die Vernetzung einbezogen werden kann bzw. soll, ob separate Infrastrukturen für vernetztes und autonomes Fahren notwendig sind oder ob autonome Fahrzeuge etwa nur in gesonderten Bereichen wie Landstraßen und Autobahnen (autonom) fahren dürfen.

Bei schienengebundenen Fahrzeugen ist die Automatisierung aufgrund der Spurführung einfacher umsetzbar als im Straßenverkehr. Insbesondere Stadtbahnsysteme ohne gemischten Verkehr bieten günstige Voraussetzungen für das vernetzte und automatisierte Fahren. Mit autonomen Zügen können Pünktlichkeit, Taktung und Energieeffizienz, beispielsweise durch geringere Sicherheitsabstände und eine sparsamere Fahrweise, verbessert werden.

Das Smartphone ist der Schlüssel für vernetzte Mobilität.

Das Smartphone mit mobilem Internetempfang ist eine Schlüsseltechnologie für die Digitalisierung im Verkehr. Es ermöglicht die Entstehung und Weiterentwicklung kollaborativer Mobilitätsdienstleistungen und wird zunehmend als persönlicher Navigator in einem wachsenden Umfeld an Mobilitätsoptionen eingesetzt. Darüber hinaus unterstützt es immer häufiger die moderne Verkehrsforschung bei der Analyse von Verhaltensänderungen und liefert somit wichtige Erkenntnisse für eine auf Multimodalität ausgelegte integrierte Verkehrsplanung.

Mit dem Smartphone kann der einzelne Verkehrsteilnehmer schnell und spontan auf eine breite Vielfalt an Mobilitätsdienstleistungen zugreifen, unter anderem auf stationsbasierte und stationsunabhängige Carsharing-Fahrzeuge (vgl. Abbildung 5.4). Gleichzeitig übernimmt das Smartphone immer häufiger die inter- und multimodale Planung der persönlichen Mobilität. Unter Angabe unterschiedlicher Präferenzen wie Zeit, Kosten oder CO_2-Emissionen lässt sich mit dem Smartphone die optimale Route bestehend aus der Kombination aller Verkehrsmittel berechnen und in vielen Fällen bereits die gesamte Reisekette buchen und bezahlen. Der Smartphone-Nutzer wird somit Teil des vernetzten Verkehrssystems, das ihm die für seine persönliche Verkehrsmittelwahl relevanten Informationen in Echtzeit liefert. Multimodale Mobilität wird auf diese Weise einfach, komfortabel und ökonomisch transparent.

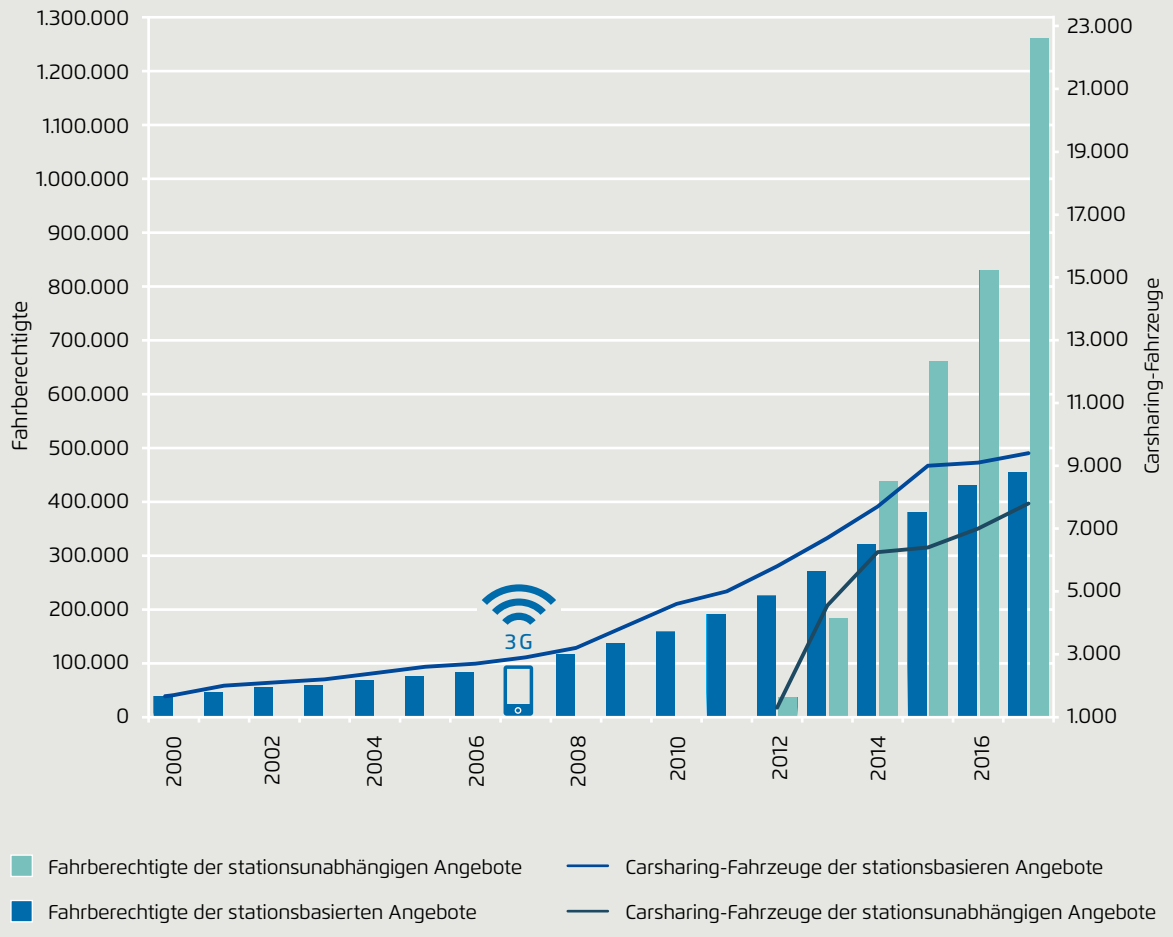
Wie sich in den Städten bereits zeigt, prägt das Smartphone den Wandel hin zu einer inter- und multimodalen Mobilitätskultur – und auch in Zukunft wird es maßgeblich zur Organisation von Mobilität beitragen. Entscheidend ist dabei, dass nicht nur innovative Start-ups neue Mobilitätslösungen entwickeln, sondern auch klassische Verkehrsunternehmen sich dem digitalen Wandel öffnen. Auf diese Weise kann der ÖPNV mit neuen Mobilitätsdienstleistungen wie Car-, Bike- und Ridesharing digital verknüpft und damit die flächendeckende Verfügbarkeit eines integrierten Mobilitätsangebotes mit elektronischem Ticketing gefördert werden. Dabei sollte der Wandel hin zu Smartphone-zentrierter Mobilität nicht zu einer digitalen Spaltung der Gesellschaft führen. Ein vergleichbares Qualitätsniveau von Informations-, Buchungs- und Bezahlsystemen auch fernab des eigenen Smartphones ist zu gewährleisten. Beispielgebend hierfür ist die bundesweite Einführung des eTickets. Die geplante Abschaffung von Papierfahrscheinen bis Ende 2018 erfolgt nicht ausschließlich durch die Abrechnung per Smartphone, sondern ebenso über eine elektronische Chipkarte, die ohne Mobiltelefon genutzt werden kann.[93]

93 Mobilität 21 (2016)

Oftmals noch unterschätzt ist das Potenzial des Smartphones für Forschung und Planung. Klassische Erhebungsmethoden wie Verkehrszählungen, Befragungen und Wegetagebücher können mit der zunehmenden Diversifizierung des Mobilitätsangebotes nur noch schwer Schritt halten. Der Einsatz mobiler Endgeräte ermöglicht eine detaillierte Analyse des Mobilitätsverhaltens bei gleichzeitiger Entlastung der Erhebungsteilnehmer. Insbesondere bei empirischen Langzeiterhebungen und Verkehrsmodellierungen können auf diese Weise Detailgrad, Umfang und Zuverlässigkeit der Daten deutlich verbessert werden. Es ist daher naheliegend, digitale Erhebungsmethoden in der Verkehrsforschung und -planung weiter zu etablieren und die Potenziale des Smartphones nicht ausschließlich auf den individuellen Nutzen zu beschränken. So zeigt unter anderem der Nationale Radverkehrsplan 2020, dass Smartphone-basierte Erhebungen bei der bedarfsorientierten Planung von Verkehrsknotenpunkten und intermodalen Mobilitätsschnittstellen einen wertvollen Beitrag leisten.[94]

94 Nationaler Radverkehrsplan 2020 (2016)

Die Entwicklung von stationsunabhängigem und free-floating Carsharing in Deutschland — Abbildung 5.4



Eigene Darstellung nach BCS (2017)

Vernetzte Mobilität und Datenschutz sind kein Widerspruch.

Ob mit dem Smartphone oder im modernen Auto, täglich werden große Mengen von Mobilitätsdaten erzeugt: durch die App-basierte Routenplanung, durch die Nutzung neuer Mobilitätsdienstleistungen oder durch die Navigation im privaten Auto, das längst imstande ist, Fahrzeug- und Geodaten zu erfassen und zu übertragen. Vor dem Hintergrund der steigenden Automatisierung und Vernetzung des Verkehrssystems gewinnt die Frage nach Verfügbarkeit, Eigentum, Verarbeitung und Schutz dieser Daten zunehmend an Relevanz. Die Antwort darauf wird maßgeblich über Vertrauen und Akzeptanz der Nutzer, aber auch über das Innovationspotenzial neuer Technologien und Mobilitätsdienstleistungen entscheiden.

Ziel muss es daher sein, Klarheit für Nutzer und Hersteller bzw. Betreiber im Hinblick auf die Verarbeitung personenbezogener Daten zu schaffen, beispielsweise durch die Stärkung der informationellen Selbstbestimmung. In diesem Fall wird der Nutzer über Umfang und Verwendung der erhobenen Daten informiert und entscheidet grundsätzlich selbst, ob er die Daten freigeben möchte. Eine auf Datenschutz ausgerichtete Voreinstellung *(privacy by default)* würde einen Grundschutz der Verbraucher gewährleisten und datenschutzrechtliche Konflikte weitgehend vermeiden.[95] Um die Nutzung von Daten dennoch nicht systematisch auszuschließen, können diese unter Rückgriff auf Anonymisierung bzw. Pseudonymisierung verarbeitet werden.[96] So lassen sich auch größere Datensätze, beispielsweise für Big-Data-Anwendungen, erheben, ohne den im Datenschutzrecht festgelegten Grundsatz der Datensparsamkeit zu verletzen.[97]

95 von Schönfeld, M. (2015)

96 „Anonymisieren ist das Verändern personenbezogener Daten derart, dass die Einzelangaben über persönliche oder sachliche Verhältnisse nicht mehr oder nur mit einem unverhältnismäßig großen Aufwand an Zeit, Kosten und Arbeitskraft einer bestimmten oder bestimmbaren natürlichen Person zugeordnet werden können." (nach BDSG § 3 Absatz 6). „Pseudonymisieren ist das Ersetzen des Namens und anderer Identifikationsmerkmale durch ein Kennzeichen zu dem Zweck, die Bestimmung des Betroffenen auszuschließen oder wesentlich zu erschweren." (nach BDSG § 3 Absatz 6 a).

97 von Schönfeld, M. (2015)

Neben dem Schutz personenbezogener Daten liegt ein weiteres Erfordernis in der flächendeckenden Verfügbarkeit öffentlicher Mobilitäts- und Infrastrukturdaten. Die Bereitstellung von Kartengrundlagen, Fahrplan- und Tarifinformationen, aber auch von Echtzeitinformationen wie Wetterdaten und Unfallwarnungen schafft Wettbewerbsgleichheit und wirkt sich innovationsfördernd auf die Entstehung neuer Mobilitätsangebote aus. Mit der Verfügbarkeit offener Daten und der Nutzung von Massendaten könnten alleine innerhalb der EU jährlich 629 Millionen Stunden Stau vermieden werden. Die Erschließung dieses Potenzials würde nicht nur den Energieverbrauch des MIV um ca. 16 Prozent reduzieren, sondern auch zu volkswirtschaftlichen Einsparungen in Höhe von rund 28 Mrd. Euro führen.[98] Grundlage für eine flächendeckende Lösung kann ein Open-Data-Gesetz sein, das die Offenlegung von Daten in einheitlichen Datenstandards regelt und deren Bereitstellung in einem Online-Portal sicherstellt.[99]

Reallabore ebnen den Weg für Innovationen.

Auch wenn der digitale Wandel bereits im Verkehrssektor angekommen ist, sind empirisch belastbare Aussagen zu den klimabezogenen Effekten neuer Mobilitätsdienstleistungen bislang nur eingeschränkt möglich. Sie erfordern Erfahrungen aus dem Realbetrieb. Die Sammlung von Lernerfahrungen kann einen wesentlichen Beitrag leisten, nicht nur, um Technologien bis zur Serienreife zu entwickeln und die verkehrlichen und verhaltensbezogenen Auswirkungen innovativer Mobilitätsangebote zu erforschen.

Erste Bemühungen zur Erprobung neuer Ansätze im Verkehrssektor existieren bereits in Deutschland, etwa in Form des Förderprogramms Schaufenster Elektromobilität[100] oder der digitalen Testfelder für automatisiertes und vernetztes Fahren.[101] Viele dieser Forschungsschwerpunkte sind jedoch stark oder nahezu

98 EU COM (2015)

99 Dies wird zum Beispiel in Deutschland mit dem Mobilitäts Daten Marktplatz (MDM) bereits in Ansätzen praktiziert. Vgl. MDM-Portal (2016)

100 Schaufenster Elektromobilität (2015)

101 BMVI (2016b)

ausschließlich technologieorientiert. Nur selten stehen Aspekte wie die Integration innovativer Mobilitätsangebote in das Verkehrssystem und damit verbundene Effekte im Mittelpunkt der Untersuchungen. Entsprechende Erprobungsräume könnten jedoch wertvolle Lernerfahrungen generieren und dabei neue im Zuge der Digitalisierung entstehende Gestaltungsmöglichkeiten berücksichtigen. So wäre mitunter der Testbetrieb neuer Mobilitätsdienstleistungen wie Ridesharing durch die Flexibilisierung oder eine zeitlich begrenzte Aufhebung des Personenbeförderungsgesetzes zu diskutieren, um Erfahrungen zu Nutzerakzeptanz und Verhaltensbeeinflussung zu sammeln und diese wiederum für regulatorische Innovationen zu nutzen (z. B. durch eine entsprechende Ausweitung der Experimentierklausel § 2 Abs. 7 PBefG[102]).

Um experimentelle Ansätze dieser Art in Deutschland stärker zu fördern, sollte der Gesetzgeber seine Rolle als Wegbereiter für Innovationen im Verkehrssektor wahrnehmen und – nach internationalem Vorbild[103] – eine Ausweitung entsprechender Freiräume diskutieren. So könnten Reallabore auch für fiskalpolitische Instrumente wie die Einführung und Weiterentwicklung von Umweltzonen und von neuen Parkraumbewirtschaftungskonzepte oder für die Förderung von Mobilitätsallianzen geschaffen werden, beispielsweise zwischen klassischen Verkehrsunternehmen und neuen Mobilitätsdienstleistern.

Wichtig ist dabei in allen Fällen eine frühzeitige Einbindung der Planungsbehörden auf regionaler und kommunaler Ebene sowie eine systematische und transparente wissenschaftliche Begleitung der Lernerfahrungen. Auf diese Weise können die gewonnenen Erkenntnisse verwertbar und übertragbar gemacht werden, beispielsweise um Defizite in der vorherrschenden Verkehrsplanung und Gesetzgebung aufzudecken. Zugleich können Reallabore belastbare Erkenntnisse für die Validierung von Verkehrsmodellierungen und Strategien zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors liefern.

102 Dort heißt es: „Zur praktischen Erprobung neuer Verkehrsarten oder Verkehrsmittel kann die Genehmigungsbehörde auf Antrag im Einzelfall Abweichungen von Vorschriften dieses Gesetzes oder von auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Vorschriften für die Dauer von höchstens vier Jahren genehmigen, soweit öffentliche Verkehrsinteressen nicht entgegenstehen."

103 Ein Beispiel hierfür ist die Lockerung des Taxigesetzes im Schweizer Kanton Genf, die eine Erprobung von Ridesharing-Angeboten im Realbetrieb ermöglicht. Siehe Tages-Anzeiger für Stadt und Kanton Zürich (2016)

These
06

Elektromobilität ist der Schlüssel der Energiewende im Verkehr.

Foto: suze / photocase.de

Trotz effizienterer Abwicklung des Verkehrs und trotz neuer Verhaltensmuster der Verkehrsteilnehmer wird auch in Zukunft ein erhebliches Verkehrsaufkommen mit motorisierten Verkehrsmitteln zu bewältigen sein. Soll der Verkehr bis zum Jahr 2050 praktisch CO_2-frei werden, müssen deshalb alternative Antriebstechnologien in Kombination mit alternativen Antriebsenergien die herkömmliche Technik ersetzen.

Dies gilt umso mehr vor dem Hintergrund des wachsenden Weltmarktes für Pkw: Bis 2050 könnte ihre Zahl von derzeit etwa 900 Millionen auf rund 2,4 Milliarden ansteigen.[104] Mit den inzwischen auch international vereinbarten Klimaschutzzielen ist das nur vereinbar, wenn gleichzeitig der Anteil der emissionsfreien Fahrzeuge maßgeblich steigt – nicht nur im Personen-, sondern auch im Gütertransport.

Die Herausforderung ist inzwischen politisch erkannt: Die Bundesregierung will laut Klimaschutzplan 2050 den Verkehr dekarbonisieren und Deutschland sowohl zum Leitmarkt als auch zum Leitanbieter bei der Elektromobilität machen; außerdem wird eine Kostenreduktion und eine Erhöhung der Systemzuverlässigkeit im Bereich Wasserstoff angestrebt.[105] Die gesetzlichen Rahmenbedingungen zur Erreichung dieser Ziele sind allerdings noch weiterzuentwickeln. Die Erfahrungen bei der Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen haben gezeigt, dass neue Märkte dann entstehen, wenn Investoren verlässliche Rahmenbedingungen haben. Diese herzustellen, ist Aufgabe der Politik.

Batterieelektrische Fahrzeuge sind der Maßstab für Effizienz und Kosten.

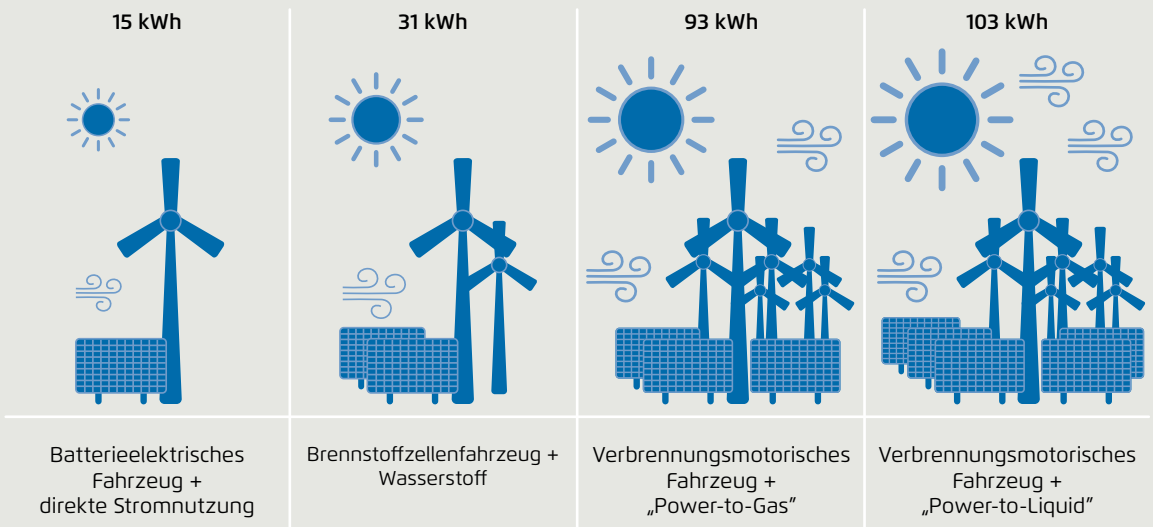
Elektromobilität im Straßenverkehr ist ein Sammelbegriff, der verschiedene technische Facetten umfasst:

- Batterieelektrische Fahrzeuge (*Battery Electric Vehicles* – BEV),
- Elektrofahrzeuge mit Reichweitenerweiterung (*Range Extended Electric Vehicles* – REEV),

104 OECD, ITF (2017)

105 Bundesregierung (2016d)

Strombedarf aus Erneuerbaren Energien für verschiedene Antriebs- und Kraftstoffkombinationen (pro 100 km) Abbildung 6.1



Eigene Berechnung und Darstellung nach DLR, Ifeu, LBST, DFZ (2015), S. 15

- Plug-in-Hybridfahrzeuge (*Plug-in Hybrid Electric Vehicles* – PHEV),
- Brennstoffzellenfahrzeuge (*Fuel Cell Electric Vehicles* – FCEV).[106]

Jede dieser Ausprägung von Elektromobilität hat im Vergleich zum Verbrennungsmotor Effizienzvorteile und ist von zentraler Bedeutung für die Energiewende im Verkehr. Wird der notwendige Strom aus Erneuerbaren Energien gewonnen, ist Elektromobilität der Schlüssel für die Dekarbonisierung des landgebundenen Verkehrs. Ohne sie ist dieses Projekt kaum realisierbar.

Von den genannten Technologien der Elektromobilität sind batterieelektrisch betriebene Pkw (BEV) besonders vorteilhaft, weil sie den auf Basis von Wind- und Sonnenenergie CO_2-frei erzeugten Strom direkt nutzen, ohne weitere Umwandlungsschritte und den damit verbundenen Verlusten.[107]

Dieser Effizienzvorteil in der gesamten Prozesskette führt dazu, dass batterieelektrische Fahrzeuge verglichen mit allen anderen Dekarbonisierungsoptionen auf 100 Kilometer am wenigsten EE-Strom benötigen (vgl. Abbildung 6.1, mehr zu Kraftstoffen siehe These 7). An zweiter Stelle stehen Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) mit aus Erneuerbaren Energien erzeugtem Wasserstoff, dann folgen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor und EE-Gas oder EE-Flüssigkraftstoff mit einem deutlich höheren Stromverbrauch.

Die direkte Stromnutzung in batterieelektrischen Fahrzeugen für den Straßenverkehr ist aber nicht nur die energieeffizienteste Option; nach heutigen Stand des Wissens ist sie auch volkswirtschaftlich die günstigste Variante der Dekarbonisierung: Gegenüber allen anderen Kombinationen aus Antrieben und Kraftstoffen verursacht Elektromobilität auf Basis batterieelektrischer Fahrzeuge die geringsten Zusatzkosten im Vergleich zum Referenzszenario ohne Dekarbonisierung (vgl. Abbildung 6.2).[108]

Die Kostenbilanz berücksichtigt die gesamten Kosten für den Zeitraum von heute bis 2050 für Energiebereitstellung, Tankstellen bzw. Ladeinfrastruktur sowie für die Fahrzeuganschaffung.[109] Batterieelektrische Fahrzeuge sind demnach der Maßstab, an dem sich sämtliche anderen Antriebs- und Kraftstoffkombinationen messen lassen müssen.[110]

Elektromobilität ist nicht nur für Pkw, sondern auch für leichte Nutzfahrzeuge eine Option der Dekarbonisierung. Insbesondere Kurzstrecken im städtischen Verkehr sowie Back-to-Base-Fahrten[111] sind geeignete Einsatzszenarien im gewerblichen Bereich bzw. beim Flottenbetrieb. Kleinere Lkw können die gleichen Energieversorgungs- und Antriebskonzepte nutzen wie Pkw.[112] Selbst für größere Lkw-Modelle werden inzwischen reine Elektroantriebe in Betracht gezogen. Elektrische Linienbusse sind insbesondere im Stadtverkehr bereits unterwegs. In Deutschland werden momentan Pilotprojekte mit Hybridbussen, Plug-in-Hybridbussen und einer steigenden Zahl von elektrisch betriebenen Bussen durchgeführt; diese laden teilweise auch kabellos.[113] Die Minderung von Lärm und Luftschadstoffen ist für die

106 Diese Definition entspricht dem Elektromobilitätsgesetz, EmoG (2015): § 2. Ein elektrisch betriebenes Fahrzeug wird dort definiert als „ein reines Batterieelektrofahrzeug, ein von außen aufladbares Hybridelektrofahrzeug oder ein Brennstoffzellenfahrzeug".

