

TEXTE

224/2020

CO₂-Fußabdrücke im Alltagsverkehr

Datenauswertung auf Basis der Studie Mobilität in
Deutschland

TEXTE 224/2020

Projektnummer 138 623

FB000453

CO₂-Fußabdrücke im Alltagsverkehr

Datenauswertung auf Basis der Studie Mobilität in Deutschland

von

Marc Schelewsky, Robert Follmer, Christian Dickmann
infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH, Berlin, Bonn

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

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

 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH
Friedrich-Wilhelm-Straße 18
53113 Bonn

Abschlussdatum:

Dezember 2020

Redaktion:

Fachgebiet I 2.1 Umwelt und Verkehr
Timmo Janitzek

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Dezember 2020

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: CO₂-Fußabdrücke im Alltagsverkehr

Die dieser Studie zugrundeliegende Sekundärauswertung erfolgt auf Basis der Ergebnisse aus „Mobilität in Deutschland“ und zielt darauf ab, im alltäglichen Personenverkehr Faktoren und Zusammenhänge aufzuzeigen, die besonders stark zu den CO₂-Emissionen beitragen, um Ansatzpunkte zu identifizieren, politische Maßnahmen zielgerichteter und dabei den Mitteleinsatz effizienter zu gestalten. Dazu werden zum einen das Emissionsberechnungsmodell TREMOD (Transport Emission Model) in der Version 6.03 (01/2020) verwendet und zum anderen die Datensätze der Verkehrserhebung „Mobilität in Deutschland“ (MiD) der Erhebungsjahre 2002, 2008 und 2017. In dieser Studie werden ausschließlich CO₂-Emissionen betrachtet.

Unter Berücksichtigung dieser Festlegungen und Definitionen wurde auf Grundlage von TREMOD 6.03 eine Liste spezifischer Emissionswerte inklusive Vorkette nach Fahrzeugtyp und Verkehrsmittel in Gramm pro Personenkilometer bzw. pro Kilometer bereitgestellt. Jedem berichteten Weg innerhalb der MiD wird anhand dieser Liste ein CO₂-Wert zugeordnet, der sich aus den verkehrsmittelspezifischen Emissionswerten multipliziert mit der Länge des Weges ergibt. Hierzu werden die Angaben für die Bezugsjahre 2002, 2008 und 2017 ausschließlich nach TREMOD 6.03 verwendet. Auf dieser Grundlage lassen sich anhand des Verkehrsaufkommens genaue Emissionsberechnungen durchführen, da in den CO₂-Emissionswerten pro Weg die zugehörigen Distanzen und durchschnittliche Auslastungen als Information enthalten sind.

Mit den beschriebenen Verfahren lassen sich nun differenzierte Analysen der Emissionsmengen durchführen, um die Emissionsquellen und -ursachen zu benennen. Dabei werden drei analytische Perspektiven unterschieden: Längsschnittanalyse zum Vergleich der Erhebungsjahre und damit der zeitlichen Entwicklung, eine Betrachtung der Wegeebene und nach Personen im Querschnitt.

Abstract: CO₂ footprints in everyday traffic

The secondary evaluation on which this study is based is based on the results of "Mobility in Germany" and aims to identify factors and interrelationships in everyday passenger transport that contribute particularly strongly to CO₂ emissions in order to identify starting points, make political measures more targeted and at the same time make the use of resources more efficient. For this purpose, the emission calculation model TREMOD (Transport Emission Model), version 6.03 (01/2020), is used on the one hand, and the data sets of the traffic survey "Mobility in Germany" of the survey years 2002, 2008 and 2017 on the other hand. Only CO₂ emissions are considered in this study.

Taking into account these specifications and definitions, TREMOD 6.03 was used to provide a list of specific emission values including upstream chain by vehicle type and means of transport in grams per passenger kilometer or per kilometer. Each reported route within the MiD is assigned a CO₂ value based on this list, which is calculated by multiplying the transport-specific emission values by the length of the route. For this purpose, the data for the reference years 2002, 2008 and 2017 are used exclusively according to TREMOD 6.03. On this basis, precise emission calculations can be made on the basis of the traffic volume, since the CO₂ emission values for each route include the corresponding distances and average load factors as information.

With the described methods, differentiated analyses of the emission levels can now be carried out to identify the emission sources and causes. A distinction is made between three analytical perspectives: longitudinal analysis to compare the years of the survey and thus the development over time, a consideration of the route level and a cross-sectional analysis by person.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	9
Abkürzungsverzeichnis.....	10
Zusammenfassung.....	11
Summary.....	18
1 Kurzdarstellung des Projekts.....	24
1.1 Politische Zielstellungen zur Reduktion der CO ₂ -Emissionen im Verkehr.....	24
1.2 Zielstellung und Vorgehen der Studie.....	25
2 Kurzer Überblick zur Diskussion emissionsreduzierender Maßnahmen.....	27
2.1 Politischer Hintergrund.....	27
2.2 Klimapolitische Maßnahmen.....	28
3 Methodisches Vorgehen.....	31
3.1 Die verwendeten Modelle und Datensätze.....	35
3.1.1 TREMOD – Transport Emission Model.....	35
3.1.2 MiD – Mobilität in Deutschland.....	35
3.2 Festlegungen.....	36
3.2.1 Auf- und Abschlüge.....	36
3.2.2 Flottenmittelwerte.....	37
3.2.3 Inlandsverkehr.....	38
3.3 Methodisches Vorgehen.....	38
3.4 Externe Validierung.....	39
4 Ergebnisse Längsschnittanalyse entlang der MiD 2002, 2008 und 2017.....	41
4.1 Gesamtmenge der CO ₂ -Emissionen.....	41
4.2 Emissionen nach Verkehrsmitteln.....	42
4.2.1 Der motorisierte Individualverkehr (MIV).....	42
4.2.2 Fahrrad, ÖV und Flugverkehr.....	43
4.2.3 Lkw-Verkehr.....	44
4.3 Emissionen nach Wegelängen.....	45
5 Ergebnisse der Querschnittanalyse entlang der Wegeebe.....	46
5.1 Alltägliche Wegezwecke.....	46
5.1.1 Berufsbedingter und Ausbildungsverkehr.....	46
5.1.2 Einkaufs- und Erledigungswege.....	48
5.1.3 Freizeitverkehr.....	50

5.1.4	Begleitung – Bringen und Holen von Personen	50
5.2	Ausgewählte Wegezwecke nach Entfernungsklassen	51
5.2.1	Arbeitswege	51
5.2.2	Einkauf	52
5.2.3	Freizeitwege.....	53
5.2.4	Bewertung.....	54
6	Ergebnisse der Querschnittanalyse entlang der Personenebene	56
6.1	Regionalstatistische Raumtypologie (RegioStaR) und Bundesländer	56
6.2	Ökonomischer Status der befragten Haushalte.....	59
6.3	Haushaltsgröße	61
6.4	Altersgruppen	62
6.5	Konsumgewohnheiten	65
6.6	Übliche Verkehrsmittelnutzung und Mobilitätstypen	68
6.7	Einstellungen zu Verkehrsmitteln	70
6.8	Zufriedenheit mit Verkehrsmittelangeboten.....	71
7	Auswirkungen des CO ₂ -Preises	73
8	Bewertung der Ergebnisse	75
9	Ausblick	79
10	Quellenverzeichnis	81
A	Anhang	85
A.1	Verkehrsmittelspezifische Emissionskennwerte.....	85

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Entwicklung der energiebedingten Treibhausgas-Emissionen nach Quellgruppen	24
Abbildung 2:	Beitrag zum Treibhauseffekt durch Kohlendioxid und langlebige Treibhausgase 2020.....	32
Abbildung 3:	Zusammengefasste Regionalstatistische Raumtypologie (RegioStaR 7)	34
Abbildung 4:	Verkehrsmittelspezifische Emissionen entlang der MiD-Erhebungsjahre.....	43
Abbildung 5:	Emissionsanteile nach Entfernungsklassen und Wegezwecken.....	55
Abbildung 6:	Emissionen pro Kopf und Tag nach RegioStaR7	57
Abbildung 7:	Emissionen in Millionen Tonnen CO ₂ nach Raumtypen differenziert nach den Verkehrsmitteln ÖV und MIV entlang der MiD-Erhebungsjahre 2002, 2008 und 2017	58
Abbildung 8:	Bevölkerungsdichte der Bundesländer und CO ₂ -Emissionen pro Kopf und Jahr in Tonnen zeigt einen negativen Zusammenhang	59
Abbildung 9:	CO ₂ -Fußabdrücke nach Haushaltsstatus.....	60
Abbildung 10:	Emissionen in Millionen Tonnen CO ₂ nach sozioökonomischem Haushaltsstatus differenziert nach den Verkehrsmitteln ÖV und MIV und den MiD-Erhebungsjahren 2002, 2008 und 2017.....	61
Abbildung 11:	CO ₂ -Emissionen nach Altersgruppen und den Erhebungsjahren 2002, 2008 und 2017.....	63
Abbildung 12:	Gesamtemissionen nach Altersgruppen	64
Abbildung 13:	Emissionen nach Altersgruppen und den Erhebungsjahren 2002, 2008 und 2017 ohne berufs- und ausbildungsbedingte Wege.....	65
Abbildung 14:	Emissionen pro Tag nach Konsumgütergruppen und Verkehrsmittelnutzung für die Einkaufswege inkl. Online-Einkäufe	67
Abbildung 15:	Emissionen nach Häufigkeit Online-Shopping.....	67
Abbildung 16:	Mobilitätstypen nach üblicher Verkehrsmittelnutzung	68
Abbildung 17:	CO ₂ -Emissionen gruppiert nach Mobilitätstypen	69
Abbildung 18:	Mittelwert der CO ₂ -Emissionen nach Einstellungen zur Verkehrsmittelnutzung.....	70
Abbildung 19:	Mittelwert der CO ₂ -Emissionen nach Zufriedenheit mit Verkehrsmittelangeboten vor Ort	72
Abbildung 20:	Abweichungen vom Medianwert (Referenzwert) nach Besuchen von ÖV-Einrichtungen für Deutschland nach Kalenderwochen.....	78
Abbildung 21:	Erforderliche Änderungen am Verkehrsaufkommen zur Erreichung der Emissionsziele	80

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Gegenüberstellung von Wege- und Emissionskennziffern entlang der Erhebungsjahre 2002, 2008 und 2017	41
Tabelle 2:	Emissionen nach Wegelänge in Gruppen entlang der MiD-Erhebungsjahre.....	45
Tabelle 3:	Gesamtemissionen nach Wegezweck entlang der MiD-Erhebungsjahre.....	46
Tabelle 4:	Steckbrief Arbeitswege.....	47
Tabelle 5:	Steckbrief dienstliche Wege	47
Tabelle 6:	Steckbrief Ausbildungswege.....	48
Tabelle 7:	Steckbrief Einkaufswege.....	49
Tabelle 8:	Steckbrief Erledigungswege	49
Tabelle 9:	Steckbrief Freizeitwege	50
Tabelle 10:	Steckbrief Begleitungswege	51
Tabelle 11:	Emissionsanteile nach Entfernungsklassen und Wegezwecken.....	52
Tabelle 12:	Anteil an Emissionen nach Entfernungsklassen für MIV (Fahrer und Mitfahrer) entlang der Wegezwecke Arbeit, Einkauf und Freizeit in 2017	53
Tabelle 13:	Anteil an Emissionen nach Entfernungsklassen für den ÖPV entlang der Wegezwecke Arbeit, Einkauf und Freizeit in 2017.....	54
Tabelle 14:	Emissionen pro Weg und Person nach RegioStaR7.....	56
Tabelle 15:	CO ₂ -Emissionen pro Tag und Person nach Haushaltsgröße.....	62
Tabelle 16:	Erwartete Preisanstiege für Kraftstoffe durch den CO ₂ -Preis.....	73
Tabelle 17:	Durchschnittliche Belastungen durch den CO ₂ -Preis nach ökonomischen Haushaltsstatus.....	74

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
Abk.	Abkürzung
bzw.	beziehungsweise
CO ₂ -Äq.	CO ₂ -Äquivalente
d. h.	das heißt
ebd.	ebenda
FV	Fernverkehr
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
ICCT	International Council on Clean Transportation
Kfz	Kraftfahrzeug
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
MiD	Mobilität in Deutschland
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
OEM	Original Equipment Manufacturer (Automobilhersteller)
ÖV	Öffentlicher Verkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
Pkm	Personenkilometer
Pkw	Personenkraftwagen
RegioStaR	Regionalstatistische Raumtypologie
RWI	Rechtswissenschaftliches Institut
sog.	sogenannt
SPFV	Schienenpersonenfernverkehr
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
THG	Treibhausgase
TREMOD	Transport Emission Model
u.a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel

Zusammenfassung

Hintergrund des Projekts

Die Entwicklungen der Emissionskennziffern seit 1990 machen deutlich, dass es zur Erreichung der von der Bundesregierung im Klimaschutzplan 2050 angegebenen Ziele, die THG-Emissionen im Verkehrssektor bis 2030 um 40 bis 42 Prozent gegenüber den Emissionen von 1990 zu reduzieren, weiterer Maßnahmen und großer Anstrengungen bedarf (BMU 2016). Dies betrifft insbesondere den Personenverkehr, auf den über zwei Drittel der sektoralen Emissionen entfallen. Die bislang getroffenen Maßnahmen, dargestellt im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020, haben zu keiner signifikanten Reduktion im Sektor Verkehr geführt.

Die dieser Studie zugrundeliegende Sekundärauswertung erfolgt auf Basis der Ergebnisse aus „Mobilität in Deutschland“ und zielt darauf ab, im alltäglichen Personenverkehr Faktoren und Zusammenhänge aufzuzeigen, die besonders stark zu den CO₂-Emissionen beitragen, um Ansatzpunkte zu identifizieren, politische Maßnahmen zielgerichteter und dabei den Mitteleinsatz effizienter zu gestalten. Dabei werden nicht die Werte der offiziellen Berichterstattung exakt nachgebildet, vielmehr interessieren die Emissionsaufkommen auf Personen und Wegebene, um genaue Hinweise der Emissionsquellen zu ermitteln. Die leitende Fragestellung lautet: Wo können auffällig hohe Emissionen im Verkehrssektor nachgewiesen werden? In den Berechnungen dieser Studie werden dabei ausschließlich CO₂-Emissionen betrachtet.

Um Ansatzpunkte zu identifizieren, an welchen Stellen im Alltagsverkehr große Potenziale zur Emissionsreduktion bestehen, bedarf es zunächst eines besseren Verständnisses darüber, welche Bevölkerungsgruppen wie stark zu den CO₂-Emissionen beitragen. Dabei können die Gruppen nach verschiedenen Merkmalen voneinander abgegrenzt werden, zum Beispiel entlang von soziodemografischen Merkmalen, nach ökonomischem Status oder auch nach verkehrsmittelbezogenen Einstellungen.

Methodisches Vorgehen

In dieser Studie werden zum einen das Emissionsberechnungsmodell TREMOD (Transport Emission Model) in der Version 6.03 (01/2020) verwendet und zum anderen die Datensätze der Verkehrserhebung „Mobilität in Deutschland“ der Erhebungsjahre 2002, 2008 und 2017.

TREMOD bildet den motorisierten Verkehr in Deutschland hinsichtlich Verkehrs- und Fahrleistungen, die zugehörigen Energieverbräuche und THG- und Schadstoffemissionen für den Zeitraum von 1960 bis 2018 ab und erstellt für die Folgejahre bis 2050 Szenarien, um die zukünftigen Entwicklungen der THG-Emissionen abschätzen zu können. TREMOD betrachtet dabei den Verkehr im Inland. Das schließt auch Verkehr von Ausländern mit ein, wenn er innerhalb der Landesgrenzen Deutschlands erbracht wurde. Flugreisen stellen eine Ausnahme dar, da neben dem Inlandsflugverkehr auch der abgehende Flugverkehr bis zur ersten Zwischenlandung im Ausland in die Bilanzen mit einfließt.

Die Studie „Mobilität in Deutschland“ beschreibt die Alltagsmobilität der Wohnbevölkerung in Deutschland. Dabei kommt ein zweistufiges Verfahren zur Anwendung, das Haushaltsbefragung und Stichtagerhebung kombiniert. In der letzten Erhebung von 2017 wurden dafür 156.420 Haushalte innerhalb eines Jahres zunächst zu ihrer Haushaltssituation und anschließend zu ihrem Mobilitätsverhalten an einem vorgegebenen Stichtag befragt. Dabei wurde für jeden Weg, der am Stichtag unternommen wurde, die Start- und Endzeit erfasst, der Zweck dieses Weges, die genutzten Verkehrsmittel, die Anzahl der Begleiter auf diesem Weg, die Entfernung und die räumliche Verortung von Start und Ziel.

Aufgrund der reduzierten Erfassung differenzierter Pkw-Merkmale in der MiD 2017 werden Pkw-Wege im Berechnungsmodell mit Auf- bzw. Abschlägen versehen, die sich am ökonomischen Haushaltsstatus des Fahrzeughalters orientieren, um auf die angenommene Größe des Pkws zu schließen. Für die Emissionsberechnungen sind Pkw-Größe und das Herstellerjahr zu berücksichtigen.

Für den öffentlichen Verkehr (ÖV) werden ebenfalls Auf- und Abschläge von zehn Prozent in den Berechnungen einbezogen, um den tageszeitlich bedingten Auslastungen der Verkehrsmittel gerecht zu werden. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass in den Hauptverkehrszeiten (Berufsverkehr) die Verkehrsmittel des ÖV vollausgelastet sind, hingegen in den Nebenverkehrszeiten eine geringere Auslastung besteht.

Aufgrund der fehlenden Fahrzeugmerkmale der MiD gegenüber TREMOD wurden für einige Verkehrsmittel Flottenmittelwerte errechnet, bei denen die Verkehrsleistung für die Gewichtung verwendet wurde. Das betrifft teilweise die Antriebsart für Pkw, Kleinkrafträder, Krafträder, Fernlinienbusse, Linienbusse und sonstige Reisebusse sowie die verschiedenen Lkw-Klassen. Auch beim Schienenverkehr kann der Differenzierungsgrad nach Antriebsarten in der MiD nicht abgebildet werden und es wurden nach Verkehrsleistung gewichtete Flottenmittelwerte gebildet und für die Emissionsberechnungen genutzt. Im Flugverkehr werden in der MiD nur Flüge innerhalb Deutschlands erfasst, in TREMOD sowohl Flüge innerhalb Deutschlands als auch die Flüge zum ersten Zwischenstopp im Ausland. Für die vorliegende Studie werden nur die Emissionswerte von TREMOD für Inlandsflüge berücksichtigt.

Unter Berücksichtigung dieser Festlegungen und Definitionen wurde auf Grundlage von TREMOD 6.03 eine Liste spezifischer Emissionswerte inklusive Vorkette nach Fahrzeugtyp und Verkehrsmittel in Gramm pro Personenkilometer bereitgestellt. Jedem berichteten Weg innerhalb der MiD wird anhand dieser Liste ein CO₂-Wert zugeordnet, der sich aus den verkehrsmittelspezifischen Emissionswerten multipliziert mit der Länge des Weges ergibt. Hierzu werden die Angaben für die Bezugsjahre 2002, 2008 und 2017 ausschließlich nach TREMOD 6.03 verwendet. Auf dieser Grundlage lassen sich anhand des Verkehrsaufkommens genaue Emissionsberechnungen durchführen, da in den CO₂-Emissionswerten pro Weg die zugehörigen Distanzen als Information enthalten sind.

Mit den beschriebenen Verfahren lassen sich nun differenzierte Analysen der Emissionsmenge durchführen, um die Emissionsquellen und -ursachen zu benennen. Dabei werden drei analytische Perspektiven unterschieden: Längsschnittanalyse zum Vergleich der Erhebungsjahre und damit der zeitlichen Entwicklung, eine Betrachtung der Wegebene und nach Personen im Querschnitt.

Ergebnisse der Längsschnittanalyse

Im deutschen Verkehrssektor wurden nach den zuvor beschriebenen Berechnungen auf Grundlage der MiD 2017 rund 146 Millionen Tonnen CO₂ emittiert. Die Abweichungen gegenüber der offiziellen Berichterstattung atmosphärischer Emissionen (UBA 2020a), die für das Jahr 2017 eine Menge von 164 Millionen Tonnen CO₂ angibt, ergeben sich aus den unterschiedlichen methodischen Ansätzen, die in Kap. 3 ausführlich dargelegt werden. Gegenüber 2002 haben die CO₂-Emissionen um sieben Millionen Tonnen zugenommen, seit 2008 um fünf Millionen Tonnen. Seit 2002 sind die Emissionsmengen damit um fünf Prozent gestiegen. Die Verkehrsleistung ist zwischen 2002 und 2017 ebenfalls gestiegen, um 18 Prozent auf 3,2 Milliarden Personenkilometer. Die gemittelten CO₂-Emissionen pro Kilometer haben sich dabei nur unmerklich verringert: 2008 und 2017 lagen sie bei 0,12 Kilogramm, 2002 waren es 0,14 Kilogramm. Die Emissionen pro Person und Tag lagen 2017 bei 4,79 Kilogramm CO₂. Sie haben sich gegenüber 2002 und 2008 geringfügig, aber stetig erhöht. Ebenso wird aktuell pro Weg mit

1,55 Kilogramm CO₂ mehr emittiert als in den Vorjahren, wobei dieser Wert 2008 mit 1,39 Kilogramm CO₂ am niedrigsten war (vgl. Tabelle 1).

Ergebnisse nach Verkehrsmittelnutzung

Nach der MiD 2017 hat sich die Verkehrsleistung des MIV gegenüber 2002 um mehr als 250 Millionen Personenkilometer auf insgesamt 1.754 Millionen Personenkilometern pro Tag erhöht (vgl. MiD 2019c). Das ist ein Anstieg um 17 Prozent. Dabei haben sich aber die spezifischen Emissionswerte durch den Einsatz effizienterer Technologien verringert.

Für das Fahrrad liegen die CO₂-Emissionen annähernd bei null. Maßnahmen zur Förderung einer Verkehrsverlagerung auf das Fahrrad (und den Fußverkehr) verfügen damit über große Einsparpotenziale, da keine direkten emissionssteigernden Rebound-Effekte zu erwarten sind.

Für den öffentlichen Nah- und Fernverkehr lassen sich nur geringe Schwankungen zwischen den Vergleichsjahren feststellen, dabei ist die Verkehrsleistung des gesamten ÖPNV gegenüber 2002 um 35 Prozent gestiegen. Neben effizienteren Antriebstechnologien und der Schließung sogenannter „Diesellücken“, haben auch höhere Auslastungen im Regional- und Fernverkehr dazu beigetragen, die Emissionsmengen trotz des Anstiegs der Verkehrsleistung konstant zu halten.

Deutliche Emissionssteigerungen ergeben sich nach den Berechnungen auf Grundlage der MiD für den Flugverkehr, der gegenüber 2002 mit fünf Millionen Tonnen inzwischen die fünffache Menge an CO₂ emittiert. Dabei ist zu beachten, dass nur Inlandsflüge in den vorliegenden Berechnungen berücksichtigt wurden.

Auch die Emissionsmengen im Lkw-Verkehr haben über die Vergleichsjahre hinweg zugenommen und liegen mit 12 Millionen Tonnen CO₂ über denen des ÖPNV und ÖPFV. Anders als im MIV wurden erst im Juni 2019 verbindliche CO₂-Flottengrenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge wie Lkw und Busse vom Europäischen Parlament beschlossen (vgl. EU 2019b). Für den hier zu betrachtenden Zeitraum gab es keine Flottengrenzwerte und damit auch von politischer Seite keine Anreize zur Einführung effizienz erhöhender Technologien. Der Kraftstoffverbrauch von schweren Nutzfahrzeugen hat sich deshalb in den letzten 20 Jahren kaum verringert (vgl. ICCT 2017) und auch kraftstoffsparende Technologien werden nur in geringem Umfang eingesetzt (T&E 2017).

Ergebnisse nach Wegeparametern

Die Zunahme der Gesamtemissionen in 2017 gegenüber den Referenzjahren 2002 und 2008 ist vor allem auf eine Zunahme der Emissionen auf längeren Wegen ab 50 Kilometern zurückzuführen. Bei kürzeren Wegen bis 20 Kilometer kann ein leichter Rückgang der Emissionen beobachtet werden. Ein Modalsplit-Vergleich zwischen MiD 2002 und MiD 2017 entlang von Entfernungsklassen zeigt, dass sich bei allen Wegen bis zu 20 Kilometern der Wegeanteil von Fahrrad und Fußverkehr erhöht hat. Bei Wegen zwischen einem und zwei Kilometern steigt deren Anteil von 40 Prozent auf 48 Prozent, bei Wegen von zwei bis fünf Kilometern Länge von 22 Prozent auf 29 Prozent (vgl. MiD 2019c).

Bei Entfernungen zwischen 20 und 50 Kilometern lässt sich dagegen ein höherer Anteil an Wegen von MIV-Fahrern bei gleichzeitigem Rückgang der Wege von MIV-Mitfahrern beobachten. Dadurch verringert sich der Pkw-Besetzungsgrad und die Emissionen pro Person steigen an. Auch der ÖPNV-Anteil ist in den oberen Entfernungsklassen gestiegen, allerdings nicht in dem Umfang, um die Emissionssteigerungen durch Wege von MIV-Fahrern zu kompensieren. Über alle Verkehrsmittel hinweg steigen die CO₂-Emissionen in dieser Entfernungsklasse um drei Prozent an.

Über alle Verkehrsmittel hinweg zeigt sich, dass die Emissionssteigerungen auf längeren Wegen ab 20 Kilometern und vor allem bei den höheren Entfernungsklassen zu verzeichnen sind. Zwei Drittel aller Emissionen im Personenverkehr sind auf Wege ab 20 Kilometern zurückzuführen und 29 Prozent auf Wege von mehr als 100 Kilometern Länge.

Ergebnisse der Querschnittsanalyse entlang der Wegebene

Die größten Anteile an CO₂-Emissionen entfallen auf die Wegezwecke Arbeit, dienstlich und Freizeit mit jeweils rund 25 Prozent. Gegenüber den Anteilen an der Verkehrsleistung, zeigen sich für diese Wegezwecke zum Teil deutliche Abweichungen. Freizeitwege umfassen ein Drittel der Verkehrsleistung, aber nur ein Viertel der Emissionen. D.h. auf Freizeitwegen wird pro Personenkilometer weniger CO₂ emittiert als auf beruflichen und dienstlichen Wegen. Auf dienstliche Wege hingegen entfallen ein Viertel aller Emissionen, obwohl sie nur einen Anteil von 17 Prozent an der gesamten Verkehrsleistung besitzen.

Ein Vergleich der Referenzjahre zeigt, dass die Emissionen im Freizeitverkehr, für Einkauf und auf Arbeitswegen bis 2017 abgenommen haben, während die Emissionen auf dienstlichen und Erledigungswegen gestiegen sind.

Berufsbedingter und Ausbildungsverkehr

Die Emissionen an CO₂ auf Arbeitswegen haben sich kontinuierlich verringert und liegen inzwischen mit 37 Millionen Tonnen CO₂ vier Millionen Tonnen unter dem Niveau von 2002. Dies ist ursächlich auf den MIV zurückzuführen, dessen Emissionen auf Arbeitswegen sich im gleichen Zeitraum ebenfalls um vier Millionen Tonnen CO₂ verringert haben. Da die Anzahl an Arbeitswegen konstant geblieben ist, sich die Verkehrsleistung dabei aber um neun Prozent auf 674 Millionen Personenkilometer pro Tag erhöht hat, lassen sich als Ursache für die Emissionsminderungen effizientere Antriebe im MIV-Segment vermuten.

Den größten Anstieg an CO₂-Emissionen zeigen dienstliche Wege mit einem Anstieg von etwa 50 Prozent gegenüber 2008. Als Erklärung kann eine prosperierende Wirtschaft benannt werden, die zwischen 2010 und 2017 pro Jahr um mehr als zwei Prozent gewachsen ist. Dieses Wachstum übersetzt sich in zusätzlichen Verkehr, vor allem im Bereich des Gütertransports.

Ausbildungswege haben mit drei Prozent einen geringeren Anteil an den Gesamtemissionen als ihr Anteil an der Verkehrsleistung mit vier Prozent. Auf Ausbildungswegen werden auch die geringsten Mengen an CO₂ pro Weg emittiert. Mit 0,6 Kilogramm beträgt dieser Wert gerade mal 25 Prozent des Werts von Arbeitswegen. Die Gründe sind einfach zu benennen: Zum einen sind Ausbildungswege mit einer gemittelten Entfernung von sieben Kilometern eher kurze Wege, zum anderen wird deutlich häufiger der ÖV in Anspruch genommen.

Einkaufs- und Erledigungswege

Auf Einkaufs- und Erledigungswege entfällt etwa ein Fünftel aller verkehrlich erzeugten CO₂-Emissionen. Dies entspricht zusammengenommen, aber auch für den einzelnen Wegezweck genau dem Anteil an der Verkehrsleistung. Während sich die Emissionen von Einkaufswegen gegenüber 2002 nicht verändert haben, sind diese auf Erledigungswegen um 15 Prozent gestiegen. Das kann auf die gegenläufigen Entwicklungen bei der Verkehrsleistung zurückgeführt werden. Diese hat bei Einkaufswegen gegenüber 2002 um 20 Prozent abgenommen, bei Erledigungswegen ist sie deutlich, um fast 50 Prozent, gestiegen. Da sich die durchschnittlichen Entfernungen von Einkaufswegen mit rund fünf Kilometern seit 2002 nicht geändert haben, sind die Rückgänge an den Gesamtemissionen – von 13 auf neun Millionen Tonnen CO₂ – vor allem auf den Rückgang der Verkehrsleistung zurückzuführen.

Freizeitverkehr

Die Emissionsmengen im Freizeit-Segment sind in den letzten Jahren gesunken und liegen mit 35 Millionen Tonnen CO₂ um etwa acht Prozent niedriger als 2002. In diesem Zeitraum hat der ÖV im Freizeit-Segment die CO₂-Emissionen mit fünf Millionen Tonnen gegenüber 2002 jedoch fast verdoppelt. Im MIV hingegen werden gegenüber 2002 etwa 15 Prozent weniger emittiert. Die Emissionen pro Weg hingegen sind gegenüber 2002 um neun Prozent gestiegen, da sich auch die Distanzen pro Weg im gleichen Zeitraum von 14 auf 15,5 Kilometer um fast elf Prozent vergrößert haben. Diese Veränderungen lassen sich durch den Anstieg des Flugverkehrs erklären, der dem ÖV zugerechnet wird. Bei Wegen über 100 Kilometern Länge hat der öffentliche Fernverkehr seinen Modalsplit-Anteil von 13 Prozent auf 17 Prozent vergrößert.

Begleitung – Bringen und Holen von Personen

Der hohe Anteil an Emissionen, der bei der Begleitung von Personen auf den MIV entfällt, findet sich auch im Modalsplit nach Verkehrsmittelnutzung bei Kindern im Alter von sechs bis zehn Jahren wieder. Mehr als zwei von drei Wegen werden in dieser Altersgruppe als MIV-Mitfahrer zurückgelegt. Das ist neben Erledigungsfahrten der höchste Anteil des MIV an allen Wegezwecken. Dieser Wert findet seine Entsprechung bei den Vollzeitbeschäftigten. Auf drei von vier Wegen, auf denen sie Personen begleiten, sind sie als MIV-Fahrer unterwegs.

Wegezwecke nach Entfernungsklassen

Bei der Betrachtung der Emissionsanteile nach Entfernungsklassen zeigen sich in der Differenzierung nach Wegezwecken unterschiedliche Muster, die in der grafischen Darstellung deutlicher hervortreten. Für Einkaufswege zeigt sich eine der Normalverteilung ähnelnde Kurve mit den höchsten Anteilen an CO₂-Emissionen bei Wegen zwischen 5 und 20 Kilometern. Nur der Ausschlag nach oben bei Wegeentfernungen von mehr als 100 Kilometern weicht von diesem Vergleich ab.

Anders die Kurve der Arbeitswege, die linksschief ist und die höchsten Emissionsanteile in der Entfernungsklasse von 20 bis 50 Kilometern aufweist. In den unteren Entfernungsklassen lassen sich nur geringe Emissionsanteile beobachten, was sich durch den höheren Modalsplitanteil von Fahrrad und Fußwegen erklären lässt.

Im Freizeitverkehr wird der hohe Einfluss von Flugreisen deutlich, die als ursächlich für den hohen Emissionsanteil auf Wegen von über 100 Kilometer Länge angesehen werden muss. Der Anteil der Wege in dieser Entfernungsklasse an den gesamten CO₂-Emissionen im Freizeitverkehr beträgt über 45 Prozent. Dem entspricht ein Anteil von vier Prozent an der Gesamtsumme der Emissionen dieser Wegezwecke über alle Entfernungen hinweg.

