TEXTE
45/2017

Klimaschutz im Verkehr: Neuer Handlungsbedarf nach dem Pariser Klimaschutzabkommen

Teilbericht des Projekts „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs 2050“

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

TEXTE 45/2017

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3712 45 100
UBA-FB 002355/2

Klimaschutz im Verkehr: Neuer Handlungsbedarf nach dem Pariser Klimaschutzabkommen

Teilbericht des Projekts „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs 2050“

von

Fabian Bergk, Wolfram Knörr, Udo Lambrecht
ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg

Redaktionelle Überarbeitung:

Dipl.-Ing. Christa Friedl
Wissenschaftsjournalistin, Krefeld

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:
Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

/umweltbundesamt.de
/umweltbundesamt

Durchführung der Studie:
ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
Wilckensstraße 3
69120 Heidelberg

Abschlussdatum:
Juni 2017

Redaktion:
Fachgebiet I 3.1 Umwelt und Verkehr
Martin Lambrecht

Publikationen als pdf:
http://www.umweltbundesamt.de/publikationen

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Juni 2017

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3712 45 100 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 4
Abbildungsverzeichnis 5
Tabellenverzeichnis 5
Abkürzungsverzeichnis 6
1 Zusammenfassung 7
2 Einführung 8
3 Der klimapolitische Rahmen 8
3.1 Übereinkommen von Paris 8
3.2 Klimaschutzziele der EU für 2030 10
3.3 Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung 10
3.4 Einordung der nationalen Treibhausgasminderungsziele in das Temperaturziel 11
4 Wege zum treibhausgasneutralen Verkehr 14
4.1 Treibhausgaswirkung der Verkehrsszenarien 16
4.2 Energieverbrauch der Verkehrsszenarien 18
4.3 Verkehrs- und Energiewende Hand in Hand 20
5 Handlungsoptionen zur Minderung der Verkehrsemissionen 20
5.1 Mehr Effizienz für Straßenfahrzeuge 21
5.1.1 Pkw und leichte Nutzfahrzeuge 21
5.1.2 Schwere Nutzfahrzeuge 22
5.2 Förderung der Elektromobilität 23
5.2.1 Pkw und leichte Nutzfahrzeuge 23
5.2.2 Schwere Nutzfahrzeuge 24
5.3 Ausbau einer nachhaltigen Verkehrsinfrastruktur 24
5.4 Abbau umweltschädlicher Subventionen 26
5.5 Fahrleistungsabhängige Maut 28
5.5.1 Pkw und leichte Nutzfahrzeuge 28
5.5.2 Schwere Nutzfahrzeuge und Busse 28
5.6 Einordnung der Handlungsoptionen 29
6 Quellenverzeichnis 31

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Festlegung des globalen Temperaturzieles und unterstützender Unterziele im Pariser Übereinkommen 9

Abbildung 2: Vergleich der kumulierten CO_2-Emissionen bei Einhaltung der Ziele des Klimaschutzplans mit dem WBGU-Emissionsbudget 13

Abbildung 3: Zielwerte im nationalen Verkehr und Verlauf der direkten THG-Emissionen in den KSBV-Szenarien (nationaler Verkehr) von 2010 bis 2050 16

Abbildung 4: Gegenüberstellung des verfügbaren nationalen Emissionsbudgets für 2°C und 1,5°C Erwärmung und der in den Szenarien berechneten Emissionen des Verkehrs im Zeitraum 2010 bis 2050 17

Abbildung 5: Entwicklung des Endenergieverbrauchs und des Bedarfs an Strom des gesamten Verkehrs in den Szenarien Klimaschutz und Klimaschutz E+ 19

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Emissionsbudgets für Deutschland 2010-2050 nach dem WBGU-Budgetansatz und den Globalbudgets 12

Tabelle 2: Zusammenfassung wichtiger Ergebnisse zu den Treibhausgasemissionen und dem Endenergieverbrauch des Verkehrs in den Szenarien von KSBV 15

Tabelle 3: Neuzulassungsquoten für Elektrofahrzeuge zum Erreichen eines Bestandes von 12 Millionen Elektrofahrzeugen in 2030 24

Tabelle 4: Investitionsanteile des BVWP 2030, differenziert nach Verkehrsträger und Verwendungsart 25

Tabelle 5: Steuersätze auf Benzin und Diesel, bezogen auf Volumen, Energieinhalt und CO_2-Emissionen sowie entgangene Einnahmen durch die Energiesteuervergünstigung für Dieselkraftstoffe 27

Tabelle 6: Zusammenfassung zentraler Handlungsoptionen und vorgeschlagene Umsetzungsintensitäten bis 2030 30

Abkürzungsverzeichnis

BVWP	Bundesverkehrswegeplan
CO_2	Kohlendioxid
COP	Conference of the Parties (Vertragsstaatenkonferenz)
EE-Strom	Aus erneuerbaren Energien erzeugter Strom
EU-ETS	Emissionshandelssystem der EU
F-Gase	Fluorierte Treibhausgase
ICAO	Internationale Zivilluftfahrtorganisation
IMO	Internationale Seeschifffahrts-Organisation
KSBV	UBA-Studie „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050“ [UBA, 2016a]
NDC	Nationally Determined Contributions (im Paris-Abkommen)
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
N_2O	Distickstoffoxid (Lachgas)
PJ	Petajoule (Maßeinheiten für Energie)
PtG	Power-to-Gas (Überbegriff für aus Strom hergestellte gasförmige Kraftstoffe)
PtL	Power-to-Liquid (Überbegriff für aus Strom hergestellte flüssige Kraftstoffe)
RDE	Real Driving Emissions
THG	Treibhausgase
TWh	Terawattstunden (Maßeinheiten für Energie)
UNFCCC	Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen
WLTP	Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure

1 Zusammenfassung

Mobilität ist unverzichtbarer Teil des täglichen Lebens. Mobilität ist aber auch einer der größten Verursacher von Treibhausgasen in Deutschland. Was muss geschehen, um die Treibhausgasemissionen des Verkehrs kurz- und mittelfristig zu senken? Wie kann langfristig in Deutschland ein treibhausgasneutraler Verkehr erreicht werden? Sind die deutschen Klimaschutzziele für den Verkehr ambitioniert genug?

Das vorliegende Papier gibt darauf Antworten. **Es beschreibt den Handlungsbedarf der nächsten Jahre, um die Entwicklung des Verkehrssektors in Deutschland mit den Anforderungen des Pariser Klimaschutzabkommens und des „Klimaschutzplans 2050" der Bundesregierung zur Deckung zu bringen.** Es stellt Maßnahmen vor, mit denen die Treibhausgasemissionen des Verkehrs schnell deutlich gesenkt werden können und die so einen Beitrag dazu leisten, die in Paris beschlossenen Klimaschutzziele auch im Verkehrssektor in Deutschland sicher zu erreichen.

Das Paris-Abkommen will den Anstieg der durchschnittlichen Erdtemperatur auf deutlich unter 2°C begrenzen und langfristig nur noch „Netto-Null-Emissionen" zulassen. Die Umsetzung des Abkommens stellt alle vor große Herausforderungen: Die Höhe des globalen Emissionsbudgets ist bei einem Temperaturziel von maximal 2 °C extrem knapp bemessen. Deutschland muss noch vor dem Jahr 2030 einen Großteil seiner Emissionen einsparen. Dieser Handlungsdruck spiegelt sich in den Zielen des deutschen Klimaschutzplans oder im europäischen Rahmen für die Klima- und Energiepolitik allerdings nicht wider. Anders gesagt: **Deutschland und die EU müssen ihre Anstrengungen für den Klimaschutz deutlich intensivieren. Dabei hat auch der Verkehr seinen Beitrag zu leisten.**

Wie groß die Herausforderung ist, wird durch Einordnung der Szenarien aus der UBA-Studie „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050" [UBA, 2016a] deutlich: Das ehrgeizigste Klimaschutzszenario „E+" kommt mit seinen breit ansetzenden Maßnahmenbündeln dem Verkehrsziel 2030 des Klimaschutzplans zwar sehr nahe. Bezogen auf ein realistisches Emissionsbudget zur Einhaltung des 2 °C-Ziels beansprucht der Verkehr in diesem Szenario aber immer noch knapp 40 % der über alle Sektoren erlaubten Emissionen. Dies nimmt anderen Sektoren die Luft für realistische Minderungspfade. Ohne schnelles Handeln im Verkehr ist die Einhaltung des in Paris beschlossenen Klimaschutzabkommens nahezu unmöglich. Dies bedeutet sowohl die Verschärfung bestehender als auch die Einführung neuer Instrumente. Damit das Temperaturziel des Pariser Abkommens eingehalten werden kann, sind daher noch ambitioniertere Maßnahmen im Verkehrssektor umzusetzen, u.a.:

- **Schärfere Effizienzvorgaben für Verbrennungsmotoren**, initiiert durch deutlich verschärfte Flottenzielwerte für die Jahre 2025 und 2030 und realitätsnahe Prüfzyklen;
- **Elektrifizierung von Straßenfahrzeugen**, die über eine Quote für Elektrofahrzeuge bei Neuzulassungen vorangetrieben wird, um bis 2030 zwischen 6 und 12 Millionen Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen zu erreichen;
- **Ausbau einer nachhaltigen Verkehrsinfrastruktur mit klaren Preissignalen für alle Nutzenden**: Flexible und fahrleistungsabhängige Straßennutzungsgebühren schaffen Anreize für eine klimaverträgliche Verkehrsmittelnutzung; leistungsfähige Infrastruktur ist – insbesondere bei der Schiene und im Radverkehr – Voraussetzung für einen attraktiven Umweltverbund bei wachsenden Nutzungszahlen;
- **Abbau von umweltschädlichen Verkehrssubventionen**: Dadurch werden Mittel frei, die zur Finanzierung der Verkehrs- und Energiewende eingesetzt werden können.

Bei der Maßnahmenumsetzung ist dabei die Orientierung an einer möglichst schnellen und umfassenden Minderungswirkung zentral. Festzuhalten ist: Die Klimaschutzziele des Paris-Abkommens sind sehr ambitioniert, doch die Instrumente zu ihrem Erreichen stehen bereit – sie müssen jedoch umgehend eingeführt und konsequent umgesetzt werden.

2 Einführung

Das **Paris-Abkommen** vom 12. Dezember 2015 gilt als Meilenstein im internationalen Klimaschutz. Es ist eine Vereinbarung der 195 Mitgliedsstaaten der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) als Nachfolger des Kyoto-Protokolls. Im Übereinkommen erklären die Unterzeichnerstaaten erstmals konkret als gemeinsames Ziel, die Erhöhung der globalen Mitteltemperatur gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter auf **„deutlich unter 2 °C“**, wenn möglich auf 1,5 °C, zu begrenzen. In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts soll ein Zustand erreicht sein, bei dem der globale Ausstoß an Treibhausgasen nicht höher liegt als die durch biologische und technische Senken aufgenommene und gespeicherte Menge. Aus Emissionen würden dann so genannte **“Netto-Null-Emissionen“** [UNFCCC, 2015a].

Die Ziele aus dem Paris-Abkommen hat die Bundesregierung in ihren „Klimaschutzplan 2050“ aufgenommen. Im Klimaschutzplan wird außerdem erstmals ein **Minderungsziel für den Verkehrssektor** festgelegt. Demnach muss der Verkehr seine Treibhausgasemissionen bis 2030 um 40 bis 42 % gegenüber 1990 reduzieren [Bundesregierung, 2016].

Ob und unter welchen Bedingungen die politischen Klimaschutzziele für 2050 und für 2030 erreichbar sind, beleuchtet dieses Papier. Es legt seiner Bewertung das Übereinkommen von Paris, die Klimaschutzziele der EU und Erkenntnisse aus der UBA-Studie „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050 in Deutschland“ [UBA, 2016a] zugrunde. Aus dieser Betrachtung leiten die Autoren Handlungserfordernisse ab und zeigen Handlungsoptionen auf. Das Papier fokussiert auf drei Schwerpunkte:

- die aktuellen klimapolitischen Rahmenbedingungen und Zielsetzungen durch das Pariser Übereinkommen und den Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung,
- eine Einordnung der Klimaschutzszenarien der UBA-Studie „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050“ in diesen Rahmen inklusive einer Ableitung von Handlungserfordernissen,
- die Darstellung von notwendigen und kurz- oder mittelfristig umsetzbaren Handlungsoptionen.

3 Der klimapolitische Rahmen

Klimaschutzanforderungen und Klimaschutzziele gibt es auf unterschiedlichen Ebenen: in der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC), den Rahmenprogrammen der Europäischen Union und mehreren Plänen und Konzepten der deutschen Bundesregierung. Allen ist gemein, dass sie eine deutliche Minderung der Treibhausgasemissionen (THG) zum Ziel haben, um die Erderwärmung zu bremsen.

3.1 Übereinkommen von Paris

Mit dem Paris-Abkommen [UNFCCC, 2015a] vom Dezember 2015 bekennen sich alle Unterzeichnerstaaten, in denen das Abkommen ratifiziert wurde, zur „wirksamen und fortschreitenden Reaktion auf die akute Bedrohung durch Klimaänderungen“ [UNFCCC, 2015b]. Da sich Klimawandel als langfristiges und komplexes Phänomen nicht einfach stoppen lässt, umfassen Gegenmaßnahmen im Rahmen des Abkommens nicht nur Emissionsminderungen, sondern ebenso Maßnahmen zur Anpassung an unabwendbare Folgen der Erderwärmung. Ein Fokus liegt dabei auf den Bedürfnissen der am wenigsten entwickelten Länder.