107 Wenn Wasserstoff in Brennstoffzellenfahrzeugen zum Einsatz kommt, muss er in einem dekarbonisierten Verkehrssystem ebenfalls aus Wind- und Solarenergie erzeugt werden anstatt aus fossilem Erdgas. Mehr zur Kraftstoffthematik in These 7.

108 Im Referenzszenario dieser Studie liefern auch im Jahr 2050 konventionelle Kraftstoffe (Benzin, Diesel, Kerosin, Schweröl) die zentralen Energieträger für den Verkehr. Vgl. Öko-Institut, KIT, INFRAS (2016).

109 Öko-Institut, KIT, INFRAS (2016). Abbildung 6.2 zeigt nur den Straßennahverkehr. Der Begriff Straßennahverkehr umfasst in der zitierten Studie den motorisierten Individualverkehr mit Pkw und Krafträdern, leichte Nutzfahrzeugen sowie Lkw mit bis zu 18 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht. Für den Straßenfernverkehr kommt die Studie zu ähnlichen Ergebnissen. Mehr zum Thema Güterverkehr siehe These 8.

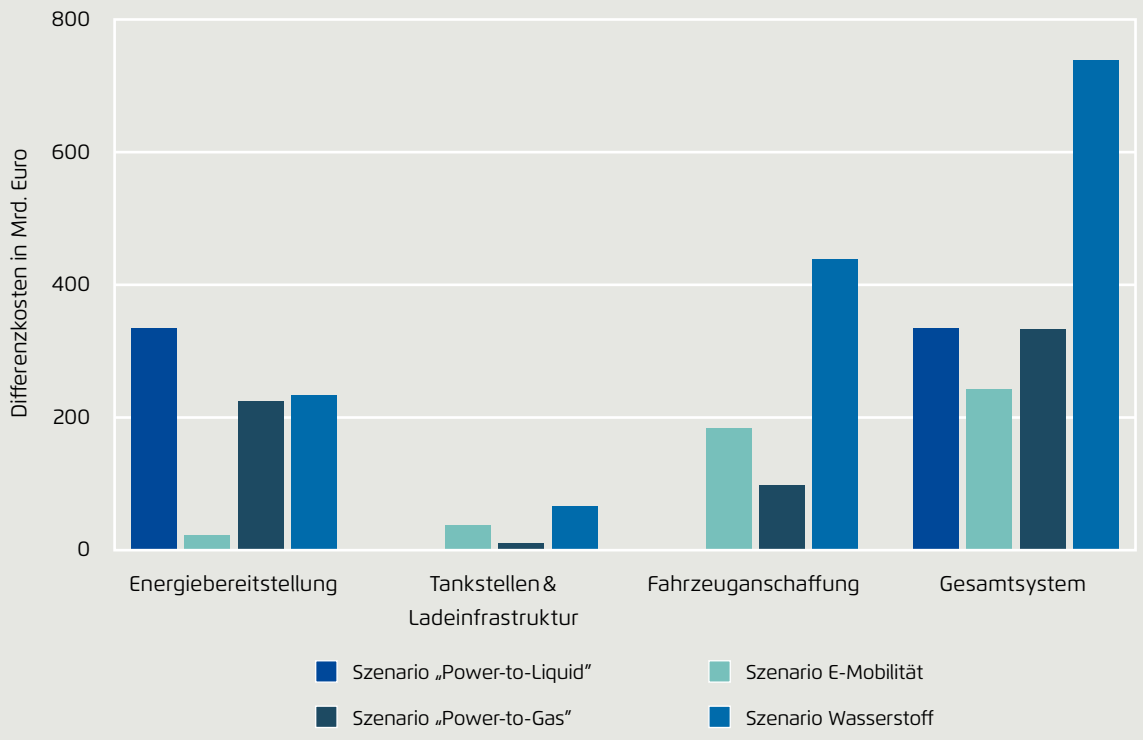
110 Die hier vorgenommenen Kostenprognosen und Diskussion stehen im Kontext eines sich dynamisch weiterentwickelnden Feldes. Bei einer Verschiebung dieser Kosten ist eine Neubewertung notwendig.

111 Das sind Fahrten, bei denen die Fahrzeuge nach dem Einsatz an einen Ort zurückkehren, an dem sie laden können. Vgl. Schaufenster Elektromobilität (2015).

112 INFRAS, Quantis (2015); Ifeu, INFRAS, LBST (2016)

113 NOW (2016)

Straßennahverkehr: Differenzkosten im Vergleich zum Referenzszenario für den Zeitraum 2010 bis 2050 (positiv: Mehrkosten) Abbildung 6.2



Eigene Darstellung nach Öko-Institut, KIT, INFRAS (2016), S. 74

Einführung und Verbreitung von Elektromobilität insbesondere bei Bussen und bei leichten Nutzfahrzeugen in der Stadt ein starker Treiber (siehe These 3).

Volkswirtschaftliche Optimierung ist für die Beurteilung zukünftiger Technologieoptionen zwar wichtig, aber für den erfolgreichen Einsatz neuer Technologien nicht immer hinreichend. Nicht zu vernachlässigende Erfolgsfaktoren sind darüber hinaus die Kundenakzeptanz von alternativen Antrieben und deren Systemdienlichkeit bei der Integration in das Energiesystem. Es ist daher durchaus möglich, dass in Zukunft neben batterieelektrischen Fahrzeugen auch andere alternative Fahrzeugkonzepte wie zum Beispiel Brennstoffzellenfahrzeuge eine bedeutendere Rolle spielen. Voraussichtlich wird ein Mix aus verschiedenen Fahrzeugen mit alternativen Antrieben entstehen. Wie dieser Mix genau zusammengesetzt ist, hängt weitgehend von der Entwicklung der Preise und Reichweiten ab.

Sinkende Preise und steigende Reichweiten machen Elektromobilität attraktiv.

Hohe Anschaffungskosten, Reichweitenangst und unzureichende Lademöglichkeiten gelten heute als zentrale Hemmnisse für den Kauf eines reinen Elektrofahrzeugs. Auch für den Erfolg von Brennstoffzellenfahrzeugen sind die Anschaffungskosten und die zurzeit noch längst nicht flächendeckend ausgebaute Tankinfrastruktur ein entscheidendes Hindernis. Diese Faktoren werden sich allerdings bereits in den kommenden Jahren und insbesondere mit Blick auf 2030 bzw. 2050 deutlich ändern.

Die Schätzungen für die Entwicklung der Batteriekosten wurden in den vergangenen Jahren bereits nach unten korrigiert. Zwischen 2008 und 2015 sanken die Kostenprognosen für Plug-in-Hybrid-Batterien

um 73 Prozent.[114] Für Elektrofahrzeuge, aber auch für Brennstoffzellenfahrzeuge werden ebenfalls noch spürbare Kostenreduktionen prognostiziert.[115] Kosten für Batteriepacks werden für 2015 mit 250 €/kWh angegeben, bis 2020/25 könnten sie bis auf 100 €/kWh sinken. Mit den Batteriekosten scheinen auch die Preise für Elektroautos in den kommenden Jahren schneller zu fallen als in früheren Studien vorhergesagt.[116]

Angesichts steigender Kosten für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren – Resultat der wachsenden Anforderungen an die Abgasnachbehandlung – und angesichts sinkender Batteriepreise stellt sich die Frage, wann es zu einer Parität der Kosten von verbrennungsmotorischen und batterieelektrischen Fahrzeugen kommen wird. Einige Autoren gehen bereits für den Zeitraum zwischen 2023 und 2030 von einer Wettbewerbsfähigkeit batterieelektrischer Fahrzeuge mit konventionellen Fahrzeugen aus, zumindest in bestimmten Einsatzszenarien.[117] Dazu passt die Ankündigung ambitionierter Absatzziele nicht nur deutscher Automobilhersteller für den Zeitraum 2020/25.

Der Kapazitätszuwachs der Batterien lässt größere Reichweiten von Elektrofahrzeugen erwarten.[118] Mehrere große Automobilhersteller haben bis zum Jahr 2020 Fahrzeuge mit Reichweiten von mehr als 400 Kilometern angekündigt. Können diese Reichweiten auch im Realbetrieb erreicht werden, ist davon auszugehen, dass die beschränkte Reichweite von Kunden nicht mehr als einschneidende Restriktion empfunden wird – zumal Brennstoffzellenfahrzeuge auch kaum größere Reichweiten zulassen werden.

Für Brennstoffzellenfahrzeuge ist die Kostenentwicklung noch mit größerer Unsicherheit behaftet, aber auch hier wird eine Kostendegression erwartet und auch hier gilt, dass höhere Stückzahlen sinkende Stückkosten mit sich bringen.[119] Die Schätzungen für die Marktdurchdringung von Brennstoffzellenfahrzeugen in den Jahren 2030 bis 2050 haben zurzeit noch enorme Spannbreiten.[120] Die im *Hydrogen Council* organisierten Anbieterunternehmen halten bei Zugrundelegung der Gesamtkosten der Fahrzeuge (*total cost of ownership* – TCO) eine Kostenparität von Brennstoffzellenfahrzeugen und Pkw aus dem mittleren bis großen Segment im Jahr 2025 für erreichbar.[121]

Trotz der vielversprechenden technologischen Entwicklung in der Elektromobilität ist noch nicht ausgemacht, ob sie sich schnell genug etablieren kann, um den notwendigen Beitrag zur Dekarbonisierung des Verkehrs leisten zu können. Dafür ist nicht zuletzt die Weiterentwicklung der gesetzlichen Rahmenbedingungen ausschlaggebend. Das Ziel der Bundesregierung – sechs Millionen Elektrofahrzeuge bis 2030 – reicht vermutlich nicht aus, um die anspruchsvollen Minderungsziele des Klimaschutzplans 2050 – 40 bis 42 Prozent Reduktion gegenüber 1990 – zu erreichen. Daher ist zu untersuchen, wie der Markthochlauf von Elektrofahrzeugen politisch effektiv und effizient flankiert werden kann. Eine Regulierung sollte zwar robust sein, aber zukunftsoffen genug, um Raum für Innovation zu lassen. Bewährt hat sich das Setzen von Emissionsgrenzwerten. Gleichwohl sollte Regulierung sich an dem orientieren, was technisch möglich, effektiv und kosteneffizient ist. Um Elektrofahrzeuge schneller in den Markt zu bringen, ist beispielsweise die Weiterentwicklung der CO_2-Standards für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge auf EU-Ebene nötig, die gegebenenfalls – wie von verschiedener Seite vorgeschlagen – durch Elektrofahrzeugquoten *(zero-emission vehicle mandates)* im Stil der kalifornischen oder der sich im Entwurf befindlichen chinesischen Gesetzgebung ergänzt werden könnte. Sollten die EU-Rahmenbedingungen nicht ausreichen, um die deutschen Klimaschutzziele im Verkehrsbereich zu erreichen, sind weitere nationale Maßnahmen zur Erreichung des Ziels notwendig. Hier wäre beispielsweise über die Weiterentwicklung der Kfz-Steuer nachzudenken.

114 IEA (2016a)
115 ICCT (2016b); Öko-Institut (2014); ICCT (2016c)
116 ICCT (2016d)
117 NPE (2016); ICCT (2016b); ICCT (2016d)
118 ICCT (2016c)
119 ICCT (2016b); Öko-Institut (2014); McKinsey (2010)
120 TAB (2012), vgl. ICCT (2016b)
121 Hydrogen Council (2017), S. 9: „When FCEVs reach at-scale commercialization, we are confident that cost parity (from a TCO perspective) can be reached by 2025 for medium to large passenger cars."

Wer zuverlässig und schnell laden kann, fährt elektrisch.

Hemmnisse für eine größere Akzeptanz der Elektromobilität stellen auch mangelnde Lademöglichkeiten sowie lange Ladezeiten dar. Es reicht nicht, dass die meisten Elektroautobesitzer zu Hause laden können, insbesondere in der Stadt müssen genügend öffentlich zugängliche Lademöglichkeiten vorhanden sein. Der Aufbau der Ladeinfrastruktur muss bedarfsgerecht sein und mit dem Markthochlauf der Elektromobilität Hand in Hand gehen. Was die Investitionen in Ladeinfrastruktur so schwierig macht: Erstens müssen sie in einem Umfeld stattfinden, das sich technologisch schnell entwickelt, beispielsweise beim Thema induktives Laden. Zweitens entwickelt sich auch die Kommunikationsinfrastruktur von E-Fahrzeugen rasch. Drittens ist die Ladeinfrastruktur systemdienlich in das Stromsystem zu integrieren. Das alles stellt eine komplexe Herausforderung für Wirtschaft und Politik dar.

Der Aufbau eines bedarfsgerechten flächendeckenden Netzes von öffentlich zugänglichen Ladepunkten ist erklärtes Ziel der Bundesregierung.[122] Dies bedeutet nach heutigen Analysen 36.000 öffentlich zugängliche Normalladepunkte und 7.000 öffentlich zugängliche Schnellladepunkte bis zum Jahr 2020. Die Bundesregierung hat beschlossen, den Ausbau von E-Ladestationen im Zeitraum von 2017 bis 2020 mit insgesamt 300 Mio. Euro zu fördern, um den Aufbau von bundesweit 10.000 Stationen für Normalladung sowie 5.000 für Schnellladung anzureizen.[123] Im Regierungsprogramm wird außerdem der Aufbau einer bedarfsgerechten Infrastruktur für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie angestrebt, mit dem Ziel von ca. 400 Wasserstofftankstellen bis zur Mitte des nächsten Jahrzehnts. Für einen Teil davon sind ebenfalls öffentliche Mittel bis 2026 vorgesehen.[124]

Ladeinfrastruktur kann und sollte jedoch dauerhaft nicht allein von der öffentlichen Hand finanziert werden, sondern im Zusammenspiel zwischen einer Anschubfinanzierung durch den Staat und durch private Investoren. Die Privatwirtschaft ist inzwischen ebenfalls im Begriff, in Ladesäulen für Elektrofahrzeuge zu investieren.[125] Für Wasserstoff planen Akteure der Automobil-, Gas und Mineralölindustrie bis 2018/19 den Aufbau der ersten 100 Stationen.[126]

Ungeklärt ist noch, wie insbesondere für Schnellladesäulen tragfähige Geschäftsmodelle aussehen können, die sich rentieren und im Rahmen der Zahlungsbereitschaft der Kundinnen und Kunden bleiben. Der Gesetzgeber muss vor allem für Investitionssicherheit sorgen.

Elektromobilität erfordert eine Umwelt- und Ressourcenstrategie.

Die wachsende Zahl von besonders effizienten Autos sowie Fahrzeugen mit alternativen Antrieben und Kraftstoffen senkt in Zukunft Deutschlands Importabhängigkeit von Erdöl. Allerdings kann die Beschaffung der für die Batterieherstellung notwendigen Rohstoffe neue Importabhängigkeiten schaffen und neue Umweltprobleme verursachen. Des Weiteren können Nutzungskonkurrenzen entstehen, wenn für die fortschreitende Dekarbonisierung bestimmte Rohstoffe von mehreren Sektoren benötigt bzw. auch in anderen Anwendungen stärker nachgefragt werden. Dies gilt es frühzeitig und kontinuierlich zu beobachten, um sowohl etwaige physische wie ökonomische Versorgungsengpässe als auch negative Umwelteffekte zu vermeiden bzw. zu minimieren. Bei der Diskussion um Umwelteffekte von Elektrofahrzeugen – beispielsweise durch Produktion und Entsorgung der Batterien – gilt es allerdings zu bedenken, dass die Fortschreibung des bisherigen Entwicklungspfades auf Basis von Verbrennungsmotoren keineswegs geringere Probleme in Hinblick auf die weltweite Klima-, Umwelt- und Rohstoffsituation aufwirft.

122 LSV (2016): Laut Ladesäulenverordnung § 2 Nr. 9 vom 09. März 2016 (LSV) ist „ein Ladepunkt eine Einrichtung, die zum Aufladen von Elektromobilen geeignet und bestimmt ist und an der zur gleichen Zeit nur ein Elektromobil aufgeladen werden kann. Eine Ladestation kann mehrere Ladepunkte aufweisen.

123 BMVI (2016e)

124 Bundesregierung (2016d)

125 Im November 2016 gaben Daimler, BMW, Ford, Porsche und Audi die Planung eines Joint Venture für ein europäisches Schnellladenetz bekannt. Vgl. BMW Group et al. (2016). Tesla betreibt bereits ein separates Schnellladenetz in Europa mit zurzeit 56 Superchargern in Deutschland. Vgl. FAZ (2016)

126 H2 mobility (ohne Jahr)

Unbestritten ist allerdings, dass sich insbesondere bei einem schnellen Markthochlauf der E-Mobilität die Frage nach dem Ressourcenbedarf und nach eventuellen Ressourcenengpässen stellt. Mit steigenden Absatzzahlen steigt auch der Bedarf an Batteriezellen, deren Hauptproduktionsstandorte zurzeit in Asien liegen.[127] Dies bringt weitere Importabhängigkeiten mit sich, ob direkt durch den Import von Batteriemodulen und -packs oder indirekt durch den Bedarf an für die Zellfertigung notwendigen Rohstoffen. Versorgungsengpässe könnten laut Nationaler Plattform Elektromobilität (NPE) beispielsweise bei Naturgrafit und Kobalt auftreten.[128] Die Verfügbarkeit dieser Materialien und weiterer Rohstoffe wie Lithium sowie die marktbeherrschende Stellung der Förderländer kann sich in Zukunft maßgeblich auf die Batteriepreisentwicklung auswirken. Entscheidend wird sein, ob es gelingt, die Abhängigkeit von diesen Rohstoffen bei der zukünftigen Batterieentwicklung weiter zu verringern sowie umweltgerechte und wirtschaftliche Recyclingverfahren zu entwickeln. Elektromobilität erfordert daher eine umfassende vorausschauende Umwelt- und Ressourcenstrategie.

127 NPE (2016)
128 NPE (2016); Ifeu (2016)

These
07

Klimaneutrale Kraftstoffe ergänzen Strom aus Wind und Sonne.

Foto: TeerawatWinyarat / iStock

Die Umstellung auf alternative Antriebe bei Autos, leichten Nutzfahrzeugen, Bussen und im Güterverkehr ist ein wichtiger Beitrag für die Dekarbonisierung des Verkehrssektors, reicht aber allein nicht aus. Schiffe und Flugzeuge zum Beispiel werden nach heutigem Kenntnisstand bis auf absehbare Zeit weiterhin flüssige oder gasförmige Kraftstoffe benötigen.

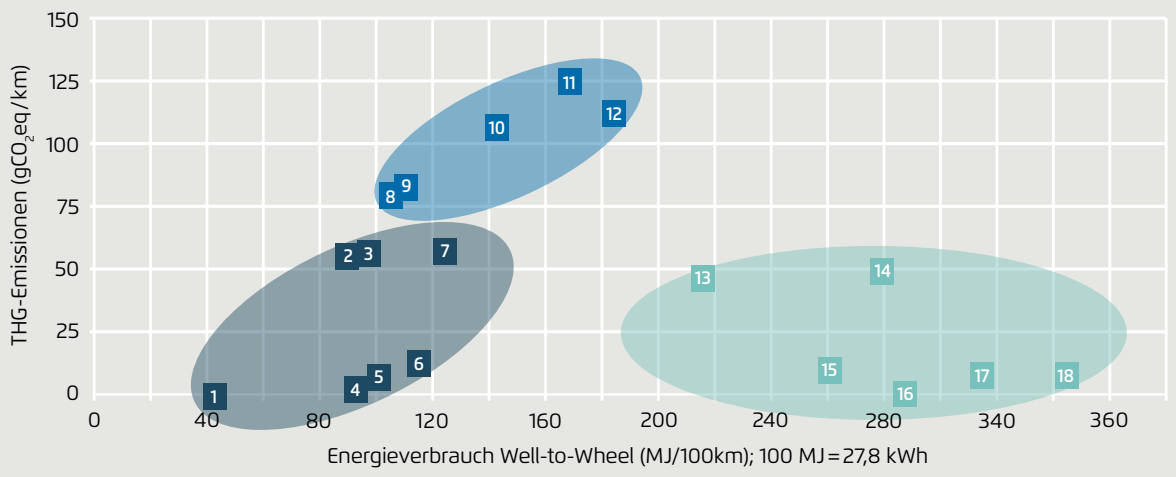
Kraftstoffe für die Energiewende im Verkehr müssen klimaneutral sein. Grundsätzlich kommen als Antriebsenergien in einem zunehmend dekarbonisierten Verkehrssektor neben direkt genutztem Strom aus regenerativen Quellen nur noch flüssige oder gasförmige Kraftstoffe ebenfalls aus regenerativ erzeugtem Strom sowie bestimmte Biokraftstoffe mit hoher Treibhausgasminderung in Frage.[129]

Die klima- und energiepolitische Rahmensetzung für die Kraftstoffe der Zukunft hat sowohl die Treibhausgasemissionen als auch den Energieumsatz von der Herstellung bis zum Verbrauch *(Well-to-Wheel)* der Kraftstoffe zu berücksichtigen. Wegen ihrer hohen Treibhausgasemissionen scheiden die herkömmlichen flüssigen fossilen Kraftstoffe für einen dekarbonisierten Verkehr aus (vgl. Abbildung 7.1).

Erdgas hat im Vergleich zu fossilen Flüssigkraftstoffen leichte CO_2-Vorteile und damit Potenzial zur Senkung der Treibhausgasemissionen (THG). Für eine weitgehende Dekarbonisierung des Verkehrs reicht dies jedoch nicht aus. Erdgas kann nur ein Brückenkraftstoff sein, der sukzessive durch synthetisches Methan oder synthetischen Kraftstoff vollkommen ersetzt wird.

129 INFRAS, Quantis (2015)

THG-Emissionen bezogen auf den Energieverbrauch (Well-to-Wheel) — Abbildung 7.1



EV
1 BEV (Wind)
2 BEV (Erdgas)
3 FCEV (Erdgas)
4 BEV (Bio-Masse)
5 FCEV (Wind)
6 FCEV (Bio-Masse)
7 BEV (EU-Mix)

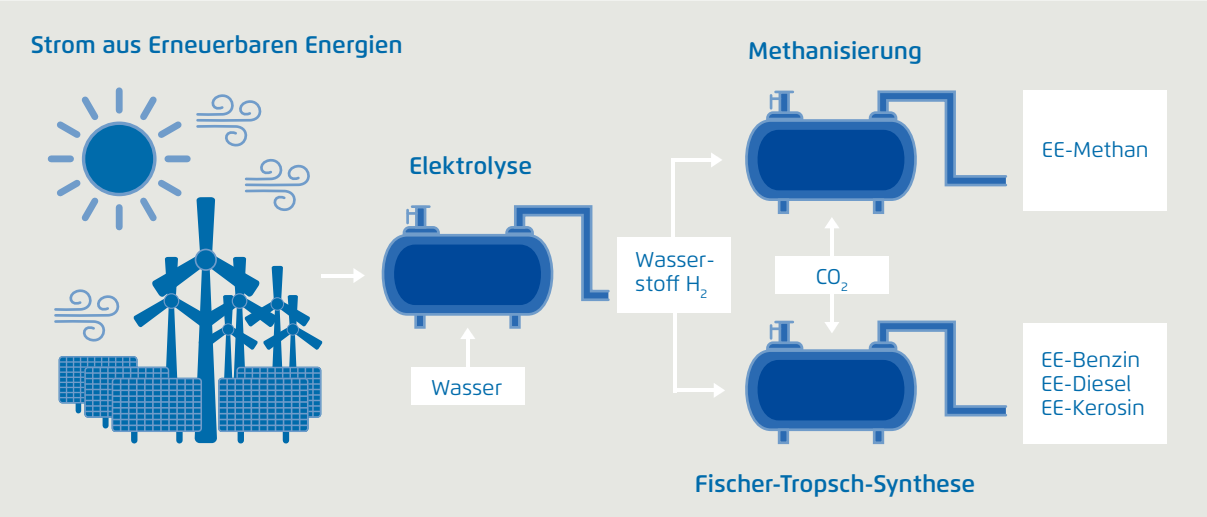
Konventionell
8 Diesel Hybrid (Erdöl)
9 Benzin Hybrid (Erdöl)
10 Diesel (Erdöl)
11 Benzin (Erdöl)
12 CNG (Erdgas)

Bio- und synth. Kraftstoffe
13 Biodiesel (Raps)
14 Ethanol (Weizen)
15 Syn. Diesel (BTL Holz)
16 Syn. Diesel aus EE, CO_2 aus Luft
17 Syn. CNG (SNG aus EE, CO_2 aus Biogas)
18 Syn. CNG (SNG aus EE, CO_2 aus Luft)

Darstellung nach JRC (2014)

Prozessschritte der Gewinnung von Wasserstoff sowie von PtG-Methan bzw. PtL-Kraftstoffen aus Sonnen- und Windenergie

Abbildung 7.2



Eigene Darstellung

Aus Abbildung 7.1 geht hervor, dass Strom aus Erneuerbaren Energien in Elektrofahrzeugen (BEV) und Brennstoffzellenfahrzeugen (FCEV) in Bezug auf THG-Emissionen und Energieeffizienz am besten abschneidet. Eine Reihe strombasierter Kraftstoffe schneidet hinsichtlich ihrer Treibhausgasemissionen ebenfalls gut ab. Allerdings ist bei ihnen wie bei biobasierten Kraftstoffen der entsprechende Energieverbrauch deutlich höher, da die Kraftstoffgewinnung ineffizienter ist. Bezogen auf die THG-Emissionen der dargestellten Biokraftstoffe ist zudem zu beachten, dass diese aufgrund von indirekten Landnutzungsänderungen *(Indirect Landuse Change – ILUC)* weit höher ausfallen können.[130]

Strombasierte Kraftstoffe könnten eine Ergänzung zu Strom sein – aber keine Alternative.