Ergebnisse der Querschnittsanalyse entlang der Personenebene

Regionalstatistische Raumtypologie (RegioStaR)

Metropolen und Großstädte zeigen geringere Emissionen pro Kopf und pro Weg als eher ländlich geprägte Regionen. Dies ist vor allem auf kürzere Wege zurückzuführen. Durch die hohe funktionale Dichte lassen sich Einkäufe und andere Erledigungen schnell und einfach zu Fuß oder mit dem Fahrrad erledigen. Dennoch lassen sich negative Entwicklungen aufzeigen, die auf die starke Bevölkerungszunahme zurückzuführen sind. Wege werden länger, die Tagesstrecken wachsen an und die Unterwegszeit hat sich 2017 gegenüber 2002 um über 15 Prozent auf 91 Minuten erhöht. Dadurch nehmen die Emissionen insgesamt und pro Weg sowie pro Kopf zu, auch wenn sie bislang unter denen der ländlichen Räume liegen.

Aber auch im ländlichen Raum steigen die durchschnittlichen Verkehrsleistungen, Wegelängen und Emissionsmengen an. Die Räume sind dabei jedoch von Bevölkerungsverlusten geprägt. Die Folgen des dadurch beschleunigten demografischen Wandels verändern einige Lebensbereiche

sehr deutlich und können als Ursachen für die im Vergleich deutlich höheren Emissionen gesehen werden. In den dörflichen Räumen ländlicher Regionen werden im täglichen Durchschnitt pro Kopf 6,3 Kilogramm CO₂ emittiert, 60 Prozent mehr als in Metropolen, Regiopolen und Großstädten (zur Definition der Raumtypen vgl. Milbert 2020).

Ökonomischer Haushaltsstatus

Der ökonomische Haushaltsstatus übt einen großen Effekt auf die CO₂-Emissionen aus, wobei gilt: Je höher der Status, desto größer der CO₂-Fußabdruck. Personen mit sehr hohem ökonomischen Haushaltsstatus emittieren mit 6,3 Kilogramm mehr als doppelt so viel CO₂ pro Tag wie Personen mit sehr niedrigem Haushaltsstatus. Dort sind es gerade mal 2,9 Kilogramm. Seit 2008 hat sich der Abstand verringert, damals lag das Verhältnis noch bei 1 zu 2,5. Das ist vor allem auf den Rückgang an Emissionen bei Personen mit sehr hohem ökonomischem Status zurückzuführen, der sich gegenüber 2008 um zehn Prozent und gegenüber 2002 sogar um 20 Prozent verringert hat. Damit ist das einerseits die Gruppe mit den deutlichsten Minderungsleistungen im Verkehr, aber andererseits auch die Gruppe mit den größten Emissionsmengen pro Kopf. Sie emittieren ein Drittel mehr als der Durchschnitt.

Haushaltsgröße

Mit jeder zusätzlichen Person im Haushalt steigen die Emissionsmengen des gesamten Haushalts. Das ist zu erwarten. Betrachtet man die spezifischen Zunahmen pro Person, dann zeigt sich ein differenzierteres Bild. Ein Ein-Personen-Haushalt emittiert durchschnittlich pro Tag etwas mehr als fünf Kilogramm CO₂. Lebt eine zweite Person im Haushalt, steigen die Emissionen des Haushalts auf 8,3 Kilogramm CO₂, wodurch sich die Emissionen pro Kopf um fast ein Kilogramm CO₂ verringern. Das lässt sich durch gemeinsame Wege erklären, auf denen die Emissionen pro Kopf aufgrund der höheren Auslastung sinken oder durch Wege, die nur von einer Person erledigt werden, wenn z.B. eine Person für den Haushalt die Einkäufe erledigt.

Altersgruppen

Die Lebensabschnitte, die durch Erwerbstätigkeit geprägt sind, weisen mit etwa sieben Kilogramm CO₂ pro Tag weit höhere Emissionswerte auf als die Phasen in Schule und Ausbildung und auch nach dem Ende der Erwerbstätigkeit. Dabei sind die hohen Emissionswerte nicht allein auf die Erwerbstätigkeit zurückzuführen, sondern auf die vielfältigen Aktivitäten in dieser Lebensphase insgesamt. Zusammengenommen führt das zu etwa doppelt so hohen Emissionswerten pro Tag wie die jüngeren Altersgruppen zwischen 0 und 20 Jahren aufzeigen und auch wie die Gruppe der über 60-Jährigen. Dort liegen die CO₂-Emissionen pro Tag jeweils bei unter vier, meistens sogar unter drei Kilogramm. Die Tagesstrecke ist in den Altersgruppen zwischen 20- und 59-Jahren ebenfalls am höchsten. Mit zunehmendem Alter reduzieren sich die Emissionen und Tagesstrecken deutlich. Auch wenn die Seniorinnen und Senioren im Alter inzwischen aktiver sind und entsprechend einen größeren CO₂-Fußabdruck hinterlassen, reduziert sich mit jedem Jahrzehnt, das eine Person älter wird, die tägliche Verkehrsleistung und damit auch die CO₂-Emissionen um fast 50 Prozent. Für die Altersgruppe der 70- bis 79-Jährigen liegen diese 2017 bei weniger als vier Kilogramm CO₂ pro Tag.

Werden nur die Emissionswerte pro Kopf und Tag ohne die berufs- und ausbildungsbedingten Wege betrachtet, wird ein besserer Vergleich zwischen den Altersgruppen möglich, der sich auf die Wegezwecke Freizeit, Einkauf, Besorgung und Begleitung fokussiert. Dadurch schwächen sich die Unterschiede zwischen den Altersgruppen deutlich ab und die Emissionsmengen gleichen sich an. Auffällig ist, dass die Altersgruppe der 60- bis 69-Jährigen nun ebenso hohe Emissionen aufweist, wie die zuvor emissionsstarken Altersgruppen der 20- bis 59-Jährigen. In dieser Gruppe zeigen sich noch keine altersbedingten Mobilitätseinschränkungen in dem Ausmaß, dass auch die Emissionen gegenüber den jüngeren Altersgruppen abfallen.

Konsumgewohnheiten

Betrachtet man die Häufigkeit, mit der Online-Einkäufe getätigt werden, dann zeigt sich, dass eine hohe Intensität von Online-Einkäufen auch mit hohen Emissionswerten verbunden ist. Werden Einkäufe online erledigt, liegen die CO₂-Emissionen für die Personengruppe mit etwa sieben Kilogramm CO₂ pro Tag über den Werten anderer Verkehrsmittelnutzungen. Die geringsten Werte zeigen die Personen, die den ÖPNV für Einkaufswege nutzen mit etwa 4 Kilogramm CO₂ pro Tag. 14 Prozent der Personen in Vollzeitbeschäftigung nutzen mindestens an einem Tag pro Woche die Möglichkeit zum Online-Shopping, aber nur 10 Prozent der Beschäftigten in Teilzeit mit 11 bis unter 35 Stunden pro Woche Arbeitszeit nutzen das Online-Shopping in dieser Intensität. Personen im Alter zwischen 18 und 49 Jahren nutzen die Möglichkeit zum Online-Shopping deutlich häufiger als die jüngeren und älteren Altersgruppen.

Mobilitätstypen

Ist der Pkw zentraler Bestandteil auf alltäglichen Wegen, dann gehen damit sehr hohe Emissionen einher. Personen, die dem Mobilitätstyp der „täglich Pkw-Orientierten“ zugehörig sind, emittieren durchschnittlich etwa 8,5 Kilogramm CO₂ pro Tag und damit etwa drei Kilogramm mehr als der Typus mit den zweithöchsten täglichen Emissionen, der "Mischnutzer mit Pkw-Führerschein". Am anderen Ende der Skala finden sich die „Wenig-Mobilen“, die pro Tag etwa 1,2 Kilogramm CO₂ emittieren sowie die "ÖPNV-Orientierten ohne Pkw-Führerschein" mit 1,7 Kilogramm. Die Werte für die anderen Mobilitätstypen liegen zwischen 2,6 und 3,8 Kilogramm CO₂ pro Tag.

Einstellungen zu Verkehrsmitteln

Die Einstellung zum Autofahren hat einen deutlichen Einfluss auf die Emissionen pro Kopf. Die Personen, die der Aussage "ich fahre gerne Auto" voll und ganz zustimmen, emittieren mit fast acht Kilogramm pro Tag mehr als dreimal so viel CO₂ wie Personen, die dieser Aussage überhaupt nicht zustimmen. Je höher die Zustimmung, desto höher der CO₂-Ausstoß pro Kopf und Tag. Es lässt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Einstellung zum Autofahren und den CO₂-Emissionen pro Kopf feststellen.

Umgekehrt verhält es sich mit den Einstellungen zum ÖPNV, wenn auch weniger deutlich ausgeprägt, als beim Autofahren. Je höher die Zustimmung zur Aussage "ich fahre gerne ÖPNV", desto geringer die Emissionen pro Tag und Kopf. Personen, die der Aussage voll und ganz zustimmen emittieren mit rund vier Kilogramm CO₂ pro Tag nur 60 Prozent der Menge, die Personen emittieren, die dieser Aussage überhaupt nicht zustimmen.

Zufriedenheit mit Verkehrsmittelanboten

Es zeigt sich, dass die Zufriedenheit mit der Fahrradsituation keinen Einfluss auf die CO₂-Emissionen besitzt. In jeder Antwortkategorie emittieren die Personen durchschnittlich mit rund sechs Kilogramm etwa gleich viel CO₂ pro Tag. Das spricht dafür, dass sich die jeweiligen Gruppen in den Antwortkategorien heterogen zusammensetzen.

Für die anderen drei Verkehrsmittel (Auto, ÖV und Fußwege) zeigt sich in der Tendenz, dass mit abnehmender Zufriedenheit die Emissionen pro Tag ansteigen. Es ist zu vermuten, dass eine höhere Verkehrsleistung auch zu einer größeren Unzufriedenheit führt. Wer jeden Tag auf dem Weg zur Arbeit oder zu anderen Anlässen mit Stau, Verspätungen und überfüllten Wagons konfrontiert wird, neigt zu negativen Bewertungen der Situation. Dieser Befund tritt am deutlichsten für den öffentlichen Verkehr hervor, für den ein linearer Zusammenhang zwischen Zufriedenheit und Höhe der Emissionen pro Tag besteht.

Summary

Project Background

Emissions data since 1990 makes it clear: Further measures and major efforts are needed for Germany to meet its “Climate Action Plan 2050” target of a 40 to 42 per cent CO₂ reduction (compared with 1990) in the transport sector by 2030 (BMU 2016). This applies in particular to passenger transport, which accounts for over two thirds of emissions in this sector. The measures taken so far, as outlined in the “Action Programme Climate Protection 2020”, have not led to any significant reduction in the transport sector.

This study is based on secondary evaluations extracted from the nation-wide traffic survey “Mobility in Germany” (MiD). It aims to determine the factors and interrelationships of everyday passenger transport that contribute most substantially to CO₂ emissions in order to identify approaches, that make policy measures more targeted and the use of resources more efficient. Rather than simply reproduce official findings, the focus hereby is on passengers and trips made, the aim being to identify precise indications of emissions sources. The key question is: Where in the transport sector can conspicuously high emissions be detected? In the calculations of this study only CO₂ emissions are considered.

In order to identify points with significant potential for emissions reduction in everyday traffic, a better understanding is needed of which population groups contribute to CO₂ emissions and to what extent. This can be done by defining groups according to various factors, such as socio-demographic characteristics, economic status or transport-related attitudes.

Methodological Approach

This study uses the Transport Emission Model (TREMOM) version 6.03 (01/2020) and data sets from the “Mobility in Germany” traffic survey, years 2002, 2008 and 2017. TREMOM maps motorised transport in Germany (from 1960 to 2018) in terms of traffic and mileage, associated energy consumption as well as GHG and pollutant emissions and calculates possible scenarios for subsequent years up to 2050 in order to estimate the future development of GHG emissions. TREMOM observes domestic traffic; this includes traffic from abroad within the borders of Germany. Air travel is an exception, with not only domestic flights but also outgoing traffic up to its first stopover abroad being recorded.

The study “Mobility in Germany” describes the everyday mobility of the resident population in Germany. A two-stage procedure is used, which combines a household survey and a reference date survey. In the last survey in 2017, 156,420 households were interviewed within one year, first about their household situation and then about their mobility behaviour on a given reference date. For each trip undertaken on the reference date, the following was recorded: starting time and end time, purpose of the trip, means of transport, number of passengers, mileage, start and destination points.

Due to limits on data assessing car attributes in the MiD 2017, the calculation model provides car journeys with surcharges or discounts based on the economic household status of the car owner from which assumed size of the car is derived. For emissions calculations, car size and year of manufacture need to be taken into account.

For public transport, surcharges and discounts of ten per cent are included in the calculations, thus factoring in business-hours-related use of transport. This is based on the assumption that public transport is fully utilised during rush hour, with the capacity dropping off outside of peak times.

Due to the lack of car attributes found in MiD compared to TREMOM, for some means of transport fleet averages were calculated according to performance. This concerned in part the type of

drive for passenger cars, mopeds, motorbikes, buses, coaches and various trucks and lorries. For rail transport, too, the degree of differentiation by drive type is not revealed in the MiD and fleet averages according to transport performance were calculated and used for the emissions calculations. For air traffic, MiD only covers flights within Germany, while TREMOD covers both domestic flights and flights to their first stopover abroad. This study only uses the TREMOD emissions value for domestic flights.

Taking into account these distinctions and definitions, a list of specific emissions values including the upstream supply chain by vehicle type and means of transport in grams per passenger-kilometre was provided on the basis of TREMOD 6.03. Each trip mapped by the MiD is assigned a CO₂ value based on this list, which is calculated by multiplying the transport-specific emissions values by mileage. For this purpose the data for the reference years 2002, 2008 and 2017 are exclusively used according to TREMOD 6.03. Since CO₂ emissions values for each trip include the corresponding distances, precise emissions calculations can be made based on traffic volume.

Using the above procedures, differentiated analyses of emission volumes can be conducted to identify emission sources and causes. A distinction is made between three analytical perspectives: longitudinal analysis to compare the survey years and thus a development over time, a consideration of the trip and a person-based cross-section.

Longitudinal Analysis Results

According to these calculations, the German transport sector emitted approx. 146 million tonnes of CO₂ in 2017. Deviations from the official reporting of atmospheric emissions (UBA 2020a), which indicate a volume of 164 million tonnes of CO₂ in 2017, result from the different methodological approaches. Compared to 2002, CO₂ emissions have increased by seven million tonnes and by five million tonnes since 2008. Since 2002, emissions have thus increased by five per cent. Transport performance also increased between 2002 and 2017, by 18 per cent to 3.2 billion passenger-kilometres. The average CO₂ emissions per kilometre have only decreased imperceptibly: in 2008 and 2017 they were 0.12 kilograms, in 2002 they were 0.14 kilograms. Daily emissions per capita constituted 4.79 kilograms of CO₂ in 2017. They have increased slightly but steadily compared to 2002 and 2008. Similarly, at 1.55 kilograms of CO₂ per trip, more is currently being emitted than in previous years, whereby this figure was lowest in 2008 with 1.39 kilograms of CO₂.

Results According to Mode of Transport

Private motorised transport (PMT) performance has increased by more than 250 million kilometres, compared with 2002, to a total of 1,754 million kilometres per day. This is an increase of 17 per cent. At the same time, however, specific emission levels have been reduced due to the use of more efficient technologies.

For the bicycle, CO₂ emissions are close to zero. Measures to encourage a modal shift to cycling (and walking) therefore have the greatest potential for savings, as no direct emission-increasing rebound effects are expected.

The reference years reveal only slight fluctuations for local and long-distance public transport, whereby the transport performance of overall public transport has increased by 35 per cent since 2002. In addition to more efficient and decarbonised propulsion technologies, for example by closing so-called "diesel gaps", higher capacity utilisation has also helped keep emissions constant even with an increase in transport performance.

A significant increase can be found in the aviation industry; with five million tonnes of CO₂ emissions it is five times higher than in 2002. It should be noted that only domestic flights are included in the present calculations.

Emissions from commercial vehicle traffic (lorries) have also increased over the years and, at 12 million tonnes of CO₂, are higher than those of local public transport. In contrast to PMT, binding CO₂ fleet restrictions for commercial goods vehicles such as lorries and coaches were only adopted by the European Parliament in June 2019 (see EU 2019b). For the period under consideration here, there were no fleet emissions restrictions and thus no political incentives to introduce efficiency-enhancing technologies. The fuel consumption of heavy commercial vehicles has therefore hardly decreased at all in the last 20 years (cf. ICCT 2017) and fuel-saving technologies are also only used to a limited extent (T&E 2017).

Results According to Trip Parameters

The increase in total emissions in 2017 compared to reference years 2002 and 2008 lies mainly in an increase in emissions on journeys of 50 kilometres and more. A slight decrease can be observed for shorter trips of up to 20 kilometres. A modal split comparison between MiD 2002 and MiD 2017 according to mileage categories shows that for all trips up to 20 kilometres, the proportion of journeys made by bicycle and on foot has increased. For trips of between one and two kilometres, bicycle and foot traffic has increased from 40 to 48 per cent, for distances of between two and five kilometres it has gone up from 22 to 29 per cent (cf. MiD 2019c).

However, for trips ranging between 20 and 50 kilometres, PMT has seen an increase for drivers and a simultaneous decrease in PMT passengers. This lowers the vehicle occupation ratio, thus increasing emissions per capita. Though public transport has seen an increase in long distance categories, it is not enough to compensate for the emissions increase caused by journeys by PMT drivers. Across all means of transport, CO₂ emissions in this distance category have seen a three per cent rise.

Across all modes of transport, it is evident that emission increases occur on journeys of 20 kilometres or more, particularly in longer distance categories. Two thirds of all passenger transport emissions stem from trips of 20 kilometres or more and 29 per cent from journeys of more than 100 kilometres.

Cross-sectional Analysis of Trips Recorded

The largest shares of CO₂ emissions are accounted for by work, business and leisure related trips, each making up around 25 per cent. Compared to the shares of transport performance, these trips have significant differences. Recreational trips account for a third of transport performance, but only a quarter of emissions. This means that leisure related trips use less CO₂ per kilometre than professional and business related travel. Business trips, on the other hand, account for a quarter of all emissions yet only constitute for a small share (17 per cent) of all trips made according to transport performance.

A reference year comparison shows that by 2017, emissions from leisure trips, shopping and commuting saw a decrease, while emissions from business and commuting increased.

Work and Education Related Travel

Commuting related CO₂ Emissions have decreased steadily accounting for 37 million tonnes of CO₂ – four million tonnes below the 2002 level. This is down to PMT, where commuting emissions saw a decrease of four million tonnes of CO₂ over the same period. With the number of commutes remaining constant while transport performance shows a nine per cent increase of up to 674 million passenger kilometres per day, it can be deduced that emission reductions are due to more efficient drive technologies in the PMT sector.

The largest CO₂ emissions increase is found in business travel, with an increase of around 50 per cent since 2008, which can be explained by the thriving economy with an annual growth of more

than two per cent between 2010 and 2017. This growth results in additional traffic, especially in the freight transport sector.

At three per cent, education related trips account for a smaller share of total emissions compared with their share in transport performance, which lies at four per cent. These trips also emit the lowest amounts of CO₂ per route. At 0.6 kilograms, this figure constitutes just 25 per cent of the value of commuting to work. The reasons are straightforward: at an average distance of seven kilometres per trip, education related commutes tend to be shorter and public transport is used much more frequently.

Shopping Trips and Errands

Shopping trips and errands account for around one fifth of all CO₂ emissions generated by transport. Taken together, but also for each individual purpose, this corresponds exactly with the share of transport performance. Though there is no notable emissions increase in shopping trips in comparison to 2002, emissions from errands have grown by 15 per cent. This can be attributed to contrary developments in transport performance. The number of shopping trips has fallen by 20 per cent compared to 2002, while errands have risen significantly by almost 50 per cent. As the average distance of shopping trips – around five kilometres – has not changed since 2002, the reductions in total emissions from 13 to nine million tonnes of CO₂ are mainly due to a decline in transport performance.

Leisure Trips

Overall emissions in the leisure sector have fallen in recent years; at 35 million tonnes of CO₂ they are about eight per cent lower than in 2002. In this period, the public transport sector leisure close to doubled its CO₂ emissions to five million tonnes. In PMT, on the other hand, emissions are about 15 per cent lower than in 2002. Emissions per trip have increased by nine per cent compared to 2002, due to an increase in distance by almost eleven per cent from 14 to 15.5 kilometres in the same period. These changes can be explained by an increase in air traffic, which is included in public transport. For distances over 100 kilometres, public long-distance transport has increased its modal split share from 13 to 17 per cent.

Escort - Bringing and Fetching Passengers

High emissions attributable to PMT with passengers, is also reflected in the modal split for transport with regard to children aged six to ten years. More than two out of three journeys made as PMT passengers are in this age group. Aside from running errands, this accounts for the highest proportion of PMT in all sectors. This figure is equivalent to that of full-time employees; on three out of four escort trips they take the car.

Trip Categories According to Distance

When looking at emission shares according to distance categories, different patterns emerge according to the purpose of the trip; this is highlighted by the graphic representation. For shopping trips, a curve similar to the normal distribution shows the highest shares of CO₂ emissions for journeys between 5 and 20 kilometres. The only difference to this comparison is the upward curve mapping distances of more than 100 kilometres.

In contrast, the commuting curve is left-skewed and thus attributes the highest emission levels to distances of between 20 and 50 kilometres. In shorter distance categories only minimal emission values can be observed, which suggests a higher modal split of bicycle and foot-traffic.

In the leisure traffic sector the significant influence of air travel is evident and can be regarded as the cause of the high emission rates on journeys of over 100 kilometres. Trips in this distance class account for more than 45 per cent of overall CO₂ emissions within leisure traffic. This corresponds to four per cent of total emissions of trips in all distance categories.

Results of the Cross-sectional Analysis, Category Persons

Regional Statistical Spatial Typology (RegioStaR)

Metropolises and large cities show lower emissions per capita and per trip than more rural regions. This is mainly due to shorter distances. Thanks to high functional density, shopping and other tasks can be done quickly and easily on foot or by bicycle. Nonetheless, negative tendencies indicate rapid population growth with trips registering as longer, daily distances on the increase and in 2017 time spent on the road going up 15 per cent to 91 minutes compared to 2002. As a result, emissions are increasing overall, per road and per capita, even though they still remain lower than in rural areas.

Average traffic volumes, distances travelled and emission levels are simultaneously rising in rural areas, whereby these areas are characterised by population losses. The consequences of the resulting accelerated demographic shift are significantly changing some areas of life and thus can be understood as underlying these comparatively much higher emissions. On average, 6.3 kilograms of CO₂ are emitted per capita per day in village areas of rural regions, 60 per cent more than in metropolises, regional centres and large cities (for the definition of the room types see Milbert 2020).

Economic Status of the Household

The economic household status has a major effect on CO₂ emissions: the higher the status, the larger its CO₂ footprint. People with a very high economic household status emit 6.3 kilograms of CO₂ per day, more than twice as much as people with a very low economic household status; the latter emit just 2.9 kilograms. The gap has narrowed since 2008, when the ratio was 1 to 2.5. This is mainly due to a reduction in emissions by people with a high economic bracket, which fell by 10% compared to 2008 and by 20% compared to 2002. This is the group with the most significant reductions in transport, but it is also the group with the highest emissions per capita – namely one third more than the average household size.

With every additional person in the household, the emissions of the entire household increase. This is to be expected. Looking at the specific increases per capita, the overall picture becomes more differentiated. On average, a one-person household emits just over five kilograms of CO₂ per day. If a second person joins the household, household emissions rise to 8.3 kilograms of CO₂, which reduces the per capita emissions by one kilogram of CO₂. This can be explained by shared trips where emissions per capita decrease due to higher capacity utilisation or through routes that are only done by one person, e.g. when one person does the shopping for the household.

Age Groups

The phases of life characterised by employment show far higher emission rates than school and training years or following the end of employment. The high emission rates are not only due to employment, but to the many and varied activities pursued during this phase of life in general. Altogether, this generates emission rates approx. twice as high of those of younger age groups (0-20 years) and the over 60-year-olds. There, CO₂ emissions per day are less than four kilograms, in most cases even less than three. Daily distances covered are also highest in the age group 20 to 59 years. With increasing age, emissions and daily distances are significantly reduced. Even though senior citizens are now more active in old age and accordingly have a larger CO₂ footprint, with every decade that a person grows older, daily transport performance and thus CO₂ emissions are reduced by almost 50 per cent. For the 70-79 age group, this will be less than four kilograms of CO₂ per day in 2017.

Consumer Habits

Looking at the frequency with which online purchases are made, it becomes clear that high rates of online purchasing are also associated with high emission levels. If purchases are made online, the CO₂ emissions for this group of people, at around seven kilograms of CO₂ per day, are higher than for other forms of transport. The lowest values are shown by people who use public transport for shopping, with around four kilograms of CO₂ per day. 14 per cent of full-time employees use online shopping at least once a week, but only 10 per cent of part-time employees (working between 11 and 35 hours a week) use online shopping at this rate. Persons aged between 18 and 49 years shop online significantly more often than the younger and older age groups.

Types of Mobility

If the car is a central component of everyday life, this is associated with very high emissions. Persons who align with mobility type "daily car-use-orientated" emit a daily average of about 8.5 kilograms of CO₂. This is about three kilograms more than the mobility type with the second highest daily emissions, the "mixed user with driving licence". At the other end of the scale we find the "less mobile users", who emit about 1.2 kilograms of CO₂ a day, and the "public transport oriented users without a driving licence" with 1.7 kilograms. The values for the other types of mobility are between 2.6 and 3.8 kilograms of CO₂ a day.

Attitudes Towards Means of Transport

Attitudes towards driving significantly impact on emissions per capita. People who fully agree with the statement "I like driving" emit more than three times as much CO₂ per day as people who disagree with this statement. Higher agreement rates translate into higher CO₂ emissions per capita and day. There is a clear correlation between attitudes towards driving and per capita CO₂ emissions.

The same is reflected in attitudes towards public transport, albeit less pronounced than for driving. The higher the agreement with the statement "I like public transport", the lower the emissions per day and per capita. People who fully agree with the statement emit around four kilograms of CO₂ per day, only 60 percent of the amount emitted by people who do not agree with the statement at all.

Satisfaction with Transport Services

It is evident that satisfaction with the cycling situation has no influence on CO₂ emissions; in each response category, the average person emits about the same amount of CO₂ per day, i.e. about six kilograms. This indicates that the respective groups in the response categories are heterogeneous.

Regarding the other three means of transport (PMT, public transport, on foot), a decrease in satisfaction tends to correlate with a daily emissions increase. It can be assumed that higher transport performance also leads to greater dissatisfaction. Those who are confronted with traffic jams, delays and overcrowded wagons every day on their way to work or on other occasions tend to make negative assessments of the situation. This finding is most evident for public transport, for which there is a linear relationship between satisfaction and the level of emissions generated each day.

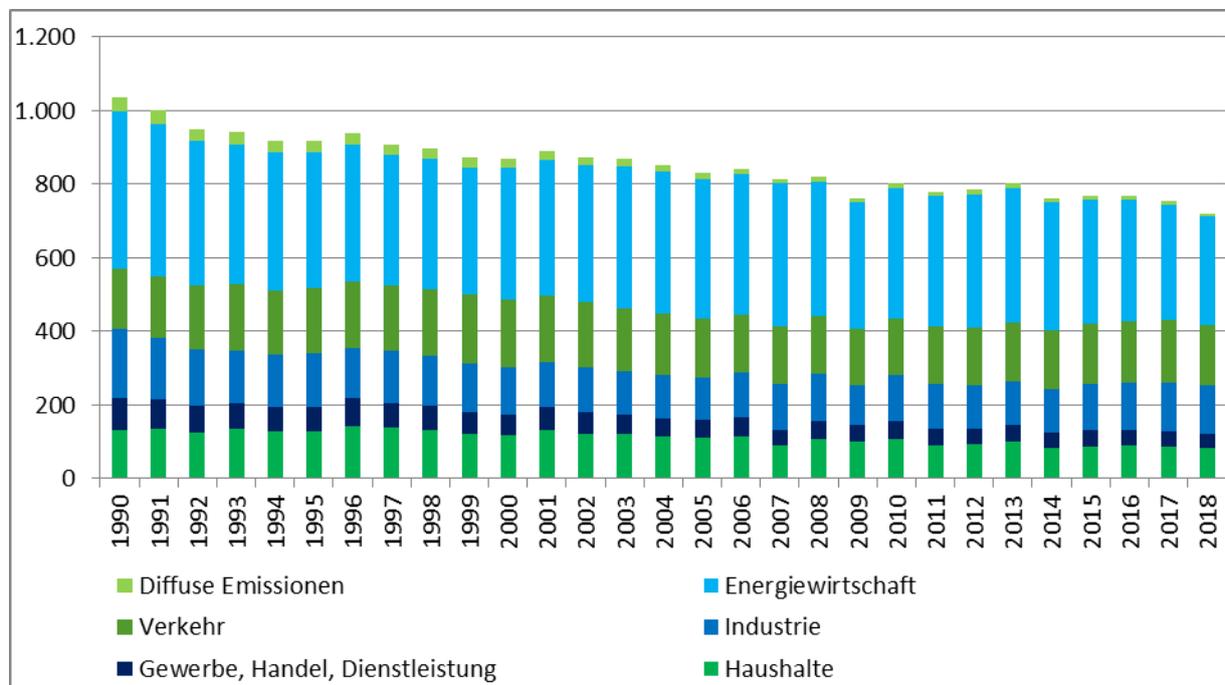
1 Kurzdarstellung des Projekts

1.1 Politische Zielstellungen zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Verkehr

Klimaschutz ist eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe, zu der jede und jeder Einzelne einen Beitrag leisten kann und sollte. Es ist sowohl die Aufgabe von Unternehmen, Prozesse, Waren und Dienstleistungen unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit zu optimieren, zu produzieren und zu erstellen, als auch von Privatpersonen, die ihr Konsumverhalten und ihre Lebensweise auf das Wohl kommender Generationen ausrichten sollten. In vielen Sektoren lassen sich deutliche Fortschritte verzeichnen. Für den Verkehrssektor gilt das nicht. Im Vergleich des Jahres 2018 mit dem Ausgangsjahr 1990 lassen sich keine relevanten Emissionsreduktionen aufzeigen (vgl. Abbildung 1).

Abbildung 1: Entwicklung der energiebedingten Treibhausgas-Emissionen nach Quellgruppen

Angaben in Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente¹



Quelle: UBA (2020a), eigene Darstellung

Die energiebedingten THG-Emissionen des Verkehrssektors betragen im Jahr 2018 164 Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente² (UBA 2020a). Diese Berechnung basiert auf dem Brennstoffeinsatz für die Bereiche inländischer Flugverkehr, Schienenverkehr, inländischer Schiffsverkehr, Güterverkehr (Straße) und Personenverkehr (Straße). Gegenüber dem Bezugsjahr 1990 ist der Verkehrssektor der einzige, in dem die THG-Emissionen zugenommen haben, während alle anderen Sektoren – Haushalte, Gewerbe/Handel/Dienstleistungen, Industrie, Energiewirtschaft und bei sogenannten diffusen Emissionen – in dieser Zeitspanne eine deutliche Reduktion erreichen konnten. Insgesamt sanken die Emissionen zwischen 1990 und 2018 von 1.037 Millionen Tonnen auf 720 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente (ebd.).

¹ In Kohlenstoff-Äquivalenten berücksichtigt sind Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O). Der Sektor "Gewerbe, Handel, Dienstleistung" schließt auch Militär und Landwirtschaft (energiebedingt) ein. Der Industriesektor umfasst nur Emissionen aus Energiefeuerungen und keine Prozessemissionen. Diffuse Emissionen entstehen durch Gewinnung, Umwandlung und Verteilung von Brennstoffen.

² Die Angabe von Kohlendioxid- oder CO₂-Äquivalenten zielt darauf ab, klimarelevante Emissionen (Treibhausgase) in ihrer Wirkung vergleichbar zu machen. Die Grundlagen stammen vom Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, der Vereinten Nationen (UN).

Diese Zahlen machen deutlich, dass es zur Erreichung der von der Bundesregierung im Klimaschutzplan 2050 angegebenen Ziele, die Emissionen im Verkehrssektor bis 2030 um 40 bis 42 Prozent gegenüber den Emissionen von 1990 zu reduzieren, weiterer Maßnahmen und großer Anstrengungen bedarf (BMU 2016). Dies betrifft insbesondere den Personenverkehr, auf den über zwei Drittel der sektoralen Emissionen entfallen. Die bislang getroffenen Maßnahmen, dargestellt im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020, haben zu keiner signifikanten Reduktion im Sektor Verkehr geführt. Im Klimaschutzbericht 2018 heißt es dazu vorausblickend, „dass bis 2020 nur eine geringe Senkung der Emissionen im Verkehrssektor erreicht werden kann“ (BMU 2019a, 9). Der aktuelle Klimaschutzbericht 2019 bestätigt diese Einschätzung und prognostiziert für 2020 Emissionen in Höhe von 166 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente und damit drei Millionen Tonnen mehr als im Referenzjahr 1990 (vgl. BMU 2020b).

