



IW-Gutachten CO₂-Vermeidung im Straßenverkehr

Optionen, Kosten, Verteilungswirkungen

Frank Obermüller, Thomas Puls, Thilo Schaefer

Auftraggeber: BP Europa SE
Köln, 31.1.2019

Kontaktdaten Ansprechpartner

Dr. Thilo Schaefer
+49 (0)221 / 4981 - 791
thilo.schaefer@iwkoeln.de

Institut der deutschen Wirtschaft Köln
Postfach 10 19 42
50459 Köln

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Einleitung	4
2 Bedeutung des Straßenverkehrs	5
2.1 Güterverkehr	5
2.2 Personenverkehr	10
2.3 Steuereinnahmen und deren Verwendung	13
2.4 Mobilitätsalternativen zum Straßenverkehr und Verlagerungspotenzial	16
3 Emissionsvermeidung im Verkehr	19
3.1 Optionen zur Emissionsreduktion im Straßenverkehr	20
3.1.1 Höhere Effizienz	21
3.1.2 Antriebswechsel	22
3.1.3 Alternative Kraftstoffe	24
3.1.4 Verlagerung	26
3.2 Instrumente und deren Wirkungen	26
3.2.1 Regulierung von Flottengrenzwerten	29
3.2.2 Förderung batterieelektrischer Fahrzeuge	36
3.2.3 Beimischung alternativer Kraftstoffe	41
3.2.4 Bepreisung der Emissionen	44
3.3 Vergleich der Instrumente	52
4 Fazit	55
Literatur	56
Tabellenverzeichnis	59
Abbildungsverzeichnis	60

Zusammenfassung

Die Europäische Kommission hat neue Flottengrenzwerte für die Emissionen von neuen Pkw für das Jahr 2030 beschlossen. Gegenüber dem Wert von 95 gCO₂, der bis 2021 erreicht werden muss, sinkt der Flottengrenzwert bis 2030 um 37,5 Prozent, was im heutigen Fahrzyklus 59 gCO₂ bedeutet. Dieser Wert entspricht einem durchschnittlichen Benzinverbrauch von etwa 2,6 Litern auf 100 km oder 2,2 Litern Diesel. Selbst mit wesentlich effizienteren Verbrennungsmotoren werden diese Werte nicht zu erreichen sein, so dass die Grenzwerte nur durch einen deutlich höheren Anteil elektrifizierter Fahrzeuge eingehalten werden können. Sowohl effizientere als auch elektrische Fahrzeuge bedeuten höhere Anschaffungskosten, die bei absehbaren Preisentwicklungen nicht durch Einsparungen beim Kraftstoffverbrauch kompensiert werden können. Bei Kleinwagen mit geringer Fahrleistung sind die Kosten höherer Effizienz pro Kilometer am größten. Der Kauf eines Elektroautos amortisiert sich am schnellsten bei hohen Kilometerleistungen und Zugriff auf eine private Lademöglichkeit. Angesichts ihrer begrenzten Reichweite und den langen Ladezeiten sind batterieelektrische Fahrzeuge jedoch gerade für Viel- und Langstreckenfahrer unattraktiv. Zudem bedeuten mehr Elektrofahrzeuge weniger Steuereinnahmen für den Staat, während gleichzeitig massive öffentliche Investitionen in den Aufbau einer Ladeinfrastruktur notwendig werden.

Als Optionen zur Vermeidung von CO₂-Emissionen im Straßenverkehr kommen neben höherer Effizienz und einem Antriebswechsel klimaneutrale Kraftstoffe oder die Verlagerung auf andere Verkehrsträger infrage. Die Beimischung emissionsarmer Kraftstoffe hat einen doppelten Reduktionseffekt: Aufgrund des höheren Preises der Kraftstoffe wird nicht nur weniger, sondern auch mit geringeren Emissionen gefahren. In Deutschland werden zusätzlich Anreizinstrumente wie eine CO₂-basierte Maut oder Steuer im Straßenverkehr diskutiert, um die Nutzer zur Vermeidung von Emissionen zu bewegen. Dabei ist zu beachten, dass die Vermeidungskosten im Verkehrssektor bedeutend höher liegen als in anderen Sektoren.

Da fast drei Viertel der Güter auf der Straße transportiert werden, steigen die Preise für transportintensive Produkte. Für die Haushalte kommen höhere Kosten der eigenen Mobilität hinzu. Insbesondere einkommensschwache Haushalte müssen dadurch einen deutlich höheren Anteil ihres Einkommens für Verkehr ausgeben oder ihre Mobilität einschränken. Die untere Hälfte der Einkommensverteilung verfügt im Durchschnitt über genau ein Auto für alle Anforderungen, also sowohl berufsbedingte, als auch private Fahrten in unterschiedlichen Distanzen. Beim Wechsel auf ein batterieelektrisches Fahrzeug würden nicht nur die höheren Anschaffungskosten, sondern auch die Nachteile der begrenzten Reichweite und der langen Ladezeiten voll durchschlagen. Preisinstrumente treffen in erster Linie Pendler, die ihre Fahrten nicht ohne weiteres reduzieren können. Eine Pkw-Maut von 9 Cent pro Kilometer würde durchschnittlich 1500 Euro Mehrkosten pro Autofahrer-Haushalt und Jahr verursachen. Eine zusätzliche CO₂-Steuer von 340 bis 370 Euro pro Tonne CO₂ (Benzin/Diesel) würde für den durchschnittlichen Haushalt mit mindestens einem Pkw jährliche Mehrkosten in Höhe von 950 (Benzin) bis 1650 (Diesel) Euro bedeuten. Eine CO₂-basierte Maut oder Steuer wirkt dabei regressiv, betrifft also Autofahrer, die für ein geringes Gehalt arbeiten, am stärksten.

1 Einleitung

Diese Studie zeigt die volkswirtschaftliche Bedeutung des Straßenverkehrs für die gewerbliche Wirtschaft und für private Verkehrsteilnehmer. Eine Verteuerung des Straßenverkehrs durch klimapolitisch motivierte Maßnahmen führt demnach zu Einschränkungen für die Nutzer. Wenn die Kosten des Straßenverkehrs steigen, werden Transporte und Fahrten reduziert – mit weitreichenden volkswirtschaftlichen Folgen.

Kapitel 2 zeigt in einer Bestandsaufnahme die volkswirtschaftliche Bedeutung des Straßenverkehrs für den Gütertransport und den Personenverkehr. Es wird die Relevanz des Güterverkehrs für die deutsche Wirtschaft verdeutlicht und die Hemmnisse von Kapazitätsengpässen dargestellt. Auch im Personenverkehr ist die Straße dominierend und gerade für untere Einkommenschichten ein relevanter Kostenfaktor. Damit birgt eine Verteuerung die Gefahr von Mobilitäts Einschränkungen. Zusätzlich werden in diesem Kapitel die Steuereinnahmen und deren Verwendung dargestellt. Der Straßenverkehr generiert mithilfe mehrerer Instrumente wie Steuern und Maut maßgebliche Einnahmen für den Staat, die nur zu einem Teil in die Instandhaltung und den Ausbau der Infrastruktur zurückfließen. Abschließend werden Mobilitätsalternativen diskutiert, die aber ergänzend wirken anstatt zu konkurrieren.

In Kapitel 3 werden mögliche Optionen zur Reduktion von CO₂-Emissionen im Straßenverkehr vorgestellt und diskutiert. Reduktionsziele für den Straßenverkehr werden sowohl auf europäischer als auch auf deutscher Ebene festgelegt. Die Regulierung von Flottengrenzwerten für die Emissionen von neuen Pkw wird auf europäischer Ebene bereits als CO₂-Minderungsinstrument angewandt. Weitere Instrumente zur Bepreisung von Emissionen oder Fahrleistungen, zur Beimischung alternativer Kraftstoffe oder Förderung von Elektromobilität werden im Hinblick auf die Reduktionsziele diskutiert. Die Instrumente sorgen auf unterschiedliche Weise für höhere Kosten bei den Nutzern. Die Auswirkungen konkreter Umsetzungsvorschläge für gewerbliche und private Nutzer sind Gegenstand einer quantitativen Analyse, mit deren Hilfe die in der Diskussion befindlichen Instrumente verglichen werden können. Im Vordergrund des Vergleichs stehen insbesondere die drei Größen Vermeidungspotenzial von Emissionen, nutzerseitige Vermeidungskosten und der Effekt auf die Steuereinnahmen.

2 Bedeutung des Straßenverkehrs

Dieses Kapitel zeigt die Bedeutung des Verkehrs und insbesondere des Straßenverkehrs sowohl für den gewerblichen als auch für den privaten Verkehr. Der Straßenverkehr trägt die Hauptlast bei der Raumüberwindung von Gütern und Personen. Damit sichert der Straßenverkehr die Erreichbarkeit von Regionen in ganz Europa und ermöglicht das arbeitsteilige Wirtschaften. Dies zeigt die folgende Bestandsaufnahme der Bedeutung des Straßenverkehrs für die gewerbliche Wirtschaft sowie für private Fahrten. Engpässe im Verkehr führen zu hohen volkswirtschaftlichen Kosten. Gleichzeitig tragen Steuer- und Mauteinnahmen aus dem Straßenverkehr in erheblichem Umfang zur Staatsfinanzierung bei. Auf absehbare Zeit bleibt der Straßenverkehr voraussichtlich dominierend und wird durch Mobilitätsalternativen eher ergänzt anstatt mit ihnen zu konkurrieren.

2.1 Güterverkehr

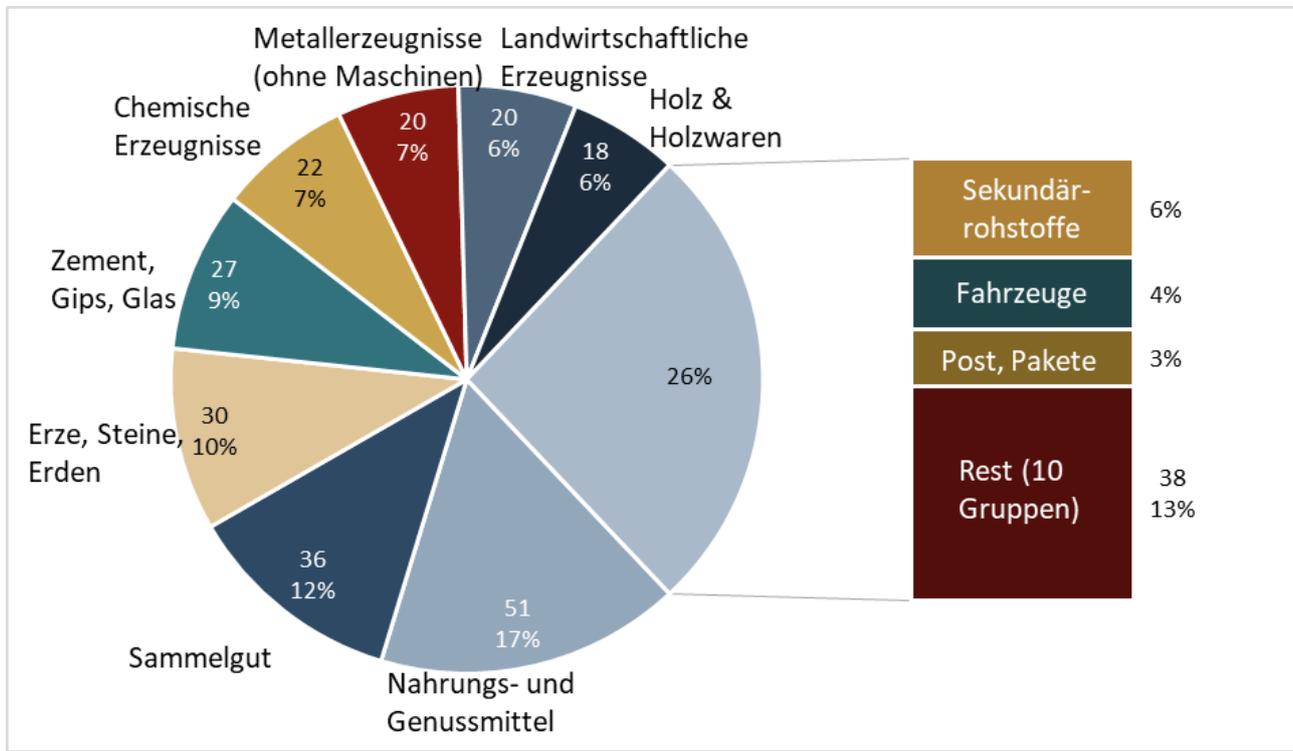
Der Gütertransport auf Lkws hat auf deutscher und europäischer Ebene einen Anteil von über 70 Prozent am gesamten Güterverkehr. Alle gängigen Verkehrsprognosen sehen bis 2030 keine Änderung an dieser Gesamtsituation voraus. Der Güterverkehr wird weiter voraussichtlich rasant steigen: im europäischen Straßengüterverkehr bis 2030 um 23 Prozent gegenüber 2010; in Deutschland im gleichen Zeitraum sogar um 27 Prozent (Prognos, 2017). Obwohl für den Schienengütertransport ein noch stärkeres Wachstum erwartet wird, steigen seine Marktanteile gegenüber dem Straßengüterverkehr kaum an. Es ist aber zu erwarten, dass beide Verkehrsträger an ihre Kapazitätsgrenzen stoßen werden. Diese Entwicklungen im europäischen Güterverkehr werden auch auf Deutschland abstrahlen, da Deutschland das logistische Herz Europas ist und die wichtigen Routen des Seehafenhinterlandverkehrs durch das Land laufen. Da die Vertiefung des Binnenmarktes nach wie vor ein zentrales Anliegen der Europäischen Union (EU) ist, sind von hier weitere Wachstumsimpulse für den Verkehr und damit auch für die Emissionen zu erwarten.

Die Verkehrsmengen und auch die insgesamt zurückgelegten Entfernungen wachsen innerhalb Europas infolge der zunehmenden wirtschaftlichen Verflechtungen. Gemessen am Verkehrsaufkommen, also an der transportierten Masse, liegt der Anteil des Lkw in Deutschland sogar bei 84 Prozent. Diese Relation liefert bereits einen wichtigen Hinweis auf die Hauptrolle des Lkw im System des Güterverkehrs: Der Feinverteilung auf der kurzen Strecke. Supermärkte, Baufirmen und Handwerker sind die wichtigsten Anwender von Nutzfahrzeugen in den verschiedensten Ausprägungen.

Gemessen an der bewegten Tonnage spielen in Deutschland bauaffine Güter wie Steine, Bauschutt oder Baustoffe den Straßengüterverkehr die größte Rolle. Sie erreichen einen Marktanteil von mehr als 40 Prozent. Das Bild verschiebt sich aber, wenn man die Transportweite mit berücksichtigt, also die Verkehrsleistung betrachtet.

Abbildung 2-1: Was in Deutschland transportiert wird

Straßengüterverkehrsleistung in Milliarden Tonnenkilometern und Prozent nach Gütergruppen im Jahr 2017



Quelle: Eurostat, 2018

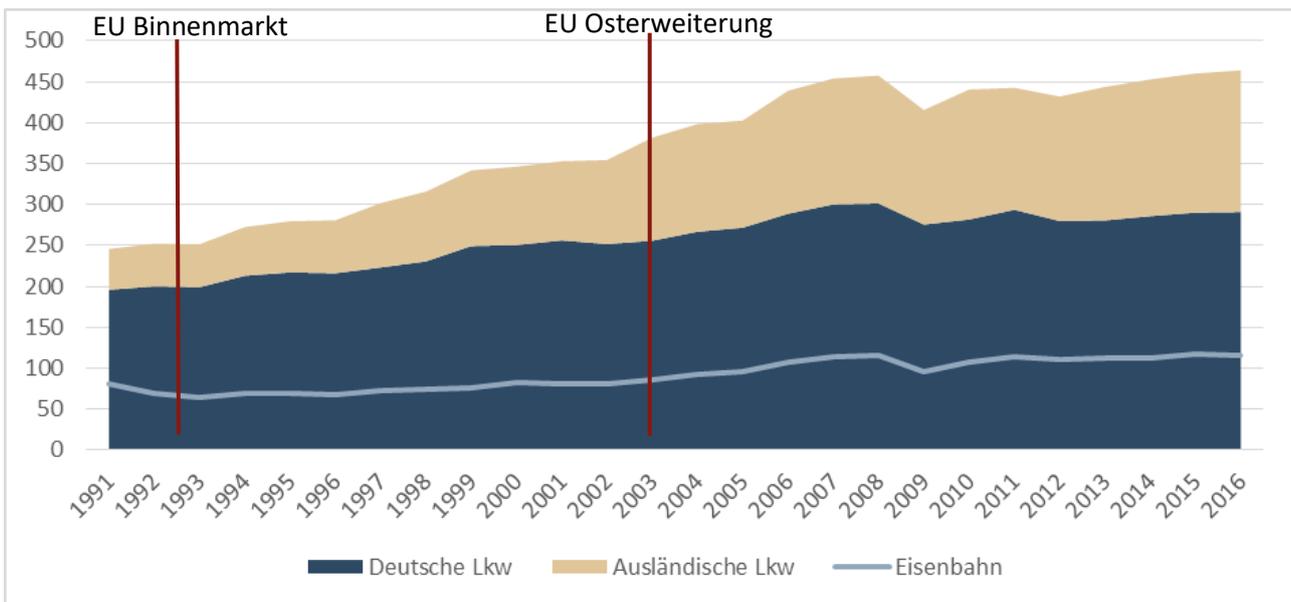
Bei den „bauaffinen Gütergruppen“ handelt es sich in der Regel um Kurzstreckentransporte, denn die durchschnittliche Transportweite „Erze, Steine, Erden“ beträgt nur etwa 33 Kilometer. Dies legt den Schluss nahe, dass diese Transporte nicht auf andere Verkehrsträger verlagert werden können (siehe separaten Abschnitt zu Verlagerungseffekten). Viele der Lkw auf den Fernstraßen transportieren Nahrungsmittel in die Ballungsgebiete. Industriegüter werden seltener in der Region gehandelt und verbraucht. Insgesamt betrachtet fallen erhebliche Teile des Lkw-Verkehrs in der Feinverteilung und bei der Versorgung der wachsenden Städte an, weshalb die durchschnittliche Transportweite einer Tonne Fracht im gesamten Lkw-Verkehr auch bei lediglich 96 Kilometern liegt. Seit gut einem Jahrzehnt ist eine deutliche Verschiebung des Straßengütertransportaufkommens hin zu „bauaffinen“ Transporten und kleinteiligen Sendungen zu beobachten.

Die Güterverkehrsleistung hat sich sehr dynamisch entwickelt. Gemessen am Basisjahr 1991 steht hier ein Zuwachs von fast 90 Prozent im Raum. Die Transportweiten sind deutlich gestiegen, was nicht zuletzt auf den Einfluss der europäischen Nachbarstaaten zurückzuführen ist. Seit 1991 ist Deutschland von der Peripherie der EU in das Herz des europäischen Wirtschaftsraums gewandert. Der Fall des Eisernen Vorhangs öffnete für Osteuropa die Möglichkeit, sich wirtschaftlich mit Westeuropa zu verflechten. Die Schaffung des europäischen Binnenmarktes im Jahr 1993 und der Beitritt Österreichs zur EU, sowie die EU-Osterweiterung im Jahr 2004 haben dazu beigetragen, die wirtschaftliche Integration Europas zu fördern. Dies war zwangsläufig mit

zusätzlichen Verkehren verbunden. Deutschland als wichtigstes Transitland war hiervon besonders betroffen. Tatsächlich zeigen die Daten zur Verkehrsleistung die Folgen dieser wirtschaftspolitischen Entscheidungen sehr deutlich (Abbildung 2-2). Vor allem ausländische Lkw haben zum Wachstum der Verkehrsleistung beigetragen, was den politisch gewünschten zunehmenden Verflechtungsgrad der europäischen Volkswirtschaften widerspiegelt.

Abbildung 2-2: Treiber bei der Verkehrsleistung sind ausländische Lkw

in Milliarden Tonnenkilometern



Quelle: BMVI, 2018a, 244 f.

Neben der politisch gewünschten Verflechtung der Volkswirtschaften gibt es noch weitere zentrale Entwicklungen, die Einfluss auf den Straßengüterverkehr genommen haben. Zu nennen sind der Güterstruktureffekt (mehr leichte verpackte Güter und weniger schwere Güter wie Kohle oder Papier), die wachsende Bedeutung des Onlinehandels mit einer deutlichen Zunahme von kleinteiligen Paketlieferungen unter Nutzung leichter Nutzfahrzeuge, sowie eine bessere Auslastung dank Transportbörsen und digitaler Steuerung. Allerdings führte der Konjunkturerbruch um 2008 zu einer vorübergehend schlechteren Auslastung der Fahrzeuge, da Rückfrachten schwerer zu organisieren waren.

Kapazitätsgrenze in deutschen Verkehrssystemen könnte Wirtschaftsleistung dämpfen

Tatsächlich operieren die deutschen Verkehrssysteme heute Nahe an der Kapazitätsgrenze. Limitierende Faktoren sind dabei Infrastrukturkapazitäten und fehlende Lkw-/Lok-Fahrer (Puls, 2018). Ersteres wird inzwischen durch steigende Investitionslinien angegangen, was aber zunächst einmal zu mehr Baustellen und damit auch zu mehr Staus führt. Fehlende Kapazitäten in den für die Planung von Verkehrsinvestitionen zuständigen Behörden werden diese Investitionsphase aber unnötig verlängern. Für das zweite Problem zeichnet sich aktuell keine Lösung ab. Der Fahrermangel – in Kombination mit einer massiven Überalterung der vorhandenen Fahrer und Lokführer – hat das Potenzial, die deutsche Konjunktur spürbar auszubremsen. Ob

Straße, Schiene, Binnenschiff oder Luftfracht, alle Verkehrsträger haben derzeit mit Problemen bei Verlässlichkeit und Transportkapazitäten zu kämpfen.

In einer arbeitsteiligen Wirtschaft ist die Planbarkeit von Lieferungen aber elementar und tatsächlich sehen sich immer mehr Unternehmen in ihrer Geschäftstätigkeit durch Mängel in den Transportsystemen beeinträchtigt. Dies betrifft vor allem den Straßenverkehr, der von beinahe jedem Unternehmen genutzt wird. In einer Umfrage des Instituts der deutschen Wirtschaft (IW) vom Frühjahr 2018 (Grömling/Puls, 2018) zeigt sich eine deutliche Verschärfung der Problemlage. Gut 68 Prozent der etwa 2.500 teilnehmenden Unternehmen gaben an, dass ihre aktuellen Geschäftsabläufe von Mängeln im Straßenverkehr beeinträchtigt werden.

Die hohe Bedeutung des Verkehrs für die Wirtschaft zeigt sich deutlich, wenn es zu Störungen kommt, beispielsweise durch Sperrungen, Streiks oder auch durch politische Eingriffe. Anhand derartiger Vorfälle lässt sich der volkswirtschaftliche Schaden in etwa quantifizieren. Ein prominentes Beispiel hierfür ist die Sperrung der Rheinbrücke in Leverkusen für Lkw. Allein durch den Ausfall einer einzelnen Brücke wurden volkswirtschaftliche Schäden im Volumen von 1,2 bis 2,6 Millionen Euro pro Tag geschätzt (Schulz/Mainka, 2013). Demnach ist davon auszugehen, dass seit Dezember 2012 ein volkswirtschaftlicher Schaden in Milliardenhöhe entstanden ist. Ein anderes recht gut untersuchtes Beispiel ist die Sperrung des Schienenwegs zwischen Rotterdam und Basel aufgrund des Einsturzes bei Rastatt im Jahr 2017. Im Lauf der knapp zweimonatigen Sperrung wurden kumulierte Einbußen im Wert von 2,05 Milliarden Euro ermittelt (Ninmann/Rössler, 2018). Diese Kosten entstanden durch Störungen der Verkehrsströme, die teilweise umgelenkt wurden, teilweise ausfielen und in jedem Fall verteuert wurden.

Aktuell werden die Folgen von Störungen intensiv im Rahmen des Brexit diskutiert. Zwar gibt es bislang kaum Schätzungen über konkrete Kosten, doch erwartet werden immense wirtschaftlichen Folgen, die aus Verzögerung und damit Verteuerung der Transporte entstehen. Steigende Transportkosten oder ordnungsrechtliche Eingriffe schränken das Interaktionspotenzial ein. Der Zugang zu Beschaffungs- und Absatzmärkten wird erschwert, Lerneffekte durch erhöhte Konkurrenz eingeschränkt. Bereits eine zweiminütige Verzögerung durch Zollformalitäten würde nach heutigen Schätzungen (CLECAT, 2018) zu Staus von 27 Kilometern Länge führen. Britische Industrieunternehmen rechnen daher mit mehrtägigen Verzögerungen in ihren Lieferketten.

