

Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern

12 Thesen zur Verkehrswende

KURZFASSUNG



Impressum

Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern

12 Thesen zur Verkehrswende

Eine Diskussion zu den wichtigsten
Herausforderungen der Verkehrswende
(Kurzfassung)

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.

Langfassung im Internet:

www.agora-verkehrswende.de/12Thesen/

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

DURCHFÜHRUNG

Projektleitung: Christian Hochfeld

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

Redaktion: Dr. Fritz Vorholz

Korrektur: Anne Vonderstein

Satz: Juliane Franz

Titelbild: xijian/iStock

Veröffentlichung: September 2017

03-2017-DE

Gedruckt auf 100 % Recycling Naturpapier

Bitte zitieren als:

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

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 Unterschied 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, um sie möglich zu machen, 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.

Die Kontroverse 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 nur erfolgreich sein kann, wenn wir auch unser Verkehrssystem und -verhalten ändern. Damit wird 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 anscheinend noch nicht gibt. Dabei hat die Verkehrswende einen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Mehrwert über den Klimaschutz hinaus. Auch diesen Aspekt adressieren wir in unseren Thesen.

Der Klimaschutzvertrag von Paris hat ein ambitioniertes Ziel vorgegeben: Es lautet, den Anstieg der durchschnittlichen Erdtemperatur „deutlich unter zwei Grad über dem vorindustriellen Niveau“ zu halten. Die Bundesregierung hat mit ihrem Klimaschutzplan 2050 dieses Ziel auf Deutschland heruntergebrochen und erstmals in der Geschichte auch für den Verkehrssektor in Deutschland eine anspruchsvolle Marke 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 welcher enormen 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 ensuring the success of the Energiewende in Germany.*“ – Was denken Sie?

Christian Hochfeld

für das Team von Agora Verkehrswende
Berlin, im September 2017

Inhalt

Vorwort	3
Präambel Nur mit der Verkehrswende ist die Vollendung der Energiewende möglich.	7
These 01 Die Verkehrswende gelingt mit der Mobilitätswende und der Energiewende im Verkehr.	9
These 02 Effizienz ist Leitprinzip der Verkehrswende.	11
These 03 Die Mobilitätswende hat in den Städten bereits begonnen.	13
These 04 Auch das Land wird von der Mobilitätswende profitieren.	15
These 05 Autonome Fahrzeuge werden gemeinschaftlich genutzt.	17
These 06 Elektromobilität ist der Schlüssel der Energiewende im Verkehr.	19

These 07

Klimaneutrale Kraftstoffe ergänzen
Strom aus Wind und Sonne. 21

These 08

Beim Güterverkehr gilt: Schiene
stärken, Straße dekarbonisieren. 23

These 09

Stromversorgung und Verkehr
profitieren von der Sektorenkopplung. 25

These 10

Verkehrsinfrastruktur wird neu
gedacht, geplant und finanziert. 27

These 11

Die Verkehrswende sichert
den Industriestandort Deutschland. 29

These 12

Der gesellschaftliche Nutzen
der Verkehrswende wird zu ihrem Treiber. 31

Präambel

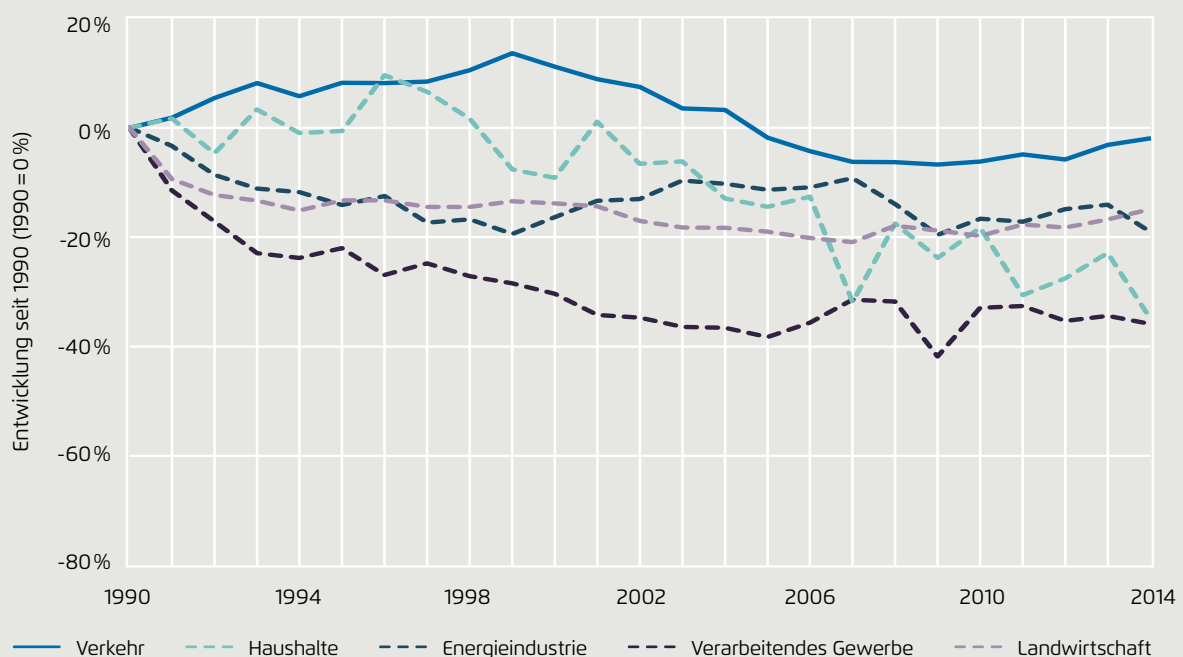
Nur mit der Verkehrswende ist die Vollen- dung der Energiewende möglich.

Mobilität und Verkehr sind Garanten für Wohlstand und wirtschaftliche Prosperität. Verkehr hat allerdings oft auch Begleiterscheinungen, die Gesundheit und Lebensqualität beeinträchtigen. Aktuell ist der Verkehrssektor Deutschlands größter Energieverbraucher und nach der Energiewirtschaft zweitgrößter Emittent von Treibhausgasen. Deshalb spielt er eine herausragende Rolle sowohl für die Energiewende als auch für den Klimaschutz. Beides kann nur mit dem Verkehrssektor gelingen, nicht ohne ihn. Bis heute ist der Verkehr jedoch absolute Beiträge zum Klimaschutz und zum Erreichen der Energiewendeziele der Bundesregierung schuldig geblieben; umgekehrt hat auch die Energiewendepolitik bisher kaum Spuren im Verkehrsbereich hinterlassen. Während andere Sektoren der Volkswirtschaft ihre Treibhausgasemissionen seit

1990 zum Teil deutlich reduziert haben, liegen die des Verkehrs noch immer auf dem Niveau des Basisjahres. Das widerspricht nicht nur dem Geist des Pariser Klimaabkommens vom Dezember 2015, es widerspricht auch wiederholten Beschlüssen der Bundesregierung zum Klimaschutz. Zuletzt (November 2016) hat sie mit dem Klimaschutzplan 2050 für Deutschland das Ziel einer „weitgehenden Treibhausgasneutralität bis 2050“ genannt; bis zum Jahr 2030 soll der Verkehr seine Emissionen im Vergleich zum Jahr 1990 um 40 bis 42 Prozent reduziert haben. Die Diskrepanz zwischen diesem ambitionierten Ziel und der bisherigen Emissionsentwicklung offenbart einen enormen politischen Handlungsbedarf: Ohne Verkehrswende wird weder die Energiewende noch der Klimaschutz ein Erfolg werden können.

Relative Entwicklung der Treibhausgasemissionen seit 1990 nach Kategorien

Abbildung 1



Eigene Darstellung nach Umweltbundesamt: Nationaler Inventarbericht 2016, S. 73

These 01

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

Energie ist ein knappes Gut. Auch der Energiegewinnung aus Sonnenstrahlung und Windkraft, aus Biomasse und Wasserkraft sind – technische – Potenzialgrenzen gesetzt. Erneuerbare Energiequellen sind zwar CO₂-neutral, dennoch konfrontiert ihr massiver Ausbau Mensch und Umwelt mit unerwünschten Folgen, die bereits zu Akzeptanzproblemen führen. Diese Akzeptanzproblematik dürfte sich mit der wachsenden Zahl von Windkraftanlagen noch verschärfen. Deshalb gilt das Gebot der Sparsamkeit auch für klimaneutrale Energien, zumal auf diese Weise die Kosten ihrer Erzeugung begrenzt werden.

Diese Erkenntnis hat Folgen für die Strategie zur Verkehrswende. Es geht dabei um mehr als um einen Wechsel der Antriebstechnologie. Es geht darum, den Energieverbrauch zu senken und den verbleibenden Energiebedarf mit klimaneutraler Energie zu decken. Damit ruht die Verkehrswende auf zwei Säulen: auf der Mobilitätswende – und auf der Energiewende im Verkehr.

Die Mobilitätswende sorgt dafür, dass der Endenergieverbrauch des Verkehrssektors sinkt, ohne die Mobilität einzuschränken. Technologische Entwicklungen wie die Digitalisierung und die Informations- und Kommunikationstechnologien machen das möglich. Mit ihrer Hilfe lässt sich nicht nur das Verkehrsangebot erweitern; verschiedene Verkehrsträger lassen sich auf diese Weise auch vernetzen. Das wiederum ermöglicht den Verkehrsteilnehmern die effiziente Gestaltung der eigenen Mobilität. Verkehrsaufwände werden verringert, wenn Wege gebündelt und auf umweltverträgliche Verkehrsmittel verlagert werden. So entsteht eine neue Qualität von Mobilität, die wie nebenbei auch den Erfordernissen des Klimaschutzes gerecht wird (siehe These 3 und 4).

Voraussetzung dafür, dass Mobilität mit weniger Verkehr möglich wird, ist eine konsequente politische Rahmensezung. Die neuen technischen Möglichkeiten verschaffen der Politik die Chance und die Freiheit, die Regulierung des Verkehrsgeschehens konsequenter als bisher am Klimaschutz auszurichten – und so dafür zu sorgen,

den Energieverbrauch des nationalen Verkehrs bis 2050 um rund ein Viertel zu vermindern, zusätzlich zum ohnehin vor allem aufgrund von Effizienzsteigerungen erwarteten Rückgang. Der Energieverbrauch läge dann nur noch bei knapp der Hälfte des Wertes von 2005.

Ziel der Energiewende im Verkehr ist es sicherzustellen, dass der verbleibende Endenergiebedarf des Verkehrs mit klimaneutralen Antriebsenergien gedeckt wird. Das ist vor allem eine technische Herausforderung. Auch sie bedarf allerdings politischer Gestaltung.

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. Angesichts noch vieler existierender Unsicherheiten ist es allerdings ratsam, alternative technische Optionen nicht heute schon auszuschließen. Technologieoffenheit ist ein wichtiges Leitprinzip der Regulierung.

Aufgabe der staatlichen Politik ist es, zum Beispiel durch CO₂-Standards für Fahrzeuge und Kraftstoffe oder durch Parkraummanagement, den Rahmen für ein klimaneutrales Verkehrssystem zu setzen; der technische Fortschritt allein sorgt nicht für die notwendige CO₂-Minderung. Infrastrukturinvestitionen müssen in Zukunft ebenso konsequent am Ziel der Emissionsminderung ausgerichtet sein wie die verhaltenssteuernden Signale des Staates an die Verkehrsteilnehmer. Dafür stehen verschiedene Instrumente 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.

Als eine Quer- und Längsschnittaufgabe erfordert die Verkehrswende die Abstimmung von politischen Akteuren verschiedener staatlicher Ebenen von Europa bis zu den Kommunen. Aber auch verschiedene sektorale Politikfelder müssen einander mit ihren Aktivitäten ergänzen. 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.