Die bislang vom BMVI getroffenen Maßnahmen, dargelegt u.a. im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020, sind auf die verschiedenen Verkehrsträger ausgerichtet und adressieren Länder, Kommunen und Gemeinden sowie Unternehmen, Forschungseinrichtungen und schließlich Bürgerinnen und Bürger gleichermaßen. Das BMVI stellt dafür umfassende Mittel bereit, um die vorgegebenen Ziele zu erreichen. Ohne die Sinnhaftigkeit und Wirksamkeit dieser Maßnahmen zu bezweifeln, stellt sich dennoch die Frage, ob die politische opportunen Verteilmechanismen von Haushaltsmitteln über die beschriebenen Maßnahmen auch unter dem Gesichtspunkt der Effizienz bestehen können oder ob die Instrumente einen größeren Einfluss bekommen würden, wenn sie zielgerichtet dort eingesetzt würden, wo die Emissionen entstehen.³

1.2 Zielstellung und Vorgehen der Studie

Die dieser Studie zugrundeliegende Sekundärauswertung erfolgt auf Basis der Ergebnisse aus „Mobilität in Deutschland“ und zielt darauf ab, im alltäglichen Personenverkehr Faktoren und Zusammenhänge aufzuzeigen, die besonders stark zu den CO₂-Emissionen beitragen, um Ansatzpunkte zu identifizieren, politische Maßnahmen zielgerichteter und dabei den Mitteleinsatz effizienter zu gestalten. Aus methodischen Gründen werden in dieser Studie nur CO₂-Emissionen und nicht die gesamten THG-Emissionen betrachtet.⁴ Aus diesem Grund werden auch nicht die Werte der offiziellen Berichterstattung nachgebildet, denn vielmehr interessieren die Emissionsaufkommen auf Personen- und Weegebene, um genaue Hinweise der Emissionsquellen zu ermitteln. Die leitende Fragestellung lautet: Wo können auffällig hohe Emissionen im Verkehrssektor nachgewiesen werden?

Dabei wird der Datenbestand genutzt, um individuelle CO₂-Fußabdrücke in der Zeitreihe 2002, 2008 sowie 2017 zu ermitteln und auch im Querschnitt zu betrachten. Im Ergebnis können Bevölkerungssegmente und Tätigkeiten identifiziert werden, bei denen aus verkehrlicher Perspektive besonders viel CO₂ emittiert wird. Das Ziel besteht also nicht in einer weiteren Hochrechnung der Emissionen auf ein bundesweites Jahresergebnis im Aggregat, sondern in einer differenzierteren Analyse der Alltagsmobilität und den zugehörigen Emissionsanteilen. Die aus anderen Quellen vorliegenden Gesamtergebnisse werden für eine externe Validierung genutzt.

Um Ansatzpunkte zu identifizieren, an welchen Stellen im Alltagsverkehr große Potenziale zur Emissionsreduktion bestehen, bedarf es zunächst eines besseren Verständnisses darüber, welche Bevölkerungsgruppen wie stark zu den CO₂-Emissionen beitragen. Dabei können die Gruppen nach verschiedenen Merkmalen voneinander abgegrenzt werden, zum Beispiel entlang von soziodemografischen Merkmalen, nach ökonomischem Status oder auch nach Einstellungen.

³ Zur ausbleibenden Dynamik im Hinblick auf die Verkehrswende in den letzten 18 Jahren siehe auch den Blog-Beitrag von Robert Föllmer (Föllmer 2020).

⁴ Auf die Abgrenzung von CO₂-Emissionen, THG-Emissionen und den Angaben in CO₂-Äquivalente wird in Kapitel 3 genauer eingegangen.

Dazu wird im ersten Schritt eine Methode entwickelt, um anhand der berichteten Wege und der jeweiligen Wegeparameter – wie Länge und Dauer der genutzten Verkehrsmittel und einer Abschätzung der Auslastung – auf die individuellen CO₂-Emissionen zu schließen. Die Wegeparameter werden dazu mit den Emissionsfaktoren nach dem Transport Emission Model (TREMOD 6.03) als etabliertes Rechenmodell verknüpft. Im Ergebnis wird jedem Weg der MiD ein CO₂-Wert zugeordnet.

Daran schließen die Analysen der Emissionsaufkommen im Alltagsverkehr nach soziodemografischen und ökonomischen Faktoren an. Zentral ist dabei die Frage, welchen Einfluss die zu analysierenden Merkmale auf das Emissionsvolumen ausüben. Ein ähnliches Verfahren wurde bereits für den Datenbestand der MiD 2008 entwickelt und erprobt. In der vorliegenden Studie wird das Verfahren adaptiert und auf die MiD-Erhebungszeitpunkte 2002 und 2017 ausgeweitet. Nach einer kurzen Darstellung des aktuellen Forschungsstands in Kapitel 2, wird die Methode in Kapitel 3 eingehend beschrieben. In Kapitel 4 wird das Verfahren auf die Erhebungsjahre 2002, 2008 und 2017 angewendet und die Ergebnisse in einer Längsschnittbetrachtung nach Gesamtemissionen bewertet.

In Kapitel 5 und Kapitel 6 werden die Emissionsanteile auf Wege- und Personenebene analysiert. Damit lässt sich der Einfluss von soziodemografischen Variablen, wie der ökonomische Status der befragten Haushalte, die Haushaltgröße oder eine Differenzierung nach Altersgruppen aufzeigen. Zudem werden bestimmte Konsumgewohnheiten, Einstellungen zu Verkehrsmitteln, die Einordnung nach Mobilitätstypen sowie die Zufriedenheit mit Verkehrsmittelembietungen als unabhängige Variablen in die Analysen miteinbezogen.

Im Anschluss an die analytischen Kapitel 4 bis 6 erfolgt in Kapitel 7 zunächst ein Ausblick auf die zu erwartenden Steuerungswirkungen des CO₂-Preises anhand einer Beispielrechnung für die Kosten auf Arbeits- und sonstigen Wegen. Betrachtet werden die Unterschiede nach ökonomischen Haushaltsstatus und Raumtypen. Eine Bewertung der Ergebnisse im Hinblick auf bestehende politische Instrumente und Maßnahmen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen erfolgt in Kapitel 8. Diskutiert werden deren Hebelwirkungen, die ökonomische Lastverteilung und Fragen zur Umweltgerechtigkeit solcher Ansätze. Im Ergebnis werden Hinweise gegeben, wie die Instrumente und Maßnahmen geschärft und damit in ihrer Wirksamkeit verbessert werden können und in welchen Bereichen Leerstellen bestehen, in denen keine Ansätze gegeben sind, die dort entstehenden Emissionen zu reduzieren.

Kapitel 9 werden Überlegungen angestellt, welche Anstrengungen unternommen werden müssten, um die Reduktionsziele zu erreichen. Damit kommen die verschiedenen Verkehrsmittel in den Blick und die erforderlichen Änderungen der jeweiligen Verkehrsleistung bzw. des Verkehrsaufkommens, um diese Lücke zu schließen. Das Kapitel schließt mit einem Fazit zu den Analysen und anschließenden Überlegungen, ob die bestehenden Strategien zur Emissionsreduktion anzupassen sind, insbesondere vor dem Hintergrund der in Kapitel 9 dargestellten Entwicklungen.

2 Kurzer Überblick zur Diskussion emissionsreduzierender Maßnahmen

2.1 Politischer Hintergrund

Deutschland hat sich auf nationaler und internationaler Ebene Klimaschutzziele gesetzt. Die nationalen Zielstellungen werden häufig als Maßstab für die erforderlichen Emissionsminderungen zitiert, waren aber lange Zeit rechtlich nicht bindend. Das wurden sie erst durch das nationale Klimaschutzgesetz, das am 17.12.2019 im Bundesgesetzblatt veröffentlicht wurde. Die internationalen Verpflichtungen, die im Rahmen des Pariser Klimaschutzabkommens beschlossen wurden, waren bereits zuvor rechtverbindlich. Dort einigten sich 196 Staaten und die Europäische Union – und damit auch Deutschland – auf das Ziel, den globalen Temperaturanstieg auf 1,5 Grad Celsius gegenüber der vorindustriellen Zeit zu begrenzen und damit das vormalige Zwei-Grad-Ziel zu verschärfen (vgl. Europäische Kommission 2020). Mit der Ratifizierung des Abkommens haben sich die Staaten völkerrechtlich bindend verpflichtet, Maßnahmen zur Erreichung der Ziele zu ergreifen. Die konkreten Ansatzpunkte werden in nationalen Klimaschutzzielen festgeschrieben, die von den einzelnen Staaten individuell formuliert werden (vgl. BMU 2017).

Die rechtliche Grundlage der verbindlichen Zielstellungen bilden die EU-Lastenteilungsentscheidung von 2009 (die sogenannte Effort Sharing Decision) und die EU-Climate Action-Verordnung von 2018. In diesen Rechtsakten werden die europäischen Zielvorgaben auf die Mitgliedstaaten aufgeteilt (Agora Energiewende, Agora Verkehrswende 2018, 11f.). Zentral in diesen Rechtsakten ist das für jedes Jahr von 2013 bis 2030 einzuhaltende Emissionsbudget. Eine Abrechnung erfolgt in den Jahren 2020 und 2030. Deutschland wird die Zielsetzungen für die Jahre von 2013 bis 2020 verfehlen und es zeichnet sich bereits ab, dass auch die Ziele für die zweite Abrechnungsperiode nach aktuellen Prognosen nicht zu erreichen sind, so ist es dem Klimaschutzbericht 2018 der Bundesregierung zu entnehmen (vgl. BMU 2019a, 8). Dies könnte teuer werden, resümieren die Agora Energiewende und Agora Verkehrswende: „Bei Fortschreibung des aktuellen Trends verfehlt Deutschland sein ebenfalls rechtlich verbindliches Nicht-ETS-Klimaschutzziel für die Jahre 2021 bis 2030 um 616 Millionen Tonnen CO₂, mit Kosten für den Bundeshaushalt in Höhe von 30 bis 60 Milliarden Euro. Denn angesichts schärferer Klimaschutzziele werden überschüssige Emissionsrechte anderer EU-Mitgliedstaaten knapp und teuer (50 bis 100 Euro pro Tonne). Bereits für 2021 existiert ein Kostenrisiko von 600 Millionen bis 1,2 Milliarden Euro“ (Agora Energiewende, Agora Verkehrswende 2018, 3).

Das Jahr 2020 wird in der Zeitreihe der Emissionsentwicklungen eine Sonderstellung einnehmen. Insbesondere im Frühjahr wurden durch die erforderlichen Maßnahmen zur Eindämmung der Corona-Pandemie Alltagsverkehr und Reisetätigkeiten auf ein Minimum reduziert. Die Möglichkeit, von zu Hause aus zu arbeiten und das überwiegend gute Wetter im März und April, haben nicht nur für weniger Verkehr gesorgt, sondern auch für Verschiebungen des Modalsplit. Es konnte ein deutlicher Anstieg des Fahrrad- und Fußverkehrs verzeichnet werden, allerdings auch eine Vermeidung des öffentlichen Verkehrs. Die Auswirkungen der Pandemie auf die Mobilität in Deutschland untersucht das Projekt MOBICOR.⁵ Im Ergebnis liegt die Verkehrsleistung in der ersten Jahreshälfte deutlich unter denen der Vorjahre und damit auch die klimarelevanten Emissionen. Dennoch wird die Verkehrswende nicht en passant im Schatten der Corona-Maßnahmen vollzogen werden. Denn schnell hat genau der Verkehr den Weg zurück zur „alten“ Normalität gefunden, der sich maßgeblich für die Emissionen im Verkehrssektor verantwortlich zeichnet, der motorisierte Individualverkehr (MIV).

⁵ Erste Ergebnisse finden sich in zeitlich gegliederten Reports auf folgender Seite: <https://www.infas.de/neuigkeit/mobilitaet-und-corona-wie-veraendert-sich-der-alltagsverkehr/>

2.2 Klimapolitische Maßnahmen

Werden die aktuellen Entwicklungen durch die Corona-Pandemie ausgeklammert, bleibt die Frage weiterhin bestehen, wie die politischen Zielstellungen der Emissionsreduktion erreicht werden können. Insbesondere der Verkehrssektor steht unter Handlungsdruck, da hier bislang kein relevanter Beitrag zur Reduktion der THG-Emissionen geleistet worden ist. In der Literatur finden sich mehrere Studien, die sich mit konkreten Ansatzpunkten beschäftigt haben.

Die Studie „Umweltschädliche Subventionen in Deutschland“ des Umweltbundesamtes (vgl. UBA 2016) setzt sich mit den ökonomischen Anreizen auseinander, die umweltschädliches Verhalten fördern und Aktivitäten im Bereich des Umwelt- und Klimaschutzes konterkarieren. Die Analysen zeigen, dass „hierzulande etwa 35 Prozent der Subventionen potenziell umweltschädlich sind“ (ebd., 6). Aus fiskalischer Sicht zählen zu den wesentlichsten umweltschädlichen Subventionen im Verkehrssektor die Energiesteuervergünstigungen für Dieselkraftstoff mit 7,4 Milliarden Euro,⁶ die Entfernungspauschale mit 5,1 Milliarden Euro, die Energiesteuerbefreiung des Kerosins⁷ mit 7,1 Milliarden Euro,⁸ die Mehrwertsteuerbefreiung für internationale Flüge mit 4,8 Milliarden Euro, die pauschale Besteuerung privat genutzter Dienstwagen mit etwa 3,1 Milliarden Euro. Die hier aufgezählten Subventionen summieren sich auf 27,5 Milliarden Euro, die pro Jahr als umwelt- und klimaschädliche Steuervergünstigungen ermöglicht werden. Im Ergebnis werden Grundsätze einer umweltorientierten Subventionspolitik bearbeitet und ein umweltbezogenes Subventionscontrolling vorgeschlagen.

Die Agora Verkehrswende hat in der Studie „Klimaschutz im Verkehr“ (Agora Verkehrswende 2018) die fiskalische Perspektive durch eine Betrachtung der Emissionsaufkommen ergänzt und diskutiert Maßnahmen, die im Hinblick auf ihr Verminderungspotenzial geeignet wären, das Sektorziel zu erreichen. Im Vorwort wird darauf hingewiesen, dass ein Bündel von Maßnahmen erforderlich sei, da „es den einen zielführenden Hebel nicht geben wird“ (ebd., 4). Ein wichtiger Ansatzpunkt wird in Pkw- und Lkw-Effizienzstandards gesehen. Dieses Instrument setzt durchschnittliche Emissionswerte für die gesamte Flotte eines Herstellers fest, gemessen an den tatsächlich verkauften Fahrzeugen. Weiter werden Maßnahmen vorgeschlagen, die eine Internalisierung externer Kosten zum Ziel haben. Dazu zählen eine fahrleistungsabhängige Pkw-Maut oder die Anpassungen der Energie- und Kfz-Steuer im Hinblick auf den Energiegehalt. Zudem müssen Voraussetzungen geschaffen werden, um Verlagerungseffekte von Kfz auf öffentliche Verkehrsmittel, Rad- und Fußverkehr zu fördern. Weiter benannte Instrumente sind die Dienstwagenbesteuerung oder die Abschaffung von Steuerprivilegien.

Das UBA-Positionspapier „Kein Grund zur Lücke“ (UBA 2019a) schließt an die Betrachtungen der Agora Verkehrswende an und diskutiert Möglichkeiten, die Minderungslücke von mehr als 56 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente zu schließen und das Klimaschutzziel von 2030 zu erreichen. Die Maßnahmen strukturieren sich an drei Etappen entlang, mit jeweils steigendem Ambitionsniveau. Die erste Etappe analysiert die Wirkung der europäischen CO₂-Flottenzielwerte. Dadurch ließen sich bis 2030 rund zehn Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente einsparen. In der zweiten Etappe werden überwiegend ökonomische Instrumente vorgeschlagen, die auf nationaler Ebene umsetzbar sind. Ansatzpunkte sind die Verringerung des Verkehrsaufkommens und das Setzen von Anreizen zur Nutzung klimafreundlicher Verkehrsmittel. Dazu gehören die Erhöhung der Energiesteuern auf fossile Kraftstoffe, eine Erhöhung der Pkw-Maut, ein Bonus/Malus-System beim Neukauf von Fahrzeugen, das sich an den Emissionswerten orientiert, die Abschaffung klimaschädlicher Subventionen und schließlich der Ausbau des Um-

⁶ In einer Kurzanalyse für Greenpeace kamen die Autoren Matthias Runkel und Alexander Mahler 2015 auf einen Wert von sieben Milliarden Euro (vgl. FÖS 2015).

⁷ Aus Klimaschutzperspektive kommt dem Abbau der steuerlichen Begünstigung von Kerosin besondere Bedeutung zu, da aufgrund der Emissionshöhe die Klimaschädlichkeit höher zu bewerten ist als in Bodennähe.

⁸ Hier wird der gesamte Inlandsabsatz an Kerosin zugrunde gelegt und damit auch der Flugverkehr zu ausländischen Zielen, der aktuell nach dem Europa- und Völkerrecht nicht besteuert werden darf.

weltverbundes und des Schienengüterverkehrs. Diese Maßnahmen würden zu einer Emissionsminderung in Höhe von 26,5 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente beitragen. Um die Minderungslücke vollständig zu schließen, ist eine dritte Etappe erforderlich, die – neben einer weiteren Verschärfung bereits beschriebener Maßnahmen – zusätzliche Ansatzpunkte, wie die Förderung von E-Lkw durch den Ausbau von Oberleitungen auf Autobahnen oder eine Elektroquote für Pkw-Neuzulassungen benennt. Mit den 19,5 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente, die durch diese Maßnahmen eingespart würden, ließe sich die Minderungslücke vollständig schließen.

Die in diesen Papieren benannten Maßnahmen finden sich in ähnlicher Form auch an anderer Stelle wieder. Es scheint, als ob überwiegend Einigkeit besteht, mit welchen Ansätzen die Minderungsziele noch zu erreichen sind. Die mehrfache, wiederholte Erwähnung dieser Maßnahmen unterstreicht deren Bedeutung für die Erreichung der Klimaziele. Im Folgenden werden weitere Studien vorgestellt, die die zuvor benannten Maßnahmen anschließend und vertiefend diskutieren. Die Darstellung und Auswahl erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Die Studie „CO₂-Minderung bei Pkw – die Rolle der Steuerpolitik“ der Agora Verkehrswende analysiert gemeinsam mit dem International Council on Clean Transportation (ICCT) fiskalische Instrumente und deren Beitrag zur CO₂-Reduktion. Auch hier werden umweltschädliche Subventionen und die Anpassungen bestehender fiskalischer Instrumente betrachtet, aber zudem weitere steuerpolitische Maßnahmen, wie die Einführung einer Autobahnmaut für Pkw, diskutiert (Agora Verkehrswende, ICCT 2018). Im Projekt „RENEWABILITY III“, das vom Öko-Institut gemeinsam mit weiteren Instituten und Unternehmen im Auftrag des BMU bearbeitet wurde, werden Reduktionsmaßnahmen über Szenarien entwickelt, die zu einer vollständigen Dekarbonisierung des Verkehrssektors bis 2050 führen. Im Ergebnis zeigt sich, dass es unterschiedliche Pfade geben kann, dieses Ziel zu erreichen und es nicht den einen verbindlichen Weg gibt. Allerdings werden Elektromobilität und Strom aus erneuerbaren Energiequellen als zentrale und unverzichtbare Elemente benannt (Zimmer et al. 2016).

Ebenfalls einen szenarienbasierten Ansatz nutzt die Studie „RESCUE“ (Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität) und zeigt entlang von sechs verschiedenen Szenarien Lösungs- und Handlungsspielräume für den Weg zu einer ressourcenschonenden Treibhausgasneutralität auf (UBA 2019d). Als Handlungsfelder werden Energie, Bauen und Wohnen, Mobilität, Industrie, Abfall und Wasser sowie Landwirtschaft und LULUCF eingehender betrachtet. Für das Handlungsfeld Mobilität liegt der Schlüssel zu einer „aus volkswirtschaftlicher Sicht effektiven Gestaltung eines treibhausgasneutralen und ressourcenschonenden Verkehrs (...) in einer Kombination aus Verkehrswende sowie einer Energiewende im Verkehr“ (ebd., 229). Die dafür benannten Maßnahmen umfassen Energiesteuern auf fossile Kraftstoffe, Abbau umweltschädlicher Subventionen, Anreize zur Verkehrsvermeidung, Stärkung des Umweltverbundes, Förderung von Rad- und Fußverkehr, Verkehrsverlagerung im Güterverkehr von der Straße auf Binnenschiffe und die Schiene, Verteuerung des Güterverkehrs auf der Straße, Erhöhung der Kraftstoffeffizienzen und Förderung der Elektromobilität (auch für den Güterverkehr), Einführung von PtL-Kraftstoffen (Power-to-Liquid), Abbau der (steuerlichen) Vorteile des Luftverkehrs sowie Maßnahmen, die zur Vermeidung des Flugverkehrs insgesamt einen Beitrag leisten können (ebd. 229f.).

Die Arbeitsgruppe 1 „Klimaschutz im Verkehr“ der NPM – Nationale Plattform „Zukunft der Mobilität“ benennt in ihrem ersten Zwischenbericht sechs Handlungsfelder, über die ein klimafreundliches und innovatives Verkehrs- und Mobilitätssystem umgesetzt werden kann. Die Handlungsfelder fokussieren sich dabei auf technologische und weniger auf politische Lösungen. Die Themenbereiche benennen Antriebswechsel, Effizienzsteigerungen, regenerative Kraftstoffe, Stärkung des Schienenverkehrs und Digitalisierung als Ansatzpunkte einer zukünftigen Mobilitätsstrategie (BMVI 2019). Eine zu diesen politischen und technologischen Ansätzen ergänzende rechtliche Bewertung der Umsetzbarkeit von Maßnahmen findet sich in der Studie „Rechtliche

Hemmnisse und Innovationen für eine nachhaltige Mobilität“ (UBA 2019b). Anhand von fünf, in Fallbeispielen betrachteten, Innovationen werden Anforderungen an die Anpassung von Rechtsnormen diskutiert, um zur Umsetzung und Förderung dieser Innovationen beizutragen. Im Ergebnis werden konkrete Empfehlungen zur Anpassung des Rechtsrahmens gegeben.

Die Studie „Städte in Bewegung“ analysiert Maßnahmen und Umsetzbarkeit einer „urbanen“ Verkehrswende im Vergleich von 35 deutschen Städten. Die weniger maßnahmenorientierte, sondern vor allem analytische Studie zeigt die Bedeutung von Ausprägungen wie Einwohnerzahl, Dichte, Topografie für die Verkehrswende auf (Agora Verkehrswende 2020, 6). Eine differenzierte Analyse des Reiseverhaltens findet sich in der Studie „Klimawirksame Emissionen des deutschen Reiseverkehrs“. Dabei wird u.a. auf die Erfassungslücke des Reiseverhaltens von Inländern eingegangen, die etwa die Hälfte der gesamten Mobilität der Inländer umfasst (UBA 2020b). Eine Betrachtung der Klimawirkung von Tempolimits auf Autobahnen nimmt die Studie „Klimaschutz durch Tempolimit“ des UBA vor und berechnet das Einsparpotenzial an CO₂ entlang von Varianten eines Tempolimits auf Autobahnen. Es wird gezeigt, dass bei einer erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h bis zu 5,4 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr eingespart werden können (UBA 2020c).

Die Bedeutung von Einstellungen zur Ausbildung einer nachhaltigen Mobilitätskultur, die bei jungen Menschen auf Verkehrsvermeidung und Verkehrsverlagerung abzielen sollte, bei Senioren und Seniorinnen jedoch auf Verkehrsverlagerung, findet sich in der Studie „Veränderungen im Mobilitätsverhalten zur Förderung einer nachhaltigen Mobilität“ des Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), die gemeinsam mit dem Institut für angewandte Sozialforschung (infas) erstellt wurde. Entscheidend ist jedoch, so das Fazit, dass rechtzeitig in den vorausgegangenen Lebensphasen die erforderlichen Grundlagen geschaffen werden (UBA 2019c).

Viele der benannten Maßnahmen setzen dort an, wo die höchsten Emissionsmengen entstehen: beim straßengebundenen Personen- und Güterverkehr mit Kfz. Es besteht dabei Einigkeit, dass ein Mix aus Push- und Pull-Maßnahmen erforderlich ist, um eine dauerhafte Verhaltensänderung zu erreichen, so die Studie „Präferenzen und Einstellungen zu vieldiskutierten verkehrspolitischen Maßnahmen“ des RWI (Andor et al. 2019). Auch wenn in dieser Kombination Anreize mit Einschränkungen, Kosten oder anderen Sanktionen kombiniert werden, ist die Akzeptanz einschränkender Maßnahmen unter den Betroffenen oftmals nicht gegeben (ebd., 3). Das gilt für monetäre Maßnahmen gleichermaßen wie für Geschwindigkeitsbegrenzungen auf Autobahnen oder eine Neuverteilung des Straßenraums, auch wenn für letzteres bislang wenig empirische Belege vorliegen (ebd., 3f.). Damit Maßnahmen akzeptiert werden, sollten vor allem soziale Härtefälle vermieden werden. Zudem wird gezeigt, dass fördernde Maßnahmen, wie der Ausbau von Infrastruktur für Elektromobilität, Fahrradwegen oder Ausweisung reservierter Busspuren eine geringere Ablehnung erfahren als Maßnahmen, die mit Kosten oder Verboten konnotiert sind (ebd., 8). Ein weiteres Ergebnis der Studie ist, dass eine direkte Betroffenheit von Maßnahmen zu einer höheren Ablehnung führt. Haushalte mit Pkw lehnen Maßnahmen zur Reduzierung des Pkw-Verkehrs, wie höhere Parkraumgebühren, im stärkeren Umfang ab als Haushalte ohne Auto (ebd., 14).

Die dargestellten Studien und Fachbeiträgen zeigen nur einen Ausschnitt aus den Forschungen und Publikationen, die sich aus verschiedenen Perspektiven mit den Möglichkeiten einer Reduktion von verkehrsbedingten Treibhausgasen befassen. In der folgenden Studie wird der Fokus auf die Verkehrsteilnehmer und deren realisiertes Verhalten gelegt. Damit geht es weniger um die konkreten Maßnahmen und Ansätze, sondern vielmehr darum, wo zielführende Ansatzpunkte identifiziert werden können, um die diskutierten Ansätze effizient auszugestalten.

3 Methodisches Vorgehen

Zur Einordnung der Ergebnisse dieser Studie werden im Folgenden zentrale Begriffe definiert, die Datenquellen beschrieben, die getroffenen Konventionen im Vorgehen beschrieben und das Vorgehen selbst vorgestellt.

CO₂-Emissionen, THG-Emissionen und CO₂-Äquivalente

Die Erdatmosphäre besteht aus einem Gemisch verschiedener Gase und Stoffe. Viele dieser Stoffe haben die Eigenschaft in bestimmter Weise auf Sonnenlicht und Wärmestrahlung zu reagieren. Während sie für Sonnenlicht mit kurzweiliger Strahlung nahezu transparent sind, wird die von der Erde abgestrahlte Infrarotstrahlung reflektiert. Im Ergebnis verbleibt mehr Wärmeenergie auf der Erde als zurück in den Weltraum abgegeben wird. In Analogie zum Treibhaus, das nach dem gleichen Prinzip funktioniert, wird dieser Effekt Treibhauseffekt benannt bzw. in Bezug auf die relevanten Gase, Treibhausgas-Effekt.

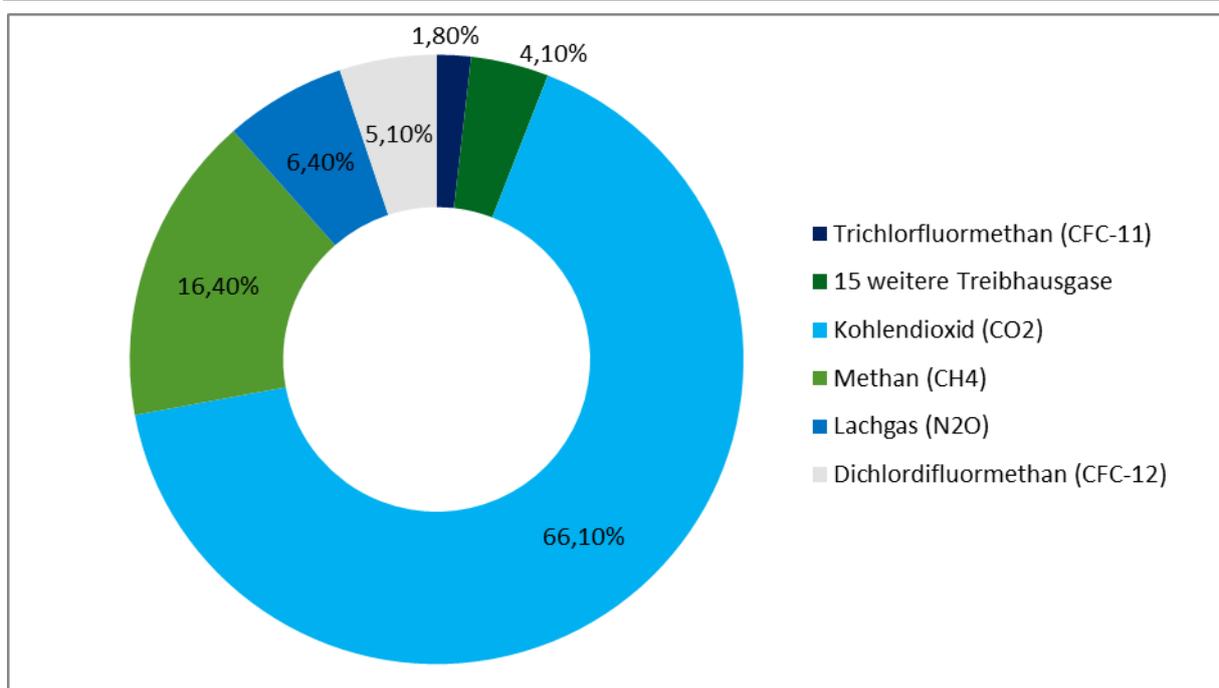
Zu den Gasen, die diesen Effekt unterstützen, zählen Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄), Ozon (O₃), Distickstoffmonoxid (Lachgas) (N₂O), aber auch einfacher Wasserdampf.⁹ Die Konzentration dieser Stoffe war in den letzten 10.000 Jahren annähernd konstant, ist aber seit dem Beginn der Industrialisierung deutlich gestiegen. Mit der höheren Konzentration der klimarelevanten Gase in der Atmosphäre wird weniger warme Infrarotstrahlung in den Weltraum emittiert bzw. mehr von den oberen Luftschichten absorbiert, wodurch die Temperaturen auf der Erde steigen. Da diese Veränderung menschengemacht ist, wird sie als anthropogener Treibhauseffekt bezeichnet, dessen Ursache in der verstärkten Emission von Treibhausgasen (THG) liegt, also den anthropogenen THG-Emissionen.

Die THG sind zu unterschiedlichen Anteilen an den klimarelevanten Effekten beteiligt (vgl. dazu Abbildung 2), Methan ist zum Beispiel 25-mal klimawirksamer als CO₂. Auch die Wirkungsweise ist unterschiedlich und abhängig von deren Konzentration, der Höhe der Emission und weiteren Faktoren. Um die Wirkung dieser Treibhausgase vergleichbar und auch handhabbar zu machen, werden sie in ihrem Beitrag zum Treibhauseffekt in Relation zu Kohlendioxid gesetzt. Das Ergebnis der Umrechnung des Treibhauspotenzials auf eine Bezugsgröße wird in Kohlenstoffdioxid-Äquivalenten bzw. CO₂-Äquivalenten angegeben.

In der vorliegenden Studie wird aus methodischen Gründen nur das CO₂ betrachtet. Die gesamten verkehrlich bedingten THG-Emissionen können aufgrund der teilweise komplexen Klimawirkungen nicht mit den vorliegenden MiD-Daten verschnitten werden. Bestimmte Treibhausgase wirken zeitverzögert bzw. deren Wirkungsintensität ist abhängig von der Höhe, an dem emittiert wird. Diese Angaben liegen bei den erfassten Wegen in der MiD nicht vor und können auch aus den Daten nicht abgeleitet werden.