Zur Ableitung nationaler bzw. sektoraler Ziele enthält das Übereinkommen:

- ein globales Temperaturziel
- eine Aufforderung an die Vertragsparteien, selbstverpflichtende nationale Minderungsziele festzulegen (**Nationally Determined Contributions**, NDC)

- einen Prozess, der die Ziele der nationalen NDC mit dem globale Temperaturziel zur Deckung bringt und ggf. verschärft (ambitious mechanism, **Ambitionsmechanismus**)

Abbildung 1: Festlegung des globalen Temperaturzieles und unterstützender Unterziele im Pariser Übereinkommen

Quelle: [UNFCCC, 2015a]

Das Paris-Abkommen fordert eine Umlenkung der weltweiten Finanzströme in klimaverträgliche Investments und spricht damit explizit auch nicht-staatliche Akteure an. **Investitionen** sollen dem Klimaschutz dienen, die Anpassung an die Folgen des Klimawandels erleichtern und mit dem Schutz der am wenigsten entwickelten Länder im Einklang stehen. Ohne geeignete staatliche Finanzierungsinstrumente ist wirksamer Klimaschutz nicht möglich. Daher wurde beschlossen, dass die Industrieländer ab 2020 den Entwicklungsländern pro Jahr 100 Milliarden Dollar für Maßnahmen zur Emissionsminderung zur Verfügung stellen.

Auf der Klimakonferenz COP22 im November 2016 in Marrakesch haben die Vertragsparteien die Pariser Beschlüsse bestätigt und Schritte zur Konkretisierung des Abkommens eingeleitet. Als wesentlich für die Umsetzung gilt das sogenannte „Regelbuch“, in dem bis 2018 die Umsetzungsbestimmungen festgelegt werden und das Ziele und Pläne der teilnehmenden Nationen transparenter und vergleichbarer machen soll[1]. Zudem haben 48 besonders vom Klimawandel betroffene Länder eine Abkehr vom fossilen Energiepfad angekündigt und wollen „so schnell wie möglich“ ihre Energieversorgung auf 100 % erneuerbare Energien umstellen.

Eine ganz wesentliche Rolle für die Realisierung der Klimaschutzziele im Paris-Abkommen spielen die NDCs, also die nationalen Emissionsminderungspläne. Sie spiegeln zwei wesentliche Vereinbarungen – das Temperaturziel „deutlich unter 2° C“ und die baldige Trendumkehr („Scheitelpunkt der Emissionen“) – und haben in der Regel einen Zeithorizont bis 2025 oder 2030. Deutschland leistet seinen Beitrag in der gemeinsamen NDC der EU, die eine THG-Reduktion von mindestens 40 % bis 2030 (gegenüber 1990) enthält.

Wie ambitioniert NDCs formuliert werden, liegt in der Zuständigkeit der Einzelstaaten. **Die Pläne werden daher im „Ambitionsmechanismus“ zwischen den Staaten und dem UN-**

[1] http://www.wri.org/news/2016/11/statement-cop22-marrakech-climate-negotiators-agree-roadmap-2018 (zuletzt aufgerufen am 24.04.2017)

Klimasekretariat regelmäßig alle fünf Jahre überprüft und wenn nötig verschärft. Eine Aufweichung oder Lockerung nationaler Ziele ist nicht möglich. Auf diese Weise, so die Hoffnung, können „Ambitionslücken" Schritt für Schritt geschlossen werden. Zusätzlich zu den mittelfristigen Zielen der NDCs sollen die Vertragsparteien Langfriststrategien vorlegen, die Netto-Null-Emissionen zum Ziel haben.

Schon jetzt zeichnet sich ab, dass ambitionierter Klimaschutz leicht gefordert, aber schwer zu realisieren ist. Nach dem aktuellen Bericht der UNFCCC zur Bewertung der Wirkung der NDCs werden die globalen THG-Emissionen durch die derzeit vorliegenden NDCs nicht sinken, sondern im Gegenteil bis 2030 um 8 bis 23 % gegenüber 2010 ansteigen. Verglichen mit Zielpfaden hin zu einer maximalen Temperaturerhöhung um 2 °C, würden die Emissionen im Jahr 2030 damit um 26 bis 59 % zu hoch liegen [UNFCCC, 2016].

3.2 Klimaschutzziele der EU für 2030

Die Klimaschutzziele der EU finden sich in den NDC der Gemeinschaft wieder, wobei das EU-NDC einen Zeithorizont bis 2030 in den Blick nimmt. Das NDC orientiert sich am europäischen Klima- und Energierahmen von 2014 mit drei Kernzielen: die Minderung der Treibhausgasemissionen um 40 % gegenüber 1990, die Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien am Energieverbrauch auf 27 % und die Steigerung der Energieeffizienz um 27 % gegenüber der Projektion.

Das Ziel zur Emissionsminderung ist weiter unterteilt: So müssen die unter das EU-Emissionshandelssystem (EU-ETS) fallenden Sektoren ihre Emissionen um 43 % gegenüber 2005 senken. **Die anderen Sektoren – unter anderem der Verkehrsbereich – müssen ihre Emissionen um 30 % gegenüber 2005 reduzieren,** wobei diese Minderungspflichten über „Effort Sharing Regulation" in nationale Beiträge der einzelnen Mitgliedsstaaten aufgeteilt werden. **Nach dem Entwurf der „Effort Sharing Regulation" vom Juli 2016 ist Deutschland verpflichtet, seine Treibhausgasemissionen in diesen Sektoren bis 2030 um 38 % gegenüber 2005[2] zu senken. Dabei wird der Verkehrssektor in Deutschland einen Beitrag in vergleichbarer Größenordnung liefern müssen.**

3.3 Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung

Das Paris-Abkommen formuliert erstmals das Ziel, dass die Nationen in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts nur noch „Netto-Null-Emissionen" emittieren. Der Ausstoß von Treibhausgasen wäre dann nur erlaubt, wenn entsprechende biologische und technische Senken rein rechnerisch die Emissionen ausgleichen. Für dieses Ziel sollen die Nationen Langfriststrategien erarbeiten. Deutschland hat mit dem „Klimaschutzplan 2050" auf der COP22 in Marrakesch als eines der ersten Länder ein derartiges Konzept vorgelegt.

Die Ziele im Klimaschutzplan orientieren sich am Energiekonzept der Bundesregierung aus dem Jahr 2010: So ist **bis 2030 eine Gesamtminderung der THG-Emissionen von 55 %, bis 2050 eine Minderung von 80 bis 95 %** (jeweils gegenüber 1990) festgelegt. Darüber hinaus will Deutschland bis 2050 weitgehend treibhausgasneutral werden. Der Klimaschutzplan ist in zweierlei Hinsicht ein Fortschritt: Es setzt mittelfristige Minderungsvorgaben bis 2030, die aus heutiger Sicht in Reichweite liegen und daher auf Politik und Wirtschaft Handlungsdruck ausüben. Der zweite, wichtige Aspekt im Klimaschutzplan sind die sektorspezifischen Anforderungen: **So muss der Verkehrssektor bis 2030 seine Emissionen um 40 bis 42 % (gegenüber 1990) mindern.** Umgemünzt in Emissionen

[2] http://ec.europa.eu/clima/policies/effort/proposal_en (zuletzt aufgerufen am 24.04.2017)

darf der gesamte Bereich dann nur noch 95 bis 98 Mio. t THG-Emissionen (gemessen in CO_2-Äquivalenten) pro Jahr ausstoßen.

Ähnlich wie das Paris-Abkommen ist auch der Klimaschutzplan als Prozess angelegt, beispielsweise sind regelmäßige Überprüfungen und Fortschreibungen der Minderungsziele vorgesehen. Bisher fehlt für den Klimaschutzplan allerdings ein konkretes Maßnahmenprogramm. Es soll bis zum Jahr 2018 erarbeitet und vorgelegt werden.

3.4 Einordung der nationalen Treibhausgasminderungsziele in das Temperaturziel

CO_2 ist ein langlebiges und daher lange wirksames Treibhausgas. Um einen Zustand mit Netto-Null-Emissionen zu erreichen, muss die **Summe der CO_2-Emissionen von heute bis zum Zielhorizont deutlich gemindert werden** [IPCC, 2014a]. Die Höhe des globalen Emissionsbudgets hängt von zwei Faktoren ab: zum einen von den Parametern, die das Temperaturziel kennzeichnen, also der Höhe und der angenommenen Wahrscheinlichkeit, mit der das Ziel erreicht werden kann, zum anderen von der Entwicklung und Nutzung von Techniken und Verfahren, die „überschüssige" Treibhausgase aus der Atmosphäre fernhalten oder ihr entziehen können. Dazu zählen beispielsweise die Nutzung von Bioenergie zusammen mit Verfahren zur CO_2-Abscheidung aus dem Abgas und Endlagerung des CO_2 (Bio-Energy with Carbon Capture and Storage)[3].

Anders als auf früheren Klimakonferenzen formuliert das Paris-Abkommen zwar ehrgeizige Klimaschutzanforderungen, es setzt aber keine konkreten Minderungspflichten für einzelne Länder fest. Vielmehr bleibt es den Vertragsparteien über ihre NDCs selbst überlassen, welchen Beitrag zur Emissionsminderung sie zu leisten bereit sind bzw. als angemessen einschätzen.

Dennoch ist auch künftig die Frage relevant, wie einzelne NDC in ihrer Reichweite und Wirkung bewertet werden können. In diesem Papier wird hierzu der vom Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen vorgeschlagenen **Budgetansatz** verwendet (siehe Kasten „Budgetansatz nach WBGU"). Bei der Klimakonferenz in Paris spielte der Budgetansatz als Instrument zwar keine Rolle, er gilt allerdings als praktikables Instrument zur Verteilung der globalen Emissionen auf die einzelnen Nationalstaaten.

Budgetansatz nach WBGU

In welcher Form misst, steuert und überprüft man die globalen Emissionen an Treibhausgasen über einen langen Zeitraum? Wie verteilt man die zulässigen Emissionen auf die einzelnen Nationalstaaten? Der Wissenschaftliche Beirat Globale Umweltveränderungen (WBGU) hat 2009 dafür einen „Budgetansatz" vorgeschlagen. Grundidee dabei ist, die maximal noch zu emittierende Menge an Klimagasen gleichmäßig pro Kopf auf die Weltbevölkerung zu verteilen. Daraus resultieren nationale Emissionsbudgets, über die die Länder frei verfügen können (z.B. hinsichtlich zeitlicher Variabilität oder beim Handeln mit Emissionszertifikaten). Der Budgetansatz bezieht sich dabei explizit auf langlebige Treibhausgase wie CO_2, N_2O und F-Gase, da deren Klimawirkung sich über die Zeit aufsummiert. Schneller abbaubare klimawirksame Stoffe wie Methan oder Ruß, Stickoxid- und Was-

[3] Eine Entnahme von Treibhausgasen aus der Atmosphäre ist in vielen Szenarien zur Einhaltung der Temperaturziele notwendig, insbesondere bei Szenarien mit Begrenzung auf eine Erwärmung von 1,5°C (siehe [Rogelj, et al., 2015], [IPCC, 2014b], [Climate Analytics, 2015], [UBA, 2014d]). Eine Strategie, die sich auf die großtechnische Verfügbarkeit von Techniken für Negativemissionen verlässt, ist allerdings mit hohem Risiko verbunden (siehe [Germanwatch, 2016], [UBA, 2014d], [UBA, 2013b]).

serdampf, sollten separat betrachtet werden.

Folgende Parameter müssen für die Ermittlung der Budgets festgelegt werden:

- das global noch vorhandene und erlaubte Emissionsbudget
- das „demografische Referenzjahr", in dem der nationale Anteil der erlaubten Emissionen berechnet wird (für Deutschland beispielsweise Mitte 2015 mit 1,1 % der Weltbevölkerung)
- das „Anfangsjahr", das vor dem Referenzjahr liegt und durch dessen Festlegung bereits in der Vergangenheit emittierte Klimagase berücksichtigt werden.
- die über den Emissionshandel maximale Menge an Zertifikaten, die eine Nation erwerben kann. Aufgrund des Ziels von Netto-Nullemissionen für alle stehen nur begrenzt Zertifikate zur Verfügung.

Wird das nationale Budget nach diesem Ansatz berechnet, dürfte Deutschland im gesamten Zeitraum von 2010 bis 2050 zwischen 3,9 und 12,2 Mrd. t CO_2 emittieren. Die große Spanne resultiert aus unterschiedlichen Annahmen (siehe Tabelle 1). Bei diesen Berechnungen ist der großtechnische Einsatz von Verfahren, die Treibhausgase aufnehmen und speichern können, nicht berücksichtigt.