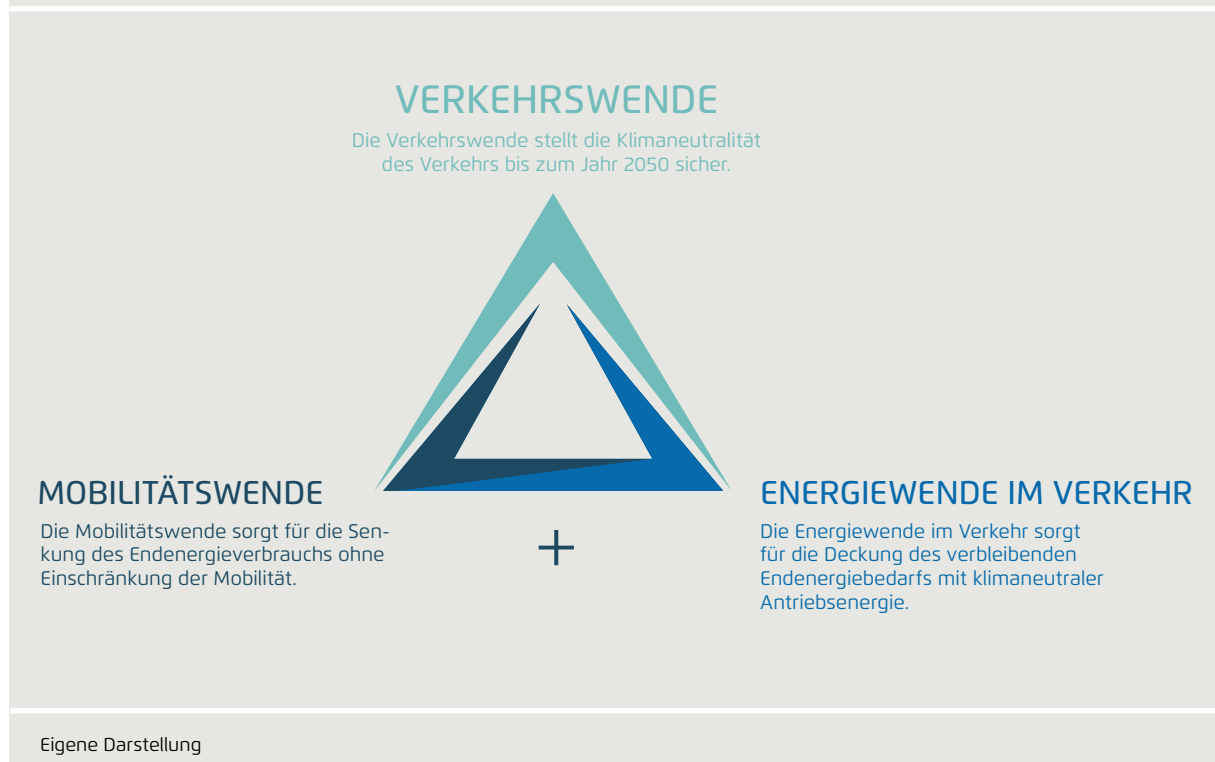
Das gilt umso mehr, als die Verkehrswende nicht allein ein Verkehrs- und Umweltprojekt ist. Es geht mit ihr auch um den Industriestandort Deutschland, um Arbeitsplätze, um Wohlstand, um die menschliche Gesundheit. Je länger mit dem Umsteuern gezögert wird, während anderswo der Umbau bereits stattfindet, desto

größer wird der Rückstand und desto weniger Zeit bleibt, um den unausweichlichen Strukturwandel zu bewältigen. Ohne Verkehrswende ist der Industriestandort Deutschland gefährdet.

Die Verkehrswende setzt internationale Kooperation voraus – nicht nur, weil der Verkehr grenzüberschreitend stattfindet: 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. Zur Vermeidung von Engpässen oder monopolistischen Strukturen ist internationale Kooperation 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. Dieser Zwang zur Zusammenarbeit lässt die Verkehrswende zu einem Bestandteil der internationalen Sicherheits- und Friedenspolitik werden.

Die Geometrie der Verkehrswende

Abbildung 2



Effizienz ist Leitprinzip der Verkehrswende.

Die Verkehrswende wird einen Strukturwandel mit sich bringen, der den Alltag vieler Menschen verändert. Für diesen Strukturwandel sollte das ökonomische Prinzip leitend sein. 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 in der Öffentlichkeit setzt der Schlagzahl der Modernisierung jedenfalls Grenzen. Effizienz sollte zwar das oberste Gebot der Verkehrswende sein, aber kein Dogma. Im Rahmen dieser Auslegung des Effizienzgebotes sind bei der Gestaltung der Verkehrswende die Potenziale zur Kostensenkung sorgfältig auszuloten und zu nutzen.

Räumliche Strukturen, die es erlauben, Bedürfnisse zu befriedigen, ohne mithilfe motorisierter Verkehrsmittel große Distanzen überwinden zu müssen, sind der effizienteste Weg zur Verkehrswende. Jeder eingesparte Kilometer spart Antriebsenergie, die erst kostenträchtig erzeugt werden muss und Spuren in der natürlichen Umwelt hinterlässt. Vor diesem Hintergrund 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. Das notwendige Umsteuern erfordert allerdings Zeit und Entschlossenheit für eine Politik, die nicht länger ausschließlich darauf fokussiert ist, Verkehrswiderstände abzubauen.

Schnellere Effizienzfortschritte werden durch die Digitalisierung und Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnik möglich. Die Vernetzung von nichtmotorisiertem Verkehr, öffentlichen Verkehrsmitteln und einem durch Car- und Ridesharing zunehmend „öffent-

lich“ werdenden Individualverkehr lässt den Verbund aller möglichen Mobilitätsoptionen zu einer attraktiven Alternative zum privaten Pkw werden. Auch autonome Fahrzeuge haben einen positiven Umwelteffekt – allerdings nur dann, wenn sie effizient eingesetzt werden. 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.

Das Effizienzgebot gilt auch für die Fahrzeuge selbst, 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“. Energieeffizient ist danach zum Beispiel ein Fahrzeug, das bei gleichem Kraftstoffverbrauch einen leistungstärkeren Motor hat als das Vorgängermodell, aber eben nicht notwendigerweise weniger CO₂ emittiert. Daraus folgt, dass für die Fahrzeugtechnik das Effizienzgebot um ein Gebot zur Sparsamkeit zu ergänzen ist. Die Verkehrswende gelingt vor allem mit Fahrzeugen, die leicht und nicht auf Leistung oder hohe Geschwindigkeiten ausgelegt sind.

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

Ebenso wie für die Fahrzeuge gilt der Grundsatz der Effizienz auch für die Energiebereitstellung. Fahrzeuge und die Energien, mit denen sie angetrieben werden, bilden eine Einheit. Klimarelevant ist am Ende, wie hoch die CO₂-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 ebenso unzureichend wie allein die Effizienz der Kraftstoffgewinnung (*Well-to-Tank*). Auf die Systemeffizienz kommt es an.

Nach Lage der Dinge ist elektrischer Strom der einzige erneuerbare Energieträger, der sich hierzulande in größerem Maßstab erzeugen lässt. Klimaneutrale Fahrzeuge werden deshalb zumindest in näherer Zukunft auf der Basis von Strom angetrieben. Obwohl Elektrofahrzeuge aufgrund des hohen Wirkungsgrades von Elektromotoren grundsätzlich effizienter sind als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor und obwohl sie emissionsfrei fahren, sind sie nicht CO₂-neutral, solange die Stromerzeugung nicht vollständig regenerativ erfolgt.

Der derzeitige Anteil erneuerbarer Elektrizität am Strommix liegt bei rund einem Drittel. Dank staatlicher Förderung der erneuerbaren Stromerzeugung wächst ihre Bedeutung allerdings. Mit zunehmendem Anteil von Strom aus Erneuerbaren Energien wird der elektrische Verkehr nicht nur effizienter, 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 Schiene, sei es aus Gründen mangelnder gesellschaftlicher oder politischer Akzep-

tanz eines Technologiewechsels – kommen auch andere, weniger effiziente Lösungsmöglichkeiten in Betracht.

Dabei sind selbst herkömmliche Verbrennungsmotoren im Straßenverkehr nicht auszuschließen, obwohl sie einen deutlich schlechteren Wirkungsgrad haben als Elektromotoren. Als Technologiepfad im Rahmen der Verkehrswende sind Verbrennungsmotoren allerdings nur dann eine Option, wenn sie mit klimaneutralem Kraftstoff betrieben werden, der sich aus erneuerbar erzeugtem Strom herstellen lässt. Dabei ist 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 und bei der Umwandlung des Kraftstoffs in Vortrieb. 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 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.

Effizienzgewinne und Wachstumsimpulse durch intelligente Netze

Abbildung 3

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.: Gesamtwirtschaftliche Potenziale intelligenter Netze in Deutschland, 2012, S. 32

Die Mobilitätswende hat in den Städten bereits begonnen.

Für die jüngere städtische Bevölkerung verliert der Privatbesitz von Autos seit mehr als einem Jahrzehnt an Bedeutung. Sie nutzt zunehmend das Fahrrad, öffentliche Verkehrsmittel und Carsharing-Angebote; immer mehr Wege werden auch zu Fuß zurückgelegt.

Veränderte Wertvorstellungen offenbaren sich auch daran: Das Leitbild der „autogerechten Stadt“ verliert seit Jahren an Attraktivität. Mehr als drei Viertel der Bevölkerung geben zu Protokoll, in Städten und Gemeinden leben zu wollen, in denen ein eigenes Auto kein Muss mehr ist. Das neue Leitbild heißt: Lebenswerte Stadt. Kompakte Siedlungsstrukturen sowie kurze Lieferstrecken machen die Vermeidung und Verlagerung von Verkehr möglich – und sorgen für die Vermeidung von CO₂-Emissionen.

Politische Förderung vorausgesetzt, können die Potenziale zur CO₂-Minderung schnell und umfassend erschlossen werden. Die technischen Voraussetzungen dafür sind vorhanden: Saubere elektrische Antriebstechnologie und digitale Technik. Die Digitalisierung kann eine integrierte Verkehrsplanung unterstützen und lässt die Grenzen zwischen öffentlichem und privatem Verkehr verschwimmen – ohne die Mobilität einzuschränken.

Der öffentliche Verkehr bietet bereits jetzt deutliche Umweltvorteile gegenüber allen anderen motorisierten Verkehrsmitteln. Er ist daher auszubauen, durch den verstärkten Umstieg auf Elektromobilität emissions- und lärmfreier zu gestalten und durch die Vernetzung mit einem immer breiteren Spektrum an Mobilitätsoptionen (Car- und Bikesharing, Ridesharing, Fernbusse) zu einem umfassenden, leicht zugänglichen und für alle bezahlbaren Mobilitätsverbund aufzuwerten. Aus dem multimodalen Angebot können Stadtbewohner bedarfsgerecht ihren optimalen Verkehrsmittelmix zusammenstellen. Die wachsende Anzahl von Carsharing-Fahrzeugen und Ridesharing-Angeboten sorgt dafür, dass Autos fester Bestandteil dieses Mixes bleiben und zugleich die Abhängigkeit vom eigenen Pkw sinkt.

Voraussetzung für die Akzeptanz dieses Modells ist eine flächenhafte Verfügbarkeit der Mobilitätsangebote; auch Menschen am Stadtrand und in weniger großen Städten müssen davon profitieren können. Hierfür benötigt der ÖPNV kalkulierbare Rahmenbedingungen, vor allem eine verlässliche Finanzierung, etwa durch Änderungen im Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz oder durch Schaffung einer Nahverkehrsabgabe.

Im Leitbild der lebenswerten Stadt werden vom Autoverkehr dominierte Strukturen in Flächen für den Rad- und Fußverkehr oder in Aufenthalts- und Grünflächen umgewidmet. Mit einer sicheren Verkehrsinfrastruktur für Rad- und Fußwege, etwa durch durchgängige Wegenetze, lässt sich der Trend zur Fahrradnutzung stärken und der Anteil nichtmotorisierter Wege im Stadtverkehr auf mehr als 50 Prozent steigern. Elektrisch unterstützte Lastenräder und Cargo-E-Bikes eignen sich als klimafreundliche Alternative für den städtischen Wirtschaftsverkehr.

Wegen seines massiven Flächenbedarfs beeinträchtigt auch der ruhende Verkehr den öffentlichen Raum. Nach dem Vorbild des europäischen Auslands sollten deshalb Kommunen mehr Handlungsspielraum für eine effiziente Gestaltung des Parkraummanagements erhalten: Priorität haben Parkmöglichkeiten für Lieferanten und Anwohner. Höhere Parkgebühren, auch für Anwohnerausweise, ermöglichen die Rückgewinnung von Flächen für die Allgemeinheit. Auch das Ende der Subventionierung von Parkflächen für den privaten Pkw gegenüber dem Carsharing-Auto trägt zu einem geringeren Flächenbedarf bei. In Innenstadtquartieren kann ein Carsharing-Auto acht bis 20 private Fahrzeuge ersetzen.

Der wachsende und bislang überwiegend mit Dieselfahrzeugen abgewickelte Lieferverkehr stellt mit seinen gesundheitsschädlichen Emissionen die Städte vor Herausforderungen. Er behindert zudem den Verkehrsfluss und die Verkehrssicherheit. Abhilfe können City-Logistik-Konzepte schaffen: Mit ihnen lassen sich Warenströme vor dem Stadtgebiet sammeln und dann

gebündelt verteilen, um Fahrten einzusparen. Die innerstädtische Feinverteilung können elektrisch betriebene Nutzfahrzeuge oder (elektrisch unterstützte) Lastenräder übernehmen. Eine kommunale Steuerungsmöglichkeit, Schwerlastverkehr aus sensiblen Wohngebieten herauszuhalten, besteht darin, Dieselfahrzeuge zu verbieten oder Lkw-Führungskonzepte zu erstellen.