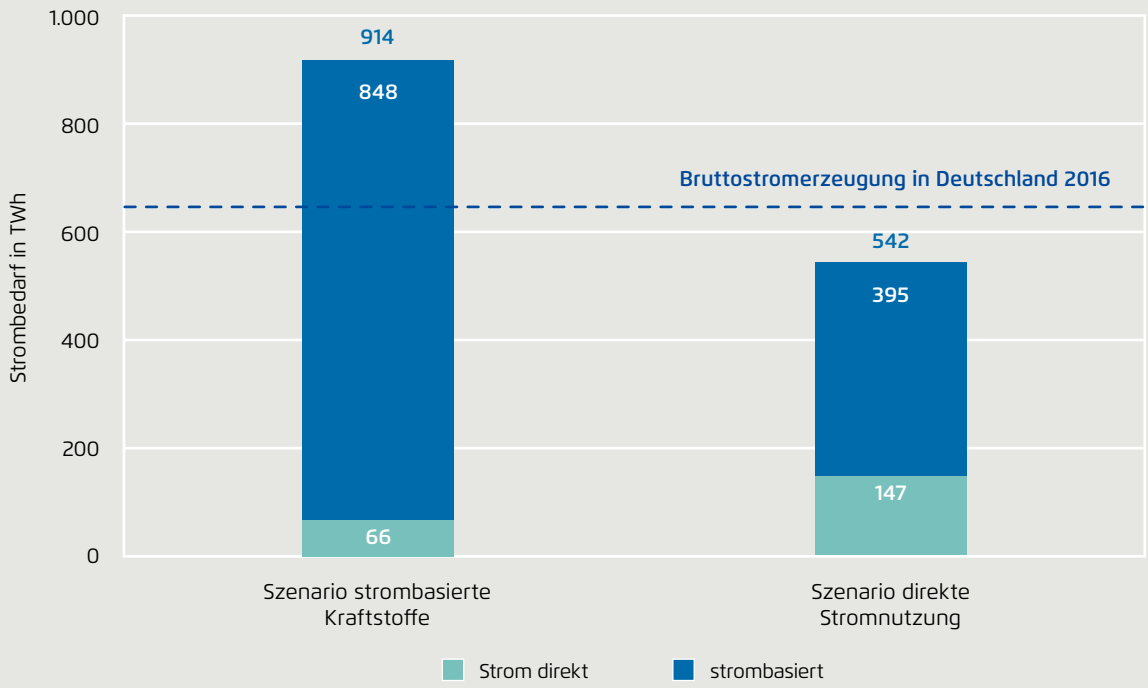
Die Gewinnung von strombasierten Kraftstoffen erfolgt in mehreren Schritten. In einem ersten Schritt wird aus Wasser mithilfe von Strom Wasserstoff erzeugt; er kann in Brennstoffzellenfahrzeugen direkt als Kraftstoff genutzt werden. Es ist aber auch möglich, den Wasserstoff in einem weiteren Schritt über Syntheseprozesse entweder in PtG-Methan *(Power-to-Gas)* umzuwandeln oder in flüssigen PtL-Kraftstoff *(Power-to-Liquid)*. Klimaneutral können die entsprechenden Kraftstoffe nur sein, wenn der für ihre Erzeugung verwendete Strom aus Erneuerbarer Energie stammt (vgl. Abbildung 7.2).

Die Gewinnung von Kraftstoffen aus Strom mithilfe Erneuerbarer Energien ist noch nicht marktreif und wird zurzeit in Pilotanlagen erprobt. Für die großflächige Erzeugung von nachhaltigen strombasierten Kraftstoffen müssen ausreichende Mengen an Erneuerbaren Energien zur Verfügung stehen; dies ist zurzeit noch nicht der Fall. Ob, wann und wie PtG-/PtL-Anlagen unter welchen Bedingungen wirtschaftlich und klimaverträglich betrieben werden können, wird zurzeit untersucht.

130 Indirekte Landnutzungsänderungen sind hier nicht einbezogen. Vgl. JEC –Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE collaboration (2014), S. 10: „For fuels from biomass origin the GHG balance figures as presented do not include emissions caused by land use change, either direct or indirect. We do think these effects are likely to have a significant impact on results, but the current state of knowledge does not allow us to estimate them with confidence."

Strombedarf des Verkehrs in Deutschland (inklusive des von Deutschland abgehenden internationalen Luftverkehrs und des Seeverkehrs mit deutschen Häfen) in Abhängigkeit vom Dekarbonisierungspfad

Abbildung 7.3



Eigene Berechnung und Darstellung basierend auf Öko-Institut (2016), S.20 sowie AGEB (2016b)

Bezogen auf die notwendigen Mengen haben strombasierte Kraftstoffe gegenüber der direkten Nutzung von Strom in batterieelektrischen Fahrzeugen einen bedeutsamen Nachteil: Bei der Umwandlung von Strom in flüssigen oder gasförmigen Kraftstoff sind hohe Wandlungsverluste in Kauf zu nehmen. Bei der Produktion von Wasserstoff sind diese Umwandlungsverluste geringer als bei PtG und PtL, weil nur ein Umwandlungsschritt benötigt wird.

Würde der Verkehrssektor in Zukunft vorrangig mit strombasierten Kraftstoffen dekarbonisiert, könnte der Strombedarf allein des Verkehrs in Deutschland im Jahr 2050 bei bis zu 914 Terawattstunden (TWh) liegen (vgl. Abbildung 7.3). Dieser Strombedarf ist höher als die gesamte Bruttostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2016.[131]

Niedriger wäre der Strombedarf des Verkehrssektors bei einem Dekarbonisierungspfad, der – soweit möglich – auf direkter Stromnutzung beruht. Dieses Szenario treibt die technische Effizienz, die Elektromobilität und den Einsatz von Oberleitungs-Lkw (siehe These 8) maximal voran. Da in beiden Szenarien jeweils auch strombasierte Kraftstoffe im Flug- und Schiffsverkehr zum Einsatz kämen, läge der Strombedarf allerdings auch im Szenario direkte Stromnutzung noch bei dem sehr hohen Wert von 542 TWh.[132]

Daraus folgt erstens, dass die Nutzung strombasierter Kraftstoffe jenen Verkehrsmitteln vorbehalten bleiben sollte, für die eine direkte Stromnutzung nach Lage der Dinge nicht in Frage kommt. Dies betrifft vor allem den Luftverkehr. Er benötigt aller Voraussicht nach ein

131 Eigene Konvertierung basierend auf Öko-Institut (2016). Im Jahr 2016 lag die Bruttostromerzeugung in Deutschland insgesamt bei ca. 648,2 TWh. Vgl. AGEB (2016b)

132 Eigene Konvertierung basierend auf Öko-Institut (2016)

klimaneutrales *drop-in fuel,* weil es für die kommerzielle Luftfahrt auf absehbare Zeit keine alternativen Antriebssysteme gibt. Entsprechendes gilt für die Seeschifffahrt, die in wenigen Jahrzehnten ebenfalls komplett emissionsfrei sein muss. Zweitens folgt daraus, dass strombasierte Kraftstoffe zwar eine notwendige Ergänzung zur direkten Stromnutzung insbesondere für einzelne Verkehrsträger darstellen, aber nicht in allen Bereichen als sinnvolle Alternativen anzusehen sind.

Nachhaltigkeitsstandards sichern die Integrität strombasierter Kraftstoffe.

Es ist davon auszugehen, dass der Strom, der potenziell zusätzlich für synthetische Kraftstoffe benötigt wird, kaum in Deutschland erzeugt werden kann. Denn bereits heute stößt der Ausbau von Wind- und Solarenergieanlagen auf Grenzen der öffentlichen Akzeptanz. Dieser Umstand sowie Kostenaspekte deuten darauf hin, dass strombasierte Kraftstoffe in Zukunft auch importiert werden.

Bei der Erzeugung jenseits der Grenzen Deutschlands ist im Sinne der Klimaneutralität ebenfalls EE-Strom einzusetzen. Außerdem sind bei der Produktion Nachhaltigkeitskriterien zu beachten, die etwa festlegen, dass das für die Wasserstofferzeugung erforderliche Wasser in ausreichenden Mengen und auf nachhaltige Weise an Solarstandorten gewonnen werden kann. Gleichermaßen sollte definiert werden, welche anderen Randbedingungen für eine nachhaltige Produktion dieser Kraftstoffe erforderlich sind. Diese Kriterien sollten schnell erarbeitet und international eingeführt werden.

Über das weltweit vorhandene nachhaltige Potenzial für diese Kraftstoffe liegen bislang kaum Erkenntnisse vor. Dies und die Tatsache, dass ihre Produktion bislang erst erprobt wird, sprechen ebenfalls dafür, sie vorrangig dort zu verwenden, wo bislang Alternativen fehlen. Das Beispiel Biokraftstoffe zeigt, dass die ursprüngliche Unterschätzung von Nachhaltigkeitsaspekten zu einer zu optimistischen Einschätzung ihrer Potenziale verleitet hat.

Biokraftstoffe werden in Deutschland als Beimischung zu fossilem Kraftstoff genutzt. Der Anteil Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch des Verkehrs lag im Jahr 2015 bei knapp über fünf Prozent, das meiste davon stammt aus Biokraftstoffen.[133] Um mit ihrer Hilfe den Verkehrssektor vollständig zu dekarbonisieren, müsste es allerdings in Zukunft möglich sein, weiterreichende Treibhausgaseinsparungen als bisher zu erzielen und bei Einhaltung essenzieller Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele große Mengen dieser Kraftstoffe zu erzeugen. Das erscheint aus heutiger Perspektive nicht realisierbar, denn ihr hoher Flächenbedarf und ihre häufig geringe Energieeffizienz sind limitierende Faktoren.

Für Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse gilt, dass sie mit Pflanzen, die der menschlichen Ernährung oder der Ernährung von Nutztieren dienen, um knappe Ackerfläche konkurrieren. Bei wachsender Nachfrage steigt außerdem der Druck, bisher landwirtschaftlich nicht genutzte Gebiete für den Anbau von Energiepflanzen umzuwidmen. Beim Anbau von Biomasse für Biokraftstoffe auf zuvor landwirtschaftlich genutzten Flächen können durch das Ausweichen der landwirtschaftlichen Produktion auf andere, zuvor ungenutzte Flächen sogenannte indirekte Landnutzungsänderungen (ILUC) entstehen. Die Umwandlung weitgehend unberührter oder naturnaher Habitate in landwirtschaftliche Fläche kann Treibhausgase freisetzen und Lebensräume von Pflanzen und Tieren zerstören.[134]

Das nachhaltige Biomassepotenzial in Deutschland wie auch weltweit ist begrenzt. Kraftstoffe aus nachhaltig erzeugter Biomasse aus Deutschland haben nicht das Potenzial, einen wachsenden Anteil von Diesel und Benzin zu ersetzen. Ähnliches gilt weltweit. Eine deutliche Steigerung des Anteils von Biokraftstoffen an der weltweiten Kraftstoffversorgung über die heute rund drei Prozent[135] hinaus würde zu einer massiven Inanspruchnahme von zusätzlichen Flächen führen. Die Konsequenz wäre eine wachsende Zahl von Nutzungskonflikten und indirekten Landnutzungsänderungen. Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse stellen insofern aus Klimaschutzsicht weder quantitativ und noch qualitativ eine entscheidende Alternative zu fossilem Kraftstoff dar.

Anders ist das bei aus Abfällen und Reststoffen gewonnenen Biokraftstoffen: Sie konkurrieren nicht um Ackerflächen für Nahrungs- und Futtermittel.

133 BMWi (2016b)
134 BMVBS (2013)
135 IEA (2016b)

Doch auch sie sind nur in begrenztem Maße im Inland und jedenfalls nicht in der Menge gewinnbar, in der sie zur Verfügung stehen müssten, um als Kraftstoff für den Verkehr dienen zu können. Auch weltweit können Biokraftstoffe der zweiten Generation aus land- und forstwirtschaftlichen Reststoffen lediglich maximal zwischen 13 und 19 Exajoule (EJ) Energie zur Verfügung stellen. Demgegenüber wird der weltweite Endenergieverbrauch des Verkehrs im Jahr 2050 auf 100 bis 170 EJ geschätzt.[136]

Damit Biokraftstoffe für die Dekarbonisierung des Verkehrs in Betracht gezogen werden können, muss in der europäischen und nationalen Gesetzgebung daher sichergestellt werden, dass sie eine hohe Treibhausgasminderung erzielen, Nachhaltigkeitskriterien einhalten und ILUC-frei sind. Es ist fraglich, ob die zurzeit diskutierte Neugestaltung der EU-Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (*Renewable Energy Directive* – RED II) ausreichende Anreize für die erforderliche Dekarbonisierung von Kraftstoffen zu setzen vermag und zugleich den Anforderungen der Nachhaltigkeit gerecht werden kann.

Ob Biokraftstoffe, aus Strom gewonnene Kraftstoffe oder Wasserstoff: Keine der neuen potenziellen Antriebsenergien ist problemlos. Bei allen sind Infrastrukturfragen, Fragen der Technologieförderung, Fragen nach neuen Importabhängigkeiten, nach dem Mengenpotenzial und nach den volkswirtschaftlichen Kosten zu klären. Dies alles gilt es im Kontext der Verkehrswende zu analysieren, um verkehrsträgerübergreifend möglichst kohärente Gesamtstrategien zu identifizieren und die gesellschaftlichen Kosten für den Umstieg auf klimaneutrale Kraftstoffe zu minimieren.

Die Politik gestaltet den Ausstieg aus Öl und Gas.

Der langfristig notwendige Ersatz fossiler Kraftstoffe durch Strom und klimaneutrale Kraftstoffe erfordert mehr Kohärenz im rechtlichen Rahmen. Das zeigt sich etwa bei der Energiebesteuerung, die – historisch gewachsen – keinem einheitlichen Ziel folgt. Tatsächlich ist die Besteuerung von Kraftstoffen nicht vorrangig am Ziel der Dekarbonisierung des Verkehrs ausgerichtet, sondern an anderen, etwa fiskal- oder wettbewerbspolitischen Zielen, die miteinander in Konflikt stehen können. So ist die Energiesteuer etwa eine wichtige Einnahmequelle des Staates. Dennoch hat das wettbewerbspolitische Ziel, das deutsche Speditionsgewerbe gegenüber seinen europäischen Wettbewerbern nicht zu benachteiligen, zu einer steuerlichen Privilegierung von Dieselkraftstoff geführt, wodurch dem Staat inzwischen jährlich fast acht Mrd. Euro entgehen.[137]

Pro Liter genießt Diesel gegenüber Benzin einen Steuervorteil von 18,41 Eurocent, obwohl das Verbrennen von einem Liter Diesel sogar mehr CO_2 als das von einem Liter Benzin (2,65 kg gegenüber 2,37 kg) verursacht; die häufig angeführten Klimavorteile des Diesels resultieren ausschließlich aus der höheren Effizienz von Diesel- im Vergleich zu Ottomotoren. Die einheitliche Besteuerung von Diesel und Benzin auf Basis ihres Energie- und CO_2-Gehalts wäre ein erster Schritt in Richtung Energiewende im Verkehr. Ihre Vollendung findet sie, wenn klimaneutral erzeugter Strom die heute dominierenden fossilen Kraftstoffe komplett ersetzt.

136 INFRAS, Quantis (2015), S. 16

137 UBA (2016b)

These
08

Beim Güterverkehr gilt: Schiene stärken, Straße dekarbonisieren.

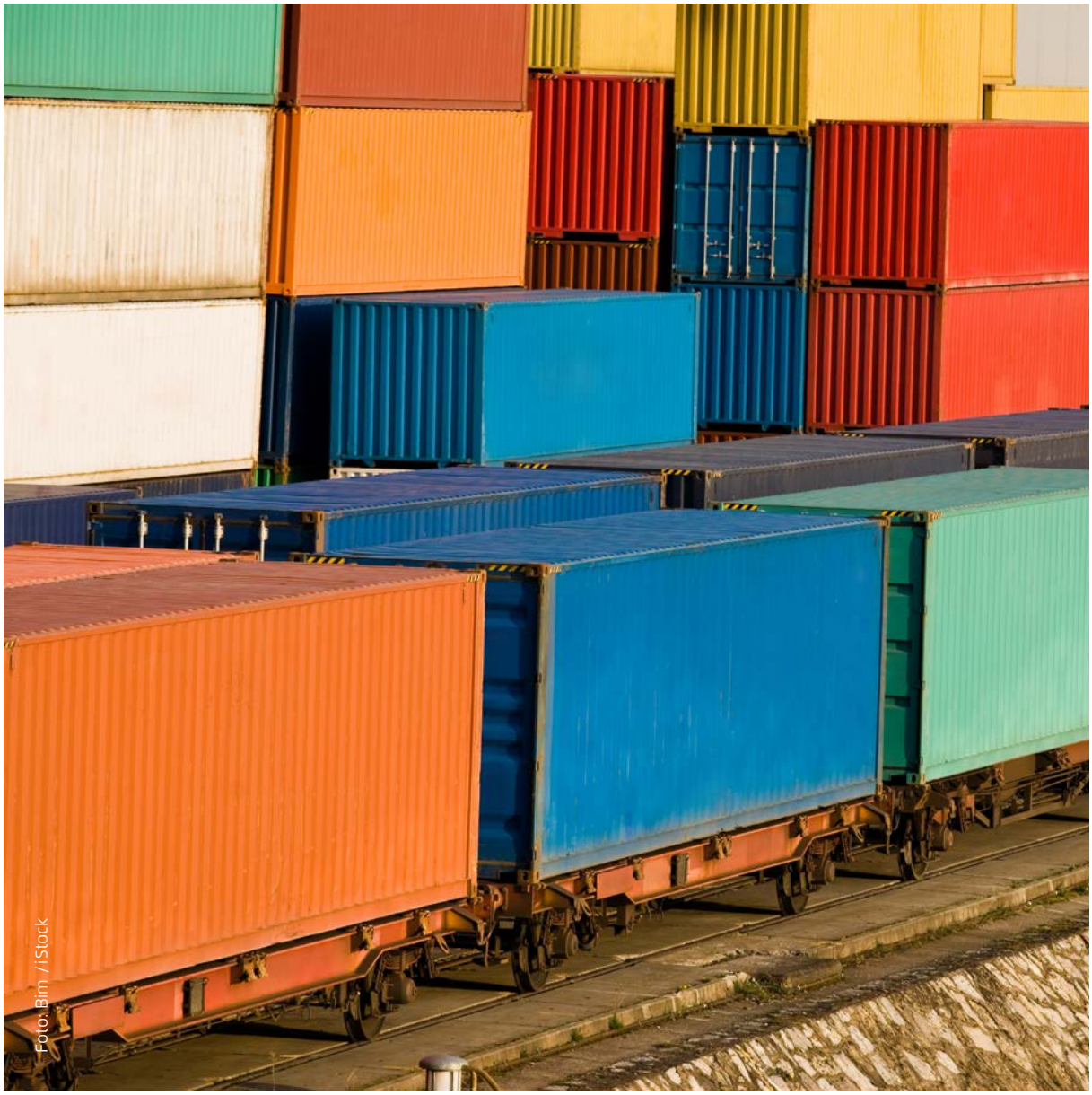


Foto: Bim / iStock

Der Güterverkehr wächst – und mit ihm wachsen seine CO_2-Emissionen. Während 2004 noch Güter mit einem Gesamtgewicht von 4 Mrd. Tonnen in Deutschland transportiert wurden, waren es 2014 bereits 4,5 Mrd. Tonnen.[138] Seit 1990 verzeichnet die Güterverkehrsleistung ein Wachstum von ca. 350 Mrd. Tonnenkilometern; 2014 lag sie bei 653 Mrd. Tonnenkilometern. Die CO_2-Emissionen stiegen im gleichen Zeitraum von 37 Mio. Tonnen auf 59 Mio. Tonnen (vgl. Abbildung 8.1). Dies entspricht gut einem Drittel der CO_2-Emissionen des gesamten Verkehrssektors. Zwischen 2020 und 2030 könnten die CO_2-Emissionen des Güterverkehrs die des Pkw-Verkehrs sogar überholen.

138 Hütter, A. (2016)

Das Bundesverkehrsministerium prognostiziert bis 2030 ein Wachstum der Güterverkehrsleistung in Deutschland gegenüber 2010 um 38 Prozent.[139] Die Dekarbonisierung des Güterverkehrs lässt sich angesichts dieses Wachstums nur erreichen, wenn der Endenergiebedarf deutlich gesenkt wird und an die Stelle fossiler Kraftstoffe Strom aus Sonne und Wind sowie Kraftstoffe auf Basis Erneuerbarer Energien treten (siehe Thesen 6 und 7).

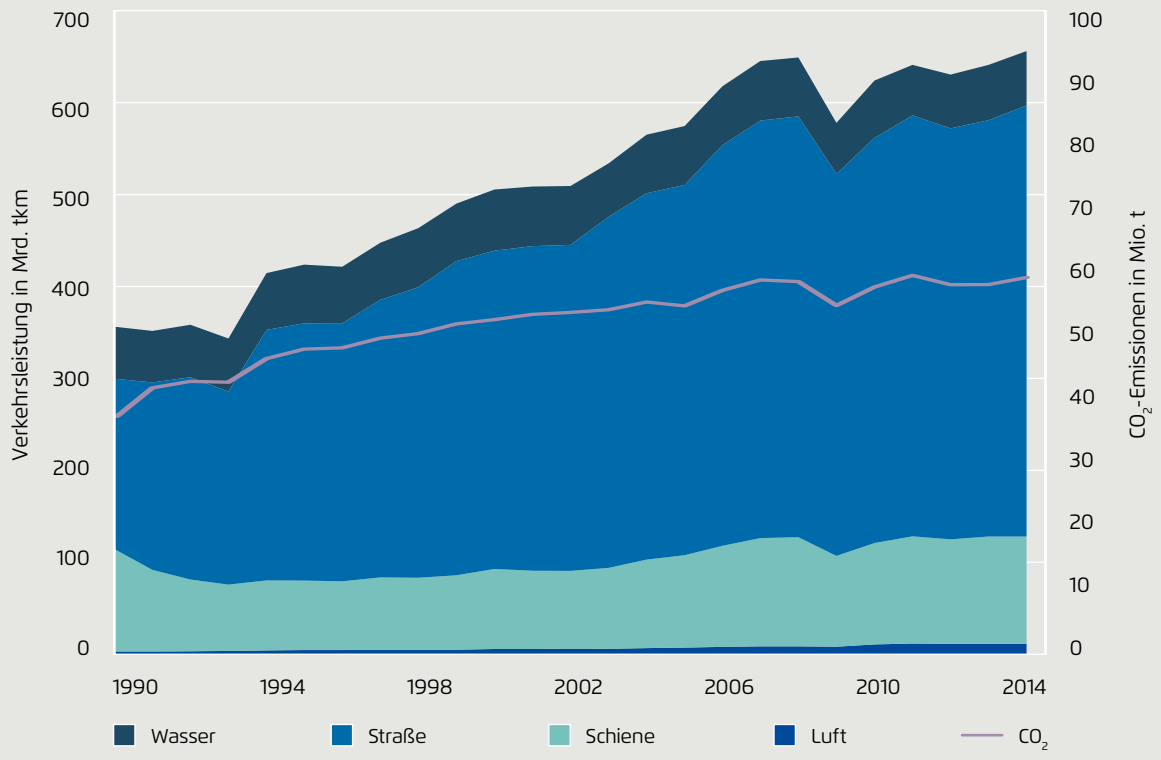
Die ungleiche Verteilung des Gütertransports auf die beiden zentralen Verkehrsträger Straße und Schiene erschwert die Erreichung des Ziels. Lkw erbringen 71 Prozent der Verkehrsleistung, Züge nur 18 Prozent[140]

139 BMVI (2014), S. 8

140 Auskunft des UBA, Emissionen des Straßenverkehrs in Tonnen 2014, Tremod 5.63; der Anteil der Schifffahrt beträgt neun Prozent, der Anteil des Luftverkehrs zwei Prozent.