Tabelle 1: Emissionsbudgets für Deutschland 2010-2050 nach dem WBGU-Budgetansatz und den Globalbudgets

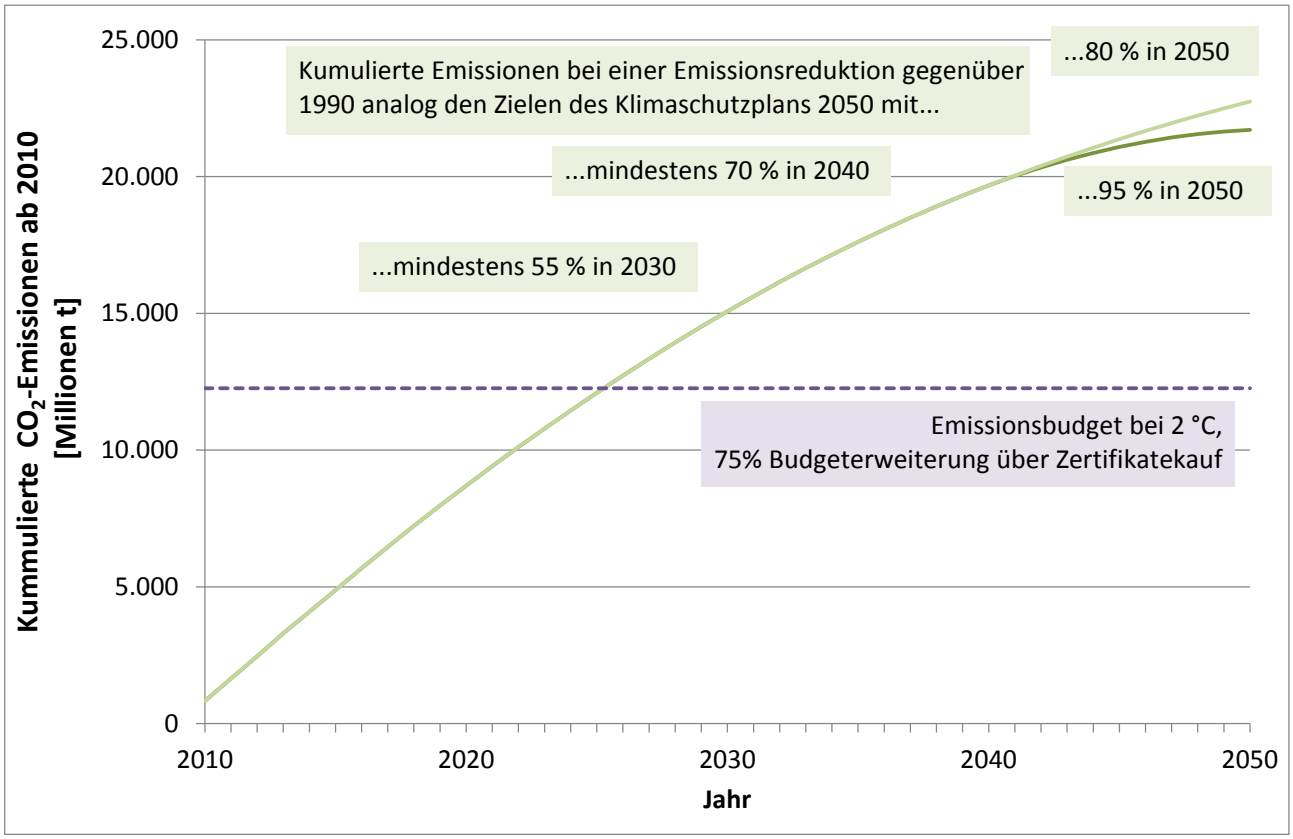
Nutzung Emissionshandel	0 % Zertifikatekauf	75 % Zertifikatekauf (analog Annahme in [WBGU, 2009])
Maximale Erwärmung um 1,5 °C, 50 % Einhaltewahrscheinlichkeit	3,9 Milliarden t CO_2	6,8 Milliarden t CO_2
Maximale Erwärmung um 2 °C, 66 % Einhaltewahrscheinlichkeit	7,0 Milliarden t CO_2	12,2 Milliarden t CO_2

Quelle: [Rogelj, et al., 2015]

Zum Vergleich: Im Jahr 2016 emittierte Deutschland 796 Mio. t CO_2[4]. Bei dem oberen Wert von „erlaubten" 12,2 Mrd. t CO_2 innerhalb von 40 Jahren errechnet sich im Durchschnitt eine jährliche Menge von 307 Mio. t CO_2, also etwa 39 % der derzeitigen Emissionen. Wie anspruchsvoll die Einhaltung des mittels des WBGU-Ansatzes berechneten Emissionsbudget ist, wird auch in Abbildung 2 deutlich: Hier sind dem Budget die Summe der Emissionen Deutschlands bei Einhaltung der Minderungsziele des Klimaschutzplans 2050 gegenüber gestellt. Für die Berechnung der Emissionen ist angenommen, dass die mittel- und langfristigen Minderungsziele des Klimaschutzplans 2050 erreicht werden. Den kumulierten Emissionen ist das Budget bei einem Temperaturanstieg von global 2 °C inklusive einer Erweiterung um 75 % durch zusätzlichen Zertifikatekauf gegenübergestellt.

[4] https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen (zuletzt aufgerufen am 24.04.2017)

Abbildung 2: Vergleich der kumulierten CO_2-Emissionen bei Einhaltung der Ziele des Klimaschutzplans mit dem WBGU-Emissionsbudget



Quelle: eigene Berechnungen

Trotz der oberen Annahme für das Emissionsbudget liegen die CO_2-Emissionen um 77 % höher als es das Budget vorsieht. Anders gesagt: **Sind die Ziele und Aussagen des Paris-Abkommens ernst gemeint, muss Deutschland deutlich mehr für den Klimaschutz tun.** Vor diesem Hintergrund gewinnt der vorgesehene Ambitionsmechanismus mit regelmäßiger Verschärfung nationaler Minderungspflichten auch für die deutsche und europäische Klimapolitik an Bedeutung.

Es wird deutlich: Klimaschutz lässt sich nicht weiter auf die lange Bank schieben. Um die Emissionen bis 2050 deutlich und wirksam zu mindern, müssen Politik und Wirtschaft insbesondere mittelfristige Ziele stärker in den Fokus nehmen. **Will Deutschland einen wirksamen Beitrag zum Klimaschutz leisten, sind die bestehenden Ziele für 2030 und 2040 deutlich zu verschärfen.** Die Minderung der Emissionen bis 2050 sollte bei 95 % liegen. Dieses Ziel ist anspruchsvoll: Da bestimmte Wirtschaftssektoren einen Teil ihrer Treibhausgase nicht vermeiden können, müssten andere Bereiche – einschließlich des Verkehrssektors – bis 2050 treibhausgasneutral werden und ihre Emissionen auf null zurückfahren (siehe Kasten „Ein Sockel von Emissionen“).

Ein Sockel von Emissionen

Landwirtschaft und einige Industriebranchen gehören zu den Sektoren, die ihre Emissionen nicht auf null reduzieren können, weil wirtschaftliche und dem Nutzen angemessene Techniken nicht zur Verfügung stehen. In der Landwirtschaft wird daher beispielsweise auch weiterhin Methan und Lachgas emittiert. In der Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050“ [UBA, 2014a] wird der Sockel dieser kaum vermeidbaren Emissionen – **ohne den Verkehrssektor** – mit jährlich rund 60 Mio. t CO_2-Äquivalente angegeben. Dies entspricht etwa 5 % der THG-Emissionen von 1990, d.h. bei einer Minderung um 95 % wären alle anderen Emissionen auf nahezu Null zu senken.

Als schwer vermeidbare Emissionen kommen im **Verkehr** die nicht direkt kraftstoffbezogenen, aber klimarelevanten Emissionen des Luftverkehrs hinzu. Dazu gehören Stickoxide und Wasserdampf. Ihre Klimawirkung bleibt bestehen, solange Flugzeuge (kohlen-) wasserstoffbasierte Treibstoffe verwenden. Diese zusätzliche Klimawirkung des von Deutschland abgehenden Luftverkehrs belief sich 2014 auf 29 Mio. t CO_2-Äquivalente, bei steigender Tendenz über die letzten Jahre.

4 Wege zum treibhausgasneutralen Verkehr

Die Studie „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050“ (KSBV) [UBA, 2016a] zeigt einen ambitionierten, aber realistischen Weg auf, wie der Verkehr in Deutschland bis 2050 nahezu treibhausgasneutral werden kann. Die Studie bildet verschiedene technische und verkehrliche Entwicklungen in drei Szenarien ab und ermittelt deren Folgen auf Emissionen und Energieverbrauch (Ergebnisse siehe Tabelle 2):

- Im **Referenzszenario** wird die aktuelle Politik fortgesetzt. Der Fokus liegt dabei auf Effizienzmaßnahmen und dem Einsatz von Elektromobilität bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen.
- Im **Klimaschutzszenario** werden zusätzliche Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung und -verlagerung umgesetzt. Neben dieser „Verkehrswende“ erfolgt eine „Energiewende im Verkehr“, d.h. ein kompletter Umstieg auf Elektromobilität mit erneuerbarem Strom und strombasierte Power-to-Liquid- und Power-to-Gas-Kraftstoffe. Biokraftstoffe spielen dagegen 2050 keine Rolle mehr.
- Das **Szenario E+** entspricht dem Klimaschutzszenario, setzt aber beim Straßengüterverkehr neben PtL/PtG-Kraftstoffen auf den energieeffizienteren Oberleitungs-Hybrid-Lkw. Zusätzlich werden höhere Anteile für die Elektromobilität bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen angenommen.

Der Vergleich der drei Szenarien zeigt, dass die Verkehrspolitik kurzfristig ökologisch umsteuern muss und selbst das ambitionierteste Szenario E+ nicht alle Ziele mit Sicherheit erreichen kann. Der Klimaschutz im Verkehr stellt alle Beteiligten vor große Herausforderungen, beispielsweise durch den stark wachsenden Bedarf an erneuerbar erzeugtem Strom.

Tabelle 2: Zusammenfassung wichtiger Ergebnisse zu den Treibhausgasemissionen und dem Endenergieverbrauch des Verkehrs in den Szenarien von KSBV

	Referenz	Klimaschutz	Klimaschutz E+
direkte Treibhausgasemissionen in 2050 (Millionen t CO_2-Äquivalente)			
- nationaler Verkehr (bodengebundener Verkehr nach dem Territorialprinzip, Luftverkehr zwischen deutschen Flughäfen)	86,4	1,1	0,9
- Gesamtverkehr (inkl. abgehender internationaler Luftverkehr und Kraftstoffbunkerung des Seeverkehrs)	130,9	1,4	1,3
Änderung Treibhausgasemissionen 1990 bis 2050			
- nationaler Verkehr	-42 %	-99 %	-99 %
- Gesamtverkehr	-22 %	-99 %	-99 %
kumulierte direkte CO_2-Emissionen 2010-2050 (Milliarden t CO_2)			
- nationaler Verkehr	5,1	3,7	3,6
- Gesamtverkehr	6,8	4,8	4,7
Änderung Endenergieverbrauch 2005 bis 2050			
absolut			
- nationaler Verkehr	-852 PJ	-1.243 PJ	-1.311 PJ
- Gesamtverkehr	-656 PJ	-1.094 PJ	-1.162 PJ
relativ			
- nationaler Verkehr	-36 %	-53 %	-55 %
- Gesamtverkehr	-24 %	-40 %	-42 %
EE-Strombedarf im Verkehr 2050 (PJ)			
direkte Verwendung			
- nationaler Verkehr	216	179	284
- Gesamtverkehr	216	179	284
via strombasierte Kraftstoffe			
- nationaler Verkehr	54	2.654	2.202
- Gesamtverkehr	54	4.201	3.749
Summe			
- nationaler Verkehr	270	2.833	2.486
- Gesamtverkehr	270	4.380	4.033

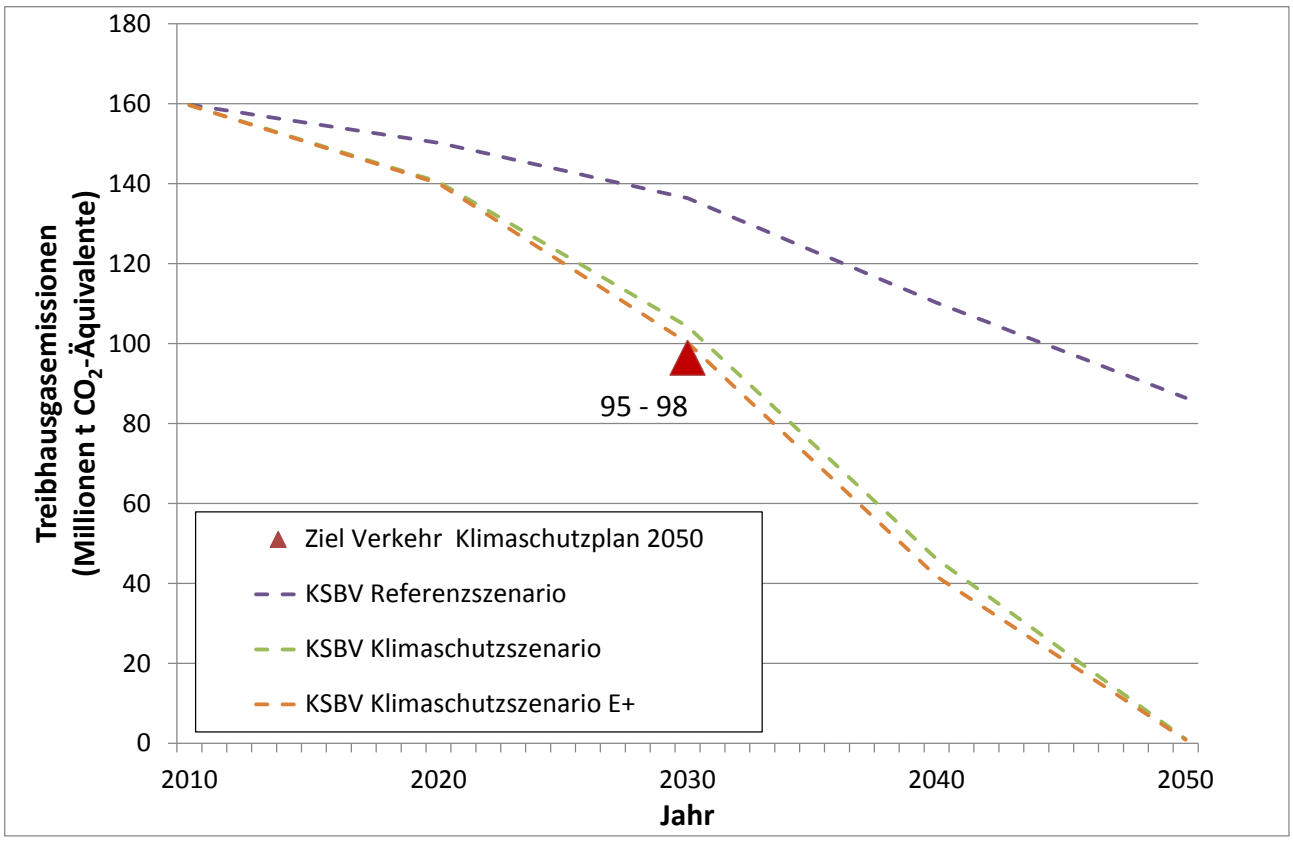
Quelle: [UBA, 2016a]