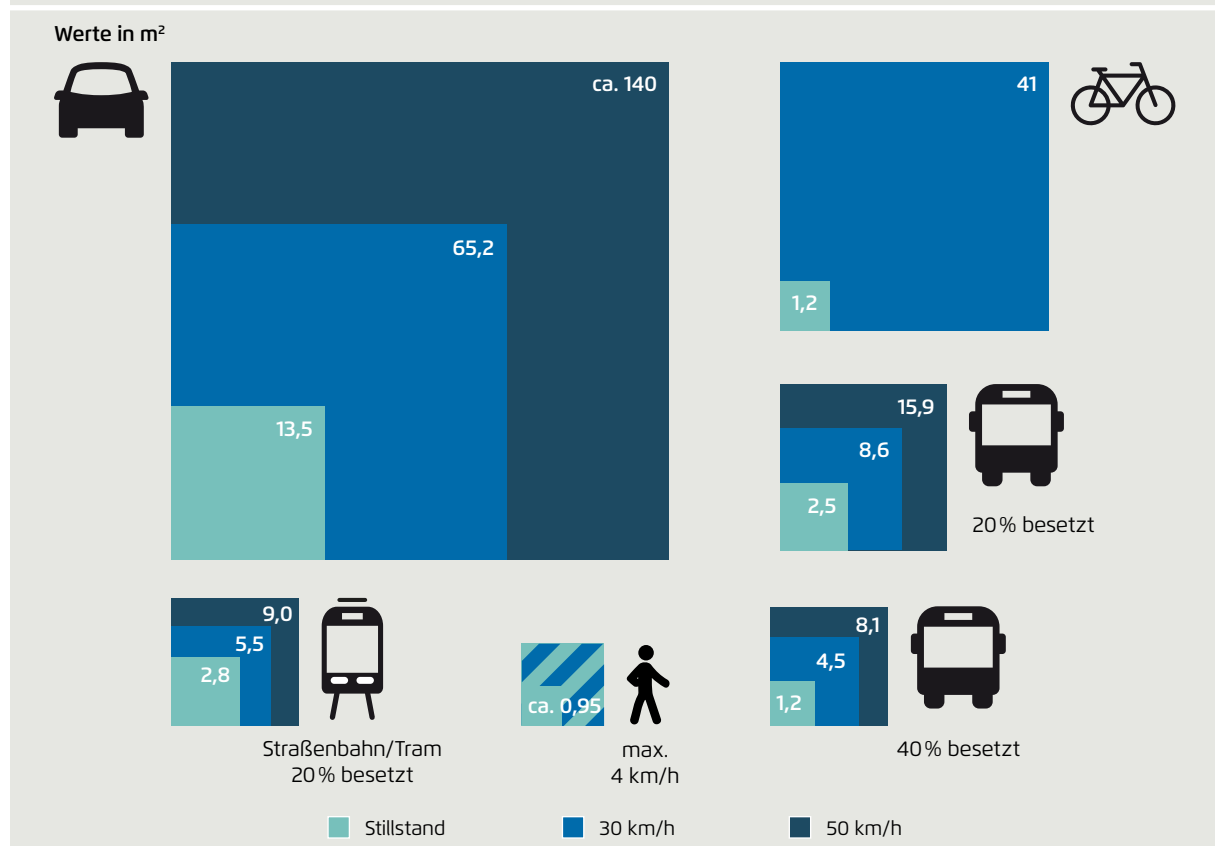
Die Transformation städtischer Verkehrssysteme ist vor allem eine kommunale Planungs- und Steuerungsaufgabe. Im Grundsatz gilt: Die Städte kennen die Herausforderungen, sie kennen ihre spezifischen Problemlagen, und auch Lösungsansätze sind vielfach schon vorhanden. Die Mobilitätswende ist weniger ein Erkenntnis-, als vielmehr ein Umsetzungsproblem. Eine erfolgreiche Umsetzung der erforderlichen Maßnahmenbündel kann

gelingen, wenn Kommunen bei den Stadt- und Verkehrsentwicklungsplänen zusammenarbeiten und Akteursallianzen zwischen Politik, Verwaltung, Privatwirtschaft, Bürgerschaft, Wissenschaft und Medien bilden. Die Bundesländer, der Bund und die EU sind aufgerufen, Bestimmungen des Straßenrechts und des Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) so zu ändern, dass sie Kommunen einen größeren Handlungsspielraum verschaffen.

Städte benötigen vor allem Rechtssicherheit bei der Erprobung von temporären und flexiblen Nutzungen. Deshalb sollten Experimentierklauseln kommunales Handeln erleichtern. Die Straßenverkehrsordnung und gegebenenfalls die Straßengesetze der Länder sollten so geändert werden, dass sie innovative Entwicklungen ohne aufwendige Widmungsänderungen ermöglichen.

Unterschiedliche Flächeninanspruchnahme nach Verkehrsarten und Geschwindigkeit

Abbildung 4



Eigene Darstellung nach Randelhoff, M.: Vergleich unterschiedlicher Flächeninanspruchnahmen nach Verkehrsart.
 URL: www.zukunft-mobilitaet.net/78246/analyse/flaechenbedarf-pkw-fahrrad-bus-strassenbahn-stadtbahn-fussgaenger-metro-bremsverzögerung-vergleich/. Letzter Zugriff am: 14.03.2017

Auch das Land wird von der Mobilitätswende profitieren.

Auf dem Land ist das private Auto weiterhin Verkehrsmittel Nummer eins und bleibt dies in absehbarer Zeit auch. Es wird für die meisten Wege genutzt – zum Einkaufen oder zum Arbeitsplatz, der häufig in der Stadt oder am Stadtrand liegt. Die Schaffung klimaverträglicher Alternativen zum herkömmlichen Pkw, sei es durch technische Effizienzsteigerungen oder durch Verlagerung auf umweltfreundliche Alternativen, stellt daher eine ebenso unumgängliche wie große Herausforderung dar. Denn der Trend geht zu immer flexibleren Arbeitsverhältnissen und Lebenslagen – damit wachsen die Entfernungen und folglich die zurückgelegten Personenkilometer. Klimaschädliche Subventionen wie zum Beispiel die Pendlerpauschale und Steuervorteile für Dienstwagen fördern die Zersiedlung.

Aufgrund der hohen Autoverfügbarkeit in ländlichen Regionen ist die Nachfrage im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) gering, schwer zu bündeln und im Vergleich zum privaten Pkw kaum konkurrenzfähig. Für die Aufrechterhaltung der Mobilität in ländlichen Räumen sind die Bewohner heute und auch perspektivisch daher auf ihr Auto angewiesen.

Damit die Autonutzung im Einklang mit den Erfordernissen des Klimaschutzes geschieht, ist auf die Elektrifizierung des Antriebsstranges zu setzen. Für 80 bis 87 Prozent aller Wege der ländlichen und suburbanen Bevölkerung sind die Batteriereichweiten elektrisch angetriebener Fahrzeuge bereits heute ausreichend; auch weitere berufliche Pendelwege sind zu bewältigen, wie detaillierte Auswertungen von Fahrprofilen zeigen. Das oft für Städte identifizierte Problem mangelnder Ladeinfrastruktur stellt sich de facto 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. 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).

Daneben besteht Potenzial zur Verlagerung des Pkw-Verkehrs auf umweltverträglichere Verkehrsmittel, insbesondere im Hinblick auf die Pendlerverkehre. Denn immerhin 30 Prozent der Erwerbstätigen im ländlichen Raum haben sehr kurze Pendelzeiten und benötigen maximal zehn Minuten zum Arbeitsplatz. 29 Prozent der Arbeitswege sind kürzer als fünf Kilometer, 20 Prozent zwischen fünf bis 10 Kilometer lang. Dennoch entscheiden sich 70 Prozent der Erwerbstätigen für das Auto, unabhängig davon, wie weit der Weg zur Arbeit ist. Für diese kurzen Pendlerdistanzen bieten sich klimafreundliche Alternativen zum Motorisierten Individualverkehr (MIV): Die unerwünschten verkehrlichen und ökologischen Folgen der Pendlerverkehre können durch die Nutzung von Fahrrädern oder Pedelecs deutlich vermindert werden.

Aufgrund des Geschwindigkeitsvorteils der Pedelecs im Vergleich zum Fahrrad erhöht sich der Aktionsradius enorm. Selbst bei Pendeldistanzen von rund 15 Kilometern kann das Pedelec noch eine attraktive Alternative zum Pkw sein – bei vergleichsweise geringen Kosten. Analog zur Dienstwagenregelung gibt es seit einiger Zeit eine Dienstradregelung, die einen guten Ansatzpunkt für betriebliches Mobilitätsmanagement bietet.

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.

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.

Für die Erweiterung und Modernisierung des Mobilitätsangebots in der Fläche sind grundlegend neue Ansätze notwendig. Der klassische ÖPV ist auf dem Land in der Regel 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.

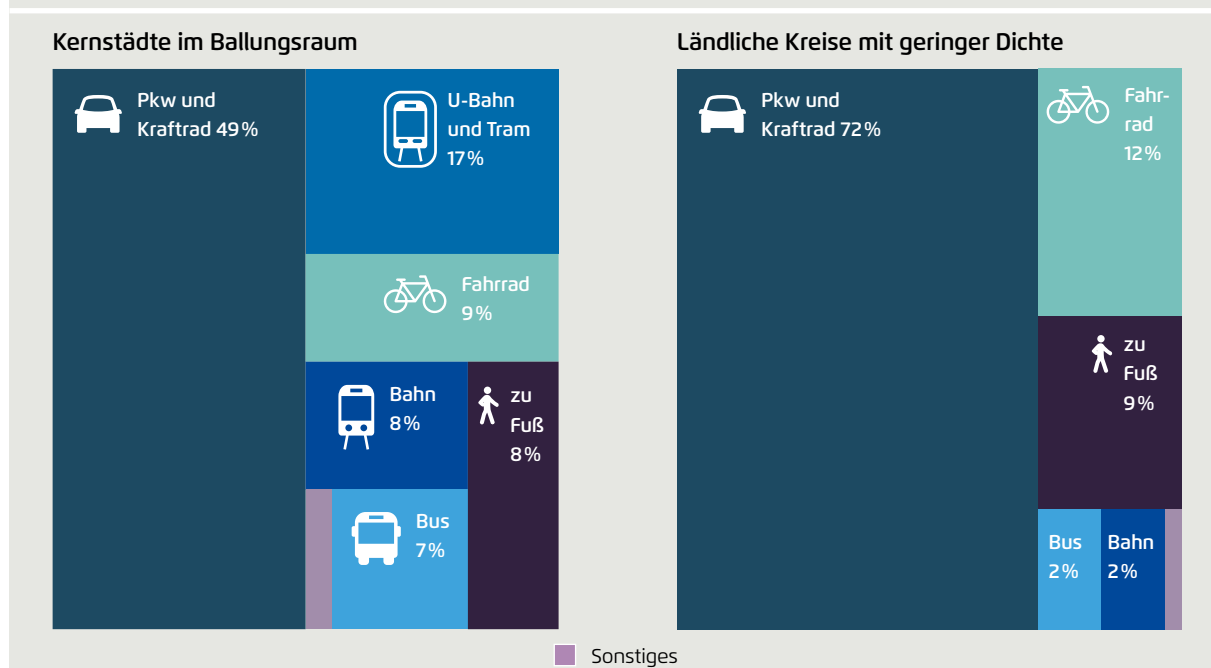
Schüler und Auszubildende bilden im ländlichen ÖPV die nachfragestärkste Bevölkerungsgruppe. Die Subventionierung der Schülerverkehre finanziert die ländlichen ÖPV-Angebote, entsprechend bestimmt die Nachfrage dieser Nutzergruppe die Fahrpläne und Routen im öffentlichen Landverkehr. Die mit der demografischen Entwicklung verbundene zahlenmäßige Abnahme der Schüler stellt dieses herkömmliche Finanzierungssystem in Frage. Vor diesem Hintergrund ist ländliche Mobilität neu zu gestalten. So können insbesondere liniengebun-

dene und für die tatsächliche Nachfrage oft überdimensionierte Busse durch kleinere Fahrzeuge ersetzt werden, die flexibel buchbar mit intelligenter Routenführung das vorhandene Angebot verbessern. Die Weiterentwicklung bestehender Ruf- und Bürgerbuskonzepte mithilfe von Smartphone-Apps bietet zum Beispiel die Möglichkeit, die Attraktivität der neuen ÖPV-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 ÖPV 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 ÖPV-Angebote. Diese könnten jederzeit und allorts buchbar sein und damit besonders nah an die Qualität und Flexibilität eines privaten Pkw heranrücken. Auch Car- und Bikesharing ist auf dem Land in bedarfsgerechter Skalierung darstellbar.