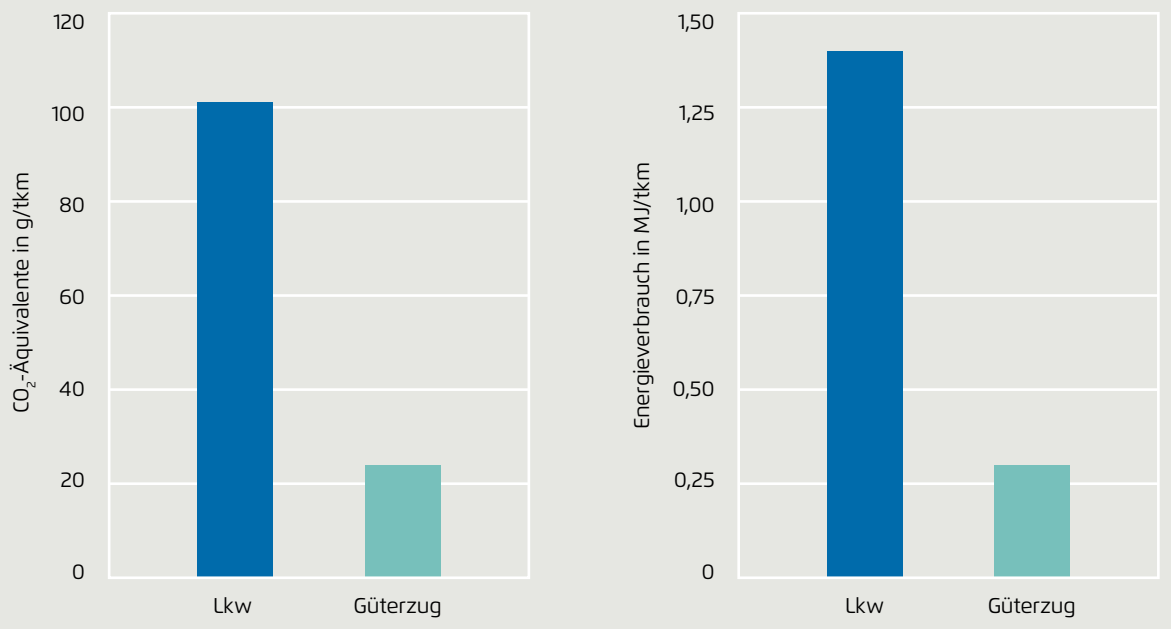
Verkehrsleistung und CO_2-Emissionen des Güterverkehrs in Deutschland von 1990 bis 2014

Abbildung 8.1



Eigene Darstellung nach Auskunft des UBA, Tremod 5.63

Vergleich der spezifischen Emissionen und des spezifischen Energieverbrauchs von Lkw und Güterzügen im Jahr 2014 — Abbildung 8.2



Eigene Darstellung nach UBA (2016g)

(vgl. Abbildung 8.1). Ein Güterzug benötigt aber nur etwa 30 Prozent der Energie eines Lkw und verursacht lediglich rund 25 Prozent seiner klimaschädlichen Emissionen, jeweils bezogen auf einen Tonnenkilometer (vgl. Abbildung 8.2).

Auch wenn der Straßenverkehr schon bald zunehmend auf erneuerbaren Strom umgestellt wird, bietet die Schiene mit ihrem existierenden System von Oberleitungen einen klaren Vorteil gegenüber dem Lkw. Für eine Stärkung des Schienentransports spricht außerdem, dass Flächen für die Autobahnaus- und Neubauten nicht in ausreichendem Maß zur Verfügung stehen. Kurzum: Der Anteil der Schiene beim Güterverkehr ist deutlich zu erhöhen.

Dennoch werden Lkw voraussichtlich auch in Zukunft den größten Teil des Güterverkehrs abwickeln. Sie brauchen deshalb klimaneutrale Antriebe und Kraftstoffe. Für den Lkw-Fernverkehr sollte ein Antriebskonzept zum Einsatz kommen, das sich europaweit durchsetzen kann.

Wettbewerbsfähige Güterbahnen schöpfen das Potenzial der Schiene aus.

Die Verlagerung von Gütern auf die Schiene ist seit Langem erklärter politischer Wille. In Deutschland formulierte die Bundesregierung 2002 in ihrer Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel, den Anteil der Schiene an der Güterverkehrsleistung bis 2015 auf 25 Prozent zu erhöhen. Dieses Ziel wurde verfehlt und in der Neuauflage der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie von 2016 nicht erneut aufgegriffen. Das Ziel der EU-Kommission, 30 Prozent des Straßengüterverkehrs über 300 Kilometer Transportentfernung bis 2030 auf Schiene- und Wasserwege zu verlagern,[141] wird ebenfalls verfehlt, wenn sich die Bedingungen für den Schienengüterverkehr nicht bessern. Verbesserungen sind notwendig in den Bereichen Logistikkonzepte, Schieneninfrastruktur, Kostenbelastung und Lärm. Zudem muss auch die systembedingt effizientere Güterbahn sparsamer mit der eingesetzten Energie umgehen.

141 EU KOM (2011), S. 9

Es gibt verschiedene Varianten für den Transport von Gütern auf der Schiene:

- Ganzzüge bzw. Direktzüge,
- Einzelwagenverkehr,
- Teilwagenladungsverkehr.

Traditionell spielt die Schiene ihre Vorteile vor allem dort gut aus, wo schwere Güter über weite Strecken transportiert werden. So gelangen beispielsweise Massengüter wie Holzhackschnitzel oder Recyclingware in Ganz- bzw. Direktzügen an ihr Ziel. Heute werden aber immer mehr hochwertige Produktions- und Konsumgüter transportiert – in immer kleineren Sendungsgrößen. Einen Teil dieser Transporte decken Ganzzüge ab, beispielsweise im Seehafenhinterlandverkehr.

Ganzzüge spielen auch im sogenannten Kombinierten Verkehr (KV) eine wichtige Rolle. Hierbei wird ein Container oder ein anderer Wechselbehälter von einem Versender per Lkw zu einem Umschlagterminal gebracht, dort auf einen Zug verladen und im Zielterminal wieder für die Fahrt zum Empfänger auf Lkw verladen. Solche KV-Terminals sind für die Integration von Straße und Schiene sehr wichtig.

Aufgrund der vorherrschenden *Just-in-time*-Produktionsprozesse sind viele Unternehmen heute nicht mehr in der Lage, einen ganzen Zug mit Gütern zu füllen. Die Nachfrage nach dem Transport einzelner Waggonladungen bedient einerseits der Kombinierte Verkehr und andererseits der sogenannte Einzelwagen- oder Wagenladungsverkehr, bei dem einzelne Waggons oder Waggongruppen in Rangierbahnhöfen zusammengestellt werden. Diese Bündelung ist wirtschaftlich notwendig, aber im Vergleich zum Transport auf der Straße vielfach noch zu teuer und zu langwierig. Automatisierung und Digitalisierung können hier Kosten senken, Effizienz steigern und damit den Schienenverkehr attraktiver machen. Ein Problem besteht jedoch darin, dass viele Unternehmen, die schienenaffine Güter produzieren, heute nicht mehr über einen eigenen Gleisanschluss verfügen. Wenn stillgelegte Gleisanschlüsse vorhanden sind, sollte geprüft werden, ob eine Reaktivierung möglich und sinnvoll ist.

Unternehmen ohne eigenen Gleisanschluss, die nur Teilladungen versenden möchten, sind dagegen auf Logistikzentren angewiesen, die intermodale Transportketten auch bei kleineren Sendungsgrößen in flexiblen Zusammenstellungen von Wagen- und Teilwagenladungen ermöglichen. Intermodale Logistikzentren dieser Art eignen sich als Knoten innerhalb eines *Hub-and-Spoke*-Netzwerkes. Bei diesem Logistikkonzept nimmt die Fahrt einer Sendung zwischen Punkt A und Punkt B nicht zwangsläufig den kürzesten Weg. Stattdessen ermöglicht die geschickte Bündelung und Neuzusammenstellungen von Waggons oder Ladeeinheiten an Knoten *(Hubs)* und der von dort sternförmig ausgehende Transport *(Spoke)* höhere Auslastungen sowie verminderte Kosten.

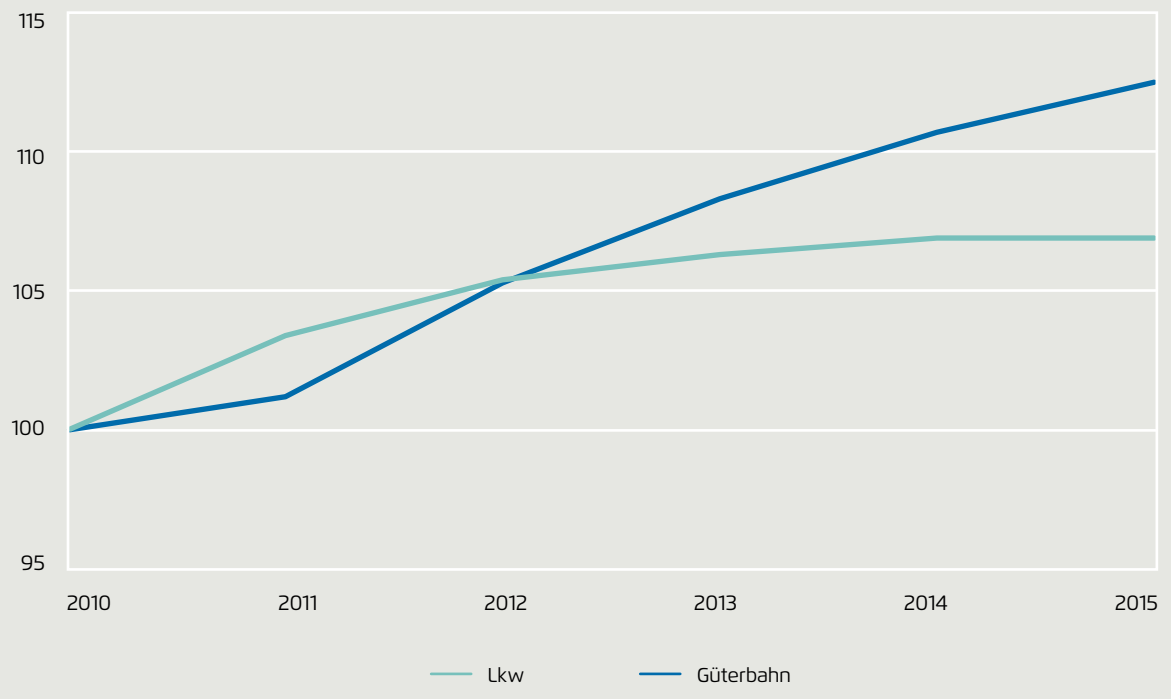
Steigern die Güterbahnen durch die beschriebene Veränderung des Angebots ihre Attraktivität, erhöht sich der Druck in Hinblick auf den Ausbau der Schienenkapazitäten. 2014 betrug die Güterverkehrsleistung der Schiene rund 117 Mrd. Tonnenkilometer. Im Klimaschutzszenario des Umweltbundesamtes lässt sich die Verkehrsleistung bis 2050 auf 280 Mrd. Tonnenkilometer steigern. Im Referenzszenario *(business as usual)* werden nur 186 Mrd. Tonnenkilometer erreicht.[142] Das Wachstumspotenzial der Schiene ist demnach groß, wenn die bestehenden Kapazitäten besser ausgenutzt werden und durch Streckenneu- und -ausbau vor allem Engpässe an Knoten beseitigt werden. Hierbei hat der Ausbau von Hauptkorridoren Priorität, die von den deutschen Nordseehäfen sowie den Häfen in Antwerpen, Rotterdam und Amsterdam ausgehen.

Ein Grund für die seit Jahrzehnten nicht gelingende Verlagerung von Gütern auf die Schiene ist die ungleiche Kostenbelastung von Güterbahnen und Lkw. Diese zeigt sich insbesondere in der Bepreisung der Wegenutzung (Trassenpreise/Lkw-Maut) und an den staatlich verursachten Preisbestandteilen bei den Energieträgern Strom und Diesel. Wie stark die Schere zwischen Schiene und Straße auseinandergeht, zeigt die Entwicklung der Erzeugerpreisindizes von Schienen- und Straßengüterverkehr (vgl. Abbildung 8.3).

Zentrale Hebel, mit denen die Kostenschere wieder geschlossen werden kann, sind die Ausweitung der Lkw-Maut auf alle Lkw und sämtliche Straßen unter Berücksichtigung aller externen Kosten durch CO_2, aber auch Lärm[143]; hinzukommen muss die Verringerung der

142 Ifeu, INFRAS, LBST (2016)
143 INFRAS, Fraunhofer ISI (2016)

Erzeugerpreisindizes im Schienen- und Straßengüterverkehr (2010 = 100) Abbildung 8.3



Eigene Darstellung nach Destatis (2017), S. 21 und S. 63

Trassenpreise (siehe These 10). Außerdem sollte mit konsequenteren Kontrollen und härteren Sanktionen gegen das weitverbreitete Lohndumping im Straßengüterverkehr vorgegangen werden, das den Wettbewerb zulasten der Bahnen verzerrt.

Obwohl die Schiene schon heute konzeptbedingt einen Umweltvorteil hat, muss sie sich bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Umwelt weiter verbessern. Dies gilt auch vor dem Hintergrund, dass sich der Umweltvorteil der Bahn verkleinern wird, sobald Lkw klimaneutral unterwegs sein werden. Bisher nicht elektrifizierte Schienenstrecken sind daher schnellstmöglich zu elektrifizieren. Sprechen gute Argumente gegen die Elektrifizierung von wenig befahrenen Strecken, können Wasserstoff- oder Batteriebahnen perspektivisch eine Alternative zu Dieselloks darstellen. Sollten Letztere weiter eingesetzt werden, sind ihre Schadstoffemissionen gegenüber dem heutigen Standard erheblich zu mindern.

Die Attraktivität des Güterverkehrs auf der Schiene wird durch Lärmemissionen gemindert. Die Akzeptanz von Güterstrecken kann sich enorm verbessern, wenn Züge mit modernen Bremssystemen ausgerüstet werden, die den Stahl der Zugräder nicht aufrauen und deshalb wesentlich leiseren Eisenbahnverkehr ermöglichen.

Doch selbst wenn die Schienenkapazität in Deutschland markant erhöht wird und alle schienenaffinen Güter tatsächlich mit Güterbahnen transportiert werden, lässt sich nach heutigem Kenntnisstand und angesichts der Wachstumsprognosen der Anteil des Schienengüterverkehrs an der Verkehrsleistung bis 2050 auf maximal 30[144] Prozent erhöhen. Dies zeigt: Für die vollständige Dekarbonisierung des Güterverkehrs braucht es neben einer deutlichen Verlagerung auf die Schiene zusätzlich den effizienten klimaneutralen Lkw.

144 Ifeu, INFRAS, LBST (2016), S.25

Europäische Politik weist den Weg zum klimaneutralen Lkw.

Anders als bei Pkw, leichten Nutzfahrzeugen und Lkw auf kurzen Strecken (siehe These 6) gibt es bei Lkw und Sattelzügen[145] für den Fern- und Schwerlastverkehr noch nicht das eine Antriebskonzept, das den Maßstab für die Energiewende im Verkehr darstellt. Bis sich herausstellt, wie sie später angetrieben werden, müssen Lkw deshalb auf anderem Wege und so schnell wie möglich effizienter werden.

Legt man Verbesserungen im Bereich des Antriebsstranges, der Aerodynamik, des Rollwiderstands und sonstiger Maßnahmen in den Bereichen Leichtbau, Geschwindigkeitsbegrenzung und optimierte Nebenverbraucher zugrunde, ist das Potenzial hierfür beträchtlich. Bei Sattelzügen mit 40 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht (also dem Standard-Lkw im Fernverkehr) beläuft sich das maximale Einsparpotenzial auf 25 bis 40 Prozent.[146] Das Einsparpotenzial bei Lkw ist in erster Linie über verbindliche CO_2-Flottengrenzwerte auszuschöpfen, wie es sie für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge in der Europäischen Union bereits seit 2009 gibt. Ein entsprechender Regulierungsvorschlag der EU-Kommission für Lkw und andere schwere Nutzfahrzeuge ist in Vorbereitung. Zukünftig ergeben sich möglicherweise zusätzliche Effizienzgewinne durch *Platooning*, also die Kopplung von mehreren teilautonomen Lkw auf der Autobahn, und optimal abgestimmtes Windschattenfahren.

Die seit 2017 auf einer Vielzahl von Straßen zugelassenen sogenannten Lang-Lkw mit einer erlaubten Gesamtlänge von 18,75 Meter (auch bekannt als Gigaliner) stehen in der Kritik, weniger eine sinnvolle Maß-

145 Sattelzüge werden hier unter Lkw gefasst, obwohl der Begriff Lkw streng genommen nur jene Fahrzeuge bezeichnet, bei denen Führerhaus und Ladefläche fest verbunden sind.

146 Ifeu, TU Graz (2015), S. 22; Mock, P. (2016), S. 15

Mögliche Antriebe und Energieträger für den klimaneutralen Lkw im Fernverkehr — Abbildung 8.4

Eigene Darstellung

nahme zur Emissionsminderung zu sein, als vielmehr den Wettbewerb zwischen Schiene und Straße zugunsten Letzterer zu verzerren.[147] In Deutschland nicht vorgesehen ist die Anhebung des zulässigen Gesamtgewichts von 40 Tonnen bzw. 44 Tonnen im Kombinierten Verkehr auf das bei diesen Fahrzeugen in den Niederlanden und Dänemark bereits erlaubte Gesamtgewicht von 60 Tonnen und in Schweden von 64 Tonnen. Es ist fraglich, ob diese Limitierung im grenzüberschreitenden Verkehr Bestand haben wird. Zudem führt die erlaubte Verlängerung bei Sattelaufliegern um 1,3 Meter eventuell nach und nach zu einem Austausch bisheriger Sattelauflieger.[148] Das hätte zur Folge, dass sie nicht mehr auf die europaweit im Kombinierten Verkehr eingesetzten Eisenbahnwaggons passen würden. Verdichten sich die Zeichen für die Schwächung des Kombinierten Verkehrs, sind Anpassungen der Lang-Lkw-Regelungen dringend erforderlich.

Fernverkehrs-Lkw werden grenzüberschreitend betrieben. Deshalb sollte in den unterschiedlichen Ländern die jeweils notwendige Infrastruktur (z. B Oberleitungen) dafür vorhanden sein. Wenn das klimaneutrale Antriebskonzept nicht europaweit zum Einsatz kommen kann, werden sich weder Speditionen dafür entscheiden, ihre Diesel-Lkw umzurüsten oder auf ein ganz neues System umzusteigen, noch werden Fahrzeughersteller entschieden entsprechende Modelle auf den Markt bringen.

Für den postfossilen Güterstraßenfernverkehr kommen unterschiedliche strombasierte Antriebskonzepte in Frage (vgl. Abbildung 8.4). Für Biokraftstoffe *(advanced biofuels)* gelten Einschränkungen wie in These 7 beschrieben.

Beim Fernverkehrs-Lkw ist wie schon beim Pkw die direkte Nutzung von Strom aus Sonne und Wind die effizienteste und ökonomischste Option der Dekarbonisierung. Allerdings werden Batterien nach heutigem Kenntnisstand auch 2050 nicht die im Güterfernverkehr üblichen Reichweiten ermöglichen. Im Fernverkehr fahren Sattel- und Lastzüge mit 40 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht 1.000 Kilometer und mehr.[149] Die direkte Stromnutzung ist mit Oberleitungs-Hybrid-Lkw möglich. Das Antriebskonzept des Oberleitungs-Hybrid-Lkw mit klimaneutral hergestelltem PtL-Diesel und/oder mit Batterien für die Fahrt abseits eines Oberleitungssystems auf Autobahnen schneidet derzeit in der volkswirtschaftlichen Gesamtkostenrechnung am besten ab.[150] Die Schwierigkeit besteht neben offenen technischen Fragen vor allem in der internationalen Abstimmung zur Finanzierung und Umsetzung einer europaweiten Oberleitungsinfrastruktur.

Im Gegensatz dazu wäre eine Lösung mit PtL-Diesel als *Drop-in*-Kraftstoff die Variante mit den geringsten initialen Umsetzungshemmnissen.

Lkw mit Gasmotoren, die heute mit verflüssigtem Erdgas (LNG) fahren und zukünftig mit verflüssigtem PtG-Methan betrieben werden könnten, bieten Chancen, aber auch Risiken für die Verkehrswende. LNG-Lkw sind bereits heute erhältlich und auch ein entsprechendes Tankstellennetz ist in Vorbereitung. Einerseits lassen sich mit LNG-Lkw im Vergleich zu Diesel-Lkw, wenn auch nur geringfügig, Treibhausgase einsparen[151]; zudem ist der Wirkungsgrad der Herstellung von synthetischem Flüssig-Methan etwas höher als der von PtL. Andererseits aber ist Erdgas ein fossiler Kraftstoff und kann als solcher höchstens die Funktion einer Brückentechnologie einnehmen (siehe These 6). Wenn der LNG-Antrieb bei Lkw als eine solche aufgebaut wird, entstehen Pfadabhängigkeiten, die den Umstieg auf CO_2-freie Lkw erschweren. Die Umsetzungschancen der Konzepte mit Oberleitungen oder Brennstoffzellen würden sich durch getätigte Investitionen in LNG-Fahrzeuge und -Tankstellen verringern.

Zu beachten ist indes, dass die Diskussion um strombasierte Kraftstoffe wie verflüssigtes PtG-Methan bisher überwiegend in Deutschland geführt wird. Das Beispiel LNG zeigt in jedem Fall, dass sich sowohl die Bundesregierung als auch die EU-Kommission bezüglich des zukünftigen Antriebskonzepts für eine harmonisierte europäische Lösung einsetzen sollten. Zugleich muss der Fokus darauf liegen, die Effizienz der Fahrzeuge deutlich zu erhöhen.

147 Sonntag, H.; Liedtke, G. (2015)
148 BASt (2016)
149 INFRAS, Quantis (2015)
150 Öko-Institut, KIT, INFRAS (2016)
151 Ifeu, TU Graz (2015). Die Kohlenstoffintensität von LNG variiert stark je nach Bereitstellungspfad/Vorkette.

These
09

Stromversorgung und Verkehr profitieren von der Sektorenkopplung.

Foto: Timm Ibom / photocase.de

Strom aus Wind und Sonne wird nach Lage der Dinge zum wichtigsten Energieträger für den Verkehr (siehe These 6 und 7). Der nationale CO_2-Ausstoß sinkt allerdings nur dann, wenn der regenerative Strom für den Verkehr zusätzlich produziert wird. Die Energiewende im Strombereich muss deshalb mit der Verkehrswende Schritt halten und synchronisiert werden.

Zugleich erhöht sich vor dem Hintergrund zwar schnell wachsender, aber wetterabhängiger Anteile von Sonnen- und Windstrom an der Stromerzeugung die Dringlichkeit, Nachfrage und Angebot flexibel aufeinander abzustimmen. Das gesteuerte sowie das bidirektionale Laden von Elektroautos bieten willkommene Flexibilitätsoptionen. Die Sektoren Verkehr und Strom ergänzen einander auf diese Weise und wachsen durch Sektorenkopplung zusammen.

Zusätzlicher Strom aus Wind und Sonne trägt die Energiewende im Verkehr.

2015 benötigte der Verkehrssektor mit zwölf Terawattstunden[152] (TWh) nur einen kleinen Teil der in Deutschland produzierten 651 TWh Strom.[153] Nach aktuellen Szenarien wird der Strombedarf des Verkehrs bis Mitte des Jahrhunderts stark anwachsen und auf bis zu rund 900 TWh steigen (siehe These 7). In welchem Umfang sich insbesondere nach 2030 auch der indirekte Stromverbrauch durch die zunehmende Nutzung von strombasierten synthetischen Kraftstoffen erhöht, bilden die diversen Szenarien unterschiedlich ab.[154] Angesichts eines auf lediglich 1.000 TWh geschätzten nachhaltigen technischen Gesamtpotenzials für die jährliche Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland[155] wird deutlich, dass die Bundesrepublik auf den Import von Strom oder strombasierten Kraftstoffen angewiesen sein könnte.