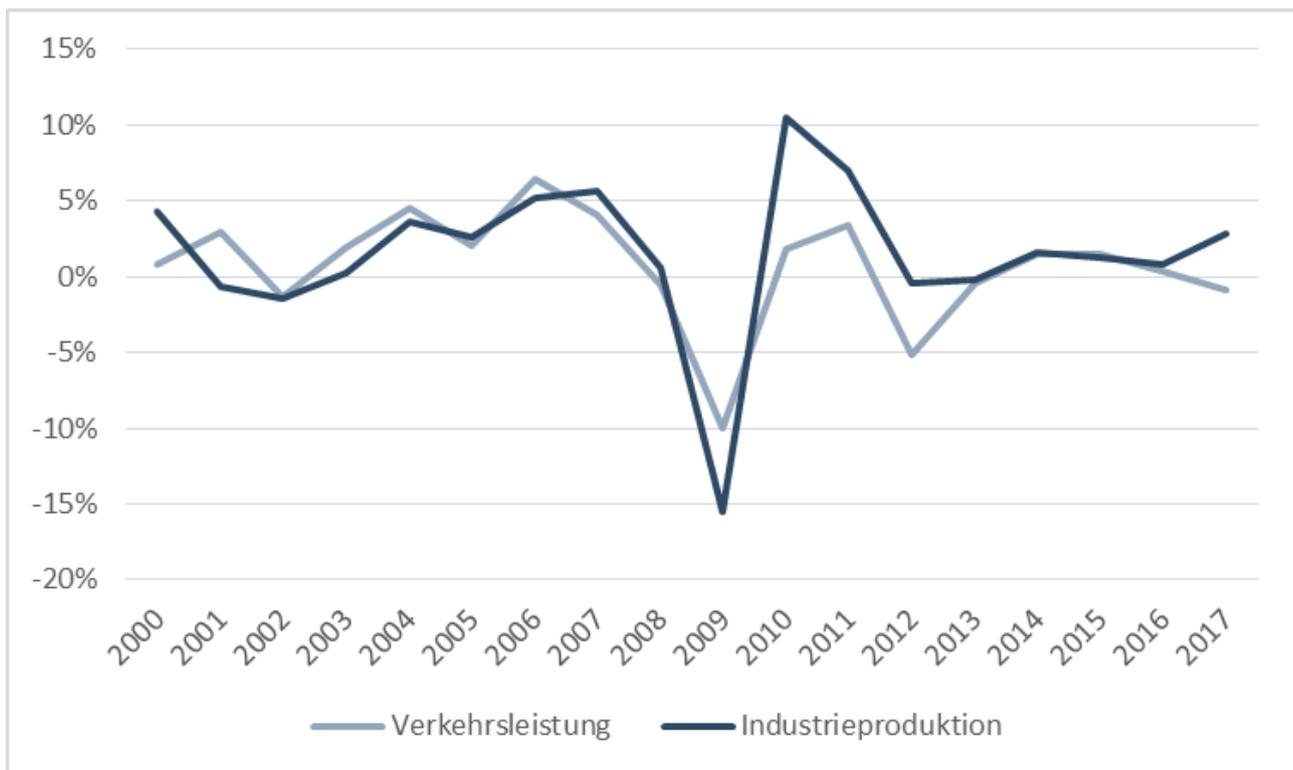
Deutsche Wirtschaft ist stark abhängig vom Straßengüterverkehr

Der Straßengüterverkehr steht in enger Wechselbeziehung mit der allgemeinen volkswirtschaftlichen Entwicklung, denn erst die räumliche Bewegung ermöglicht die Interaktion der Wirtschaftssubjekte. Dies wird deutlich durch die zuvor diskutierten Einflüsse, Auswirkungen und Verflechtungen. Im Wesentlichen ist der Straßengüterverkehr eine abgeleitete Größe der wirtschaftlichen Aktivität im Land. Die bereits diskutierten Auswirkungen von Bauboom und europäischer Integration zeigen diesen Zusammenhang sehr deutlich auf. Auch wirken sich die Bedingungen im Verkehr auf die allgemeine wirtschaftliche Entwicklung aus. Die Marktöffnung der frühen 1990er Jahre ist hierfür ein Beispiel, aber auch die sich aktuell verschärfenden Kapazitätsengpässe im Lkw- und Bahnverkehr wirken sich auf die Konjunktur aus. Konsequenterweise

hat das Statistische Bundesamt den Lkw-Maut Fahrleistungsindex im Jahr 2018 auch als Konjunkturindikator etabliert. Denn wenn die Industrieproduktion wächst, zieht das auch ein Wachstum der Verkehrsleistung nach sich (Abbildung 2-3). Gleichzeitig gilt, dass industrielles Wachstum gebremst wird, wenn die Verkehrsleistung nicht wachsen kann. Da Verkehrsmenge und Wachstum eng verbunden sind, spielt die Effizienz der Verkehrsabwicklung eine große Rolle. Ausdruck findet dieser Zusammenhang in der sogenannten Transportintensität. Diese Kennzahl gibt an, wie viel verkehrliche Leistung erforderlich ist, um eine Einheit Bruttoinlandsprodukt (BIP) zu erzeugen. Wenn keine Entkopplung zwischen BIP-Wachstum und erforderlichem Verkehr gelingt, ist absehbar, dass verkehrliche Kapazitätsengpässe das Wachstum ausbremsen werden, was zulasten des Wohlstands in Deutschland gehen würde. Zudem spricht vieles dafür, dass auch die Klimaziele von Bundesregierung und EU nur dann erreichbar sind, wenn entweder dieser Entkopplungsschritt gelingt oder das Wachstum gebremst wird.

Abbildung 2-3: Wachstum von Industrie und Verkehr im Gleichklang

Veränderung im Vorjahr in Prozent; Verkehrsleistung in Tonnenkilometern, Industrieproduktion in Euro



Quelle: Eurostat, 2018

Eine Annäherung an die Bedeutung des Verkehrs kann auch ein Blick auf den Außenhandel geben, der in Deutschland eine zentrale Rolle für den Wohlstand spielt. So passierten allein im Jahr 2017 Güter im Wert von 1,3 Billionen Euro die deutschen Grenzen per Lkw – zum Vergleich: Das deutsche Bruttoinlandsprodukt betrug in diesem Jahr knapp 3 Billionen Euro.

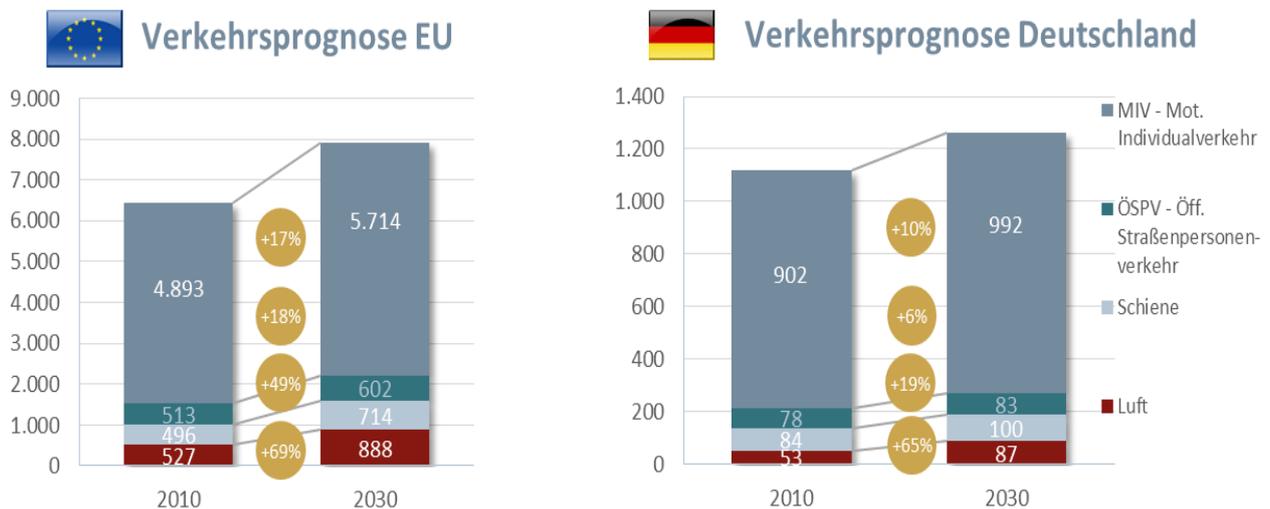
Zusammenfassend kann der Lkw als der „Lastesel“ gesehen werden, der den heutigen Wohlstand ermöglicht. Die ubiquitäre Güterversorgung liegt ebenso auf seinen Achsen wie die Verflechtung von Produktionsstandorten und die damit verbundenen Spezialisierungsgewinne. Eine langsame Entkoppelung von Güterverkehr und Wachstum ist ebenfalls zu beobachten, was für die Zukunftsfähigkeit des Straßengüterverkehrs von hoher Bedeutung ist. Seine gesamtwirtschaftliche Bedeutung ist enorm, insbesondere bestehende Kapazitätsgrenzen können jedoch einen limitierenden Faktor für die wirtschaftliche Entwicklung darstellen.

2.2 Personenverkehr

Auch im Personenverkehr dominiert die Straße. Der Straßenpersonenverkehr von Pkw und Bus hat zusammen einen Marktanteil von über 90 Prozent in der EU. Im Personenverkehr wird mit weiteren Steigerungen der Verkehrsleistung bis 2030 zu rechnen sein. Auch hier ist davon auszugehen, dass der Straßenverkehr bis 2030 mehr absolute Personenkilometer zulegen wird als die Bahn dann insgesamt in Europa leisten wird (Abbildung 2-4). Der Schwerpunkt des erwarteten Wachstums liegt in den osteuropäischen Beitrittsländern und ist auf eine Verhaltensangleichung zurückzuführen. Dort steigen die Pkw-Bestände und die jährlichen Fahrleistungen gleichen sich dem westeuropäischen Niveau an.

Abbildung 2-4: Straße bleibt im Personenverkehr dominant

Angaben in Milliarden Personenkilometern



Quellen: EU-Kommission, 2013; BMVI, 2013

Insgesamt ist festzustellen, dass sich der Personenverkehr in Deutschland bedingt durch die Urbanisierung räumlich immer stärker konzentriert, wie eine aktuelle Erhebung im Auftrag des Bundes zeigt (BMVI, 2018b). Vor allem in den wenigen Metropolregionen wächst der Verkehr drastisch. Die ländlichen Regionen wiesen hingegen zwischen 2002 und 2008 einen Anstieg auf und verzeichneten 2017 einen sichtbaren Rückgang. Lediglich in den zentralen Städten im ländlichen Raum gab es einen durchgehenden Rückgang. Ganz anders dagegen sieht es im Landkreis München aus, der mit 77,8 Prozent nicht nur den höchsten Einpendleranteil im Bundesgebiet, sondern auch noch einen sehr hohen Besitz an Arbeitsplätzen aufweist. Hier führt der hohe

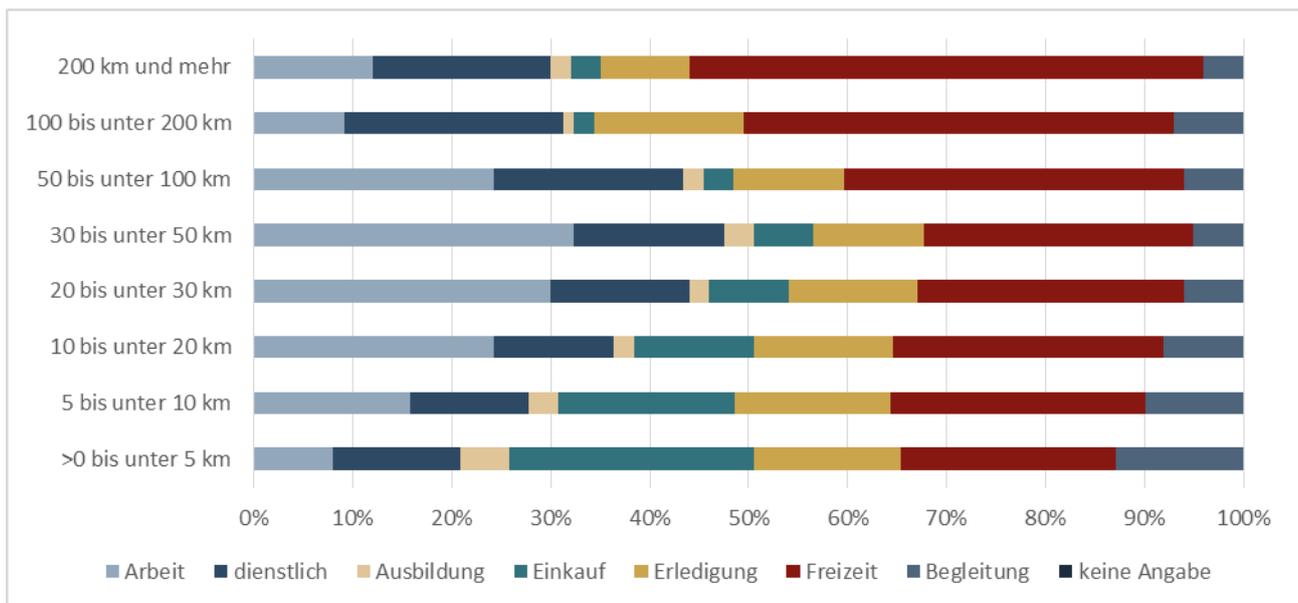
Pendleranteil zu Kapazitätsengpässen bei der Infrastruktur. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch im Rhein-Main-Gebiet, im Rhein-Ruhr-Raum und in Franken. Die hohe Konzentration von Arbeitsplätzen auf vergleichsweise wenige Regionen führt dazu, dass räumlich und zeitlich hochkonzentrierte Verkehre auftreten. Erschwert wird die Lage dadurch, dass auch die Hauptrouten des Seehafenhinterlandverkehrs aus Rotterdam, Antwerpen und Hamburg durch diese Ballungsgebiete laufen. Die Kombination dieser stark gebündelten Verkehre führt zu den bekannten Kapazitätsproblemen in diesen Regionen.

Bei einer tiefer gehenden Analyse des Straßenpersonenverkehrs in Deutschland zeigen sich erhebliche Unterschiede im Mobilitätsverhalten, die sich beispielsweise am Verkehrszweck festmachen lassen, wie Abbildung 2-5 zeigt. Neben dem Pendlerverkehr und dienstlichen Fahrten hat die Kategorie „Freizeit“ einen hohen Anteil bei den Fahrtanlässen. Der Anteil langer Wegstrecken ist bei diesen Fahrten am höchsten (Abbildung 2-5). Das spricht dafür, dass privat genutzte Fahrzeuge häufig sowohl zum Pendeln und für Kurzstreckenfahrten wie beispielsweise zum Einkauf, als auch für längere Wegstrecken wie Urlaubsfahrten genutzt werden.

Der Weg zur Arbeit mit dem Pkw ist ein weiteres gutes Beispiel, um das Einsatzgebiet des Pkw zu illustrieren. Besonders hoch ist der Anteil der Arbeitswege mit dem Pkw in der Entfernungsklasse zwischen 30 und 50 Kilometern. In den Kategorien zwischen 10 und 100 Kilometern .ist der Großteil der Fahrten zur Arbeit, zur Ausbildungsstätte, zum Einkaufen oder dienstlich bedingt und damit kaum vermeidbar.

Abbildung 2-5: Lange Strecken werden für Freizeit und Urlaub gefahren

Wegzwecke und Entfernungen; nur Pkw



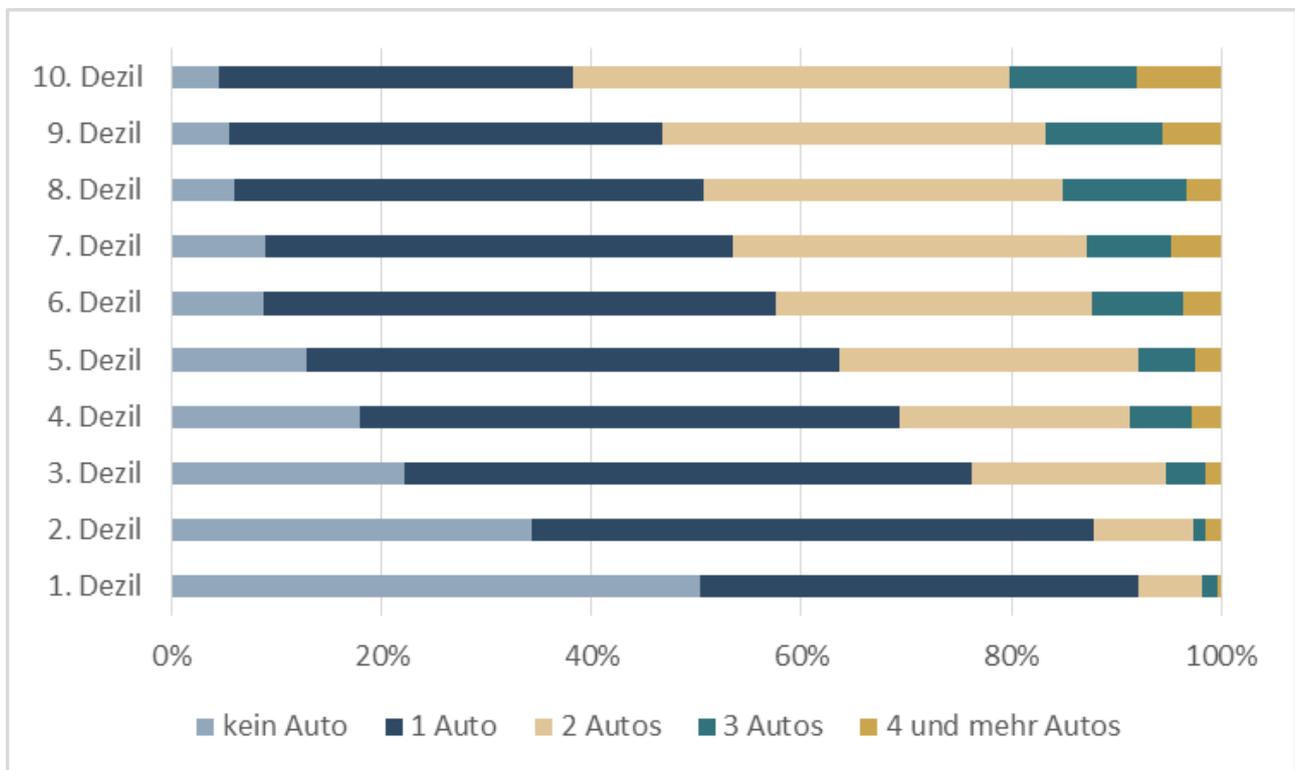
Quelle: BMVi, 2018b

Der ökonomische Status bestimmt die Zahl der Pkw im Haushalt

Das Haushaltsnettoeinkommen ist ein entscheidender Einflussfaktor für die Zahl der Pkw, über die ein Haushalt verfügt. Viele Haushalte mit niedrigen Einkommen haben gar kein oder maximal ein Auto. Erst im oberen Drittel der Einkommensverteilung stehen häufiger 2 oder mehr Fahrzeuge zur Verfügung. Die untere Hälfte der Einkommensverteilung besitzt dagegen im Durchschnitt ein Auto. Dies wird deutlich, wenn die Haushalte nach ihrem Nettoeinkommen geordnet in zehn gleich große Gruppen (Dezile) eingeteilt werden. (Abbildung 2-6).

Abbildung 2-6: Einkommensstärkere Haushalte haben mehr als ein Auto

Anzahl der Autos pro Haushalt; Einteilung der Haushalte nach gewichteten Nettoeinkommensdezilen¹



Quellen: SOEP, Welle 2015; Institut der deutschen Wirtschaft

Fast zwei Drittel der Haushalte verfügt über maximal ein Auto. Neun von zehn Haushalten in der oberen Hälfte der Einkommensskala besitzen mindestens ein Auto. Demnach ist das Haushaltsnettoeinkommen eher für die untere Hälfte der Einkommensverteilung eine bindende Budgetrestriktion.

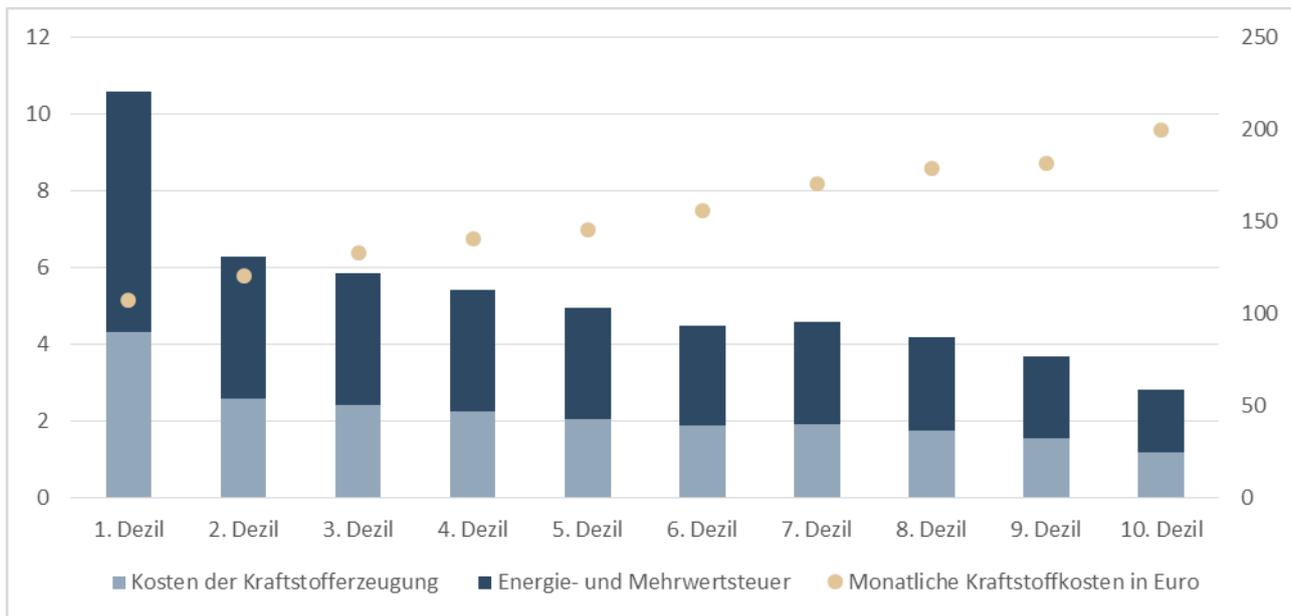
Die Kraftstoffverbräuche der Haushalte mit Pkw unterscheiden sich dagegen vergleichsweise wenig. Die Kosten der einkommensstärkeren Haushalte für Kraftstoffe liegen in vor allem deshalb höher, weil dort häufiger mehr als ein Fahrzeug zum Einsatz kommt. Demnach liegt der

¹ Die Haushalte werden nach ihrem äquivalenzgewichteten Nettoeinkommen geordnet und in zehn gleich große Gruppen (Dezile) eingeteilt. Das 1. Dezil repräsentiert die 10 Prozent der Haushalte mit den niedrigsten Einkommen; das 10. Dezil die 10 Prozent mit den höchsten Einkommen. Die Äquivalenzgewichtung der neuen OECD-Skala ordnet der ersten Person im Haushalt das Gewicht 1 und weiteren Personen im Haushalt, die älter als 14 Jahre sind, das Gewicht 0,5 und jüngeren Personen das Gewicht 0,3 zu.

Anteil des Einkommens, der für Kraftstoffe aufgewendet werden muss bei den Haushalten mit den geringsten Einkommen am höchsten. (Abbildung 2-7). Auch wird ersichtlich, dass mehr als die Hälfte der Kraftstoffkosten in Form von Energie- und Mehrwertsteuer an den Staat und gehen. Haushalte mit geringen Einkommen, die ein Auto in erster Linie für die Fahrt zur Arbeit nutzen, werden angesichts ihres geringen Gehalts kaum Möglichkeiten haben auf Preiserhöhungen zu reagieren.

Abbildung 2-7: Monatliche Kraftstoffkosten für Autobesitzer

Anteil am Nettoeinkommen in Prozent (Säulen, linke Skala); Durchschnittliche Kosten in Euro (Punkte, rechte Skala); Einkommensanteile nach Dezilen (1. Dezil: 10% der Haushalte mit den geringsten Einkommen); nur Autobesitzer



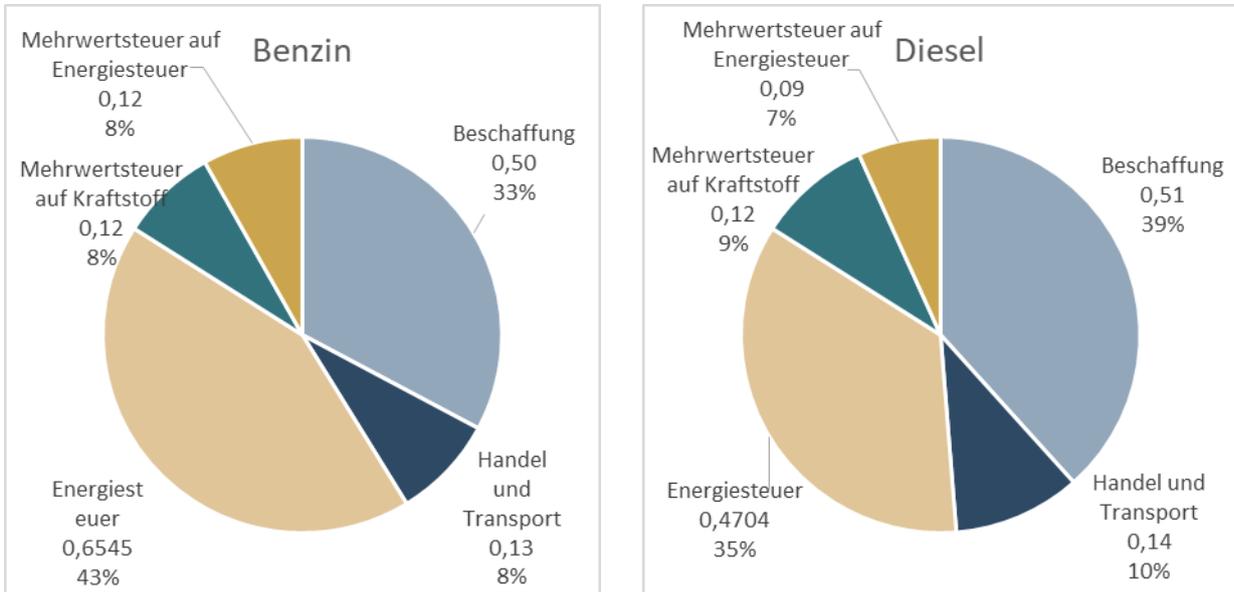
Quelle: SOEP, Welle 2015; Institut der deutschen Wirtschaft

2.3 Steuereinnahmen und deren Verwendung

Der Straßenverkehr stellt eine wichtige Einnahmequelle für den Staat dar. Dabei ist methodisch zwischen den Einnahmen verkehrsspezifischer Steuern und Abgaben sowie allgemeinen Steuern zu unterscheiden. In die erste Kategorie fallen die Einnahmen aus Kraftfahrzeugsteuer, Maut und Energiesteuer auf die Kraftstoffe sowie die Mehrwertsteuer, die auf die Energiesteuer erhoben wird. In die zweite Kategorie fällt die Mehrwertsteuer auf Kraftstoffe. Die Mehrwertsteuereinnahmen aus dem Straßenverkehr lagen zuletzt bei etwa 11 Milliarden Euro. Fast die Hälfte davon stammt aus der Mehrwertsteuer, die auf die Energiesteuerzahlungen anfällt.

Abbildung 2-8: Zusammensetzung der Kraftstoffpreise

Angaben in Euro pro Liter und Prozent (Durchschnittswerte 2015 bis 2018)

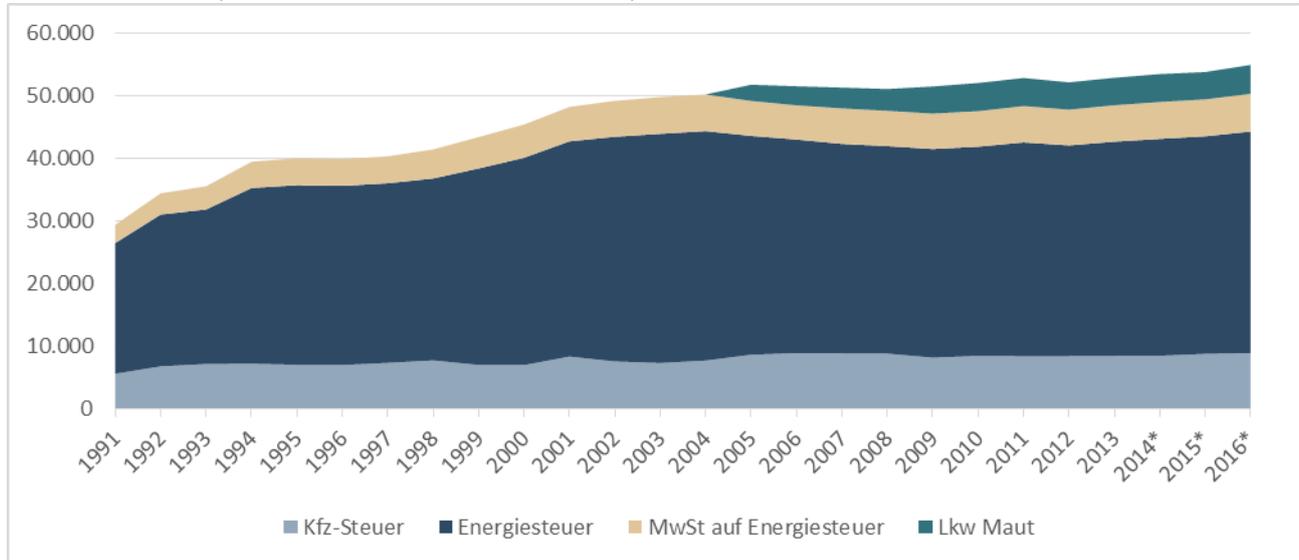


Quelle: MWV; Institut der deutschen Wirtschaft

Betrachtet man die Einnahmen des Bundes aus straßenverkehrsspezifischen Quellen, so zeigt sich, dass der Straßenverkehr für diesen eine sehr wichtige und verlässliche Einnahmequelle ist (Abbildung 2-9). An verkehrsspezifischen Steuern nahm der Bund im Jahr 2016 etwa 44,4 Milliarden Euro ein, was in etwa 44 Prozent des Gesamtaufkommens an reinen Bundessteuern darstellte. Hinzu kommen noch Einnahmen aus der Lkw-Maut, welche das verkehrsspezifische Einkommen des Bundes auf 49 Milliarden Euro pro Jahr erhöht. Und letztlich wird auf den Spritpreis inklusive der Energiesteuer noch die Mehrwertsteuer erhoben. Je nachdem, ob die Mehrwertsteuer mitgezählt wird, stehen dem Staat also Einnahmen zwischen 50 und 60 Milliarden Euro aus dem Straßenverkehr zur Verfügung, wobei die Einnahmen exklusiv dem Bund zufließen. Die anderen Gebietskörperschaften (Länder, Kommunen) partizipieren nur über Bußgelder und Parkgebühren am Steuer- und Abgabenaufkommen des Straßenverkehrs.