⁹ Wasserdampf hat einen großen Anteil am Treibhauseffekt, ist aber nur indirekt auf anthropogene Ursachen zurückzuführen und wird deshalb als wichtiger Rückkoppelungsfaktor der globalen Erderwärmung bezeichnet (IPPC 2007). Da er aber in den direkten Emissionen keine Klimarelevanz besitzt, wird Wasserdampf im Folgenden nicht weiter thematisiert.

Abbildung 2: Beitrag zum Treibhauseffekt durch Kohlendioxid und langlebige Treibhausgase 2020



Quelle: UBA 2020d, eigene Darstellung

Weg

Werden die Emissionen im Verkehrssektor analysiert, ist der Weg einer Person eine wichtige Bezugsgröße. Die Definition eines Weges erfolgt in der vorliegenden Studie analog zur MiD: „Von einem Weg wird gesprochen, wenn sich eine Person außer Haus zu Fuß oder mit anderen Verkehrsmitteln von einem Ort zu einem anderen Ort bewegt. Hin und Rückweg werden als zwei Wege gezählt. Erfolgt auf dem Weg zu einem Ziel der Umstieg zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln, bleibt es weiterhin ein Weg. Pro Weg werden alle genutzten Verkehrsmittel erhoben, nicht jedoch der Zeitanteil (mit Ausnahme einer kleinen Stichprobe des Etappenmoduls) und der Entfernungsanteil, der pro Weg auf die verschiedenen Verkehrsmittel entfällt“ (MiD 2019a, 20).

Hauptverkehrsmittel

Auf einem Weg können verschiedene Verkehrsmittel genutzt werden. Um Analysen verständlicher darzustellen, wird für einen Weg nur das wichtigste Verkehrsmittel angegeben: das Hauptverkehrsmittel. Auch hier wird die MiD-Definition übernommen: „Pro Weg wurden alle genutzten Verkehrsmittel erfasst. Wurde nur ein Verkehrsmittel genutzt, so war dieses das Hauptverkehrsmittel. Besteht ein Weg dagegen aus mehreren Etappen, für die unterschiedliche Verkehrsmittel genutzt wurden, wird das Verkehrsmittel zum Hauptverkehrsmittel erklärt, mit dem aller Wahrscheinlichkeit nach, die längste Teilstrecke des Weges zurückgelegt wurde. Dazu wurde auf eine Hierarchisierung der Verkehrsmittel zurückgegriffen“ (ebd., 21). Diese Hierarchisierung umfasst eine Rangliste mit 17 Verkehrsmitteln und einer Kategorie „anderes Verkehrsmittel“, beginnend mit Flugzeug, Reisebus, Fernzug, Schiff/Fähre und Lkw als Fahrer. Am unteren Ende befinden sich Motorrad als Mitfahrer, Moped/Mofa, Fahrrad und ganz am Ende Fußwege.

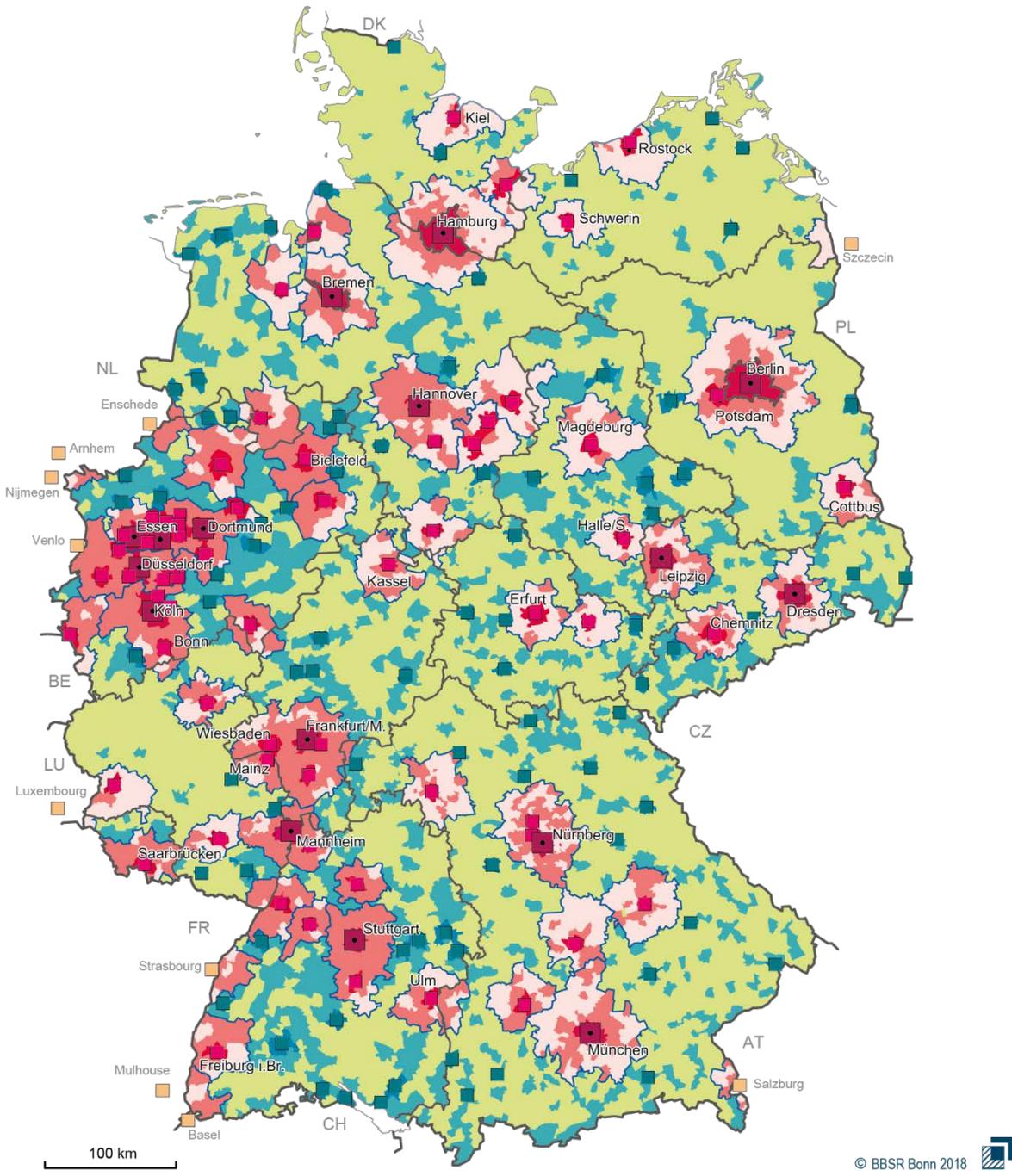
Das Konzept der Hauptverkehrsmittel übt einen Effekt auf die Berechnung der Emissionsmengen nach der Verkehrsleistung aus. Die Zusammenfassung einzelner Etappen mit jeweils verschiedenen Verkehrsmittelnutzungen zu einem Hauptverkehrsmittel überschätzt dessen anteilige Wegelängen systematisch und unterschätzt die Wegelängen der im Hauptverkehrsmittel zusammengefassten Verkehrsmittel unterer Hierarchien. Damit wird auch die gesamte Verkehrsleistung der jeweiligen Verkehrsmittel über- bzw. unterschätzt. Betrachtet man die nach TREMOD ermittelten Emissionsmengen entlang der Hierarchiestufen, so lässt sich daraus nicht erkennen, dass eine Verzerrung stattfindet. Während das Flugzeug einen hohen spezifischen Emissionswert besitzt, ist dieser beim Reisebus oder Fernzug eher niedrig.

Eine Analyse anhand des Etappenkonzepts der MiD-Daten zeigt, dass sich pro Weg etwa 1,14 Etappen ergeben. Diese sind vor allem im ÖPNV und ÖPFV zu finden, dort umfassen etwa vier von fünf Wegen mehr als eine Etappe (vgl. Follmer 2019). Zudem lässt sich beobachten, dass mit steigender Wegelänge der Anteil von Wegen mit mehr als einer Etappe ansteigt. Es ist zu vermuten, dass sich durch das Konzept der Hauptverkehrsmittel eine leichte Überschätzung der Emissionsmengen im SPFV und SPNV ergeben und eine leichte Unterschätzung für den Flugverkehr. Eine Auflösung der Wege in einzelne Etappen kann anhand der Datensätze der MiD nicht erfolgen, da keine Angaben zu den einzelnen Entfernungen der Etappen vorliegen. Es wird zudem angenommen, dass die Abweichungen insgesamt zu vernachlässigen sind, zumal es sich bei den meisten Etappen um relativ kurze Fußwege handelt, deren Einfluss auf die Gesamtemissionen bzw. deren Verzerrungen nicht relevant sind.

Regionalstatistischer Raumtyp (RegioStar)

Regionalstatistische Raumtypen werden genutzt, um die gleichen siedlungsstrukturellen Merkmale von Teilräumen zusammenzufassen. Die Raumtypologie RegioStaR erfasst diese Merkmale auf der Ebene von Gemeindeverbänden und ist damit feiner und differenzierter als Raumtypologien auf der Ebene von Landkreisen und kreisfreien Städten. Die Raumtypologie nach RegioStaR wurde vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur gemeinsam mit dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) konzipiert und in der MiD 2017 verwendet. RegioStaR liegt in unterschiedlichen Differenzierungsstufen vor und umfasst maximal 17 verschiedene Raumtypen. Wie auch in der MiD wird im Bericht eine Differenzierung von sieben regionalstatistischen Raumtypen verwendet (RegioStaR 7) sowie eine dichotome Unterscheidung zwischen Stadt und Land (vgl. Abbildung 3) (s. dazu auch BMVI 2020).

Abbildung 3: Zusammengefasste Regionalstatistische Raumtypologie (RegioStaR 7)



Stadtregionen

- Metropole
- Regiopolen, Großstädte
- Mittelstädte, städtischer Raum
- Kleinstädtischer, dörflicher Raum

Ländliche Regionen

- Zentrale Städte
- Mittelstädte, städtischer Raum
- Kleinstädtischer, dörflicher Raum

— Stadtregionengrenze

- Name
- Grenznahe Großstadt mit stadtregeraler Verflechtung zu Deutschland

Datenbasis: Laufende Raumbewertung des BBSR
 Geometrische Grundlage: Einheitsgemeinden und Gemeindeverbände (generalisiert), 31.12.2015 © GeoBasis-DE/BKG
 Grundkonzeption: BMVI
 Bearbeitung: A. Milbert

Quelle: MiD 2019a

© BBSR Bonn 2018

3.1 Die verwendeten Modelle und Datensätze

In dieser Studie werden zum einen das Emissionsberechnungsmodell TREMOD (Transport Emission Model) in der Version 6.03 (01/2020) verwendet und zum anderen die Datensätze der Verkehrserhebung „Mobilität in Deutschland“ der Erhebungsjahre 2002, 2008 und 2017.

3.1.1 TREMOD – Transport Emission Model

TREMOD bildet den motorisierten Verkehr in Deutschland hinsichtlich Verkehrs- und Fahrleistungen, den zugehörigen Energieverbräuchen und THG- und Schadstoffemissionen für den Zeitraum von 1960 bis 2018 ab und erstellt für die Folgejahre bis 2050 Szenarien, um die zukünftigen Entwicklungen der THG-Emissionen abschätzen zu können. TREMOD betrachtet dabei den Verkehr im Inland. Das schließt auch Verkehr von Ausländern mit ein, wenn er innerhalb der Landesgrenzen Deutschlands erbracht wurde. Flugreisen stellen eine Ausnahme dar, da neben dem Inlandflugverkehr auch der abgehende Flugverkehr bis zur ersten Zwischenlandung in die Bilanzen mit einfließt.

TREMOD basiert auf der Abschätzung von Fahrleistungen, dem Inlandsverbrauch und den zugehörigen Emissionen unter Nutzung zahlreicher Datenquellen. Eine umfassende Beschreibung der genutzten Quellen und den letzten Aktualisierungen des Modells findet sich in der Publikation „Aktualisierung der Modelle TREMOD/TREMOD-MM für die Emissionsberichterstattung 2020“ des Umweltbundesamtes (UBA 2020e). Eine wesentliche Aktualisierung betrifft die Verbrauchswerte für Pkw und leichten Nutzfahrzeuge (LNF) durch Nutzung der Modellierung nach HBEFA 4.1. Damit wurde der zunehmenden Differenz zwischen realen Kraftstoffverbräuchen und den Testzykluswerten begegnet. Die Differenz der Verbräuche von TREMOD 6.03 gegenüber dem Vorgängermodell 5.83 unterscheidet sich um 10 Prozent und übersteigt damit deutlich die Änderungen der spezifischen Verbrauchswerte. Deshalb sollte sowohl eine kombinierte Nutzung unterschiedlicher TREMOD-Versionen wie auch die Verwendung der TREMOD-Versionen aus den jeweiligen Erhebungsjahren der MiD vermieden werden.

In TREMOD 6.03 wurden aufgrund der oben beschriebenen und weiteren Aktualisierungen eine Neuberechnung der Verbrauchs- und Emissionszeitreihen von 1990 bis 2050 durchgeführt. Dadurch können sich auch Emissionsangaben für zurückliegende Jahre verändern. Diese Neuberechnung ermöglicht die Nutzung der MiD-Daten der zurückliegenden Erhebungen von 2002 und 2008, mit dem Ziel, Entwicklungen und Dynamiken entlang der Zeitreihen zu identifizieren.

3.1.2 MiD – Mobilität in Deutschland

Die Studie „Mobilität in Deutschland“ beschreibt die Alltagsmobilität der Wohnbevölkerung in Deutschland. Dabei kommt ein zweistufiges Verfahren zur Anwendung, das Haushaltsbefragung und Stichtagserhebung kombiniert. In der letzten Erhebung von 2017 wurden dafür 156.420 Haushalte innerhalb eines Jahres zunächst zu ihrer Haushaltssituation und anschließend zu ihrem Mobilitätsverhalten an einem vorgegebenen Stichtag befragt. Dabei wurde für jeden Weg, der am Stichtag unternommen wurde, die Start- und Endzeit erfasst, der Zweck dieses Weges, die genutzten Verkehrsmittel, die Anzahl der Begleitpersonen auf diesem Weg, die Entfernung und die räumliche Verortung von Start und Ziel.

Um möglichst viele gesellschaftliche Veränderungen und Entwicklungen innerhalb der Befragung abzubilden, ohne die Befragung zu lang werden zu lassen, wurden erweiterte Befragungsmodule erstellt, die jeweils nur einem Teil der Haushalte vorgelegt wurden. So liegen Angaben für bestimmte Fahrzeugmerkmale oder zu mehrtägigen Reisen nur für einen Teil der Stichprobe vor und können deshalb in dieser Studie nicht verwendet werden. Das methodische Vorgehen der MiD-Erhebung ist im Methodenbericht der MiD detailliert beschrieben (vgl. MiD 2019b). In dieser Studie werden neben der aktuellen Erhebung MiD von 2017 auch die vorausgegangen

Studien aus den Erhebungsjahren 2002 und 2008 mit in die Betrachtungen einbezogen, um Entwicklungen bei den CO₂-Emissionen auch im Längsschnitt erfassen zu können.

Die Ergebnisse der Erhebungen von 2002 und 2008 wurden durch ein einheitliches Hochrechnungskonzept auf Basis der zensuskorrigierten Bevölkerungszahlen neu berechnet und sind dadurch in der Zeitreihe vergleichbar mit den Ergebnissen von 2017 (vgl. MiD 2019c). Hintergrund bilden die im Zensus 2011 ermittelten Bevölkerungszahlen Deutschlands, die um 1,5 Millionen Einwohner niedriger lagen, als auf Grundlage der Fortschreibungen der Bevölkerungszahlen nach den letzten amtlichen Erhebungen angenommen. Zudem weisen die Bevölkerungszahlen durch die Zensuskorrektur andere räumliche Verteilungen auf, die sich von den Ergebnissen der Fortschreibungen unterscheiden.

Trotz dieser Anpassungen handelt es sich bei den Befragungen der MiD um eigenständige Erhebungen, denen zwar das gleiche Studiendesign zugrunde liegt, die aber dennoch als separate Querschnitterhebungen durchgeführt wurden. Der dadurch ermöglichte Zeitreihenvergleich dient der Identifikation großer und klar hervortretender Entwicklungslinien. Kleinere Unterschiede oder Trends sollten nur mit Vorbehalten interpretiert werden oder unberücksichtigt bleiben.

3.2 Festlegungen

Durch die unterschiedlichen Designs und Methoden von TREMOD und MiD erfordert die Verknüpfung der beiden Verfahren einige Festlegungen und Festsetzungen. Für die Berechnungen werden ausschließlich die Angaben aus TREMOD 6.03 genutzt. Auch mit Blick auf die MiD 2002 und 2008 wird TREMOD 6.03 angewendet. Die Emissionswerte für die vergangenen Jahre werden mit dem aktuellen Verfahren neu berechnet. Grundlage sind dabei die statistischen Kennziffern der jeweiligen Jahre. Es handelt sich also um Realwerte. Dadurch lassen sich auch die verkehrlichen Emissionen für die Bezugsjahre 2002 und 2008 bestimmen, ohne dass es zu methodischen Verzerrungen kommt. Für den motorisierten Individualverkehr (MIV) lassen sich zudem durch die aktualisierten Kraftstoffverbräuche nach HBEFA 4.1 eine genauere Bestimmung der Emissionen erwarten.

3.2.1 Auf- und Abschläge

Aufgrund der reduzierten Erfassung differenzierter Pkw-Merkmale in der MiD 2017 werden Pkw-Wege im Berechnungsmodell mit Auf- bzw. Abschlägen versehen, die sich am ökonomischen Haushaltsstatus des Fahrzeughalters orientieren, um auf die angenommene Größe des Pkws zu schließen. Für die Emissionsberechnungen sind Pkw-Größe und das Herstellerjahr zu berücksichtigen.

Das Verfahren wurde auf Grundlage der in der MiD 2008 differenziert erfassten Fahrzeugmerkmale, wie zum Beispiel Hubraum oder Motorleistung, entwickelt. Es hat sich gezeigt, dass der Motorisierungsgrad einen Zusammenhang mit dem Haushaltsstatus aufweist. Daraus konnte eine Spreizung abgeleitet werden, die auf die fahrzeugspezifischen Emissionswerte Anwendung findet. Fahrzeuge von Fahrzeughaltern mit höherem Haushaltsstatus gehen mit einem Aufschlag von zehn Prozent auf die CO₂-Emissionen pro Kilometer in die Emissionsberechnungen mit ein; Fahrzeuge von Fahrzeughaltern mit niedrigem Haushaltsstatus werden mit einem Abschlag von zehn Prozent versehen. Die Quantifizierung der Auf- und Abschläge konnten direkt aus den Erhebungsdaten der MiD 2008 abgeleitet werden. Diese Differenzierung wird in Form von Ab- und Aufschlägen für die 2002er- sowie die 2017er-Berechnung übernommen.

Diese Verfahren werden aus Gründen der Vergleichbarkeit für alle drei Berichtsjahre verwendet. Für Personen in den ökonomisch gesehen unteren Gruppen ergeben sich so einheitlich für alle drei Erhebungen aufgrund der Annahme schwächer motorisierter Fahrzeuge etwas geringere

Emissionswerte bei Pkw-Wegen als im Durchschnitt. Für Personen mit hohem ökonomischen Status entsprechend höhere Werte.

Folgende Überlegungen müssen aufgrund der Übernahme der Spreizung für die Daten der MiD mit einbezogen werden:

- ▶ Haushalte mit höherem ökonomischen Haushaltsstatus verfügen über größere, aber auch neuere Fahrzeuge, die mit modernen Katalysatoren ausgestattet sind. Sie verfügen zudem eher über die ökonomischen Mittel ein älteres Fahrzeug nachzurüsten, z.B. mit SCR-Katalysatoren. Darüber hinaus ist es auch wahrscheinlicher, dass sich diese Haushalte ein vergleichsweise teures Elektrofahrzeug anschaffen können. Dadurch könnte sich die Spreizung verringern, dies sollte aber für den Berichtszeitraum 2017 vernachlässigbar sein.
- ▶ Haushalte mit hohem ökonomischem Status verfügen häufiger über mehrere Fahrzeuge im Haushalt. Der Zweit- oder Drittwagen ist dabei oftmals ein Fahrzeug mit niedrigerem Motorisierungsgrad und geringeren Verbrauchs- und Emissionswerten. Auch dadurch könnte sich die Spreizung verringern.
- ▶ Da in den oberen Fahrzeugsegmenten die realen Verbrauchswerte deutlich über den Herstellerangaben liegen, kann angenommen werden, dass auch der Zusammenhang zwischen Haushaltstatus und Höhe der Fahrzeugemissionen weiterhin besteht.

Mit den vorhandenen Datensätzen lassen sich die oben angestellten Überlegungen nicht in quantifizierbare Aussagen bzw. Werte überführen. Aus diesem Grund wird an der bestehenden Spreizung entlang des ökonomischen Haushaltsstatus festgehalten, wie sie auf Grundlage der Daten der MiD 2008 ermittelt wurde.

Für den öffentlichen Verkehr (ÖV) werden ebenfalls Auf- und Abschläge von zehn Prozent in den Berechnungen einbezogen, um den tageszeitlich bedingten Auslastungen der Verkehrsmittel gerecht zu werden. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass in den Hauptverkehrszeiten (Berufsverkehr) die Verkehrsmittel des ÖV volla ausgelastet sind, hingegen in den Nebenverkehrszeiten eine geringere Auslastung besteht. Empirisch lässt sich das anhand von Verkehrszählungen und Tagesganglinien aufzeigen. Entsprechend der Tageszeit wird jeder Weg mit einem Auf- oder Abschlag versehen (vgl. u.a. Ahrens 2015, Gehrke 2016). Die Höhe des Wertes wurde 2008 gemeinsam mit Verkehrsexperten der Hamburger Hochbahn entwickelt.

3.2.2 Flottenmittelwerte

Aufgrund der fehlenden Fahrzeugmerkmale der MiD gegenüber TREMOD wurden für einige Verkehrsmittel Flottenmittelwerte errechnet, bei denen die Verkehrsleistung für die Gewichtung verwendet wurde. Das betrifft teilweise die Antriebsart für Pkw, Kleinkrafträder, Krafträder, Fernlinienbusse, Linienbusse und sonstige Reisebusse sowie die verschiedenen Lkw-Klassen. Auch beim Schienenverkehr kann der Differenzierungsgrad nach Antriebsarten in der MiD nicht abgebildet werden und es wurden nach Verkehrsleistung gewichtete Flottenmittelwerte gebildet und für die Emissionsberechnungen genutzt. Der Flottenmittelwert ist der Quotient aus der Summe der Produkte aus Verkehrsleistung und verkehrsmittelspezifischem Emissionswert (jeweils nach Antriebsart) und der Gesamtsumme der Verkehrsleistungen über alle Antriebsarten einer Flotte.

3.2.3 Inlandsverkehr

Im Flugverkehr werden in der MiD nur Flüge innerhalb Deutschlands erfasst,¹⁰ in TREMOD sowohl Flüge innerhalb Deutschlands als auch die Flüge zum ersten Zwischenstopp im Ausland. Für die vorliegende Studie werden nur die Emissionswerte von TREMOD für Inlandsflüge berücksichtigt.

Beim MIV ist die Unterscheidung zwischen Inlandsverkehr und Inländerverkehr zu berücksichtigen. Diese Unterscheidung ist im Hinblick auf die Verkehrsleistung und das Verkehrsaufkommen eine relevante Größe. In den Berechnungen dieser Studie werden die fahrzeugspezifischen Emissionswerte in Gramm CO₂ pro Personenkilometer aus TREMOD übernommen und für die Emissionsberechnungen für Inländerverkehre genutzt.

Wie sich die unterschiedlichen Perspektiven auf die Berechnung der Gesamtemissionen auswirken, wird in Kapitel 4.5 diskutiert.

3.3 Methodisches Vorgehen

Unter Berücksichtigung der zuvor beschriebenen Festlegungen und Definitionen wurde auf Grundlage von TREMOD 6.03 eine Liste spezifischer Emissionswerte inklusive Vorkette nach Fahrzeugtyp und Verkehrsmittel in Gramm pro Personenkilometer bereitgestellt. Jedem berichteten Weg innerhalb der MiD wird anhand dieser Liste ein CO₂-Wert zugeordnet, der sich aus den verkehrsmittelspezifischen Emissionswerten multipliziert mit der Länge des Weges ergibt. Hierzu werden die Angaben für die Bezugsjahre 2002, 2008 und 2017 ausschließlich nach TREMOD 6.03 verwendet. Die genutzten verkehrsmittelspezifischen Kennwerte sind der Anlage 1 zu entnehmen. Auf dieser Grundlage lassen sich anhand des Verkehrsaufkommens genaue Emissionsberechnungen durchführen, da in den CO₂-Emissionswerten pro Weg die zugehörigen Distanzen und mittleren Auslastungen als Information enthalten sind.

Wie zuvor beschrieben, wird jedem Wert eine bestimmte Auslastung des Verkehrsmittels zugeordnet. Dabei gilt, je höher die Auslastung eines Verkehrsmittels ausfällt, desto geringer ist der Emissionswert pro transportierter Person in diesem Verkehrsmittel und damit pro Weg. Zusätzlich erfolgt eine Spreizung der Berechnung im Pkw-Bereich abhängig von der angenommenen Größe des Pkw, wie unter 3.2.1 beschrieben.

Die sich so ergebenden hochgerechneten Gesamtwerte für die jährlichen CO₂-Emissionen im Alltagsverkehr zeigen eine akzeptable Übereinstimmung mit den Aggregatberechnungen aus anderen Quellen, sodass die genutzten Verfahren als eine sehr gute Annäherung einzuschätzen sind. Die Abweichungen werden im nächsten Abschnitt dargestellt und diskutiert.

Mit den beschriebenen Verfahren lassen sich nun differenzierte Analysen des Emissionsvolumens durchführen, um die Emissionsquellen und -ursachen zu benennen. Dabei werden drei analytische Perspektiven unterschieden: Längsschnittanalyse zum Vergleich der Erhebungsjahre und damit der zeitlichen Entwicklung, eine Betrachtung der Wegebene und nach Personen im Querschnitt.

¹⁰Zur Erfassung von Flügen innerhalb der MiD vgl. Kap. 3.4.

3.4 Externe Validierung

Nach den offiziellen Angaben des Umweltbundesamtes für die deutsche Berichterstattung betragen die Gesamtemissionen ohne energetische Vorkette¹¹ im Verkehrssektor für das Jahr 2017 169 und für 2018 164 Millionen Tonnen CO₂ (UBA 2020a). Sie liegen damit über den in dieser Studie errechneten Emissionsmengen mit 146 Millionen Tonnen CO₂, jeweils inklusive Vorkette.

Grundlage der vorliegenden Emissionsberechnungen sind die verkehrsmittelspezifischen Emissionswerte nach TREMOD 6.03, die für die MiD-Erhebungsjahre 2002, 2008 und 2017 zurückgerechnet und bereitgestellt wurden. Die verkehrsmittelspezifischen Emissionswerte in Gramm CO₂ pro Personenkilometer werden durch den Quotienten der Gesamtemissionen des Verkehrsmittels inklusive Vorkette und dessen Verkehrsleistung gebildet. Bei der Ermittlung der Verkehrsleistung werden bei TREMOD andere Methoden als bei der MiD angewendet. TREMOD nutzt für die Berechnung des Emissionsaufkommens die Verkehrsleistung des Inlandsverkehrs, um den Bezug zu den verbrauchten Energiemengen in Deutschland herzustellen. Die MiD hat den Alltagsverkehr der deutschen Wohnbevölkerung als analytischen Fokus und nutzt dafür eine Einwohnermeldestichprobe und zusätzlich generierte Festnetz- und Mobilfunknummern. Diese bilden dadurch den sogenannten Inländerverkehr ab und nicht den Inlandsverkehr. Da zudem die Verkehrsleistungen nur bis zur deutschen Grenze bemessen werden bzw. Wege bei einer Entfernung von 1.000 Kilometern gekappt werden, liegt die Verkehrsleistung methodisch bedingt niedriger als die in TREMOD verwendete Verkehrsleistung.

TREMOD nutzt für die Bildung des Inlandverkehrs verschiedene Datenquellen, die in der „Aktualisierung der Modelle TREMOD/TREMOD-MM für die Emissionsberichterstattung 2020“ (UBA 2020e, 164-171) dargestellt sind. In der Summe ergeben sich daraus 945,5 Milliarden Personenkilometer im Jahr 2017 für Pkw und Krafträder, die den Berechnungen der verkehrsmittelspezifischen Emissionen zugrunde gelegt werden (vgl. dazu Tabellen in Anhang 1). Dieser Wert liegt über der Verkehrsleistung der auf Befragung von Inländern basierenden Erhebung der MiD mit 877 Milliarden Personenkilometern im Jahr 2017. Entsprechend liegen die in dieser Studie errechneten Gesamtemissionen des MIV methodisch bedingt um neun Prozent unter den TREMOD-Werten.

Weitere Abweichungen, die den oben erwähnten Unterschieden bei den Gesamtemissionen zugrunde liegen, betreffen den Flugverkehr.¹² Die MiD betrachtet nur Inlandsflüge. Da bei der Erhebung nicht auszuschließen ist, dass von den Befragten auch Flüge ins Ausland angegeben werden, gehen Flüge mit einer maximalen Flugdistanz von 1.000 Kilometern in die Berechnungen der Verkehrsleistung ein. Bei TREMOD werden unter anderem auch die Flüge ins Ausland bis zur ersten Zwischenlandung einbezogen. Für TREMOD ergibt sich daraus eine Verkehrsleistung von 240,2 Milliarden Personenkilometern pro Jahr (ohne Güterflugverkehr; Bezugsjahr 2017), bei der MiD beträgt die Verkehrsleistung des Flugverkehrs rund 23 Milliarden Personenkilometer pro Jahr (Bezugsjahr 2017). Damit umfasst die Verkehrsleistung des Flugverkehrs in der MiD nur zehn Prozent der Verkehrsleistung, die in TREMOD verwendet wird.¹³

Die Abweichungen der nach MiD ermittelten Emissionswerte von den offiziellen Statistiken nach den deutschen Berichtspflichten lassen sich auf die oben benannten unterschiedlichen Abgrenzungen und daraus resultierenden Berechnungsmethoden zurückführen. Zudem ist bei der Erfassung der Emissionen die Unterscheidung ob mit oder ohne Vorkette zu berücksichtigen.

¹¹ Als energetische Vorkette werden die Emissionen definiert, die bei der Förderung und Transport der Primärenergieträger, deren Umwandlung in Kraftwerken und Raffinerien sowie deren Transport bis zum Stromabnehmer bzw. bis zur Tankstelle bezeichnet (vgl. ifeu 2012, 9).

¹² Vgl. dazu auch Kap. 4.3.

¹³ In die Berechnungen der CO₂-Emissionen für den Flugverkehr werden hier deshalb nur die TREMOD-Werte für Flüge bis 1.000 Kilometer Flugdistanz angewendet. Die dabei angegebene Verkehrsleistung beträgt 10,3 Milliarden Personenkilometer pro Jahr.

Auf eine Kalibrierung der errechneten Werte wird verzichtet, da die Unterschiede methodisch begründet sind und keine Berechnungsfehler darstellen. Der Fokus der Studie liegt in der Analyse der spezifischen Aufkommen, um politische Instrumente zu schärfen und wirksamer zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen beizutragen. Diesem Ziel stehen die unterschiedlichen Annahmen und Berechnungsmethoden von TREMOD und MiD nicht entgegen.

4 Ergebnisse Längsschnittanalyse entlang der MiD 2002, 2008 und 2017

4.1 Gesamtmenge der CO₂-Emissionen¹⁴

Im deutschen Verkehrssektor wurden auf Basis der MID im Jahr 2017 rund 146 Millionen Tonnen CO₂ emittiert.¹⁵ Gegenüber 2002 haben die CO₂-Emissionen um sieben Millionen Tonnen zugenommen, seit 2008 um fünf Millionen Tonnen. Seit 2002 sind die Emissionsmengen damit um fünf Prozent gestiegen. Die Verkehrsleistung ist zwischen 2002 und 2017 ebenfalls gestiegen, um 18 Prozent auf 3,2 Milliarden Personenkilometer. Die gemittelten CO₂-Emissionen pro Kilometer haben sich dabei nur unmerklich verringert: 2008 und 2017 lagen sie bei 0,12 Kilogramm, 2002 waren es 0,14 Kilogramm.