Verkehrsmittelwahl von Berufspendlern im Vergleich zwischen Stadt und Land

Abbildung 5



Eigene Darstellung nach Zeit Online: Eine Nation pendelt.

URL: www.zeit.de/feature/pendeln-stau-arbeit-verkehr-wohnt-arbeitsweg-ballungsraeume. Letzter Zugriff am: 15.03.2017

Autonome Fahrzeuge werden gemeinschaftlich genutzt.

Die Digitalisierung führt bereits heute zu grundlegenden Veränderungen des Verkehrssektors und setzt Veränderungsprozesse im Mobilitätsverhalten und im Verkehrssystem in Gang. Darauf weist die rasante Automatisierung hin, aber auch eine steigende Zahl von Mobilitätsangeboten. Techniklösungen haben das Potenzial, einen wichtigen Beitrag zur klimaneutralen Transformation des Verkehrssektors zu leisten, allerdings nur dann, wenn die Politik den Rahmen setzt für Veränderungen bei Fahrzeugnutzung, Mobilitätsverhalten und Besitzverhältnissen. Tut sie das nicht, können mit der Fahrzeugautomatisierung auch Risiken für die Verkehrswende verbunden sein.

Das autonome Fahren ermöglicht eine gleichmäßigere Fahrweise mit geringeren Fahrzeugabständen und einer flüssigeren Abfolge des Verkehrs. Das kann positive Auswirkungen auf den Energieverbrauch und den CO₂-Ausstoß von Fahrzeugen haben. Erste wissenschaftliche Untersuchungen beschäftigen sich bereits mit Szenarien, nach denen autonome Fahrzeuge im Flottenbetrieb ohne Einschränkungen flächendeckend innerhalb kürzerer Zeit verfügbar sind. Dadurch könnte der Mehrwert eines privat genutzten Pkw grundlegend in Frage gestellt und der gemeinschaftlichen Fahrzeugnutzung zu einem Durchbruch verholfen werden. Eine Reduzierung des Fahrzeugbestandes senkt den Energieverbrauch im Verkehr deutlich. Sie 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).

Denkbar ist allerdings auch ein Negativszenario, wonach das autonome Fahren unter Beibehaltung der heutigen Mobilitätskultur und Besitzverhältnisse zu mehr Fahrzeugen mit einer deutlich höheren Fahrleistung führt. So könnte die Fahrzeugautomatisierung etwa fahrer- und passagierlosen Verkehr induzieren. 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.

Bei aller Ungewissheit über die Auswirkungen des autonomen Fahrens zeichnet sich eine vielversprechende Zukunftsperspektive 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. Grundlage für eine steigende Fahrzeugautomatisierung, die den Personen- und Güterverkehr effizienter, klimaverträglicher und sicherer zu gestalten vermag, sind eine digitalisierte, vernetzte, intelligente und kommunikative Verkehrsinfrastruktur sowie Verkehrsleitsysteme. Kombiniert mit der Nutzung großer Datenmengen kann Verkehr dann in inter- wie multimodalen Reiseketten nahtlos bewältigt werden. Die vorhandene Verkehrsinfrastruktur lässt sich auf diese Weise effizienter nutzen, das Mobilitätsverhalten positiv beeinflussen und der verkehrsbedingte CO₂-Ausstoß reduzieren. Auch der Bedarf an Neu- und Ausbau der Verkehrsinfrastruktur kann so gesenkt werden, denn ein vernetztes Verkehrssystem birgt einen Zugewinn an verkehrspolitischen Gestaltungsmöglichkeiten. Adaptive Umweltzonen und flexibel gestaltete Mautsysteme (siehe These 10), die zwischen Verkehrsdichte, Tageszeit, CO₂-Emissionen und Luftqualität differenzieren, könnten als „Software“ für klimaverträglichen Verkehr auf Basis einer digitalen Infrastruktur genutzt werden.

Schlüsseltechnologie für die Digitalisierung im Verkehr ist das Smartphone. Es wird zunehmend als persönlicher Navigator in einem Umfeld wachsender Mobilitätsoptio-

nen eingesetzt und hilft bei der Verkehrsplanung. Der Smartphone-Nutzer wird Teil des vernetzten Verkehrssystems, das ihm die relevanten Informationen in Echtzeit liefert. Für den Wandel hin zu einer inter- und multimodalen Mobilitätskultur ist dabei entscheidend, dass auch klassische Verkehrsunternehmen sich dem digitalen Wandel öffnen und den ÖPNV mit neuen Mobilitätsdienstleistungen wie Car-, Bike- und Ridesharing digital verknüpfen. Das Smartphone bietet darüber hinaus Potenzial für Forschung und Planung. Es ermöglicht eine detaillierte Analyse des Mobilitätsverhaltens und bedarfsorientierte Verkehrsplanung. Dabei 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.

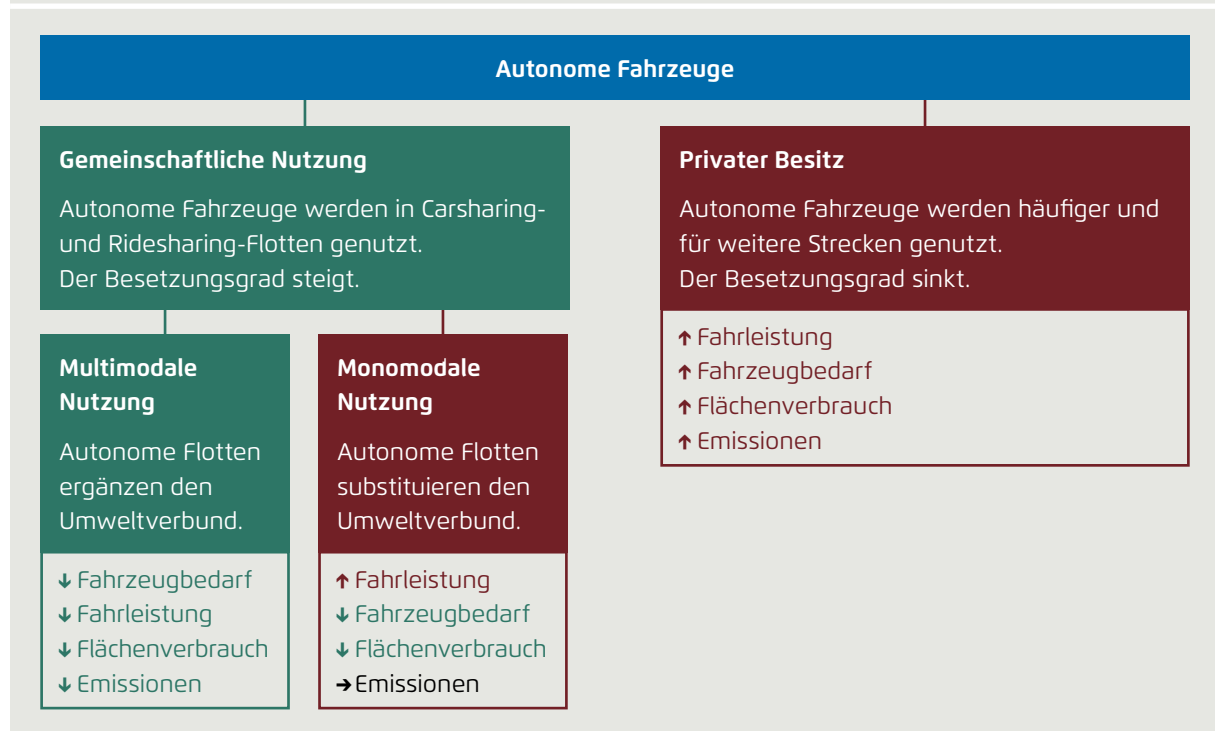
Ziel muss es sein, Klarheit für Nutzer und Hersteller bzw. Betreiber im Hinblick auf die Verarbeitung personenbezogener Daten zu schaffen, beispielsweise durch die

Stärkung der informationellen Selbstbestimmung und des Schutzes personenbezogener Daten. 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. Die Verfügbarkeit offener Daten könnte innerhalb der EU jährlich 629 Millionen Stunden Stau vermeiden, den Energieverbrauch des MIV um ca. 16 Prozent reduzieren und zu volkswirtschaftlichen Einsparungen in Höhe von rund 28 Milliarden Euro führen. 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.

Den Weg für innovative Mobilitätsangebote ebnen Reallabore. Deshalb sollte der Gesetzgeber eine Ausweitung von Freiräumen erwägen – zum Beispiel mit dem Ziel, Mobilitätsallianzen zwischen klassischen Verkehrsunternehmen und neuen Mobilitätsdienstleistern zu ermöglichen.

Nutzungsformen und mögliche Auswirkungen der Fahrzeugautomatisierung

Abbildung 6



Eigene Darstellung nach Michael Glotz-Richter

Elektromobilität ist der Schlüssel der Energiewende im Verkehr.

Mit Verhaltensänderungen und Verkehrsvermeidungsstrategien allein sind weder die im Klimaschutzplan 2050 vorgesehene Dekarbonisierung des Verkehrs noch die weltweiten Klimaziele zu erreichen; Verkehr wird auch in Zukunft über motorisierte Fahrzeuge abgewickelt. Dies gilt umso mehr vor dem Hintergrund des wachsenden Weltmarktes für Pkw: Bis zum Jahr 2050 könnte ihre Zahl von derzeit rund 900 Millionen auf rund 2,4 Milliarden ansteigen. Um die Klimaschutzziele dennoch zu erreichen, ist es deshalb unerlässlich, den Anteil emissionsfreier Fahrzeuge zu steigern – 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.

Für die Umstellung von fossilen Brennstoffen auf einen treibhausneutralen Verkehr kommen verschiedene Antriebs- und Kraftstoffkombinationen in Frage. Als der mit Abstand aussichtsreichste Kandidat für die saubere Mobilität der Zukunft erweist sich derzeit die Elektromobilität. Batterieelektrische Fahrzeuge, die auf Basis von Photovoltaik und Windkraft CO₂-neutral gewonnenen Strom direkt (ohne weitere Umwandlungsschritte) im Elektromotor nutzen, sind hier die effizienteste Option. Dies gilt sowohl in Hinblick auf ihre Energieeffizienz als auch auf die volkswirtschaftlichen Zusatzkosten, die diese Form der Dekarbonisierung gegenüber allen anderen Varianten verursacht. Die dieser Aussage zugrunde liegende Kostenbilanz berücksichtigt die gesamten Kosten für den Zeitraum von heute bis 2050 für Energiebereitstellung, Tankstellen bzw. Ladeinfrastruktur sowie für die Fahrzeuganschaffung.

Elektromobilität ist nicht nur für Pkw, sondern auch für leichte Nutzfahrzeuge eine Möglichkeit der Dekarboni-

sierung, vor allem bei Kurzstrecken im städtischen Verkehr. Kleinere Lkw können die gleichen Energieversorgungs- und Antriebskonzepte nutzen wie Pkw. Selbst für größere Lkw-Modelle werden inzwischen reine Elektroantriebe in Betracht gezogen. Elektrische Linienbusse sind insbesondere im Stadtverkehr bereits unterwegs. Die Reduzierung von Lärm und Luftschadstoffen verleiht der Nutzung elektrischer Antriebe bei Bussen und Nutzfahrzeugen jenseits des Klimaschutzeffekts einen hohen Zusatznutzen.

Hohe Anschaffungskosten, Reichweitenangst und unzureichende Lademöglichkeiten gelten bislang allerdings als wichtige Hemmnisse für die Kundenakzeptanz von reinen Elektrofahrzeugen. Auch für den Erfolg von Brennstoffzellenfahrzeugen, die ebenfalls zur E-Mobilität zählen, sind die Anschaffungskosten und die noch längst nicht flächendeckend ausgebaute Tankinfrastruktur das entscheidende Hindernis.

Technologische Fortschritte in der Elektromobilität sprechen allerdings dafür, dass diese Hemmnisse in den kommenden Jahren verschwinden: Die Batteriepreise und damit die Anschaffungskosten für ein Neufahrzeug sinken neueren Prognosen zufolge schneller und drastischer als noch vor Kurzem angenommen. Gleichzeitig steigen die Kosten für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren wegen der wachsenden Anforderungen an die Abgasnachbehandlung. Möglicherweise kosten batterieelektrische Fahrzeuge bereits zwischen 2023 und 2030 nicht mehr als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Auch die Reichweitenangst dürfte sich als unbegründet herausstellen: Bis zum Jahr 2020 sind bereits Fahrzeuge mit Reichweiten von mehr als 400 Kilometern angekündigt.

Um die anspruchsvollen Minderungsziele des Klimaschutzplans 2050 (40 bis 42 Prozent Reduktion gegenüber 1990) und den Umstieg auf Elektroautos zu beschleunigen, sind neben technologischen Entwicklungen konsequente gesetzliche Rahmenbedingungen erforderlich. Die Regulierung sollte zwar robust sein, aber zukunfts offen genug,

um Raum für Innovationen zuzulassen. Gleichwohl sollte Regulierung sich an dem orientieren, was technisch möglich, effektiv und kosteneffizient ist.