Abbildung 2-9: Einnahmen des Bundes aus straßenverkehrsspezifischen Quellen

Steueraufkommen (ohne Mehrwertsteuer auf Kraftstoffe) in Millionen Euro



Quelle: BMVI, 2018a

In Anbetracht der Gesamtausgaben des Bundes von 317 Milliarden Euro in 2016 finanziert der Straßenverkehr also je nach Zählweise bis zu 16 Prozent der Ausgaben des Bundes. Dieser Anteil liegt seit 2009 stabil zwischen 15 und 16 Prozent. Die Steuereinnahmen bewegen sich derzeit nominal wieder auf dem Niveau von 2004, während die Maut für Mehreinnahmen des Bundes sorgt. Die letzte Energiesteuererhöhung fand 2003 statt, weshalb das Steueraufkommen in Deutschland in den letzten zehn Jahren kaum gewachsen ist. Andere Länder der EU haben ihr Steueraufkommen seither deutlich erhöht, was aber nicht unbedingt zu geringeren CO₂-Emissionen aus ihrem Pkw-Verkehr führte.

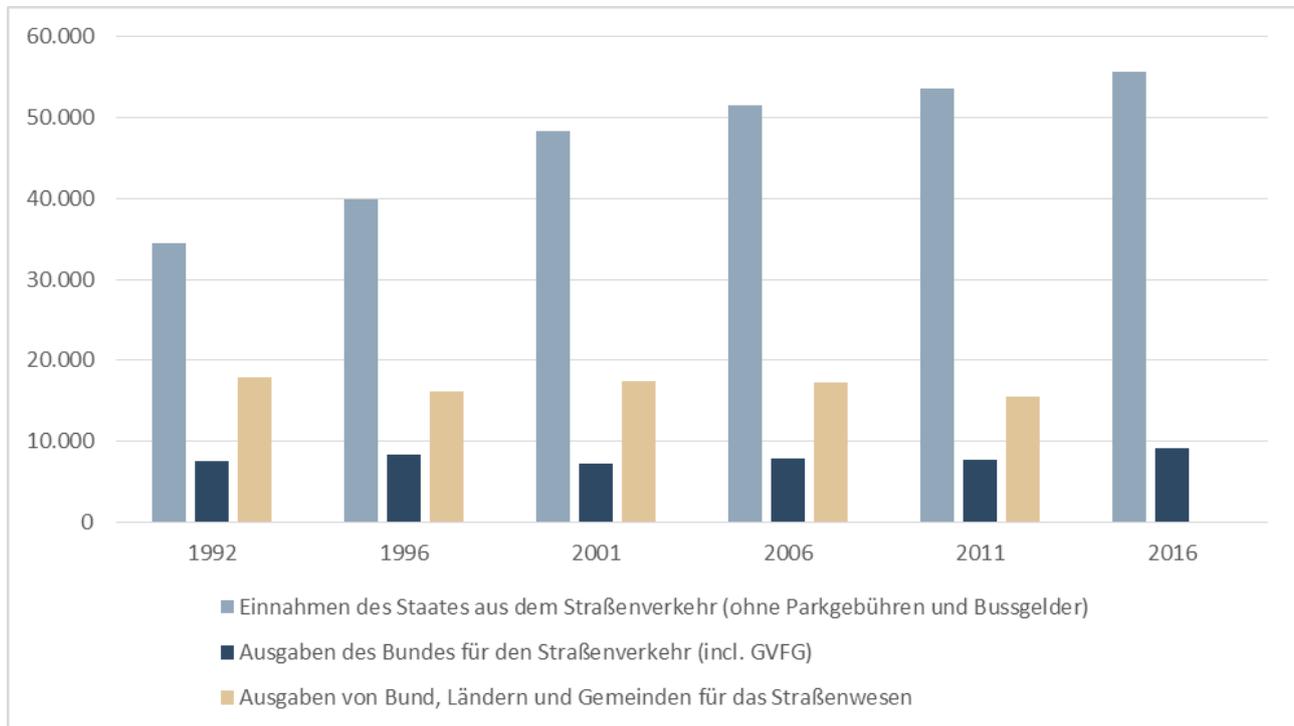
Zu erwähnen ist an dieser Stelle auch, dass Länder und Gemeinden seit der Umwandlung der Kfz-Steuer in eine Bundessteuer nur noch über Bußgelder und Parkgebühren verkehrsspezifische Einnahmen generieren. Nahezu das gesamte Einnahmenvolumen landet demnach beim Bund.

Nur ein Teil der Steuereinnahmen fließt zurück in die Straßenverkehrsinfrastruktur

Von den Einnahmen aus dem Straßenverkehr gibt der Bund aber nur einen kleinen Teil in den Straßenverkehr oder den Straßenverkehr zurück. Im Jahr 2016 betragen die gesamten Ausgaben des Bundes in den Straßenverkehr 9 Milliarden Euro (Abbildung 2-10). Etwas mehr als 7,5 Milliarden Euro wurden für die Bundesfernstraßen (inklusive Verwaltung, Autobahnpolizei) verwendet. Weitere 1,6 Milliarden Euro wurden zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse in Gemeinden (GVFG – Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz) bereitgestellt. Ein Anstieg vom Niveau der Jahre 2014 und 2015 um 1 Milliarde Euro spiegelt den derzeitigen Investitionshochlauf des Bundes, wider, der sich auch 2017 und 2018 fortsetzte.

Abbildung 2-10: Einnahmen und Ausgaben für den Straßenverkehr

Ist-Ausgaben in Millionen Euro nach Verwendung (keine Angabe für alle Gebietskörperschaften in 2016)



Quelle: BMVI, 2018a,

Daten über die Ausgaben aller Gebietskörperschaften (das heißt Bund, Länder, Kreise, Gemeinden) für das Straßenwesen wurden zuletzt für das Jahr 2011 ausgewiesen. Solange die Daten erhoben wurden, schwankten die Ausgaben aller Gebietskörperschaften, also einschließlich des Bundes, zwischen 18 und 20 Milliarden Euro im Jahr. In 2011 standen den gesamten Ausgaben in den Straßenverkehr von 18 bis 20 Milliarden Euro die staatlichen Einnahmen von mindestens 50 Milliarden Euro gegenüber. Es wird deutlich, dass weniger als die Hälfte der verkehrsspezifischen Einnahmen des Staates in die Straße reinvestiert wurde.

Die geringen Investitionen in das Straßennetz der letzten Jahre haben dafür gesorgt, dass ein erheblicher Investitionsstau in allen Gebietskörperschaften aufgelaufen ist. Der Bund hat deshalb seine Investitionen seit 2015 massiv gesteigert, was die Kapazitäten von Bauverwaltung und Straßenbauunternehmen an ihre Kapazitätsgrenze und zu einer massiven Zunahme der Baustellentage im Fernstraßennetz geführt hat. Dies wiederum zieht massive Staus auf den Hauptverkehrsachsen nach sich, die sich wiederum auch in der Emissionsbilanz des Straßenverkehrs bemerkbar machen.

2.4 Mobilitätsalternativen zum Straßenverkehr und Verlagerungspotenzial

Ein häufig genannter Ansatzpunkt zur Reduktion von Emissionen ist die Verlagerung von Verkehr von der Straße auf die Schiene. Dabei bestehen deutliche Unterschiede in der Nutzung von Straße und Schiene (Gütergruppen, Transportweiten), so dass die Schnittmenge und damit das

Potenzial für eine Verlagerung begrenzt sind. Eine zusätzliche Restriktion stellen bestehende Kapazitätsgrenzen dar.

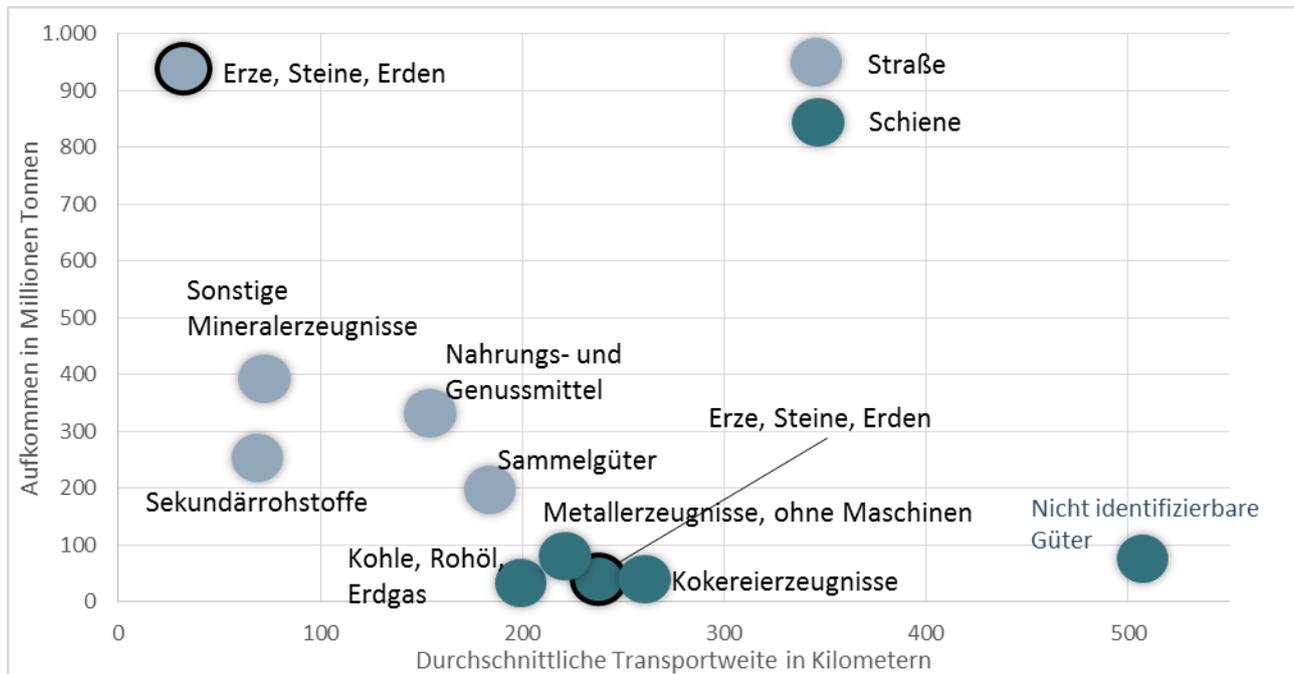
Da die aufkommenstärksten Transporte eher kurze Strecken zurücklegen, ist das Verlagerungspotenzial von Gütern auf die Schiene begrenzt. Falls Güter nicht unmittelbar auf einen Zug geladen werden können, fallen Zu- und Ablaufverkehre zu den Güterbahnhöfen an. Kann ein Kunde keinen ganzen Zug füllen, fallen zusätzlich zahlreiche Rangiervorgänge an, welche die Transportzeit erhöhen. Vor diesem Hintergrund lohnt sich der Kurzstreckenverkehr auf der Schiene meist nicht. In der Literatur wird davon ausgegangen, dass Verlagerungen auf die Schiene erst ab einer Transportstrecke von etwa 300 Kilometern interessant werden. Auch das im Weißbuch der Kommission hinterlegte Verlagerungsziel der EU, nutzt diesen Wert zur Abgrenzung der Teilmärkte und definiert ein Verlagerungsziel von 30 Prozent bis zum Jahr 2030 für Transportstrecken von über 300 Kilometern. Damit kommt ein Großteil der auf der Straße transportierten Güter nicht für eine Verlagerung auf den Zug infrage.

Straßen- und Schienenverkehr ergänzen sich statt zu konkurrieren

Vergleicht man die Transportprofile von Straße und Schiene, wird deutlich, dass der Transport-schwerpunkt der Schiene nicht nur viel stärker auf den Ferntransport konzentriert ist, sondern auch bei ganz anderen Gütern liegt. Beim Vergleich der fünf meistgenutzten Gütergruppen von Straße und Schiene in Deutschland (Abbildung 2-11) zeigt sich, dass beide Verkehrsträger ihren Schwerpunkt in sehr unterschiedlichen Gütergruppen haben. Lediglich die Gruppe „Erze, Steine, Erden“ taucht bei beiden Verkehrsträgern in der Spitzengruppe auf. Die durchschnittliche Transportweite auf Schienen für „Erze, Steine, Erden“ ist mehr als siebenmal so groß wie auf der Straße. Ansonsten verdeutlichen diese Zahlen, dass sich die Profile ergänzen. Die Schiene leistet im Wesentlichen Transporte, die nicht zum Leistungsprofil der Straße passen und umgekehrt. Verlagerungspotenziale können bei Langstreckentransporten verortet werden, sind aber auf absehbare Zeit zu gering, um einen Effekt auf die Straße zu haben. Die Kapazitäten der wichtigsten Achsen des Schienengüterverkehrs – etwa der Korridor Rotterdam-Genua oder die Rheintalstrecke – sind bereits voll ausgelastet, so dass bestenfalls langfristig neue Kapazitäten aufgebaut werden können. Hinzu kommt der massive Mangel an Lokführern in Deutschland. Im Januar 2019 kommen auf knapp 900 offene Stellen für Lokführer nur 260 als arbeitslos gemeldete Personen mit diesem Berufswunsch. Diese Relation deutet darauf hin, dass dieser Mangel weiter die Bahnen belasten wird.

Abbildung 2-11: LKW und Bahn ergänzen sich

Die fünf wichtigsten Transportgüter von Lkw und Bahn des Jahres 2015



Quelle: Eurostat, 2018

Tatsächlich operiert das Bahnnetz auf den Hauptgüterroutes und in den Bahnknoten derzeit an seiner Kapazitätsgrenze, weshalb sich bereits kleinere Störungen dramatisch auswirken. Auch der Ausbau von Schienenstrecken stößt an Grenzen. So fehlt es seit Jahren an baufertigen Projekten und die im Haushalt bereitgestellten Investitionsmittel können nicht abgerufen werden. Eine große Rolle spielt hierbei auch die mangelnde Akzeptanz für Ausbauprojekte, die sich durch Bürgereinsprüche und Protestaktionen äußert. Hier gerät es zum Nachteil, dass die Bahnstrecken oftmals schon im vorletzten Jahrhundert projektiert und gezielt durch Bevölkerungszentren geführt wurden. Damals ermöglichte dies eine bis dato ungekannte Mobilität. Heute führt es dazu, dass Anwohner – zum Beispiel im Rheintal – über Schienenlärm klagen. Dementsprechend ist die Aufnahmekapazität des bestehenden Bahnnetzes begrenzt.

3 Emissionsvermeidung im Verkehr

Dieses Kapitel fokussiert auf die Emissionsvermeidung im Verkehr. Es wird hierbei zwischen Optionen und Instrumenten differenziert. Die Optionen stellen die nutzerseitigen Möglichkeiten dar, CO₂-Emissionen zu vermeiden. Zu den Optionen gehören Fahrzeugeffizienz, Antriebswechsel, alternative Kraftstoffe und die Verlagerung auf andere Verkehrsträger. Sie werden basierend auf den persönlichen Nutzerpräferenzen gewählt und können nur indirekt über Instrumente beeinflusst werden. Die betrachteten Instrumente sind Grenzwertregulierung, Förderung von Elektromobilität (battery-electric vehicles, BEV), Beimischungsquoten alternativer Kraftstoffe und die Bepreisung von Emissionen. Die Instrumente stellen die politischen Regelungen dar, welche die Nutzer zu CO₂-ärmeren Optionen motivieren sollen.

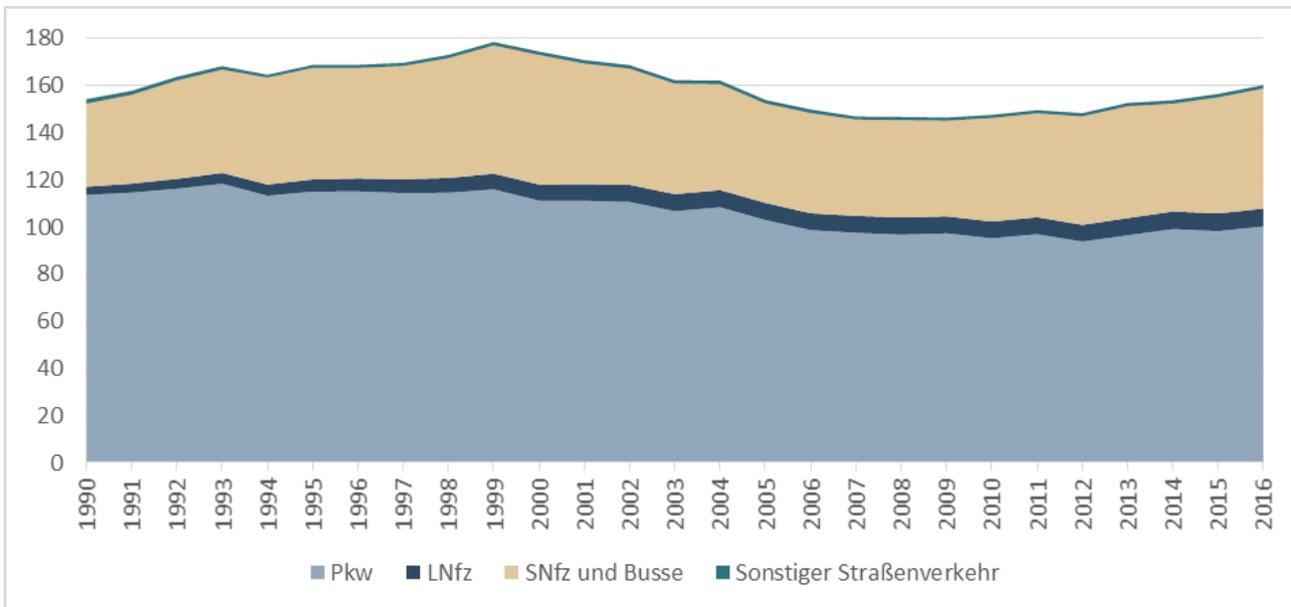
Zunächst werden die Optionen zur Vermeidung von CO₂-Emissionen untersucht (3.1). Hierbei werden auch mögliche Auswirkungen und Hemmnisse diskutiert. Im Anschluss daran werden die in der Praxis bereits eingesetzten und in der Diskussion befindlichen CO₂-Vermeidungsinstrumente analysiert und deren Auswirkungen auf die gewerblichen und privaten Nutzer abgeschätzt (3.2). Hierzu gehört auch die Quantifizierung des CO₂-Vermeidungspotenzials, der CO₂-Vermeidungskosten und Effekte auf Steuereinnahmen. Abschließend werden die quantifizierten Ergebnisse der unterschiedlichen Ansätze vergleichend zusammengefasst (3.3).

Die Analyse konzentriert sich dabei auf die wichtigsten Optionen sowie auf die Instrumente mit dem größten Vermeidungspotential. Die Instrumente zahlen in unterschiedlicher Weise auf die Optionen zur Emissionsreduktion ein. Ein Instrument kann daher bei unterschiedlichen Nutzergruppen unterschiedliche Reaktion hervorrufen. Zum Beispiel schafft das bereits eingesetzte Instrument der Flottengrenzwerte für die Emissionen von Neufahrzeugen Anreize zu mehr Effizienz und zu alternativen Antrieben beim Fahrzeugangebot der Autohersteller, begünstigt jedoch nicht den Einsatz alternativer Kraftstoffe.

Die Treibhausgasemissionen des Straßenverkehrs in Deutschland sind direkt mit dem Energieverbrauch verknüpft. Nach Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2018) wurden im Jahr 2017 insgesamt 94,3 Prozent des Primärenergieverbrauchs im deutschen Verkehr durch Mineralöle gedeckt sowie 0,2 Prozent durch Erdgas und 4 Prozent durch flüssige Biokraftstoffe. Existierende Effizienzsteigerungen, das heißt bessere Nutzung bei gleicher Kraftstoffmenge, wurden in den letzten Jahren durch höhere Verkehrsleistungen überkompensiert, sodass die CO₂-Emissionen des deutschen Verkehrssektors in den letzten Jahren wieder ansteigen (Abbildung 3-1).

Abbildung 3-1: Anstieg ab 2008 im Güterverkehr

CO_{2eq}-Emissionen des Straßenverkehrs in Deutschland – Angaben in Millionen Tonnen



Quelle: EEA, 2018a (V21)

In der hier dargestellten Gliederungstiefe liegen noch keine neueren Daten vor. Es gibt aber bereits Daten, welche eine Prognose der weiteren Entwicklung ermöglichen. So hat das Umweltbundesamt für 2017 einen weiteren Anstieg der Emissionen des Straßenverkehrs um 2,2 Millionen Tonnen errechnet (UBA, 2019). Für das Jahr 2018 liegen bislang nur Absatzzahlen für Kraftstoffe vor. Hier wird ein Rückgang gegenüber dem Vorjahr vermeldet, der bei Diesel fast drei Prozent beträgt, bei Ottokraftstoff 1,3 Prozent (AGEB, 2019). Das deutet darauf hin, dass die Emissionen im Jahr 2018 vermutlich knapp unter dem Wert von 2016 liegen werden.

3.1 Optionen zur Emissionsreduktion im Straßenverkehr

Die Vermeidungsoptionen stellen die nutzerseitigen Möglichkeiten dar, CO₂-Emissionen im Straßenverkehr einzusparen. Mögliche Optionen sind:

1. eine höhere Effizienz der Fahrzeuge,
2. ein Wechsel des Antriebs,
3. der Einsatz alternativer Kraftstoffe und
4. die Verlagerung auf andere, emissionsärmere Verkehrsträger.

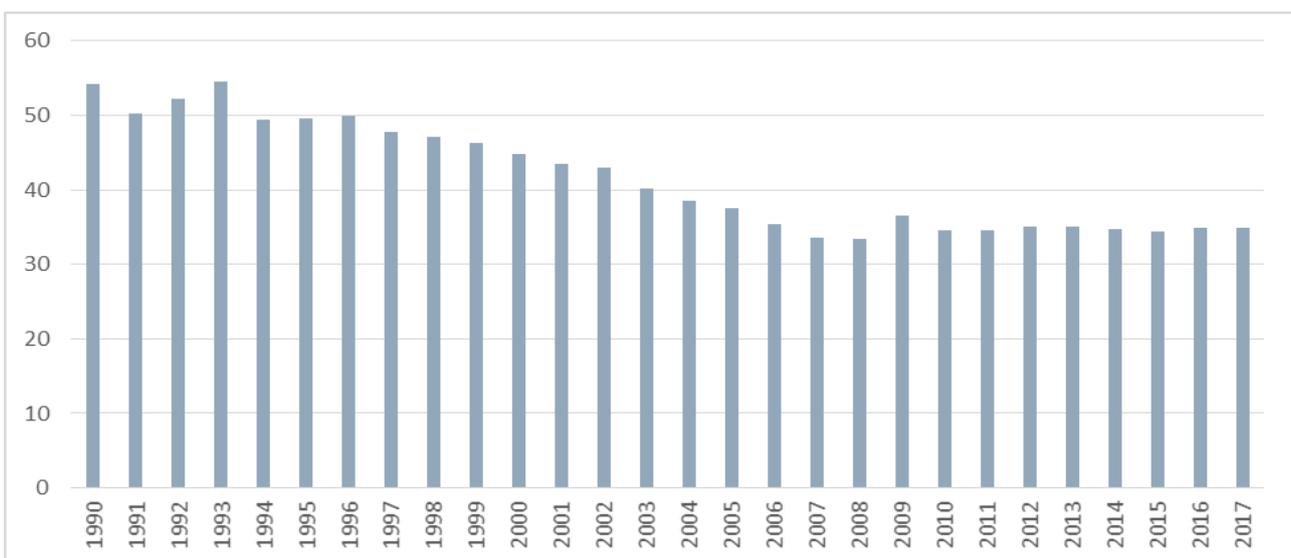
Die nutzerseitige Wahl einer Option zur CO₂-Vermeidung hängt von den persönlichen Präferenzen und Situationen ab. Die Vermeidungsoptionen sind zudem nicht als ausschließende Alternativen zu sehen, sondern können alle ihren spezifischen Beitrag zur Emissionsminderung im Verkehr liefern.

3.1.1 Höhere Effizienz

Dass die CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs gestiegen sind, ist auf steigende Verkehrsleistungen zurückzuführen. Dieser Anstieg hat die deutliche Verbesserung der Energieeffizienz im Straßenverkehr überkompensiert. Tatsächlich ist der Energieeinsatz pro Output-Einheit im deutschen Straßenverkehr seit 1990 deutlich gesunken. Die Effizienz ist im Durchschnitt jedes Jahr um 1,65 Prozent gestiegen, wobei effizientere Fahrzeuge und bessere Auslastungssteuerung im Güterverkehr als Treiber wirkten. Seit dem konjunkturellen Einbruch im Jahr 2008 ist jedoch eher eine Seitwärtsentwicklung festzustellen (Abbildung 3-2). Das spricht dafür, dass der Güterverkehr hier einen prägenden Einfluss hatte. Wesentliche Faktoren sind dabei schlechter ausgelastete Fahrzeuge und mehr Leerfahrten (Fabéri et al., 2015), sowie ein höherer Anteil von Kurzstreckenfahrten von schweren Lkw aufgrund des Baubooms. Entsprechend sinken die CO₂-Emissionen des Verkehrs wie zuvor gezeigt kaum.