4.1 Treibhausgaswirkung der Verkehrsszenarien

Die Studie KSBV kommt zu dem Schluss, dass **ein nahezu treibhausgasneutrales Verkehrssystem ab 2050 in Deutschland für den nationalen Verkehr machbar ist.** Relevant für den Klimaschutzbeitrag des Verkehrs sind jedoch die Geschwindigkeit der Entwicklung und ambitionierte Zwischenziele bis 2030. Im „Klimaschutzplan 2050" der Bundesregierung wird für den nationalen Verkehr eine Minderung auf maximal 95 bis 98 Mio. t CO_2 pro Jahr bis 2030 gefordert. Bei der Auswertung der Szenarien zeigt sich[5]:

- Im Referenzszenario wird der 2030er Zielkorridor des Klimaschutzplans der Bundesregierung deutlich verfehlt.
- Im Klimaschutzszenario wird der 2030er Zielkorridor des Klimaschutzplans um 5 bis 8 Mio. t CO_2-Äquivalente verfehlt.
- Im Klimaschutzszenario E+ wird trotz ambitionierter Elektrifizierung das 2030er Ziel des Klimaschutzplans noch um 2 bis 5 Mio. t CO_2-Äquivalente verfehlt.

Abbildung 3: Zielwerte im nationalen Verkehr und Verlauf der direkten THG-Emissionen in den KSBV-Szenarien (nationaler Verkehr) von 2010 bis 2050



Quelle: eigene Berechnungen aufbauend auf [UBA, 2016a]

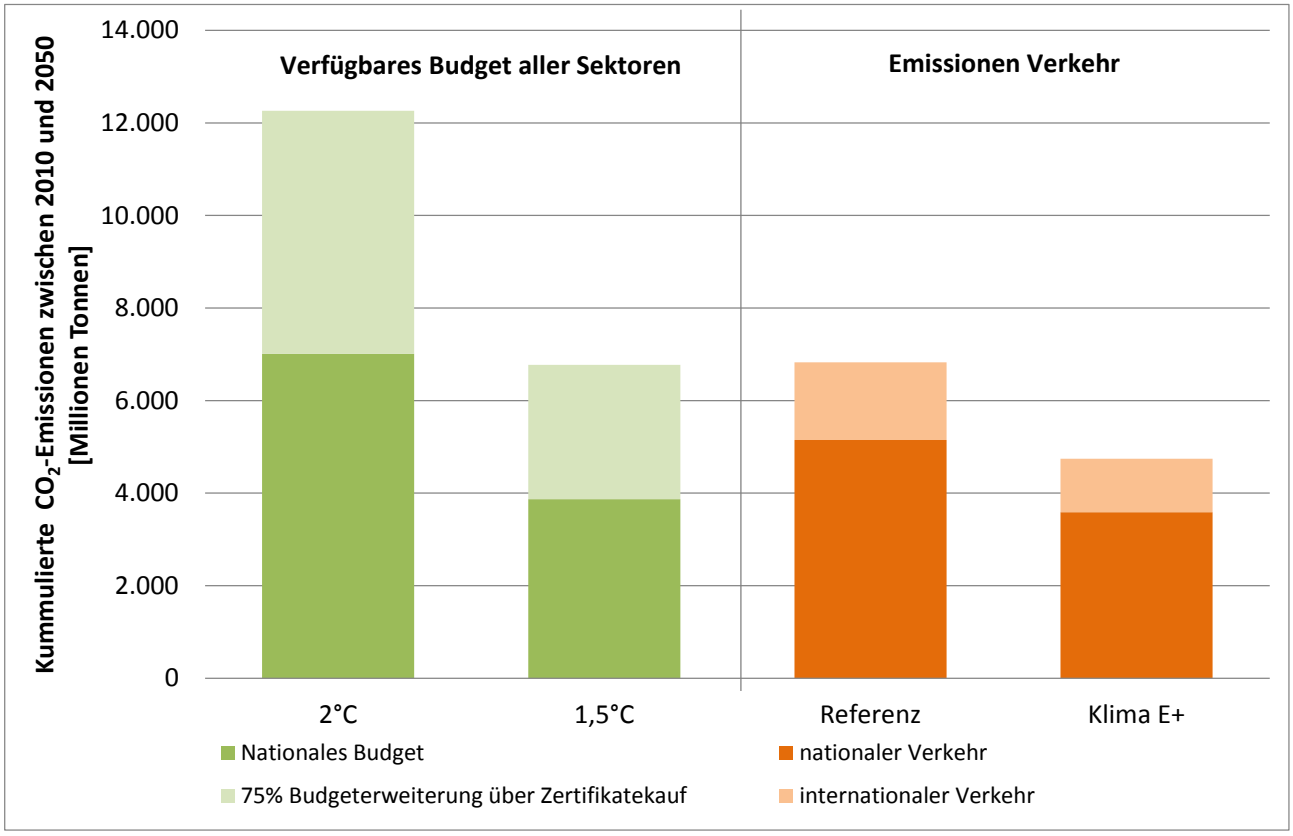
Noch prägnanter sind die Ergebnisse, wenn man die Emissionsbudgets nach WBGU als Messlatte nutzt. Aufgrund der Aufteilung des kompletten global noch zur Verfügung stehenden Budgets auf

[5] Wegen unterschiedlicher Abgrenzungen des Verkehrs im Klimaschutzplan 2050 und in den Szenarien der Studie sind die Ergebnisse nicht exakt vergleichbar.

nationale Emissionsbudgets, sind die anteilmäßigen Emissionen des internationalen Verkehrs auf die nationalen Emissionen aufzuschlagen. Die Zuordnung des internationalen Verkehrs zu Deutschland geschieht in dieser Studie beim Luftverkehr über die abgehenden Flüge, beim Seeverkehr über die an deutschen Seehäfen getankten Kraftstoffmengen. Werden die internationalen Verkehre in die Betrachtung integriert, sprechen die Resultate aus den drei Szenarien eine noch deutlichere Sprache:

- Im Referenzszenario liegen die kumulierten CO_2-Emissionen des gesamten Verkehrs bis 2050 bei 6,8 Mrd. t, das entspricht rund 56 % des zulässigen nationalen Gesamtbudgets für alle Sektoren (bei Temperaturziel von 2 °C und 75 % Zertifikatehandel).
- Im Klimaschutzszenario E+ werden bis 2050 rund 2,1 Mrd. t CO_2 weniger emittiert als im Referenzszenario. Dennoch beansprucht der Verkehrssektor immer noch knapp 40 % des insgesamt zur Verfügung stehenden Budgets. Bis 2030 werden bereits 75 % der Emissionen des gesamten Zeitraums 2010 bis 2050 emittiert.

Abbildung 4: Gegenüberstellung des verfügbaren nationalen Emissionsbudgets für 2°C und 1,5°C Erwärmung und der in den Szenarien berechneten Emissionen des Verkehrs im Zeitraum 2010 bis 2050



Quelle: eigene Berechnungen

Deutlich wird auch: **Eine besondere Bedeutung haben die CO_2-Emissionen der ersten beiden Jahrzehnte.** Die notwendige Reduktion der Treibhausgasemissionen des Verkehrs muss daher vor allem in den Jahren vor 2030 stattfinden, um dessen Beitrag zum Gesamtbudget wirksam zu mindern. Das ambitionierte Klimaschutzszenario E+ stellt damit den besten Pfad zur Erreichung des Verkehrszieles des Klimaschutzplans 2050 dar. Ein wesentlicher Schlüssel zum Erfolg ist zudem eine weitgehende Absenkung des Endenergieverbrauchs im Verkehr und die Umstellung auf Elektromobilität und – dort wo direkte elektrische Nutzung nicht möglich ist – langfristig auf strombasierte Kraftstoffe.

4.2 Energieverbrauch der Verkehrsszenarien

Energiewende und Verkehrswende gehören eng zusammen. Beides sind anspruchsvolle und langfristig angelegte Konzepte, die mit konkreten Maßnahmen unterlegt sein müssen. Die Kopplung wirkt noch auf andere Weise: **Eine Energiewende wird umso teurer und umso ressourcenintensiver, je mehr Energie der Verkehrssektor verbraucht. Energie- und Verkehrswende sind somit immer zusammen zu betrachten** [UBA, 2016a]. In ihrem Energiekonzept hat die Bundesregierung das Ziel formuliert, den Endenergieverbrauch im Verkehrsbereich gegenüber 2005 bis 2020 um 10 % und bis 2050 um 40 % zu reduzieren [Bundesregierung, 2010].

In den Szenarien der Studie KSBV wird eine Minderung des Endenergieverbrauchs durch Effizienzsteigerung, Verkehrsverlagerung von Straße auf den Umweltverbund, Schiene oder Schiff, Erhöhung der Auslastung und umfassende Elektromobilität erreicht. Neben der Minderung des Endenergieverbrauchs sind die Umstellung auf Elektromobilität und der Einsatz von strombasierten Kraftstoffen der wesentliche Hebel, um den Verkehrssektor langfristig treibhausgasneutral zu gestalten. Biokraftstoffe können diese Rolle nicht erfüllen (siehe Kasten „Biokraftstoffe quo vadis?“).

Biokraftstoffe, quo vadis?

Die Bewertung von Biokraftstoffen hat sich in Politik, Wissenschaft und Gesellschaft deutlich verändert. In den kommenden Jahren müssen daher die Rahmenbedingungen neu gestaltet werden - auch, weil die einschlägigen EU-Richtlinien (2009/28/EG und 98/70/EG) bis 2020 auslaufen. Es ist der erklärte politische Wille der EU-Kommission, Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse (Biofuels der 1. Generation) nach einem bisher noch nicht festgelegten Zeitplan zu beenden. Künftig sollen Biokraftstoffe der 2. und 3. Generation an Bedeutung gewinnen. Dazu zählen Biodiesel aus Pflanzenrückständen, Ethanol aus Lignozellulose oder synthetische Kraftstoffe nach der Fischer-Tropsch-Technik.
Biokraftstoffe der 2. und 3. Generation können zur Emissionsminderung bis 2030 beitragen. Allerdings ist ihr Beitrag nicht besonders groß, da fortschrittliche Biokraftstoffe und die dafür notwendigen Roh- und Reststoffe auf absehbare Zeit nur begrenzt verfügbar sind. Zudem sind viele Herstellungsverfahren noch weit von einer wirtschaftlichen Praxis entfernt. Nicht zuletzt sind die Anreize in der Kraftstoffqualitäts-Richtlinie der EU vom September 2015 unzureichend, um entsprechende Investitionen und Weiterentwicklungen anzustoßen.

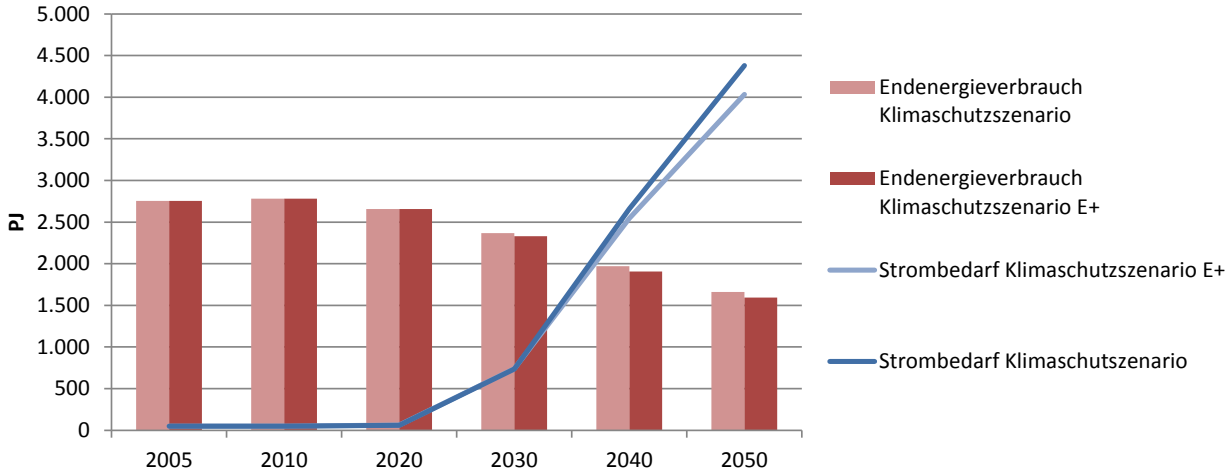
Strombasierte Kraftstoffe sind mit Strom als Energiequelle hergestellte chemische Energieträger. Dabei kann praktisch jede Primärenergiequelle, unabhängig ob erneuerbar oder fossil, verwendet werden. Je nach Strommix unterscheidet sich die Klimawirkung der Kraftstoffe deutlich. Wirklich klimaverträglich sind sie nur, wenn sie ausschließlich aus erneuerbarem Strom (EE-Strom) hergestellt werden.