In Frage kommen verschärfte Grenzwerte für die Emission von Schadstoffen, niedrigere CO₂-Grenzwerte für Benzin- und Diesel-Pkw sowie Elektrofahrzeugquoten. Sollten die EU-Rahmenbedingungen nicht ausreichen, um die deutschen Klimaschutzziele im Verkehrsbereich zu erreichen, sind weitere nationale Maßnahmen notwendig, zum Beispiel eine Weiterentwicklung der Kfz-Steuer.

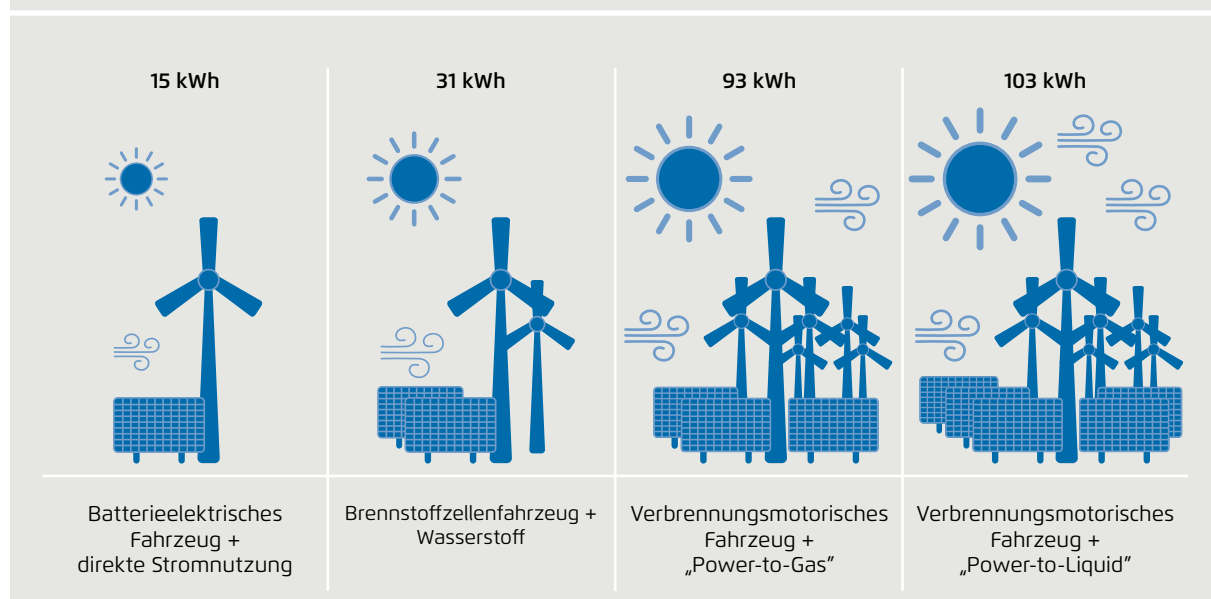
Für die Kundenakzeptanz der Elektromobilität ist außerdem ein möglichst rascher Ausbau der Ladeinfrastruktur erforderlich. Wer zuverlässig und schnell laden kann, fährt elektrisch. Der Aufbau eines flächendeckenden Netzes von öffentlich zugänglichen Ladepunkten ist bereits erklärtes Ziel der Bundesregierung. Allerdings sollte die Ladeinfrastruktur dauerhaft nicht allein von der öffentlichen Hand finanziert werden. Der Gesetzgeber sollte vor allem für Investitionssicherheit sorgen. Das gilt auch für den Aufbau von Wasserstofftankstellen, da auch Brennstoffzellenfahrzeuge in Zukunft eine bedeutende Rolle spielen können.

Eine weitere Herausforderung sind die Ressourcen- und Umwelteffekte von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben und Kraftstoffen. Für die Batterieherstellung sind Rohstoffe wie Lithium, Naturgraphit und Kobalt erforderlich, deren Hauptproduktionsstandorte jenseits der EU liegen; dadurch können neue Importabhängigkeiten entstehen. Lieferengpässe oder marktbeherrschende Stellungen von Förderländern könnten sich in Zukunft maßgeblich auf die Batteriepreisentwicklung auswirken. Entscheidend wird sein, ob es gelingt, einerseits die Abhängigkeit von diesen Rohstoffen bei der zukünftigen Batterieentwicklung weiter zu verringern sowie andererseits umweltgerechte und wirtschaftliche Recyclingverfahren zu entwickeln. Elektromobilität erfordert daher eine umfassende Umwelt- und Ressourcenstrategie.

Bei der Debatte um unerwünschte Nebenwirkungen der Elektromobilität – beispielsweise durch die Produktion und die Entsorgung der Batterien – gilt es zu bedenken, dass die Fortschreibung des bisherigen Entwicklungspfades auf Basis von Verbrennungsmotoren und fossilem Kraftstoff keineswegs geringere Probleme in Hinblick auf die weltweite Klima-, Umwelt- und Rohstoffsituation aufwirft.

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

Abbildung 7



Eigene Berechnung und Darstellung nach DLR u. a.: Erneuerbare Energien im Verkehr, 2015, S. 15

Klimaneutrale Kraftstoffe ergänzen Strom aus Wind und Sonne.

Die Umstellung auf alternative Antriebe im Personen- und Güterverkehr ist ein notwendiger – wenn auch kein hinreichender – Beitrag zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors. Schiffe und Flugzeuge zum Beispiel werden nach heutigem Kenntnisstand auf absehbare Zeit weiterhin flüssige oder gasförmige Kraftstoffe benötigen.

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. Erdgas hat zwar im Vergleich zu fossilen Flüssigkraftstoffen leichte CO₂-Vorteile; für eine weitgehende Dekarbonisierung des Verkehrs reicht dies jedoch nicht. Erdgas kann daher nur ein Brückenkraftstoff sein, der sukzessive durch synthetisches Methan oder synthetischen Kraftstoff vollkommen ersetzt wird.

Unter den als Antriebsenergie für einen weitgehend klimaneutralen Personen- und Güterverkehr in Frage kommenden Optionen steht die direkte Stromnutzung aus Erneuerbaren Energien an erster Stelle. Mit batterieelektrischen Fahrzeugen lassen sich die größten Effizienzvorteile erschließen. Flüssige und gasförmige Kraftstoffe, die aus erneuerbarem Strom synthetisch hergestellt werden, können allerdings eine Ergänzung sein, vor allem für den Luft- und Seeverkehr.

Sollte die Energiewende im Verkehr vor allem unter Nutzung strombasierter Kraftstoffe erfolgen (Wasserstoff, *Power-to-Gas* oder *Power-to-Liquid*), dann wird der dafür notwendige Strombedarf die deutsche Bruttostromerzeugung des Jahres 2016 weit übertreffen. Der Strombedarf allein des Verkehrs wird an die gesamte gegenwärtige Stromerzeugung heranreichen – und zwar sogar dann, wenn der Strom weitestgehend direkt und ohne Umwandlungsverluste genutzt wird. Es ist deshalb absehbar, dass der von der Bundesregierung beschlossene Pfad zum Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung

nicht ausreicht. 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. Zweitens folgt daraus, dass strombasierte Kraftstoffe zwar eine notwendige Ergänzung zur direkten Stromnutzung darstellen, aber nicht für alle Verkehrsträger als sinnvolle Alternativen anzusehen sind.

Der für die Erzeugung synthetischer Kraftstoffe benötigte Strom wird in ausreichender Menge kaum in Deutschland hergestellt werden können. Bereits heute stößt der Ausbau von Wind- und Solarenergieanlagen auf Grenzen der öffentlichen Akzeptanz. Daneben sprechen Kostenaspekte dafür, dass strombasierte flüssige oder gasförmige Kraftstoffe in Zukunft auch importiert werden. Bei der Erzeugung jenseits der Grenzen Deutschlands gilt, dass Strom aus Erneuerbaren Energien einzusetzen ist, Nachhaltigkeitsstandards zu sichern und möglichst schnell Nachhaltigkeitskriterien international zu erarbeiten sind. Über das weltweit vorhandene nachhaltige Potenzial für synthetische Kraftstoffe liegen bislang allerdings kaum Erkenntnisse vor und ihre Produktion befindet sich derzeit erst in der Erprobung. Auch dies spricht dafür, sie vorrangig dort zu verwenden, wo bislang Alternativen fehlen. Die Erfahrung mit Biokraftstoffen zeigt, dass falsche Einschätzungen von Nachhaltigkeitsaspekten zu einer überoptimistischen Einschätzung von Potenzialen führen kann.

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. 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.

Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse stellen aus Klimaschutzsicht weder quantitativ und noch qualitativ eine realistische Alternative zu fossilem Kraftstoff dar. Aus Abfällen und Reststoffen gewonnene Biokraftstoffe, die nicht um Ackerflächen für Nahrungs- und Futtermittel konkurrieren, sind im Inland nicht in ausreichender Menge gewinnbar, um als Kraftstoff für den Verkehr dienen zu können. Auch weltweit können Biokraftstoffe aus land- und forstwirtschaftlichen Reststoffen nur einen Bruchteil des globalen Endenergieverbrauchs des Verkehrs zur Verfügung stellen.

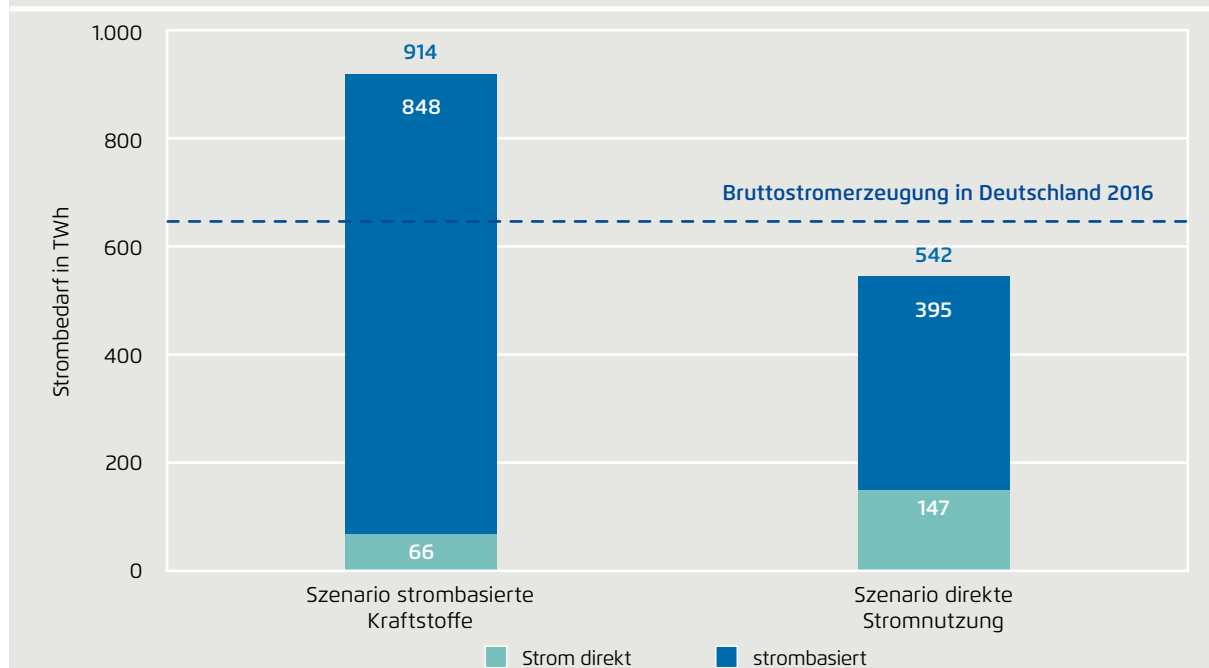
Ob Biokraftstoffe oder aus Strom gewonnene Kraftstoffe: Keine der neuen potenziellen Antriebsenergien ist unproblematisch, geschweige denn marktreif. Damit die Verkehrswende gelingt, sind zunächst Fragen in Hinblick auf Infrastruktur, Technologieförderung, neue Importab-

hängigkeiten, Mengenpotenzial und volkswirtschaftliche Kosten zu klären. Erst das ermöglicht es, verkehrsträgerübergreifend möglichst kohärente Gesamtstrategien zu identifizieren.