Tabelle 1: Gegenüberstellung von Wege- und Emissionskennziffern entlang der Erhebungsjahre 2002, 2008 und 2017

Kennwerte	2002	2008	2017
Verkehrsleistung in Milliarden Pkm/Jahr	992	1.124	1.173
Anzahl Wege pro Person und Tag	3,3	3,4	3,1
Durchschnittliche Länge pro Weg in Kilometern	10	11,2	12,6
Tägl. Verkehrsleistung pro Person in Kilometern	33	38	39
Emissionen pro Jahr in Millionen t CO ₂	139	141	146
Emissionen in kg CO ₂ /Personenkilometer	0,14	0,12	0,12
Emissionen pro Person und Tag in kg CO ₂	4,65	4,73	4,79
Emissionen pro Weg in kg CO ₂	1,41	1,39	1,55

Quellen: MiD 2002, 2008, 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnungen. Rundungsbedingte Abweichungen möglich.

Die Verkehrsleistung pro Person und Tag hat sich 2017 gegenüber 2008 kaum verändert, ist aber gegenüber 2002 deutlich, um sechs Kilometer auf 39 Kilometer pro Tag, gestiegen. Die Emissionen pro Person und Tag lagen damit 2017 bei 4,79 Kilogramm CO₂. Sie haben sich gegenüber 2002 und 2008 geringfügig, aber stetig erhöht. Ebenso werden aktuell pro Weg mit 1,55 Kilogramm CO₂ mehr emittiert als in den Vorjahren, wobei dieser Wert 2008 mit 1,39 Kilogramm CO₂ am niedrigsten war (vgl. Tabelle 1).

Die den Analysen zugrunde liegenden Mobilitätskennziffern zeigen entlang der Erhebungsjahre 2002, 2008 und 2017 unterschiedliche Entwicklungen. Die Anzahl der Wege sinkt, während das Verkehrsvolumen steigt. Im Ergebnis werden weniger, dafür aber längere Wege zurückgelegt. Dadurch verändern sich auch die korrespondierenden CO₂-Emissionen, die entsprechend der Verkehrsleistung im Gesamtvolumen angestiegen sind, aber pro zurückgelegten Kilometer geringer ausfallen.

Die zeitlichen Veränderungen der errechneten Emissionskennwerte fallen eher gering aus und entwickelten sich wie auch die Mobilitätskennziffern in unterschiedliche Richtungen. Während die Gesamtemissionen ansteigen und sich damit von den gesetzten Zielen der Politik entfernen,

¹⁴ Inklusive Vorkette.

¹⁵ Die Abweichungen gegenüber der offiziellen Berichterstattung atmosphärischer Emissionen (UBA 2020a), die für das Jahr 2017 ein Menge von 164 Millionen Tonnen CO₂ angibt, ergeben sich aus den unterschiedlichen methodischen Ansätzen (vgl. Kap. 4 und „externe Validierung“).

haben sich die Emissionswerte für jeden zurückgelegten Kilometer verringert. Abgasnormen, Elektromobilität und andere Ansätze zur Effizienzsteigerung und Emissionsminderung zeigen hier eine leichte Wirkung, die aber von der gestiegenen Verkehrsleistung insgesamt ins Gegenteil verkehrt wird. In der Literatur lassen sich dafür zwei Begründungsansätze finden. Zum einen wird ein Rebound-Effekt vermutet, der vor allem dadurch erzeugt wird, dass effizientere Antriebstechnologien im MIV-Segment eine höhere Verkehrsleistung induzieren und die Effizienzgewinne nicht in vollem Umfang als Emissionsminderungen ausgeschöpft werden. Dieser Annahme steht die These gegenüber, dass ein Anstieg der Verkehrsleistung auf eine prosperierende Wirtschaft zurückzuführen sei und sich nicht allein durch Rebound-Effekte erklären lasse (zur Rezeption dieser Diskussion vgl. Santarius 2012, UBA 2015).

4.2 Emissionen nach Verkehrsmitteln

Der Diskussion um Rebound-Effekte und Wirtschaftswachstum folgend, lassen sich Veränderungen der verkehrsmittelspezifischen CO₂-Emissionen auf drei Ursachen zurückführen:

- ▶ Änderungen aufgrund gesteigener oder verringerter Verkehrsleistungen eines Verkehrsmittels. Dabei ist die Auslastung zu beachten.
- ▶ Änderungen aufgrund technischer Entwicklungen oder fahrzeugseitiger Konfiguration (Motorleistung, höherer Motorisierungsgrad etc.).
- ▶ Änderungen des Modalsplits durch externe Faktoren (politische Maßnahmen, Änderungen von Präferenzen, Einstellungen und Werten)

4.2.1 Der motorisierte Individualverkehr (MIV)

Die Verkehrsleistung hat sich gegenüber 2002 um mehr als 250 Millionen Kilometer auf insgesamt 1.754 Millionen Personenkilometer pro Tag erhöht. Das ist ein Anstieg um 17 Prozent. Dabei haben sich aber die spezifischen Emissionswerte durch den Einsatz effizienterer Technologien verringert. Diese lassen sich in unterschiedlichen Bereichen beobachten, zum Beispiel bei der Verringerung direkter Emissionen durch Partikelfilter und Katalysatortechnologie, durch effizientere Motorentechnologien, durch neue Antriebskonzepte (Elektromotor, Hybridantriebe oder Wasserstoffantrieb), durch neue Kraftstoffe (Biokraftstoffe, synthetische Kraftstoffe) usw.

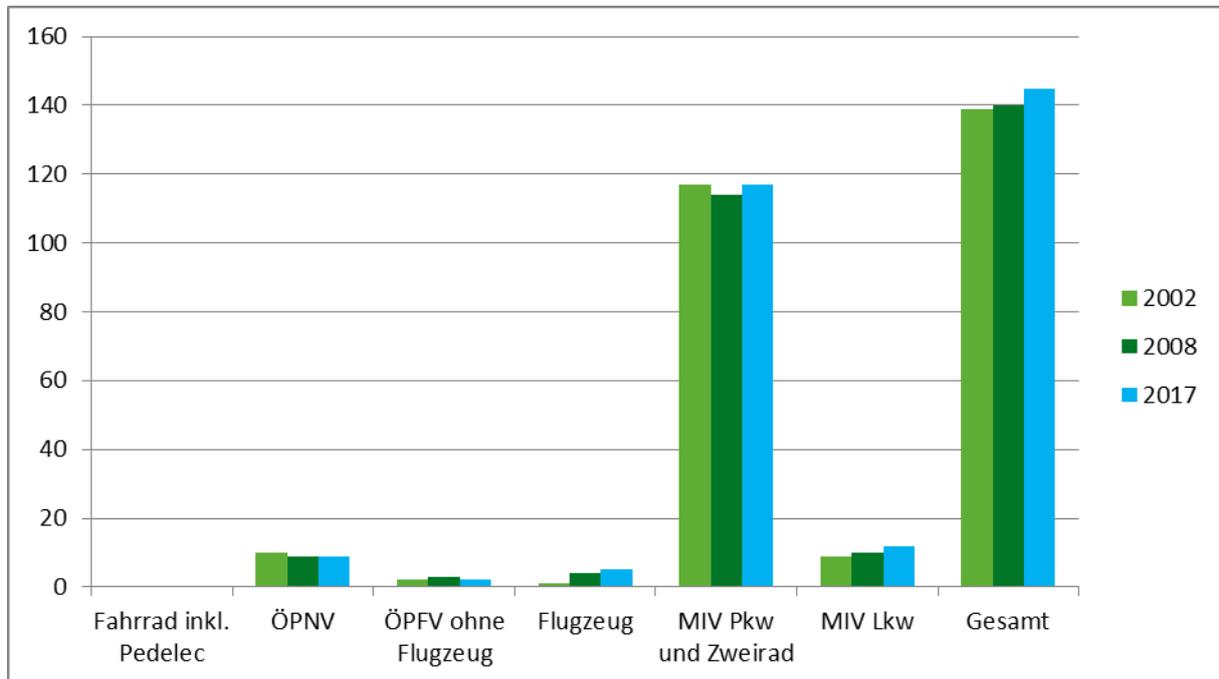
Die Wirksamkeit dieser technischen Ansätze zur Emissionsminderung wurde bislang in standardisierten Verfahren unter Laborbedingungen ermittelt. Es hat sich allerdings gezeigt, dass im Realbetrieb die von den Herstellern angegebenen Emissionswerte um ein Vielfaches überschritten wurden. Aus diesem Grund, um die Emissionshöhe in realen Nutzungssituationen zu ermitteln, wurde das Verfahren zur Ermittlung des Kraftstoff- und Stromverbrauchs sowie zur Ermittlung der Emissionen (ohne CO₂) für Kraftfahrzeuge von NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) auf WLTP (Worldwide harmonized Light Duty Test Procedure) und WLTC (Worldwide harmonized Light Duty Test Cycle) umgestellt. Seit dem 01. September 2018 ist das WLTP-Verfahren für die Erstzulassung neuer Kraftfahrzeuge verpflichtend. In TREMOD werden weiterhin die Verbrauchs- und Emissionswerte des NEFZ-Verfahrens genutzt, aber mit Aufschlägen auf die Typprüfwerte versehen, die mithilfe des PHEM-Modells der TU Graz für die Verkehrssituation im realen Fahrbetrieb ermittelt wurden (vgl. UBA 2020d, 53). Seit 1995 haben sich die Aufschläge mit jedem Jahr vergrößert, 2018 liegen sie für Benzinfahrzeuge bei 36,5 Prozent, für Dieselfahrzeuge bei 42 Prozent (ebd., 54).

Werden die aktualisierten Berechnungsgrundlagen von TREMOD mit dem Verkehrsaufkommen und der Verkehrsleistung der MiD verschnitten, dann ergeben sich für jedes Verkehrsmittel die

in der Abbildung 4 dargestellten Gesamtemissionen. Für Pkws und Zweiräder zeigt sich, dass die technischen Ansätze zur Emissionsminderung keine Wirksamkeit entfaltet haben, vielmehr die Gesamtemissionen gegenüber 2008 angestiegen sind. Ursachen liegen in dem höheren Motorisierungsgrad, einer höheren Verkehrsleistung des MIV und den höheren Emissionen im Realbetrieb, die den technischen Effizienzsteigerungen entgegenwirken.

Abbildung 4: Verkehrsmittelspezifische Emissionen entlang der MiD-Erhebungsjahre

Angaben in Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr



Quellen: MiD 2002, 2008, 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnungen. Rundungsbedingte Abweichungen möglich.

Im verkehrsmittelübergreifenden Vergleich tritt der große Anteil des MIV mit Pkw und Zweirad gegenüber allen anderen Verkehrsmitteln an den Gesamtemissionen von mehr als 80 Prozent deutlich hervor. Im Hinblick auf die Verpflichtungen Deutschlands zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor ist dort der größte Hebel zu erkennen. Maßnahmen zur Emissionsminderung, die über die Effizienzstandards hinausgehen, sollten mögliche Rebound-Effekte antizipieren und bei der Ausgestaltung berücksichtigen, um die Wirksamkeit zu erhöhen. Die seit 2002 unverändert hohen Emissionsmenge des MIV von 117 Millionen Tonnen CO₂ können, wie oben bereits dargelegt, auf ein Wirtschaftswachstum und damit einhergehenden Wohlstandeffekte und bzw. oder auch auf Rebound-Effekte zurückgeführt werden.

4.2.2 Fahrrad, ÖV und Flugverkehr

Für das Fahrrad liegen die CO₂-Emissionen annähernd bei null. Die Emissionen für Pedelecs und Elektrofahrräder werden zwar dem Fahrrad-Segment zugerechnet, sie liegen aber nicht im dargestellten Wertebereich der Abbildung 4. Maßnahmen zur Förderung einer Verkehrsverlagerung auf das Fahrrad (und den Fußverkehr) verfügen damit über ein hohes potenzielles Einsparpotenzial, da zunächst keine direkten emissionssteigernden Rebound-Effekte zu erwarten sind. Mögliche Indirekte Rebound-Effekte können an dieser Stelle nicht diskutiert werden.

Für den öffentlichen Nah- und Fernverkehr lassen sich nur geringe Schwankungen zwischen den Vergleichsjahren feststellen, dabei ist die Verkehrsleistung des gesamten ÖPNV gegenüber 2002 um 35 Prozent gestiegen. Neben effizienteren Antriebstechnologien und der Schließung sogenannter „Diesellücken“ haben auch höhere Auslastungen dazu beigetragen, die Emissions-

mengen trotz Anstieg der Verkehrsleistung konstant zu halten. Nach Statista hat sich die Anzahl der Personen je Zug im Regionalverkehr zwischen 2002 und 2018 um etwa 30 Prozent erhöht (Statista 2020). Im Fernverkehr konnte die Auslastung von 44 Prozent in 2008 auf 55 Prozent in 2017 gesteigert werden (vgl. DB 2008, DB 2018).

Deutliche Emissionssteigerungen ergeben sich für den Flugverkehr, der gegenüber 2002 mit fünf Millionen Tonnen inzwischen die fünffache Menge an CO₂ emittiert. Dabei ist zu beachten, dass in den hier vorliegenden Berechnungen nur Inlandsflüge berücksichtigt werden.¹⁶ Während sich die Anzahl an Einsteigern auf deutschen Flughäfen zwischen 2002 und 2016 um zwei Drittel auf 112 Millionen Passagiere erhöht hat, ist im gleichen Zeitraum der Anteil der Passagiere auf innerdeutschen Flügen nur um ein Viertel auf etwa 25 Millionen gestiegen (vgl. DLR 2017, 13). Der deutliche Anstieg an Emissionen ist demnach auf einen starken Anstieg der Passagierzahlen auf Auslandsflügen und deren Verkehrsleistung innerhalb Deutschlands zurückzuführen. Auslandsflüge werden zwar per Definition von der Erfassung in der MiD ausgeschlossen, jedoch können Befragungsartefakte, also fehlerhafte Angaben, nicht ausgeschlossen werden. Flüge werden deshalb auf eine maximale Flugdistanz von 1.000 Kilometern begrenzt, da längere Flugdistanzen innerhalb Deutschlands unwahrscheinlich sind. Trotzdem können potenziell auch Flüge ins Ausland in die Berechnungen miteinfließen, wenn bei den Interviews entsprechende Angaben gemacht werden. Damit kommt es zu einem Anstieg der Verkehrsleistung im Inlandflugverkehr, auch wenn Flugreisen ins Ausland nicht erfasst werden sollen. Ein Anstieg von Emissionen im Flugverkehr ist deshalb nicht allein auf den Anstieg der Inlandflüge zurückzuführen, sondern zum Teil auch durch die Angabe von Auslandsflügen.

4.2.3 Lkw-Verkehr

Auch die Emissionsmengen im Lkw-Verkehr haben über die Vergleichsjahre hinweg zugenommen und liegen mit 12 Millionen Tonnen CO₂ über denen des ÖPNV und ÖPFV. Anders als im MIV wurden erst im Juni 2019 verbindliche CO₂-Flottengrenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge wie Lkw und Busse vom Europäischen Parlament beschlossen (vgl. EU 2019b). Für den hier zu betrachtenden Zeitraum gab es keine Flottengrenzwerte und damit auch von politischer Seite keine Anreize zur Einführung effizienz erhöhender Technologien. Solche Aktivitäten konnten bislang nur aus der Transportbranche selber kommen, zum Beispiel, um die Betriebskosten zu senken.

Jedoch hat sich insgesamt wenig getan. Der Kraftstoffverbrauch von schweren Nutzfahrzeugen hat sich in den letzten 20 Jahren kaum verringert (vgl. ICCT 2017) und auch kraftstoffsparende Technologien werden nur in geringem Umfang eingesetzt (T&E 2017). Effizienzgewinne lassen sich dadurch bei schweren Nutzfahrzeugen nicht verzeichnen. Die analysierten Emissionssteigerungen sind somit auf eine Erhöhung der Fahrleistung zurückzuführen, die wiederum durch ein verstärktes Wirtschaftswachstum induziert worden sein könnte, wie die oben zitierte These nahelegt. Hier wird es in den nächsten Jahren zu beobachten sein, ob die Einführung der Effizienzstandards für Lkw zu einer Reduktion der Emissionen im Lkw-Verkehr führen wird. Auch hier sind Rebound-Effekte zu erwarten. Zu denken ist dabei an die verringerten Transportkosten aufgrund effizienterer Fahrzeugtechnologien, die eine Just-in-time- bzw. eine Lean-Production wirtschaftlich noch attraktiver machen, da interne Kosten, zum Beispiel für Lagerhaltung, auf den nun günstigeren externen Zulieferverkehr verlagert werden können (vgl. dazu Sachs 1993, 71; Rothenwänder 2009, 69f.).

¹⁶ Dazu auch Kap. 3.4.

4.3 Emissionen nach Wegelängen

Die Zunahme der Gesamtemissionen in 2017 gegenüber den Referenzjahren 2002 und 2008 ist vor allem auf eine Zunahme der Emissionen auf längeren Wegen ab 50 Kilometern zurückzuführen (vgl. Tabelle 2). Bei kürzeren Wegen bis 20 Kilometer kann ein leichter Rückgang beobachtet werden. Ein Modalsplit-Vergleich zwischen MiD 2002 und MiD 2017 entlang von Entfernungsklassen zeigt, dass sich bei allen Wegen bis zu 20 Kilometern der Wegeanteil von Fahrrad und Fußverkehr erhöht hat. Bei Wegen zwischen einem und zwei Kilometern steigt deren Anteil von 40 Prozent auf 48 Prozent, bei Wegen von zwei bis fünf Kilometern Länge von 22 Prozent auf 29 Prozent (vgl. MiD 2019c).

Bei Entfernungen zwischen 20 und 50 Kilometern lässt sich dagegen ein höherer Anteil an Wegen von MIV-Fahrern bei gleichzeitigem Rückgang der Wege von MIV-Mitfahrern beobachten. Dadurch verringert sich der Besetzungsgrad und die Emissionen pro Person steigen an. Auch der ÖPNV-Anteil ist in den oberen Entfernungsklassen gestiegen, allerdings nicht in dem Umfang, um die Emissionssteigerungen durch Wege von MIV-Fahrern zu kompensieren. Über alle Verkehrsmittel hinweg steigen die CO₂-Emissionen in dieser Entfernungsklasse um drei Prozent an.

Tabelle 2: Emissionen nach Wegelänge in Gruppen entlang der MiD-Erhebungsjahre

Angaben in Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr

Entfernungsklassen	2002	2008	2017
unter 0,5 km	0	0	0
0,5 bis unter 1 km	1	1	0
1 bis unter 2 km	2	2	2
2 bis unter 5 km	10	8	8
5 bis unter 10 km	15	14	14
10 bis unter 20 km	26	24	24
20 bis unter 50 km	35	35	36
50 bis unter 100 km	18	17	20
100 km und mehr	33	39	42

Quellen: MiD 2002, 2008, 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnungen. Rundungsbedingte Abweichungen möglich.

Bei langen Wegen von über 100 Kilometer Länge gewinnt der ÖPFV um vier Prozentpunkte dazu und erreicht einen Modalsplit-Anteil von 17 Prozent. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit dem starken Anstieg von Emissionen im Flugverkehr.

Über alle Verkehrsmittel hinweg zeigt sich, dass die Emissionssteigerungen auf längeren Wegen ab 20 Kilometern und vor allem bei den höheren Entfernungsklassen zu verzeichnen sind. Zwei Drittel aller Emissionen im Personenverkehr sind auf Wege ab 20 Kilometern zurückzuführen und 29 Prozent auf Wege von mehr als 100 Kilometern Länge.

5 Ergebnisse der Querschnittanalyse entlang der Wegebene

5.1 Alltägliche Wegezwecke

Die Angabe der Wegezwecke ordnet jedem Weg eine Aktivität zu, aus welchem Grund eine Person das Haus oder den aktuellen Aufenthaltsort verlässt. Bei manchen Wegezwecken kann eine Aktivität der Grund für den Weg sein oder der Weg stellt bereits die Aktivität dar, wie zum Beispiel bei Radtouren, Spaziergängen oder Wanderungen im Segment Freizeitwege.

Die größten Anteile an CO₂-Emissionen entfallen auf die Wegezwecke Arbeit, dienstlich und Freizeit mit jeweils rund 25 Prozent (vgl. Tabelle 3). Gegenüber den Anteilen an der Verkehrsleistung, zeigen sich für diese Wegezwecke zum Teil deutliche Abweichungen. Freizeitwege umfassen ein Drittel der Verkehrsleistung, aber nur ein Viertel der Emissionen. D.h. auf Freizeitwegen wird pro Kilometer weniger CO₂ emittiert als auf beruflichen und dienstlichen Wegen. Auf dienstliche Wege hingegen entfallen ein Viertel aller Emissionen, obwohl sie nur einen Anteil von 17 Prozent an der gesamten Verkehrsleistung besitzen. Fahrten mit schweren Lkws, Sattelzügen usw., die einen hohen CO₂-Ausstoß erzeugen, werden überwiegend dem Segment der dienstlichen Wege zugeordnet. Ein Vergleich der Referenzjahre zeigt, dass die Emissionen im Freizeitverkehr, für Einkauf und auf Arbeitswegen bis 2017 abgenommen haben, während die Emissionen auf dienstlichen und Erledigungswegen gestiegen sind.

Tabelle 3: Gesamtemissionen nach Wegezweck entlang der MiD-Erhebungsjahre

Angaben in Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr

Wegezweck	2002	2008	2017	Anteile CO ₂ -Emissionen (2017)	Verkehrsleistung (2017)
Arbeit	41	41	37	25 %	21 %
Dienstlich	22	25	37	25 %	17 %
Ausbildung	4	5	4	3 %	4 %
Einkauf	13	12	10	7 %	7 %
Erledigung	14	12	17	12 %	12 %
Freizeit	38	39	35	24 %	34 %
Begleitung	7	7	6	4 %	6 %

Quellen: MiD 2002, 2008, 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnungen. Rundungsbedingte Abweichungen möglich.

5.1.1 Berufsbedingter und Ausbildungsverkehr

Die Emissionen an CO₂ auf Arbeitswegen haben sich kontinuierlich verringert und liegen inzwischen mit 37 Millionen Tonnen CO₂ vier Millionen Tonnen unter dem Niveau von 2002. Dies ist ursächlich auf den MIV zurückzuführen, dessen Emissionen auf Arbeitswegen sich im gleichen Zeitraum ebenfalls um vier Millionen Tonnen CO₂ verringert haben. Da die Anzahl an Arbeitswegen konstant geblieben ist, sich die Verkehrsleistung dabei aber um neun Prozent auf 674 Millionen Personenkilometer pro Tag erhöht hat, lassen sich als Ursache für die Emissionsminderungen effizientere Antriebe im MIV-Segment vermuten. Dafür sprechen auch die Kennziffern einzelner Arbeitswege, deren gemittelte Länge seit 2002 um etwa 1,3 Kilometer

gestiegen ist, wobei die Emissionen pro Weg sich aber um zwölf Prozent auf 2,4 Kilogramm verringert haben.

Tabelle 4: Steckbrief Arbeitswege

Steckbrief Arbeitswege	2002	2008	2017
Emissionen (Millionen t CO ₂)	41	41	37
davon MIV	38	37	34
davon ÖV	3	4	3
Anteil an Gesamtemissionen	30 %	29 %	25 %
Kilogramm CO ₂ /Weg	2,73	2,67	2,42
Verkehrsleistung Millionen Pkm/Tag	620	694	674
Anteil Verkehrsleistung	23 %	23 %	21 %

Quelle: MiD 2002, 2008, 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnungen

Diese Entwicklungen der Emissionsminderungen auf Arbeitswegen sind zwar positiv zu bewerten, sollten aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Emissionen pro Weg auf Arbeitswegen und dienstlichen Wegen mit Abstand am höchsten sind. Auf Arbeits- und dienstlichen Wegen wird überdurchschnittlich häufig das Auto genutzt. Vollzeitbeschäftigte nutzen auf drei von vier dienstlichen und auf zwei von drei Arbeitswegen den MIV.

Den größten Anstieg an CO₂-Emissionen zeigen dienstliche Wege mit einem Anstieg von etwa 50 Prozent gegenüber 2008. Als Erklärung kann eine prosperierende Wirtschaft benannt werden, die zwischen 2010 und 2017 pro Jahr um mehr als zwei Prozent gewachsen ist. Dieses Wachstum übersetzt sich in zusätzlichen Verkehr, vor allem im Bereich des Gütertransports. Das zeigt sich auch im Wachstum der Lkw-Flotte. Nach Angaben des KBA haben sich die Bestände an Lkw und Sattelzugmaschinen in 2017 um mehr als vier Prozent gegenüber dem Vorjahr vergrößert (zitiert nach UBA 2018).

Tabelle 5: Steckbrief dienstliche Wege

Steckbrief dienstliche Wege	2002	2008	2017
Emissionen (Millionen t CO ₂)	22	25	37
davon MIV	20	22	32
davon ÖV	3	3	5
Anteil an Gesamtemissionen	16 %	18 %	25 %
Kilogramm CO ₂ /Weg	3,90	4,07	3,56
Verkehrsleistung Millionen Pkm/Tag	300	345	539
Anteil Verkehrsleistung	11 %	11 %	17 %

Quelle: MiD 2002, 2008, 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnungen

Ausbildungswege haben mit drei Prozent einen geringeren Anteil an den Gesamtemissionen als ihr Anteil an der Verkehrsleistung mit vier Prozent. Auf Ausbildungswegen werden auch die geringsten Mengen an CO₂ pro Weg emittiert. Mit 0,6 Kilogramm beträgt dieser Wert gerade mal 25 Prozent des Werts von Arbeitswegen. Die Gründe sind einfach zu benennen: Zum einen sind Ausbildungswege mit einer gemittelten Entfernung von sieben Kilometern eher kurze Wege, zum anderen wird deutlich häufiger der ÖV in Anspruch genommen. Dieser besitzt bei Studierenden auf Ausbildungswegen einen Modalsplit-Anteil von 47 Prozent und damit vier Prozentpunkte mehr als 2002. Der MIV hingegen wird gerade mal auf jedem siebten Ausbildungsweg genutzt und hat gegenüber 2002 um neun Prozentpunkte verloren. Der fortlaufende Ausbau von Ausbildungs- oder Semestertickets leistet dabei einen Beitrag und wirkt emissionsmindernd.

Tabelle 6: Steckbrief Ausbildungswege

Steckbrief Ausbildungswege	2002	2008	2017
Emissionen (Millionen t CO ₂)	5	5	4
davon MIV	3	3	3
davon ÖV	2	2	1
Anteil an Gesamtemissionen	3 %	4 %	3 %
Kilogramm CO ₂ /Weg	0,72	0,68	0,59
Verkehrsleistung Millionen Pkm/Tag	111	147	131
Anteil Verkehrsleistung	4 %	5 %	4 %

Quelle: MiD 2002, 2008, 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnungen

5.1.2 Einkaufs- und Erledigungswege

Auf Einkaufs- und Erledigungswege entfällt etwa ein Fünftel aller verkehrlich erzeugten CO₂-Emissionen. Dies entspricht zusammengenommen, aber auch für den einzelnen Wegezweck, genau dem Anteil an der Verkehrsleistung. Während sich die Emissionen von Einkaufswegen gegenüber 2002 nicht verändert haben, sind diese auf Erledigungswegen um 15 Prozent gestiegen. Das kann auf die gegenläufigen Entwicklungen bei der Verkehrsleistung zurückgeführt werden. Diese hat bei Einkaufswegen gegenüber 2002 um 20 Prozent abgenommen, bei Erledigungswegen ist sie deutlich, um fast 50 Prozent, gestiegen. Da sich die durchschnittlichen Entfernungen von Einkaufswegen mit rund fünf Kilometern seit 2002 nicht geändert haben, sind die Rückgänge an den Gesamtemissionen – von 13 auf neun Millionen Tonnen CO₂ – vor allem auf den Rückgang der Verkehrsleistung zurückzuführen.

Tabelle 7: Steckbrief Einkaufswege

Steckbrief Einkauf	2002	2008	2017
Emissionen (Millionen t CO ₂)	13	12	9
davon MIV	12	11	9
davon ÖV	1	1	0
Anteil an Gesamtemissionen	9 %	9 %	7 %
Kilogramm CO ₂ /Weg	0,63	0,59	0,64
Verkehrsleistung Millionen Pkm/Tag	268	264	217
Anteil Verkehrsleistung	10 %	9 %	7 %

Quelle: MiD 2002, 2008, 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnungen

Eine Art Residualkategorie stellen die Erledigungswege dar, in der zahlreiche unterschiedliche Anlässe zusammengefasst werden. Die MiD 2017 benennt insgesamt 15 Unterkategorien, die als Erledigung erfasst werden. Dazu zählen unter anderem ein allgemeiner Einkaufsbummel; medizinische Dienstleistungen; Behördengänge; Betreuung Familienmitglieder; Weiterbildung (z. B. Sprachkurse); Restaurantbesuche; das Ausführen des Hundes; Kirchgang; politische Aktivitäten; Jobben in der Freizeit gegen Entgelt; Begleitung von Kindern (z. B. Spielplatz etc.); Hobby (z. B. Musizieren). Diese überschneiden sich teilweise mit anderen Wegezwecken wie Freizeit, Einkauf oder Begleitung. Veränderungen in dieser Wegekategorie lassen sich nicht auf einzelne externe Faktoren zurückführen, wodurch auch politische Steuerungsmaßnahmen wenig in diesem Wegesegment bewirken können. Dazu müssten die zuvor benannten Unterkategorien im Einzelnen analysiert werden.

Tabelle 8: Steckbrief Erledigungswege

Steckbrief Erledigung	2002	2008	2017
Emissionen (Millionen t CO ₂)	14	12	17
davon MIV	12	12	16
davon ÖV	1	1	1
Anteil an Gesamtemissionen	10 %	9 %	12 %
Kilogramm CO ₂ /Weg	1,06	0,96	1,22
Verkehrsleistung Millionen Pkm/Tag	256	268	376
Anteil Verkehrsleistung	9 %	9 %	12 %

Quelle: MiD 2002, 2008, 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnungen

5.1.3 Freizeitverkehr

Freizeitwege zeichnen sich durch ihre große Heterogenität aus, die der von Erledigungswegen ähnelt, mit dem Unterschied, dass Freizeitwege eine geringere Notwendigkeit besitzen. Zudem kennzeichnet ein Teil der Freizeitwege die Besonderheit, dass sie nicht ausschließlich der Raumüberwindung dienen, um einen Zielort zu erreichen. Vielmehr stellt der Weg selber den Zweck dar. Beispiel dafür sind Spaziergänge, Fahrradtouren oder Vergnügungsfahrten mit dem Motorrad oder Auto.

Tabelle 9: Steckbrief Freizeitwege

Steckbrief Freizeitverkehr	2002	2008	2017
Emissionen (Millionen t CO ₂)	38	39	35
davon MIV	35	33	30
davon ÖV	3	6	5
Anteil an Gesamtemissionen	27 %	28 %	24 %
Kilogramm CO ₂ /Weg	1,25	1,26	1,36
Verkehrsleistung Millionen Pkm/Tag	1.005	1.178	1.098
Anteil Verkehrsleistung	37 %	38 %	34 %

Quelle: MiD 2002, 2008, 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnungen

Die Emissionsmengen im Freizeit-Segment sind in den letzten Jahren gesunken und liegen mit 35 Millionen Tonnen CO₂ um etwa acht Prozent niedriger als 2002. In diesem Zeitraum hat der ÖV im Freizeit-Segment die CO₂-Emissionen mit fünf Millionen Tonnen gegenüber 2002 jedoch fast verdoppelt. Im MIV hingegen werden gegenüber 2002 etwa 15 Prozent weniger emittiert. Die Emissionen pro Weg hingegen sind gegenüber 2002 um neun Prozent gestiegen, da sich auch die Distanzen pro Weg im gleichen Zeitraum von 14 auf 15,5 Kilometer um fast elf Prozent vergrößert haben.

Diese Veränderungen lassen sich durch den Anstieg des Flugverkehrs erklären, der dem ÖV zugerechnet wird. Bei Wegen über 100 Kilometern Länge hat der öffentliche Fernverkehr seinen Modalsplit-Anteil von 13 Prozent auf 17 Prozent vergrößert.

5.1.4 Begleitung – Bringen und Holen von Personen

Die Begleitung, also das Bringen oder Holen von Personen, trägt mit sechs Millionen Tonnen CO₂ etwa vier Prozent an den Gesamtemissionen bei. Diese entfallen ausschließlich auf den MIV, die Emissionsmengen im ÖV befinden sich im nicht dargestellten Wertebereich und sind in diesem Segment zu vernachlässigen. Gegenüber der MiD 2002 und 2008 haben sich die Emissionen absolut und anteilig etwas verringert. Der Anteil an der Verkehrsleistung ist konstant geblieben, hat sich aber aufgrund des Anstiegs der gesamten Verkehrsleistung absolut gesehen leicht erhöht und liegt nun bei 179 Millionen Personenkilometer pro Tag.