Die Bundesregierung verfolgt das Ziel, den Bruttostromverbrauch bis 2050 um 25 Prozent gegenüber 2008 zu senken; das wären rund 460 TWh. Das ebenfalls amtliche Ziel, den Anteil der Erneuerbaren Energien bis 2050 auf 80 Prozent zu steigern, bezieht sich auf die angestrebte Verminderung des Verbrauchs. Nach dieser Arithmetik würden im Jahr 2050 lediglich rund 370 TWh aus Erneuerbaren Energien erzeugt. Unter Berücksichtigung der zusätzlichen Nachfrage des Verkehrssektors ist allerdings die Senkung des gesamten Stromverbrauchs in Deutschland unrealistisch – und die angestrebte Menge erneuerbaren Stroms unvereinbar mit dem Ziel, die Volkswirtschaft einschließlich des Verkehrssektors bis 2050 zu dekarbonisieren. Tatsächlich muss der Ausbau der Erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung deutlich beschleunigt werden, soll das Klimaschutzziel 2050 erreicht werden.

Elektromobilität bietet dem Stromsektor Flexibilität.

Sektorenkopplung beschränkt sich nicht darauf, den Strombedarf des Verkehrs und den Ausbau der Erzeugungskapazitäten für Strom aus Erneuerbaren Energien aufeinander abzustimmen. Die Kopplung der Sektoren Verkehr und Strom kann das Stromsystem auch destabilisieren – beispielsweise dann, wenn viele Elektrofahrzeuge gleichzeitig geladen werden, während nur wenig Strom erzeugt wird oder während auch andere Sektoren viel Strom nachfragen.[156] Findet das Aufladen allerdings intelligent gesteuert erst dann statt, wenn das entsprechende Angebot vorhanden ist – gibt es also eine gezielte Lastzuschaltung –, dann profitiert das Stromsystem von dieser Flexibilitätsoption.

Sektorenkopplung kann auch bedeuten, Strom aus der Batterie eines Elektroautos in das Netz zurückzuspeisen; dieses bidirektionale Laden ist technisch möglich. Elektrofahrzeuge erfüllen dann die Funktion eines wichtigen Kurzzeitenergiespeichers – wichtig deshalb, weil die zunehmend auf Wind und Sonne basierende Stromerzeugung wetterbedingt unstet ist (vgl. Abbildung 9.1). Zuweilen wird mehr Strom erzeugt als nachgefragt, zuweilen wird aber auch zu wenig Strom erzeugt. Um die Lücken zwischen Angebot und Nachfrage beherrschbar zu machen, sind flexible Verbraucher und Erzeuger bzw. Stromspeicher nötig. Im Prinzip können E-Autos diese

152 AGEB (2016a)
153 EE-Strom trug 2015 nur 30 Prozent oder 196 TWh zur Bruttostromerzeugung bei. Vgl. AGEB (2016b)
154 Der höchste in der Literatur angegebene Gesamtstromverbrauch des Verkehrs beträgt über 2.000 TWh. Vgl. LBST (2016)
155 DLR, Ifeu, LBST, DBFZ (2015)
156 Schill, W.-P. et al. (2015)

Funktion übernehmen, auch wenn es noch keine wirtschaftlich tragfähigen Geschäftsmodelle für das systemdienlich gesteuerte oder bidirektionale Laden gibt.[157] Zu klären ist auch, wie gut Batterien von Elektrofahrzeugen bidirektionales Laden auf Dauer vertragen. Klar ist aber, dass Elektromobilität auf Basis Erneuerbarer Energien nur mit gesteuertem Laden praktikabel sein wird. Hierfür sind nötigenfalls politische Lösungen zu finden. Auf jeden Fall sollte beim Aufbau der Ladeinfrastruktur darauf geachtet werden, dass die technischen Voraussetzungen für systemdienliches und bidirektionales Laden schon heute geschaffen werden (siehe Thesen 6 und 10).

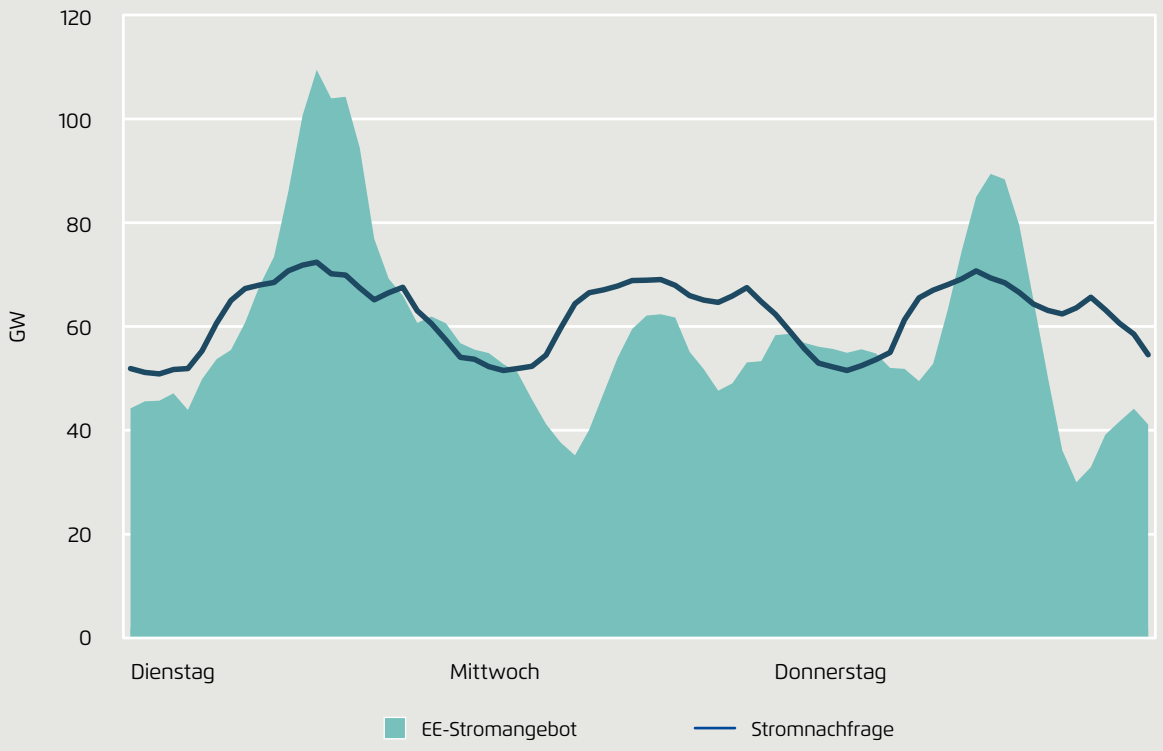
Anreize für systemdienliches bzw. bidirektionales Laden können Stromerzeuger bzw. Netzbetreiber mit entsprechenden Tarifen schaffen. Hierfür sind nicht nur die technischen, sondern auch die rechtlichen Grundlagen zu schaffen. Wichtig ist zudem der Ausbau der Verteilnetze mit Blick auf die zukünftigen Beanspruchungen etwa durch Schnellladesäulen sowie die Errichtung von Ladestellen beim Bau von Gebäuden.[158]

Ein Nachteil des kostengesteuerten intelligenten Ladens besteht darin, dass es zwar die Erzeugungsspitzen von Photovoltaikanlagen abzufedern vermag, aber auch zu einer verstärkten Nachfrage von billigem Nachtstrom aus CO_2-intensiven Braunkohlekraftwerken führen könnte. Dies macht deutlich, wie wichtig es ist, die Erzeugungskapazitäten für Strom aus Erneuerbaren Energien in Deutschland schneller als bisher auszubauen, damit die Erzeugung mit der neuen Nachfrage aus dem Verkehrssektor bilanziell Schritt hält.

157 Volkswagen AG; Lichtblick SE; SMA Technology AG; Fraunhofer IWES (2016)

158 EU COM (2016b)

Mögliche Stromnachfrage und Erzeugung im Jahr 2030 — Abbildung 9.1



Eigene Darstellung nach Angaben von Agora Energiewende

Eine Option, beim nächtlichen Laden von Elektroautos unabhängiger von der Stromerzeugung aus konventionellen Kraftwerken zu werden, besteht darin, Strom aus einer eigenen Photovoltaikanlage (PV-Anlage) in einer Batterie zu Hause zu speichern und das Fahrzeug abends oder nachts mit Strom aus dieser Batterie zu laden. Angesichts von Größe und Kosten aktueller Heimspeicherbatterien geht es dabei zwar eher um Teilfüllungen als um das vollständige Aufladen. Für die häufig geringen Tagesfahrleistungen von Pkw können aber schon kleine Strommengen einen wichtigen Beitrag leisten. Darüber hinaus sparen sich Eigenversorger, die sich von öffentlichen Stromnetzen unabhängiger machen, die staatlich verursachten Kostenbestandteile von Strom. Letztlich ist die dezentrale Eigenversorgung für viele Menschen attraktiv und kann daher ein Mittel zur Beschleunigung der Energiewende auch im Verkehr darstellen.

Für kleine stationäre Batteriespeicher könnten zukünftig Second-Life-Konzepte zum Tragen kommen. Hierbei werden Batterien, die für die Bereitstellung von Antriebsenergie nicht mehr leistungsfähig genug sind, als stationäre Speicher genutzt. Bisher werden Second-Life-Speicher wirtschaftlich nur im industriellen Bereich genutzt. Zusammengeschaltet zu größeren Speichern erbringen sie dort netzstabilisierende Leistungen. Die wirtschaftlichen und rechtlichen Grundlagen für die Nutzung im Heimspeicherbereich bestehen derzeit noch nicht. Dies liegt zum einen daran, dass Second-Life-Batterien für den Heimspeichermarkt die gleichen Sicherheitsstandards erfüllen müssen wie neue Batterien und es fraglich ist, welcher Anbieter für die Sicherheit von Batterien garantiert, deren individuelle Lade- und Temperaturgeschichte aus dem ersten Batterieleben nicht bekannt ist. Zum anderen werden neue Batterien immer günstiger und leistungsstärker, so dass Second-Life-Batterien vermutlich keinen nennenswerten Preisvorteil gegenüber Neubatterien hätten.

Eine weitere Flexibilitätsoption im Sinne eines Speichers ist die Herstellung von Wasserstoff mithilfe von Überschussstrom. Der Wasserstoff kann dann in Reinform oder umgewandelt in Methan oder Flüssigkraftstoff für den Betrieb von Fahrzeugen verwendet werden. Allerdings ist diese Kombination einer systemdienlichen Nutzung von Überschussstrom mit der Herstellung von Kraftstoff für Fahrzeuge mit Schwierigkeiten behaftet. So eignen sich Elektrolyseure – also Anlagen, in denen per Elektrolyse Wasserstoff hergestellt wird – aufgrund ihrer hohen Investitionskosten deutlich besser für den Einsatz mit möglichst vielen Volllaststunden als für den gelegentlichen Einsatz im Lastmanagement.[159] Wenn aber die Energiewende so weit fortgeschritten ist, dass der Strom in Deutschland größtenteils aus Erneuerbaren Energien kommt, könnte die Rückverstromung von gespeichertem Wasserstoff saisonale Unterschiede in der Stromerzeugung ausgleichen. Dies kann notwendig sein, wenn es über Tage oder Wochen nur geringe Erträge aus Sonnen- und Windkraftanlagen gibt (Dunkelflaute). Die Technik des *Power-to-Gas* hätte so auch die Funktion einer Sicherheitsreserve.[160] Hierbei ist allerdings zu beachten, dass der Gesamtwirkungsgrad von Wasserstoffherstellung, Speicherung und Rückverstromung nach jetzigem Stand der Technik maximal 40 Prozent beträgt[161] und in einer postfossilen Wirtschaft auch die chemische Industrie Wasserstoff oder kohlenstoffhaltige Verbindungen wie strombasiertes Methan als Grundstoff nachfragen wird.

159 UBA (2016a)
160 BMWi (2016d)
161 EFZN (2013)

These
10

Verkehrsinfrastruktur wird neu gedacht, geplant und finanziert.

Foto: urbancow / iStock

Die Verkehrsinfrastruktur der Zukunft besteht nicht mehr nur aus Schienen, Straßen, Wegen und Brücken. Zu ihr gehört außerdem eine adäquate Lade- und Tankstelleninfrastruktur für die Energieträger der Verkehrswende ebenso wie digitale Infrastruktur und ein schnelles, flächendeckend verfügbares Internet. Zukünftige Infrastrukturinvestitionen haben das Potenzial, die Verkehrswende zu beschleunigen und zum notwendigen Wandel beizutragen – oder das bestehende Verkehrssystem zu zementieren und das Umsteuern zu verzögern und zu verteuern. Die größte Herausforderung besteht darin, den Umbau und Erhalt der Infrastruktur so zu gestalten, dass die Kosten nach ökologischen und sozialen Kriterien gerecht verteilt werden, und Finanzierungsquellen zu schaffen, die an die Stelle der in Zukunft schrumpfenden Einnahmen aus der Energie- und Kfz-Steuer treten.

Die Planung von Verkehrswegen unterstützt die Emissionsminderung.

2016 wurde mit dem Bundesverkehrswegeplan 2030[162] das zentrale Planungsinstrument des Bundes für Verkehrsinfrastruktur neu verabschiedet. Dieser Plan umfasst Projekte mit einem Gesamtvolumen von 270 Mrd. Euro bis 2030. Als übergeordnetes Ziel nennt der Bundesverkehrswegeplan die Reduktion der Emissionen von Schadstoffen und Treibhausgasen, obwohl zugleich festgehalten wird, dass die mit ihm verbundenen Projekte lediglich zu einer Minderung von 0,4 Mio. Tonnen CO_2 pro Jahr führen.[163] Damit steht der Bundesverkehrswegeplan 2030 in seiner Wirkung nicht im Einklang mit dem ebenfalls 2016 von der Bundesregierung beschlossenen Klimaschutzplan 2050. Die dort festgehaltenen 40 bis 42 Prozent CO_2-Minderung bis 2030 im Vergleich zu 1990 entsprechen angesichts der heute wie damals rund 160 Mio. Tonnen jährlichen CO_2-Emissionen des nationalen Verkehrs einer jährlichen Minderung der CO_2-Emissionen des Verkehrssektors um durchschnittlich rund 4,7 Mio. Tonnen.

Vor diesem Hintergrund ist zu prüfen, ob der Bundesverkehrswegeplan bzw. die darauf aufbauenden Ausbaugesetze so angepasst werden können, dass die Planung der Verkehrsinfrastruktur mit den Emissionsminderungszielen in Einklang steht. Die notwendige Anpassung sollte sich an einem noch zu entwickelnden Verkehrswendekonzept 2030 orientieren. Darin sind ressortübergreifend Maßnahmen und Instrumente zur Umsetzung der Verkehrswende festzuhalten (siehe These 1). So wird eine integrierte Planung möglich[164], bei der ökonomische, ökologische und soziale Aspekte mit dem Ziel der Optimierung des Gesamtsystems ausgewogen miteinander verknüpft werden. Das Verkehrswendekonzept 2030 sollte zwecks Akzeptanzgewinnung eine hochwertige Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern vorsehen und von dem Gedanken geprägt sein, Zuständigkeiten an den Ort der Entscheidung zu verlagern.[165] Allein die Umwandlung einer bloßen Auftragsverwaltung in eine Auftragsverantwortung vermag bereits, den Anreiz zur Überdimensionierung von Verkehrsprojekten zu senken.[166]

Die Planung von Verkehrsinfrastruktur sollte dem Leitsatz „Schiene vor Straße" folgen. Für den Erfolg von Mobilitätswende und Energiewende im Verkehr ist es von zentraler Bedeutung, den Anteil der Verkehrsleistung auf der Schiene im Güter- wie im Personenverkehr deutlich zu erhöhen, indem bei Planung und Finanzierung die richtigen Prioritäten und Ziele gesetzt werden. Dabei ist es nicht damit getan, dass weniger Geld in den Aus- und Umbau von Straßen fließt und mehr in die Steigerung der Kapazität der Schieneninfrastruktur. Es müssen auch ausreichende Planungskapazitäten vorgehalten werden. Hilfreich wäre es darüber hinaus, stünden die finanziellen Mittel für den Ausbau des Schienennetzes für längere Zeiträume als die bislang üblichen fünf Haushaltsjahre bereit. Um die angepeilten Emissionsminderungen des Verkehrssektors zu ermöglichen, sollte zusätzlich zu dem beschleunigten Ausbau die Auslastung der vorhandenen Kapazität durch Digitalisierung, Automatisierung und Signaltechnik gesteigert werden.

Der Ausbau der Schieneninfrastruktur sollte sich am europäischen Kernnetz orientieren. Von besonderer Bedeutung sind die Beseitigung von Engpässen in den Korridoren des Seehafenhinterlandes sowie der Ausbau überlasteter Knoten wie beispielsweise Köln. Nur wenn diese stark belasteten Knoten ausgebaut werden, lassen

162 BMVI (2016d)
163 BMVI (2016d), S. 24 f.
164 Bracher, T. et al. (2014)
165 Roland Berger (2013)
166 Bodewig-Kommission (2013)

sich Verspätungen im Personen- und Güterverkehr zuverlässig mindern. Darüber hinaus ist es wichtig, ausreichende Überholmöglichkeiten für Züge zu schaffen, die im Güter- wie im Personenverkehr unterschiedlich schnell fahren. Die Ertüchtigung des Schienennetzes für die in Europa üblicherweise 740 Meter langen Güterzüge wäre vergleichsweise günstig, wird aber in der Verkehrsinfrastrukturplanung bisher nicht prioritär behandelt.

Obwohl die Schiene über einen inhärenten Umweltvorteil verfügt, muss auch sie als Verkehrsträger sich immer weitergehenden Umweltvorgaben stellen. Eine zentrale Herausforderung besteht in der Elektrifizierung von Schienenstrecken. Der gegenwärtige Anteil von 59 Prozent elektrifizierter Strecken ist zu niedrig. Dort, wo Oberleitungen sich für den gelegentlichen Zugbetrieb nicht rentieren, können Züge mit Batterie- und/oder Brennstoffzellentechnik klimaneutral betrieben werden. Für die Akzeptanz der Ausweitung des Schienenverkehrs, aber auch aus Gründen des Gesundheitsschutzes ist es unerlässlich, den Schienenlärm deutlich zu mindern (siehe These 8).

Bei der Planung der Straßeninfrastruktur sind stärker als bisher vor allem Alternativen zum Neu- und Ausbau zu prüfen; bisweilen bietet sich auch der Rückbau von Straßen an. Planungsleitend sollten Aspekte wie die Einbindung in das übergeordnete europäische Straßennetz und übergeordnete Aspekte der Raumordnung und Siedlungsentwicklung sein. Durch eine bessere Einbindung der lokalen und regionalen Ebene ließen sich bisweilen teure Baumaßnahmen einsparen. So können sich etwa bei einer integrativen Betrachtung und bei Abwägung von ökologischen, sozialen und ökonomischen Anforderungen an Verkehrsinfrastruktur neugestaltete Ortsdurchfahrten als die bessere Alternative zu Ortsumfahrungen erweisen. Auch der Wiederaufbau einer Bahnbrücke kann sich im Vergleich zum Bau einer weiteren Straßenbrücke als vorteilhaft herausstellen.[167]

167 BUND (2017)

Die Infrastruktur der Zukunft ist mehr als Beton und Stahl.

Die Verkehrsinfrastruktur der Zukunft ist viel stärker als die heutige ausgerichtet auf den Transport von Personen- und Gütern auf der Schiene sowie auf inter- bzw. multimodale und gemeinschaftlich genutzte Mobilität. Voraussetzung hierfür sind mehr Schienen, aber auch eine digitale Infrastruktur sowie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge und alternative Kraftstoffe.

Der Aus- und Aufbau von geeigneter Infrastruktur für das Laden von Elektrofahrzeugen ist staatlicherseits zu koordinieren und muss technischen Standards genügen. Dabei muss es auch zu einer Harmonisierung der Ladeangebote kommen. Standards für das Laden mit Kabel und Stecker bzw. mit Stromabnehmer (konduktiv), zukünftig möglicherweise auch verstärkt berührungslos (induktiv), sind einheitlich und offen für Wettbewerber zu gestalten. Der gleiche Anspruch auf Offenheit ist anzulegen bei Abrechnungsmodi mit den Anbietern von Fahrstrom an Ladevorrichtungen. Mobilitätskarten, wie sie für die bequeme anbieter- und verkehrsträgerübergreifende Zusammenstellung von Wegeketten überaus sinnvoll sind, sollten auch die Möglichkeit des Ladens an Einrichtungen diverser Anbieter bieten.

Koordiniert und an technischen Standards ausgerichtet sein sollte auch der eventuell notwendig werdenden Bau von Oberleitungen für Lkw und für die Wasserstoffinfrastruktur, die womöglich für die Versorgung von schweren Lkw und Sattelschleppern gebraucht wird. Im Rahmen der Umsetzung der EU-Richtlinie für den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe sollte geprüft werden, ob es sinnvoll ist, Infrastruktur für mehrere Kraftstoffkonzepte parallel staatlich zu fördern. Möglicherweise ist es zielführender, bei der Förderung eine europäisch abgestimmte Variante festzulegen, um Mittel und Energien zu bündeln (siehe These 8).

Ein zentraler Baustein der Verkehrswende besteht im Ausbau der digitalen Infrastruktur. Erst mit einem schnellen und flächendeckend stabil verfügbaren Breitband- und Mobilfunknetz, das Übertragungsraten jenseits der 50 Mbit/s und mobilen Internetempfang der fünften Generation (5G) ermöglicht, wird der Weg für technologiebasierte Innovationen im Verkehrssektor geebnet. Allen voran sind hier das vernetzte, (teil-)auto-

matisierte und perspektivisch auch das vollautonome Fahren im Personen- und Güterverkehr zu nennen (siehe These 5). Diese Technologien bergen ein großes, für die Verkehrswende nutzbares Potenzial. Ihre Entwicklung zum Regelbetrieb setzt jedoch fast immer eine zuverlässige Echtzeitkommunikation voraus.

Eine moderne, auf Konnektivität ausgelegte Infrastruktur macht darüber hinaus intelligente Bepreisungssysteme für die Straßennutzung möglich, erlaubt die Berechnung optimierter inter- und multimodaler Wegeketten oder die problemlose Nutzung von geteilten Fahrzeugen. Das volle Potenzial einer leistungsstarken digitalen Infrastruktur kann jedoch nur dann ausgereizt werden, wenn auch herkömmliche Verkehrsinfrastruktur wie Lichtsignalanlagen, Verkehrsschilder oder öffentlicher Parkraum an Intelligenz gewinnt und in ein vernetztes Gesamtsystem eingebettet wird. Auch die Digitalisierung der klassischen Verkehrsinfrastruktur spielt deshalb eine wichtige Rolle für die Vernetzung und Effizienzsteigerung des Verkehrs.

Die Politik hat sowohl bei digitaler als auch bei Ladesäuleninfrastruktur bzw. der Tankinfrastruktur für alternative Kraftstoffe die Verantwortung, einen diskriminierungsfreien Zugang zu ermöglichen. Sollten bisherige Geschäftsmodelle nicht tragen bzw. nicht derart tragen, dass tatsächlich systemdienliche Infrastruktur gebaut und betrieben wird, müsste der Staat die finanziellen und planerischen Rahmenbedingungen so verändern, dass die Verkehrswende gelingen kann.

Neue Wege der Finanzierung steuern die Verkehrswende.

Die Finanzierung von Verkehrsinfrastruktur stützt sich heute auf die staatlichen Einnahmen aus der Energiesteuer. Mit einem Aufkommen von rund 40 Mrd. Euro ist sie die wichtigste Verbrauchssteuer des Bundes.[168] Hieraus speisen sich die jährlichen Ausgaben des Bundes für die Verkehrsinfrastruktur von rund zehn Mrd. Euro[169]. Die nicht für den Verkehr aufgewendeten Milliarden fließen in den Gesamthaushalt. Mit der Energiewende im Verkehr und einem sinkenden Verbrauch von fossilen Kraftstoffen werden diese Einnahmen von Jahr zu Jahr sinken.