Der Einsatz von klimaneutralen, strombasierten Kraftstoffen benötigt – bezogen auf einen Fahrzeugkilometer – die zweieinhalb- bis achtfache Menge an Elektrizität als eine direkte Stromnutzung, z. B. in Elektrofahrzeugen. Jedoch werden sich im Luftverkehr, im Seeverkehr und in einigen Anwendungen im Straßenverkehr flüssige oder gasförmige Kraftstoffe aufgrund der notwendigen Energiedichten auf absehbare Zeit nicht durch Batteriespeicher ersetzen lassen. **Somit ist der Einsatz strombasierter Kraftstoffe für einen treibhausgasneutralen Verkehr zwingend notwendig.** Daraus entstehen zwei zentrale Herausforderungen: Zum einen sind die benötigten Mengen an EE-Strom bereitzustellen, zum anderen müssen die notwendigen Produktionsanlagen für strombasierte Kraftstoffe aufgebaut werden.

Das inländische Potenzial für die Erzeugung von Strom aus Sonne, Wind und Wasserkraft ist im Verhältnis zu den für die Kraftstoffproduktion benötigten Mengen begrenzt – das gilt mit Blick auf gesellschaftliche Akzeptanz, aber auch mit Blick auf die Wirtschaftlichkeit der Standorte. In Zukunft könnten daher strombasierte Flüssigkraftstoffe im Ausland kostengünstiger produziert und nach Deutschland importiert werden. Dabei müssen hohe Nachhaltigkeitsstandards sichergestellt sein, beispielsweise durch einen internationalen Ordnungsrahmen, der garantiert, dass strombasierte Kraftstoffe zu 100 % aus zusätzlichen erneuerbaren Energien, ökologisch nachhaltig und sozial verträglich produziert sind.

Im Jahr 2050 liegt der Bedarf an erneuerbarem Strom für den Gesamtverkehr im Klimaschutzszenario bei rund 4.400 PJ (1.220 TWh), davon 1.550 PJ (430 TWh) für den internationalen Verkehr. Das Szenario E+ kann durch weitergehende Elektrifizierung den Bedarf an EE-Strom im Jahr 2050 zwar um 8 % gegenüber dem Klimaschutzszenario reduzieren (siehe Abbildung 5). Dennoch erwachsen aus der Energiewende im Verkehr große Herausforderungen für den Stromsektor: Die Nachfrage aus dem Verkehrssektor erhöht den Strombedarf Deutschlands deutlich, was in jedem Fall mit hohen Investitionskosten verbunden sein wird.

Abbildung 5: Entwicklung des Endenergieverbrauchs und des Bedarfs an Strom des gesamten Verkehrs in den Szenarien Klimaschutz und Klimaschutz E+



Quelle: [UBA, 2016a]

In Hinblick auf **Ziele des Klimaschutzplans für 2030** stellen sich die Ergebnisse für den **nationalen Verkehr** wie folgt dar:

- Im Szenario Klimaschutz E+ sinken die Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors auf 100 Mio. t bis 2030 – unter der Bedingung, dass bis dahin sechs Millionen Pkw und leichte Nutzfahrzeuge im Bestand sind und zusätzlich 10 % der im Verkehr verbrauchten Kraftstoffe strombasiert erzeugt werden.
- Der Anteil von 10 % strombasierten Kraftstoffen im Jahr 2030 mindert die Treibhausgasemissionen des nationalen Verkehrs um rund 11 Mio. t, erhöht aber auch den Bedarf an EE-Strom für die Erzeugung der Kraftstoffe um 400 PJ, eine Menge, die aus heutiger Sicht bis 2030 kaum erreichbar ist [UBA, 2016b]. Es werden also alternative Strategien benötigt.
- Um die gleiche Einsparung an Treibhausgasen zu erreichen, müsste die Fahrzeugflotte im Jahr 2030 von sechs auf 12 Millionen Fahrzeuge verdoppelt werden. Dann wäre auch der zusätzliche Bedarf an EE-Strom mit rund 50 PJ deutlich niedriger.

Damit wird deutlich: Die Minderungsziele des Klimaschutzplans erfordern bereits bis 2030 große Anstrengungen. Da strombasierte Kraftstoffe aus EE-Strom bis dahin nicht in der erforderlichen Menge zur Verfügung stehen können, müssen alternative Strategien verstärkt verfolgt werden. Eine aussichtsreiche Strategie ist es, die Elektrifizierung der Fahrzeugflotte deutlich stärker voranzutreiben und das Ziel für den Fahrzeugbestand im Jahr 2030 von sechs Millionen auf 12 Millionen Fahrzeuge zu erhöhen.

4.3 Verkehrs- und Energiewende Hand in Hand

Das ambitionierte Klimaschutzszenarios E+ ist eine gute Vorlage für mehr Klimaschutz im Verkehr für den Zeithorizont bis 2050. Unter den aktuellen Zielvorgaben müssen jedoch die aufgezeigten Strategien überarbeitet werden, um eine deutliche Absenkung der Treibhausgasemissionen bereits bis 2030 zu erreichen.

Eine Absenkung der THG-Emissionen des nationalen Verkehrs auf 95 bis 98 Mio. t im Jahr 2030, wie es der Klimaschutzplan der Bundesregierung vorsieht, kann – wie gezeigt wurde – unter den Bedingungen erreicht werden, dass

- unverzüglich Maßnahmen zur Verkehrsverlagerung und -vermeidung eingeleitet werden, die bis 2030 Endenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen um 15 % gegenüber dem Referenzszenario mindern (Vgl. [UBA, 2016a], S. 162 ff.),
- bis 2030 mindestens 12 Millionen Elektro-Pkw und leichte Nutzfahrzeuge im Bestand sind und
- alle Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, wie im Szenario angenommen, umgesetzt werden.

Bereits diese Ziele können nur mit deutlich höheren Anstrengungen gegenüber den bisherigen Planungen erreicht werden. Die Ziele des deutschen Klimaschutzplans 2050 sind jedoch nur ein erster Schritt hin zu einem wirksamen Klimaschutz. **Bei einem globalen Temperaturziel von „deutlich unter 2 Grad“ – wie es das Paris-Abkommen vorsieht – sind deutlich höhere Anstrengungen notwendig, um das Emissionsbudget einzuhalten. Es ist also notwendig, dass einerseits zusätzliche Maßnahmen ergriffen, andererseits bereits geplante Maßnahmen früher und intensiver realisiert werden.** In Kapitel 5 werden dazu mögliche Handlungsoptionen dargestellt.

5 Handlungsoptionen zur Minderung der Verkehrsemissionen

Die vorigen Kapitel haben gezeigt, dass das Temperaturziel des Pariser Übereinkommens eine schnellere und intensive Minderung der Treibhausgasemissionen in Deutschland erfordert – das gilt für alle Bereiche und damit auch für den Verkehrssektor. Daher müssen alle wesentlichen verkehrspolitischen Entscheidungen der nächsten Jahre auf ihre Kompatibilität mit den zulässigen Emissionsbudgets überprüft werden.

Die wichtigsten Handlungsoptionen zur THG- und Endenergieminderung in den nächsten Jahren sind[6]:

- die Weiterentwicklung der Effizienzregulierung von Neufahrzeugen,
- die Förderung der Elektromobilität auf der Straße,
- der Ausbau einer nachhaltigen Verkehrsinfrastruktur für eine Verlagerung des Verkehrs auf klimafreundliche Verkehrsträger und

[6] Der Ausbau der Infrastruktur für strombasierte Kraftstoffe ist eine Aufgabe des Energiesektors und wird hier nicht behandelt.

- der Abbau von umweltschädlichen Subventionen sowie die Einführung einer fahrleistungsabhängigen Maut für alle Straßenfahrzeuge.

Diese Instrumente sind bereits in den Klimaschutzszenarien der UBA-Studie KSBV enthalten[7]. Zur Erreichung der Ziele des Klimaschutzplans 2050 sowie der Anforderungen des Pariser Klimaschutzabkommens müssen für eine wirksame Minderung der Klimagasemissionen im Verkehr die Instrumente allerdings früher und intensiver umgesetzt werden. Nachfolgend wird dargestellt, welche Parameter und Instrumente geeignet sind, um in Deutschland (und auch der EU) den Klimaschutz ambitioniert zu gestalten.

5.1 Mehr Effizienz für Straßenfahrzeuge

Die Steigerung der Energieeffizienz bei Straßenfahrzeugen mindert Treibhausgasemissionen und Energieverbrauch. Von großer Bedeutung ist die Effizienzsteigerung bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren, denn sie bleiben kurz- bis mittelfristig (mindestens bis 2030) die dominierenden Energieverbraucher im Verkehrssektor. Langfristig profitieren auch Fahrzeuge mit alternativen Antrieben von einer ambitionierten Effizienzregulierung, da viele Effizienztechniken unabhängig vom Antriebskonzept wirken. Hauptakteur für die Gestaltung des regulatorischen Rahmens für die Effizienz von Neufahrzeugen ist die Europäische Union (EU).

5.1.1 Pkw und leichte Nutzfahrzeuge

Ein zentrales Instrument in der Effizienzregulierung sind die EU-Flottenzielwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge. Seit 2015 gilt für Neu-Pkw ein Zielwert für die Emissionen am Fahrzeug von 130 g CO_2/km. Ab 2020 wird ein Zielwert von 95 g CO_2/km eingeführt, der ab 2021 für alle Neuzulassungen gilt. Reine batterieelektrische Fahrzeuge werden mit 0 g CO_2/km angerechnet und (bis 2022) mehrfach gewichtet [EU, 2014]. Für leichte Nutzfahrzeuge gilt ab 2017 ein Zielwert von 175 g CO_2/km und ab 2020 von 147 g CO_2/km.

Die Flottenzielwerte wirken heute – aufgrund der geringen Anzahl an Elektrofahrzeugen – vor allem auf eine Minderung des CO_2-Ausstoßes von Verbrennungsfahrzeugen hin. In der Praxis ist die Wirksamkeit der Flottenzielwerte jedoch begrenzt, da die Vorgaben sich auf den im Typgenehmigungsverfahren gemessenen CO_2-Ausstoß beziehen. **Der Realverbrauch und die tatsächlichen Emissionen auf der Straße sind jedoch im Durschnitt deutlich höher als die Werte auf dem Prüfstand.** Die Diskrepanz zwischen Normverbrauch (gemessen nach dem derzeit gültigen Testzyklus NEFZ) und dem Realverbrauch lag 2015 bei rund 42 % [ICCT, 2016a]. **Daraus resultiert, dass die tatsächlichen CO_2-Emissionen bei Neuwagen in den vergangenen Jahren nicht gesunken und regulative Effizienzbemühungen weitgehend ins Leere gelaufen sind.**

Spätestens ab September 2017 müssen neue Modelle im realitätsnäheren WLTP (Worldwide Harmonized Light Duty Test Procedure) getestet werden. Für die Erfüllung der CO_2-Flottenzielwerte müssen die neuen Messwerte noch in NEFZ-Werte umgerechnet werden. Erst ab 2020 ist vorgesehen, dass Flottenzielwerte ausschließlich im WLTP ermittelt werden, wobei bis dahin ein Umrechnungsfaktor festgelegt werden muss[8]. Das ICCT (International Council On Clean Transportation) nutzt in seinem

[7] Die Szenarien in „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs 2050“ sind dabei nicht über die Maßnahmenwirkung quantifiziert. Vielmehr basiert die Quantifizierung auf Potenzialen, z.B. von bestimmten Techniken oder von Best-Practice-Umsetzungen. In einem zweiten Schritt wurden dann mögliche Maßnahmen zur Ausschöpfung dieser Potenziale dargestellt, ohne jedoch konkret Umsetzungsformen, -zeitpunkt und -intensität mit dem Szenario rückzukoppeln.

[8] https://www.vda.de/de/themen/umwelt-und-klima/abgasemissionen/wltp-weltweit-harmonisierter-zyklus-fuer-leichte-fahrzeuge.html (zuletzt abgerufen am 19.04.17)

Analysepapier zu den Handlungsmöglichkeiten der EU [ICCT, 2016b] für die Umrechnung den Faktor 1,15, der zu einem Zielwert von 109 g CO_2/km für das Jahr 2021 führt. Da der neue Testzyklus die Lücke zum Realverbrauch verkleinert, aber nicht schließt, resultieren daraus in der Projektion des ICCT tatsächliche Emissionen neuer Fahrzeuge von 134 g CO_2/km [ICCT, 2016b]. Das liegt zwar über dem Grenzwert für 2015, ist laut ICCT aber der „best case", der aus heutiger Sicht bis 2021 erreicht werden kann.