Der hohe Anteil an Emissionen, der bei der Begleitung von Personen auf den MIV entfällt, findet sich auch im Modalsplit nach Verkehrsmittelnutzung bei Kindern im Alter von sechs bis zehn Jahren wieder. Mehr als zwei von drei Wegen werden in dieser Altersgruppe als MIV-Mitfahrer zurückgelegt. Das ist neben Erledigungsfahrten der höchste Anteil des MIV an allen Wegezwecken. Dieser Wert findet seine Entsprechung bei den Vollzeitbeschäftigten. Auf drei von vier

Wegen, auf denen sie Personen begleiten, sind sie als MIV-Fahrer unterwegs. Die Zahlen deuten auf eine Mobilitätskultur hin, in der Kinder bereits im frühen Alter an das Bringen und Holen im elterlichen Pkw gewöhnt werden, sei es zur Schule, zum Sport oder anderen Freizeitaktivitäten. Diese Sozialisation zum Autofahren prägt auch zukünftiges Verkehrsverhalten (vgl. Zeit Online 2018).

Tabelle 10: Steckbrief Begleitungswege

Steckbrief Begleitungswege	2002	2008	2017
Emissionen (Millionen t CO ₂)	7	7	6
davon MIV	7	7	6
davon ÖV	0	0	0
Anteil an Gesamtemissionen	5,0 %	5,0 %	4,1 %
Kilogramm CO ₂ /Weg	0,83	0,78	0,85
Verkehrsleistung Millionen Pkm/Tag	158	185	179
Anteil Verkehrsleistung	5,8 %	6,0 %	5,6 %

Quelle: MiD 2002, 2008, 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnungen

5.2 Ausgewählte Wegezwecke nach Entfernungsklassen

Eine Betrachtung des Emissionsaufkommens nach Wegezweck und Entfernungsklassen verdeutlicht die Bedeutung der Entfernungintensität an den Emissionsmengen. Dabei treten die Besonderheiten spezifischer Wegezwecke deutlich hervor. Dies wird umso deutlicher, wenn zudem nach Verkehrsmittelnutzungen unterschieden wird, wie im Folgenden dargestellt.

5.2.1 Arbeitswege

Bei Arbeitswegen in den unteren Entfernungsklassen von bis zu einem Kilometer Länge haben Fuß- und Radwege den größten Anteil am Modalsplit. Mit 0,1 Prozent ist der Anteil an den gesamten CO₂-Emissionen über alle Verkehrsmittel hinweg in diesen Entfernungsklassen sehr gering. Dabei fällt der hohe Anteil des MIV in den unteren Entfernungsklassen auf, der bei Wegen bis 0,5 Kilometer bereits zwölf Prozent und bei Wegen von 0,5 bis einem Kilometer etwa 28 Prozent beträgt. Trotzdem bleiben die Emissionsmengen aufgrund der geringen Entfernung niedrig. Über alle Verkehrsmittel hinweg entfallen auf Arbeitswege bis zehn Kilometern Länge zwölf Prozent aller CO₂-Emissionen, obwohl 56 Prozent aller Arbeitswege in diese Entfernungsklassen fallen.

Dieses Verhältnis dreht sich bei längeren Wegen um. Während auf Arbeitswege zwischen 10 und 50 Kilometern Länge etwa 57 Prozent aller CO₂-Emissionen entfallen, beträgt deren Anteil an allen Wegen nur 39 Prozent. Arbeitswege von mehr als 50 Kilometern Länge machen 5 Prozent aller Arbeitswege aus, sind aber für 30 Prozent der CO₂-Emissionen verantwortlich (vgl. Tabelle 11).

Tabelle 11: Emissionsanteile nach Entfernungsklassen und Wegezwecken

Entfernungsklassen	Arbeit	Einkauf	Freizeit
Unter 0,5 km	0,0%	0,2%	0,0%
0,5 bis unter 1 km	0,1%	1,3%	0,2%
1 bis unter 2 km	0,5%	4,7%	0,8%
2 bis unter 5 km	3,2%	17,7%	4,2%
5 bis unter 10 km	8,3%	21,5%	7,4%
10 bis unter 20 km	20,3%	21,3%	12,0%
20 bis unter 50 km	36,7%	18,2%	17,4%
50 bis unter 100 km	15,5%	6,1%	12,7%
100 km und mehr	15,4%	9,0%	45,2%

Quellen: MiD 2017, alle Verkehrsmittel

Auch wenn sich die Werte gegenüber 2008 verringert haben, ist der MIV in allen Entfernungsklassen bis 100 Kilometern für über 90 Prozent der CO₂-Emissionen verantwortlich. Bei den unteren Entfernungsklassen bis zwei Kilometern sogar zu 97 Prozent. Die Emissionsanteile des ÖV sind entsprechend gering und liegen bei Wegen bis zu zwei Kilometern Länge bei drei Prozent oder weniger und steigen bei Wegen von zwei bis unter 50 Kilometern auf etwa sechs Prozent an. Bei längeren Wegen nehmen die Emissionsanteile des ÖV deutlich zu. So liegt der Anteil an den CO₂-Emissionen bei Wegen zwischen 50 und unter 100 Kilometern bereits bei acht Prozent, bei Wegen über 100 Kilometer Länge bei über 15 Prozent. Dies ist auf einen höheren Anteil an Flügen bei den höheren Entfernungsklassen zurückzuführen, der erst bei Entfernungen ab 100 Kilometern zum Tragen kommt. Gegenüber 2002 hat sich der Anteil des ÖV an den Emissionen in dieser Entfernungsklasse nahezu verdoppelt.

Bemerkenswert ist zudem der Anstieg des ÖV-Anteils am Modalsplit zwischen 2008 und 2017 in der obersten Entfernungsklasse (über 100 Kilometer) von 20 auf 31 Prozent, also ein Anstieg von etwa 50 Prozent, während der Emissionsanteil um gerade mal zehn Prozent von 14 auf 15,4 Prozent gestiegen ist. Zwischen 2008 und 2017 haben sich die Emissionen in dieser Entfernungsklasse von fast 26 Kilogramm CO₂ auf 15 Kilogramm CO₂ pro Weg deutlich verringert.

5.2.2 Einkauf

Für Einkaufswege zeigt sich ein recht ähnliches Bild wie zuvor für die Arbeitswege beschrieben. Auch hier lassen sich hohe Wegeanteile für Fußwege im Nahbereich bis 0,5 Kilometer von fast 75 Prozent beobachten. Die Fahrradanteile sind in den Entfernungsklassen von 0,5 bis zwei Kilometer mit etwa 20 Prozent am höchsten. Auch hier lassen sich bereits in den unteren Entfernungsklassen recht hohe MIV-Anteile beobachten. Bereits bei Wegen zwischen einem bis unter zwei Kilometern wird zu fast 60 Prozent der MIV (Fahrer und Mitfahrer) in Anspruch genommen. Entsprechend hoch sind die Anteile an den CO₂-Emissionen. Diese liegen dadurch in fast allen Entfernungsklassen bei über 97 Prozent. Nur in den oberen Entfernungsbereichen sinkt der Anteil leicht und erreicht auf Wegen von 50 bis unter 100 Kilometern den geringsten Anteil von 94 Prozent. Im Gegensatz zu den Arbeitswegen nimmt der MIV Anteil in den oberen Entfernungsklassen nicht ab, da für entfernungsintensive Einkaufswege die Nutzung des ÖV und damit auch des Flugzeugs nicht zu beobachten ist. Dadurch liegen die Emissionsanteile des ÖV für alle Entfernungsklassen – mit der zuvor benannten Ausnahme – bei maximal 3,6 Prozent auf Einkaufswegen.

5.2.3 Freizeitwege

Der Anteil der Fußwege im Freizeitsegment ist innerhalb der unteren Entfernungsklassen deutlich höher als bei den anderen zuvor beschriebenen Wegezwecken. Für Wege bis 500 Meter beträgt der Anteil 84 Prozent, bei Wegen zwischen 0,5 und einem Kilometer 60 Prozent und bei Wegelängen zwischen zwei und fünf Kilometern liegt der Anteil immer noch bei über 30 Prozent. Selbst bei Wegen zwischen fünf bis unter zehn Kilometern, wird mehr als jeder siebte Weg zu Fuß bestritten. Für Fußwege und auch für nahezu alle Fahrradwege kann eine Zunahme des Anteils am Modalsplit innerhalb der unteren Entfernungsklassen gegenüber den Erhebungsjahren 2002 und 2008 beobachtet werden.

Bei Fahrradwegen gibt es Emissionswerte nur für das Jahr 2017, die durch die Pedelec-Nutzung verursacht werden. Informationen zur Pedelec-Nutzung und den korrespondierenden Emissionswerten liegen für die Erhebungsjahre 2002 und 2008 nicht vor. Emissionen im Radverkehr treten dabei nicht nur für die kürzeren Wege auf, sondern auch in den oberen Entfernungsklassen zwischen zehn bis unter 50 Kilometern. Hier ist zu vermuten, dass die Unterstützung durch den Hilfsmotor bei Pedelecs auch größere Reichweiten im Radverkehr erzeugt, insbesondere im Freizeitverkehr. Dabei bleibt der Anteil an den gesamten Emissionen mit 0,1 Prozent jedoch sehr gering.

Die Anteile für MIV-Fahrer sind niedriger als bei den beiden zuvor beschriebenen Wegezwecken „Arbeit“ und „Einkauf“ und nehmen mit steigender Entfernung kontinuierlich ab. Bei Wegen von 100 Kilometern Länge oder mehr sind MIV-Fahrer nur noch für knapp die Hälfte aller Emissionen dieser Entfernungsklasse verantwortlich. Dagegen liegen die Anteile der CO₂-Emissionen für MIV-Mitfahrer im Freizeitsegment deutlich über den Werten der beiden anderen Wegezwecke und steigen bei den höheren Entfernungsklassen ab 50 Kilometern auf fast 30 Prozent an. Dennoch bleiben die Emissionen des MIV für Fahrer und Mitfahrer aufsummiert im Freizeitsegment niedriger als bei den Wegezwecken Arbeit und Einkauf (vgl. Tabelle 12).

Tabelle 12: Anteil an Emissionen nach Entfernungsklassen für MIV (Fahrer und Mitfahrer) entlang der Wegezwecke Arbeit, Einkauf und Freizeit in 2017

Entfernungsklassen	Arbeit	Einkauf	Freizeit
unter 0,5 km	98,5 %	99,2 %	96,4 %
0,5 bis unter 1 km	98,1 %	98,8 %	96,5 %
1 bis unter 2 km	96,7 %	98,2 %	95,6 %
2 bis unter 5 km	94,5 %	97,4 %	93,0 %
5 bis unter 10 km	93,6 %	97,0 %	91,9 %
10 bis unter 20 km	94,7 %	97,2 %	92,9 %
20 bis unter 50 km	94,1 %	96,4 %	91,9 %
50 bis unter 100 km	92,1 %	93,7 %	88,6 %
100 km und mehr	84,6 %	96,9 %	80,4 %

Quellen: MiD 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnung

Gegenüber den vorherigen Erhebungen sind die Anteile jedoch deutlich gefallen. 2002 lagen die Anteile für MIV-Mitfahrer an den Gesamtemissionen auf Wegen über 50 Kilometern noch bei deutlich mehr als einem Drittel.

Tabelle 13: Anteil an Emissionen nach Entfernungsklassen für den ÖPV entlang der Wegezwecke Arbeit, Einkauf und Freizeit in 2017

Entfernungsklassen	Arbeit	Einkauf	Freizeit
unter 0,5 km	1,5 %	0,7 %	3,5 %
0,5 bis unter 1 km	1,8 %	1,2 %	3,4 %
1 bis unter 2 km	3,2 %	1,7 %	4,4 %
2 bis unter 5 km	5,5 %	2,6 %	6,9 %
5 bis unter 10 km	6,4 %	3,0 %	8,0 %
10 bis unter 20 km	5,3 %	2,8 %	7,0 %
20 bis unter 50 km	5,8 %	3,6 %	8,0 %
50 bis unter 100 km	7,9 %	6,3 %	11,4 %
100 km und mehr	15,4 %	3,1 %	19,6 %

Quellen: MiD 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnung

Der ÖV hat im Freizeit-Segment in allen Entfernungsklassen die höchsten Anteile an CO₂-Emissionen im Vergleich zwischen den Wegezwecken zu verzeichnen. Bereits bei Wegen bis zwei Kilometern entfallen rund vier Prozent aller CO₂-Emissionen dieser Entfernungsklasse auf den ÖV. In den mittleren bis oberen Entfernungsklassen zwischen zwei und 50 Kilometern steigt der Anteil bereits auf sieben bis acht Prozent. Bei Wegen von über 100 Kilometern Länge hat der ÖV einen Anteil von fast 20 Prozent an den CO₂-Emissionen. Dieser Wert hat sich zwischen 2002 und 2008 mehr als verdoppelt und ist seitdem konstant (vgl. Tabelle 13). Es kann vermutet werden, dass die Angebote der Billig-Airlines zu diesem sprunghaften Anstieg beigetragen haben. Dies wird auch in Tabelle 13 deutlich, nach der auf Wege mit mehr als 100 Kilometern Länge etwa 45 Prozent der CO₂-Emissionen des Freizeitverkehrs entfallen.

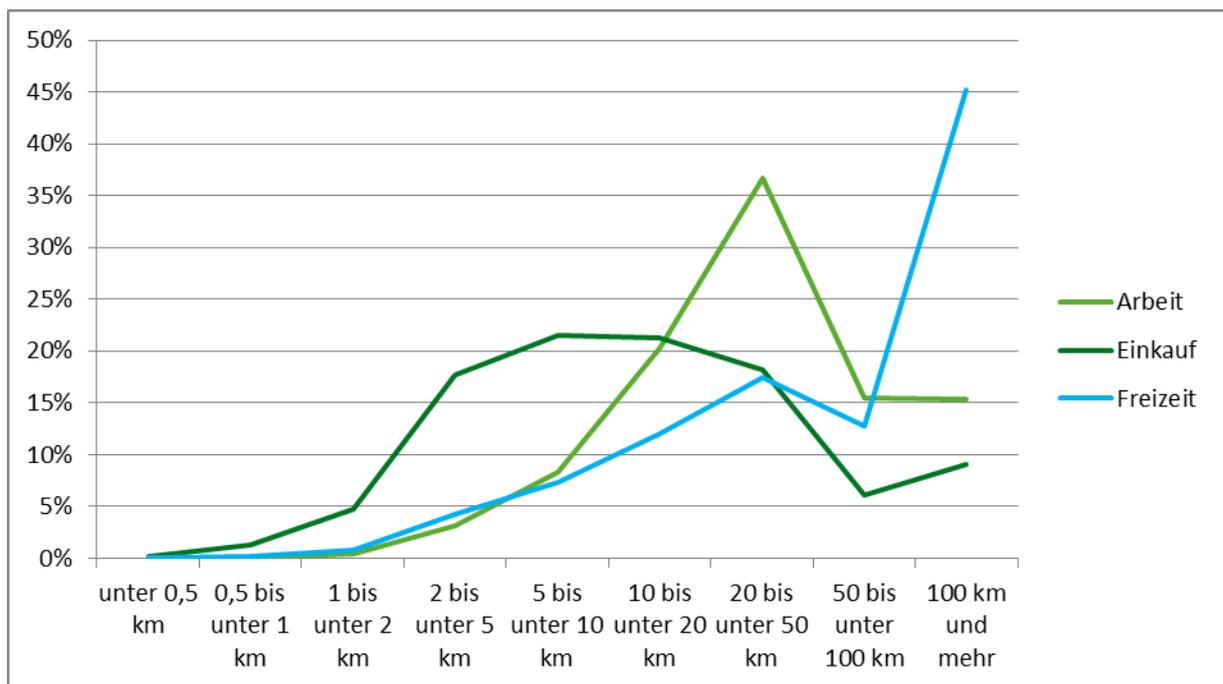
5.2.4 Bewertung

Bei der Betrachtung der Emissionsanteile nach Entfernungsklassen zeigen sich in der Differenzierung nach Wegezwecken unterschiedliche Muster, die in der grafischen Darstellung deutlicher hervortreten (vgl. Abbildung 5). Für Einkaufswege zeigt sich eine der Normalverteilung ähnelnde Kurve mit den höchsten Anteilen an CO₂-Emissionen bei Wegen zwischen 5 und 20 Kilometern. Nur der Ausschlag nach oben bei Wegeentfernungen von mehr als 100 Kilometern weicht von diesem Vergleich ab.

Anders die Kurve der Arbeitswege, die linksschief ist und die höchsten Emissionsanteile in der Entfernungsklasse von 20 bis 50 Kilometern aufweist. In den unteren Entfernungsklassen lassen sich nur geringe Emissionsanteile beobachten, was sich durch den höheren Modalsplitanteil von Fahrrad und Fußwegen erklären lässt.

Im Freizeitverkehr wird der hohe Einfluss von Flugreisen deutlich, die als ursächlich für den hohen Emissionsanteil auf Wegen von über 100 Kilometer Länge angesehen werden muss. Der Anteil der Wege in dieser Entfernungsklasse an den gesamten CO₂-Emissionen im Freizeitverkehr beträgt über 45 Prozent. Dem entspricht ein Anteil von vier Prozent an der Gesamtsumme der Emissionen dieser Wegezwecke über alle Entfernungen hinweg.

Abbildung 5: Emissionsanteile nach Entfernungsklassen und Wegezwecken



Quellen: MiD 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnungen, alle Verkehrsmittel

6 Ergebnisse der Querschnittanalyse entlang der Personenebene

Während zuvor Wege die Analyseebene bildeten und gefragt wurde, auf welchen Wegen und zu welchen Anlässen welche Emissionsmengen entstehen, werden im folgenden Kapitel Personen betrachtet. Dabei stehen dann nicht mehr die Emissionsmengen pro Weg im Mittelpunkt der Analysen, sondern die Mengen an CO₂ pro Kopf und Tag.

6.1 Regionalstatistische Raumtypologie (RegioStaR) und Bundesländer

Je dichter die Stadt, desto kürzer die Wege und desto geringer die Emissionen. Diese Formel kann entlang der regionalen Raumtypen nach RegioStaR7 beobachtet werden. Metropolen verzeichnen zwischen 2002 und 2017 mit 9,8 Prozent das höchste Bevölkerungswachstum aller Raumtypen. Das gilt auch für die Verkehrsleistung, die im gleichen Zeitraum um 40 Prozent angestiegen ist. In den anderen Raumtypen ist das Bevölkerungswachstum deutlicher geringer, in ländlichen Regionen sogar negativ, obwohl die Verkehrsleistung durchgängig gestiegen ist. Und dies teilweise sogar sehr deutlich: In zentralen Städten der ländlichen Regionen ging die Bevölkerung um 0,4 Prozent zurück, dennoch wuchs die Verkehrsleistung um 21 Prozent.

Ein ähnliches Bild zeigt sich auch bei den CO₂-Emissionen pro Weg entlang der Raumtypen. Gegenüber 2002 werden in ländlichen Regionen pro Weg bis zu 20 Prozent mehr emittiert, in den verschiedenen Teilräumen städtischer Regionen liegt dieser Wert zwischen zwei und zehn Prozent und damit deutlich niedriger (vgl. Tabelle 14).

Tabelle 14: Emissionen pro Weg und Person nach RegioStaR7

Angaben in Kilogramm CO₂

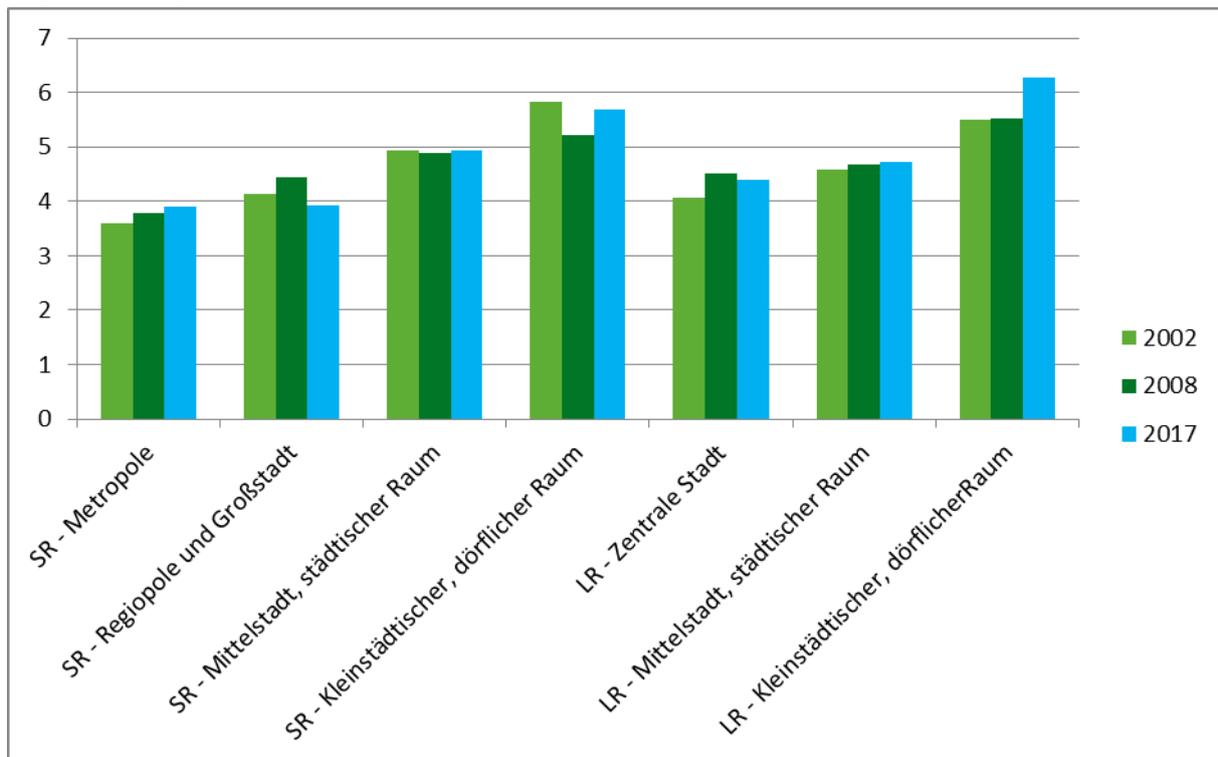
	2002	2008	2017
STADTREGIONEN			
Metropole	1,12	1,12	1,23
Regiopole und Großstadt	1,23	1,29	1,25
Mittelstadt, städtischer Raum	1,47	1,44	1,61
Kleinstädtischer, dörflicher Raum	1,82	1,56	1,86
LÄNDLICHE REGIONEN			
Zentrale Stadt	1,18	1,28	1,41
Mittelstadt, städtischer Raum	1,41	1,37	1,52
Kleinstädtischer, dörflicher Raum	1,75	1,67	2,07

Quellen: MiD 2002, 2008, 2017

Im Ergebnis zeigen Metropolen und Großstädte geringere Emissionen pro Kopf und pro Weg als eher ländlich geprägte Regionen. Dies ist vor allem auf kürzere Wege zurückzuführen. Durch die hohe funktionale Dichte lassen sich Einkäufe und andere Erledigungen schnell und einfach zu Fuß oder mit dem Fahrrad erledigen. Dennoch lassen sich negative Entwicklungen aufzeigen, die auf die starke Bevölkerungszunahme zurückzuführen sind. Wege werden länger, die Tagesstrecken wachsen an und die Unterwegszeit hat sich um über 15 Prozent auf 91 Minuten erhöht. Dadurch nehmen die Emissionen insgesamt und pro Weg sowie pro Kopf zu, auch wenn sie bislang unter denen der ländlichen Räume liegen (vgl. Abbildung 6).

Abbildung 6: Emissionen pro Kopf und Tag nach RegioStaR7

Angaben in Kilogramm CO₂



SR = städtischer Raum; LR = ländlicher Raum

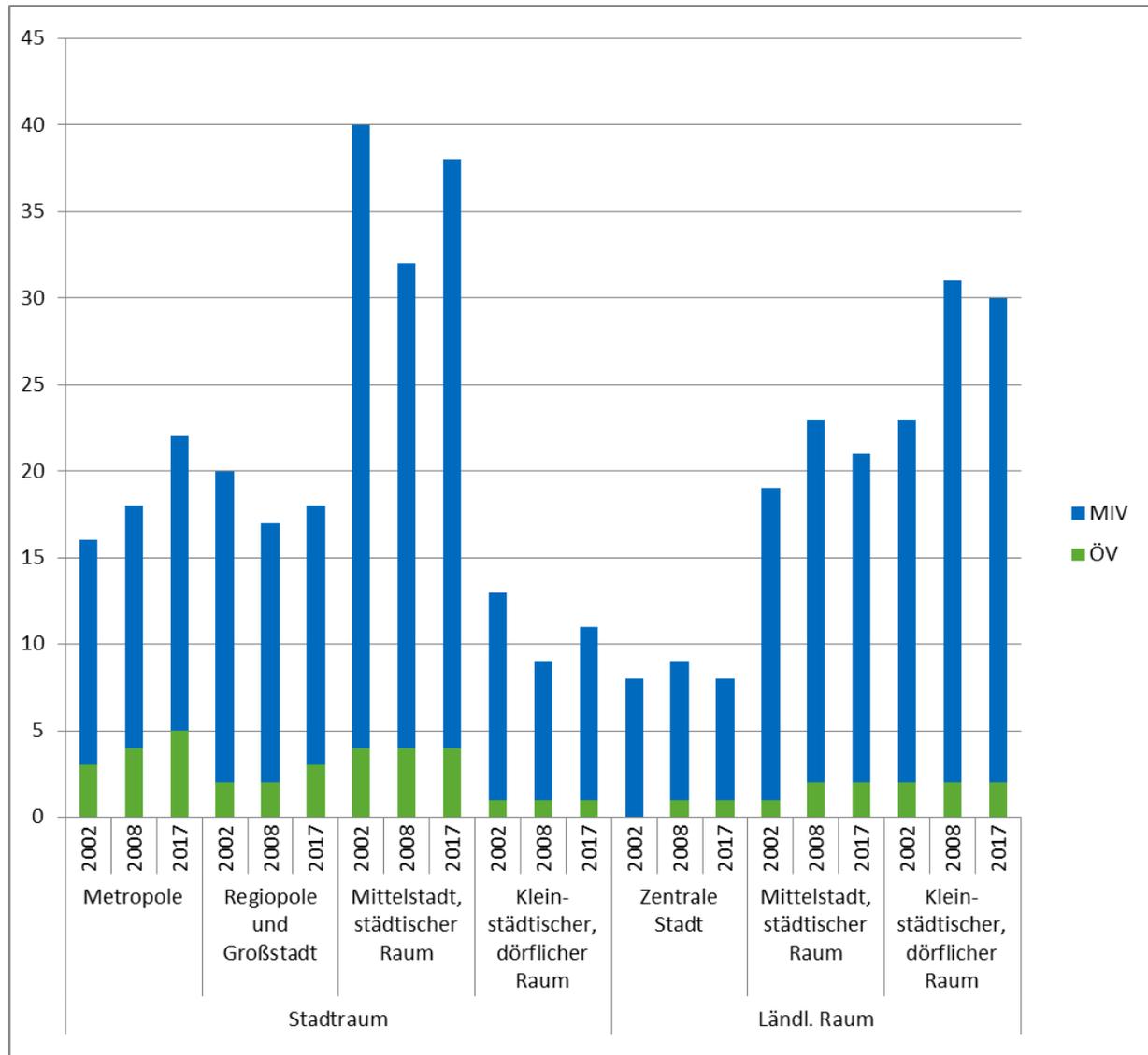
Quellen: MiD 2002, 2008, 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnung

Aber auch im ländlichen Raum steigen die durchschnittlichen Verkehrsleistungen, Wegelängen und Emissionsmengen an. Die Räume sind dabei jedoch von Bevölkerungsverlusten geprägt. Die Folgen des dadurch beschleunigten demografischen Wandels verändern einige Lebensbereiche sehr deutlich. Insbesondere durch Schulschließungen, die Zentralisierung von Versorgungs- und Verwaltungseinheiten sowie ein qualitativ deutlich schlechteres ÖV-Angebot werden für die Einwohner längere MIV-Fahrten erforderlich – mit entsprechend steigenden Emissionsmengen. In den dörflichen Räumen ländlicher Regionen werden im täglichen Durchschnitt pro Kopf 6,3 Kilogramm CO₂ emittiert, 60 Prozent mehr als in Metropolen, Regiopolen und Großstädten.

Werden die Emissionen für ÖV und MIV differenziert ausgewiesen und vergleicht die Entwicklung der CO₂-Emissionen entlang der Erhebungsjahre 2002, 2008 und 2017, dann zeigt sich, dass der ÖV nur einen geringen Teil an den Emissionen verursacht, der größte Teil entfällt auf den MIV. Zudem lässt sich erkennen, dass in Stadträumen der Emissionsanteil für den ÖV generell größer ist als in ländlichen Regionen. Zwischen 2002 und 2017 hat sich der Anteil des ÖV an den Gesamtemissionen über alle Raumtypen hinweg leicht vergrößert (vgl. Abbildung 7). Zudem zeigt sich, dass die Bewohner von städtischen Räumen und des Raumtypus „Mittelstadt, städtischer Raum“ den größten Anteil an den Emissionen haben. Dort entstehen etwa 25 Prozent der Gesamtemissionen im Verkehr. Danach folgt der Typus des kleinstädtischen, dörflichen Raums der ländlichen Räume. Diese beiden Typen zeigen auch die größten Veränderungen entlang der MiD-Erhebungsjahre 2002, 2008 und 2017. Die geringsten Anteile an den Gesamtemissionen entfallen auf die zentralen Städte der ländlichen Räume mit einem Beitrag von knapp über fünf Prozent.

Abbildung 7: Emissionen in Millionen Tonnen CO₂ nach Raumtypen differenziert nach den Verkehrsmitteln ÖV und MIV entlang der MiD-Erhebungsjahre 2002, 2008 und 2017

Angaben in Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr

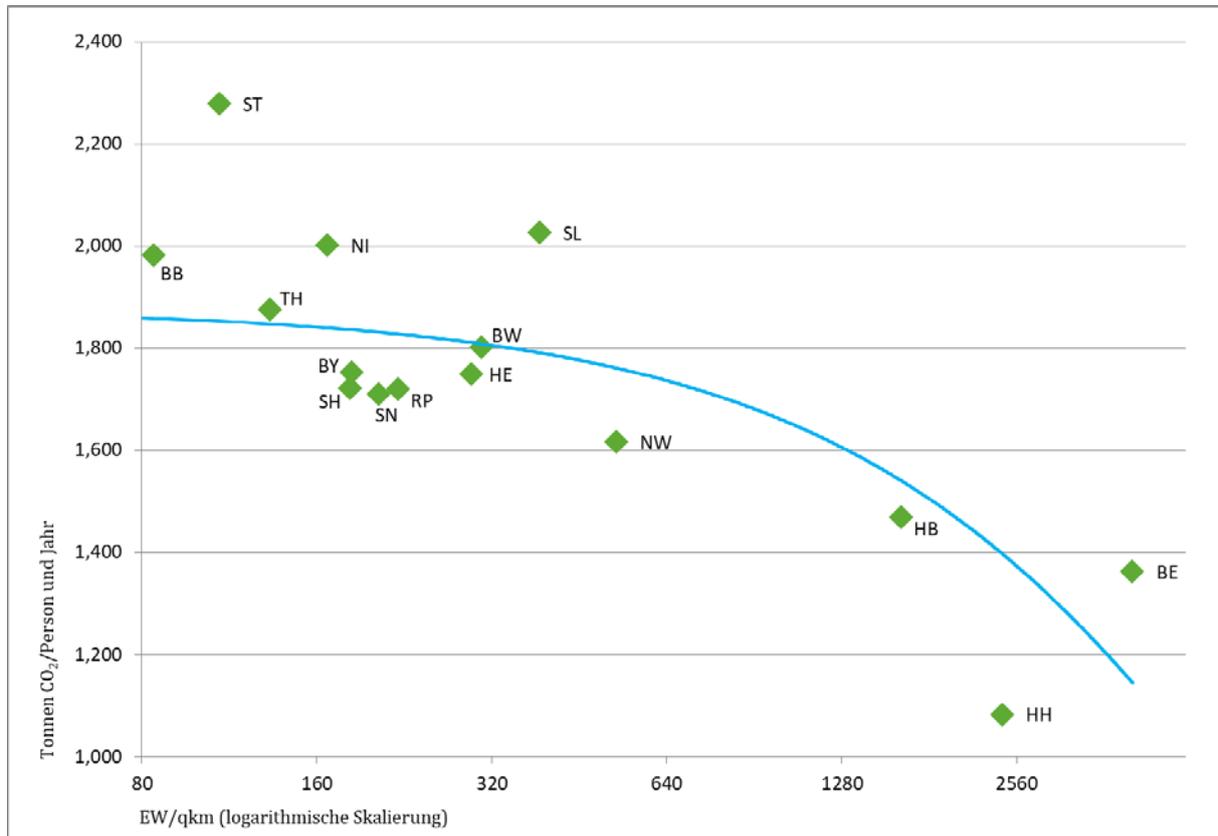


Quellen: MiD 2002, 2008, 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnungen. Rundungsbedingte Abweichungen möglich.