Abbildung 10.1 zeigt den Endverbraucherpreis je 100 Kilometer Fahrstrecke bei Nutzung unterschiedlicher Fahrzeugarten und Energieträger sowie den Anteil, der als Energiesteuer direkt an den Fiskus fließt. Es wird deutlich, dass die Energiesteuer auf Strom sowohl anteilig als auch absolut niedriger ausfällt als die Steuer auf Diesel und Benzin. Ein Grund dafür ist die geringe Stromsteuer (2,05 Cent pro kWh), ein anderer die im Vergleich zum Verbrennungsmotor höhere Effizienz des Elektromotors. Die sonstigen staatlich veranlassten Preisbestandteile von Strom wie die EEG-Umlage und die Netzentgelte sind zwar im Endverbraucherpreis enthalten, fließen aber nicht dem Fiskus zu.

2014 lag das Gesamtaufkommen der Stromsteuer bei 6,6 Mrd. Euro.[170] Bei gleichbleibendem Steuersatz wird die Elektrifizierung des Verkehrs dem Staat voraussichtlich nicht ein annähernd so hohes Aufkommen sichern wie heute die Besteuerung von Benzin und Diesel. Deshalb ist die Finanzierung von Infrastruktur aus Haushaltsmitteln langfristig nicht gesichert. Für die Finanzierung des Auf- und Ausbaus von Verkehrsinfrastruktur müssen neue Konzepte gefunden werden.

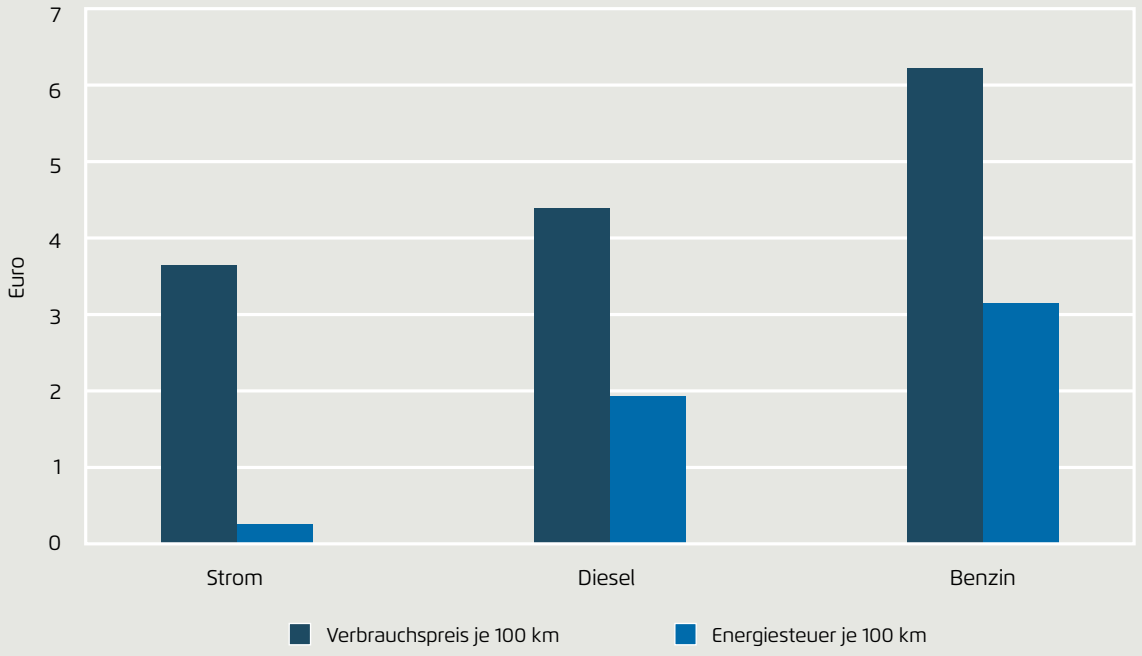
Verschiedene Gründe sprechen dafür, an die Stelle der bisher vorherrschenden Steuerfinanzierung verstärkt Nutzerfinanzierung treten zu lassen. Eine Empfehlung für diese Art der Finanzierung gaben bereits zwei Kommissionen, die von den Verkehrsministern der Bundesländer beauftragt wurden: die Daehre- und die Bodewig-Kommission.[171]

Neben der Sicherung der Finanzierung lässt das Prinzip der Nutzerfinanzierung auch eine ökologische Steuerung zu. Mittels eines Mautsystems lassen sich auf diese Weise interne wie externe Kosten von Verkehr verursachergerecht decken. Eine Maut wird in Deutschland bereits für Lkw über 7,5 Tonnen auf Autobahnen erhoben. Ab 2018 wird diese Maut auf alle Bundesstraßen ausgeweitet. Mautsysteme für schwere Nutzfahrzeuge müssen von den Mitgliedstaaten der EU laut der Eurovignetten-Richtlinie eingeführt werden. Während es in der ersten Version von 1999 nur um Wegekosten

168 BMF (2015)
169 Wieland, B. (2016)
170 BMF (2015)
171 Daehre-Kommission (2012); Bodewig-Kommission (2013)

Verbraucherpreise und Energiesteuern bezogen auf 100 Pkw-Kilometer mit unterschiedlichen Antriebskonzepten

Abbildung 10.1



Eigene Darstellung (Verbrauch, Herstellerangaben Basisvarianten VW Golf 02/2017 (12,7 kWh, 4,1 l, 4,8 l), www.volkswagen.de; Energiesteuer, www.zoll.de, Verbrauchspreis Strom 2016, www.strom-report.de, Verbrauchspreis Diesel und Benzin 2016, www.mwv.de)

im engeren Sinn ging, sieht die Richtlinie seit einer Änderung im Jahr 2011 auch einen Zuschlag für externe Kosten vor, beispielsweise für Luftverschmutzung.

Für Pkw ist eine sogenannte Infrastrukturabgabe in Vorbereitung. Bedauerlicherweise kann von ihr keine ökologische Lenkungswirkung ausgehen, da sie nicht fahrleistungsabhängig erhoben werden soll. Mit der Verkehrswende kompatibel wäre eine Maut, die abhängig von der Fahrleistung erhoben wird und in ihrer Höhe den von dem jeweiligen Fahrzeug verursachten Wege- und externen Kosten entspricht. Sie sollte nach Ort und Zeit differenzieren, um Verkehr effizient lenken zu können, sie sollte wirtschaftlich ausgelegt sein und verlässlichen Datenschutz gewährleisten.[172]

Finanziert werden muss nicht nur die Verkehrsinfrastruktur im engeren Sinne, sondern auch die Strominfrastruktur, deren Ausbau wegen der Verkehrswende beschleunigt zu erfolgen hat (siehe These 9). Bisher wird dieser Ausbau über die EEG-Umlage und Netzentgelte finanziert; beide Komponenten sind Bestandteil des Strompreises und werden maßgeblich von privaten Haushalten gezahlt. Verkehrsteilnehmer, die noch eine Weile fossile Kraftstoffe nutzen, leisten in dieser Rolle keinen Beitrag zum Ausbau der Strominfrastruktur. Zu klären ist, ob diese Lastenverteilung Bestand haben sollte[173] und wie das Gesamtsystem von Abgaben und Umlagen für den Verkehrs- und Strombereich zu reformieren ist.

172 FÖS (2016)

173 BMWi (2016c)

These
11

Die Verkehrswende sichert den Industriestandort Deutschland.

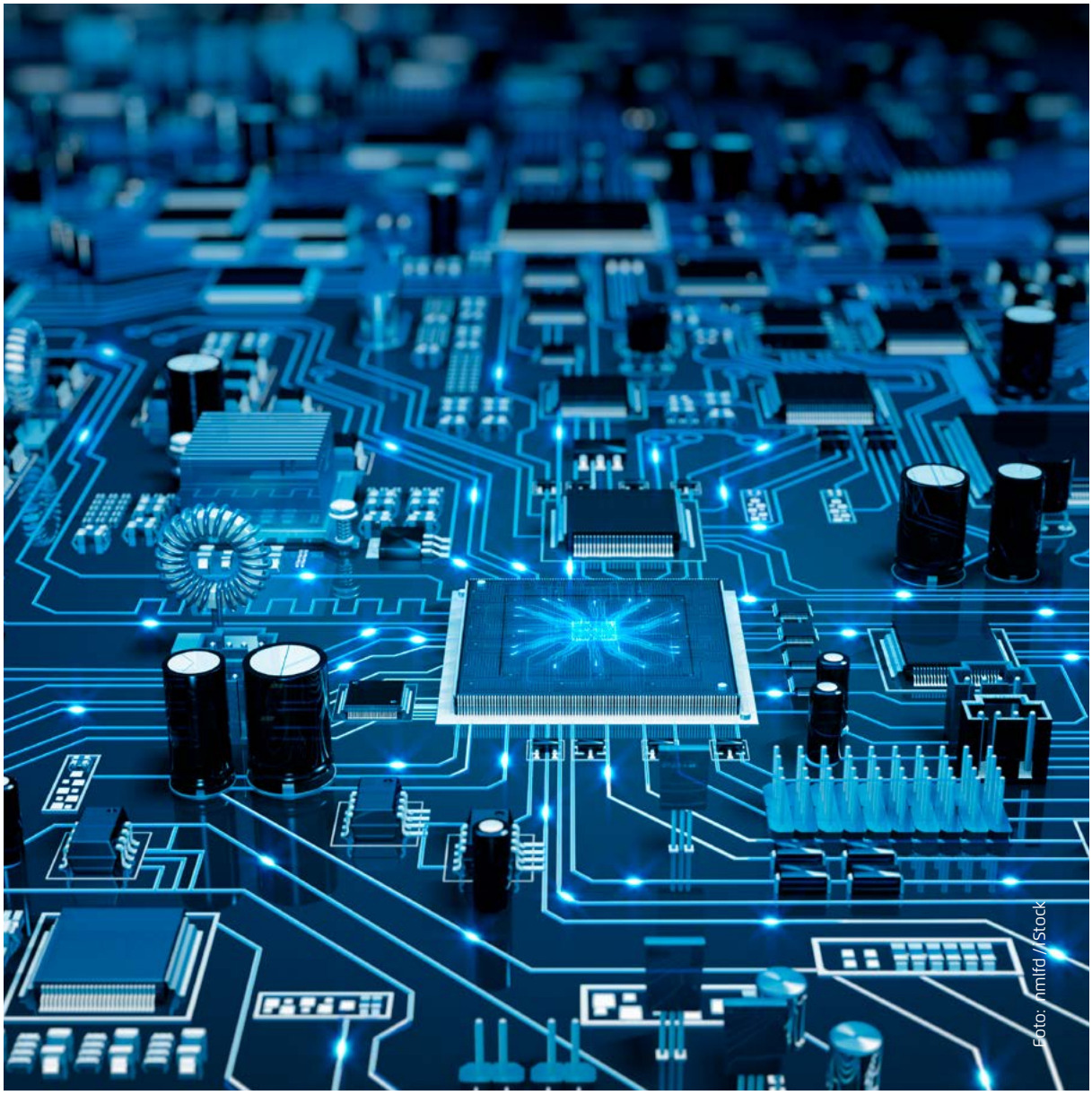


Foto: nmlfd / iStock

Seit der Erfindung des Automobils durch Carl Benz im Jahr 1885 hat die Automobilindustrie nicht nur immer mehr, sondern auch immer leistungsfähigere Fahrzeuge auf den Markt gebracht. Bei aller Perfektionierung blieb eines jedoch im Prinzip bis heute gleich: der mit fossilen Kraftstoffen versorgte Verbrennungsmotor als Kernelement des automobilen Antriebsstranges. Diese vermeintliche Konstante wird durch die Herausforderung des Klimaschutzes und durch den technologischen Fortschritt bei der Elektromobilität zum ersten Mal grundsätzlich in Frage gestellt. Es scheint, als stünde die Automobilindustrie vor dem größten Umbruch ihrer Geschichte, geradezu vor einer Revolution.

Anbietern von klimaneutralen Autos und Mobilitätsdienstleistungen gehört die Zukunft.

Das politische Ziel, den menschengemachten Klimawandel zu bremsen und deshalb nicht nur den Energie-, sondern auch den Verkehrssektor zu dekarbonisieren, ist ein wesentlicher Treiber dieser Innovationsrevolution. Es ist aber nicht der einzige. Hinzu kommt die inzwischen gewachsene Marktreife alternativer Antriebe, der Einzug der Digitalisierung in den Verkehrssektor und der zumindest in Großstädten zu beobachtende Wunsch wachsender Personengruppen, Autos zwar gelegentlich nutzen, aber nicht unbedingt besitzen zu wollen. Die genannten Trends sind nicht nur in Deutschland spürbar, sondern weltweit wirksam – mit weitreichenden gesamtwirtschaftlichen Folgen.

Sowohl die Mobilitätswende als auch die Energiewende im Verkehr haben das Potenzial, die Lebensqualität zu steigern und die Bedrohung durch den Klimawandel zu senken. Aber der durch sie forcierte Modernisierungsprozess kann auch mit Begleiterscheinungen einhergehen, die für einzelne Gruppen oder für die Gesellschaft als Ganzes schmerzhaft sind.

Im Fokus des unvermeidlichen Wandels steht die exportorientierte deutsche Automobilindustrie. Unabhängig davon, welche Rahmenbedingungen die deutsche und/oder die europäische Politik ihr setzen, hängt deren zukünftiger Erfolg maßgeblich davon ab, wie gut sie für die sich wandelnden Anforderungen gerüstet ist – daheim und auf wichtigen Exportmärkten. So oder so: Die Dekarbonisierung und die Digitalisierung des Verkehrs werden Einfluss haben auf die Wertschöpfung sowie auf Niveau und Struktur der Beschäftigung im Automobilsektor. Gesellschaftlich unerwünschte Effekte, die momentan nur schwer bezifferbar, aber auch nicht auszuschließen sind, bleiben indes umso überschaubarer, je mehr Politik und Wirtschaft zu Gestaltern des Strukturwandels werden – anstatt von ihm getrieben zu werden. Diese Erkenntnis ist auch in die Reihen der Automobilwirtschaft akzeptiert.

Es ist zwar Sache der Unternehmen, welche Antriebs- und Effizienztechnologien sie zur Erreichung weitgehender Klima- und Emissionsminderungsziele einsetzen. Ihre globale Spitzenposition werden sie allerdings nur behaupten können, wenn sie sowohl bei der Dekarboniserung des Antriebsstranges führend sind als auch bei der Entwicklung und beim Angebot neuer Mobilitätsdienstleistungen. Vor diese Herausforderungen sind sie durch technische Innovationen, den internationalen Wettbewerb und immer ambitionierter werdende politische Regulierungen gestellt.[174]

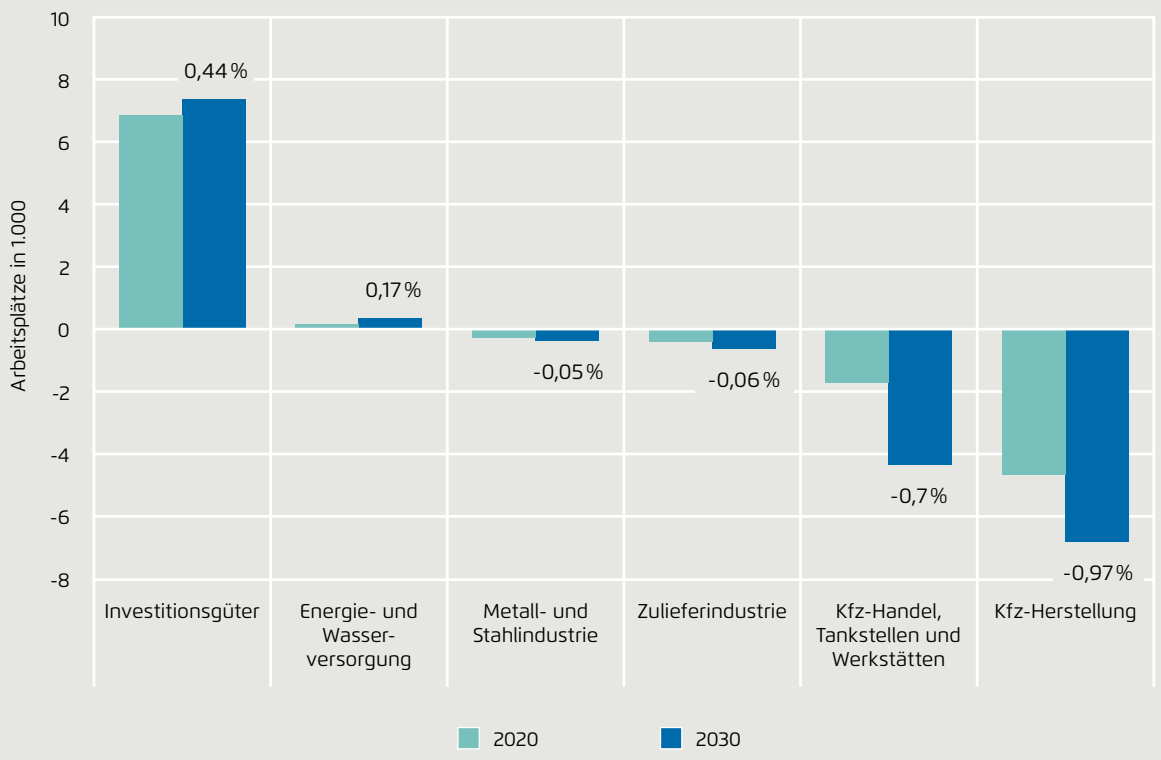
Die Gestaltung des Strukturwandels ist eine Chance für Beschäftigung.

Wie erfolgreich die Automobilindustrie in Zukunft auf dem Weltmarkt aufgestellt sein wird, wirkt sich unmittelbar auf die Beschäftigung im Inland aus. Mit den größten Beschäftigungseinbußen ist zu rechnen, wenn die Geschwindigkeit des Strukturwandels die Anpassungskraft und -bereitschaft der Branche übersteigt. Der Strukturwandel findet statt; darüber, ob Europa zentraler Produktionsstandort für die Automobilindustrie bleibt, wird schon heute mitentschieden.[175]

Allerdings hat auch die proaktive Gestaltung des Strukturwandels Arbeitsplatzeffekte. Im Fokus steht vor allem die Herstellung des Antriebsstranges, die in Deutschland momentan rund 250.000 Menschen Beschäftigung gibt. Welchen Einfluss die Energiewende im Verkehr auf diese Arbeitsplätze hat, hängt unter anderem davon ab, ob, wie schnell und durch welche alternativen Antriebstechnologien der Verbrennungsmotor ersetzt wird. Die Erkennt-

174 PwC (2016), S. 3
175 Vgl. IG Metall (2016), S. 6 sowie Wissmann, M. (2017), S. 7

Beschäftigungseffekte der Energiewende im Verkehr* Abbildung 11.1



Ulrich, P.; Lehr, U. (2016), S. 9; * Abweichungen des Szenarios mit forcierter E-Mobilität (2030: 6,1 Mio. E-Fahrzeuge im Bestand) gegenüber dem Referenzszenario (2030: 3,2 Mio. E-Fahrzeuge)

nisse darüber sind noch sehr begrenzt.[176] Fest steht, dass die Herstellung des elektrischen Antriebsstranges weniger arbeitsintensiv ist als die Produktion von Verbrennungsmotoren und Getrieben. Vor diesem Hintergrund kommen die vorliegenden Untersuchungen überwiegend zu dem Ergebnis, dass jedenfalls im Zeitraum bis 2030 die gesamtwirtschaftlichen Beschäftigungseffekten überschaubar bleiben (vgl. Abbildung 11.1). Allerdings ist dabei auch kein sehr dynamischer Markanteilsgewinn von batterieelektrischen Fahrzeugen unterstellt. Je früher und je stärker Fahrzeuge ohne verbrennungsmotorische Komponenten im Antriebsstrang sich durchsetzen, desto größer könnten auch die Beschäftigungswirkungen sein.

Dennoch erscheint die Annahme plausibel, dass die Beschäftigungseffekte eines geordneten Wandels hin zur Elektromobilität überschaubar wären gegenüber den Beschäftigungseinbrüchen, die für den Fall zu erwarten sind, dass die Autoindustrie den Anschluss an die internationalen Verkehrswendetrends verpasst. Diese Trends sind schon heute auf wichtigen Absatzmärkten zu beobachten, vor allem auf dem chinesischen. Nennenswerte Wachstumspotenziale versprechen dort nur noch Fahrzeuge mit alternativen Antrieben oder Fahrzeugkomponenten, „die für alternativ betriebene Fahrzeuge von hoher Relevanz sind".[177] Das größte Risiko für die Arbeitsplätze ist deshalb ein Festhalten am Status quo.

176 ELAB (2012); TAB (2012); Öko-Institut (2016) sowie Ulrich, P.; Lehr, U. (2016)

177 TAB (2012), S. 194

Der technologische Wandel in Richtung Elektromobilität trifft neben der Kfz-Industrie selbst in besonderem Maße die Mineralölwirtschaft, die bereits früher als erwartet vom Erfolg batterieelektrischer Fahrzeuge in Mitleidenschaft gezogen werden könnte.[178] Allerdings folgt daraus nicht zwangsläufig, dass die Energiebereitstellung für den Mobilitätssektor in Zukunft netto weniger Arbeitskräfte erfordert. Neue Arbeitsplätze werden für den Aufbau und den Unterhalt der elektrischen Infrastruktur entstehen und/oder für die Herstellung strombasierter Kraftstoffe. Kosten- und Akzeptanzaspekte sprechen allerdings dafür, dass Letztere vor allem im Ausland erzeugt werden.

Ökonomische Implikationen hat neben der Energiewende im Verkehr auch die Mobilitätswende: das Weniger an motorisiertem Verkehr, das Mehr an kollaborativer Mobilität und das autonome Fahren. So wird in einer neueren Studie das weltweite Potenzial von Geschäftsmodellen rund um kollaborative Mobilität auf etwa 1,5 Billionen Dollar im Jahr 2030 geschätzt – das wären knapp 30 Prozent mehr Einnahmen zusätzlich zu dem Einnahmestrom, der 2030 aus dem herkömmlichem Fahrzeugverkauf einschließlich Wartung und Ersatzteilverkauf generiert wird.[179] Damit sind Beschäftigungseffekte verbunden.

Das autonome Fahren wirkt sich dagegen potenziell negativ auf das Beschäftigungsniveau aus. Selbstfahrende Fahrzeuge können Arbeitsplätze im Transportgewerbe überflüssig machen. Das betrifft Taxifahrer, Lkw-Fahrer und Lokomotivführer ebenso wie Bus-, Tram- und U-Bahn-Fahrer. Allein im Fahrdienst des Öffentlichen Personenverkehrs sind mehr als 83.000 Menschen beschäftigt.[180]

Die gesamtwirtschaftlichen Effekte der Verkehrswende sind darüber hinaus aber noch von vielen, heute nur schwer kalkulierbaren Faktoren abhängig. Von großer Bedeutung wird dabei vor allem sein, wie sich die Gesamtkosten der Mobilität im Zuge des Verkehrswendegeschehens entwickeln, wie sich Mehr- oder Minderkosten auf das private Konsum- und Sparverhalten auswirken und welche Effekte sowohl der technologische Wandel als auch Verhaltensänderungen auf Lieferketten- und -verflechtungen haben.

178 FitchRatings (2016)
179 McKinsey & Company (2016), S. 4
180 VDV (2016), S. 30

Da Arbeitsplatzeffekte erfahrungsgemäß von erheblicher Bedeutung für die Akzeptanz politischer Vorhaben sind, ist es eine vordringliche Herausforderung, die Kenntnisse über die möglichen Beschäftigungswirkungen der Verkehrswende zu verbessern. Nur auf der Basis besser gesicherter Erkenntnisse lassen sich unterschiedliche Transformationsstrategien bewerten, nicht zuletzt hinsichtlich ihrer Chance auf gesellschaftliche und politische Mehrheitsfähigkeit. Arbeitsplatzeffekte, die durch die ohnehin stattfindende Automatisierung und Digitalisierung der Produktion verursacht werden (Industrie 4.0), sind allerdings nicht der Verkehrswende anzulasten.

Die Bedeutung der Verkehrswende erreicht den Finanzmarkt.

Die Sphäre der Güterproduktion und die des Kapitals sind ökonomisch eng miteinander verknüpft. Ob und wie die Automobilindustrie den Herausforderungen des Klimawandels begegnet, hat Konsequenzen für den globalen Finanzmarkt. Umgekehrt hat die Wahrnehmung des Klimawandels durch die Finanzmarktakteure Auswirkungen auf die Automobilbranche.