Eine weitere Voraussetzung für den Ersatz fossiler Kraftstoffe durch Strom und klimaneutrale Kraftstoffe ist ein höheres Maß an Kohärenz im rechtlichen Rahmen. So genießt zum Beispiel Diesel gegenüber Benzin einen Steuervorteil von 18,41 Eurocent, obwohl das Verbrennen von einem Liter Diesel sogar mehr CO₂ verursacht als das Verbrennen von einem Liter Benzin (2,65 kg gegenüber 2,37 kg); tatsächlich resultieren die Klimavorteile des Dieselantriebs vor allem aus der höheren Effizienz von Diesel- im Vergleich zu Ottomotoren. Die einheitliche Besteuerung von Diesel und Benzin auf Basis ihres Energie- und CO₂-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.

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

Abbildung 8



Eigene Berechnung basierend auf Öko-Institut: Renewability III, S. 20, sowie AGEB: Stromerzeugung nach Energieträgern 1990–2016. URL: www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=20170811_brd_stromerzeugung1990-2016.pdf

Beim Güterverkehr gilt: Schiene stärken, Straße dekarbonisieren.

Der Güterverkehr wächst – und mit ihm wachsen die durch ihn verursachten CO₂-Emissionen. Sie machen inzwischen gut ein Drittel der CO₂-Emissionen des gesamten Verkehrssektors aus. Dekarbonisieren lässt sich der Güterverkehr nur, wenn sein 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).

Der Gütertransport auf der Schiene ist weniger energie- und klimaintensiv als der Transport auf der Straße. Deshalb ist der Anteil der Schiene zu steigern. Voraussetzung für die Verlagerung von Gütern auf die Schiene sind allerdings bessere Logistikkonzepte, eine bessere Schieneninfrastruktur, geringere Kosten des Schienentransports und weniger Lärm.

Aufgrund der vorherrschenden Just-in-Time-Produktionsprozesse sind viele Unternehmen heute nicht mehr in der Lage, einen ganzen Zug mit Gütern zu füllen. Den Transport einzelner Waggonladungen bedient der kombinierte Verkehr oder der sogenannte Einzelwagenverkehr; dabei werden einzelne Waggonen in Rangierbahnhöfen zu Zügen zusammengestellt. Diese Bündelung ist heute im Vergleich zum Transport auf der Straße noch zu teuer und zu langwierig. Automatisierung und Digitalisierung können die Kosten senken, die Effizienz steigern und den Schienenverkehr attraktiver machen. Unternehmen ohne eigenen Gleisanschluss sind auf intermodale Logistikzentren angewiesen. Diese ermöglichen eine höhere Auslastung von Güterzügen und senken die Kosten.

Das Wachstumspotenzial der Schiene lässt sich allerdings nur ausschöpfen, wenn das Schienennetz besser genutzt und ausgebaut wird. Es geht vor allem um die Beseitigung von Engpässen an Knoten. Dabei hat der Ausbau von Hauptkorridoren Priorität, die von den deutschen Nordseehäfen sowie den Häfen in Antwerpen, Rotterdam und Amsterdam ausgehen.

Um die Attraktivität der Schiene zu erhöhen, ist ferner die ungleiche Kostenbelastung von Güterbahnen und Lkw zu beseitigen. Sie zeigt sich insbesondere bei der Bepreisung der Wegenutzung (Trassenpreise/Lkw-Maut) und beim Vergleich der staatlich verursachten Preisbestandteile bei den Energieträgern Strom und Diesel.

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.

Selbst wenn alle schienenaffinen Güter tatsächlich mit Güterbahnen transportiert werden, lässt sich nach heutigem Kenntnisstand der Anteil des Schienengüterverkehrs an der Verkehrsleistung bis 2050 nur auf rund 30 Prozent erhöhen. Dies zeigt: Für die vollständige Dekarbonisierung des Güterverkehrs sind neben einer deutlichen Verkehrsverlagerung auf die Schiene auch klimaneutrale Lkw erforderlich.

Für den klimaneutralen Betrieb von Lkw und Sattelzügen im Fern- und Schwerlastverkehr gibt es verschiedene Antriebskonzepte. Bis sich herausstellt, welches sich als Maßstab durchsetzen wird, müssen Lkw rasch effizienter werden. Die Einsparpotenziale betragen bis zu 40 Prozent – durch Optimierung im Antriebsstrang, in der Aerodynamik, beim Rollwiderstand sowie durch Leichtbau, Tempolimits und energieoptimierte Nebenverbraucher. In erster Linie lassen sich diese Potenziale durch verbindliche CO₂-Flottengrenzwerte erschließen. Zusätzliche Effizienzgewinne bietet das Platooning, also die Kopplung

von mehreren teilautonomen Lkw auf der Autobahn und optimal abgestimmtes Windschattenfahren.

Von den strombasierten Antriebskonzepten für den post-fossilen Güterstraßenfernverkehr ist die direkte Nutzung von aus Sonne und Wind erzeugtem Strom die effizienteste und ökonomischste Option der Dekarbonisierung. Allerdings werden Batterien nach heutigem Kenntnisstand auch 2050 nicht die im Güterfernverkehr üblichen Reichweiten ermöglichen. Oberleitungs-Hybrid-Lkw machen die direkte Stromnutzung bei den im Güterfernverkehr erforderlichen Reichweiten möglich. Weil Fernverkehrs-Lkw grenzüberschreitend betrieben werden, muss auch die erforderliche Infrastruktur grenzüberschreitend vorhanden sein.

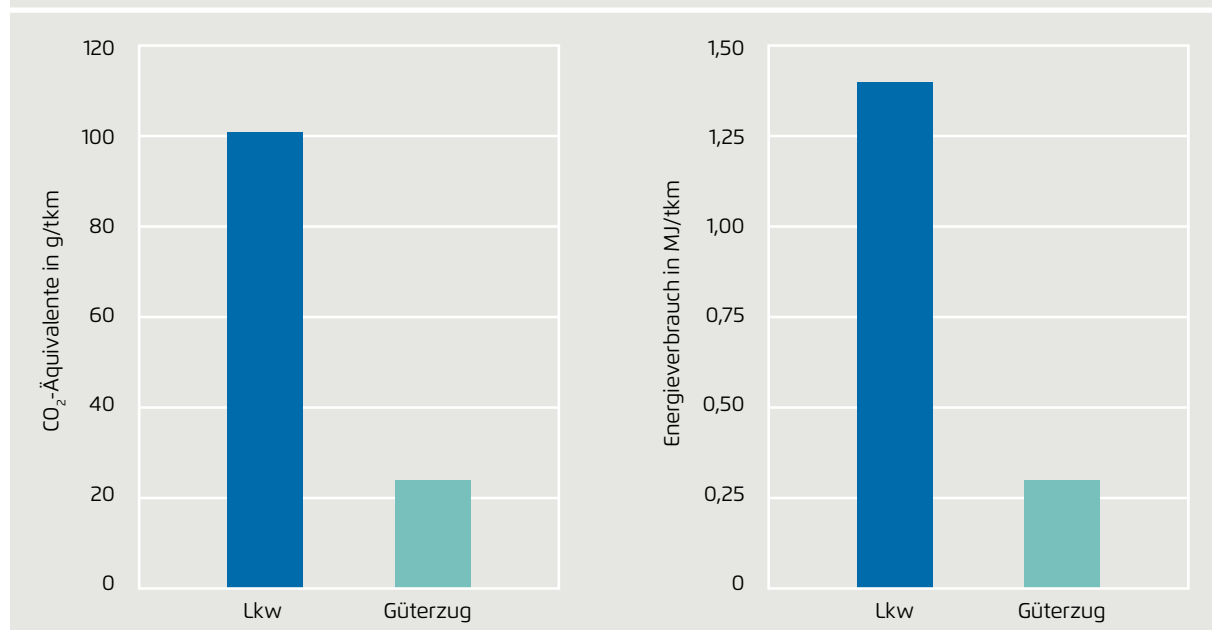
Das Antriebskonzept des Oberleitungs-Hybrid-Lkw mit klimaneutral hergestelltem synthetischem Diesel und/oder mit Batterien für die Fahrt abseits eines Oberleitungssystems auf Autobahnen schneidet derzeit in der volkswirtschaftlichen Gesamtkostenrechnung am besten ab. Die Schwierigkeit besteht vor allem in der

internationalen Abstimmung zur Finanzierung und Umsetzung einer europaweiten Oberleitungsinfrastruktur. Dagegen wäre eine Lösung mit PtL-Diesel als Drop-in-Kraftstoff die Variante mit den geringsten initialen Umsetzungshemmnissen.

Chancen, aber auch Risiken für die Verkehrswende bieten Lkw mit Gasmotoren, die heute mit verflüssigtem Erdgas (LNG) betrieben werden. Zwar lassen sich mit LNG-Lkw im Vergleich zu Diesel-Lkw geringfügig Treibhausgase einsparen; da Erdgas aber ein fossiler Kraftstoff ist, können LNG-Lkw höchstens eine Brückentechnologie sein (siehe These 6). Sollten die Fahrzeuge in Zukunft allerdings statt mit LNG mit verflüssigtem PtG-Methan aus erneuerbarem Strom betrieben werden, könnten sie deutlich zur Emissionsminderung beitragen. Dieses Konzept konkurriert allerdings sowohl mit dem effizienteren Antriebskonzept von Oberleitungs-Hybrid-Lkw als auch mit Brennstoffzellen, die ebenfalls in elektrisch betriebenen Lkw einsetzbar wären. Auf jeden Fall sollten sich die Bundesregierung wie auch die EU-Kommission für eine harmonisierte europäische Lösung einsetzen.

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

Abbildung 9



Eigene Darstellung nach Umweltbundesamt: Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Güterverkehr.
URL: www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten. Letzter Zugriff am: 02.02.2017

Stromversorgung und Verkehr profitieren von der Sektorenkopplung.

Strom aus Wind und Sonne wird nach Lage der Dinge zum wichtigsten Energieträger für den Verkehr (siehe Thesen 6 und 7). Zur Senkung des nationalen CO₂-Ausstoßes führt das allerdings nur, wenn der regenerative Strom für den Verkehr zusätzlich produziert wird. Die Energiewende im Strombereich muss deshalb mit der Verkehrswende Schritt halten und mit ihr synchronisiert werden.

Der Strombedarf des Verkehrs wird bis Mitte des Jahrhunderts stark anwachsen (siehe These 7); die zunehmende Nutzung von strombasierten synthetischen Kraftstoffen kann maßgeblich dazu beitragen. Weil das im Inland nachhaltig gewinnbare Potenzial für die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien begrenzt ist, zeichnet sich ab, dass Deutschland auf den Import von Strom oder von strombasierten Kraftstoffen angewiesen sein wird.

Angesichts der zusätzlichen Nachfrage des Verkehrssektors wird der Stromverbrauch in Deutschland eher steigen als sinken. Damit sind auch die amtlichen Zielvorgaben unrealistisch: Weder wird der Bruttostromverbrauch bis 2050 um 25 Prozent gegenüber 2008 sinken, noch reicht ein Anteil von 80 Prozent erneuerbar erzeugtem Strom an diesem Zielwert aus, um die Volkswirtschaft einschließlich des Verkehrssektors zu dekarbonisieren. Der Ausbau der Erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung muss deutlich beschleunigt werden, soll das Klimaschutzziel 2050 erreicht werden.

Mit den wachsenden Anteilen von wetterabhängigem Sonnen- und Windstrom an der Stromerzeugung steigt auch die Dringlichkeit, Nachfrage und Angebot flexibel aufeinander abzustimmen. Solche Flexibilitätsoptionen bieten das gesteuerte und das bidirektionale Laden von Elektroautos. Auf diese Weise wachsen die Sektoren Verkehr und Strom zusammen (Sektorenkopplung): Der Strombedarf des Verkehrs und der Ausbau der Erzeugungskapazitäten für Strom aus Erneuerbaren Energien wird synchronisiert.

Das Stromsystem profitiert von dieser Option, wenn das Aufladen erst dann erfolgt, wenn das entsprechende Stromangebot auch tatsächlich vorhanden ist und die Netze nicht überlastet werden (gesteuertes Laden).

Beim bidirektionalen Laden wird über das gesteuerte Laden hinaus Strom aus der Batterie eines Elektroautos in das Netz zurückgespeist; technisch ist das bereits möglich, auch wenn es noch keine tragfähigen Geschäftsmodelle dafür gibt. Elektrofahrzeuge erfüllen dann die Funktion eines wichtigen Kurzzeitenergiespeichers, um die Lücken zwischen der aktuellen Stromerzeugung und der Nachfrage nach Strom beherrschbar zu machen. Bei der Fortentwicklung der Technik ist sicherzustellen, dass das bidirektionale Laden den Batterien auch auf Dauer nicht schadet. Schon beim Aufbau der Ladeinfrastruktur sollte deshalb darauf geachtet werden, dass die technischen Voraussetzungen für system- und netzdienliches sowie bidirektionales Laden geschaffen werden (siehe Thesen 6 und 10).