Aufbauend auf den derzeitigen Erfahrungen, sollte die **Fortschreibung der Flottenzielwerte möglichst ambitioniert und auf Basis realitätsnaher Testzyklen erfolgen.** Der Umstieg auf den WLTP-Zyklus ist dabei ein erster Schritt. Darüber hinaus sollte definiert werden, wie groß die Abweichung von Prüfstand zu Straße maximal sein darf. **Langfristig ist über die Weiterentwicklung von Test- und Marktüberwachungsverfahren sicherzustellen, dass die regulierten Emissionen den realen Emissionen auf der Straße entsprechen.**

Bei dem derzeitigen Regulierungsrahmen entsteht durch die Anrechnung von Elektrofahrzeugen auf den Flottenzielwert Spielraum für höhere Emissionen bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Das ist ein Anreiz für Hersteller, möglichst viele E-Fahrzeuge in die Flotte aufzunehmen, was in der Phase des Markthochlaufs politisch gewollt ist. Der Blick auf die Zulassungszahlen aber zeigt, dass der Anreiz in der Praxis bisher wenig greift. Außerdem gilt, dass bei steigenden Zahlen von E-Fahrzeugen die Anforderungen aus der Effizienzregulierung für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor an Schärfe verlieren. So schlägt beispielsweise ICCT vor, für eine Verschärfung der Effizienzentwicklung gegenüber dem derzeitigen Trend Zielwerte von 78 g CO_2/km im Jahr 2025 und 48 g CO_2/km im Jahr 2030 bei Pkw [ICCT, 2016b] im WLTP einzuführen.

Soll das Ziel des „Klimaschutzplans 2050" ohne großtechnischen Einsatz von strombasierten Kraftstoffen erreicht werden, müssen jedoch deutlich über die Hälfte der Neuzulassungen in 2030 Elektrofahrzeuge sein. Die vorgeschlagenen Zielwerte müssten dann bei dem derzeitigen Regulierungsrahmen noch einmal deutlich verschärft werden, um noch eine Wirkung auf die Verbrennerfahrzeuge zu erzielen. Dabei könnten Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren weit sparsamer sein als heute: Das Potenzial zur Senkung des spezifischen Energieverbrauchs bei konventionellen Fahrzeugen, inklusive Hybriden, liegt bei bis zu 50 % [JEC, 2013]. **Ambitionierte CO2-Zielwerte setzen daher eine getrennte Regulierung für Elektrifizierung und Effizienzsteigerung voraus, um beiderseits die Potenziale auszuschöpfen.**

Eine Verschärfung der Vorgaben ist nur mit einem gewissen Vorlauf sinnvoll, da die Hersteller Zeit für Entwicklung und Anpassung von Motoren und Fahrzeugen benötigen (z.B. eine Modellgeneration, also etwa sieben Jahre). Für 2025 ist es daher nötig, unverzüglich einen möglichst ambitionierten Regulierungsrahmen festzulegen. Für 2030 kann innerhalb eines Zeitraums von etwa fünf Jahre eine weitere Verschärfung erfolgen.

Eine Regulierung der Energieeffizienz – also bei Elektrofahrzeugen des Stromverbrauchs – wird dann notwendig, wenn Elektro- und Wasserstofffahrzeuge signifikante Marktanteile erreicht haben. Mittelfristig würde damit auch eine Grundlage für höhere Effizienz auch von alternativen Antrieben geschaffen (siehe z.B. UBA-Studie „Konzept zur zukünftigen Beurteilung der Effizienz von Kraftfahrzeugen" [Jöhrens/Helms, 2013]).

5.1.2 Schwere Nutzfahrzeuge

Das technische Potenzial zur Senkung der Treibhausgasemissionen schwerer Nutzfahrzeuge wird gegenwärtig bei weitem nicht ausgeschöpft. Viele Effizienztechnologien werden bisher kaum eingesetzt, obwohl sie auf dem Markt verfügbar sind und obwohl sie vergleichsweise preisgünstige Minderungsoptionen darstellen [ifeu/TU Graz, 2015].

Eine zentrale Maßnahme zur Minderung der THG-Emissionen des Güterverkehrs ist die Einführung von EU-weiten, rechtlich verbindlichen Effizienz- oder CO_2-Vorgaben. Während eine solche Gesetzgebung z.B. in den USA, China, Japan und Kanada bereits existiert, hat die EU erst im Sommer 2016 Schritte dazu eingeleitet. Für die konkrete Ausgestaltung einer Regulierung sind aber noch viele Fragen offen. Zudem spielt im Rahmen der aktuellen Debatte die Förderung alternativer Antriebe für den Güterverkehr kaum eine Rolle.

Auf EU-Ebene ist aktuell zunächst die Einführung eines CO_2-Monitorings geplant, welches Grundlage für die Einführung von CO_2-Zielwerten darstellen könnte. Wegen der modularen Konzeption von Lkw wird dabei eine Kombination aus Tests an den verbrauchsrelevanten Komponenten und einer Simulation des gesamten Lkw angewendet. Voraussichtlicher Start des Monitorings wird im Jahr 2018 sein [Savvidis, 2015], erste CO_2-Zielwerte könnten frühestens ab 2020 in Kraft treten.

Als offene Fragen sind u.a. zu klären:

- die Art des Regulierungsansatzes, z.B. Regulierungsparameter und Bezugsgrößen, Flottenmittelwerte oder Maximalgrenzwerte,
- die Höhe der Grenzwerte,
- die Berücksichtigung unterschiedlicher Fahrzeugklassen und Einsatzzwecke,
- der Umgang mit Einzelkomponenten (z.B. Auflieger, Anhänger und Aufbauten, Nebenaggregate, Reifen) und
- der Umgang mit alternativen Antrieben.

Die konkrete Ausgestaltung dieser Punkte wird im bis 2018 laufenden UBA-Projekt "Entwicklung und Bewertung von Maßnahmen zur Verminderung von CO_2-Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen“ diskutiert. Ziel ist dabei ein Kompromiss zwischen ambitionierten Grenzwerten, einer hohen Akzeptanz sowie einer administrativ wenig aufwändigen und kostengünstigen Lösung.

Als Bewertungsgröße für die Regulierung kommen sowohl Endenergie als auch CO_2 in Frage. Als Bezugsgröße wird die Verkehrsleistung empfohlen, wobei hierzu Annahmen zu typischen Beladungen für die verschiedenen Fahrzeugklassen zu treffen sind. Analog dem Vorschlag für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge empfiehlt sich eine getrennte Regulierung für Elektrifizierung und Effizienzsteigerung. Ein CO_2-Flottenzielwert für Lkw mit Verbrennungsmotor oder entsprechende Energieeffizienzvorgaben könnten im Fernverkehr die Effizienz um 20 % bis 2030 erhöhen (verglichen mit Neufahrzeugen des Jahres 2015) [UBA, 2016c].

5.2 Förderung der Elektromobilität

Die direkte Nutzung von Strom hat große Effizienzvorteile und ist damit die bevorzugte Technologievariante. Insbesondere für elektrisch angetriebene Pkw und leichte Nutzfahrzeuge, die 2015 für über 70 % der direkten CO_2-Emissionen des Straßenverkehrs verantwortlich waren, gibt es bereits heute vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Bei Lkw sind die technischen Hürden höher, allerdings sollte auch hier eine Elektrifizierung intensiv angegangen werden.

5.2.1 Pkw und leichte Nutzfahrzeuge

Der Bestand an Elektrofahrzeugen ist derzeit noch gering. Für das Erreichen des Verkehrsziels des deutschen „Klimaschutzplans 2050“ ohne großtechnischen Einsatz von strombasierten Kraftstoffen ist in 2030 ein Bestand von mindestens 12 Millionen Elektrofahrzeugen notwendig. **Die derzeitigen Instrumente zur Förderung der Elektromobilität wirken bisher nicht mit der nötigen Intensität. Um den Markthochlauf deutlich zu beschleunigen, könnte eine Quote als zusätzliches Instrument das Tempo forcieren.**

Grundidee ist ein festgeschriebener Mindestanteil an den jährlich neu zugelassenen Fahrzeugen ohne direkte CO_2-Emissionen und extern aufladbaren Hybriden (Plug-in-Hybride und E-Fahrzeuge mit

Range-Extender), die für jeden Hersteller gilt. Um 12 Millionen Elektrofahrzeuge zu erreichen, sind beispielsweise die in Tabelle 3 dargestellten Mindestanteile an den Neuzulassungen notwendig.

Tabelle 3: Neuzulassungsquoten für Elektrofahrzeuge zum Erreichen eines Bestandes von 12 Millionen Elektrofahrzeugen in 2030

	2020	2025	2030
Mindestanteile Elektrofahrzeuge	3 %	30 %	70 %

Quelle: eigene Berechnung

Verfehlt ein Hersteller diese Elektro-Quote, muss er Strafzahlungen leisten. Um die Quote flexibler zu gestalten, könnte ein System mit handelbaren Zertifikaten eingeführt werden, das einen Ausgleich zwischen den Herstellern möglich macht. Ein solches System wird in Kalifornien eingesetzt. Zudem könnten analog den EU-Flottenzielwerten Ausnahmeregelungen für kleine Hersteller gewährt werden.

Eine Elektro-Quote hätte mehrere Vorteile: Bei empfindlichen Strafzahlungen könnte ein Millionenbestand an E-Fahrzeugen mit großer Wahrscheinlichkeit innerhalb absehbarer Zeit erreicht werden. Allerdings ist sicherzustellen, dass die emissionsarmen Fahrzeuge tatsächlich in den deutschen Bestand gehen und nicht z.B. unter einer Händlerzulassung ins Ausland verkauft werden. Das ließe sich – soweit rechtlich zulässig – z.B. über eine Mindestzulassungsdauer für neu gekaufte Elektrofahrzeuge realisieren. Die Quote ist prinzipiell aufkommensneutral für die öffentliche Hand. Sie kann auch mit der bereits existierenden Kaufprämie für Elektroautos kombiniert werden, um Hersteller und Käufer von einem Teil der durch die Quote verursachten Mehrkosten zu entlasten.

Bei der Ausgestaltung ist sicherzustellen, dass trotz Elektro-Quote die Effizienzanforderungen für Verbrennungsfahrzeuge nicht entschärft werden.

5.2.2 Schwere Nutzfahrzeuge

Eine Elektrifizierung des stark wachsenden Straßengüterfernverkehrs ist nicht einfach. Batterien für große Lkw wären zu groß und zu teuer, daher wäre die Elektrifizierung nur mittels Oberleitungs-Hybrid-Lkw oder anderen leitungsgebundenen Systemen möglich. Oberleitungs-Hybrid-Lkw sind wirtschaftlich und effizient, benötigen jedoch mindestens eine national und idealerweise international ausgebaute Oberleitungsinfrastruktur [UBA, 2015b]. Als weitere Elektro-Optionen im Straßengüterverkehr – mit Nachteilen bei der Wirtschaftlichkeit und der Effizienz – gelten Brennstoffzellenantriebe und die Nutzung von strombasierten Kraftstoffen im Verbrennungsmotor. Sowohl für eine Elektrifizierung mit Oberleitung als auch mit strombasierten Kraftstoffen sind die Weichen zeitnah zu stellen, da ohne einen Beitrag des Fernverkehrs zur Emissionsminderung die in den Szenarien angenommenen Minderungsziele nicht erreicht werden können.

Bei kleineren Nutzfahrzeugen (bis 12 t zulässiges Gesamtgewicht) sind prinzipiell die gleichen Techniken wie bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen einsetzbar. Auch für Linienbusse ist eine Elektrifizierung mit heutiger Technik möglich und empfehlenswert. In diesen Verkehrsnischen könnte analog zum Pkw über eine Zulassungsquote – eventuell gekoppelt mit einer Kaufprämie – das Klimaschutzpotenzial zielsicher erschlossen werden.

5.3 Ausbau einer nachhaltigen Verkehrsinfrastruktur

Die Infrastruktur entscheidet wesentlich über die Attraktivität von Verkehrsträgern und beeinflusst damit die Verkehrsmittelwahl. Mit einem Umbau der Verkehrsinfrastruktur können die Voraussetzungen für die Verlagerung von der Straße hin zu treibhausgasärmeren Optionen geschaffen werden.

Zwischen Planung und Inbetriebnahme von Infrastruktur liegt in der Regel eine recht große Zeitspanne. Einmal gebaute Strecken und Straßen haben lange Wirkungen auf die Nutzung und Angebote. Neubau und Ausbau von Verkehrsinfrastruktur sind kostenintensiv und binden Finanzmittel, die dann nicht mehr für Klimaschutzmaßnahmen ausgegeben werden können. Infrastrukturausbau kann zudem auch mehr Fahrten und Transporte induzieren. Damit sind die Möglichkeiten einer kurzfristigen Reaktion auf steigende Klimaschutzanforderungen durch Infrastrukturneubau, -ausbau und -umbau begrenzt und entsprechend sind die Weichen in Richtung eines treibhausgasneutralen Verkehrssystems früh zu stellen.