Ein Blick auf die Emissionswerte nach Bundesländern zeigt ein ähnliches Bild. Die drei Stadtstaaten Berlin, Bremen und Hamburg zeigen die geringsten CO₂-Emissionswerte pro Kopf. Hamburg ist dabei der Spitzenreiter mit etwa einer Tonne CO₂ pro Person, Berlin liegt mit 1,3 Tonnen auf Platz zwei, Bremen belegt mit knapp 1,5 Tonnen den dritten Platz dieser Rangliste. Die Bevölkerungsdichte ist in den drei Stadtstaaten am höchsten, gleichzeitig ist auch die Funktionsdichte und Funktionsmischung in diesen Städten hoch. Ob Arbeitswege, Einkauf oder andere Aktivitäten, für alle Wegezwecke lassen sich in Metropolen und Großstädten kürzere durchschnittliche Wegelängen beobachten als in ländlichen Regionen. Daraus resultiert ein negativer Zusammenhang, dargestellt mit der blauen Trendlinie, zwischen Bevölkerungsdichte und CO₂-Emissionen pro Kopf (vgl. Abbildung 8).

Abbildung 8: Bevölkerungsdichte der Bundesländer und CO₂-Emissionen pro Kopf und Jahr in Tonnen zeigt einen negativen Zusammenhang

Angaben Bevölkerungsdichte in EW/qkm (Stand 2018); Emissionen in Tonnen CO₂/Kopf und Jahr (Stand 2017)



Quellen: MiD 2017, TREMOD 6.03, Statistikportal.de. Eigene Berechnung.

Ein naheliegender Zusammenhang zwischen Einwohnerzahl und Gesamtemissionen wird vom Einfluss der Bevölkerungsdichte überdeckt. In Berlin wird mit knapp 3,7 Millionen Einwohnern die gleiche Menge an CO₂ emittiert wie zum Beispiel in Sachsen-Anhalt mit lediglich 2,2 Millionen Einwohnern. Dazu tragen die längeren Entfernungen alltäglicher Wege bei. Es kann aber vermutet werden, dass es einen Grenznutzen für die Einwohnerdichte gibt, ab dem es zu höheren verkehrlichen Belastungen in den Ballungsräumen kommt. Dies kann der Fall sein, wenn die Leistungsfähigkeit der Infrastrukturen erreicht bzw. überschritten wird, insbesondere beim MIV. Dadurch verlängern sich Reisezeiten, ggf. auch Distanzen, wenn Umwege in Kauf genommen werden. So sind nur in Hamburg, Schleswig-Holstein und Thüringen die Emissionen pro Weg zwischen 2002 und 2017 gesunken, obwohl in allen Stadtstaaten die Einwohnerzahl seit 2002 gestiegen ist. In Bremen stiegen die Emissionen pro Weg um fünf Prozent, in Berlin sogar um 17 Prozent. Nur in Sachsen-Anhalt (33 Prozent), Niedersachsen (19 Prozent) und Baden-Württemberg (19 Prozent) ist der Anstieg höher.

6.2 Ökonomischer Status der befragten Haushalte

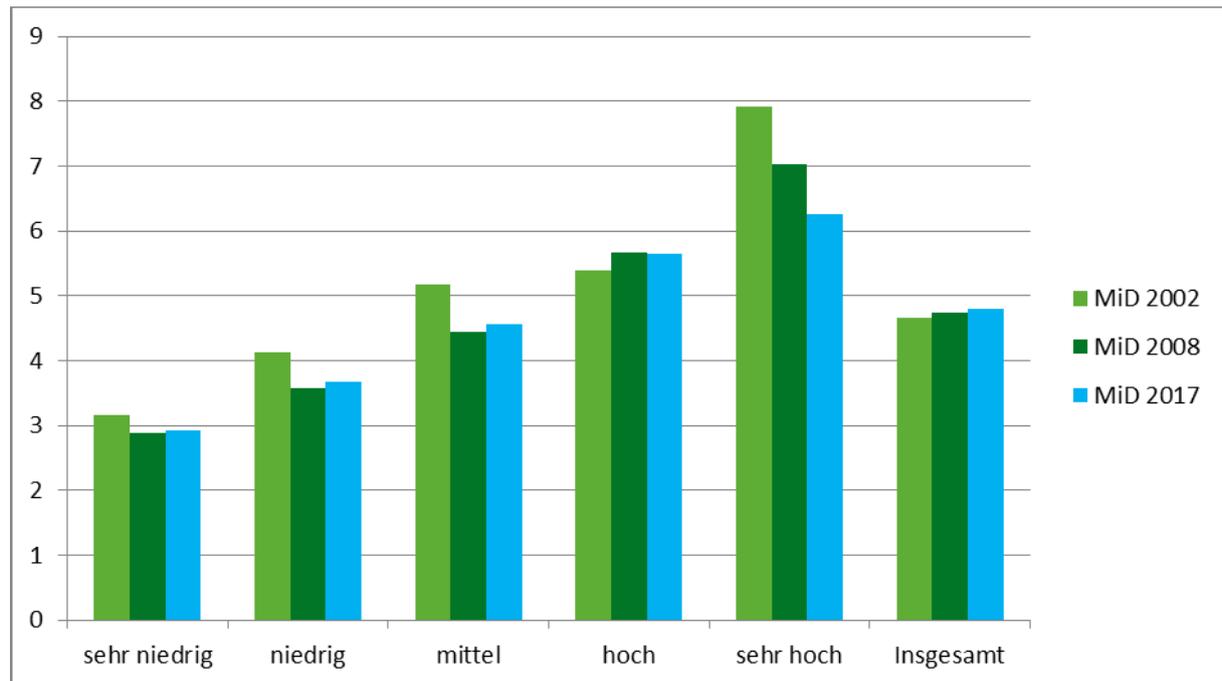
Der ökonomische Haushaltsstatus leitet sich aus dem Äquivalenzeinkommen ab, dass aus dem Haushaltsnettoeinkommen und der gewichteten Haushaltsgröße gebildet wird. Dabei wird Kindern, abhängig vom Alter, ein geringeres Gewicht bei der Bildung der Haushaltsgröße zugeordnet als Erwachsenen (vgl. MiD 2019a, 21).

Der ökonomische Haushaltsstatus übt einen großen Effekt auf die CO₂-Emissionen aus, wobei gilt: Je höher der Status, desto größer der CO₂-Fußabdruck. Personen mit sehr hohem ökonomischen Haushaltsstatus emittieren mit 6,3 Kilogramm mehr als doppelt so viel CO₂ pro Tag wie

Personen mit sehr niedrigem Haushaltsstatus. Dort sind es gerade mal 2,9 Kilogramm. Seit 2008 hat sich der Abstand verringert, damals lag das Verhältnis noch bei 1 zu 2,5. Das ist vor allem auf den Rückgang an Emissionen bei Personen mit sehr hohem ökonomischen Status zurückzuführen, der sich gegenüber 2008 um zehn Prozent und gegenüber 2002 sogar um 20 Prozent verringert hat. Damit ist das die Gruppe mit den deutlichsten Minderungsleistungen im Verkehr, aber andererseits auch die Gruppe mit den größten Emissionsmengen pro Kopf. Sie emittieren ein Drittel mehr als der Durchschnitt (vgl. dazu Abbildung 9).

Abbildung 9: CO₂-Fußabdrücke nach Haushaltsstatus

Angaben in Kilogramm CO₂ pro Kopf und Tag



Quellen: MiD 2017, TREMOD 6.03. Eigene Berechnung.

Personen mit einem hohen ökonomischen Status können keine Rückgänge verzeichnen. Zwischen 2002 und 2008 stiegen die Emissionsmengen um fünf Prozent und blieben seitdem unverändert. Sie sind die einzige Gruppe, bei denen gegenüber 2002 die Emissionen zugenommen haben. Bei Personen mit mittlerem, niedrigem oder sehr niedrigem ökonomischen Haushaltsstatus liegen die Rückgänge bei etwa zehn Prozent. Eine Erklärung für den Anstieg der Emissionen ausschließlich bei Personen mit hohem ökonomischem Status kann aus den größeren Tagesstrecken abgeleitet werden. Mit einer Zunahme von 24 Prozent gegenüber 2002 ist das im Vergleich zu den anderen Gruppen der größte Anstieg. Bei Personen mit sehr hohem Haushaltsstatus haben sich die Tagesstrecken um 19 Prozent verlängert, bei den drei niedrigeren Statusgruppen zeigen sich nur geringe Schwankungen.

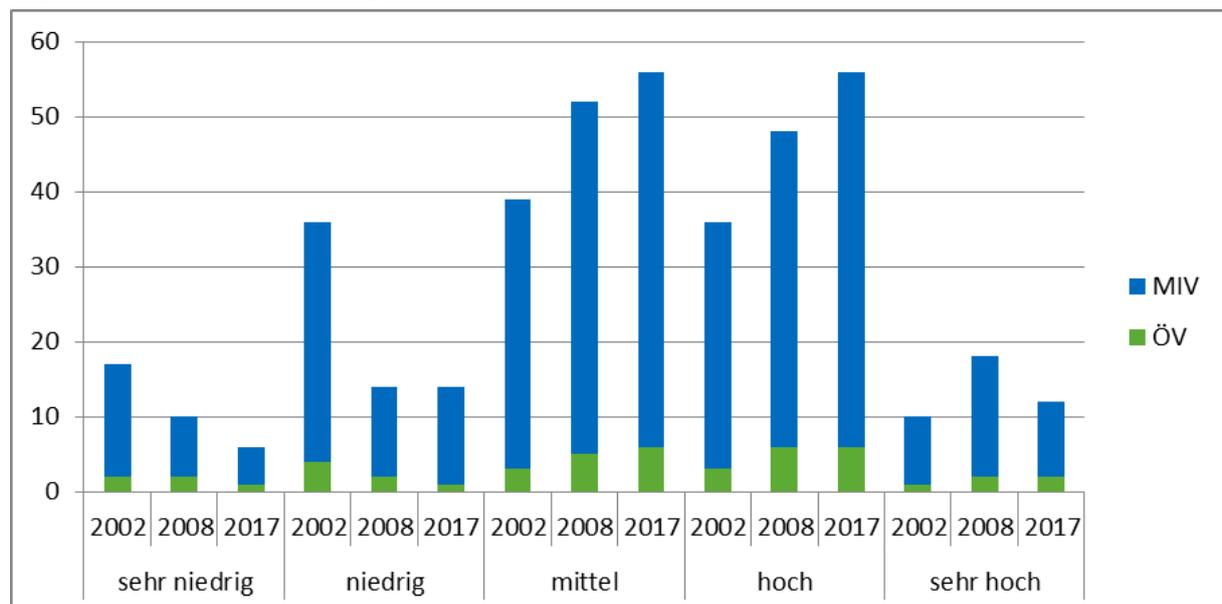
Der Rückgang der Emissionen bei Haushalten mit sehr hohem ökonomischem Status trotz durchschnittlich längeren Tagesstrecken lässt sich durch den Einfluss der Emissionen von Personen unter 14 Jahren erklären. Werden die Emissionsanteile dieser Gruppe herausgerechnet, dann hat das auf die Emissionswerte von 2002 keinen Einfluss, die Emissionsmengen pro Tag bleiben bei 7,9 kg CO₂. Bereits 2008 zeigt sich der Einfluss der unter 14 Jährigen. Ohne sie betragen die CO₂-Emissionen pro Tag 7,8 Kilogramm, mit ihnen liegen sie bei sieben Kilogramm. Noch größer wird der Einfluss in 2017. Dort verringern sich durchschnittlichen die CO₂-Emissionen um mehr als ein Kilogramm von 7,3 auf 6,2 Kilogramm CO₂ pro Tag und Person. Das führt zu dem Ergebnis, dass der Anteil von Personen mit Emissionen von weniger als zwei Kilogramm CO₂ pro Tag von 39 Prozent auf 55 Prozent in dieser Statusgruppe gestiegen ist. Auch wenn die

Wegelängen durch wenige sehr lange Wege insgesamt angestiegen sind, sinken die durchschnittlichen CO₂-Emissionen pro Tag in dieser Statusgruppe durch die geringen Emissionen der unter 14-Jährigen.

Werden die Emissionsaufkommen differenziert betrachtet nach ökonomischem Haushaltsstatus entlang der MiD Erhebungsjahre 2002, 2008 und 2017, sowie differenziert nach den Verkehrsmitteln ÖV und MIV in Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr, dann lässt sich erkennen, dass Haushalte mit mittlerem bis hohem ökonomischem Status über alle Jahre hinweg die meisten Emissionen verursachen (vgl. Abbildung 10). Dabei sind die Gesamtemissionen für diese Statustypen seit 2002 deutlich gestiegen. Auffallend ist der Rückgang der Emissionen bei Haushalten mit niedrigem Status zwischen den Jahren 2002 und 2008. Dies ist auf eine Verringerung der Anzahl der Haushalte zurückzuführen, die zu dieser Statusgruppe gezählt werden. Zwar haben sich in diesem Zeitraum auch die Emissionen pro Person und Tag in dieser Statusgruppe verringert, aber mit 14 Prozent weniger deutlich als der Rückgang an den Gesamtemissionen von etwa 40 Prozent. Weiter lässt sich erkennen, dass die absoluten Emissionen bei den Haushalten mit sehr niedrigem Status über die Erhebungsjahre deutlich abgenommen haben. In dieser Gruppe hat sich zwischen 2002 und 2017 der Pkw-Besitz um fast zehn Prozent deutlich verringert (vgl. MiD 2019c, 47).

Abbildung 10: Emissionen in Millionen Tonnen CO₂ nach sozioökonomischem Haushaltsstatus differenziert nach den Verkehrsmitteln ÖV und MIV und den MiD-Erhebungsjahren 2002, 2008 und 2017

Angaben in Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr



Quellen: MiD 2002, 2008, 2017, TREMOD 6.03. Eigene Berechnung.

6.3 Haushaltsgröße

Mit jeder zusätzlichen Person in einem Haushalt steigen die Emissionsmengen des gesamten Haushalts. Das ist zu erwarten. Betrachtet man die spezifischen Zunahmen pro Person, dann zeigt sich ein differenzierteres Bild.

Ein Ein-Personen-Haushalt emittiert durchschnittlich pro Tag etwas mehr als fünf Kilogramm CO₂. Lebt eine zweite Person im Haushalt, steigen die Emissionen des Haushalts auf 8,3 Kilogramm CO₂, wodurch sich die Emissionen pro Kopf um fast ein Kilogramm CO₂ verringern. Das lässt sich durch gemeinsame Wege erklären, auf denen die Emissionen pro Kopf aufgrund der

höheren Auslastung sinken oder durch Wege, die nur von einer Person erledigt werden, wenn z.B. eine Person für den Haushalt die Einkäufe erledigt.

Kommt eine dritte Person hinzu, dann steigen nicht nur die Gesamtmengen an CO₂, die der Haushalt emittiert, sondern ebenfalls die Menge an CO₂ pro Kopf auf 4,5 Kilogramm. Aufgrund des hohen Anteils an MIV-Fahrten bei Begleitwegen (vgl. 6.1) steigen die Gesamtemissionen des Haushalts an, da neben den begleiteten Wegen für das Bringen und Holen zusätzliche „Leerfahrten“ anfallen. Leben vier Personen in einem Haushalt, steigen die Gesamtemissionen nur um 1,7 Kilogramm, wodurch sich die durchschnittlichen Emissionen pro Kopf auf deutlich unter vier Kilogramm CO₂ reduzieren. Anscheinend lassen sich dann die Raum-Zeitpfade besser synchronisieren, wenn der Haushalt aus zwei Erwachsenen und zwei Kindern besteht, wie in mehr als 70 Prozent der Vier-Personen-Haushalte. Gemeinsame Fahrten zur Schule haben dann eine höhere Pkw-Auslastung zur Folge, Bring- und Holdienste können ggf. zu einem Weg verknüpft werden.

Bei fünf oder mehr Personen im Haushalt steigen die gesamten Haushaltsemissionen nur geringfügig um weniger als ein halbes Kilogramm, wodurch die Pro-Kopf-Emissionen auf knapp über drei Kilogramm CO₂ sinken. Der zuvor dargestellte Begründungszusammenhang scheint sich in diesen Zahlen zu bestätigen (vgl. Tabelle 15).

Tabelle 15: CO₂-Emissionen pro Tag und Person nach Haushaltsgröße

Angaben in Kilogramm CO₂

Haushaltsgröße	Mittelwert	Durchschnitt pro Person	Zunahme pro zusätzl. Person
1 Person	5,0	5,0	-
2 Personen	8,3	4,1	+ 3,3
3 Personen	13,5	4,5	+ 5,2
4 Personen	15,2	3,8	+ 1,7
5 Personen und mehr	15,6	3,1	+ 0,5

Quellen: MiD 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnung

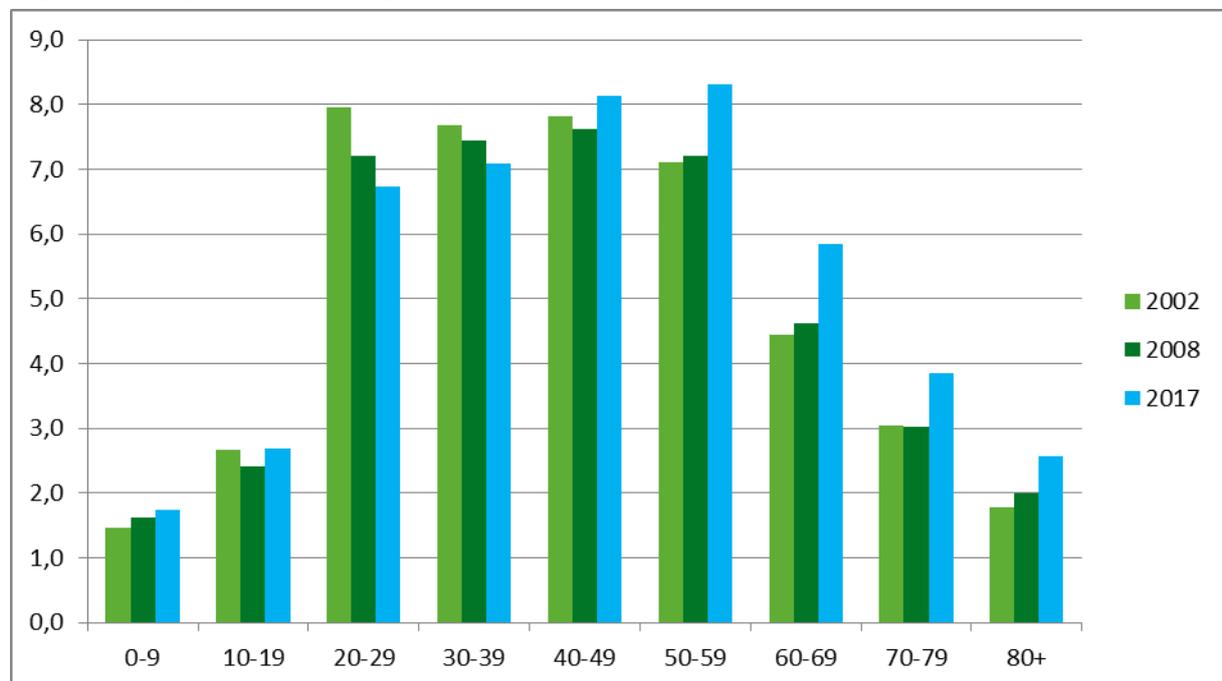
6.4 Altersgruppen

Die Lebensabschnitte, die durch Erwerbstätigkeit geprägt sind, weisen mit etwa 7 Kilogramm CO₂ pro Tag weit höhere Emissionswerte auf als die Phasen in Schule und Ausbildung und auch nach dem Ende der Erwerbstätigkeit. Dabei sind die hohen Emissionswerte nicht allein auf die Erwerbstätigkeit zurückzuführen, sondern auf die vielfältigen Aktivitäten in dieser Lebensphase insgesamt. Das können längere Freizeit- oder Urlaubswege sein, aber auch umfangreiche Betreuungs- und Erledigungswege. Die Lebensphase zwischen 20 und 60 Jahren ist neben erhöhter berufsbedingter Mobilität (Arbeitswege, Dienstreisen) häufig geprägt durch Familiengründungen und Familienzuwachs, durch einen höheren Aufwand an Betreuung oder Pflege der Elterngeneration. Zusammengenommen führt das zu etwa doppelt so hohen Emissionswerten pro Tag wie bei den jüngeren Altersgruppen zwischen 0 und 20 Jahren und auch wie bei der Gruppe der über 60-Jährigen. Dort liegen die CO₂-Emissionen pro Tag jeweils bei unter vier, meistens sogar unter drei Kilogramm. Die Tagesstrecke ist in den Altersgruppen zwischen 20- und 59-Jahren ebenfalls am höchsten. Mit zunehmendem Alter reduzieren sich die Emissionen und Tagesstrecken deutlich. Auch wenn die Seniorinnen und Senioren im Alter inzwischen aktiver sind und entsprechend einen größeren CO₂-Fußabdruck hinterlassen, reduziert sich mit jedem Jahrzehnt, in dem eine Person älter wird, die tägliche Verkehrsleistung und damit auch

die CO₂-Emissionen um fast 50 Prozent. Für die Altersgruppe der 70- bis 79-Jährigen liegen diese 2017 bei weniger als vier Kilogramm CO₂ pro Tag (vgl. Abbildung 11).

Abbildung 11: CO₂-Emissionen nach Altersgruppen und den Erhebungsjahren 2002, 2008 und 2017

Angaben in Kilogramm CO₂ pro Tag

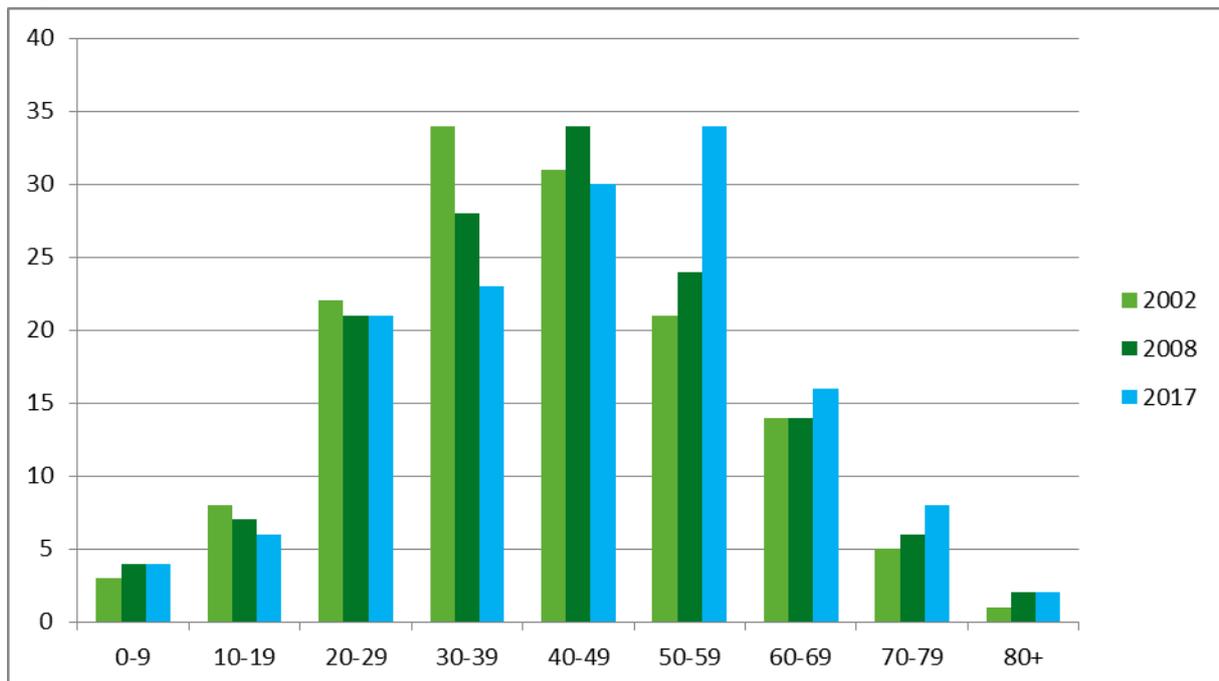


Quellen: MiD 2002, 2008, 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnungen

Betrachtet man die höheren Altersgruppen im Zeitreihenvergleich, dann zeigen sich deutliche Zunahmen an den Emissionsmengen gegenüber 2002. In der Altersspanne der 50- bis 70-Jährigen wird 2017 etwa ein Viertel mehr emittiert, bei den über 80-Jährigen sogar ein Drittel. Dort wachsen auch die Tagesstrecken mit über 30 Prozent deutlich stärker an als bei den jüngeren Altersgruppen. Ein Großteil des Anstiegs der Verkehrsleistung der über 65-Jährigen seit 2002 lässt sich auf eine höhere Automobilität zurückführen. Der Anteil der autolosen Haushalte ist von 51 Prozent auf 27 Prozent gesunken, der Modalsplit-Anteil des MIV in der Altersgruppe der über 80-Jährigen hat sich von einem Drittel auf die Hälfte aller Wege erhöht. Dazu kommt ein höherer Anteil an Führerscheinbesitz, der bei Frauen besonders deutlich ausgeprägt ist (vgl. MiD 2019c, 67f.). Der Anteil der über 60-Jährigen an den gesamten CO₂-Emissionen ist von 14 Prozent im Jahr 2002 auf 18 Prozent in 2017 gestiegen. Die Altersgruppe der über 60-Jährigen zeichnet sich heute durch eine bessere Gesundheit und einem gewissen Wohnstand aus, der es ihnen ermöglicht, Reisen und Ausflüge zu unternehmen und insgesamt mobiler zu sein. Daneben konzentriert sich die Mobilität mit zunehmendem Alter auf Wege zur alltäglichen Versorgung, also Einkaufs- und Erledigungswege, die neben Freizeitwegen jeweils etwa ein Drittel der Mobilität ausmachen.

Abbildung 12: Gesamtemissionen nach Altersgruppen

Angaben in Millionen Tonnen CO₂



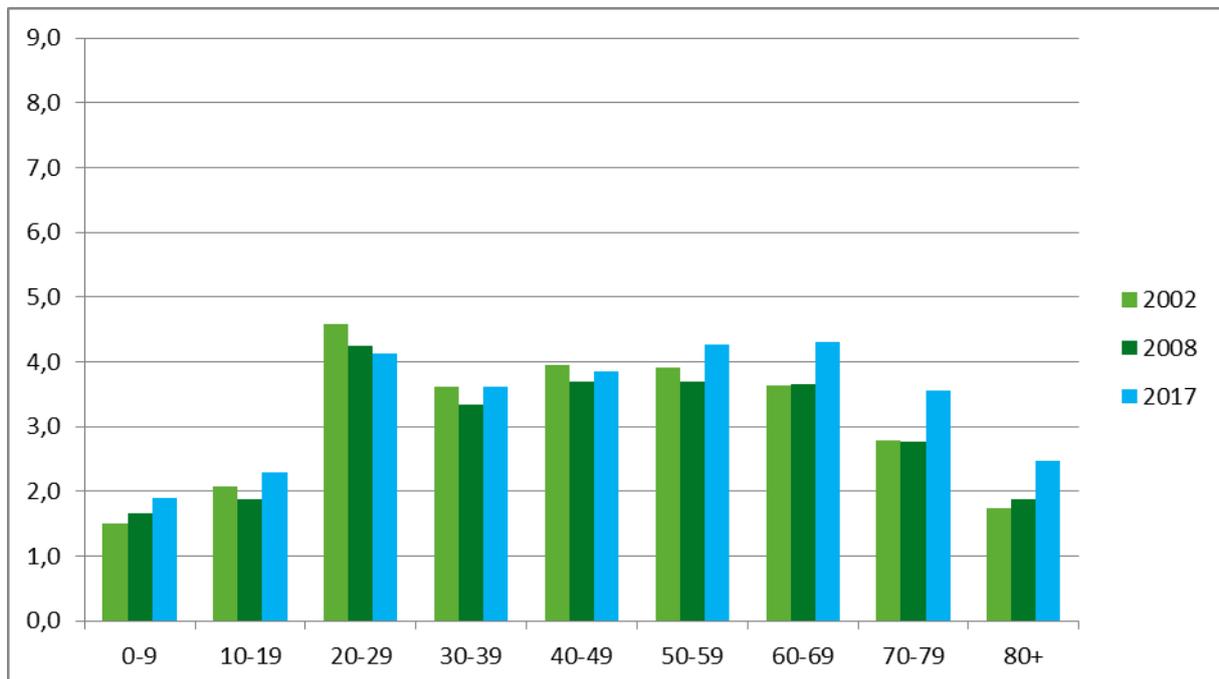
Quellen: MiD 2002, 2008, 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnungen

Der Zeitreihenvergleich zeigt bei den jüngeren Altersgruppen der 10- bis unter 40-Jährigen, dass sich die Emissionsmengen verringert haben und zwar besonders ausgeprägt bei den 20- bis 29-Jährigen mit einem Rückgang von 15 Prozent. Das kann mit Blick auf den gestiegenen Anteil der autolosen, jungen Haushalte erklärt werden, der von 29 Prozent im Jahr 2002 auf 42 Prozent in 2017 gestiegen ist (ebd., 38). Allerdings kann diese Entwicklung beim Blick auf die Gesamtemissionen dieser Altersgruppe nicht bestätigt werden, diese haben sich mit 21 Millionen Tonnen CO₂ gegenüber 2002 nur geringfügig verändert. Bei den Gesamtemissionen ist es vor allem die Altersgruppe der 30- bis 39-Jährigen, bei der zwischen 2002 und 2017 ein Rückgang der Gesamtemissionen um 33 Prozent beobachtet werden kann (vgl. Abbildung 12). Dies ist vor allem auf deutlich geringere Emissionen auf Arbeits-, Dienst- und Ausbildungswegen zurückzuführen. Werden diese aus den durchschnittlichen Emissionen pro Tag herausgefiltert, dann bleiben die CO₂-Emissionen pro Tag in 2017 gegenüber 2002 mit 3,6 Kilogramm nahezu konstant (vgl. Abbildung 13).

Werden nur die Emissionswerte pro Kopf und Tag ohne die berufs- und ausbildungsbedingten Wege betrachtet, wie zuvor beschrieben, dann ist auch ein besserer Vergleich zwischen den höheren Altersgruppen möglich. dabei geraten die Wegezwecke Freizeit, Einkauf, Besorgung und Begleitung deutlicher in den Blick. Im Ergebnis schwächen sich die Unterschiede zwischen den Altersgruppen deutlich ab und die Emissionsmengen gleichen sich an. Auffällig ist, dass die Altersgruppe der 60- bis 69-Jährigen nun ebenso hohe Emissionen aufweist wie die zuvor emissionsstarken Altersgruppen der 20- bis 59-Jährigen. In dieser Gruppe zeigen sich noch keine altersbedingten Mobilitätseinschränkungen in dem Ausmaß, dass auch die Emissionen gegenüber den jüngeren Altersgruppen abfallen. Weiterhin ist zu bemerken, dass die Entwicklungen zwischen den Erhebungsjahren innerhalb der Altersgruppen keine Veränderungen aufzeigen, damit können die über die Jahre angestiegenen Emissionen in den Altersgruppen der 40- bis 69-Jährigen nicht auf Änderungen beruflicher Wege zurückgeführt werden, z.B. das Pendelentfernungen sich emissionswirksam geändert hätten (vgl. Abbildung 13).

Abbildung 13: Emissionen nach Altersgruppen und den Erhebungsjahren 2002, 2008 und 2017 ohne berufs- und ausbildungsbedingte Wege¹⁷

Angaben in Kilogramm CO₂ pro Tag



Quellen: MiD 2002, 2008, 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnungen

Bei vergleichender Betrachtung der Abbildungen 11 und 13 fällt auf, dass die Emissionen pro Tag und Kopf für die Altersgruppen der 0- bis 19-Jährigen ohne die berufs- und ausbildungsbedingten Wege höher liegen als in der Betrachtung aller Wege. Da bei den Berechnungen nur Personen berücksichtigt werden, die Wege mit den jeweiligen Wegezwecken angegeben haben, verringert sich in Abbildung 13 die Fallzahl. Für die 0- bis 9-Jährigen werden bei einer Betrachtung der Einkaufs-, Freizeit- und Erledigungswege etwa 3.000 Fälle weniger erfasst. Wenn die verbliebene Gruppe nun pro Weg höhere Emissionen aufweist, erhöhen sich auch die errechneten Gesamtemissionen.