Weiterhin sind die technischen und rechtlichen Grundlagen dafür zu schaffen, dass Stromerzeuger bzw. Netzbetreiber mit entsprechenden Tarifen Anreize für systemdienliches Laden schaffen können. Außerdem sind die Verteilnetze auszubauen, vor allem mit Blick auf die zukünftigen Beanspruchungen durch Schnellladesäulen sowie die Errichtung von Ladestellen beim Bau von Gebäuden.

Ein Nachteil des kostengesteuerten Ladens besteht darin, dass es zu einer verstärkten Nachfrage von billigem Nachtstrom aus CO₂-intensiven Braunkohlekraftwerken führen könnte. Dies verdeutlicht, wie wichtig es ist, die Erzeugungskapazitäten für Strom aus Erneuerbaren Energien schneller als bisher auszubauen und die Kohleverstromung zu reduzieren.

Eine Option, beim nächtlichen Laden von Elektroautos unabhängiger von der Stromerzeugung aus konventio-

nellen Kraftwerken zu werden, besteht darin, Strom aus einer eigenen Photovoltaikanlage in einer Batterie zu Hause zu speichern und das Fahrzeug daraus zu laden. Angesichts von Größe und Kosten aktueller Heimspeicherbatterien geht es dabei zwar eher um Teilfüllungen, die aber für die häufig geringen Tagesfahrleistungen von Pkw selbst in ländlichen Räumen einen wichtigen Beitrag leisten.

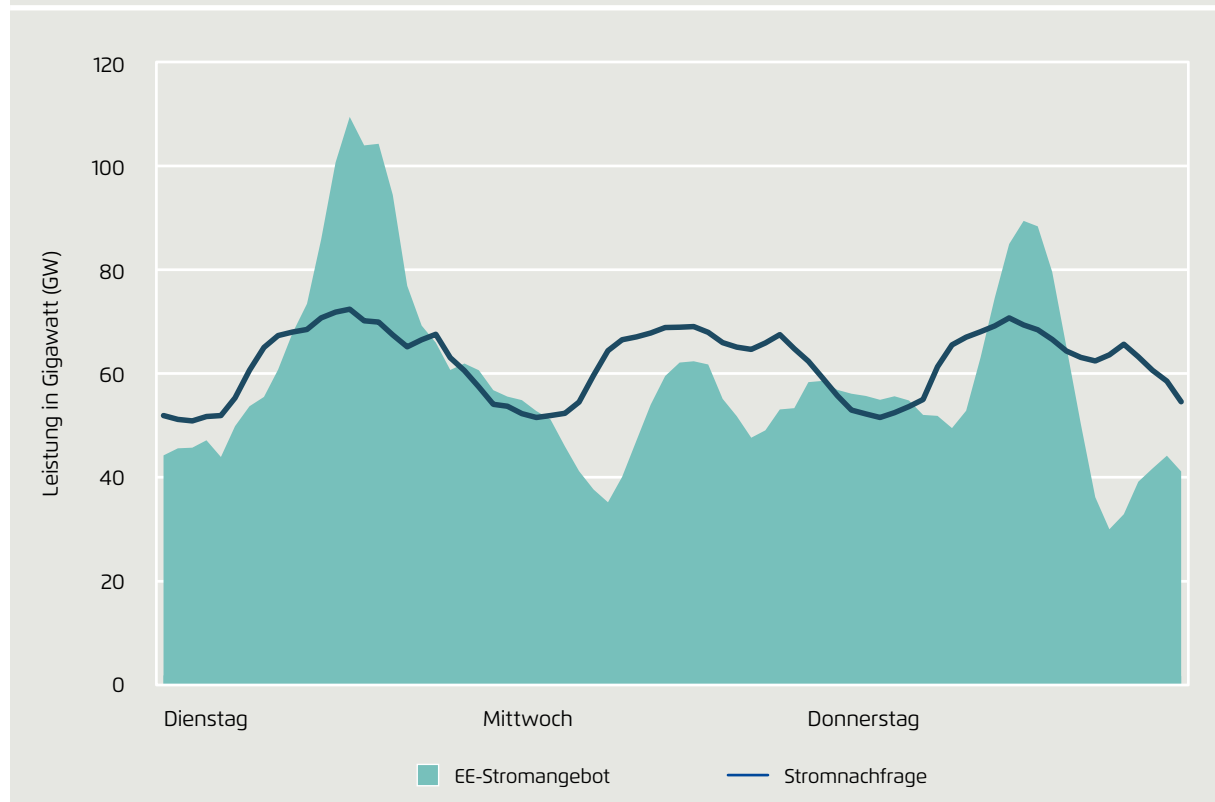
Die dezentrale Eigenversorgung ist für viele Menschen attraktiv und kann ein Mittel zur Beschleunigung der Energiewende auch im Verkehr darstellen. Für kleine stationäre Batteriespeicher könnten zukünftig Second-Life-Konzepte zum Tragen kommen. Dabei werden Batterien, die für die Bereitstellung von Antriebsenergie nicht mehr leistungsfähig genug sind, als stationäre Speicher genutzt. Die wirtschaftlichen und rechtlichen Grundlagen für die Nutzung im Heimspeicherbereich sind aber erst noch zu schaffen.

Eine weitere Speicheroption ist die Herstellung von Wasserstoff mithilfe von Überschussstrom. Der Wasserstoff kann dann in Reinform oder umgewandelt in EE-Methan oder Flüssigkraftstoff für den Betrieb von Fahrzeugen verwendet werden. Wenn die Energiewende so weit fortgeschritten ist, dass der Strom in Deutschland größtenteils aus Erneuerbaren Energien kommt, könnte die Rückverstromung von gespeichertem Wasserstoff auch saisonale Unterschiede in der Stromerzeugung ausgleichen. Dies kann notwendig sein, wenn es über Tage oder Wochen nur geringe Erträge aus Sonnen- und Windkraftanlagen gibt.

Allerdings ist zu beachten, dass der Gesamtwirkungsgrad von Wasserstoffherstellung, Speicherung und Rückverstromung nach jetzigem Stand der Technik maximal 40 Prozent beträgt und in einer postfossilen Wirtschaft auch die chemische Industrie erneuerbar erzeugten Wasserstoff oder kohlenstoffhaltige Verbindungen wie strombasiertes Methan als Grundstoff nachfragen wird.

Mögliche Stromnachfrage und Erzeugung im Jahr 2030

Abbildung 10



Eigene Darstellung nach Angaben von Agora Energiewende

These 10

Verkehrsinfrastruktur wird neu gedacht, geplant und finanziert.

Die Verkehrsinfrastruktur der Zukunft besteht nicht mehr nur aus Schienen, Straßen, Wegen und Brücken. Auch die Lade- und Tankstelleninfrastruktur für die Energieträger der Verkehrswende sowie die digitale Infrastruktur für ein schnelles, flächendeckend verfügbares Internet gehören dazu. Ob und wie schnell die Verkehrswende gelingt, darüber bestimmen maßgeblich Investitionen in eine moderne, die Emissionsminderungsziele unterstützende Verkehrsinfrastruktur. 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.

Um die Emissionsminderungsziele zu erreichen, ist zunächst der Bundesverkehrswegeplan 2030 (BVWP) mit dem Klimaschutzplan 2050 in Einklang zu bringen – in seiner aktuellen Form führt der BVWP zu einer jährlichen CO₂-Minderung von nur 0,4 Millionen Tonnen statt der erforderlichen 4,7 Millionen Tonnen. Möglich wird eine ökonomische, ökologische und soziale Aspekte integrierende Planung durch ein Verkehrswendekonzept 2030, das ressortübergreifend Maßnahmen und Instrumente zur Umsetzung der Verkehrswende definiert. Für seine Akzeptanz sorgt eine hochwertige Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern; sie verlagert die Zuständigkeiten an den Ort der Entscheidung und senkt damit auch den Anreiz zur Überdimensionierung von Verkehrsprojekten.

Für die Planung von Verkehrsinfrastruktur gilt der Leitsatz „Schiene vor Straße“ (siehe These 8). Bei der Planung der Straßeninfrastruktur sind stärker als bisher vor allem Alternativen zum Neu- und Ausbau zu prüfen. Planungsleitend sollten die Einbindung in das europäische Straßennetz und übergeordnete Aspekte der Raumordnung und Siedlungsentwicklung sein.

Die klimaverträgliche Verkehrsinfrastruktur der Zukunft ist ausgerichtet auf emissionsfreie und inter- bzw. multi-

modale sowie auf gemeinschaftlich genutzte Mobilität. Voraussetzung hierfür ist eine digitale Infrastruktur und die Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge; außerdem sind alternative Kraftstoffe unverzichtbar. Der Auf- und Ausbau geeigneter Infrastruktur für das Laden von Elektrofahrzeugen ist staatlicherseits zu koordinieren und muss technischen Standards genügen. Der Zugang zu und das Bezahlen an den Ladestationen muss bequem anbieter- und verkehrsträgerübergreifend möglich sein, zum Beispiel per App auf dem Smartphone.

Koordiniert und an technischen Standards ausgerichtet sein sollte auch der eventuell notwendig werdende 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 (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-)automatisierte und perspektivisch auch das vollautomatisierte Fahren im Personen- und Güterverkehr zu nennen (siehe These 5). Intelligent und ressourcenschonend genutzt, bergen diese Technologien ein großes, für die Verkehrswende nutzbares Potenzial. Ihre Entwicklung zum Regelbetrieb setzt jedoch fast immer eine zuverlässige Echtzeitkommunikation voraus.

Eine auf Konnektivität ausgelegte Infrastruktur macht intelligente Bepreisungssysteme für die Straßennutzung möglich, die Berechnung optimierter inter- und multi-modaler Wegeketten sowie die problemlose Nutzung von geteilten Fahrzeugen. Das volle Potenzial einer leistungs-

starken digitalen Infrastruktur kann jedoch nur dann ausgereizt werden, wenn auch herkömmliche Verkehrsinfrastruktur – Lichtsignalanlagen, Verkehrsschilder oder öffentlicher Parkraum – an Intelligenz gewinnt und in ein vernetztes Gesamtsystem eingebettet ist. Die Politik hat sowohl bei digitaler als auch bei Ladesäuleninfrastruktur bzw. Tankinfrastruktur für alternative Kraftstoffe die Verantwortung, einen diskriminierungsfreien Zugang zu ermöglichen.

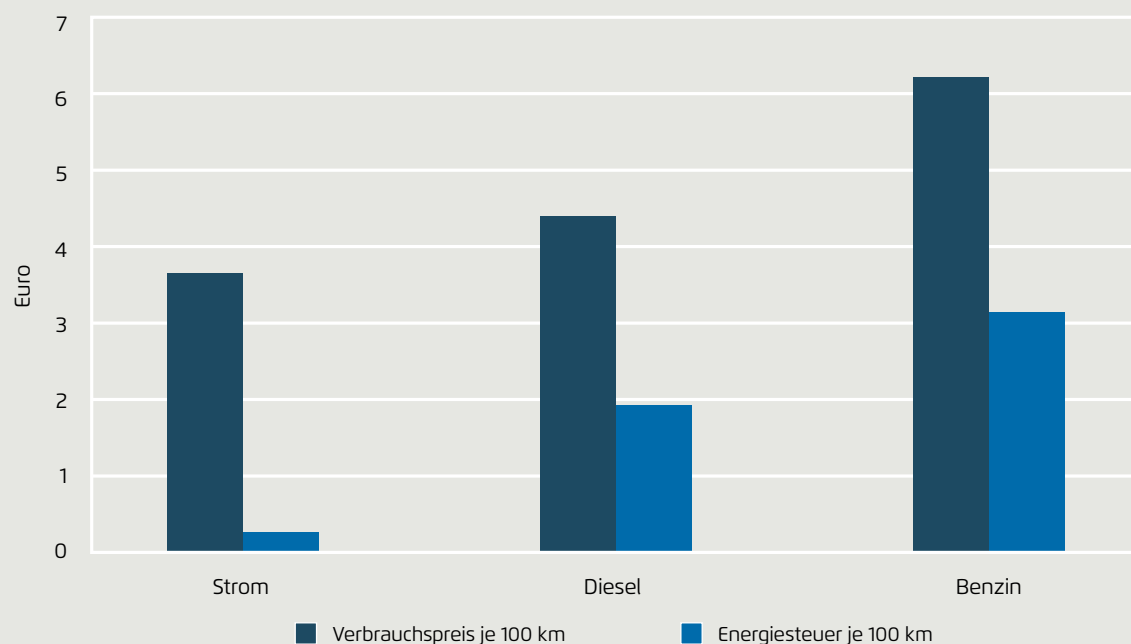
Die Finanzierung von Verkehrsinfrastruktur stützt sich heute auf die staatlichen Einnahmen aus der Energiesteuer. Mit der Energiewende im Verkehr und einem sinkenden Verbrauch von fossilen Kraftstoffen werden diese Einnahmen schrumpfen. Deshalb ist die Finanzierung von Infrastruktur aus Haushaltsmitteln langfristig nicht gesichert. An ihre Stelle tritt verstärkt die Nutzerfinanzierung, die auch eine ökologische Steuerung zulässt. Mit der Verkehrswende kompatibel wäre eine Maut, die abhängig von der Fahrleistung und ent-

sprechend den vom jeweiligen Fahrzeug verursachten Wege- und externen Kosten erhoben wird. Sie sollte wirtschaftlich ausgelegt sein, verlässlichen Datenschutz gewährleisten und nach Ort und Zeit differenzieren, um Verkehr effizient lenken zu können.