Das wesentliche Instrument des Bundes ist der Bundesverkehrswegeplan (BVWP), der Grundlage für die Investitionen des Bundes für Neu- und Ausbau, aber auch Erhalt und Erneuerung für jeweils zehn bis fünfzehn Jahre ist. Der aktuelle BVWP hat ein Gesamtvolumen von rund 270 Mrd. Euro bis 2030 (Aufteilung siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Investitionsanteile des BVWP 2030, differenziert nach Verkehrsträger und Verwendungsart

	Straße	Schiene	Wasser
Investitionen des BVWP2030			
Anteil gesamt (absolut, in Mrd. €)	132,8	112,3	24,5
Anteil gesamt (relativ)	*49,3 %*	*41,6 %*	*9,1 %*
- davon Anteil Neu- und Ausbau (absolut, in Mrd. €)	53,7	41,3	6,2
- davon Anteil Neu- und Ausbau (relativ)	*40,4 %*	*36,8 %*	*25 %*

Quelle: [BMVI, 2016a]

Die Umweltprüfung des BVWP 2030 [BMVI, 2016b] ergibt eine Emissionsminderung von 0,5 Mio. t Treibhausgase pro Jahr. Das Alternativszenario „Stärkung der Schiene und Wasserstraße“ sah mit 70 % einen deutlich höheren Investitionsanteils für den Ausbau von Schienen und Wasserstraßen und einen deutlich verringerten Anteil für Bundesfernstraßen vor (statt 59 % nur noch 30 %). Wäre der BVWP2030 mit dieser Investitionsmittelverteilung beschlossen worden, läge die Treibhausgaseinsparung bei rund 1 Mio. t und damit etwa doppelt so hoch. Der Vergleich mit den Analysen der Studie KSBV [UBA, 2016a] zeigt: **Die aus dem BVWP 2030 resultierende Treibhausgasminderung genügt nicht den Ansprüchen einer nachhaltigen Verkehrsinfrastrukturentwicklung.**

Damit das Verkehrssystem mit den politischen Klimazielen kompatibel wird, müssen flankierende ökonomische, ordnungsrechtliche und organisatorische Maßnahmen in die Bundesverkehrswegeplanung einbezogen werden, die in die Verkehrsentwicklung steuernd eingreifen. **Ein integrierter Bundesmobilitätsplan ist dringender denn je.** Ein solcher Bundesmobilitätsplan müsste alle Verkehrsträger (Straße, Schiene, Wasserstraße, Luftverkehr) erfassen und die verschiedenen Infrastrukturplanungen wie Bundesverkehrswegeplan, Luftverkehrskonzept, Hafenkonzept oder Logistikkonzept zusammenführen [UBA, 2014b]. Er sollte langfristige Ziele für den Infrastrukturausbau enthalten und dabei im Einklang mit den Klimaschutzzielen des Pariser Übereinkommens stehen. Bürgerinnen und Bürger müssen an den Planungen angemessen beteiligt werden. Bei der Erstellung eines Bundesmobilitätsplans müsste eine Strategische Umweltprüfung obligatorisch sein.

Bis zu einer grundsätzlichen Neuausrichtung sollte die Infrastrukturplanung sich an folgenden Leitlinien orientieren:

- Die vorhandenen Verkehrswege werden erhalten und modernisiert,
- die Schienennetzkapazitäten werden vorrangig ausgebaut und

- auf Kapazitätserweiterungen im Bundesfernstraßennetz wird weitgehend verzichtet.

Für den Ausbau des Schienennetzes werden im Personenverkehr die Projekte des „Deutschland-Takts“ als zentral gesehen. In diesem müssen auch die Belange des Schienengüterverkehrs entsprechend Berücksichtigung finden. Für den Güterverkehr sind Maßnahmen wichtig, die zu einer deutlichen Kapazitätserweiterung der Schiene führen, z.B. der Netzausbau für 740-Meter-Züge. Zusätzlich sind die Umschlagskapazität des kombinierten Verkehrs Straße-Schiene zu erhöhen und regionale Umschlagszentren fördern [UBA, 2016e].

5.4 Abbau umweltschädlicher Subventionen

Umweltschädliche Subventionen sind Begünstigungen und Hilfen der öffentlichen Hand an Unternehmen und Haushalte, für die nur eine geringe Gegenleistung erfolgt und die eine umweltschädigende Verhaltensweise fördern [UBA, 2017]. Mit 28,6 Mrd. € im Jahr 2016 ging rund die Hälfte der umweltschädlichen Subventionen in den Verkehrssektor. Die teuersten Subventionen sind dabei:

- für den nationalen Verkehr die Energiesteuervergünstigung für Dieselkraftstoff und die Entfernungspauschale,
- für den internationalen Verkehr die Energiesteuerbefreiung für Kerosin und die Mehrwertsteuerbefreiung für internationale Flüge.

Umweltschädliche Subventionen sind kontraproduktiv und müssen abgebaut werden. Für den nationalen Verkehr ist dies weitestgehend sofort möglich. Das kann auf sozialverträgliche Weise geschehen und schafft dringend benötigte, finanzielle Spielräume zur Förderung der Energie- und Verkehrswende. Damit der Abbau und die Reform umweltschädlicher Subventionen systematisch erfolgt, ist der Aufbau eines umweltbezogenen Subventionscontrollings erforderlich.

Nachfolgend werden zwei zentralen Subventionstatbestände für den Inlandsverkehr näher beleuchtet: die **Steuererleichterung für Dieselkraftstoff** und die **Entfernungspauschale**.

Dieselkraftstoff ist derzeit deutlich niedriger besteuert als Benzin, obwohl es je Liter einen höheren Energieinhalt hat und höhere CO_2-Emissionen verursacht. Die Steuervergünstigung war ursprünglich als Erleichterung für den im internationalen Wettbewerb stehenden Straßengüterverkehr gedacht. Den Staat kostet diese Subventionierung mittlerweile rund acht Milliarden Euro pro Jahr, gut dreieinhalb Milliarden davon für die Pkw-Nutzung [Deutscher Bundestag, 2017]. Unter Abzug der höheren Kfz-Steuern für Diesel-Pkw sind das rund eineinhalb Milliarden Euro Subventionen für Diesel-Pkw pro Jahr. Aus Sicht des Klimaschutzes ist weniger der hohe Anteil an Dieselfahrzeugen problematisch, sondern vielmehr, dass die Kfz-Steuer unabhängig vom tatsächlichen Verbrauch und der Fahrleistung ist. Damit entlastet sie in Verbindung mit günstigerem Kraftstoff tendenziell Fahrerinnen und Fahrer, die wegen hoher Verkehrsleistung oder verbrauchsintensiven Fahrzeugen hohe Treibhausgasemissionen verursachen.

Eine einheitliche Besteuerung der Kraftstoffe in Abhängigkeit des Energieinhalts oder den resultierenden CO_2-Emissionen wäre der deutlich bessere Weg (siehe Tabelle 5). Um Dieselfahrzeuge nicht zu benachteiligen, müsste bei Einführung einer Energiesteuer nach den spezifischen CO_2-Emissionen die Kfz-Steuer reformiert oder abgeschafft werden. Die Fokussierung auf eine CO_2-Steuer wäre auf jeden Fall ein positiver, zielgerichteter Anreiz für klimafreundlicheres Verhalten der Autofahrer.

Tabelle 5: Steuersätze auf Benzin und Diesel, bezogen auf Volumen, Energieinhalt und CO_2-Emissionen sowie entgangene Einnahmen durch die Energiesteuervergünstigung für Dieselkraftstoffe

	Volumen	Energieinhalt	CO_2-Emissionen
Benzin	65,45 €-Cent/l	2,03 €-Cent/MJ	277,4 €/t
Diesel	47,04 €-Cent/l	1,32 €-Cent/MJ	178,3 €/t
Diesel relativ zu Benzin (Benzin =100)	*72*	*65*	*64*
Differenz zu Fall „Dieselbesteuerung wie heute Benzin“, 2015	8 Mrd. €	11 Mrd. €	11 Mrd. €

Quelle: [Deutscher Bundestag, 2017], eigene Berechnung

Auch die **Entfernungspauschale** begünstigt Vielfahrer. Sie senkt das zu versteuernde Einkommen um 30 Cent je Kilometer Entfernung zwischen Wohn- und Arbeitsort (pro Arbeitstag) und steigert damit die Verkehrsleistung von Pendlern und fördert die Zersiedlung der Landschaft. Die Subventionen in Höhe von 5,1 Mrd. € [UBA, 2017] führen dabei bis 2030 zu Mehremissionen von jährlich etwa 2,6 Mio. t CO_2 [UBA, 2008]. Die Entfernungspauschale ist zudem auch aus sozialer Sicht wenig effizient. Denn von der Entlastung profitieren insbesondere gut verdienende Haushalte [UBA, 2014c]. **Daher sollte die Entfernungspauschale abgeschafft werden.** Über eine Härtefallregelung könnten Arbeitnehmer, die relativ zu ihrem Einkommen sehr hohe Fahrtkosten haben, Fahrtkosten zur Arbeit künftig als außergewöhnliche Belastungen bei der Einkommensteuer geltend machen.

Ein **Subventionsabbau im internationalen Verkehr** ist weitaus schwieriger und gelingt nur in Abstimmung mit anderen Ländern. Deutschland sollte daher im Rahmen internationaler Gremien, wie der International Civil Aviation Organisation (ICAO) für den Flugverkehr oder der International Maritime Organisation (IMO) für den Seeverkehr auf einen Abbau der Subventionen hinwirken (siehe Kasten „Handlungsmöglichkeiten im internationalen Verkehr).

Handlungsmöglichkeiten im internationalen Verkehr

Die Klimawirkung des **Luftverkehrs wird nicht nur von den in den eingesetzten Treibstoffen enthaltenen Kohlenstoff bestimmt, sondern auch von bei der Verbrennung entstehenden Stickoxiden und Wasserdampf.** Diese entfalten bei Emission auf Reiseflughöhe eine den Treibhausgaseffekt verstärkende Wirkung, z.B. durch die Verursachung zusätzlicher Wolkenbildung. Aus heutiger Sicht ist daher kein vollständig treibhausgasneutraler Luftverkehr möglich und das Ziel von Netto-Null-Emissionen in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts ist für diesen Teil des Verkehrssektors eine große Herausforderung. Durch optimierte Flugroutenwahl, strombasierte Treibstoffe sowie Verlagerung und Vermeidung von Flügen kann die Klimaschädlichkeit aber deutlich gemindert werden. Die Forderung einer Verkehrswende erhält vor diesem Hintergrund besonderes Gewicht.

Für den **internationalen Luftverkehr** sind die Ziele und Regelungen der International Civil Aviation Organisation (ICAO) zentral. In der Resolution A38-18 hat die ICAO das Ziel „CO_2-neutrales Wachstum von 2020 an“ beschlossen. Zudem wurde ein Maßnahmenkatalog aufgestellt: Er umfasst technische Effizienzverbesserungen, Betriebsverbesserungen, nachhaltige alternative Kraftstoffe und marktbasierte Maßnahmen wie das „Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)“ ab 2021. Soll der internationale Luftverkehr jedoch einen angemessenen Beitrag zum Erreichen der Ziele des Pariser Abkommens leisten, müssen die Ziele der ICAO verschärft werden. Deutschland sollte auf eine möglichst ambitionierte Verschärfung hinwirken.

Für den **Seeverkehr** ist die International Maritime Organisation (IMO) die zentrale internationale Institution zur Festlegung von Umweltzielen. Die IMO hat bislang allerdings keinen Zeitplan für Klimaziele oder Maßnahmen zur Erfüllung des Paris-Abkommens vorgelegt. Deutschland sollte sich auch im Seeverkehr dafür einsetzen, dass eine Verkehrs- und Energiewende Fahrt aufnimmt. Dabei kommen für die Energiewende für den wesentlichen Teil des Seeverkehrs – insbesondere große Containerschiffe – vor allem strombasierte Kraftstoffe in Frage [UBA, 2015b]. Deren Einsatz sollte z.B. über Quoten für strombasierte Kraftstoffe vorangetrieben werden.

5.5 Fahrleistungsabhängige Maut

Eine stärkere Nutzerfinanzierung erleichtert einerseits die Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur und trägt andererseits zum Klimaschutz bei. Werden Nutzer verursachergerecht zur Kasse gebeten, können langfristig sinkende Einnahmen aus der Besteuerung fossiler Kraftstoffe ausgeglichen werden. **Nicht zuletzt ist eine stärkere Nutzerfinanzierung ein wichtiger Impuls für eine emissionsärmere Fahrzeugflotte und klimafreundlicheres Nutzerverhalten.**

Eine fahrleistungsabhängige Maut würde diesen Anforderungen entsprechen. Derzeit gibt es in Deutschland eine Maut für Lkw mit mehr als 7,5 t zulässiges Gesamtgewicht auf Autobahnen sowie autobahnähnlichen Bundesstraßen. Eine Ausweitung der Straßennutzungsgebühr auf Pkw, Nutzfahrzeuge unter 7,5 t zulässigem Gesamtgewicht, Fern- und Reisebusse und alle Straßen wäre ein wesentlicher Beitrag zur Emissionsminderung und wird u.a. in dem UBA-Positionspapier „Maut für Deutschland: Jeder Kilometer zählt“ [UBA, 2015c] diskutiert. Eine fahrleistungsabhängige Maut wäre zudem ein ideales Instrument, um auf die Weiterentwicklung von Klimaschutzzielen zu reagieren.

5.5.1 Pkw und leichte Nutzfahrzeuge

Um ausländische Nutzer stärker an der Straßenverkehrsfinanzierung zu beteiligen, hat das Bundesverkehrsministerium die Einführung einer zeitabhängigen Vignette beschlossen. Allerdings werden über die Vignette die tatsächlichen Kosten nur unzureichend den eigentlichen Verursachern angelastet. Das Potenzial für eine umweltpolitisch sinnvolle Einflussnahme wird also nicht ausgeschöpft.

Für eine stärkere THG-Minderung muss die Vignette zu einer fahrleistungsabhängigen Maut weiterentwickelt werden. Neben einer verursachergerechten Finanzierung des Straßennetzes wäre eine solche Maut auch gerechter: Wer viel fährt und die Straßen häufig nutzt, zahlt mehr als Wenigfahrer. Eine Differenzierung nach CO_2-Emissionen oder Energieverbrauch würde den Wechsel auf energieeffizientere Fahrzeuge oder Fahrzeuge mit alternativen Antrieben beschleunigen.