Abbildung 3-2: Energieverbrauch pro Leistungseinheit sinkt

In Megajoule pro 100 Personenkilometer (1 Tonnenkilometer=10 Personenkilometer)

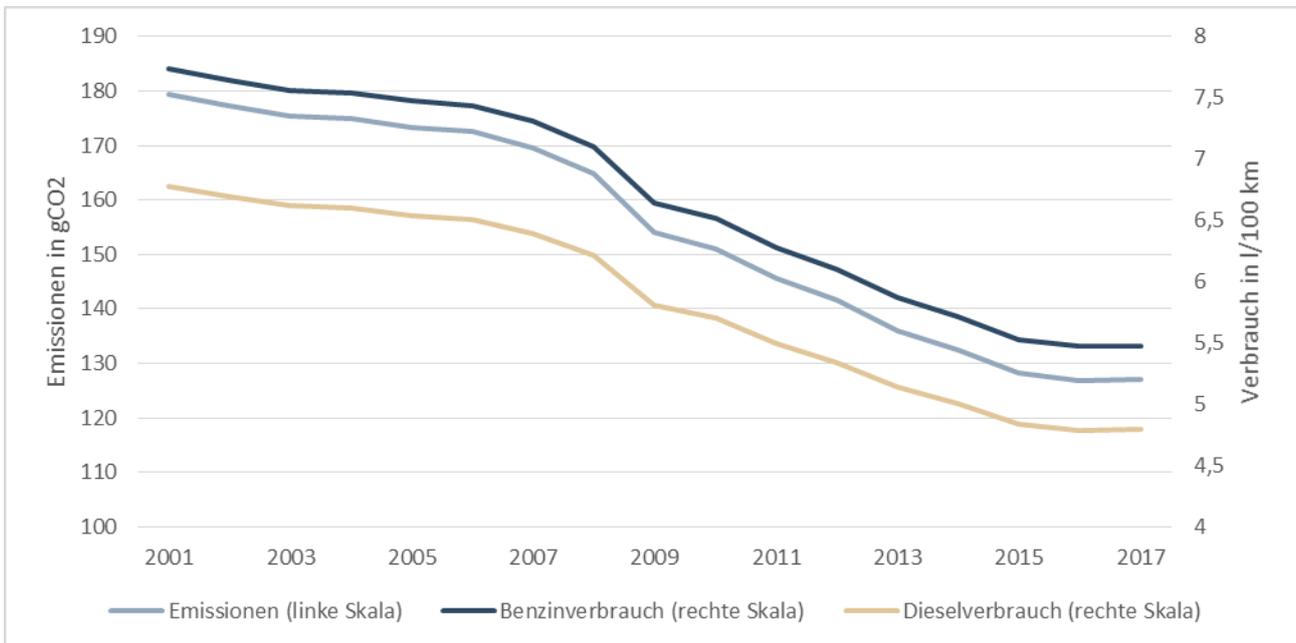


Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, 2018

Neue Fahrzeuge haben erheblich dazu beigetragen, dass heute deutlich weniger Emissionen pro Leistungseinheit (Personen- und Tonnenkilometer) ausgestoßen werden als im Jahr 2000. Dank technischer Fortschritte bei Effizienz und Verbrauch werden immer mehr Fahrzeuge mit niedrigen Emissionswerten zugelassen (Abbildung 3-3).

Abbildung 3-3: CO₂-Emissionen der Neuwagen sinken

Emissionen von Neuwagen (Pkw) in Deutschland in gCO₂



Quelle: EEA, 2018a

3.1.2 Antriebswechsel

Einsparungen bei den CO₂-Emissionen lassen sich durch den Wechsel auf einen emissionsärmeren Antrieb erzielen. Als Alternative zum Hubkolbenantrieb steht der Elektromotor zu Verfügung, dessen Energieversorgung über verschiedene Speichermethoden im Fahrzeug gewährleistet werden kann. Fahrzeuge mit Elektromotor sparen Energie im Fahrzeug (Tank-to-Wheel) ein, da es kaum Umwandlungsverluste in Form von Wärme gibt. Stammt der Strom für deren Batterie aus erneuerbaren Erzeugungsquellen, ist das Fahrzeug sogar entlang der Versorgungskette (Well-to-Wheel) weitestgehend emissionsfrei. Der Wechsel zum Elektromotor ist aber auch mit Kosten verbunden. Dabei sind einerseits die individuellen Kosten der Fahrzeugtechnologie und der Kraftstoffe zu berücksichtigen und andererseits die gesellschaftlichen Kosten zum Aufbau der notwendigen Infrastruktur.

Fahrzeuge mit Elektromotoren sind aktuell aufgrund der hohen Batteriekosten in der Anschaffung deutlich teurer als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren, dafür in der Nutzungsphase – abhängig vom Strompreis – zumeist kostengünstiger. Gerade im Bereich der Batterietechnik werden jedoch in den nächsten Jahren deutliche technologische und fertigungsseitige Fortschritte erwartet, so dass Batterien wesentlich günstiger werden könnten. Hinzu kommt, dass eine Batterie durch Alterung und zahlreiche Ladevorgänge an Speicherkapazität verliert, so dass bei längerer Nutzungsdauer beziehungsweise hoher Fahrleistung ein Batteriewechsel notwendig wird. Selbst wenn dies nicht in der Nutzungsphase des Erstnutzers anfällt, schmälert die Abnutzung der Batterie den Wiederverkaufswert.

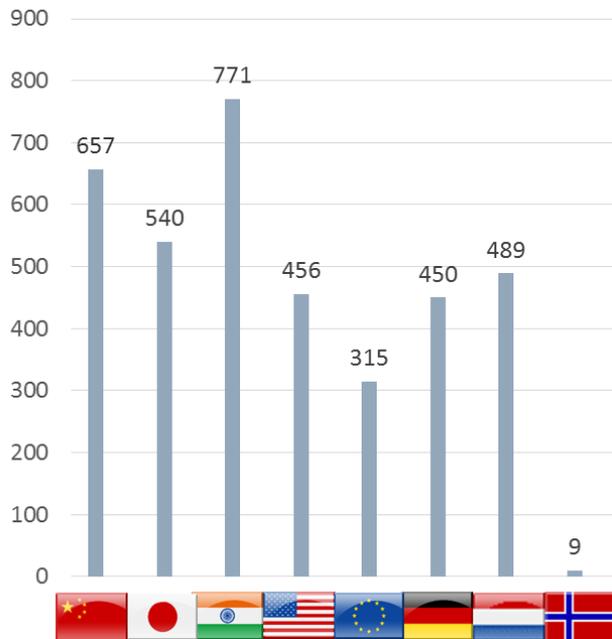
Elektrischer Strom ist im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffen zwar günstiger, hat aber Nachteile bezüglich seiner Speicherbarkeit. Das äußert sich in der Ladedauer und der Reichweite eines BEV. Mit heute verfügbaren Batterien liegen die Ladezeiten an üblichen Ladestationen um ein Mehrfaches höher als die Zeit für den Tankvorgang bei einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor beträgt. Zudem ist die Reichweite batterieelektrischer Fahrzeuge deutlich niedriger, so dass es stark von den individuellen Nutzungsprofilen und der Anzahl der im Haushalt verfügbaren Fahrzeuge abhängt, wie stark sich diese Nachteile auswirken. Ein BEV erweist sich dann als am ehesten praktikabel, wenn man die Reichweite des Fahrzeuges an jedem Tag annähernd ausschöpft und das Fahrzeug über Nacht zu Hause aufladen kann. Daher kann sich ein BEV für einen Pendler, der bei seinen regelmäßigen Fahrten zur Arbeitsstätte keine Einschränkung aufgrund von Ladedauer und Reichweite erfährt, am ehesten rechnen. Zudem ist die sichere Verfügbarkeit eines Ladepunktes entscheidend für den Nutzen eines BEV. Dasselbe BEV ist aber bei längeren Fahrten wie beispielsweise einer Urlaubsreise angesichts der kurzen Reichweite und langen Ladezeit kaum nutzbar. Etwa die Hälfte der deutschen Haushalte besitzt genau ein Fahrzeug, das neben den regelmäßigen Wegstrecken auch für längere Fahrten genutzt werden soll. Höhere Anfangsinvestitionen für BEV stellen hierbei eine weitere Hürde dar. Demnach sind nicht nur die Kosten über den Lebenszyklus, sondern auch die Relevanz dieser Nachteile entscheidend für die Attraktivität des BEV.

Hinzu kommen die Kosten für den Aufbau einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur, für deren Finanzierung bislang größtenteils privatwirtschaftlich rentable Geschäftsmodelle fehlen. Außerdem wird dafür ein Ausbau des öffentlichen Stromnetzes erforderlich. Dadurch ergibt sich ein Henne-Ei-Problem, welches den Markthochlauf von batterieelektrischen Fahrzeugen erschwert. Denn bislang sind viele BEV Dienst- und Werkswagen, die dann keine öffentliche Ladeinfrastruktur brauchen, wenn diese am Arbeitsort zur Verfügung steht. Ohne Infrastruktur und angesichts der begrenzten Reichweite ist der Kauf eines BEV nur für wenige Autokäufer eine attraktive Alternative, nämlich für jene, die über einen privaten Ladepunkt verfügen.

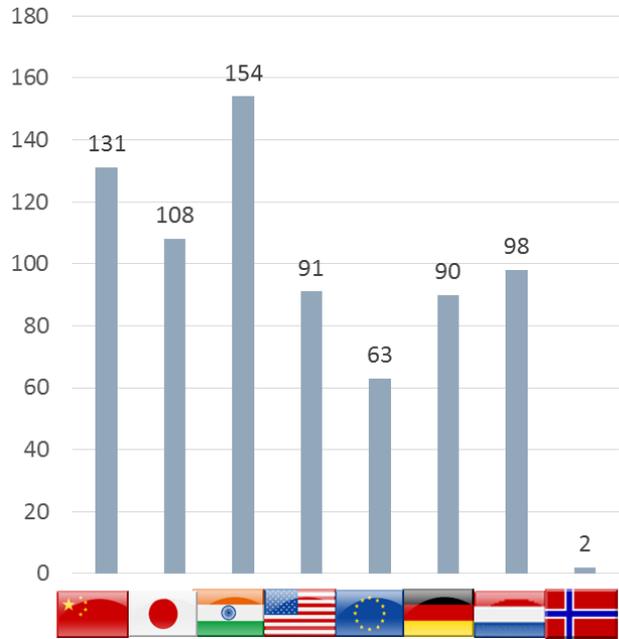
Abbildung 3-4: Strommix entscheidet über Klimafreundlichkeit

CO₂-Emissionen von Stromerzeugung und Elektroautos

CO₂-Emissionen der Stromerzeugung
In gCO₂/kWh



Bei einem Verbrauch von 20 kWh/100km
emittiert ein Elektroauto ... gCO₂/km



Quellen: IEA, 2018a; Institut der deutschen Wirtschaft

In der sektoralen Betrachtung der heutigen Klimapolitik ist das BEV ein Null-Emissionsfahrzeug. Die CO₂-Emissionen von BEV fallen außerhalb des Verkehrssektors an, daher werden sie in der Brüsseler Grenzwert-Regulierung definitorisch und bei einer Tank-to-Wheel-Betrachtung systematisch richtig für BEV auf null gesetzt. Die Stromerzeugung in vielen Ländern hat heute aber noch immer einen beträchtlichen Anteil fossiler Energieträger, sodass bei der Stromerzeugung entsprechende CO₂-Emissionen anfallen (Abbildung 3-4). In EU-Mitgliedstaaten werden die Emissionen der Stromerzeugung durch das Emissionshandelssystem reguliert. Die tatsächlich anfallenden Emissionen sind deutlich positiv, sofern nicht ausschließlich erneuerbarer Strom verwendet wird. In vielen Ländern ist daher die Bilanz eines Elektromobils gegenüber einem konventionellem Neuwagen (Grenzwert: 95g) zumindest fraglich.

3.1.3 Alternative Kraftstoffe

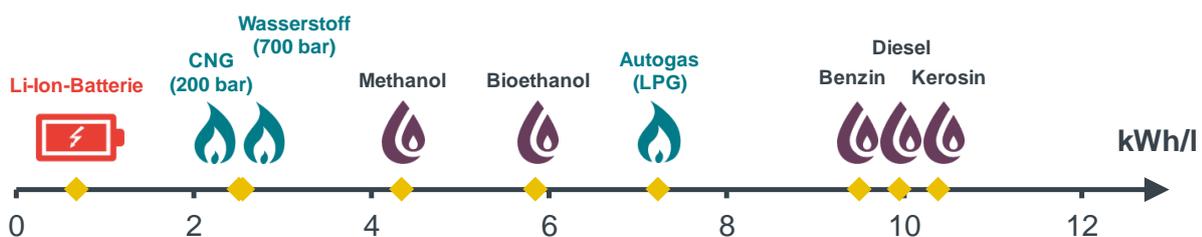
Auch Kraftstoffe können einen Beitrag zur CO₂-Reduktion leisten. Sie können in Fahrzeugen auf Basis klassischer fossiler Energieträger wie CNG (Compressed Natural Gas) oder LPG (Liquefied Petroleum Gas) eingesetzt werden, die jeweils im Vergleich mit Benzin- und Diesel-Verbrennern weniger CO₂ emittieren. Oder es sind Bio-Kraftstoffe, die bereits heute in Form von Bioethanol/Biodiesel flüssigen oder in Form von Biomethan den gasförmigen Kraftstoffen beigemischt werden können. Eine weitere Möglichkeit besteht im Einsatz synthetischer grüner Kraftstoffe, bei denen mithilfe erneuerbaren Stroms synthetische klimaneutrale flüssige oder gasförmige Kraftstoffe hergestellt werden – faktisch EE-Strom in einen chemischen Speicher umgewandelt

wird. Je höher der Anteil des erneuerbaren Stroms, der zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe zum Einsatz kommt, desto größer die CO₂-Vermeidung. Zwar sind synthetische Kraftstoffe aufgrund des Umwandlungsprozesses bislang deutlich teurer als fossile Kraftstoffe, aber flüssige (Power to Liquid, PtL) oder gasförmige (Power to Gas, PtG) synthetische Kraftstoffe erfordern weder neue Fahrzeugtechnik noch kostspielige Infrastrukturinvestitionen in Ladesäulen und Verteilnetze. Die Produktion von PtL bedarf jedoch einer hohen Anschubinvestition in die Herstellungsanlagen (Elektrolyse, Methanol-Synthese). Die Produktion kann an sonnenreichen Standorten im Süden und außerhalb Europas kostengünstiger erfolgen als in Mitteleuropa. Die Umwandlung des erneuerbar erzeugten Stroms in synthetische Kraftstoffe würde dann vor Ort stattfinden. Die Kraftstoffe können – wie konventionelle Brennstoffe – anschließend in das Ziel-land transportiert und dort in die bestehende Tankstelleninfrastruktur eingespeist werden.

Ein wesentlicher Vorteil der synthetischen Kraftstoffe besteht darin, dass sie in der gesamten Fahrzeugflotte eingesetzt werden können, also den Bestand adressieren und problemlos über das bestehende Tankstellensystem verteilt werden können. Ihr Effekt würde also umgehend spürbar, wenn die notwendigen Investitionen in die Produktionskapazitäten getätigt und die erforderlichen Strommengen bereitgestellt werden. Die Energiedichte von Synfuels würde der von Benzin und Diesel entsprechen und ein Vielfaches dessen betragen, was mit heute denkbaren Batteriekonzepten zu erreichen ist (Abbildung 3-5). Auch wenn man die geringere Tank-to-Wheel-Effizienz von Verbrennern in Betracht zieht, ermöglichen sie es, eine deutlich größere Nutzenergie im Fahrzeug zu speichern als es bei Batterien perspektivisch absehbar ist und benötigen für die Betankung deutlich weniger Zeit.

Abbildung 3-5: Energiedichten chemischer Energieträger versus Batterien

Theoretisch erreichbare Energiedichten in kWh/l



Quelle: Frontier Economics / IW, 2018

Neben Batterien und Synfuels kommt auch Wasserstoff als Stromspeicher im Fahrzeug infrage. Wasserstoff stellt dabei einen Mittelweg dar. Bei der Herstellung von Wasserstoff treten weniger Energieverluste auf als bei synthetischen Kraftstoffen. Dafür ist jedoch eine neue Versorgungsinfrastruktur notwendig sowie ein Ausrollen von Brennstoffzellenfahrzeugen (von denen es bisher in Deutschland nur 400 gibt). Dennoch setzen einige Fahrzeughersteller auch auf Wasserstoff als künftigen Energieträger, da er große Reichweiten ohne Emissionen ermöglicht.

3.1.4 Verlagerung

Letztlich kann Emissionsvermeidung auch durch Verlagerung auf emissionsärmere Verkehrsträger erfolgen. Allerdings verfügt der Schienenverkehr aktuell nicht über die notwendigen Kapazitäten, um nennenswerte Teile des Straßenverkehrs aufzunehmen. Ohne nachhaltige Ausbaumaßnahmen auf zentralen Schienengüterverkehrskorridoren und auch im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) der Städte sind CO₂-Einsparungen im größeren Stil kaum denkbar. Zudem sind die Transportprofile von Straße und Schiene im Güterverkehr sehr unterschiedlich, was die Verlagerungspotenziale stark einschränkt. Im Personenverkehr eröffnet die fortschreitende Konzentration auf die Metropolen Verlagerungsmöglichkeiten. Da der Wechsel zu anderen Modi, etwa dem Rad oder dem ÖPNV, auf Widerstände und Umsetzungsprobleme stößt, sind die Möglichkeiten der Verkehrsverlagerung als Instrument der Klimapolitik im Verkehr eher limitiert.

Zur Einschätzung des Potentials von Verlagerung: Tatsächlich zeigen aktuelle Berechnungen (Agora Verkehrswende, 2018), dass die Potenziale von Verkehrsverlagerung nur einen marginalen Beitrag leisten können. So ermittelte das Öko-Institut für Agora Verkehrswende, dass eine Förderung des Rad- und Fußverkehrs mit 800 Millionen Euro pro Jahr ab dem Jahr 2020 lediglich zu einer Emissionsreduktion von 0,4 bis 1,3 Millionen Tonnen CO₂ führen würde. Einen noch geringeren Hebel machten die Gutachter bei der Ausweitung des ÖPNV aus. Hier wurde für eine Ausweitung des fahrplanmäßigen Angebots um 10 bis 20 Prozent eine Reduktionsleistung von 0,2 bis 0,4 Millionen Tonnen CO₂ im Jahr 2030 erwartet. Den größten Effekt würde eine Verlagerung vom Güterverkehr auf die Schiene erzielen. Aber auch hier sind die Beiträge im überschaubaren Bereich. So wurde errechnet, dass eine Steigerung des Marktanteils der Bahn um 5 Prozentpunkte bis 2030 eine Emissionsreduktion von 3,5 Millionen Tonnen erreicht. Hierfür wäre allerdings ein umfassendes Investitionsprogramm vonnöten, um die Kapazität des Schienennetzes um mindestens 60 Prozent zu steigern.

3.2 Instrumente und deren Wirkungen

Die Regulierung der Emissionen des Verkehrssektors erfolgt auf europäischer Ebene. Die Ziele zur Senkung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs werden europaweit festgelegt und müssen von den Mitgliedstaaten eingehalten werden. Für die Energiewirtschaft und die Industrie, die am europäischen Emissionshandelssystem (EU-ETS) teilnehmen, gilt eine jährlich sinkende Obergrenze für die zugelassenen Treibhausgasemissionen dieser Sektoren in der EU. Verkehrs- und Gebäudesektor nehmen nicht am EU-ETS teil. Gemäß Effort-Sharing-Verordnung werden den Nicht-ETS-Sektoren in jedem Mitgliedstaat jährliche Emissionsbudgets zugewiesen. Für Deutschland liegt das Reduktionsziel bei 38 Prozent bis 2030 gegenüber 2005. Die Mitgliedstaaten können Zuweisungen von einem Jahr auf das andere übertragen und Zuweisungen untereinander handeln. Obwohl es für alle Sektoren demnach bereits Ziele gibt, hat die Bundesregierung eigene nationale Ziele in ihrem Klimaschutzplan festgelegt.

Die Reduktionsziele können durch unterschiedliche politische Maßnahmen, den Instrumenten, angereizt werden. Folgende Instrumente werden in dieser Studie näher untersucht:

1. Grenzwertregulierung
2. Förderung von Elektroautos
3. Beimischung alternativer Kraftstoffe
4. CO₂-Bepreisung
 - a. Maut (streckenbasiert)
 - b. Steuer (treibstoffbasiert)

Die Regulierung der Flottengrenzwerte auf europäischer Ebene sowie die nationale Förderung von Elektroautos und die Beimischung emissionsarmer Kraftstoffe werden bereits als Instrumente zur Reduktion von Emissionen eingesetzt. Die Grenzwertregulierung zielt auf die Effizienz von Neuwagen und fokussiert auf die Antriebstechnik des Fahrzeugs (Tank-to-Wheel). Die Förderung von Elektromobilität vergünstigt den emissionsarmen Elektroantrieb und reizt dadurch diesen Antriebswechsel an. Der batterieelektrische Antrieb ist im Fahrzeug emissionsfrei; die Emissionen bei der Stromerzeugung werden bei diesem Instrument nicht berücksichtigt. Dagegen wird bei einer Beimischungsquote für emissionsarme Kraftstoffe die Betrachtung auf die Herstellung der Kraftstoffe erweitert (Well-to-Wheel). Wenn das CO₂ zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe aus der Umgebungsluft gewonnen wird und der Strom erneuerbar erzeugt wird, liegt die CO₂-Bilanz in der Gesamtbetrachtung von der Herstellung bis zur Verbrennung der Kraftstoffe bei null. Instrumente zur Bepreisung von Emissionen – sei es kilometer- oder verbrauchsabhängig – vergünstigen relativ gesehen emissionsarmen Verkehr unabhängig davon, auf welche Weise die Emissionen vermieden werden. Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist die CO₂-Bepreisung damit ein technologieoffenes Instrument zur Reduktion von CO₂-Emissionen.

Tabelle 3-1 verdeutlicht qualitativ, in welcher Weise die genannten Instrumente auf die Vermeidungsoptionen einzahlen. Von der Ausgestaltung des einzelnen Instruments hängt es ab, wieviel Vermeidungspotenzial tatsächlich gehoben werden kann und zu welchen Kosten dies erfolgt.

Tabelle 3-1: Wirkungsweise der Instrumente

Im Hinblick auf die Vermeidungsoptionen

		Optionen			
		Effizienz	Verlagerung	Antriebswechsel	Alternative Kraftstoffe
Instrumente	Emissionsgrenzwerte	Ja, Anreizwirkung für Hersteller gemäß des Testverfahrens zu optimieren	Keine direkten Auswirkungen	Ja, solange BEV als Null-Emissionsfahrzeuge gelten	Keine Auswirkungen, solange keine Anrechnung eingesparter Emissionen
	Förderung von E-Mobilität	Ja, höhere energetische Effizienz (well-to-wheel)	Keine Auswirkungen	Erhöht Anteil Neuzulassungen E-Mobilität	Keine Auswirkungen
	Beimischungsquote	Keine direkten Auswirkungen	Keine direkten Auswirkungen	Keine direkten Auswirkungen	Ja, CO ₂ -arme Kraftstoffe werden begünstigt
	CO₂-Bepreisung (Maut oder Steuer)	Erhöht Effizienz indirekt durch Anreizwirkung bei Neukauf	Ja, direkte Verlagerungseffekte, sofern wettbewerbliche Alternativen vorhanden	Ja, hin zu mautbefreiten Antrieben (Maut) bzw. CO ₂ -ärmeren Antrieben (Steuer)	Ja, hin zu CO ₂ -armen Kraftstoffen

Quelle: Institut der deutschen Wirtschaft

Die Instrumente werden im Folgenden detaillierter analysiert und konkrete Umsetzungsvorschläge quantifiziert. Die Instrumente Grenzwertregulierung und BEV-Förderung zielen auf die Fahrzeuganschaffung. Hier wird die Analyse nach unterschiedlichen Fahrzeugtypen differenziert und es werden unter Berücksichtigung des Einsparpotenzials bei den Kraftstoffen Kostendifferenzen aufgezeigt. Beimischungsquote und zusätzliche Bepreisung der Emissionen durch eine Steuer oder Maut verteuern die Kraftstoffe bzw. im Fall der Maut die Fahrstrecke und zielen damit auf die Nutzung. Da hier Nutzungsdaten nach Haushaltseinkommen differenziert vorliegen, werden die Verteilungswirkungen nach Einkommensgruppen analysiert.

Für einen Teil der Instrumente lassen sich nutzerseitige CO₂-Vermeidungskosten bestimmen, da den zusätzlichen Kosten für verbrauchs- und damit emissionsärmeren Fahrzeugen beziehungsweise emissionsreduzierten Kraftstoffen entsprechende CO₂-Reduktionen gegenüberstehen, die sich in einem Eurobetrag pro Tonne CO₂ ausdrücken lassen. Bei einer CO₂-basierten Maut oder Steuer hingegen wird ein CO₂-Preis festgelegt und dem Nutzer überlassen, ob er diesen Preis zahlt oder eine Vermeidungsoption wählt. Rein ökonomisch betrachtet würde er diejenige Option wählen, dessen Kosten unter dem Preis pro Tonne der Maut oder Steuer liegen. Doch auch die Nebenwirkungen einer Vermeidungsoption wie beispielsweise die begrenzte Reichweite eines BEV oder die Anbindung an andere Verkehrsträger sind für die Entscheidung von Bedeutung.

Das CO₂-Vermeidungspotenzial beziffert die Menge an potenziell eingesparten CO₂-Emissionen, die vom Ausmaß der nachfrageseitigen Reaktionen abhängt. So führen höhere Kosten pro Kilometer eher zu einem Nachfragerückgang, während niedrigere Kosten pro Kilometer wie beispielsweise bei höherer Effizienz oder BEV tendenziell in einer Nutzungsausweitung resultieren. Das Vermeidungspotenzial wird daher immer als Bandbreite angegeben, die den Effekt der Preiselastizität zum Ausdruck bringt. Analog zu anderen Studien (unter anderem Agora Verkehrswende, 2018) wird von einer Preiselastizität von -0,3 ausgegangen. Das bedeutet, dass eine Preiserhöhung von 10 Prozent zu einer Nachfragereduktion von 3 Prozent führt. Diese Elastizität ist mit einer Unsicherheit belegt und wird daher zusätzlich variiert von -0,15 bis -0,6. Wichtig zu berücksichtigen ist hierbei, dass Elastizitäten in der Regel Punktschätzungen sind und somit nicht beliebig extrapoliert werden können. Beispielsweise kann die Elastizität von -0,3 nicht auf eine Verdreifachung des aktuellen Treibstoffpreises angenommen werden, da dies einen fragwürdigen fast vollständigen Verzicht auf die Pkw-Nutzung implizieren würde.

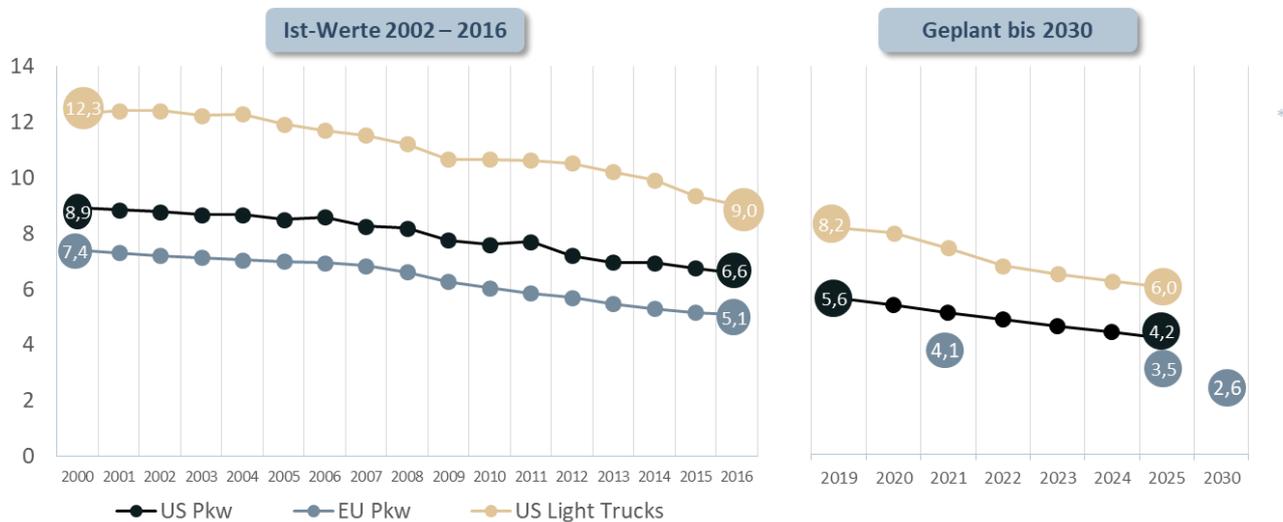
Die Steuereffekte berücksichtigen in der Regel die geringeren Energiesteuern durch einen geringeren Verbrauch ebenso wie die Mehrwertsteuer auf die Energiekosten. Hinsichtlich der CO₂-Bepreisung schließen sie aber auch die zusätzlichen Einnahmen durch die Bepreisung mit ein.