Die Stabilität des Finanzmarktes kann durch die physischen Konsequenzen des Klimawandels, durch technologische Entwicklungen oder durch klimapolitisch motivierte Regulierungen gefährdet werden. Physische Risiken entstehen, wenn Investments den Folgen des Klimawandels ausgesetzt sind. Technologische Risiken entstehen als Folge von Durchbrüchen neuer Technologien, beispielsweise von Elektrofahrzeugen. Regulatorische oder Transitionsrisiken entstehen durch den Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft, verursacht durch politische Intervention.[181]

Der Verkehrssektor ist zwar national wie weltweit ein bedeutender Emittent von Treibhausgasen; dennoch ist nicht zu erkennen, dass von ihm gegenwärtig eine akute Gefährdung der Finanzmarktstabilität ausgeht. Risiken lassen sich gleichwohl nicht ausschließen. Unerwartete Ereignisse, so genannte *black swans*, oder auch extreme Risiken (*fat tails*) spiegeln die gängigen Finanzmarkt-Kennzahlen nicht wider.

181 BMF (2016a), S. 12 ff. sowie BlackRock (2016)

Die meisten Finanzanalysten sind bisher auf das zyklische Auf und Ab fokussiert, den säkularen Trend des Klimawandels haben sie nicht systematisch im Blick. Das macht ihre Entscheidungen extrem fehleranfällig, weil sie die Umweltrisiken ihrer Investments nicht erkennen. Die Finanzmarktregulierung ist deshalb gefordert, solche Risiken für Investoren erkennbar zu machen. Sie wird auf diese Weise zu einem flankierenden Instrument der Verkehrswende.

In dem Maße, wie Umweltrisiken erkennbar und erkannt werden, wächst das Risiko für traditionelle Geschäftsmodelle. Inzwischen ist eine steigende Zahl von Finanzmarktakteuren sensibel für die potenziellen Risiken des Klimawandels und der Klimapolitik für ihre Kapitalanlagen. Sie mischen sich als *active owner* in die Politik der Unternehmen ein, in denen ihr Geld steckt – oder sie ziehen es ab, weil sie nicht auf *stranded assets*, auf wertlosen Wertpapieren, sitzen bleiben wollen. Das Risiko solch drohender Wertverluste dürfte mit fortschreitender CO_2-Konzentration in der Erdatmosphäre zunehmend ins Kalkül institutioneller Investoren Eingang finden: Sie ziehen sich dann als Finanziers solcher Unternehmen zurück.

Dieser Trend, dem bisher vor allem Kohle- und Ölunternehmen ausgesetzt sind, kann auch Kapitalanlagen in Unternehmen erfassen, die zwar selbst keine fossilen Energierohstoffe fördern und verarbeiten, deren Geschäft aber maßgeblich auf der Nutzung fossiler Energien aufbaut. Die Automobilindustrie ist in dieser Hinsicht ein besonders exponierter Sektor.[182] Je länger einzelne Hersteller oder die Branche am fossilen Geschäftsmodell festhalten, desto verletzbarer sind sie durch die Anlagestrategien institutioneller Investoren.

Aktien oder Anleihen, die desinvestiert werden, finden zwar weiterhin Käufer. Aber massives Divestment kann den Marktwert eines Unternehmens derart schrumpfen lassen, dass Investitionen nicht mehr finanzierbar sind. Dafür gibt es zwar vorerst keine Anzeichen. Allerdings verdichten sich die Hinweise darauf, dass Investoren sensibler werden für die mit dem Klimawandel verbundenen finanziellen Risiken. „*We see climate aware investing [...] as a necessity*", heißt es in einer Publikation des weltweit mächtigsten Vermögensverwalters BlackRock.[183] Andere institutionelle Investoren, die gemeinsam ein Vermögen von rund 30 Billionen Dollar verwalten, drängen die Autoindustrie dazu, sich proaktiv für den Weg in die Zwei-Grad-Welt stark zu machen – nicht gegen, sondern gemeinsam mit Politik und Zivilgesellschaft.[184]

Im öffentlichen Diskurs zur Verkehrs- und Verkehrswendepolitik spielt der Finanzmarkt bisher keine große Rolle. Tatsächlich hat er aber das Potenzial, neben der Politik zu einem bedeutenden Treiber der Verkehrswende zu werden. Es ist deshalb lohnend zu beobachten, ob bzw. in welchem Maße dieses Potenzial realisiert wird.

182 BMF (2016a), S. 16 sowie UBA (2016b), S. 47

183 BlackRock (2016), S. 9

184 IIGCC (2016), S. 3

These
12

Der gesellschaftliche Nutzen der Verkehrswende wird zu ihrem Treiber.

Foto: sabthai/iStock

In den vergangenen Jahrzehnten wurde auf vielfältige Weise versucht, das Verkehrssystem zum Nutzen der Gesellschaft aus- und umzubauen. Es wurden Straßen und Schienenwege gebaut, Lärmschutzwände errichtet, Emissionsstandards geschaffen und zum Schutz von Insassen wie von nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmern Sicherheitsnormen im Fahrzeugbau verschärft. Die gesellschaftlich unerwünschten Folgen des Verkehrs sind dennoch nicht im erhofften Ausmaß gesunken: Mehr als die Hälfte der deutschen Bevölkerung fühlt sich von Straßenverkehrslärm gestört oder belästigt.[185] Die Emissionen des Straßenverkehrs führen vielerorts zu Schadstoffkonzentrationen jenseits gesetzlich vorgeschriebener Grenzwerte. Verkehrswege stellen für viele Pflanzen- und Tierarten in wachsendem Umfang Barrieren dar, die ihre Lebensräume zerteilen, verkleinern und fragmentieren. Und die Zahl der polizeilich erfassten Verkehrsunfälle war im Jahr 2015 so hoch wie nie zuvor in der Geschichte der Bundesrepublik Deutschland.[186]

Aktuell steht der Verkehrssektor zusätzlich auf dem Prüfstand, weil er im vergangenen Vierteljahrhundert per saldo keinen Beitrag dazu geleistet hat, Deutschlands Treibhausgasemissionen zu senken. Dafür gibt es viele Gründe, ein Ursachenkomplex aber ist besonders wichtig: Es gibt Millionen Verursacher dieser Emissionen, was die Verantwortung jedes Einzelnen subjektiv schmälert. Hinzu kommt, dass die Folgen der Erderwärmung für den Einzelnen schwer erkennbar oder erst in einer als fern empfundenen Zukunft vorstellbar sind, sich jedenfalls heute allenfalls in fernen Regionen manifestieren. Das schmälert die Akzeptanz der Klimaschutzpolitik.

Allerdings stiftet sie jenseits des reinen Klimaschutzes auf vielfältige Weise Nutzen, der individuell und sozial schon kurzfristig wahrnehmbar ist und sich zum Teil sogar messen lässt. Dieser Nutzen wird in wachsendem Maße zu einer Triebkraft der Verkehrswende. Sie ist mehr als ein Verkehrs- oder Klimaschutzprojekt.

185 UBA (2017c)
186 Destatis (2016d)

Die Verkehrswende hat einen Mehrwert über den Klimaschutz hinaus.

Emissionsarme Fahrzeuge verbessern die Qualität der Luft und schonen die Gesundheit der Menschen. Fahrzeuge mit Elektromotor sind bei Geschwindigkeiten bis 30 Stundenkilometer, was in Städten häufig der tatsächlich gefahrenen Durchschnittsgeschwindigkeit entspricht, deutlich leiser als solche mit Verbrennungsmotor. Weniger Lärm bedeutet weniger Stress, mit der sinkenden Lärmbelastung sinken folglich auch deren negative Langzeitfolgen, zum Beispiel Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Weil einkommensschwache Bevölkerungsgruppen den negativen Folgen des Verkehrs überproportional ausgesetzt sind, trägt die Reduzierung der Lärm- und Schadstoffemissionen zusätzlich zu mehr Umweltgerechtigkeit bei.

Aktiv, also mit dem Rad- oder zu Fuß unterwegs zu sein, hat sogar ausgesprochen positive Gesundheitseffekte – sofern für Sicherheit gesorgt wird. Breite Gehwege und Fahrradspuren in zusammenhängenden Wegenetzen fördern die Nahmobilität und machen Alternativen zum Pkw zusehends attraktiver. Dabei erhöhen geringere Geschwindigkeiten nicht nur die Sicherheit, sie fördern auch das Miteinander in Städten.

Bessere Luft, weniger Lärm und mehr Bewegung: Die Verkehrswende hat nicht nur positive Folgen für die Gesundheit jedes Einzelnen, sondern wirkt sich auch stabilisierend auf die Gesundheitsausgaben und Krankenkassenbeiträge aus. Laut einer Studie der American Lung Association für zehn US-Bundesstaaten würde allein die weitreichende Marktdurchdringung mit Elektroautos im Jahr 2030 Einsparungen in Höhe von 13 Mrd. US-Dollar durch vermiedene Gesundheitskosten und krankheitsbedingte Arbeitsausfälle erzielen.[187] Ähnliche Untersuchungen würden auch der hiesigen Verkehrswende-Debatte neue Impulse verleihen.

Weniger Gestank, weniger Lärm und mehr Verkehrssicherheit auf Straßen, Plätzen und in Wohnquartieren sorgen für eine bessere Aufenthaltsqualität. Das kann sich positiv auf die Teilhabe der Zivilgesellschaft am städtischen Leben auswirken. Darüber hinaus entlastet der durch die Verknüpfung verschiedener Verkehrsmittel im Rahmen des Mobilitätsverbundes ermöglichte Verzicht auf

187 Holmes-Gen, B.; Barrett, W. (2016)

eigene Pkw den Einzelnen nicht nur von den Kosten für die Fahrzeugwartung, sondern vor allem von den extrem hohen Fixkosten des Pkw-Besitzes. In Carsharing-Flotten ist man immer in neuen Fahrzeugmodellen unterwegs.

Die Zurückgewinnung urbanen Lebensraumes, der bisher oft durch parkende Fahrzeuge und durch Parksuchverkehr beansprucht wird, ist ein Faktor, der die Attraktivität des öffentlichen Raums und das subjektive Wohlbefinden seiner Nutzer verbessert. Die Verkehrswende macht aus Abstellflächen für Fahrzeuge wieder Lebensraum von Stadtbewohnern. In- und außerhalb von Städten kann weniger Verkehr ferner nicht nur dem Menschen, sondern auch der „Natur" wieder etwas mehr zu ihrem Recht verhelfen. 94 Prozent der Bevölkerung sind der Meinung, dass die Natur zu einem guten Leben dazugehört.[188]

Schließlich nutzt die Verkehrswende der Wirtschaft. Je weniger Mineralöl der Verkehr nachfragt, desto besser sind möglicherweise wieder steigende Ölpreise zu verkraften. Darüber hinaus sorgt die Verkehrswende für wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit, mehr als eine Blockade des unvermeidlichen Strukturwandels es täte. Verglichen damit sichert die Verkehrswende Arbeitsplätze.

Diskurs fördert Akzeptanz.

Die Logik spricht dafür, dass der jenseits des Klimaschutzes entstehende Nutzen der Verkehrswende ihre Akzeptanz steigert. Schließlich manifestiert sich ihr Mehrwert bei vielen gesellschaftlichen Akteuren:

- Beim Staat wegen der Aussicht, die Sicherheit der Bevölkerung zu erhöhen, die Gesundheitsausgaben zu stabilisieren und das Vertrauen in staatliche Vorhaben zu stärken.
- Bei den Kommunen wegen der Chance, ihre Planungshoheit besser ausüben zu können und als Wohn- und Arbeitsort attraktiver zu werden.
- Bei der Wirtschaft wegen der Erkenntnis, dass die Gestaltung des Strukturwandels mehr Chancen und Gewinne bietet, als zum Getriebenen des Strukturwandels zu werden.
- Und schließlich bei jedem Einzelnen, weil Mobilität stressfreier, ungefährlicher und gesünder wird.

188 BMUB, BfN (2016), S. 62

Der vielfältige Nutzen eines Vorhabens schlägt sich allerdings nicht automatisch in Akzeptanz und politischer Unterstützung nieder. Nichts hat das so deutlich gezeigt wie einst der Widerstand gegen die Einführung der Gurtpflicht. Obwohl schon in den 1970er Jahren eine große Mehrheit der Bevölkerung den Sicherheitsgurt „für ein notwendiges, da sinnvolles aktives Rückhaltesystem" hielt, entwickelte sich unter Autofahrern eine tiefe Aversion gegen das Anschnallen. Vom Bundesverkehrsministerium beauftragte Psychologen attestierten den Gegnern des Gurtes sogar „Bereitschaft zu kämpferischen Auseinandersetzungen".[189]

Inzwischen ist das Anschnallen längst zu einer Routinehandlung geworden, da es nachweislich massiv zur Rettung von Menschenleben beiträgt und dieser Nutzen im gesellschaftlichen Bewusstsein verankert ist.

Das Beispiel zeigt, welche Herausforderungen auch mit der Verkehrswende verbunden sein können. Akzeptanz lässt sich weder verordnen noch durch Überredung schaffen. Sie ist durch aufgeklärten, rationalen Diskurs zu erarbeiten, und zwar von der ganzen Gesellschaft.

Die Verkehrswende ist ein Gemeinschaftswerk.

Die Ethik-Kommission, 2011 nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima auf Initiative der Bundeskanzlerin ins Leben gerufen, ließ sich in ihrem Bericht über Deutschlands Energiewende vor allem von einem Gedanken leiten: dass die Energiewende „nur mit einer gemeinsamen Anstrengung auf allen Ebenen der Politik, der Wirtschaft und der Gesellschaft gelingen wird".[190] Mehr noch als für die Wende im Stromsektor gilt dies für die Verkehrswende, die Alltagsroutinen von Millionen Menschen betrifft. Erfolgreich sein kann sie nur, wenn alle mitmachen: Parlamente, Regierungen, Bürgerinnen und Bürger. Dieser Prozess bedarf der Organisation – auf nationaler, aber auch auf kommunaler und europäischer Ebene.

Die Verkehrswende beschreibt einen Transformationsprozess, der mehrere Jahrzehnte beanspruchen wird. Dafür braucht es einen verlässlichen Rahmen, der nicht

189 SPON (2010)
190 Ethik-Kommission (2011), S. 11

nach jeder Wahl grundsätzlich zur Debatte gestellt wird. *Stop and go* wäre Gift für die Wirtschaft, die langfristig tragfähige Investitionsentscheidungen nur auf der Basis kalkulierbarer Rahmenbedingungen treffen kann; es würde zudem all jene verunsichern, die angefangen haben, ihr Verkehrsverhalten den neuen Zeiten anzupassen – und dann wieder „zurückgepfiffen" werden. Deshalb sollte die Politik mit hoher Priorität und großer Verbindlichkeit klar machen, wohin die Reise geht.

Die Ethik-Kommission empfahl ein Nationales Forum Energiewende; seine Einrichtung steht bis heute aus. Dieses Versäumnis nachzuholen würde auch der Verkehrswende einen unschätzbaren Impuls verleihen.

Literaturverzeichnis

AEE (2016): Agentur für Erneuerbare Energien, Meta-analyse: Flexibilität durch Sektorenkopplung.

AGEB (2011): Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Statistische Effekte des Kernenergieausstiegs, Pressedienst Nr. 10/2011 URL: www.ag-energiebilanzen.de/index.php? article_id=22&archiv=18&year=2011. Letzter Zugriff am: 02.02.2017

AGEB (2016a): Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V., Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland 1990 bis 2015. Im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen erarbeitet von DIW Berlin und EEFA (Energy Environment Forecast Analysis). URL: www.ag-energiebilanzen.de/. Letzter Zugriff am: 17.03.2017.

AGEB (2016b): Stromerzeugung nach Energieträgern 1990–2016. URL: www.ag-energiebilanzen.de/. Letzter Zugriff am: 17.03.2017.

AGFS (2012): Arbeitsgemeinschaft Fahrradfreundliche Städte. Parken ohne Ende. Herford.

Ahrens, G. (2013): Sonderauswertung zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten – SrV 2013". SrV-Städtepegel. URL: tudresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/ressourcen/dateien/2013/uebersichtsseite/SrV2013_Stadtgruppe_SrV-Staedtepegel.pdf?lang=de. Letzter Zugriff am: 03.02.2017.

BASt (2016): Bundesanstalt für Straßenwesen, Feldversuch mit Lang-Lkw. URL: www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v1-lang-lkw/v-lang-lkw-abschluss.pdf;jsessionid=D4C62F2E2D9DEF0ECBE-354A1F8D98FA2.live11292?__blob=publicationFile&v=2. Letzter Zugriff am: 17.03.2017.

BCS (2016): Bundesverband CarSharing. Wirkung verschiedener CarSharing-Varianten auf Verkehr und Mobilitätsverhalten. CarSharing fact sheet. Nr. 3. Berlin.

BCS (2017): Bundesverband Carsharing e. V., CarSharing-Entwicklung in Deutschland. Berlin. URL: carsharing.de/alles-ueber-carsharing/carsharing-zahlen. Letzter Zugriff am: 24.03.2017.

BDSG (2015): Bundesdatenschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Januar 2003 (BGBl. I S. 66), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 25. Februar 2015 (BGBl. I S. 162) geändert worden ist.

Becker, U. (2016): Grundwissen Verkehrsökologie. Grundlagen, Handlungsfelder und Maßnahmen für die Verkehrswende. München.

Beckert, B. (2012): Gesamtwirtschaftliche Potenziale intelligenter Netze in Deutschland. Studie für den Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien (BITKOM), Dezember. Langfassung des Endberichts.

Beckmann, K. J. (2013): Veränderte Rahmenbedingungen für Mobilität und Logistik – Zeitfenster für Technik-, Verhaltens- und Systeminnovationen. S. 31–58. In: Beckmann, Klaus J., Klein-Hitpaß, Anne (Hrsg.) (2013): Nicht weniger unterwegs, sondern intelligenter? Neue Mobilitätskonzepte. Berlin.

BIEK (2016): Bundesverband Paket und Expresslogistik. KEP-Studie 2016 – Analyse des Marktes in Deutschland. Köln.

BlackRock (2016): BlackRock Investment Institute, Adapting portfolios to climate change. Implications and strategies for all investors. URL: www.blackrock.com/investing/literature/whitepaper/bii-climate-change-2016-us.pdf. Letzter Zugriff am: 02.02.2017.

BMF (2015): Zoll. Verbrauchssteuern. URL: www.bundesfinanzministerium.de/ Web/DE/Themen/Zoll/Verbrauchsteuern/verbrauchsteuern.html. Letzter Zugriff am: 04.02.2017.

BMF (2016a): Bundesministerium der Finanzen: Relevanz des Klimawandels für die Finanzmärkte: In: Monatsbericht des Bundesministeriums der Finanzen. August 2016. S. 12–21. Berlin.

BMF (2016b): Bundesministerium der Finanzen. Gesetz zur steuerlichen Bevorrechtigung von Elektromobilität im Straßenverkehr. URL: www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/ Gesetzestexte/Gesetze_Verordnungen/2016-11-16-G-stl-Foerderung-Elektromobilitaet.html. Letzter Zugriff am: 03.02.2017.

BMUB, UBA (2015): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Umweltbundesamt. Umweltbewusstsein in Deutschland 2014. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Berlin.

BMUB, BfN (2016): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Bundesamt für Naturschutz, Naturbewusstsein 2015: Bevölkerungsumfrage zu Natur und biologischer Vielfalt. Berlin.

BMVBS (2012): Bundeministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Nationaler Radverkehrsplan 2020. Berlin.

BMVBS (2013): Die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung (MKS) – Energie auf neuen Wegen. Berlin.

BMVI (2014): Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Los 3: Erstellung der Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen unter Berücksichtigung des Luftverkehrs. Zusammenfassung der Ergebnisse. Berlin.

BMVI (2015): Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren. Berlin. URL: www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/StB/broschuere-strategie-automatisiertes-vernetztes-fahren.pdf?__blob=publicationFile. Letzter Zugriff am: 17.03.2017

BMVI (2016a): Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.). Verkehr in Zahlen 2016/17. Hamburg.

BMVI (2016b): Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Forschungsprogramm zur Automatisierung und Vernetzung im Straßenverkehr. URL: www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/forschungsprogramm-avf.pdf?__blob=publicationFile. Letzter Zugriff am: 17.03.2017.

BMVI (2016c): Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur. Mobilitäts- und Angebotsstrategien in ländlichen Räumen. Berlin.

BMVI (2016d): Bundesverkehrswegeplan. Berlin.

BMVI (2016e): Nationaler Strategierahmen über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe als Teil der Umsetzung der Richtlinie 2014/94/EU. Berlin.

BMW Group et al. (2016): Pressemeldung vom 29.11.2016. URL: www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0266311DE/bmw-group-daimler-ag-ford-motor-company-und-der-volkswagen-konzern-mit-porsche-und-audi-planen-joint-venture-fuer-ultraschnelles-hochleistungsladenetz-an-wichtigen-verkehrsachsen-in-europa%C2%B6. Letzter Zugriff am: 15.03.2017

BMWi (2016a): Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Gesamtausgabe der Energiedaten – Datensammlung des BMWi, 01.11.2016. URL: www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html; jsessionid=0D637F0BAF65A6EA73A93BCE006E5223. Letzter Zugriff am 27.01.2017.

BMWi (2016b): Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch Verkehr in Deutschland. Grafiken und Diagramme unter Verwendung aktueller Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Stand Dezember 2016. Berlin.

BMWi (2016c): Grünbuch Energieeffizienz. Diskussionspapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Berlin.

BMWi (2016d): Speichertechnologien. URL: www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Speicher/speichertechnologien.html.

Bodewig-Kommission (2013): Bericht der Kommission Nachhaltige Verkehrsinfrastrukturfinanzierung, Konferenz der Länderverkehrsminister, Beschluss der Sonder-Verkehrsministerkonferenz am 2. Oktober 2013 in Berlin.

Bracher, T.; Lehmbrock, M.(Hrsg.) (2008): Steuerung des städtischen Kfz-Verkehrs. Parkraummanagement, City-Maut und Umweltzonen. Berlin.

Bracher, T.; Gies, J.; Thiemann-Linden, J.; Beckmann, K. J. (2014): Umweltverträglicher Verkehr 2050: Argumente für eine Mobilitätsstrategie für Deutschland, im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA-Texte 59/2014. Berlin.

BUND (2017): Grünbuch zur Transformation des Bundesverkehrswegeplans 2030. Unveröffentlicht.

Bundesregierung (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Beschluss des Bundeskabinetts vom 28.10.2010. URL: www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.html. Letzter Zugriff am: 27.01.2017.

Bundesregierung (2015): Abschlusserklärung G7-Gipfel, 7.–8. Juni 2015. URL: www.g7germany.de/Content/DE/_Anlagen/G7_G20/2015-06-08-g7-abschluss-deu.html?nn=1281586. Letzter Zugriff am: 26.01.2017.

Bundesregierung (2016a): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Neuauflage 2016. Berlin.

Bundesregierung (2016b): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung vom 14.11.2016. URL: www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/klima-klimaschutz-download/artikel/klimaschutzplan-2050/?tx_ttnews%5BbackPid%5D=289. Letzter Zugriff am: 27.01.2017.

Bundesregierung (2016c): Projektionsbericht der Bundesregierung 2015. URL: cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/projections/envv_vp1a/160928_PB2015_MWMS.final.pdf. Letzter Zugriff am: 02.02.2017.

Bundesregierung (2016d): Regierungsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie 2016 bis 2026 – von der Marktvorbereitung zu wettbewerbsfähigen Produkten. Stand: September 2016. Berlin.

BWE (2017): Bundesverband Windenergie. Statistiken. URL: www.wind-energie.de/themen/statistiken. Letzter Zugriff am: 24.03.2017.

Canzler, W. (2016): Räumliche Mobilität und regionale Unterschiede. In: Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hrsg.) (2016): Datenreport 2016. Ein Sozialbericht für die Bundesrepublik Deutschland. Bonn.

Canzler, W.; Andreas, K. (2016): Die digitale Mobilitätsrevolution. München.

Czowalla, L. (2016): EBikePendeln – Nutzungs- und Akzeptanzkriterien von Elektrofahrrädern im beruflichen Pendelverkehr. Abschlussbericht der wissenschaftlichen Begleitforschung. Institut für Transportation Design, HBK Braunschweig. Braunschweig.

Daehre-Kommission (2012): Bericht der Kommission „Zukunft der Verkehrsinfrastrukturfinanzierung". URL: www.bundesrat.de/VMK/DE/termine/sitzungen/12-12-19-uebergabe-bericht-kommission-zukunft-vif/Bericht-Kommm-Zukunft-VIF.pdf;jsessionid=47827D24084B8B302B45B932E6A2150A.2_cid349?__blob=publicationFile&v=2. Letzter Zugriff am: 17.03.2017.