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 Bestandteile 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 und wie das Gesamtsystem von Abgaben und Umlagen für den Verkehrs- und Strombereich sich reformieren ließe.

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

Abbildung 11



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)

Die Verkehrswende sichert den Industriestandort Deutschland.

Mit dem politischen Ziel, den Energie- und Verkehrssektor zu dekarbonisieren, ist eine Innovationsrevolution in der Automobilindustrie verbunden: Das Ende des Verbrennungsmotors als Kernelement des automobilen Antriebsstranges zeichnet sich ab. Der Modernisierungsschub wird befördert durch die allmähliche Marktreife alternativer Antriebe, den Einzug der Digitalisierung in den Verkehrssektor und einen zumindest in den Großstädten vieler Länder zu beobachtenden Trend: Eine wachsende Zahl von Menschen will Autos zwar gelegentlich nutzen, sie aber nicht unbedingt besitzen.

Das hat weitreichende gesamtwirtschaftliche Folgen, vor allem für die exportorientierte deutsche Automobilindustrie. Ihr zukünftiger Erfolg hängt maßgeblich davon ab, inwieweit es ihr gelingt, zum Gestalter (statt zum Getriebenen) des unvermeidlichen Strukturwandels zu werden. Ihre globale Spitzenposition wird die deutsche Autoindustrie nur behaupten können, wenn sie sowohl bei der Dekarbonisierung des Antriebsstranges führend ist als auch bei der Entwicklung und beim Angebot neuer Mobilitätsdienstleistungen.

Der Erfolg der Automobilindustrie auf dem Weltmarkt wirkt sich unmittelbar auf die Beschäftigung aus. Mit den größten Beschäftigungseinbußen ist zu rechnen, wenn die Geschwindigkeit des Strukturwandels die Anpassungskraft und -bereitschaft der Branche übersteigt. Im Fokus steht vor allem die Herstellung des Antriebsstranges, die in Deutschland momentan rund 250.000 Menschen Beschäftigung gibt. Wie stark sich die Energiewende im Verkehr auf diese Arbeitsplätze auswirken wird, ist noch ungewiss und hängt auch davon ab, ob, wie schnell und durch welche alternativen Antriebstechnologien der Verbrennungsmotor ersetzt wird. Fest steht bislang nur, dass die Herstellung des elektrischen Antriebsstranges weniger arbeitsintensiv ist als die Produktion von Verbrennungsmotoren, Getrieben und Abgassystemen. Je früher und je stärker Fahrzeuge ohne verbrennungsmotorische Komponenten im Antriebsstrang sich durchsetzen, desto größer könnten auch die Beschäftigungswirkungen sein.

Es erscheint allerdings plausibel, dass die Beschäftigungseffekte eines geordneten Wandels hin zur Elektromobilität überschaubarer wären als jene, die entstehen, wenn die Autoindustrie den Anschluss an die internationalen Verkehrswendetrends verpasst. Diese Trends sind schon heute auf wichtigen Absatzmärkten zu beobachten, vor allem auf dem chinesischen. Das größte Risiko für die Arbeitsplätze ist deshalb ein Festhalten am Status quo.

Der technologische Wandel in Richtung Elektromobilität trifft in besonderem Maße die Mineralölwirtschaft, die bereits früher als erwartet vom Erfolg batterieelektrischer Fahrzeuge in Mitleidenschaft gezogen werden könnte. Zwar werden neue Arbeitsplätze 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 herkömmlichen Fahrzeugverkauf einschließlich Wartung und Ersatzteilverkauf generiert wird. 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.

Die gesamtwirtschaftlichen Effekte der Verkehrswende sind noch von weiteren, heute nur schwer kalkulierbaren Faktoren abhängig. Von großer Bedeutung ist dabei vor allem, wie sich die Gesamtkosten der Mobilität im Zuge der Verkehrswende entwickeln und wie sich Mehr- oder Minderkosten gegenüber dem Status quo auf das private Konsum- und Sparverhalten auswirken.

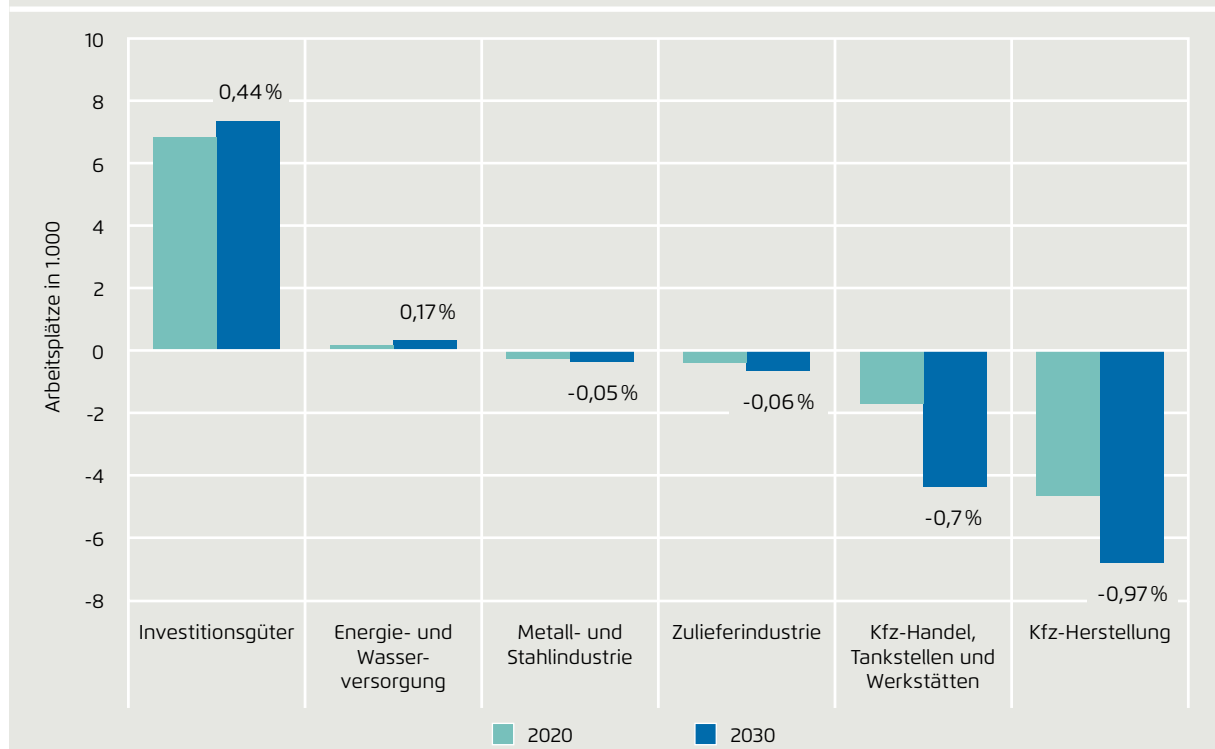
Ob und wie die Automobilindustrie den Herausforderungen des Klimawandels begegnet, hat Konsequenzen auch für den globalen Finanzmarkt. Umgekehrt hat die Wahrnehmung des Klimawandels durch die Finanzmarktakteure Auswirkungen auf die Automobilbranche. Die meisten Finanzanalysten sind bisher auf das zyklische 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.

Immerhin, langsam wächst die Zahl jener Finanzmarktakteure, die sensibel für die potenziellen Risiken des Klimawandels und der Klimapolitik sind. 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 wertlosen Wertpapieren sitzen bleiben wollen. Das Risiko solch drohender Wertverluste dürfte mit fortschreitender CO₂-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, deren Geschäft maßgeblich auf der Nutzung fossiler Energien aufbaut. Die Automobilindustrie ist in dieser Hinsicht ein besonders exponierter Sektor. Je länger einzelne Hersteller oder die Branche am fossilen Geschäftsmodell festhalten, desto verletzbarer sind sie durch die Anlagestrategien institutioneller Investoren.

Beschäftigungseffekte der Energiewende im Verkehr *

Abbildung 12



Ulrich, P.; Lehr, U.: Economic effects of E-mobility scenarios, Ecomod 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)

Der gesellschaftliche Nutzen der Verkehrswende wird zu ihrem Treiber.

In den vergangenen Jahrzehnten wurden viele Maßnahmen mit dem Ziel ergriffen, das Verkehrssystem zum Nutzen der Gesellschaft aus- und umzubauen. Die gesellschaftlich unerwünschten Folgen des Verkehrs sind dennoch nicht im erhofften Ausmaß gesunken: Mehr als die Hälfte der deutschen Bevölkerung fühlt sich vom Straßenverkehrslärm gestört oder belästigt. Die Emissionen des Straßenverkehrs führen vielerorts zu Schadstoffkonzentrationen jenseits gesetzlich vorgeschriebener Grenzwerte. Verkehrswege stellen für viele Pflanzen- und Tierarten in wachsendem Umfang Barrieren dar. Und im Jahr 2015 hat es mehr Verkehrsunfälle gegeben als jemals zuvor in der Geschichte der Bundesrepublik Deutschland.

Aktuell steht der Verkehrssektor zusätzlich auf dem Prüfstand, weil er im vergangenen Vierteljahrhundert keinen Beitrag dazu geleistet hat, Deutschlands Treibhausgasemissionen zu senken und die Klimaschutzziele zu erreichen. 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. Das schmälert die Akzeptanz der Klimaschutzpolitik.

Tatsächlich aber stiftet die Klimaschutzpolitik auch jenseits des reinen Klimaschutzes Nutzen, der individuell und sozial schon kurzfristig wahrnehmbar ist und in wachsendem Maße zu einer Triebkraft der Verkehrswende wird. Diese wiederum ist auch mehr als ein Verkehrs- oder Klimaschutzprojekt: Sie leistet zum Beispiel einen Beitrag zur Gesundheitspolitik, denn emissionsarme Fahrzeuge tragen zur Verbesserung der Luftqualität bei und verursachen weniger Lärm und Stress. Weniger Gestank, weniger Lärm und mehr Verkehrssicherheit auf Straßen, Plätzen und in Wohnquartieren sorgen für eine bessere Aufenthaltsqualität und wirken sich positiv auf die Teilhabe der Zivilgesellschaft am städtischen Leben

aus. Darüber hinaus entlastet die multimodale Mobilität, weil sie einen Verzicht auf den eigenen Pkw ermöglicht, den Einzelnen von den extrem hohen Fixkosten des Pkw-Besitzes und der Fahrzeugwartung.

Die Logik spricht dafür, dass der jenseits des Klimaschutzes entstehende Nutzen der Verkehrswende ihre Chancen auf gesellschaftliche Akzeptanz steigert. Schließlich manifestiert sich ihr Mehrwert bei vielen gesellschaftlichen Akteuren – beim Staat, bei den Kommunen, bei der Wirtschaft und schließlich bei jedem Einzelnen, weil Mobilität stressfreier, ungefährlicher und gesünder wird.

Akzeptanz lässt sich allerdings weder verordnen noch durch Überredung erzeugen. Sie ist durch aufgeklärten, rationalen Diskurs zu erarbeiten, und zwar von der ganzen Gesellschaft.

Die Herausforderungen des Klimaschutzes zu stemmen ist ein Gemeinschaftswerk: Mehr noch als für die Wende im Stromsektor gilt dies für die Verkehrswende, die Alltagsroutinen von Millionen Menschen betrifft. Dieser Prozess bedarf der Organisation – auf nationaler, aber auch auf kommunaler und europäischer Ebene.

Die Verkehrswende beschreibt einen Transformationsprozess, der mehrere Jahrzehnte in Anspruch nehmen wird. Dafür braucht es einen verlässlichen Rahmen, der nicht nach jeder Wahl grundsätzlich neu zur Debatte steht. Stop-and-go wäre Gift für die Wirtschaft, die langfristig tragfähige Investitionsentscheidungen nur auf der Basis kalkulierbarer Rahmenbedingungen treffen kann. Deshalb sollte die Politik mit hoher Priorität und großer Verbindlichkeit erklären, wohin die Reise geht.

Die nach der Fukushima-Katastrophe eingesetzte „Ethik-Kommission Sichere Energieversorgung“ empfahl ein Nationales Forum Energiewende; seine Einrichtung steht bis heute aus. Dieses Versäumnis nachzuholen würde auch der Verkehrswende einen nicht zu überschätzenden Impuls verleihen.

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