3.2.1 Regulierung von Flottengrenzwerten

Seit 2009 gilt für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge in der EU eine CO₂-Regulierung. Für Pkw-Neuwagen wurde für das Jahr 2015 ein Durchschnittsziel von 130 gCO₂/km festgelegt, welches für 2021 auf 95 gCO₂/km verschärft wurde. Kommission, Rat und Parlament haben gegenüber dem Wert für 2021 eine Senkung des Grenzwerts um 15 Prozent bis 2025 und um 37,5 Prozent bis 2030 beschlossen. Vergleichbare Grenzwerte werden aktuell auch für schwere Nutzfahrzeuge erarbeitet. Das Leitinstrument soll den Löwenbeitrag zum Klimaschutz im Straßenverkehr leisten, weist aber methodische Schwächen auf, die seine Wirksamkeit sichtbar einschränken.

Abbildung 3-6: Flottengrenzwerte in der EU deutlich strenger als in den USA

in Liter Benzin pro 100 km – Daten normiert für den Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ)



Quelle: ICCT, 2018

Die Europäische Union verfügt über die weltweit schärfsten CO₂-Grenzwerte für Pkw, die den Durchschnittsverbrauch der Neuwagenflotte regeln. Mit der jetzt in Brüssel beschlossenen Verschärfung der Grenzwerte wird die EU diesen Spitzenplatz sicher beibehalten. Besonders eklatant sind die Unterschiede zur Regulierung in den USA. Vergleicht man lediglich die Pkw-Grenzwerte, so liegen die Grenzwerte in den USA im Jahr 2025 etwa 20 Prozent über dem EU Grenzwert. Der US-Markt wird jedoch von Pick-Ups beherrscht. Im Jahr 2017 waren 65 Prozent der Neuzulassungen keine Pkw, sondern Light Trucks. Diese emittierten in etwa 60 gCO₂/km mehr als die Pkw. Im Jahr 2025 dürfen sie noch 42 g mehr ausstoßen als Pkw. Dies gilt es zu berücksichtigen, wenn man die Grenzwerte vergleicht. In Europa machen Pkw 87 Prozent der Neuzulassungen aus. Zudem lagen die Emissionen der Light Trucks in der EU auch drastisch unter den Vergleichswerten in den USA. Für 2016 wurde für leichte Nutzfahrzeuge ein Ist-Wert von 162 gCO₂/km gemeldet – fast 50 Gramm weniger als in den USA. Für 2025 ist ein Grenzwert von 125 Gramm geplant – etwa 14 Gramm weniger als in den USA. Die Emissionen der Neufahrzeuge werden in den USA demnach auch 2025 deutlich über den Vergleichswerten in der EU liegen. Der Vergleich der Regulierung in der EU mit der USA beruht auf einem Gesetz, welches die Obama-Regierung eingeführt hat. Die aktuelle US-Administration hat angekündigt, die Grenzwerte nicht wie geplant zu verschärfen. Im August 2018 legte die US-Umweltbehörde den Vorschlag vor, die Grenzwerte zwischen 2020 und 2026 einzufrieren. Dagegen haben bereits 17 US-Bundesstaaten Klage eingereicht. Vor diesem Hintergrund ist die zukünftige Entwicklung der US-Grenzwerte vorerst ungewiss.

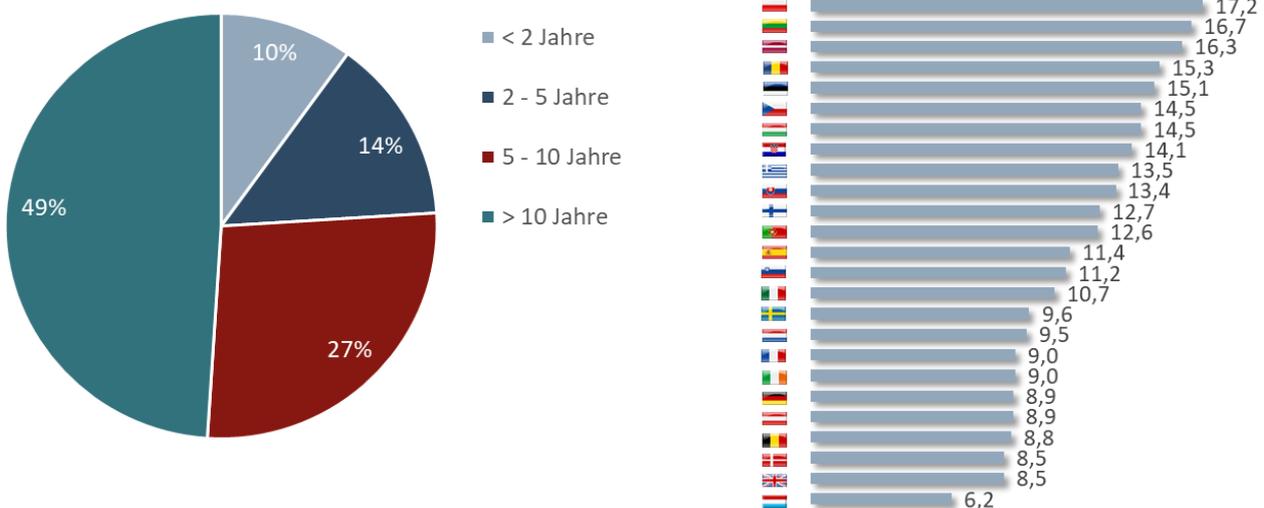
Das größte Problem bei der Grenzwertregulierung besteht darin, dass sie lediglich auf einen Teilaspekt der Emissionsverursachung abzielt und wichtige Einflussfaktoren für die tatsächlichen Emissionen des Straßenverkehrs außer Acht lässt. Bisher wird nur das Emissionspotenzial von Neuwagen in einem genormten Testumfeld reguliert. Mit der Umstellung auf das WLTP-Testverfahren erfolgt die Messung zwar in einem realitätsnäheren Fahrzyklus. Dennoch bleibt

das wesentliche Manko der Grenzwertregulierung bestehen, die nicht berücksichtigt, wie und wieviel die Fahrzeuge in der Nutzungsphase tatsächlich gefahren werden. Ein Luxus- oder Sportwagen, der im Testzyklus schlecht abschneidet, aber wenig gefahren wird, stößt während der Nutzungsdauer vermutlich viel weniger CO₂ aus als ein viel genutzter Kleinwagen, obwohl letzterer einen deutlich niedrigeren Wert im Testverfahren erzielt hat. Dies verdeutlicht die geringe Treffsicherheit dieses Instruments.

Erschwerend kommt hinzu, dass immer nur die Neuwagen eines Stichjahres reguliert werden. Das heißt pro Jahr sind nur etwa 5 Prozent der Fahrzeugflotte Gegenstand der Regulierung, weshalb es extrem lange dauert, bis Reduktionen in der Neuwagenflotte wirklich auf die Emissionen des gesamten Fahrzeugbestands durchschlagen. Zudem schlagen die Kosten der Regulierung auf die Preise der Neufahrzeuge durch, sodass die Flottenrotation zusätzlich verlangsamt wird. Tatsächlich ist die europäische Pkw-Flotte alt, etwa die Hälfte der Fahrzeuge ist zehn Jahre alt und älter. Westeuropäische Pkw sind im Durchschnitt etwa zehn Jahre alt (Deutschland: 9,4 Jahre), Pkw in den osteuropäischen Beitrittsländern noch deutlich älter (Abbildung 3-7). Diese Relationen zeigen, dass das europäische Durchschnittsfahrzeug des Jahres 2030 wahrscheinlich bereits vom Band gerollt ist.

Abbildung 3-7: Der europäische Fahrzeugbestand ist alt

Altersstruktur der Pkw-Flotten im Jahr 2015 – Angaben in Jahren



Quelle: ACEA, 2017

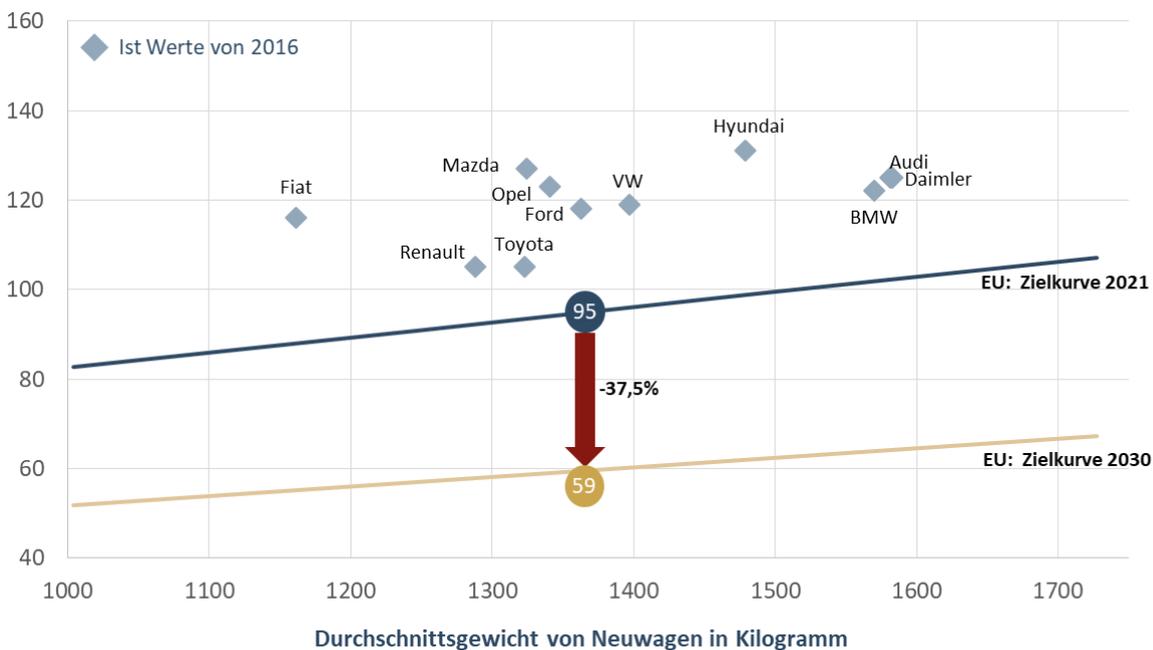
Konkret sieht der aktuelle Grenzwert für Pkw vor, dass die Neuwagenflotte im Jahr 2021 nicht mehr als 95 gCO₂/km im Testzyklus ausstoßen darf. Dieser Grenzwert wird vom Jahr 2021 bis zum Jahr 2030 zusätzlich um 37,5 Prozent abgesenkt. Das bedeutet exemplarisch ein Verbrauch von weniger als 2,6 Litern Benzin auf 100 Kilometern. Die prozentualen Reduktionen sind dabei auf die Tatsache zurückzuführen, dass ein Wechsel des Testverfahrens (vom Neuen Europäischen Fahrzyklus NEFZ zum weltweit einheitlichen Testverfahren WLTP) ansteht, was eine konkrete Zielangabe in Gramm pro Kilometer heute nahezu unmöglich macht.

Unabhängig von der Fortschreibung ist festzuhalten, dass die aktuellen Markttrends dagegen sprechen, dass der Grenzwert von 2021 von allen Herstellern erreicht werden kann, denn am aktuellen Rand steigen die durchschnittlich auf dem Rollstand gemessenen Emissionswerte wieder an. Dieser Effekt ist vor allem dem Einbruch des Dieselmарktes geschuldet. Ein Diesel stößt in etwa 15 Prozent weniger CO₂ aus als ein vergleichbarer Benziner und ist besonders bei größeren Fahrzeugen effizienter. Zeitgleich mit dem Einbruch des Dieselsabsetzes – der Marktanteil des Diesels ist in Deutschland im September 2018 unter 30 Prozent gefallen – hält der Trend zum SUV ungebrochen an. In der Kombination dieser Faktoren rücken bereits die Grenzwerte für 2021 für einige Hersteller zunehmend in weite Ferne (Abbildung 3-8).

Tatsächlich beinhaltet die Grenzwertregulierung, dass jeder Hersteller einen eigenen Zielwert zugewiesen bekommt, der sich am Durchschnittsgewicht der von diesem Hersteller verkauften Neuwagen orientiert (Puls, 2013). Die Einzelwerte addieren sich dann zum Wert von 95 gCO₂/km im Flottendurchschnitt auf. Bis 2030 sinkt dieser Wert auf 59 gCO₂/km (gemessen im NEFZ). Einige Ausnahmen für Hersteller mit geringen Stückzahlen wurden gemacht.

Abbildung 3-8: Ziele für 2030 – erzwingen hohe Marktanteile für Elektroautos

Stand und Ausblick für das System der Pkw-Grenzwerte



Quelle: EEA, 2018b

Der Zielwert der Hersteller wird daher über eine Durchschnittsgerade vorgegeben. Je größer der Abstand zu dieser Zielgeraden, desto mehr Reduktionen sind noch bis 2021 zu leisten, wenn der Hersteller den recht harschen Sanktionen entgehen will, die mit einer Zielverfehlung verbunden sind. Tatsächlich gilt, dass wenn ein Hersteller den Zielwert verfehlt, eine Strafzahlung fällig wird, die sich an der Höhe der Zielwertüberschreitung und der Anzahl der abgesetzten Neuwagen orientiert. Im Prinzip kostet die Überschreitung des Zielwerts 95 Euro pro angefangenem Gramm Überschreitung und verkauftem Neuwagen.

Überträgt man die Strafzahlung unter der Annahme einer Lebensfahrleistung des Pkw von 200.000 Kilometern in einen Preis pro Tonne emittierten CO₂, so erhält man beim Überschreiten des Grenzwerts einen impliziten CO₂-Preis von etwa 475 Euro pro Tonne. Aktuelle Hochrechnungen haben ergeben, dass einige Hersteller im Jahr 2021 Strafen zahlen werden, wobei die größten Strafen für den Volkswagen- und den FIAT-Konzern erwartet werden, falls sich deren Flottenemissionen in ähnlicher Weise entwickeln wie bisher (PA Consulting, 2018). Das sehr ungenaue Instrument ist also mit einer sehr hohen Strafandrohung versehen.

Die europäische Regulierung der Flottengrenzwerte für Neufahrzeuge adressiert direkt die Hersteller. Deren Kosten für die Produktion emissionsärmerer Fahrzeuge steigen. Gleichzeitig reduzieren sich die Treibstoffkosten. Ein bestimmter Mix ist wirtschaftlich rational und wird daher durch die Endkunden nachgefragt. Um den Grenzwert von 81 gCO₂ bis 2025 zu erreichen, würde die Herstellkosten pro Fahrzeug laut einer Studie der RWTH Aachen (Ernst et. al., 2015) um durchschnittlich etwa 2.500 Euro steigen. Dieser Wert spiegelt einen Mix aus Fahrzeugen mit höherer Effizienz und emissionsärmerer Antriebstechnologie (Hybrid/rein batterieelektrisch) wieder. Auf Basis der RWTH-Studie könnten aus Käufersicht die Zusatzkosten bei rund 4.000 Euro liegen (inklusive Herstellermargen und Vertrieb). Zur Erreichung des Grenzwertvorschlags von 59 gCO₂ in 2030 könnten aus heutiger Sicht endkundenseitige Mehrkosten in Höhe von rund 5.800 Euro anfallen.² Die Einsparungen durch niedrigere Kraftstoffkosten würden diese Zusatzkosten – je nach Fahrprofil und Kilometerleistung – erst nach vielen Nutzungsjahren amortisieren.

Ein exemplarischer Vergleich ist auf Basis von Typklassen möglich, welche Kosten und Nutzen der Grenzwertregulierung darstellen. Hierfür dienen die Typklassen und Annahmen der spezifischen Eigenschaften aus Prognos et. al. (2018, 96 ff.) als Grundlage (Tabelle 3-2). Es wird differenziert nach Kleinwagen (städtisch, Kurzstrecke), Kompaktklasse (Allrounder, private Zwecke), Mittelklasse (Vielfahrer, Langstrecke) und SUV (Allrounder, gewerblich). Betrachtet wird die Laufzeit beim Erstnutzer; der Wiederverkaufswert ist nicht Gegenstand der Betrachtung.

Tabelle 3-2: Annahmen der Typklassen

	Antrieb	Anschaffungskosten	Fahrleistung	Nutzungsdauer	Realverbrauch
	Typ	Euro	km/Jahr	Jahre	l/100km
Kleinwagen	Benzin	18.200	5.000	10	6,2
Kompaktklasse	Benzin	24.100	10.900	10	6,8
Mittelklasse	Diesel	33.000	30.000	4	6
SUV	Diesel	30.000	20.300	6	7

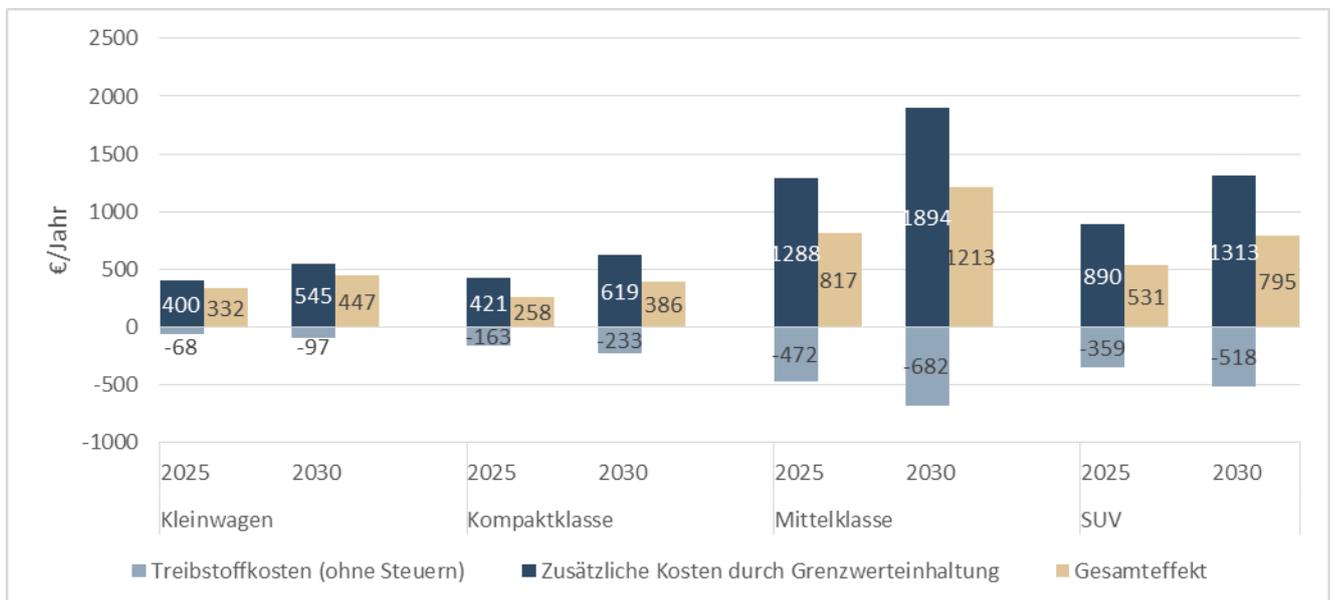
Quelle: Prognos et. al. , 2018

² Neuere Erhebungen (Ricardo Energy & Environment, 2018) deuten auf geringere Technologiekosten hin.

Die höheren Anschaffungskosten zur Einhaltung höherer Grenzwerte können sich nur amortisieren, wenn der Spritverbrauch so stark sinkt, dass die gesparten Treibstoffkosten über die Laufzeit eine ähnliche Größenordnung erreichen. Nicht eingerechnet sind geringere Steuerzahlungen, denn das sinkende Steueraufkommen wird an anderer Stelle durch zusätzliche Steuern oder sinkende Ausgaben kompensiert werden, so dass auch Nicht-Autofahrer betroffen sein können. In allen betrachteten Varianten zahlen die Nutzer deutlich mehr (Abbildung 3-9).

Abbildung 3-9: Gesamte Zusatzkosten durch Flotteneffizienzvorgaben in den Jahren 2025 und 2030

Kostendifferenzen pro Jahr in Euro (ohne Steuern). Endkunden-Anschaffungskosten mit kalkulatorischen Zinssatz von 4 % als Annuität (jährliche Kosten), Treibstoffkosten sind diskontiert über Nutzungsdauer.



Quelle: IKA, 2014; Prognos et. al., 2018; Ricardo, 2018; Institut der deutschen Wirtschaft

Aus heutiger Sicht erscheinen die geforderten Verbrauchswerte für ein spezifisches Fahrzeug wenig plausibel. Wahrscheinlicher ist, dass es zum einen Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb und höheren Verbrauchswerten und zum anderen als Null-Emissionsfahrzeuge geltende BEV gibt, die im Mittel die geforderte Emissions- und damit Verbrauchsreduktion erreichen können. Damit die Flottengrenzwerte erreicht werden können, müssen also Fahrzeugtypen mit niedrigen oder null Emissionen in ausreichend hoher Zahl verkauft werden. Angesichts der höheren Kosten und der beschriebenen Nutzungsnachteile machen BEV bislang jedoch nur einen Bruchteil der Fahrzeugverkäufe aus.

Die exemplarische Berechnung gibt Aufschluss auf mögliche sozioökonomische Implikationen. Insbesondere für Kleinwagen mit niedriger Fahrleistung sind Effizienzmaßnahmen vergleichsweise unwirtschaftlich, denn pro Kilometer sind die Kosten in diesem Segment am höchsten. Dabei werden Kleinwagen in der Regel aufgrund der geringen Kosten gekauft, die Käufer sind also sehr preissensibel. Zudem erreichen Kleinwagen üblicherweise nur unterdurchschnittliche Jahresfahrleistungen, was die Amortisationszeit verlängert. Zielgruppen können bevorzugt untere Einkommensschichten sein oder Zweitwagenkäufer in höheren Einkommensschichten.

Werden die neuen Grenzwerte verpflichtend und trägt der Endkunde die vollen Kosten der Effizienzmaßnahmen, wird dies insbesondere untere Einkommensschichten überproportional belasten. Somit besteht die Gefahr, dass die Anschaffungsmehrkosten von emissionsarmen Pkw (z.B. unterhalb des Flottengrenzwerts) gerade im Kleinwagenbereich zu prohibitiven Preissteigerungen führen können, was die Wirtschaftlichkeit von Kleinwagenproduktionen generell in Frage stellen kann.

Bei Flottengrenzwerten beläuft sich das CO₂-Vermeidungspotenzial auf rund 0,1 bis 0,3 Millionen Tonnen CO₂ im Jahr 2025. Hierfür wird angenommen, dass alle neuzugelassenen Pkw in 2025 den schärferen Flottengrenzwert von umgerechnet 81 gCO₂/km einhalten statt dem Flottengrenzwert von 95 gCO₂/km von 2021. Es wird angenommen, dass im Jahr 2025 analog zu 2017 rund 3,5 Millionen Pkw zugelassen werden. Jeder Pkw hat weiterhin eine durchschnittliche Fahrleistung von 13922 Kilometern pro Jahr (Durchschnitt laut Kraftfahrbundesamt für 2017). Eine Preiselastizität durch den geringeren Treibstoffverbrauch pro Kilometer führt zu einem Mehrverbrauch (Rebound-Effekt); die Elastizität wird zwischen 0,15 bis 0,6 variiert.

Die CO₂-Vermeidungskosten stellen dar, was der Nutzer für die Grenzwerteinhaltung mehr zahlen muss, um dann weniger CO₂ zu emittieren. Konkret sind die CO₂-Vermeidungskosten hier das Verhältnis aus den höheren Kosten zur Grenzwerteinhaltung zu den geringeren Emissionen. Abhängig von der Pkw-Typklasse und dem Nutzungsverhalten ergibt sich eine Bandbreite an Vermeidungskosten von 300 bis 1075 Euro pro Tonne CO₂.

Die Flottengrenzwerte führen zu einer Treibstoffreduktion und beeinflussen darüber die staatlichen Einnahmen der Energiesteuer sowie der Mehrwertsteuer auf die Energiesteuer. Der Staat hat Steuermindereinnahmen von bis zu 100 Millionen Euro im Jahr der Einführung. Dies ergibt sich aus der Anzahl der rund 3,5 Millionen neuzugelassener Pkw. Es wird angenommen, dass nur diese neuzugelassenen Pkw die Flottengrenzwerte einhalten. Alle bereits existierenden Pkw haben noch den Flottengrenzwert aus dem Jahr 2021. Diese neu zugelassenen Pkw verbrauchen dann 15 Prozent weniger Treibstoff als 2021. Der geringere Verbrauch führt über die Preiselastizität zu einer leichten Erhöhung der Fahrleistung. Pro Liter weniger Treibstoff fallen dann aber auch Steuereinnahmen in oben genannter Höhe weg. Wichtig hierbei ist, dass im ersten Jahr des schärferen Grenzwerts der Effekt der Steuereinnahmen aber auch der CO₂-Vermeidung nur auf die rund 3,5 Millionen Neuzulassungen angewendet wird. Mit jedem Jahr, den der Flottengrenzwert bestand hat, erhöhen sich aber die Effekte. So unterliegen im zweiten Jahr schon rund 7 Millionen Pkw dem schärferen Grenzwert, und nach Jahr drei bereits rund 10 Millionen Pkw. Entsprechend steigen auch die Steuermindereinnahmen sowie die CO₂-Vermeidungen proportional an. Dieser kumulative Effekt wird hier nicht quantifiziert. Ebenso nicht, dass die spezifischen Emissionen stetig bis zum Erreichen des Grenzwert sinken anstatt schlagartig vom 2021 Ausgangswert auf den 2025er Zielwert zu fallen. Grund, dass der kumulative Effekt nicht quantifiziert wird, ist die Konsistenz zu den anderen betrachteten Instrumenten, die ebenso eine Momentaufnahme darstellen.

Insgesamt sind die Grenzwertvorgaben für Fahrzeugflotten kritisch zu sehen, da die Hersteller nur ihr Angebot verändern und emissionsärmere Fahrzeuge in ihr Portfolio aufnehmen können.

Die Käufer entscheiden dann über die tatsächlichen Emissionen, nicht nur bei der Kaufentscheidung, sondern vor allem durch ihr Fahrverhalten.

3.2.2 Förderung batterieelektrischer Fahrzeuge

Die Energiekosten liegen bei BEV unter den Preisen für konventionelle und synthetische Kraftstoffe. Allerdings liegen die Fahrzeugpreise deutlich über den konventionell motorisierten Fahrzeugen, je nach Fahrzeugtyp liegen die Anschaffungskosten für BEV 33 bis 50 Prozent höher (Prognos, 2018). Dies ist im Wesentlichen auf die Kosten für die Batterie zurückzuführen, wobei weitere Kostendegressionen für Batterien erwartet werden. Dem stehen geringere Kosten für Strom im Vergleich zu herkömmlichen Kraftstoffen gegenüber.