Destatis (2014): Statistisches Bundesamt. STAT Magazin: Arbeitsmarkt 5/2014. Wiesbaden. URL: www.destatis.de/DE/Publikationen/STATmagazin/Arbeitsmarkt/2014_05/2014_05PDF.pdf?__blob=publicationFile. Letzter Zugriff am 03.02.2017.

Destatis (2016a): Statistisches Bundesamt (Hrsg.). Datenreport 2016. Ein Sozialbericht für die Bundesrepublik Deutschland. Bonn.

Destatis (2016b): Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch 2016. Wiesbaden 2016.

Destatis (2016c): Statistisches Bundesamt, Weiter steigende Motorleistung der Pkw verhindert Rückgang der CO_2-Emissionen. Pressemitteilung vom 14.12.2016. URL: www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2016/12/PD16_451_85.html. Letzter Zugriff am: 26.01.2017.

Destatis (2016d): Statistisches Bundesamt, Polizeilich erfasste Unfälle. URL: www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/Tabellen_/Strassenverkehrsunfaelle.html. Letzter Zugriff am: 15.03.2017

Destatis (2017): Statistisches Bundesamt: Verkehr aktuell. Fachserie 8 Reihe 1.1 07/2017.

Difu (2011a): Deutsches Institut für Urbanistik. Forschung Radverkehr: Ökonomische Effekte des Radverkehrs. Berlin.

Difu (2011b): Deutsches Institut für Urbanistik. Leitkonzept – Stadt der kurzen Wege, Gutachten im Kontext der Biodiversitätsstrategie. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau.

Difu (2014): Deutsches Institut für Urbanistik. Elektromobilität im städtischen Wirtschaftsverkehr. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und Infrastruktur. Berlin.

Difu (2015): Deutsches Institut für Urbanistik. Elektromobilität in der kommunalen Umsetzung. Kommunale Strategien und planerische Instrumente. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin.

Difu (2016): Deutsches Institut für Urbanistik. Pendeln mit Rückenwind – Ein Praxisleitfaden zu Pedelecs & Co. Für Kommunen, Unternehmen und private Haushalte. Im Auftrag der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt. Berlin.

DLR, Ifeu, LBST, DFZ (2015): Erneuerbare Energien im Verkehr, Potenziale und Entwicklungs-perspektiven verschiedener erneuerbarer Energieträger und Energieverbrauch der Verkehrsträger. Studie im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitung, Unterstützung und Beratung des BMVI in den Bereichen Verkehr und Mobilität mit besonderem Fokus auf Kraftstoffen und Antriebstechnologien sowie Energie und Klima.

DLR, infas (2010): Mobilität in Deutschland 2008. Ergebnisbericht. Bonn und Berlin.

Driverless Car Market Watch (2016): Autonomous car forecasts. URL: www.driverless-future.com/?page_id=384, Letzter Zugriff am: 26.11.2016.

DST (2016): Deutscher Städtetag. Öffentlicher Raum und Mobilität. Positionspapier des Deutschen Städtetags. Berlin und Köln.

EC (2015): European Commission. Creating Value through Open Data: Study on the Impact of Re-use of Public Data Resources. Luxembourg.

EFZN (2013): Energieforschungszentrum Niedersachsen. Eignung von Speichertechnologien zum Erhalt der Systemsicherheit.

ELAB (2012): Daimler AG, IG Metall Baden-Württemberg, Hans-Böckler-Stiftung (Projektträger), Elektromobilität und Beschäftigung. Wirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs auf Beschäftigung und Standortumgebung (ELAB). Düsseldorf.

EmoG (2015): Elektromobilitätsgesetz vom 5. Juni 2015 (BGBl. I S. 898)

Engel, B. (2015): Make no little plans. Oder: Leitbilder in der Stadtplanung. In: Planerin 2/15, S. 5–7.

Ethik-Kommission (2011): Ethik-Kommission Sichere Energieversorgung, Deutschlands Energiewende – ein Gemeinschaftswerk für die Zukunft.

EU (2012): Richtlinie 2012/27/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz, in: Amtsblatt der europäischen Union vom 14.11.2012, L 315/1. URL: eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&from=DE. Letzter Zugriff am: 02.02.2017.

EU (2014): RICHTLINIE 2014/94/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 22. Oktober 2014 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe.

EU COM (2015): European Commission, Creating Value through Open Data: Study on the Impact of Re-use of Public Data Resources. Luxembourg.

EU COM (2016a): Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, A European Strategy for Low-Emission Mobility, 20.7.2016. URL: eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&from=DE. Letzter Zugriff am: 26.01.2017.

EU COM (2016b): European Commission, Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings, 30.11.2016.

EU KOM (2011): Weißbuch zum Verkehr. Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem. URL: ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/strategies/doc/2011_white_paper/white-paper-illustrated-brochure_de.pdf. Letzter Zugriff am: 02.12.2016.

FAZ (2016): Mit ohne Strom. URL: www.faz.net/aktuell/technik-motor/tesla-mit-ohne-strom-14525995.html. Letzter Zugriff am: 15.03.2017

FGSV (2013): Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hinweise zur Verkehrsentwicklungsplanung. Köln

FGSV (2014): Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hinweise zur Nahmobilität. Strategien zur Stärkung des nicht-motorisierten Verkehrs auf Quartiers- und Ortsteilebene. Köln.

FGSV (2016): Forschungsgesellschaft Straßen- und Verkehrswesen, Übergänge in den postfossilen Verkehr. Notwendigkeiten, Entwicklungstrends und -pfade. Köln.

FitchRatings (2016): Disruptive Technology Batteries, London, New York. URL: www.fitchratings.com/site/pr/1013282. Letzter Zugriff am: 02.02.2017.

FÖS (2016): Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft, Eine intelligente Straßenmaut – effizient und nachhaltig. FÖS-Themenpapier 10/2016.

Fraunhofer ISI (2014): Markthochlaufszenarien für Elektrofahrzeuge. Langfassung. Studie im Auftrag der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und der Arbeitsgruppe 7 der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE). URL: www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/e/de/publikationen/Fraunhofer-ISI-Markthochlaufszenarien-Elektrofahrzeuge-Langfassung.pdf. Letzter Zugriff am 03.02.2017.

Geden, O.; Schäfer, S. (2016): „Negative Emissionen" als klimapolitische Herausforderung. SWP-aktuell 70. Berlin.

Gehl, J. (2015): Städte für Menschen. Berlin.

Gies, J., Deutsch, V., Beckmann, K. J., Gertz, C., Holz-Rau, C., Huber, F. (2016): Integration von Stadtplanung und ÖPNV für lebenswerte Städte. Berlin. URL: difu.de/kontakt/mitarbeiter/juergen-gies.html "\o„ Benutzerprofil anzeigen. Letzter Zugriff am: 17.03.2017.

H2 mobility (ohne Jahr): H2-Stationen, h2-mobility.de/h2-stationen/ Letzter Zugriff am: 02.01.2017.

Holmes-Gen, B., Barrett, W. (2016): Clean Air Future. Health and climate benefits of zero-emissions-vehicles. A report by the American Lung Association in California, URL: www.lung.org/local-content/california/documents/2016zeroemissions.pdf. Letzter Zugriff am: 02.02.2017.

Hütter, A. (2016): Güterverkehr in Deutschland 2014. Statistisches Bundesamt. WISTA 1/2016.

Hydrogen Council (2017): How hydrogen empowers the energy transition. URL: hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2017/01/20170109-HYDROGEN-COUNCIL-Vision-document-FINAL-HR.pdf. Letzter Zugriff am: 17.03.2017.

ICCT (2016a): The International Council on Clean Transportation, 2020-2030 C02 standards for new cars and light-commercial vehicles in the European Union, November 2016. URL: theicct.org/2020-2030-co2-standards-cars-lcvs-eu-briefing-nov2016. Letzter Zugriff am: 02.02.2017

ICCT (2016b): Electric vehicles: Literature review of technology costs and carbon emissions, Working Paper 2016-14, July 2016.

ICCT (2016c): Assessment of Next-Generation Electric Vehicle Technologies, White Paper, October 2016.

ICCT (2016d): Evolution of incentives to sustain the transition to a global electric vehicle fleet, White Paper November 2016.

IEA (2016a): International Energy Agency, Global EV Outlook 2016. Beyond one million electric cars, Paris. URL: www.iea.org/publications/freepublications/publication/global-ev-outlook-2016.html. Letzter Zugriff am: 02.02.2017.

IEA (2016b): World Energy Outlook 2016. Paris.

Ifeu (2016): Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen, April 2016. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau.

Ifeu, INFRAS, LBST (2016): Klimaschutzbeitrag des Verkehrs. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau.

Ifeu, TU Graz (2015): Zukünftige Maßnahmen zur Kraftstoffeinsparung und Treibhausgasminderung bei schweren Nutzfahrzeugen. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau.

IG Metall (2016): Neue Abgasnormen als Chance nutzen. Europa als Schaufenster für die besten Umwelttechnologien im und um das Automobil. Frankfurt.

IIGCC (2016): Institutional Investors Group on Climate Change, Investor Network on Climate Risk, Investor Group on Climate Change, Asia Investor Group on Climate Change, Investor Expectations of Automotive Companies. Shifting gears to accelerate the transition to low carbon vehicles. URL: www.iigcc.org/files/publication-files/IIGCC_2016_Auto_report_v14_Web.pdf. Letzter Zugriff am: 02.02.2017.

INFRAS, Fraunhofer ISI (2016): Finanzierung einer nachhaltigen Güterverkehrsinfrastruktur. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau.

INFRAS, Quantis (2015): Postfossile Energieversorgungsoptionen für einen treibhausgasneutralen Verkehr im Jahr 2050: Eine verkehrsträgerübergreifende Bewertung. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau.

ITF (2016): International Transport Forum. Urban Mobility System Upgrade – How shared self-driving cars could change city traffic. Im Auftrag der OECD. Paris.

JRC (2014): Joint Research Center of the European Commission. Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the Europen context. Luxembourg.

KBA (2016): Kraftfahrt-Bundesamt. Fahrzeugzulassungen. Bestand an Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen 1. Januar 2016, FZ 13. Flensburg.

Knie, A. (2016): Sozialwissenschaftlicher Mobilitäts- und Verkehrsforschung: Ergebnisse und Probleme, in: Schwedes, Oliver, Canzler, Weert, Knie, Andreas (Hrsg.), Handbuch Verkehrspolitik, 2. Auflage. Wiesbaden, S. 33–52.

LBST (2016): Renewables in Transport 2050 – Europe and Germany. URL: www.lbst.de/news/2016_docs/FVV_H1086_Renewables-in-Transport-2050-Kraftstoffstudie_II.pdf. Letzter Zugriff am: 17.03.2017.

Löschel, A.; Erdmann, G.; Staiß, F.; Ziesing, H.-J. (2016): Expertenkommission zum Monitoring-Prozess "Energie der Zukunft", Stellungnahme zum fünften Monitoring-Bericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2015. Berlin, Münster, Stuttgart.

LSV (2016): Ladesäulenverordnung vom 9. März 2016 (BGBl. I S. 457).

McKinsey (2010): A Portfolio of Power-trains in Europe: a fact-based analysis. The Role of Battery Electric Vehicles, Plug-in Hybrids and Fuel Cell Electric Vehicles. Im Auftrag der European Climate Foundation, o. O.

McKinsey & Company (2016): Automotive revolution – perspective towards 2030. How the convergence of disruptive technology driven trends could transform the auto industry. URL: www.mckinsey.de/files/automotive_revolution_perspective_towards_2030.pdf. Letzter Zugriff am: 02.02.2017.

MDM-Portal (2016): Mobilitäts Daten Marktplatz, Der Marktplatz für Verkehrsdaten in Deutschland. URL: www.mdm-portal.de/der-mdm.html. Letzter Zugriff am: 07.01.2017.

Mobilität21 (2016): Mobilität21 – Das Kompetenznetzwerk für innovative Mobilitätslösungen, eTicketing und digitale Vernetzung im ÖPV, URL: www.mobilitaet21.de/eticket-deutschland/. Letzter Zugriff am: 13.01.2017.

Mock, P. (2016): Vehicle technology as a lever for decarbonizing freight transport. Presentation at CLEW/ICCT Media Workshop.

Nationaler Radverkehrsplan 2020 (2016): Erfassung von Intermodalität über Smartphone-Tracking NRVP 2020 – RadSpurenLeser. URL: nationaler-radverkehrsplan.de/de/praxis/nrvp-2020-radspurenleser. Letzter Zugriff am: 21.11.2016.

NOW (2016): Hybrid- und Elektrobusprojekte in Deutschland, Arbeitsgruppe Innovative Antriebe Bus, Statusbericht 2015/2016. URL: www.now-gmbh.de/content/6-service/4-publikationen/1-begleitforschung/now_abschlussbericht_bus_web.pdf. Letzter Zugriff am: 17.03.2017.

NPE (2016): Roadmap integrierte Zell- und Batterieproduktion Deutschland, NPE AG 2 Batterietechnologie, AG2-Batterietechnologie der NPE. URL: nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/NPE_AG2_Roadmap_Zellfertigung_final_bf.pdf. Letzter Zugriff am: 17.03.2017.

OECD, ITF (2017): Organization for Economic Co-operation and Development, International Transport Forum, ITF Transport Outlook 2017. OECD Publishing. Paris.

Öko-Institut (2014): Konventionelle und alternative Fahrzeugtechnologien bei Pkw und schweren Nutzfahrzeugen – Potenziale zur Minderung des Energieverbrauchs bis 2050, Working Paper 3/2014. Berlin.

Öko-Institut (2016): Renewability III. Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors, im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Berlin.

Öko-Institut, KIT, INFRAS (2016): Erarbeitung einer fachlichen Strategie zur Energieversorgung des Verkehrs bis zum Jahr 2050, Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau.

Öko-Institut, Fraunhofer ISI (2015): Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Berlin.

PBefG (2016): Personenbeförderungsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 8. August 1990 (BGBl. I S. 1690), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 29. August 2016 (BGBl. I S. 2082) geändert wurde.

PwC (2016): PricewaterhouseCoopers. Mit Elektrifizierung und Verbrennungsmotoren auf dem Weg in die Zukunft der Mobilität. URL: www.pwc.at/publikationen/branchen-und-wirtschaftsstudien/autofacts-2016.pdf. Letzter Zugriff am: 17.03.2017.

Randelhoff, M. (2015): Vergleich unterschiedlicher Flächeninanspruchnahmen nach Verkehrsarten. URL: www.zukunft-mobilitaet.net/78246/analyse/flaechenbedarf-pkw-fahrrad-bus-strassenbahn-stadtbahn-fussgaenger-metro-bremsverzoegerung-vergleich/. Letzter Zugriff am: 24.03.2017.

Roland Berger (2013): Planning and financing transportation infrastructures in the EU – A best practice study. Executive Summary. Berlin. URL: english.bdi.eu/media/topics/europe/publications/201310_Study_Planning_and_financing_transportation.pdf. Letzter Zugriff am: 17.03.2017.

Schaufenster Elektromobilität (2015): Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität, Fortschrittsbericht 2015. URL: schaufenster-elektromobilitaet.org/media/media/documents/dokumente_der_begleit__und_wirkungsforschung/Ergebnispapier_Nr_16_Fortschrittsbericht_2015_der_Begleit-_und_Wirkungsforschung_Schaufenster_Elektromobilitaet.pdf. Letzter Zugriff am: 17.03.2017.

Schaufenster Elektromobilität (2016): Das Schaufensterprogramm, URL: schaufenster-elektromobilitaet.org/de/content/ueber_das_programm/foerderung_schaufensterprogramm/foerderung_schaufensterprogramm_1.html, Letzter Zugriff am: 17.12.2016.

Schill, W.-P.; Diekmann, J.; Zerrah, A. (2015): Stromspeicher: eine wichtige Option für die Energiewende. DIW Wochenbericht Nr. 10/2015, S. 211

Schüller, F.; Wingerter, C. (2016): Berufspendler. In: Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hrsg.) (2016): Datenreport 2016. Ein Sozialbericht für die Bundesrepublik Deutschland. Bonn.

Shell Deutschland Oil GmbH (n. d.): Shell PKW-Szenarien bis 2040. Fakten, Trends und Perspektiven für Auto-Mobilität.

Sonntag, H.; Liedtke, G. (2015): Verkehrspolitik und Wirkungen im Schienengüterverkehr: EEG – Maut – Lang-Lkw. Studie zu Wirkungen ausgewählter Maßnahmen der Verkehrspolitik auf den Schienengüterverkehr in Deutschland – Modal Split der Transportleistungen und Beschäftigung. Im Auftrag der Allianz pro Schiene. URL: www.allianz-pro-schiene.de/wp-content/uploads/2015/10/studie_verlagerung_riesen_lkw.pdf. Letzter Zugriff am: 17.03.2017.

Spieser, K.; Ballantyne K.; Treleaven, R.; Zhang, E.; Frazzoli, Morton, D.; Pavone, M (2014): Toward a systemic approach to the design and evaluation of automated mobility-on-demand systems: A case study in Singapore, in Road Vehicle Automation (Lecture Notes in Mobility).

SPON (2010): Anschnallen bitte, Spiegel Online vom 23.12.2010, URL: www.spiegel.de/einestages/einfuehrung-der-gurtpflicht-a-946925.html. Letzter Zugriff am: 20.01.2017.

SRU (1973): Sachverständigenrat für Umweltfragen. Auto und Umwelt. Stuttgart, Mainz.

SRU (2005): Sachverständigenrat für Umweltfragen. Sondergutachten Umwelt und Straßenverkehr. Hohe Mobilität – umweltverträglicher Verkehr. Berlin.

TAB (2012): Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Peters, A.; Doll, C.; Kley, F.; Möckel, M.; Plötz, P.; Sauer, A.; Schade, W.; Thielmann, A.; Wietschel, M.; Zanker, C.: Konzepte der Elektromobilität und deren Bedeutung für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt. Berlin.

Tages-Anzeiger für Stadt und Kanton Zürich (2016): Genfer Gesetz legalisiert Uber, URL: www.tagesanzeiger.ch/schweiz/standard/Genf-Neues-TaxiGesetz-legalisiert-Uber/story/28502219. Letzter Zugriff am: 12.01.2017.

Tagesspiegel (2016): Was das Windkraft-Urteil aus Bayern bedeutet. Tagesspiegel online vom 11.05.2016. URL: www.tagesspiegel.de/politik/windenergie-und-die-10-h-regel-was-das-windkraft-urteil-aus-bayern-bedeutet/13571680.html. Letzter Zugriff am: 02.02.2017.

Tomtom Traffic Index: URL: www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/. Letzter Zugriff am: 03.02.2017.

Topp, Hartmut (2013): Öffentliches Auto und privater ÖPNV. In: Der Nahverkehr, 6/2013. S. 11–17.

UBA (2014): Umweltbundesamt. Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Dessau-Roßlau.

UBA (2016a): Umweltbundesamt. Integration von Power to Gas/Power to Liquid in den laufenden Transformationsprozess. Position. Dessau-Roßlau.

UBA (2016b): Umweltbundesamt. Schwerpunkte 2016, Jahrespublikation des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau.

UBA (2016c): Umweltbundesamt. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2016. Nationale Treibhausgas-Inventare 1990 bis 2014 URL: www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klima rahmenkonvention-1. Letzter Zugriff am: 27.01.2017.

UBA (2016d): Umweltbundesamt. Kohlendioxid-Emissionen im Bedarfsfeld Wohnen, 07.10.2016. URL: www.umweltbundesamt.de/kohlendioxid-emissionen-im-bedarfsfeld-wohnen. Letzter Zugriff am: 27.01.2017.

UBA (2016e): Umweltbundesamt. Luftschadstoff-Emissionen in Deutschland, 03.02.2016. URL: www.umwelt bundesamt.de/daten/luftbelastung/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland. Letzter Zugriff am: 27.01.2017.

UBA (2016f): Umweltbundesamt. Schwerpunkte 2016, Dessau-Roßlau.

UBA (2016g): Umweltbundesamt. Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Güterverkehr – Bezugsjahr 2014. URL: www.umwelt bundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissions daten#textpart-4. Letzter Zugriff am: 02.02.2017.

UBA (2017a): Umweltbundesamt. Treibhausgasemissionen 2015 im zweiten Jahr in Folge leicht gesunken, Pressemitteilung Nr. 3/2017 URL: www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2294/dokumente/pm-2017-03_treibhausgase_2015.pdf. Letzter Zugriff am: 02.02.2017.

UBA (2017b): Umweltbundesamt. Luftqualität 2016: Stickstoffdioxid weiter Schadstoff Nummer 1. URL: www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/luftqualitaet-2016-stickstoffdioxid-weiter. Letzter Zugriff am: 06.02.2017

UBA (2017c): Umweltbundesamt. Straßenverkehrslärm. URL: www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/verkehrslaerm/strassenverkehrslaerm#textpart-1. Letzter Zugriff am: 15.03.2017

UBA (2017d): Klimabilanz 2016: Verkehr und kühle Witterung lassen Emissionen steigen. Pressemitteilung Nr. 9, 20.03.2017 URL: www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/klimabilanz-2016-verkehr-kuehle-witterung-lassen. Letzter Zugriff am: 20.03.2017.

Ulrich, P.; Lehr, U. (2016): Economic effects of E-mobility sceanrios – Intermediate interrelations and consumption, conference paper, Ecomod 2016, URL: http://ecomod.net/conferences/ecomod2016?tab=downloads. Letzter Zugriff am: 01.02.2017.

UNFCCC (1992): United Nations Framework Convention on Climate Change. URL: unfccc.int/key_documents/the_convention/items/2853.php. Letzter Zugriff am: 27.01.2017.

UNFCCC (2016a): Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015. URL: unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf. Letzter Zugriff am: 07.02.2017.

UNFCCC (2016b): United Nations Framework Convention on Climate Change, Paris Declaration on Electro-Mobility and Climate Change & Call to Action. URL: newsroom.unfccc.int/media/521376/paris-electro-mobility-declaration.pdf. Letzter Zugriff am: 02.02.2017.

VDA (2015): Verband der Automobilindustrie e. V., Automatisierung – Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren. Berlin. URL: www.vda.de/de/themen/innovation-und-technik/automatisiertes-fahren/automatisiertes-fahren.html. Letzter Zugriff am: 24.03.2017.

VDV (2016): Verband Deutscher Verkehrsunternehmen. VDV 2015 Statistik, Köln. URL: www.vdv.de/jahresbericht---statistik.aspx. Letzter Zugriff am: 25.01.2017.

Volkswagen AG; Lichtblick SE; SMA Technology AG, Fraunhofer IWES (2016): Intelligente Netzanbindung von Elektrofahrzeugen zur Erbringung von Systemdienstleistungen – INEES. Abschlussbericht. Gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

von Schönfeld, M. (2015): Daten – Das neue Öl? Kampf um die Datenhoheit in Fahrzeugen, in Jusletter IT 21. Mai 2015.

WBGU (2009): Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen. Kassensturz für den Weltklimavertrag – der Budgetansatz. Berlin.

Wieland, B. (2016): Verkehrsinfrastruktur: Volkswirtschaftliche und ordnungspolitische Aspekte. In: Schwedes, O.; Canzler, W.; Knie, A.: Handbuch Verkehrspolitik. 2. Auflage.

Wissmann, M. (2017): Deutsche Automobilindustrie setzt auf Offensivstrategie für die Mobilität von morgen, in: Wirtschaftsdienst 1/2017, S. 7–9.

Zachariah, G.; Kornhauser, M. (2013): Uncongested mobility for all: A proposal for an areawide autonomous taxi system in New Jersey, Washington D. C.

Zeit Online (2016): Eine Nation pendelt. URL: www.zeit.de/feature/pendeln-stau-arbeit-verkehr-wohnort-arbeitsweg-ballungsraeume. Letzter Zugriff am: 15.03.2017

01-2017-DE

Agora Verkehrswende hat zum Ziel, gemeinsam mit Akteuren aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft die Grundlagen dafür zu schaffen, dass der Verkehrssektor in Deutschland bis 2050 dekarbonisiert werden kann. Hierfür erarbeiten wir Klimaschutzstrategien und unterstützen deren Umsetzung.

Agora Verkehrswende
Anna-Louisa-Karsch-Str. 2 | 10178 Berlin
T +49 (0)30 700 14 35-000
F +49 (0)30 700 14 35-129
www.agora-verkehrswende.de
info@agora-verkehrswende.de

Agora Verkehrswende ist eine gemeinsame Initiative der Stiftung Mercator und der European Climate Foundation.