Für eine fahrleistungsabhängige Pkw-Maut werden derzeit verschiedene Varianten diskutiert. Offene Fragen betreffen dabei Erhebungsparameter, Erhebungskosten und Kompatibilität mit den Anforderungen des Datenschutzes. Würden sowohl Wege- als auch Umweltkosten voll angerechnet, würden im Jahr 2017 Mautsätze zwischen 6,5 Cent/km (Autobahn, Benziner) und 10,8 Cent/km (übrige Bundesstraße, Diesel) anfallen [UBA, 2015c].

Die Einführung einer fahrleistungsabhängigen Pkw-Maut müsste umgehend politisch beschlossen und so schnell wie möglich eingeführt werden. Sie würde der Politik ein Instrument an die Hand geben, mit dem sie flexibel und schnell auf verschärfte Klimaschutzanforderungen an den Verkehr reagieren könnte.

5.5.2 Schwere Nutzfahrzeuge und Busse

Derzeit gilt die Lkw-Maut in Deutschland für alle Lkw mit mehr als 7,5 t zulässiges Gesamtgewicht auf 12.900 km Autobahnen sowie auf ca. 2.500 km stark frequentierten Bundesstraßen. Die Bundesregierung hat beschlossen, die Maut ab 2018 auf alle Bundesstraßen auszuweiten. Für 2016 werden

Mauteinnahmen von 4,63 Mrd. € erwartet, die Erhebungskosten belaufen sich auf etwa 1,09 Mrd. €[9]. Die Mautsätze je Kilometer sind nach Achs- und Schadstoffklasse differenziert.

Für einen stärkeren Beitrag zur Treibhausgasminderung ist die Maut für schwere Nutzfahrzeuge umzugestalten. Mögliche Ansätze sind dabei:

- Die Ausweitung der Maut auf Fern- und Reisebusse und auf schwere Nutzfahrzeuge ab 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht
- Die Änderung der EU-Wegekostenrichtlinie mit dem Ziel, dass auch THG-Kosten in die Mautsätze einbezogen werden können.
- Eine Staffelung der Mautsätze nach Effizienzkriterien, um Anreize zur Effizienzsteigerung der Fahrzeuge zu setzen [BMUB, 2014].

Derzeit fließt ein Teil der staatlichen Einnahmen aus der Lkw-Maut an deutsche Fuhrunternehmen zurück. Diese Gelder, die z. B. als Zuschuss beim Kauf neuer emissionsarmer Lkw gewährt werden, sind neben der schadstoffabhängigen Mautspreizung ein Treiber für eine dynamische Flottenverjüngung. Zukünftig sollte die Ausschüttung der Gelder insbesondere an besonders niedrige CO_2-Emissionen der Fahrzeuge gekoppelt werden.

5.6 Einordnung der Handlungsoptionen

Für eine umfassende Verkehrs- und Energiewende ist konsequentes Handeln erforderlich. Wesentliche Ansätze sind dabei das Herstellen von Kostenwahrheit im Verkehr und die Schaffung von umweltfreundlichen Mobilitätsangeboten – durch Effizienzsteigerungen, Elektrifizierung und die Förderung des Umweltverbundes. Dies ist nur durch ein deutliches Umsteuern gegenüber dem Status Quo zu erreichen: So wird derzeit zwar die Elektromobilität über die Kaufprämie mit einer Milliarde Euro bis 2020 gefördert, gleichzeitig erhalten Diesel-Pkw eineinhalb Milliarden Euro Energiesteuerermäßigung pro Jahr (siehe Kapitel 5.4).

Andere europäische Länder zeigen, dass ein deutlich umweltfreundlicheres Mobilitätssystem möglich ist: Norwegen bei den Elektro-Pkw, die Niederlande in Sachen Radverkehr oder die Schweiz bei der Bahnnutzung. Die Beispiele zeigen aber auch, dass hierfür konsequentes Handeln über einen langen Zeitraum erforderlich ist. Die diskutierten Maßnahmen – insbesondere die Elektroquote und die ambitionierte Verschärfung der Flottenzielwerte – sind dabei für die Erreichung des Verkehrsziels 2030 des Klimaschutzplans 2050 so schnell wie möglich umzusetzen (siehe Tabelle 6).

[9] http://www.vifg.de/de/kompetenzen/maut-finanzsteuerung/Mauteinnahmen-und-Mautverwendung.php (zuletzt abgerufen am 20.04.2017)

Tabelle 6: Zusammenfassung zentraler Handlungsoptionen und vorgeschlagene Umsetzungsintensitäten bis 2030

Maßnahme	Regulierungsparameter	Umsetzungsintensität bis 2030
CO_2-Flottenzielwert (Pkw)	Durchschnittliche CO_2-Emissionen neu zugelassener Pkw im Betrieb, Bezug nur auf konventionelle Fahrzeuge; Messung im WLTP mit Überprüfung im realen Fahrbetrieb	Realverbrauchsminderung 20 bis 30 % ggü. 2015
CO_2-Flottenzielwert – (Schwere Nutzfahrzeuge)	Durchschnittliche CO_2-Emissionen neu zugelassener SNF im Betrieb; Bezug auf die Verkehrsleistung	Realverbrauchsminderung 20 % ggü. 2015
Elektroquote Pkw	Mindestanteil von Fahrzeugen ohne direkte CO_2-Emissionen und extern aufladbaren Hybriden an den jährlichen Neuzulassungen	Für 12 Millionen Elektrofahrzeuge im Bestand in 2030: 2020: 3 % 2025: 30 % 2030: 70 %
Bundesmobilitätsplan	Ausrichtung der Verkehrsinfrastruktur an den Klimaschutzzielen; Ausbau Umweltverbund	Umsetzung Deutschland-Takt (unter Berücksichtigung der Belange des Schienengüterverkehrs), 740m Güterzüge, Verdoppelung KV-Kapazität
-Abbau umweltschädlicher Subventionen im Verkehr	Ausrichtung Dieselbesteuerung an CO_2-Emissionen, Abschaffung Entfernungspauschale	Nationale umweltschädliche Subventionen sind komplett abgebaut
Fahrleistungsabhängige Maut für Pkw, Lkw, Fern- und Reisebusse	Einführung einer Gebühr je Fahrzeug-km für alle Nutzenden. Umstellung des Verkehrssystem auf stärkere Nutzerfinanzierung inklusive Internalisierung externer Kosten	Berücksichtigung aller Nutzenden sowie aller Wegekosten und externen Kosten

Werden die derzeitigen NDCs der EU im Rahmen des im Pariser Abkommen festgelegten „Ambitionsmechanismus“ (siehe Kapitel 3.1) weiter verschärft, sind auch die vorgeschlagenen Instrumente anzupassen. Bei der Ausgestaltung der Instrumente ist daher eine potenzielle Verschärfung – über die hier vorgeschlagenen Umsetzungsintensitäten hinaus – mit zu berücksichtigen.

6 Quellenverzeichnis

BMUB (2014): Aktionsprogramm Klimaschutz 2020.
http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Aktionsprogramm_Klimaschutz/aktionsprogramm_klimaschutz_2020_broschuere_bf.pdf

BMVI (2014): Verkehr in Zahlen 2014/2015.

BMVI (2016a): Bundesverkehrswegeplan 2030.
http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/BVWP/bvwp-2030-gesamtplan.pdf

BMVI (2016b): Umweltbericht zum Bundeverkehrswegeplan.
https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/BVWP/bvwp-2030-umweltbericht-nicht-technische-zusammenfassung.pdf

Bundesregierung (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung.
https://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf

Bundesregierung (2016): Klimaschutzplan 2050.
http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf

BVU / Intraplan / IVV / Planco (2014): Verkehrsverflechtungsprognose 2030.
www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehrsverflechtungsprognose-2030-schlussbericht-los-3.pdf

Climate Analytics (2015): Feasibility of limiting warming to 1.5 and 2°C.
http://climateanalytics.org/files/feasibility_1o5c_2c.pdf

Climate Vulnerable Forum (2016): Marrakech Communique.
http://www.thecvf.org/marrakech-communique/

Deutscher Bundestag (2017): Antwort der Bundesregierung auf die kleine Anfrage der er Abgeordneten Lisa Paus, Oliver Krischer, Stephan Kühn (Dresden), weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN: Steuerliche Rahmengestaltung für Diesel-Pkw; Drucksache 18/10732, 19.1.2017.
http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/109/1810909.pdf

Donor States Meeting in Paris (2015): Joint Statement on Tracking Progress Towards the USD 100 billion Goal, 6 September 2015.
http://www.state.gov/documents/organization/246878.pdf

EU (2009): Verordnung 443/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO_2-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeuge. In: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften. Europäische Union.

EU (2014): Verordnung 333/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. März 2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 443/2009 hinsichtlich der Festlegung der Modalitäten für das Erreichen des Ziels für 2020 zur Verringerung der CO_2-Emissionen neuer Person. Vom 11. März 2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 443/2009 hinsichtlich der Festlegung der Modalitäten für das Erreichen des Ziels für 2020 zur Verringerung der CO_2-Emissionen neuer Personenkraftwagen.

ICCT (2016a): From laboratory to road – A 2016 update of official and “real-world” fuel consumption and CO2 values for passenger cars in Europe.
http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LaboratoryToRoad_2014_Report_English.pdf

ICCT (2016b): Reducing CO_2 emissions from road transport in the European Union : An evaluation of policy options.
http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EU-CO2-policies_201606.pdf

IPCC (2014a): Climate Change 2013 – The physical science basis. Working Group 1 Contribution to the 5th Assessment Report of the IPCC. http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/

IPCC (2014b): Fifth Assessment Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

JEC (2013): Tank-to-Wheels Report Version 4. Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/downloads.

Rogelj, J. / Luderer, G. / Pietzcker, R. C. / Kriegler, E. / Schaeffer, M. / Krey, V. / Riahi, K. (2015): Energy system transformations for limiting end-of-century warming to below 1.5 °C. In: Nature Climate Change. Vol. 5, No.6, pp. 519-527.

Savvidis, D. (2015): Heavy Duty Vehicles CO_2 legislation in Europe and VECTO simulation tool.

UBA (2008): Politikszenarien für den Klimaschutz IV – Szenarien bis 2030. In: Climate Change. Öko-Institut e.V. / IEF-STE / DIW Berlin / FhG-ISI, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/politikszenarien-fuer-den-klimaschutz-iv.

UBA (2013a): Konzept zur zukünftigen Beurteilung der Effizienz von Kraftfahrzeugen. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/konzept-zur-zukuenftigen-beurteilung-der-effizienz.

UBA (2013b): Globale Landflächen und Biomasse. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/globale-landflaechen-biomasse.

UBA (2014a): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgasneutrales-deutschland-im-jahr-2050-0.

UBA (2014b): Umweltverträglicher Verkehr 2050: Argumente für eine Mobilitätsstrategie für Deutschland. http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltvertraeglicher-verkehr-2050-argumente-fuer-0

UBA (2014c): Umweltschädliche Subventionen in Deutschland 2014. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltschaedliche-subventionen-in-deutschland-2014.

UBA (2014d): Scenarios on the feasibility of emissions reductions consistent with 2°C stabilization. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/scenarios-on-the-feasibility-of-emissions.

UBA (2015a): Zukünftige Maßnahmen zur Kraftstoffeinsparung und Treibhausgasminderung bei schweren Nutzfahrzeugen.

https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/zukuenftige-massnahmen-zur-kraftstoffeinsparung.

UBA (2015b): Postfossile Energieversorgungsoptionen für einen treibhausgasneutralen Verkehr im Jahr 2050: Eine verkehrsträgerübergreifende Bewertung. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/postfossile-energieversorgungsoptionen-fuer-einen.

UBA (2015c): Maut für Deutschland : Jeder Kilometer zählt. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/maut-fuer-deutschland-jeder-kilometer-zaehlt.

UBA (2016a): Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_56_2016_klimaschutzbeitrag_des_verkehrs_2050_getagged.pdf

UBA (2016b): Integration von Power to Gas/Power to Liquid in den laufenden Transformationsprozess. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/integration_von_power_to_gaspower_to_liquid_in_den_laufenden_transformationsprozess_web.pdf.

UBA (2016c): Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung – Diskussionsbeitrag des Umweltbundesamtes. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/klimaschutzplan_2050_der_bundesregierung_0.pdf.

UBA (2016d): Stellungnahme des Umweltbundesamtes zum Entwurf des BVWP 2030 mit Umweltbericht. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/dokumente/stellungnahme_des_umweltbundesamtes_zum_entwurf_des_bundesverkehrswegeplans_2030_mit_umweltbericht.pdf

UBA (2016e): Finanzierung einer nachhaltigen Güterverkehrsinfrastruktur. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_53_2016_finanzierung_einer_nachhaltigen_gueterverkehrsinfrastruktur_aktualisiert.pdf

UBA (2017): Umweltschädliche Subventionen in Deutschland. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uba_fachbroschuere_umweltschaedliche-subventionen_bf.pdf

UNFCCC (2015a): COP 21 Paris Agreement. https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf

UNFCCC (2015b): Übereinkommen von Paris (deutsche Übersetzung).
https://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/2016/09/2016-09-22-uebereinkommen-von-paris.pdf

UNFCCC (2016): Aggregate effect of the intended nationally determined contributions: an update.
http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/07.pdf

WBGU (2009): Kassensturz für den Weltklimavertrag: Der Budgetansatz. http://www.wbgu.de/wbgu_sn2009.pdf

WBGU (2014): Klimaschutz als Weltbürgerbewegung.
http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/sondergutachten/sn2014/wbgu_sg2014.pdf