Ein wirtschaftlich entscheidende Faktor für die Wahl der Antriebstechnik sind die Vollkosten (Total Costs of Ownership, TCO), die sich aus unterschiedlichen Nutzungsszenarien ergeben. Derzeit sind die Vollkosten wegen der hohen Batteriekosten bei BEV noch deutlich ungünstiger, könnten sich aber angesichts in Zukunft sinkender Batteriepreise vorteilhafter entwickeln. Mit zunehmender Kilometerleistung machen sich die niedrigeren variablen Kosten bemerkbar und sprechen für BEV, die jedoch im Vergleich zu Fahrzeugen mit konventioneller Antriebstechnik niedrigere Reichweiten ermöglichen. Für längere Fahrten verringert sich demnach trotz niedrigerer Fahrkosten der Nutzwert angesichts häufiger und langwieriger Ladevorgänge.

In Anlehnung an Prognos (2018) können die Kostendifferenzen von BEV exemplarisch verglichen werden. Hierzu werden wiederum die zuvor diskutierten Typklassen „Kleinwagen“, „Kompaktklasse“, „Mittelklasse“ und „SUV“ mit ihren charakteristischen Eigenschaften verwendet. Die zuvor getroffenen Annahmen aus Tabelle 3-2 bleiben bestehen. Sie werden um die Batterie-spezifischen Annahmen in Tabelle 3-3 ergänzt (Prognos, 2018).

Tabelle 3-3: Annahmen der Typklassen für BEV

	Antrieb	Anschaffungskosten	Zusatzkosten BEV-Variante		Fahrleistung	Nutzungsdauer	Realverbrauch BEV
	Typ	Euro	Euro (in 2025)	Euro (in 2030)	km/a	Jahre	kWh/100km
Kleinwagen	Elektro	18.200	5.400	4.800	5.000	10	18,2
Kompaktklasse	Elektro	24.100	7.400	6.600	10.900	10	19
Mittelklasse	Elektro	33.000	14.100	12.600	30.000	4	21,5
SUV	Elektro	30.000	12.600	11.300	20.300	6	21,3

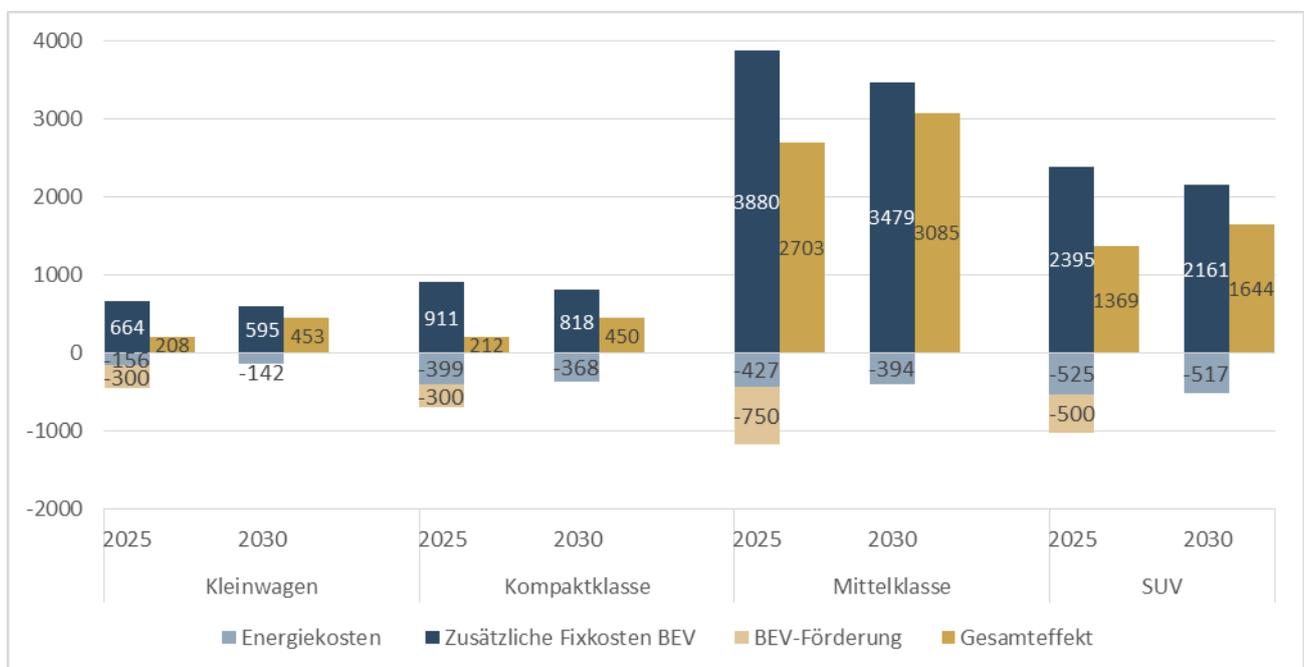
Quelle: Prognos et. al., 2018; Institut der deutschen Wirtschaft

Zusätzlich wird auf Basis von Prognos et. al. (2018) ein Strombezugspreis im Jahr 2025 von 0,287 Euro/kWh und in 2030 von 0,304 Euro/kWh angenommen (inkl. Stromsteuer). Für den Mittelklasse-Pkw ist aufgrund der hohen Laufleistung ein Batteriewechsel eingepreist. Zur Veranschaulichung des Effekts einer Förderung wird eine Prämie in Höhe von 3.000 Euro in 2025 angenommen, die geringer ist als die aktuelle Förderung von 4.000 Euro, aber berücksichtigt, dass die Ziele der Bundesregierung für Elektromobilität in den kommenden Jahren voraussichtlich weiterhin verfehlt werden. Für das Jahr 2030 wird angenommen, dass es aufgrund von günstigeren Batteriekosten keine Förderung mehr gibt.

Die Kosten beinhalten die Investitionsmehrkosten für ein BEV im Vergleich zur konventionellen Variante sowie die privaten Infrastrukturkosten der Anbringung einer Wallbox zum Laden, wobei diese einen längerfristigen Nutzen erbringen kann. Beide Investitionskosten werden mit einem kalkulatorischen Zinssatz von 4 Prozent als Annuität einbezogen. Die Investitionskosten werden um die Einsparung der diskontierten Energiekosten reduziert. Kosten für die öffentliche Infrastruktur fallen nutzerseitig nicht an; es wird unterstellt, dass die BEV privat geladen werden, zum Beispiel in der eigenen Garage. Die Differenz der Kfz-Steuer wird nicht berücksichtigt, da unklar ist, inwieweit der Nutzer auch in Zukunft an den Steuern beteiligt wird. Einsparungen durch Wartung und Reparatur werden durch die untergeordnete Relevanz vernachlässigt.

Abbildung 3-10: Nutzerseitige Zusatzkosten durch BEV in den Jahren 2025 und 2030

Kostendifferenzen pro Jahr in Euro (ohne Steuern). Endkunden-Anschaffungskosten mit kalkulatorischen Zinssatz von 4 % als Annuität (jährliche Kosten), Energiekosten sind diskontiert über Nutzungsdauer.



Quelle: IKA, 2014; Prognos et. al., 2018; Institut der deutschen Wirtschaft

Für alle exemplarischen Typklassen sind ohne zusätzliche E-Mobility-Förderung höhere Gesamtkosten zu verzeichnen (Abbildung 3-10). Wesentlicher Treiber sind hierbei die höheren annui-

tätischen Fixkosten. Insbesondere bei den Typen Mittelklasse und SUV verursachen die Fixkosten einen deutlich überproportionalen Anstieg der Gesamtkosten. Grund hierfür ist die Notwendigkeit einer groß dimensionierten Batterie sowie die kürzeren Haltedauern in Kombination mit dem Verschleiß der Batterie. Im Falle der Mittelklasse wird sogar ein vollständiger Batteriewechsel zum Ende der Haltedauer eingepreist (Prognos, 2018).

Auf Basis der exemplarischen Ergebnisse sind jährlich höhere Gesamtkosten ohne Förderung zwischen 450 Euro bis hin zu 3500 Euro möglich. Der Fixkostenaufschlag überwiegt somit bei jeder Klasse deutlich die Energiekosteneinsparungen. Das Kostendefizit ist bei dem Kleinwagen-Typ und bei der Kompaktklasse am geringsten. Unter der Annahme, dass in 2025 noch eine BEV-Förderung von 3.000 Euro besteht, werden die höheren Fixkosten für den Kleinwagen-Typ und die Kompaktklasse zu einem Gutteil kompensiert.³

Die Kleinwagen-Klasse und die Kompaktklasse werden überwiegend geringeren Einkommensdezilen zugeschrieben. Ohne Förderung wäre hier im Jahr 2025 ein absoluter jährlicher Aufschlag von 450 bis 510 Euro anzusetzen, was eine erhebliche Zusatzbelastung für Haushalte mit niedrigen Einkommen darstellen kann; insbesondere vor dem Hintergrund, dass sich die jährlichen Fixkosten für Kleinwagen durchaus im Rahmen von 1200 bis 2400 Euro belaufen können. In der Kleinwagen- und Kompaktklasse kann die BEV-Förderung die zusätzlichen Kosten zwar deutlich senken. Doch die höheren Anschaffungskosten sprechen gerade bei Haushalten mit geringen Einkommen gegen einen Umstieg. Ohnehin werden BEV aufgrund ihrer Reichweitenbeschränkung eher als Zweit- oder Drittwagen angeschafft, was wiederum charakteristisch für höhere Einkommensgruppen ist.

Sorgt ein anderes Instrument wie eine zusätzliche Besteuerung von Emissionen oder auch die Pflicht zur Beimischung eines bestimmten Anteils von emissionsarmen Kraftstoffen für steigende Preise der herkömmlichen Kraftstoffe, wird die BEV-Nutzung relativ attraktiver, wodurch sich ein höherer Anschaffungspreis bei entsprechender Kilometerleistung schneller amortisieren kann. Andererseits sinkt die Attraktivität mit stärker steigenden Strompreisen im Verhältnis zu den Spritpreisen.

Um die nutzerseitigen Vermeidungspotentiale zu berechnen, werden die CO₂-Emissionen der konventionellen Fahrzeuge auf Grundlage der Nutzungsprofile berechnet (Fahrleistung, Verbrauch). Anschließend werden diese Emissionen mit den Emissionen der BEV-Variante verglichen. Nutzungsprofile wie die Fahrleistung bleiben hierbei identisch. BEV gelten in der auf das Fahrzeug beschränkten Betrachtung als emissionsfrei. Dies überschätzt tendenziell das Vermeidungspotenzial, da die Emissionen des Großhandelsstroms größer null sind und nicht alle BEV per Ökostrom geladen werden. Das derart berechnete CO₂-Vermeidungspotenzial für eine Millionen BEV beläuft sich auf 0,7 bis 5 Millionen Tonnen CO₂, abhängig von der Typklasse und dem Nutzungsverhalten.

³ Diese Annahme dient lediglich der Veranschaulichung des Anteils der BEV-Förderung und hat weder Prognose- noch Empfehlungscharakter.

Die über die BEV-Verwendung eingesparten CO₂-Emissionen werden den zusätzlichen Kosten gegenübergestellt und daraus die CO₂-Vermeidungskosten abgeleitet. Die Vermeidungskosten liegen in Abhängigkeit der Typklasse und Nutzungsverhalten zwischen 370 und 910 Euro pro Tonne CO₂. Die untere Grenze der Vermeidungskosten wird insbesondere durch Nutzer mit hohen Fahrleistungen erreicht. Ein durchschnittlicher Nutzer mit einer Fahrleistung von 10.000 bis 15.000 Kilometern pro Jahr wird hingegen eher im Mittelfeld der Bandbreite von Vermeidungskosten liegen. Zur Berechnung der Vermeidungskosten werden die zusätzlichen Investitionskosten der BEV über die Haltedauer mit einem kalkulatorischen Zins von 4 Prozent annuitisiert betrachtet. Zukünftige Treibstoffeinsparungen werden diskontiert. Die Kosten privater Ladeinfrastruktur (Wallbox) sind enthalten. BEV-Förderungen sowie Steuererleichterungen zum Beispiel bei der Kfz-Steuer sind exkludiert, da die zukünftige Höhe ungewiss ist. Tendenziell führen derartige Erleichterungen zu geringeren nutzerseitigen Vermeidungskosten, fallen aber auf Seite des Staates an, wodurch die tatsächlichen Vermeidungskosten effektiv nicht gesenkt werden können. Die Kosten für die öffentliche Ladeinfrastruktur sind nicht enthalten aufgrund der Annahme des privaten Ladens. Ebenfalls nicht eingerechnet sind Kosten, die dadurch entstehen können, dass ein BEV nicht die gleichen Nutzungseigenschaften wie ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor besitzt und deshalb beispielsweise für Langstreckenfahrten zusätzlich ein reichweitenstarkes Fahrzeug angemietet wird.

Neben den nutzerseitigen Kosten entstehen auch Kosten zum Ausbau der öffentlichen Infrastruktur für BEV. Die Infrastrukturkosten teilen sich in zwei große Bereiche: Den Ausbau der Ladeinfrastruktur und die Ertüchtigung der Stromnetze. Die Ladeinfrastrukturkosten für etwa eine Millionen BEV im Jahr 2020 können etwa 300 bis 400 Millionen Euro betragen (BDEW 2015, Flick & Partner, 2014). Pro BEV wären das rund 300 bis 400 Euro Kosten für die Ladeinfrastruktur. Die Kosten sind stark abhängig von der Anzahl der Ladesäulen im öffentlichen Raum. Bislang wird ein Großteil der BEV an privaten Ladestationen, sprich in der eigenen Garage oder am Arbeitsort, geladen. Neben diesen unmittelbaren Infrastrukturkosten steigen auch die Systemkosten durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und deren Systemintegration sowie die notwendigen Investitionen in die Verteilnetze, die nicht zuletzt für den Ausbau der Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität notwendig werden. Wenn die Kosten wie bisher in Form der EEG-Umlage und der Netzentgelte auf die Verbraucher umgelegt werden, schlägt sich dies in steigenden Strompreisen für die Endkunden nieder. Dies wiederum schmälert den Vorteil günstiger Energiekosten pro Kilometer der BEV im Vergleich zu konventionellen Antrieben. Tatsächlich kostet Fahrstrom an öffentlichen Ladepunkten heute oftmals zwischen 40 und 50 Cent pro Kilowattstunde.⁴ Bei diesem Preis besteht kaum noch ein Vorteil gegenüber den Kosten konventioneller Kraftstoffe.

Darüber hinaus würde ein Hochlauf der Elektromobilität für beträchtliche Steuermindereinnahmen sorgen, da Elektrofahrzeuge nur einen Bruchteil der Steuerlast eines Verbrenners zu tragen haben.

⁴ Es gibt große Unterschiede je nach Betreiber des öffentlichen Ladepunktes. Die Spanne reicht von kostenloser Abgabe bis etwa 55 Cent pro kWh.

Hierzu folgendes Beispiel: Ein Kompaktklasse-Wagen mit Realverbrauch von 6l/100km Super wird durch ein batterieelektrische Fahrzeug (BEV) ersetzt, welches im Realverbrauch 17 kWh auf 100 Kilometer verbraucht.⁵ Bei einer Jahresfahrleistung von 11.000 Kilometern ergibt sich für ein BEV folgender Effekt:

- Kfz-Steuer: Der Benziner wäre mit 98 Euro zu versteuern, das BEV ist steuerfrei.
- Energiesteuer/Stromsteuer: Der Benziner entrichtet 432 Euro, das BEV 38 Euro.
- Mehrwertsteuer: Der Benziner entrichtet 158 Euro Mehrwertsteuer, wovon 82 Euro die Mehrwertsteuer auf die Energiesteuer darstellen. Das BEV entrichtet 84 Euro an Mehrwertsteuer, wovon 7 Euro die Mehrwertsteuer auf die Stromsteuer darstellen.
- Steuermindereinnahmen: 566 Euro pro Jahr.

Dem stünde eine CO₂-Einsparung gegenüber, die sich über die Emissionsfaktoren für den vom Umweltbundesamt ermittelten Inlandsstromverbrauch in Deutschland (537 gCO₂/kWh geschätzt für das Jahr 2017; UBA, 2018, 9) und Superbenzin (2.330 gCO₂/Liter) quantifizieren lässt. Demnach emittiert das Benzinfahrzeug 1,54 tCO₂ pro Jahr, während das BEV etwas über eine Tonne emittiert. Damit reduzieren sich die staatlichen Steuereinnahmen pro eingesparter Tonne CO₂ um etwa 1.000 Euro, wobei dieser Betrag mit zunehmender Dekarbonisierung des Stromnetzes fällt, da dann die CO₂-Reduktionsleistung des BEV weiter zunimmt. Der Wert kann also nicht auf die Lebensfahrleistung der Beispielfahrzeuge hochgerechnet werden, sondern stellt eine Momentaufnahme dar.

Für das Beispiel eines Diesel-Kfz wird ein Diesel-Kfz mit 1,6 l Hubraum, 81 kW Leistung, einem Durchschnittsverbrauch von rund 4,5 l Diesel auf 100 Kilometern und einer Jahresfahrleistung von 17.400 km (Durchschnitt) verwendet. Dies führt zu CO₂-Emissionen von 2,3 tCO₂ pro Jahr beziehungsweise zusätzlichen 0,71 tCO₂ im Vergleich zum BEV mit gleicher Fahrleistung und spezifischem Strom-Emissionsfaktor von 537 gCO₂/kWh. Für die Steuereinnahmen eines Diesel-Kfz ergeben sich folgende Effekte im Vergleich zu einem BEV:

- Kfz-Steuer: Der Diesel wäre mit 164 Euro zu versteuern, das BEV ist steuerfrei.
- Energiesteuer/Stromsteuer: Der Diesel entrichtet 409 Euro, das BEV 61 Euro.
- Mehrwertsteuer: Der Diesel entrichtet 185 Euro Mehrwertsteuer, wovon 78 Euro die Mehrwertsteuer auf die Energiesteuer darstellen. Das BEV entrichtet 132 Euro an Mehrwertsteuer, wovon 12 Euro die Mehrwertsteuer auf die Stromsteuer darstellen.
- Steuermindereinnahmen: 565 Euro pro Jahr.

Pro eingesparter Tonne CO₂ reduzieren sich die Steuereinnahmen des Staats bei diesem beispielhaften Diesel-Kfz somit um rund 793 € pro Jahr.

⁵ Durchschnittsverbrauch über alle BEV bei Spritmonitor.de.

Beide Beispiele hängen sensitiv von den Annahmen ab und hier insbesondere von der Fahrleistung und dem spezifischen Verbrauch. Ebenso davon, ob der Strombezug des BEV die spezifischen Emissionen des Großhandelsstroms besitzt oder durch Ökostromtarife niedriger oder null ist. Hinzu kommen weitere Steuererleichterungen wie bei der Dienstwagenbesteuerung, die in dieser Rechnung nicht berücksichtigt wurden. Die beispielhaften Rechnungen zeigen aber, dass etwa für eine Millionen BEV anstatt Benzinern oder Diesel bei derzeitigem Strommix eine CO₂-Reduktion von rund einer halben Millionen Tonnen CO₂ erreicht werden kann; demgegenüber stehen verminderte Steuereinnahmen von bis zu einer Milliarde Euro. Wenn die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung zukünftig weiter sinken, reduzieren sich auch die Vermeidungskosten und damit verringern sich die Steuermindereinnahmen pro eingesparter Tonne CO₂, weil pro BEV verhältnismäßig mehr CO₂ eingespart wird.

Für die vier zuvor diskutierten Typklassen Kleinwagen, Kompaktklasse, Mittelklasse und SUV ergibt sich eine exemplarische Spanne von jährlichen Steuermindereinnahmen. Diese Bandbreite repräsentiert die verwendeten exemplarischen Klassen und ist nicht repräsentativ für die gesamte Fahrzeugflotte, deren Nutzungsverhalten sowie den Halterpräferenzen, auf ein BEV umzusteigen. Dennoch ergeben sich hierdurch Indikationen möglicher Steuereffekte. Es wird deutlich, dass insbesondere die Kategorie der Diesel mit deren höheren Fahrleistungen auch höhere Steuermindereinnahmen induzieren.

Tabelle 3-4: Mehr BEV bedeuten weniger Steuereinnahmen für den Staat

Steuermindereinnahmen für BEV im Vergleich zu konventionellem Antrieb; in Euro pro Fahrzeug und Jahr

	Benzin / BEV	Diesel / BEV
Kfz-Steuer	48 bis 82	240 bis 277
Energie-/Stromsteuer	184 bis 443	580 bis 714
Mehrwertsteuer	25 bis 67	37 bis 71
Steuermindereinnahmen pro BEV	292 bis 557	927 bis 992
Steuermindereinnahmen bei 1 Million BEV	292 Mio. bis 557 Mio.	927 Mio. bis 992 Mio.

Ergebnisse und Bandbreiten resultieren aus den zuvor diskutierten Typklasse und Nutzungsverhalten.

Quelle: Institut der deutschen Wirtschaft

3.2.3 Beimischung alternativer Kraftstoffe

Eine weitere Option ist die verpflichtende Beimischung alternativer Kraftstoffe, um auf diese Weise die Emissionen zu reduzieren. Dazu können gasförmige oder flüssige Kraftstoffe zum Einsatz kommen, die aus Biomasse, Wasserstoff oder erneuerbar erzeugtem Strom umgewandelt wurden. Das Instrument wird heute bereits europaweit genutzt, da die Richtlinie 2009/28/EG Vorgaben zur Beimischung von Biokraftstoffen macht. In Deutschland schreiben nationale Gesetze vor, dass heute eine Beimischung von Biokraftstoffen von etwa 6-7 Prozent erfolgen muss.

Dieser Wert wird bis 2020 spürbar ansteigen. Sichtbarste Folge der Beimischungsquote war die Einführung von Super E10 im Jahr 2011. Weniger bekannt ist, dass gängiges Superbenzin bereits eine Beimischung von bis zu 5 Prozent enthält, beim Diesel sind es bis zu 7 Prozent. Die Einführung von E10 hat aber auch Probleme von Beimischungsquoten offengelegt, denn die Akzeptanz der Kunden für das neue Produkt blieb deutlich hinter den Erwartungen zurück. Insbesondere bei chemisch andersartigen Beimischungen wie Ethanol und RME (Raps-Methyl-Esther) gab es weit verbreitete Bedenken hinsichtlich der Kompatibilität mit den Motoren im Fahrzeugbestand. Hinzu kommt die Konkurrenz der Flächennutzung mit dem Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln. Deshalb gilt das Potenzial von Biokraftstoffen als begrenzt.

Die auf erneuerbar erzeugtem Strom basierenden synthetischen Kraftstoffe können im Straßenverkehr emissionsfrei genutzt werden. Damit stellen synthetische Kraftstoffe eine Alternative zu batterieelektrischen Antrieben dar. Sie haben zum einen den Vorteil, in herkömmlichen Motoren verwendet werden zu können und adressieren damit auch den Bestand. Dies ist im Hinblick auf das Erreichen der Klimaziele insofern relevant, als etwa die Hälfte der im Jahr 2030 genutzten Fahrzeuge heute bereits produziert worden ist. Zum anderen stellen sie aber auch eine chemisch reine Form des heute üblichen Kraftstoffs dar, weshalb Anpassungsprobleme entfallen und der Verbrennungsprozess effizienter gesteuert werden kann. Zudem ist die Produktion von synthetischen Kraftstoffen praktisch unbegrenzt möglich, entsprechende Investitionen in die Produktionsanlagen und der Stromherstellung vorausgesetzt. Den limitierenden Faktor des Bedarfs an Anbauflächen wie im Fall von Biokraftstoffen gibt es nicht. Zu erwähnen ist auch, dass PtL – anders als Biokraftstoffe – komplett emissionsfrei sind, wenn bei ihrer Herstellung ausschließlich regenerativer Strom verwendet wird. Deshalb besteht eine Möglichkeit zur Senkung der Emissionen im Straßenverkehr darin, synthetische Kraftstoffe den konventionellen beizumischen. Eine entsprechende Beimischungsquote könnte von der Politik zur Emissionsreduktion festgelegt oder bei der Erfüllung der Grenzwertregulierung angerechnet werden. Der Beimischungsanteil könnte dann mit der Zeit steigen. Angesichts der höheren Produktionskosten von synthetischen Kraftstoffen würde das die Kraftstoffpreise zunächst erhöhen. Mit zunehmender Produktion und Marktdurchdringung ist aufgrund von technologischer Entwicklung und Skaleneffekten im Laufe der Zeit mit sinkenden Herstellungskosten zu rechnen.

Tabelle 3-5: Prognosen für PtL-Erzeugerpreise

Angaben in Euro pro Liter Dieseläquivalent; ohne Abgaben und Steuern, in Preisen von 2015

	2015	2020	2030	2050
Frontier, 2018		1,09-1,88	0,92-1,90	0,79-1,32
Prognos, 2018	4,96	2,33	1,03-1,83	0,75-1,41
Dena, 2018	4,48			1,26

Quelle: Frontier, 2018; Prognos et. al. , 2018; Dena, 2018

Unter Annahme eines Anstiegs der Verbraucherpreise um etwa 2 Prozent pro Jahr (Deutsche Bundesbank, 2018) und einem Ölpreis von 81 Dollar pro Barrel im Jahr 2030 (IEA, 2018b: Mittelwert aus NPS- und SD-Szenario) ergeben sich Zusatzkosten von etwa 7 Cent pro Liter bei einer

Beimischungsquote von 5 Prozent im Jahr 2025 und 11 Cent pro Liter bei 10 Prozent Beimischung in 2030.

Tabelle 3-6: Auswirkungen einer Beimischungsquote von 5 und 10 Prozent

Kraftstoffpreis: inklusive Energie- und Mehrwertsteuer

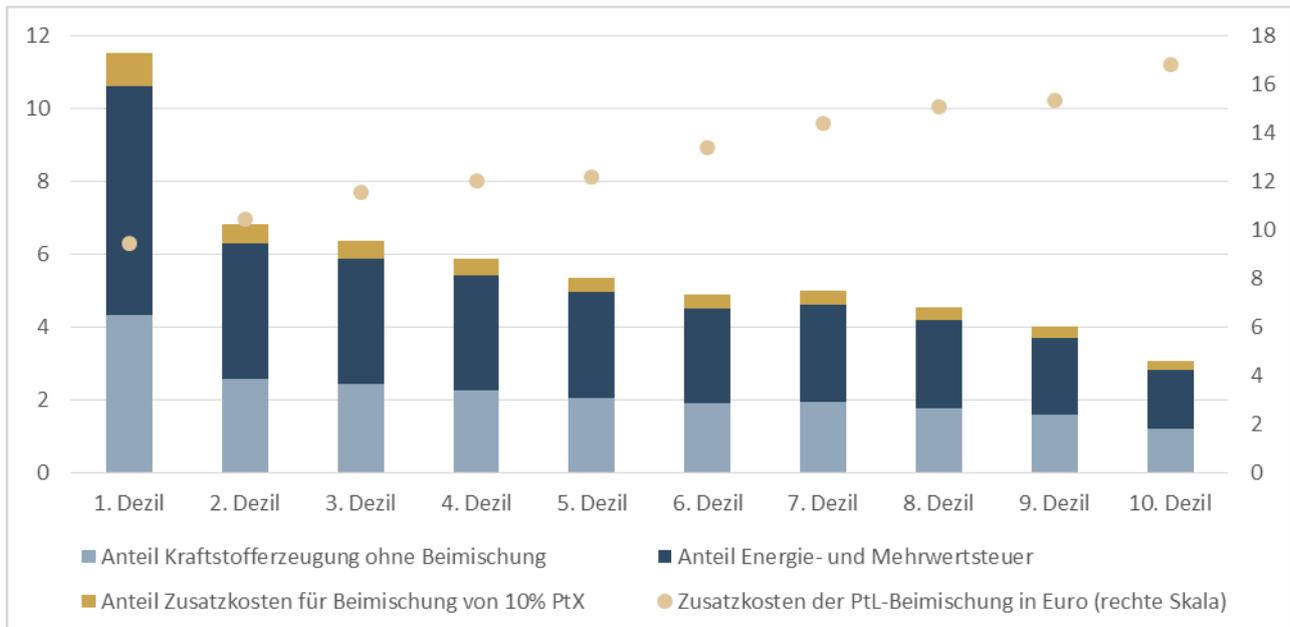
Beimischungsanteil	5 Prozent (2025)		10 Prozent (2030)	
Kraftstoff	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel
Kraftstoffpreisanstieg	+ 7 Cent		+ 11 Cent	
Jährliche Mehrkosten für einen durchschnittlichen Haushalt mit Pkw	80 Euro	110 Euro	110 Euro	149 Euro

Quelle: Institut der deutschen Wirtschaft

Für die Haushalte bedeuten die höheren Kraftstoffkosten eine Zusatzbelastung, die anteilig für diejenigen mit den geringsten Einkommen am größten ist (Abbildung 3-11). Bei einer 5- oder 10-prozentigen Beimischungsquote erhöhen sich die Kosten nur leicht. Dennoch wird auch hier die regressive Wirkung höherer Kraftstoffkosten deutlich.

Abbildung 3-11: Auswirkungen einer PtX-Beimischungsquote von 10 Prozent

Einkommensanteile nach Dezilen (1. Dezil: 10% der Haushalte mit den geringsten Einkommen); nur Haushalte mit Pkw; 10%ige PtL-Beimischung wirkt wie ein impliziter CO₂-Preis von 400 €/tCO₂ (Diesel) bis 470 €/tCO₂ (Benzin)



Quelle: Institut der deutschen Wirtschaft

Das CO₂-Vermeidungspotenzial beläuft sich auf 7 bis 9 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr bei einer 5-prozentigen Beimischungsquote. Bei einer Quote von 10 Prozent steigt sie auf 13 bis 17 Millionen Tonnen CO₂ an. Die CO₂-Vermeidung wird durch zwei Effekte erreicht. Zum einen führt der

höhere Gesamtpreis für Kraftstoffe über das Konsumentenverhalten (Preiselastizität) zu einem Nachfragerückgang. Dies reduziert CO₂-Emissionen durch den geringeren Verbrauch. Zum anderen werden CO₂-Emissionen dadurch vermieden, dass der übrige Kraftstoffverbrauch anteilig zu 5 beziehungsweise 10 Prozent CO₂-neutral erzeugt wird. Die Bandbreiten ergeben sich aus der Variation der Preiselastizitäten zwischen -0,6 und -0,15; eine Elastizität von -0,3 wird als wahrscheinlich angesehen.

Die PtL-Beimischung hat CO₂-Vermeidungskosten von 490 Euro/tCO₂ (Diesel) bis 580 Euro/tCO₂ (Benzin) im Jahr 2025. Dies ergibt sich aus den Zusatzkosten für Treibstoff im Verhältnis zu den CO₂-Einsparungen durch die Beimischung. Die CO₂-Vermeidungskosten sind nicht abhängig von der Höhe der Beimischungsquote, allerdings von den spezifischen Kosten der PtL-Herstellung. Geringere PtL-Herstellungskosten verringern die Vermeidungskosten. Das führt dazu, dass die CO₂-Vermeidungskosten für eine 10 prozentige PtL-Beimischung auf 400 Euro/tCO₂ (Diesel) bis 475 Euro/tCO₂ (Benzin) im Jahr 2030 fallen.

Die Steuereffekte ergeben sich aus den Energiesteuereinnahmen sowie den Einnahmen der Mehrwertsteuer (dies beinhaltet auch die Mehrwertsteuer auf die Energiesteuer). Die höheren Preise pro Liter führen zu höheren Mehrwertsteuereinnahmen. Gleichzeitig wird aber weniger Benzin bzw. Diesel verwendet, da dieser zu 5 beziehungsweise 10 Prozent durch PtL substituiert wird. Demnach entfallen die Einnahmen der Energiesteuer für diesen Anteil an Benzin und Diesel; PtL wird nicht mit Energiesteuern belastet. Zusätzlich führt der höhere Gesamtpreis pro Liter zu einem Nachfragerückgang und reduziert die Steuereinnahmen weiter. Je nach Höhe der Preiselastizität überwiegt insgesamt entweder der Effekt der Mehreinnahmen oder der Effekt der Nachfragereduktion. Die Bandbreite der Steuereinnahmen liegt daher im Bereich von -0,5 bis +0,3 Milliarden Euro pro Jahr bei 5 Prozent PtL-Beimischung und steigt auf -0,9 bis +0,5 Milliarden Euro bei einer 10 prozentigen Beimischung.

3.2.4 Bepreisung der Emissionen

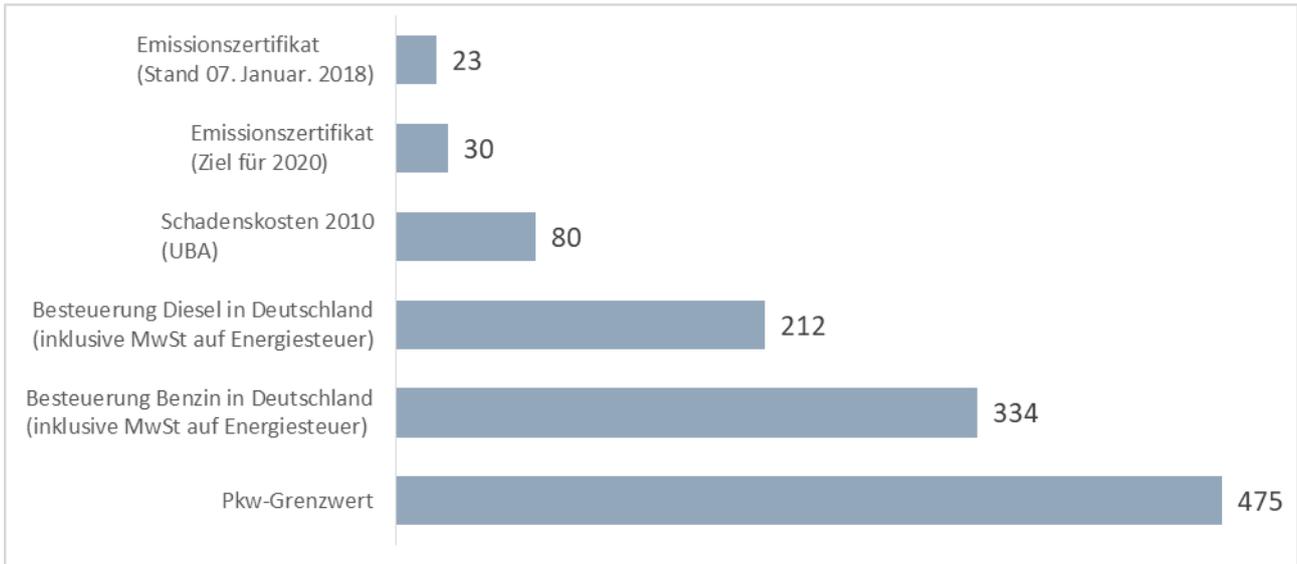
Ein wesentliches Instrument zur Emissionsvermeidung könnte die Bepreisung der Emissionen sein, zum Beispiel durch Steuern oder entsprechende Mautsysteme. Beide Ansätze zielen auf eine unmittelbare Erhöhung der Nutzerkosten im Straßenverkehr in Abhängigkeit der CO₂-Emissionen ab. Der Nutzer soll auf die Preissignale mit einer Einschränkung seiner Fahrleistung oder den Kauf eines emissionsärmeren Fahrzeugs oder Kraftstoffs reagieren. Dieser Ansatz setzt ökonomisch plausibel an der Verursachung von CO₂-Emissionen an, nämlich beim Nutzerverhalten und dem Verbrauch. Denn am Ende ist es der Nutzer, der mit seinem Verhalten über die Höhe der Emissionen entscheidet. Allerdings ist dieser Ansatz auch mit Problemen behaftet, die damit zusammenhängen, dass der Verkehr eine abgeleitete Größe ist. Pkw-Nutzer reagieren nur relativ schwach auf Preissignale.

In einer aktuellen Veröffentlichung im Auftrag von Agora Verkehrswende errechnet das Öko-Institut, dass eine Erhöhung der Kraftstoffsteuern um 5 Cent im Jahr 2030 zu einer Emissionsreduktion von 1 Million Tonnen CO₂ führen würde (Agora Verkehrswende, 2018). Erst bei extremen Verteuerungen wie einer Verdoppelung des Dieselpreises (real) und einer Erhöhung des Benzinpreises um 70 Prozent (real) sehen die Autoren dieser Studie Emissionsreduktionen, die ausreichen würden, um das Klimaziel der Bundesregierung von minus 40 Prozent bis 2030 auf

diesem Weg zu erreichen. Die CO₂-Emissionen im Straßenverkehr werden bereits heute vergleichsweise hoch bepreist, weit stärker als im ETS. Sogar die teilweise hohen Schadenskostenschätzungen für CO₂ liegen weit unter den impliziten CO₂-Preisen, die durch Kraftstoffbesteuerung oder Bußgelder für Fahrzeughersteller aufgerufen werden (Abbildung 3-12).

Abbildung 3-12: CO₂ von Pkw wird vergleichsweise hoch bepreist

CO₂-Preise in Euro pro Tonne



Besteuerung von Benzin/Diesel: umgerechnet auf den CO₂-Gehalt, ohne Mehrwertsteuer auf die Kraftstoffe.

Pkw-Grenzwert: Pro Gramm Überschreitung und verkauftem Fahrzeug werden 95 Euro Strafe fällig. Das entspricht etwa 475 Euro pro Tonne CO₂.

Quellen: EU, 2018; UBA, 2014; Weekly Oil Bulletin, Institut der deutschen Wirtschaft

Im Straßengüterverkehr liegen die Preiselastizitäten deutlich höher, wie Auswertungen der Reaktionen auf die Einführung der Lkw-Maut zeigen.⁶ Hier hängt es von der Marktsituation in der jeweiligen Branche ab, inwieweit die zusätzlichen Kosten an die Kunden weitergegeben werden können. Auch mögliche Alternativen wie eine Verlagerung auf die Schiene stehen je nachdem, was transportiert wird, in unterschiedlicher Weise zur Verfügung. Spätestens in der Feinverteilung der Güter führt in der Regel kein Weg am Transport auf der Straße vorbei, der zunächst schlicht teurer wird.

CO₂-basierte und streckenabhängige Maut

Bei der Einführung einer CO₂-abhängigen Maut für Pkw wird eine zusätzliche Abgabe je Kilometer notwendig. Es wird angenommen, dass die Maut auf allen Straßen erhoben wird und sich nicht auf Autobahnen beschränkt. Die Maut wird mit einem zusätzlichen Aufschlag von 0,09 Euro/km veranschlagt, was umgerechnet einem Preis pro Tonne CO₂ von rund 490 Euro entspricht (Benzin und Diesel). Für die Umrechnung in Euro pro Tonne CO₂ wurde der durch-

⁶ In einer Studie für Transport&Environment berechnen Significance und CE Delft eine durchschnittliche Elastizität von -0,9.

schnittliche Benzin- und Dieserverbrauch pro Kilometer für 2015 verwendet und mit den spezifischen CO₂-Emissionen kombiniert. Die Maut ist als Gebühr nicht umsatzsteuerpflichtig. Wichtig ist hierbei der Hinweis, dass der implizit berechnete CO₂-Preis nicht die CO₂-Vermeidungskosten widerspiegelt, sondern lediglich einen Preisaufschlag darstellt.

Tabelle 3-7: Auswirkungen einer Pkw-Maut von 9 Cent pro Kilometer

Annahme: sämtliche Stecken sind mautpflichtig

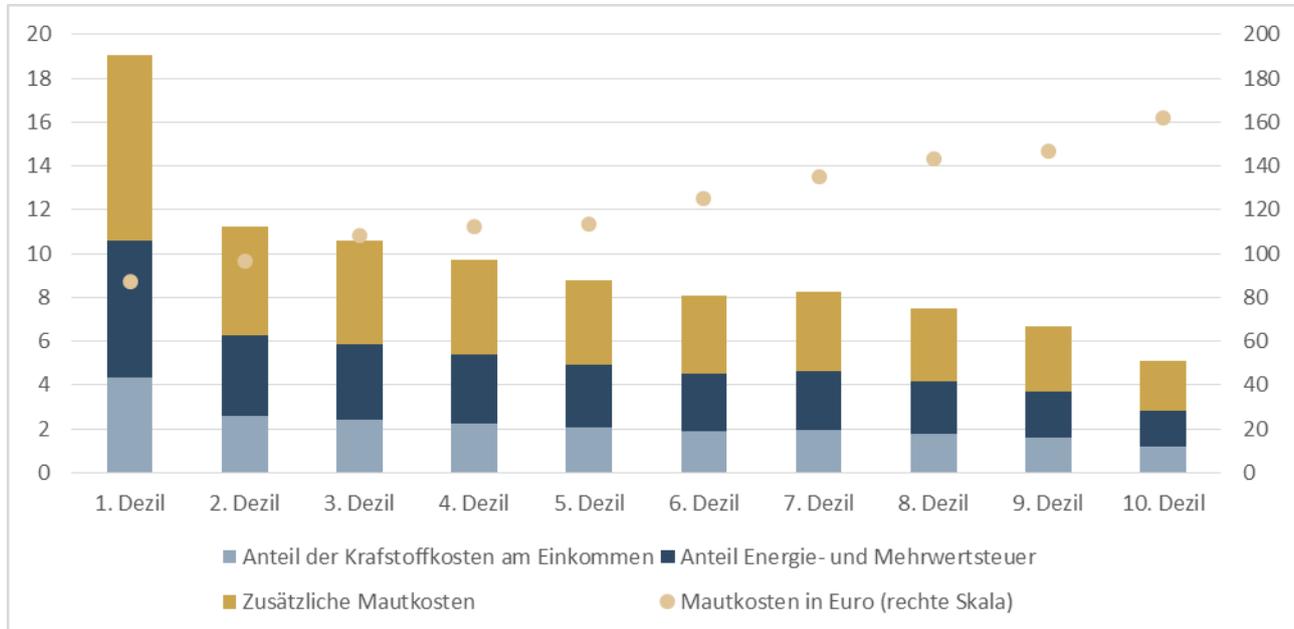
	Benzin	Diesel	BEV
CO ₂ -basierte Pkw-Maut	9 Cent pro Kilometer (umgerechnet rund 490 Euro/tCO ₂)		-
Jährliche Mehrkosten für einen durchschnittlichen Haushalt mit Pkw	1139 Euro	1842 Euro	-

Quelle: Institut der deutschen Wirtschaft

Eine CO₂-basierte streckenabhängige Pkw-Maut in Höhe von 9 Cent pro Kilometer (laut Vorschlag von Agora Verkehrswende, 2018) würde die Kosten für Diesel-Fahrer mehr als verdoppeln. Sie würden durchschnittlich 153 Euro monatliche Mehrkosten zu tragen haben. Bei Benzin-Pkw liegen die Mehrkosten bei knapp 95 Euro im Monat. Eine kilometerabhängige Bepreisung ist insofern weniger treffsicher als eine unmittelbar CO₂-basierte Bepreisung, da sie nicht nach den tatsächlichen Emissionen differenziert und insoweit das Verursacherprinzip verletzt. Denn auch emissionsarme Fahrzeuge müssten die Maut zahlen. BEV könnten befreit werden, wenn sie als emissionsfreie Fahrzeuge bewertet werden.

Abbildung 3-13: Auswirkungen einer Pkw-Maut von 9 Cent/km auf die Haushalte

Nettoeinkommensanteile nach Dezilen (1. Dezil: 10% der Haushalte mit den geringsten Einkommen); nur Haushalte mit Pkw; Pkw-Maut von 9 Cent pro Kilometer entspricht umgerechnet einem CO₂-Preis von rund 490 Euro



Quelle: SOEP, Institut der deutschen Wirtschaft

Eine Pkw-Maut wirkt regressiv, da Haushalte mit Pkw und niedrigeren Einkommen kaum weniger fahren als einkommensstarke Haushalte mit Pkw. Dementsprechend steigt der Anteil ihres Nettoeinkommens, den die 10 Prozent der Haushalte mit den geringsten Einkommen für Kraftstoffe und Maut ausgeben, von durchschnittlich etwa 10 auf über 18 Prozent. Für Haushalte mit Pkw-Nutzung bedeutet eine Pkw-Maut von 9 Cent pro Kilometer monatliche Zusatzkosten zwischen 80 und 160 Euro je nach Fahrleistung (Abbildung 3-13).

Viele Haushalte werden auf diese Zusatzkosten reagieren und gerade Einkommensschwache werden auf Fahrten verzichten müssen. Andere werden Maut-befreite Alternativen wie BEV wählen. Dies führt insgesamt zu einem CO₂-Vermeidungspotenzial zwischen 15 und 60 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr, abhängig von der nutzerseitigen Nachfrageanpassung. Die Nutzer werden diejenigen Vermeidungsoptionen wählen, deren Kosten niedriger sind als die zusätzlichen Kosten durch die Maut – soweit ihnen die Kosten der Alternativen bekannt sind und keine Nachteile in der Nutzung wie beispielsweise die Reichweitenbeschränkung eines BEV damit einhergehen.

Aus staatlicher Sicht hängen die Höhe der Mauteinnahmen und die Mindereinnahmen bei der Energiesteuer und der darauf fälligen Mehrwertsteuer in hohem Maße davon ab, wie stark die Haushalte ihr Verhalten anpassen. Primär profitiert der Staat von den Mehreinnahmen der Maut pro Kilometer. Dieser positive Effekt wird jedoch durch den Rückgang im Verbrauch teilweise kompensiert, was die Einnahmen bei der Energiesteuer und der Mehrwertsteuer reduziert. Je nach Nachfrageverhalten führt dies zu Steuermehreinnahmen von 9 bis 44 Milliarden Euro.

Tabelle 3-8: Kosten einer zusätzlichen Lkw-Maut von 9 Cent pro Kilometer für den Warentransport

Zusatzkosten in Millionen Euro (durch die zusätzliche Maut steigen die Kraftstoffkosten um 25 Prozent)

Beförderte Transportgüter	Zusatzkosten in Mio. Euro
Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse; Torf; Uran- und Thoriumerze	228
Sonstige Mineralerzeugnisse	201
Nahrungs- und Genussmittel	379
Sekundärrohstoffe; kommunale Abfälle und sonstige Abfälle	133
Sammelgut: eine Mischung verschiedener Arten von Gütern, die zusammen befördert werden	272
Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd und Forstwirtschaft; Fische und Fischereierzeugnisse	147
Chemische Erzeugnisse und Chemiefasern; Gummi- und Kunststoffwaren; Spalt- und Brutstoffe	168
Metalle und Halbzeug daraus; Metallerzeugnisse, ohne Maschinen und Geräte	151
Holz sowie Holz-, Kork- und Flechtwaren (ohne Möbel); Papier, Pappe und Waren daraus; Verlags- und Druckerzeugnisse, bespielte Ton-, Bild- und Datenträger	137
Fahrzeuge	96

Quelle: KBA, 2018; IW

Würde die Lkw-Maut ebenfalls um 9 Cent steigen, käme es insbesondere in transportintensiven Sektoren zu erheblichen Mehrkosten. Der Transport von Nahrungs- und Genussmitteln würde sich beispielsweise insgesamt um 379 Millionen Euro verteuern (Tabelle 3-8). Für den gesamten Gütertransport deutscher Lastkraftwagen (KBA, 2018) würden zusätzliche Mautkosten von 2,35 Milliarden Euro entstehen.

Sektorspezifische CO₂-Bepreisung

Wenn die CO₂-Emissionen die Bemessungsgrundlage für eine Bepreisung werden, können die Kosten, die durch die Emissionen entstehen, internalisiert werden. Wer viel emittiert, zahlt entsprechend mehr. Eine Variante ist die Bemessung der Energiesteuer nach dem CO₂-Gehalt der Kraftstoffe. In einem ersten Schritt könnte die bestehende Energiesteuer dementsprechend verändert werden. Umgerechnet auf den CO₂-Gehalt würden die heutigen Steuersätze (inklusive Mehrwertsteuer auf die Energiesteuer) einen CO₂-Preis von etwa 212 Euro (Diesel) oder 334 Euro (Benzin) ergeben. Obwohl der CO₂-Preis damit bereits deutlich höher als bei anderen Energieträgern liegt, wird häufig eine zusätzliche CO₂-Steuer gefordert. Ein Argument hierfür lautet, dass die geltende Besteuerung nicht explizit zum Zwecke der CO₂-Reduktion erhoben wird, sondern andere Staatsausgaben finanzieren soll.

Das Instrument einer zusätzlichen Steuer zur CO₂-Bepreisung wirkt direkt auf den Treibstoffpreis. Betrachtet wird der Vorschlag von Agora Verkehrswende (2018) eines Aufschlags von 0,80 Euro/l Benzin und 0,98 Euro/l Diesel. Hierbei berücksichtigt der höhere Dieselaufschlag die aktuell unterschiedliche steuerliche Behandlung zwischen Benzin und Diesel und gleicht sie an.

Die Unterschiede bei der Kfz-Steuer bleiben dagegen außer Acht. Der Aufschlag pro Liter ist äquivalent zu einer CO₂-Bepreisung von Treibstoff in Höhe von rund 340 Euro/tCO₂ (Benzin) beziehungsweise 370 Euro/tCO₂ (Diesel). Wichtig ist hierbei der Hinweis, dass der CO₂-Preis nicht die CO₂-Vermeidungskosten widerspiegelt, sondern lediglich einen Preisaufschlag darstellt.

Tabelle 3-9: Auswirkungen einer zusätzlichen CO₂-Steuer

Annahme: Umsatzsteuerpflichtige Besteuerung zusätzlich zur bestehenden Energiesteuer.
Jährliche Mehrkosten unter identischem Fahrverhalten.

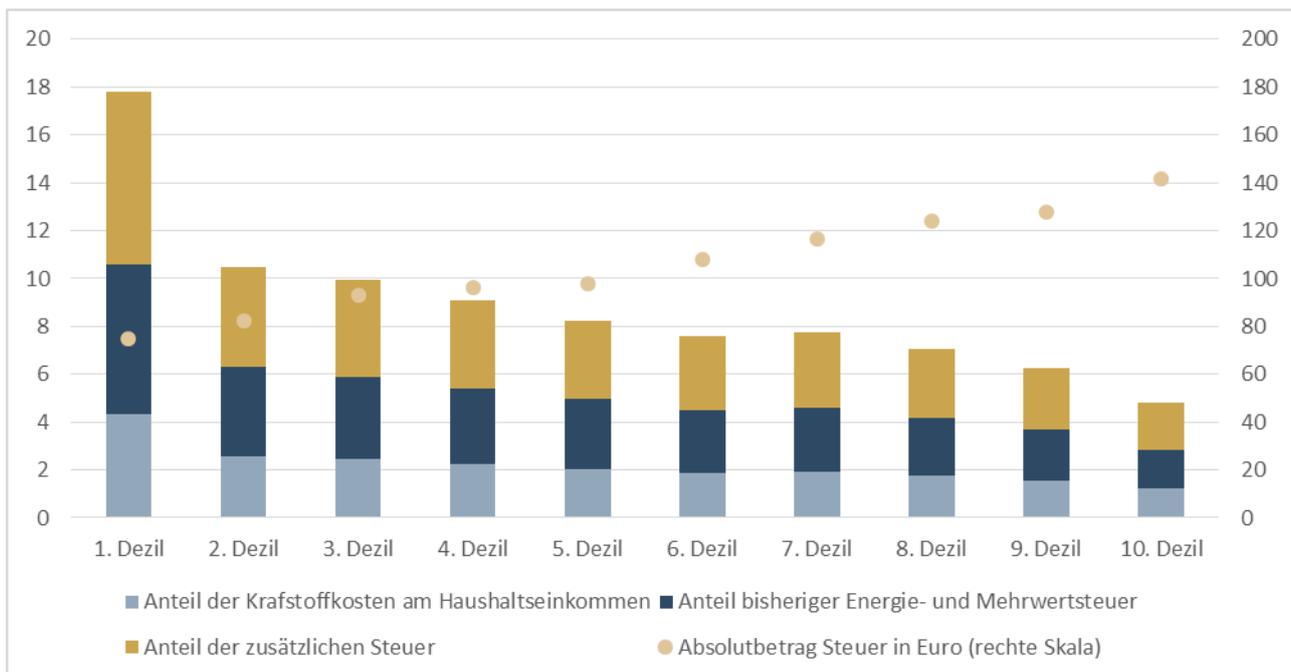
	Benzin	Diesel
CO₂-Steuer (pro Liter)	+ 80 Cent	+ 98 Cent
Zusätzliche Steuer pro t CO ₂	340 Euro	370 Euro
Jährliche Mehrkosten für einen durchschnittlichen Haushalt	952 Euro	1.654 Euro

Quelle: Institut der deutschen Wirtschaft

Für Diesel-Fahrer würde eine Angleichung an die Besteuerung von Benzin und zusätzliche Bepreisung von 80 Cent pro Liter (Agora Verkehrswende, 2018) zu Mehrkosten von 1.654 Euro im Jahr führen, bei Benzinern sind es bei 80 Cent CO₂-Steuer jährlich etwa 952 Euro (Tabelle 3-9).

Abbildung 3-14: Auswirkungen einer zusätzlichen CO₂-Steuer auf die Haushalte

Einkommensanteile nach Dezilen (1. Dezil: 10% der Haushalte mit den geringsten Einkommen); Haushalte mit Pkw CO₂-Steuer von 80 Cent pro Liter Benzin bzw. 98 Cent pro Liter Diesel (entspricht einer CO₂-Bepreisung von 340 €/tCO₂ bzw. 370 €/tCO₂)



Quelle: SOEP, Institut der deutschen Wirtschaft

Ähnlich wie die Pkw-Maut wirkt die Energiesteuer regressiv. Sie belastet die Autofahrer monatlich zwischen 75 und 145 Euro – je nach Fahrleistung (Abbildung 3-14). Haushalte mit geringeren Einkommen verfügen in der Regel nur über ein Auto und fahren im Durchschnitt etwas weniger als Haushalte mit höheren Einkommen, dafür machen die Kraftstoffkosten für die untersten 10 Prozent der Einkommensverteilung bereits ohne die zusätzliche Steuer etwa 10 Prozent ihres Nettoeinkommens aus. Für Diesel-Fahrer würden die Kosten um über 80 Prozent steigen.

Dadurch, dass die Nutzer in ihrem Nachfrageverhalten nicht sehr stark auf den Preis reagieren, ist durch den Preisaufschlag nur ein geringer Vermeidungseffekt zu erwarten. Die Elastizität wird im Straßenverkehr wie oben beschrieben auf -0,3 geschätzt. Demnach ist aufgrund einer zusätzlichen Steuer von 80 Cent pro Liter plus der Angleichung von Diesel-Besteuerung mit Benzin mit einem Rückgang der Fahrleistung um weniger als 6 Prozent bei Pkw zu rechnen. Das würde eine Emissionsvermeidung in Höhe von 28 Millionen Tonnen CO₂ ermöglichen (Agora Verkehrswende, 2018, 24 sowie eigene Berechnungen). Bei einer Bandbreite der Preiselastizität von -0,6 bis -0,15 ergibt sich ein CO₂-Vermeidungspotenzial von 13 bis 55 Millionen Tonnen. Verhaltensänderungen sind am ehesten bei Freizeitaktivitäten zu erwarten und hängen nicht zuletzt von den Mobilitätsalternativen ab, die ebenfalls Preisschwankungen unterworfen sind. Somit führen die Kraftstoffkosten in vielen Fällen erst bei einer Fahrzeugneuanschaffung zu einer Verhaltensänderung.

Analog zur Maut müssen die Nutzer die Vollkosten der Alternativen einschätzen können und bewerten darüber hinaus, inwieweit die verfügbaren Vermeidungsoptionen zu ihren Mobilitätsanforderungen passen. Aufgrund dessen werden die Nutzer entweder die zusätzliche CO₂-Steuer bezahlen oder eine CO₂-ärmere Alternative wählen. Die Elastizität bringt zum Ausdruck, wie hoch der Anteil derjenigen ist, die ihr Verhalten tatsächlich anpassen.

Den zusätzlichen Steuereinnahmen aus der CO₂-Steuer stehen Mindereinnahmen aus der Energiesteuer auf Benzin und Diesel gegenüber, die aus einer Anpassung des Fahrverhaltens der Haushalte entstehen. Bei einer Elastizität von -0,3 würden die Steuermehreinnahmen bei insgesamt etwa 30 Milliarden Euro liegen. Bei der betrachteten Bandbreite der Preiselastizität von -0,6 bis -0,15 ergeben sich Steuermehreinnahmen von 11 bis 39 Milliarden Euro pro Jahr, welche von den Haushalten getragen werden müssen.

Tabelle 3-10: Kosten einer zusätzlichen CO₂-Steuer für den Warentransport

Zusatzkosten in Millionen Euro (durch die Erhöhung der Kraftstoffkosten um durchschnittlich etwa 70 Prozent)
 CO₂-Steuer von 98 Cent pro Liter Diesel für Nutzfahrzeuge (entspricht einer CO₂-Bepreisung von 370 €/tCO₂)

Beförderte Transportgüter	Zusatzkosten in Mio. Euro
Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse; Torf; Uran- und Thoriumerze	646
Sonstige Mineralerzeugnisse	568
Nahrungs- und Genussmittel	1.074
Sekundärrohstoffe; kommunale Abfälle und sonstige Abfälle	378
Sammelgut: eine Mischung verschiedener Arten von Gütern, die zusammen befördert werden	771
Erzeugnisse der Landwirtschaft, Jagd und Forstwirtschaft; Fische und Fischereierzeugnisse	416
Chemische Erzeugnisse und Chemiefasern; Gummi- und Kunststoffwaren; Spalt- und Brutstoffe	475
Metalle und Halbzeug daraus; Metallerzeugnisse, ohne Maschinen und Geräte	429
Holz sowie Holz-, Kork- und Flechtwaren (ohne Möbel); Papier, Pappe und Waren daraus; Verlags- und Druckerzeugnisse, bespielte Ton-, Bild- und Datenträger	387
Fahrzeuge	271

Quelle: KBA, 2018; Institut der Deutschen Wirtschaft

Eine zusätzliche CO₂-Steuer würde sich für den Lkw-Verkehr deutlich stärker auswirken als eine Erhöhung der Lkw-Maut. Das liegt am höheren Verbrauch pro Kilometer. Die Kraftstoffkosten würden für Lkw um durchschnittlich 70 Prozent steigen. Für den Transport von Nahrungs- und Genussmitteln würde das in Anbetracht der aktuell gefahrenen Kilometer zusätzliche Kosten von mehr als einer Milliarde Euro verursachen (Tabelle 3-10). Auf Mehrkosten von 6,65 Milliarden Euro summieren sich die zusätzlichen Steuerzahlungen des gesamten Gütertransports deutscher Lkw (KBA, 2018).

Als Alternative zu einer CO₂-abhängigen Besteuerung wird ein Emissionshandelssystem für den Straßenverkehr diskutiert. Im Unterschied zur Steuer wird der Preis nicht direkt festgelegt, sondern ergibt sich durch den Handel von Emissionszertifikaten. Im Endeffekt würde auch ein sektorinterner Emissionshandel dazu führen, dass wie bei der Steuer ein CO₂-Preis in Cent pro Liter gezahlt werden muss. Die Höhe des Preises hängt von einer Vielzahl von Parametern ab. Zunächst ist zu klären, wie hoch die Zertifikatsmenge zu Beginn festgesetzt wird: Sollen alle aktuellen Emissionen mit Zertifikaten unterlegt werden? Wer ist zertifikatspflichtig, die Endverbraucher oder die Inverkehrbringer der Kraftstoffe? Wird ein nationales System oder ein europäisches installiert? Darüber hinaus muss ein Pfad festgelegt werden, der die Kürzung der Zertifikatsmenge in Richtung des sektorspezifischen Emissionsziels beschreibt. Angesichts dieser Vielzahl von Unwägbarkeiten erscheint eine Prognose für den Preis, der sich bei Anwendung dieses Instruments ergeben könnte, nicht sinnvoll machbar zu sein.

Volkswirtschaftlich effizient wäre ein international einheitlicher Preis für CO₂-Emissionen für alle Sektoren. Denn nur ein sektorenübergreifender Koordinationsmechanismus kann dafür sorgen,

dass die Vermeidung von Treibhausgasemissionen zuerst dort erfolgt, wo dies zu den geringsten Kosten möglich ist. Ohne einen solchen internationalen Mechanismus stehen Verteilungswirkungen sektorenübergreifenden Instrumenten entgegen. Denn nicht nur die Vermeidungskosten unterscheiden sich zwischen den Sektoren, sondern auch die Reagibilität der Nachfrage. Während die Nutzer im Straßenverkehr ihr Verhalten aufgrund von Preisveränderungen nur wenig oder langsam ändern, sorgen in anderen wettbewerbsintensiven Sektoren bereits kleine Preisveränderungen für Nachfragereaktionen. Unternehmen in Industriesektoren, die im internationalen Wettbewerb stehen, werden dadurch gegenüber ihren Wettbewerbern außerhalb Europas benachteiligt und benötigen wirksame Carbon-Leakage-Regeln, die verhindern, dass Emissionen nicht vermieden, sondern lediglich in Regionen ohne CO₂-Bepreisung verlagert werden.

3.3 Vergleich der Instrumente

Die zuvor separat diskutierten Instrumente werden in diesem Abschnitt in einer vergleichenden Tabelle hinsichtlich CO₂-Vermeidungspotenzial, CO₂-Vermeidungskosten und Differenzen bei den Steuereinnahmen gegenübergestellt.

Die CO₂-Vermeidungspotenziale sind sensitiv in Bezug auf die angenommenen Anpassungsreaktionen. Verändern die Nutzer ihr Verhalten aufgrund eines höheren Preises kaum, wird wenig CO₂ vermieden. Reagieren die Nutzer dagegen sehr preissensibel, kommt es zu starken Anpassungsreaktionen und entsprechenden Emissionsreduktionen. Deshalb zeigt Tabelle 3-11 größere Bandbreiten für das CO₂-Einsparpotenzial.

CO₂-Vermeidungskosten werden in der Regel für technologische Vermeidungsoptionen berechnet. In dieser Studie stehen dagegen die Kosten aus der Sicht der Nutzer im Vordergrund. Diese Kosten können in Relation zu den CO₂-Einsparungen der Instrumente gesetzt werden, wodurch sich instrumentenspezifische Vermeidungskosten errechnen lassen. Für die Berechnung der CO₂-Vermeidungskosten für Flottengrenzwerte und E-Mobilität wurden exemplarische Pkw-Typklassen und Nutzungsprofile unterstellt. Die obere und untere Grenze der Vermeidungskosten spiegeln extreme Nutzungsprofile wieder – besonders geringe bzw. besonders hohe Fahrleistungen. Eine durchschnittliche Nutzung resultiert eher in Vermeidungskosten in der Mitte der Bandbreite. Bei der Beimischung wurde zwischen Benzin und Diesel differenziert. Das Nutzungsverhalten hat hierbei keinen Effekt auf die Vermeidungskosten. Maut und Steuer belegen die Emissionen mit einem (zusätzlichen) Preis. Dessen Höhe muss mit den Vermeidungskosten, sowie Vor- und Nachteilen der verfügbaren Vermeidungsoptionen abgewogen werden.

Die Differenzen der Steuereinnahmen sind analog zum Vermeidungspotenzial von der Nachfragerreaktion abhängig und ergeben darüber Bandbreiten möglicher Effekte.

Tabelle 3-11: Vermeidungspotenziale und Kosten der Instrumente für Pkw

Bandbreite des Vermeidungspotenzials und der Steuereffekte in Abhängigkeit der Preiselastizität (-0,6 bis -0,15)

	Potenzial zur CO ₂ Vermeidung	Nutzerseitige Kosten der CO ₂ Vermeidung	Steuereinnahmen Delta
	Millionen tCO ₂ /Jahr	Euro / tCO ₂	Milliarden Euro/Jahr
Flotteneffizienz	0,1 bis 0,3	300 bis 1075	-0,1 bis 0
E-Mobilität	0,7 bis 5	370 bis 910	-0,3 bis -1
Beimischungsquote 5%	7 bis 9	490 bis 580	-0,5 bis +0,3
Beimischungsquote 10%	13 bis 17	400 bis 475	-0,9 bis +0,5
Maut von zusätzlich 490 €/tCO₂	15 bis 60	-	9 bis 44
Steuer von zusätzlich ca. 350 €/tCO₂	13 bis 55	-	11 bis 39

Flotteneffizienz: Wenn alle neuzugelassenen Pkw in einem Jahr statt dem Grenzwert für das Jahr 2020 einen um 15 Prozent geringeren Grenzwert einhalten müssen. Annahme der jährlichen Fahrleistung von 13922 Kilometern (Durchschnitt von 2017). Vermeidungspotenzial skaliert mit der Anzahl der Jahre des einzuhaltenden Grenzwerts.

BEV: Mit 1 Mio. BEV in Deutschland. Potenzial zukünftig größer. Vermeidungskosten abhängig von Pkw-Klasse und Nutzungsverhalten. Inkl. privater Infrastrukturkosten, excl. Kfz-Steuer-Vorteil, öffentlicher Infrastrukturkosten, Steuermindereinnahmen sowie BEV-Förderung. Eine BEV-Förderung reduziert die Nutzerseitigen Vermeidungskosten, verursacht aber beim Staat entsprechend zusätzliche Vermeidungskosten. CO₂-freier BEV-Strombezug.

Maut und Steuer: Ohne Kostenannahmen zu Nutzerpräferenzen und alternativen Optionen zur Vermeidung keine Quantifizierung der Vermeidungskosten möglich. Der CO₂-Preis stellt nicht die CO₂-Vermeidungskosten dar.

Quelle: Institut der deutschen Wirtschaft

Die quantifizierten Steuereffekte, insbesondere Steuermindereinnahmen, stellen für den Staat eine relevante Größe dar. Gleichzeitig ist es ungewiss, wie der Staat mit den Steuereffekten umgeht. Denkbar sind eine Reduktion der Ausgaben oder eine Steuererhöhung an anderer Stelle. Diese Entscheidung kann ex-ante nicht ausreichend antizipiert werden. Daher werden die Nutzerkosten auch nicht mit den Steuereffekten verrechnet oder den CO₂-Emissionen gegenübergestellt.

Für die gewerbliche Wirtschaft bedeuten alle diskutierten Instrumente Zusatzkosten in Milliardenhöhe, sei es durch höhere Kraftstoffpreise oder durch höhere Anschaffungskosten für emissionsärmere Fahrzeuge. Je nach Produkt können die Kosten an die Kunden weitergegeben werden, so dass die Zusatzkosten letztlich von den Haushalten getragen werden – zusätzlich zu deren gestiegenen Transportkosten. Ein Weiterreichen höherer Preise ist in Branchen kaum möglich, die im intensiven Wettbewerb mit Konkurrenten außerhalb Deutschlands, die keine vergleichbaren Zusatzkosten zu tragen haben, stehen. Ihnen droht der Verlust an Marktanteilen, so dass in diesen Branchen die Wertschöpfung und die Beschäftigung sinken können. Letztlich

sind demnach also auch davon die Haushalte betroffen. Dies spricht zum einen dafür, Einnahmen aus einer zusätzlichen Steuer oder Maut zur Kompensation der höheren Kosten zu nutzen. Zum anderen erscheint es nicht ratsam, Instrumente einzuführen, die eine einseitige Belastung der deutschen Wirtschaft bedeuten. Instrumente zur Emissionsreduktion auf nationaler Ebene führen zunächst nur dazu, dass Emissionen in andere Staaten verlagert werden. Deshalb sind eine Koordination auf internationaler Ebene und besser noch gemeinsame Instrumente auf internationaler Ebene vorzuziehen.

4 Fazit

Der Straßenverkehr ist das Rückgrat der Mobilität. Politische Ziele wie die Binnenmarkt-Integration in Europa werden durch den Straßenverkehr erst möglich. Gleichzeitig ist der Verkehr eine abgeleitete Größe, denn die wenigsten Fahrten erfolgen aus einem Selbstzweck. Vielmehr geht es um den Transport von Gütern, um Wege zur Arbeit und dienstliche Zwecke. Autofahrer legen zudem mit ihrem Pkw Wege zurück, um einzukaufen und Freizeitaktivitäten nachzugehen. Das Nettoeinkommen der Haushalte hat Einfluss darauf, wie viele Pkws zur Verfügung stehen. In der unteren Hälfte der Einkommensverteilung ist das im Durchschnitt genau ein Fahrzeug.

Die europäischen Institutionen (Rat, Parlament und Kommission) haben eine Verschärfung der geltenden Grenzwertregulierung für die zulässigen CO₂-Emissionen von neuen Fahrzeugen, die in Testverfahren gemessen werden, beschlossen. Zudem befinden sich auch zusätzliche Instrumente in der Diskussion, die im Verkehrssektor angewendet werden könnten. Allen gemein ist, dass sie die Kosten für die Nutzer erhöhen. Da die Nutzer auf Preisänderungen nicht stark reagieren, werden drastische Erhöhungen diskutiert: Maßnahmen wie zusätzliche Besteuerung oder eine Pkw-Maut sollen die Nutzungskosten annähernd verdoppeln, um Verhaltensänderungen zu provozieren, die den CO₂-Ausstoß deutlich senken.

Bei den verfügbaren Alternativen fehlt im Fall der BEV noch die notwendige Ladeinfrastruktur. In den Anschaffungskosten sind BEV zudem heute wesentlich teurer, die Reichweiten der Fahrzeuge dagegen weitaus geringer. Synthetische Kraftstoffe können einen Beitrag zur Senkung der Emissionen leisten, sind derzeit allerdings deutlich teurer als herkömmliche Kraftstoffe. Sie bieten aber den Vorteil, dass sie in das vorhandene Infrastrukturnetz eingespeist und wie gewohnt genutzt werden können. Gerade bei Langstrecken und auch im Schwerlastverkehr sind dies klare Pluspunkte.

Da fast drei Viertel der Güter auf der Straße transportiert werden, steigen die Preise für transportintensive Produkte. Für die Haushalte kommen höhere Kosten der eigenen Mobilität hinzu. Insbesondere einkommensschwache Haushalte müssen dadurch einen deutlich höheren Anteil ihres Einkommens für Verkehr ausgeben oder ihre Mobilität einschränken. Die untere Hälfte der Einkommensverteilung verfügt im Durchschnitt über genau ein Auto für alle Anforderungen, also sowohl berufsbedingte, als auch private Fahrten in unterschiedlichen Distanzen. Beim Wechsel auf ein batterieelektrisches Fahrzeug würden nicht nur die höheren Anschaffungskosten, sondern auch die Nachteile der begrenzten Reichweite und der langen Ladezeiten voll durchschlagen. Preisinstrumente treffen in erster Linie Pendler, die ihre Fahrten nicht ohne weiteres reduzieren können. Eine Pkw-Maut von 9 Cent pro Kilometer würde durchschnittlich 1500 Euro Mehrkosten pro Autofahrer-Haushalt und Jahr verursachen. Eine zusätzliche CO₂-Steuer von 340 bis 370 Euro pro Tonne CO₂ (Benzin/Diesel) würde für den durchschnittlichen Haushalt mit mindestens einem Pkw jährliche Mehrkosten in Höhe von 950 (Benzin) bis 1650 (Diesel) Euro bedeuten. Eine CO₂-basierte Maut oder Steuer wirkt dabei regressiv, betrifft also Autofahrer, die für ein geringes Gehalt arbeiten, am stärksten.

Literatur

- ACEA, 2017, Report: Vehicles in use Europe 2017, https://www.acea.be/uploads/statistic_documents/ACEA_Report_Vehicles_in_use-Europe_2017.pdf [29.10.2018]
- Agora Verkehrswende, 2018, Klimaschutz im Straßenverkehr: Maßnahmen zur Erreichung des Sektorziels 2030, Berlin
- AGEB – Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, 2018, Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2017 (Stand Juli 2018), https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ausw_30jul2018_ov.pdf [29.10.2018]
- AGEB, 2019, Energieverbrauch in Deutschland Daten für das 1. Bis 4. Quartal 2018, https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=quartalsbericht_q4_2018.pdf [25.1.2019]
- BCG – Boston Consulting Group / Prognos, 2018, Klimapfade für Deutschland, Berlin
- BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, 2015, Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland. Statusbericht und Handlungsempfehlungen 2015, https://www.bdew.de/media/documents/20151127_Statusbericht-LIS.pdf [14.12.2018]
- BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2014, Verflechtungsprognose für 2030, <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehrsverflechtungsprognose-2030-zusammenfassung-los-3.pdf?blob=publicationFile> [29.10.2018]
- BMVI, 2018a, Statistisches Handbuch „Verkehr in Zahlen“ 2017/2018, <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehr-in-zahlen-2017-2018-excel.zip?blob=publicationFile> [29.10.2018]
- BMVI, 2018b, Mobilität in Deutschland 2017, Kurzreport, http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/infas_Mobilitaet_in_Deutschland_2017_Kurzreport.pdf [29.10.2018]
- Bundesregierung, 2016, Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung, Berlin
- CLECAT – European Association for Forwarding, Transport, Logistics and Customs Services, 2018, Public Hearing “Impact of Brexit on Land Transport” TRAN Committee, https://www.clecat.org/media/CI127aETro_Public%20hearing%20Brexit%20and%20transport.pdf [10.01.2019]
- Deutsche Bundesbank, 2018, Verbraucherpreisindex, <https://www.bundesbank.de/de/statistiken/unternehmen-und-private-haushalte/preise/verbraucherpreisindex-650802> [27.12.2018]

EEA – European Environment Agency, 2018a, National emissions reported to the UNFCCC and to the EU Greenhouse Gas Monitoring Mechanism, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/national-emissions-reported-to-the-unfccc-and-to-the-eu-greenhouse-gas-monitoring-mechanism-14> [29.10.2018]

EEA, 2018b, Monitoring CO₂ emissions from new passenger cars and vans in 2016, <https://www.eea.europa.eu/publications/co2-emissions-new-cars-and-vans-2016> [29.10.2018]

Ernst, Simon et. al. – CO₂ Emission Reduction Potential for Passenger Cars and Light Commercial Vehicles Post 2020, https://www.researchgate.net/publication/272680038_CO2_Emission_Reduction_Potential_for_Passenger_Cars_and_Light_Commercial_Vehicles_Post_2020 [10.01.2019] EU-Kommission, 2013, Trends to 2050, <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/media/publications/doc/trends-to-2050-update-2013.pdf> [29.10.2018]

Eurostat, 2018, Jährlicher Straßengüterverkehr nach Güterarten und Verkehrsart (1 000 t, Mio. tkm), ab 2008 [road_go_ta_tg.tsv]; <https://ec.europa.eu/eurostat/de/data/database> [29.10.2018]

Faberi et al., 2015, Trends and policies for energy savings and emissions in transport, <http://www.odyssee-mure.eu/publications/br/energy-efficiency-trends-policies-transport.pdf> [29.10.2018]

Flick & Partner, 2014, E-Mobility & Beyond. How to Master the Future of Mobility, https://www.elektromobilitaet-regensburg.de/fileadmin/user_upload/emobility/Archiv/PDF_Publikationen/FlickPartner_E-Mobility_and_Beyond_D.pdf [14.12.2018]

Frontier Economics / Institut der deutschen Wirtschaft, 2018, Synthetische Energieträger – Perspektiven für die deutsche Wirtschaft und den internationalen Handel, Köln

Grömling, Michael / Puls, Thomas, 2018, Staus belasten immer mehr Unternehmen, in: Internationales Verkehrswesen 70. Jg. Heft 3/2018, Seite 38 – 42.

IEA – International Energy Agency, 2018a, IEA Data Service - CO₂-Emissions from Fuel Combustion, Paris

IEA – International Energy Agency, 2018b, World Energy Outlook, Paris

KBA – Kraftfahrtbundesamt, 2018, Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken am 01. Januar 2018, FZ 1.1, Flensburg

MWV – Mineralölwirtschaftsverband, 2018, Preiszusammensetzung des Verbraucherpreises, <https://www.mwv.de/statistiken/preiszusammensetzung/> [10.01.2019]

Ninnemann, Jan / Rössler, Thomas, 2018, Volkswirtschaftliche Schäden aus dem Rastatt Unterbruch Folgenabschätzung für die schienenbasierte Supply Chain entlang des Rhine Alpine Corridor 2017, http://www.erfarail.eu/uploads/2018_April%20Studie-1524476846.pdf

[10.01.2019]

PA Consulting, 2018, Driving into a low emissions future, [http://www2.paconsulting.com/driving-into-a-low-emissions-future.html?_ga=2.245098562.614570590.1547112970-](http://www2.paconsulting.com/driving-into-a-low-emissions-future.html?_ga=2.245098562.614570590.1547112970-821483085.1544432134)

[821483085.1544432134](http://www2.paconsulting.com/driving-into-a-low-emissions-future.html?_ga=2.245098562.614570590.1547112970-821483085.1544432134) [10.01.2019]

Prognos / Fraunhofer Umsicht / DBFZ, 2018, Status und Perspektiven flüssiger Energieträger in der Energiewende, Berlin

Prognos, 2017, World Transport Report 2015/2016, Basel

Puls, Thomas, 2013, CO₂-Regulierung für Pkws – Fragen und Antworten zu den europäischen Grenzwerten für Fahrzeughersteller, https://www.iwkoeln.de/fileadmin/publikationen/2017/228037/Brosch%C3%BCre_CO2_Grenzwerte_Druck.pdf [29.10.2018]

Puls, Thomas, 2018, Engpässe sind weit verbreitet, <https://www.iwkoeln.de/presse/gastbeitraege/beitrag/thomas-puls-engpaesse-sind-weit-verbreitet.html> [10.01.2019]

Ricardo Energy & Environment, 2018, Assessing the impacts of selected options for regulating CO₂ emissions from new passenger cars and vans after 2020, https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/docs/ldv_post_2020_co2_en.pdf

[29.10.2018]

Schulz, Wolfgang / Mainka, Miriam, 2013, Gesamtwirtschaftliche Bewertung der Sperrung der A1-Rheinbrücke für den Lkw-Verkehr, http://www.promobilitaet.de/media/file/968.Studie_vwl_Kosten_Sperrung_Rheinbruecke_Lev_IERC_Pro_Mobilitaet.pdf [10.01.2019]

UBA – Umweltbundesamt, 2014, Ökonomische Bewertung von Umweltschäden – Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekonomische-bewertung-von-umweltschaeden-0> [10.01.2019]

UBA, 2018, Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2017, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-05-04_climate-change_11-2018_strommix-2018_0.pdf

[2.1.2019]

UBA, 2019, Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990 – 2017, http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07_inventory/ghg_inventory/envxd4xlg/2018_12_19_EM_Entwicklung_in_D_Trendtabelle_THG_v1.0.1.xlsx/

[25.1.2019]

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Wirkungsweise der Instrumente	28
Tabelle 3-2: Annahmen der Typklassen	33
Tabelle 3-3: Annahmen der Typklassen für BEV.....	36
Tabelle 3-4: Mehr BEV bedeuten weniger Steuereinnahmen für den Staat	41
Tabelle 3-5: Prognosen für PtL-Erzeugerpreise	42
Tabelle 3-6: Auswirkungen einer Beimischungsquote von 5 und 10 Prozent.....	43
Tabelle 3-7: Auswirkungen einer Pkw-Maut von 9 Cent pro Kilometer	46
Tabelle 3-8: Kosten einer zusätzlichen Lkw-Maut von 9 Cent pro Kilometer für den Warentransport	48
Tabelle 3-9: Auswirkungen einer zusätzlichen CO ₂ -Steuer	49
Tabelle 3-10: Kosten einer zusätzlichen CO ₂ -Steuer für den Warentransport	51
Tabelle 3-11: Vermeidungspotenziale und Kosten der Instrumente für Pkw.....	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Was in Deutschland transportiert wird	6
Abbildung 2-2: Treiber bei der Verkehrsleistung sind ausländische Lkw.....	7
Abbildung 2-3: Wachstum von Industrie und Verkehr im Gleichklang	9
Abbildung 2-4: Straße bleibt im Personenverkehr dominant	10
Abbildung 2-5: Lange Strecken werden für Freizeit und Urlaub gefahren	11
Abbildung 2-6: Einkommensstärkere Haushalte haben mehr als ein Auto	12
Abbildung 2-7: Monatliche Kraftstoffkosten für Autobesitzer	13
Abbildung 2-8: Zusammensetzung der Kraftstoffpreise	14
Abbildung 2-9: Einnahmen des Bundes aus straßenverkehrsspezifischen Quellen	15
Abbildung 2-10: Einnahmen und Ausgaben für den Straßenverkehr	16
Abbildung 2-11: LKW und Bahn ergänzen sich.....	18
Abbildung 3-1: Anstieg ab 2008 im Güterverkehr.....	20
Abbildung 3-2: Energieverbrauch pro Leistungseinheit sinkt	21
Abbildung 3-3: CO ₂ -Emissionen der Neuwagen sinken.....	22
Abbildung 3-4: Strommix entscheidet über Klimafreundlichkeit.....	24
Abbildung 3-5: Energiedichten chemischer Energieträger versus Batterien	25
Abbildung 3-6: Flottengrenzwerte in der EU deutlich strenger als in den USA	30
Abbildung 3-7: Der europäische Fahrzeugbestand ist alt	31
Abbildung 3-8: Ziele für 2030 – erzwingen hohe Marktanteile für Elektroautos	32
Abbildung 3-9: Gesamte Zusatzkosten durch Flotteneffizienzvorgaben in den Jahren 2025 und 2030	34
Abbildung 3-10: Nutzerseitige Zusatzkosten durch BEV in den Jahren 2025 und 2030	37
Abbildung 3-11: Auswirkungen einer PtX-Beimischungsquote von 10 Prozent	43
Abbildung 3-12: CO ₂ von Pkw wird vergleichsweise hoch bepreist	45
Abbildung 3-13: Auswirkungen einer Pkw-Maut von 0,09 €/km auf die Haushalte.....	47
Abbildung 3-14: Auswirkungen einer zusätzlichen CO ₂ -Steuer auf die Haushalte	49