6.5 Konsumgewohnheiten

Zur Erfassung der Konsumgewohnheiten unterscheidet die MiD drei unterschiedliche Gruppen an Konsumgütern: Güter des täglichen Bedarfs (z.B. Lebensmittel), Güter des gelegentlichen Bedarfs (z.B. Bekleidung) und langlebige Güter (z.B. größere Elektrogeräte). Für alle Konsumgütergruppen werden acht Antwortvorgaben abgefragt, wie die Wege für diese Einkäufe in der Regel zurückgelegt werden. Neben den vier Hauptverkehrsmitteln (zu Fuß, Fahrrad, Auto, ÖPNV), gibt es als Antwortvorgaben das Carsharing, den Online-Einkauf sowie die Möglichkeiten „anders/ganz unterschiedlich“ und „mache ich nicht“. Die befragten Personen können Mehrfachnennungen vornehmen. Für jede Antwort wird der Emissionswert in CO₂ pro Tag der antwortenden Person in die Berechnung aufgenommen. Antwortet eine Person mehrfach, geht auch der CO₂-Wert mehrfach in die Berechnungen ein. Deshalb können keine Durchschnittswerte über Antwortkombinationen errechnet werden.

Um den verkehrsmittelspezifischen Einfluss deutlicher herauszustellen, werden in der Abbildung 14 nur Personen berücksichtigt, die eine der Antwortvorgaben gewählt haben,

¹⁷ Zur besseren Vergleichbarkeit mit Abbildung 11, die die Emissionen über alle Wegezwecke hinweg zeigt, wurde die Skalierung beibehalten.

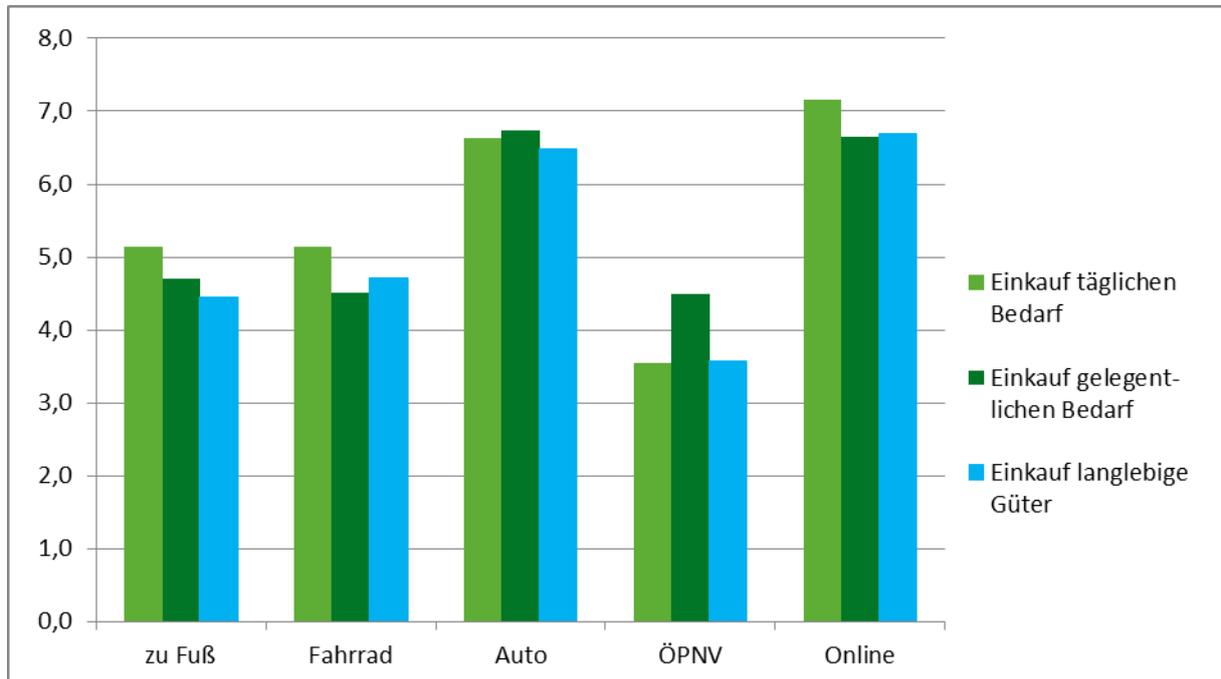
Antwortkombinationen werden dabei zunächst nicht berücksichtigt. Zudem werden die Antwortkategorien „Carsharing“, „anders/ganz unterschiedlich“ und „mache ich gar nicht“ aufgrund der geringen Fallzahlen in der Abbildung nicht dargestellt. Es fällt zunächst auf, dass Personen, die ausschließlich online ihre Einkäufe tätigen, die höchsten Emissionswerte aufweisen. Selbst Personen, die ihre Einkäufe ausschließlich mit dem Auto erledigen, weisen nur bei Gütern des gelegentlichen Bedarfs einen etwas höheren Wert auf. Die Emissionen dieser Personen werden also an anderer Stelle, im Freizeitverkehr oder auf Arbeitswegen erzeugt. Im Ergebnis kann geschlussfolgert werden, dass Online-Einkäufe mit hohen Emissionswerten einhergehen, die aber nicht direkt erzeugt werden, sondern einmal von der einkaufenden Person an anderer Stelle und zudem vom KEP-Dienstleister bei der Lieferung der Bestellung.

Eine zweite Besonderheit zeigt sich bei den Personen, die nur zu Fuß oder mit dem Fahrrad ihre Einkäufe erledigen. Diese Personen weisen höhere Emissionen auf als die Nutzer des ÖPNV für die Einkaufswege. Es ist in diesen Fällen plausibel anzunehmen, dass in Wohnortnähe der Personen hinreichend gute Einkaufsmöglichkeiten bestehen, die eine Nutzung des Pkw oder des ÖPNV nicht erforderlich machen. Auch die hier ausgewiesenen Emissionen entstehen an anderen Stellen, bei anderen Tätigkeiten.

Betrachtet man das Segment des Online-Shoppings etwas genauer und zieht die Häufigkeit hinzu, mit der Online-Einkäufe getätigt werden, dann zeigt sich, dass eine hohe Intensität von Online-Einkäufen auch mit hohen Emissionswerten verbunden ist. Werden Einkäufe online erledigt, liegen die CO₂-Emissionen für die Personengruppe mit etwa sieben Kilogramm CO₂ pro Tag über den Werten anderer Verkehrsmittelnutzungen. Die geringsten Werte zeigen die Personen, die den ÖPNV für Einkaufswege nutzen mit etwa 4 Kilogramm CO₂ pro Tag (vgl. dazu Abbildung 15). Eine Erklärung kann auf die Zeitersparnis durch das Online-Einkaufen und damit auf mögliche Rebound-Effekte verweisen, die dadurch entstehen, dass die wahrgenommene Zeitersparnis dazu führt, entfernungsintensivere Freizeitausflüge zu tätigen. Ein anderer bzw. zusätzlicher Erklärungsansatz stützt sich auf die Berufstätigkeit. Vollzeit Berufstätige verfügen häufig nur über schmale Zeitfenster in den Abendstunden oder an Samstagen, in denen Einkäufe getätigt werden können. 14 Prozent der Personen in Vollzeitbeschäftigung nutzen mindestens an einem Tag pro Woche die Möglichkeit zum Online-Shopping, aber nur 10 Prozent der Beschäftigten in Teilzeit mit 11 bis unter 35 Stunden pro Woche Arbeitszeit nutzen das Online-Shopping in dieser Intensität. Auch das Alter kann als Erklärung dienen. Personen im Alter zwischen 18 und 49 Jahren nutzen die Möglichkeit zum Online-Shopping deutlich häufiger als die jüngeren und älteren Altersgruppen. Wie im Abschnitt zuvor gezeigt, sind das auch diejenigen Altersgruppen, die die höchsten Emissionen pro Tag und Person aufweisen.

Abbildung 14: Emissionen pro Tag nach Konsumgütergruppen und Verkehrsmittelnutzung für die Einkaufswege inkl. Online-Einkäufe

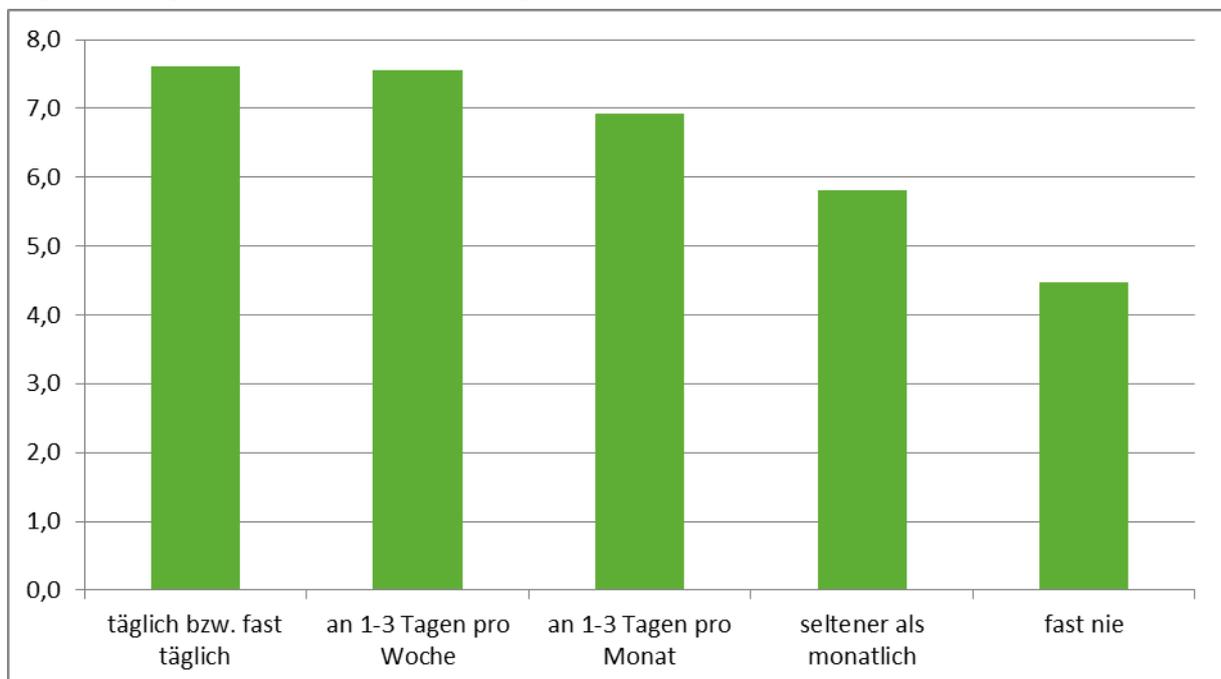
Angaben in Kilogramm CO₂ pro Tag



Quellen: MiD 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnungen

Abbildung 15: Emissionen nach Häufigkeit Online-Shopping

Angaben in CO₂-Emissionen pro Person und Tag



Quellen: MiD 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnungen

6.6 Übliche Verkehrsmittelnutzung und Mobilitätstypen

Die MiD erfasst neben der Mobilität am Stichtag auch die übliche Verkehrsmittelnutzung der Befragten. Dabei geben die Befragten an, wie häufig sie die unterschiedlichen Optionen nutzen. Die Antworten reichen von „täglich oder fast täglich“, über „an 1 bis 3 Tagen pro Woche“ und „an 1 bis 3 Tagen pro Monat“ bis zu „seltener als monatlich“ und schließlich „nie oder fast nie“. Über diese Auskunft werden allgemeine Hinweise zum multimodalen Verhalten der befragten Personen ermittelt. Man kann diese Angaben auch nutzen, um über die spezifischen Nutzungsprofile Mobilitätstypen zu entwickeln. Anders als bei einstellungsbasierten Mobilitätstypen bleiben Präferenzen oder normative Einstellungen bei der Typenbildung unberücksichtigt.

Insgesamt werden neun Mobilitätstypen unterschieden. Teilweise werden einem Typus unterschiedliche Pattern der Verkehrsmittelnutzungen zugordnet. Zudem werden Typen differenziert, die zwar die gleichen Nutzungsmuster ausweisen, sich aber im Führerscheinbesitz unterscheiden. Abbildung 16 beschreibt die Bildung der Typen entlang der unterschiedlichen Muster in den Verkehrsmittelnutzungen und des Führerscheinbesitzes.

Abbildung 16: Mobilitätstypen nach üblicher Verkehrsmittelnutzung

4%		Wenig-Mobile	nutzen kein Verkehrsmittel mindestens wöchentlich
13%		Fahrrad-Orientierte	nutzen das Fahrrad täglich oder wöchentlich und alle übrigen Verkehrsmittel seltener
4%		ÖPNV-Orientierte ohne Pkw-Führerschein	nutzen den ÖPNV täglich oder wöchentlich, andere Angebote seltener und haben keinen Pkw-Führerschein
8%		ÖPNV-Orientierte mit Pkw-Führerschein	nutzen den ÖPNV täglich oder wöchentlich, andere Angebote seltener und besitzen Pkw-Führerschein
43%		täglich Pkw-Orientierte	nutzen täglich den Pkw, andere Angebote seltener
12%		seltener Pkw-Orientierte	nutzen den Pkw wöchentlich, andere Angebote seltener
8%		Mischnutzer	nutzen verschiedene Verkehrsmittel täglich oder wöchentlich
8%		regelmäßige Vielfach-Nutzer	nutzen sowohl Auto wie Fahrrad und ÖPNV mindestens wöchentlich

Quelle: MiD 2017

Ist der Pkw zentraler Bestandteil auf alltäglichen Wegen, dann gehen damit sehr hohe Emissionen einher. Personen, die dem Mobilitätstyp der „täglich Pkw-Orientierten“ zugehörig sind, emittieren durchschnittlich etwa 8,5 Kilogramm CO₂ pro Tag und damit etwa drei Kilogramm mehr als der Typus mit den zweithöchsten täglichen Emissionen, der „Mischnutzer mit Pkw-Führerschein“. Am anderen Ende der Skala finden sich die „Wenig-Mobile“, die pro Tag etwa 1,2 Kilogramm CO₂ emittieren sowie die „ÖPNV-Orientierte ohne Pkw-Führerschein“ mit 1,7 Kilogramm. Die Werte für die anderen Mobilitätstypen liegen zwischen 2,6 und 3,8 Kilogramm CO₂ pro Tag.

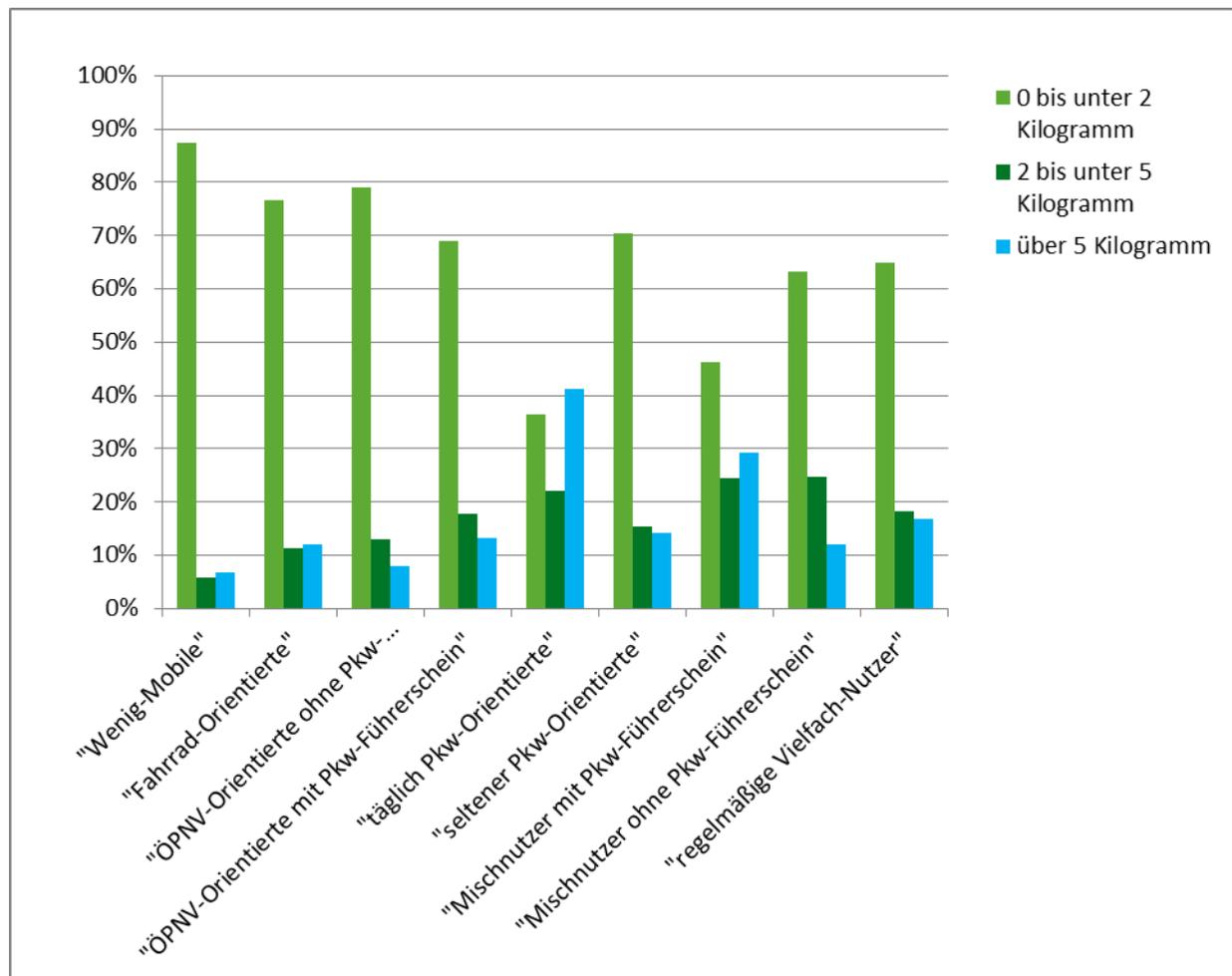
Der Vergleich von 2017 mit 2002 zeigt, dass bei fünf Mobilitätstypen der CO₂-Ausstoß angestiegen ist, bei zwei weiteren blieb er konstant. Nur die Typen der „ÖPNV-Orientierte mit Pkw-Führerschein“ und die „Mischnutzer mit Pkw-Führerschein“ konnten ihren Ausstoß um etwa zehn Prozent verringern. Das ist insofern bemerkenswert, als dass über alle Mobilitätstypen

hinweg, die Unterwegszeit und die Tagesstrecke um mindestens zehn Prozent und teilweise deutlich mehr, angestiegen ist.

Werden die Emissionsmengen in drei Kategorien (0 bis unter zwei Kilogramm, zwei bis unter fünf Kilogramm und mehr als fünf Kilogramm CO₂ pro Tag) gruppiert, wie in Abbildung 17 geschehen, dann fällt zunächst auf, dass bei jedem Mobilitätstypus einen großer Anteil nur geringe Mengen an CO₂ emittiert, bis maximal zwei Kilogramm. Selbst beim Typus mit den höchsten Emissionsmengen beträgt dieser Anteil mehr als ein Drittel. Aber auch bei den Mobilitätstypen mit mittleren Emissionsmengen tragen etwa zwei von drei Personen nur in geringem Umfang zu den gesamten Emissionen bei. Umgekehrt bedeutet das, nur ein kleiner Teil innerhalb jeden Typus verursacht überproportional hohe Mengen an CO₂. Hier scheinen die Unterschiede zwischen den Gruppen fast geringer als innerhalb der jeweiligen Gruppe, die eine große Streuung haben. Für die Formulierung politischer Maßnahmen bedeutet dies, dass zugeschnittene Maßnahmen auf genau diese Personen mit hohen Emissionen einen großen Hebel zur CO₂-Minderung besitzen.

Abbildung 17: CO₂-Emissionen gruppiert nach Mobilitätstypen

Angaben in CO₂-Emissionen pro Person und Tag



Quellen: MiD 2017, TREMOD 6.03, eigene Berechnung

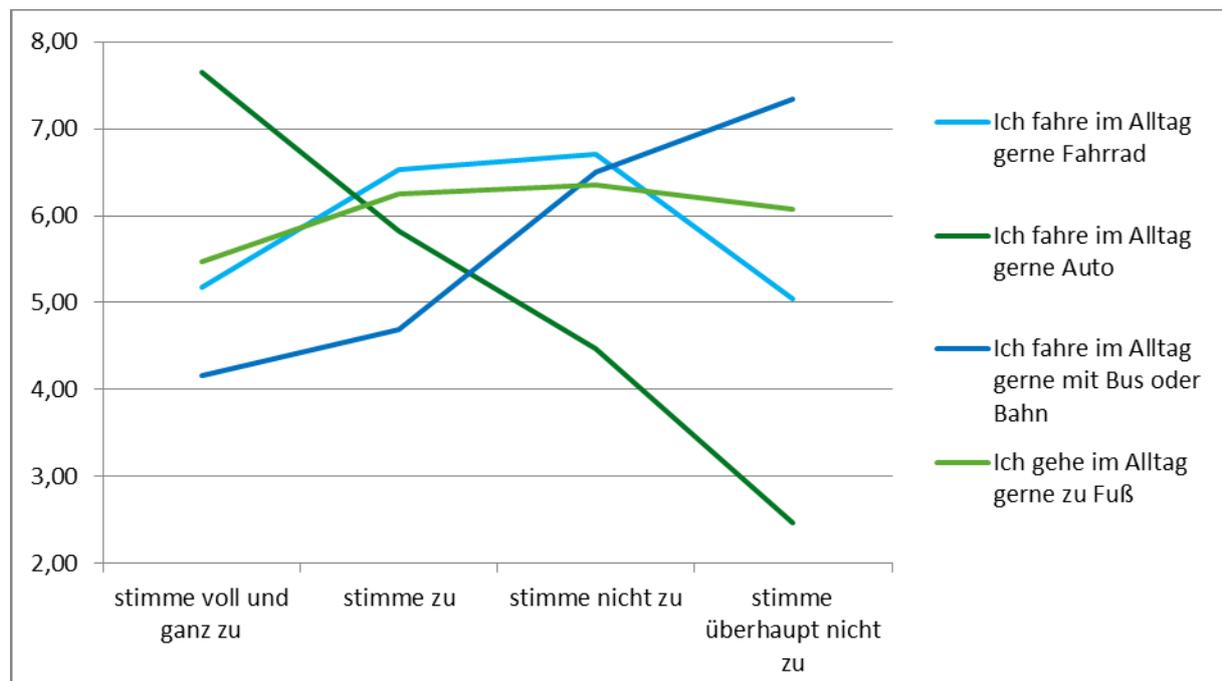
Einschränkend muss jedoch angemerkt werden, dass diese Werte keinen Durchschnitt darstellen, sondern auf einer Stichtagserhebung basieren, wodurch vom Alltag abweichende Extreme, wie Flugreisen, deutlicher hervortreten. Die Gruppenstärke ist jedoch groß genug, um diese Ausreißer abzufedern.

6.7 Einstellungen zu Verkehrsmitteln

In der MiD werden die Einstellungen zu Verkehrsmitteln über die Zustimmung zur Aussage ermittelt, wie gerne man ein Verkehrsmittel nutzt. Die genauen Fragestellungen lauten: „Ich gehe im Alltag gerne zu Fuß“, „Ich fahre im Alltag gerne Fahrrad“, „Ich fahre im Alltag gerne mit Bus oder Bahn“, „Ich fahre im Alltag gerne Auto“. Die vierstufige Bewertungsskala reicht von „stimme voll und ganz zu“ bis zu „stimme überhaupt nicht zu“. Jeder Bewertung wird der Mittelwert der CO₂-Emissionen in Kilogramm pro Tag von den Personen zugeordnet, die die jeweilige Bewertungskategorie angegeben haben. Abbildung 18 zeigt für jedes Verkehrsmittel die entsprechenden Werte an.

Abbildung 18: Mittelwert der CO₂-Emissionen nach Einstellungen zur Verkehrsmittelnutzung

Angaben in Kilogramm CO₂ pro Tag



Quellen: MiD 2017, TREMOD 6.03. Eigene Berechnung.

Die Einstellungen zum Fahrradfahren haben keine oder nur geringe Auswirkungen auf die Emissionen pro Person. Die Personen, die der Aussage „ich fahre gerne Fahrrad“ voll und ganz zustimmen, emittieren pro Tag genauso viel CO₂, wie Personen, die der Aussage überhaupt nicht zustimmen. Beide Gruppen emittieren dabei aber deutlich weniger, als die mittleren Gruppen. Es lässt sich somit keine Wirkungsrichtung der Einstellungen zum Fahrradfahren ableiten. Die Einstellung zum Zufußgehen hat ebenfalls nur einen geringen Einfluss auf die CO₂-Emissionen. Das Muster ist ähnlich dem des Fahrradfahrens. Diejenigen, die der Aussage „ich gehe gerne zu Fuß“ voll und ganz zustimmen, aber auch, die dieser Aussage überhaupt nicht zustimmen, zeigen die geringsten Emissionsmengen pro Kopf und Tag. Etwas höher liegen die Emissionswerte der mittleren Antwortgruppen.

Die Einstellungen zu den muskelbetriebenen Fortbewegungsarten Zufußgehen und Fahrradfahren zeigen somit keinen direkten Einfluss auf die Höhe der CO₂-Emissionen pro Tag. Auffallend ist dabei, dass eine geringe Neigung zum Zufußgehen oder Fahrradfahren dennoch zu niedrigen Emissionswerten führt. Das kann auf eine geringe Mobilität (geringe Verkehrsleistung am Stichtag, immobil) zurückgeführt werden.

Die Einstellung zum Autofahren hat einen deutlichen Einfluss auf die Emissionen pro Kopf. Die Personen, die der Aussage „ich fahre gerne Auto“ voll und ganz zustimmen, emittieren pro Tag mehr als dreimal so viel CO₂ wie Personen, die dieser Aussage überhaupt nicht zustimmen. Je höher die Zustimmung, desto höher der CO₂-Ausstoss pro Kopf und Tag. Es lässt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Einstellung zum Autofahren und den CO₂-Emissionen pro Kopf feststellen.

Umgekehrt verhält es sich mit den Einstellungen zum ÖPNV, wenn auch weniger deutlich ausgeprägt als beim Autofahren. Je höher die Zustimmung zur Aussage „ich fahre gerne ÖPNV“, desto geringer die Emissionen pro Tag und Kopf. Personen, die der Aussage voll und ganz zustimmen emittieren mit rund vier Kilogramm CO₂ pro Tag nur 60 Prozent der Menge, die Personen emittieren, die dieser Aussage überhaupt nicht zustimmen. Ein großer Sprung ist dabei zwischen der Zustimmung und Ablehnung festzustellen. Werden die vier Antwortkategorien dichotomisiert, so zeigt sich bei Ablehnung des ÖPNV ein um etwa 50 Prozent höherer CO₂-Wert pro Tag als bei den Personen, die den ÖPNV gerne nutzen. Auch für die Einstellungen zum ÖPNV lässt sich ein Zusammenhang zu den Emissionsmengen pro Person und Tag herstellen.

6.8 Zufriedenheit mit Verkehrsmittelangeboten

Die Zufriedenheit mit Verkehrsmittelangeboten wird über eine Bewertung der allgemeinen Situation vor Ort erfasst. Die Antwortkategorien reichen dabei von „sehr gut“ bis „ungenügend“ und folgen in den Abstufungen dem Schulnotensystem. Abgefragt wurde die Einschätzung der Verkehrsmittelangebote vor Ort für Fahrrad, Auto, öffentliche Verkehrsmittel und für Fußwege.

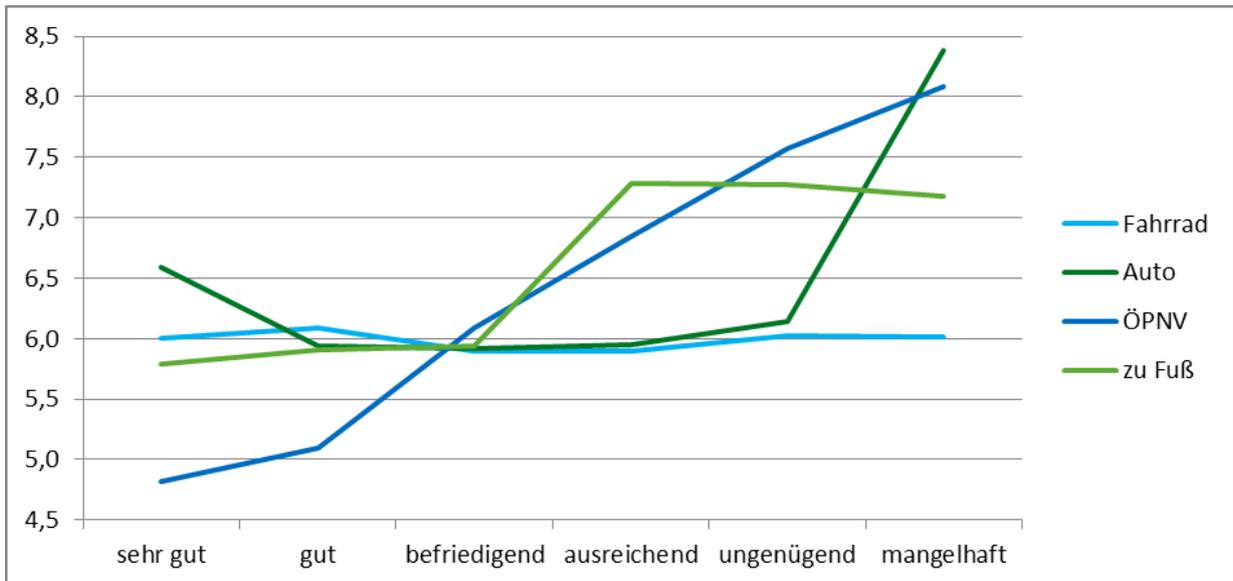
Es zeigt sich, dass die Zufriedenheit mit der Fahrradsituation keinen Einfluss auf die CO₂-Emissionen besitzt. In jeder Antwortkategorie emittieren die Personen durchschnittlich mit rund sechs Kilogramm etwa gleich viel CO₂ pro Tag. Das spricht dafür, dass sich die jeweiligen Gruppen in den Antwortkategorien heterogen zusammensetzen.

Für die anderen drei Verkehrsmittel zeigt sich in der Tendenz, dass mit abnehmender Zufriedenheit die Emissionen pro Tag ansteigen. Es ist zu vermuten, dass eine höhere Verkehrsleistung auch zu einer größeren Unzufriedenheit führt. Wer jeden Tag auf dem Weg zur Arbeit oder zu anderen Anlässen mit Stau, Verspätungen und überfüllten Wagons konfrontiert wird, neigt zu negativen Bewertungen der Situation. Dieser Befund tritt am deutlichsten für den öffentlichen Verkehr hervor, für den ein linearer Zusammenhang zwischen Zufriedenheit und Höhe der Emissionen pro Tag besteht (vgl. Abbildung 19).

Für das Auto zeigt die Abbildung 19, dass bei einer sehr guten Bewertung der Verkehrssituation auch die Emissionen pro Tag ansteigen. Wenn eine „sehr gute“ Verkehrssituation für das Autofahren besteht, z.B. mit wenig Staus auf alltäglichen Wegen, kein Parkdruck, günstiger Anschluss an Fernstraßen, sinkt der Raumwiderstand und es werden Wege mit dem Auto zurückgelegt, die bei ungünstigen Randbedingungen gegebenenfalls unterblieben wären. Umgekehrt kann es sich bei Personen, die häufig das eigene Auto nutzen und dadurch häufig mit Stau, Parkplatzsuche und mit anderen Schattenseiten des MIV konfrontiert werden so darstellen, dass sie zum einen hohe Emissionswerte aufweisen und gleichzeitig die Bedingungen für Autofahrer als mangelhaft bewerten.

Abbildung 19: Mittelwert der CO₂-Emissionen nach Zufriedenheit mit Verkehrsmittelanboten vor Ort

Angaben in Kilogramm CO₂ pro Tag und Person



Quellen: MiD 2017, TREMOD 6.03. Eigene Berechnung.

Für den Fußverkehr zeigt die Abbildung 19 eine Zweiteilung, die genau in der Mitte von positiven und negativen Bewertungen verläuft. Eine gute Infrastruktur und nahegelegene und fußläufig erreichbare Ziele für Dinge des alltäglichen Bedarfs können einen wichtigen Beitrag dazu leisten, dass mehr Wege ohne die Nutzung von eigentlichen Verkehrsmitteln bestritten werden. Dies kann, mit Einschränkungen, als städtisches Phänomen interpretiert werden. Lassen sich viele Ziele, die häufiger aufgesucht werden, zu Fuß nicht erreichen, fällt auch die Bewertung der Verkehrssituation vor Ort für das Zufußgehen schlechter aus. Durch die alternativ in Anspruch genommenen Verkehrsmittel steigen die Emissionen pro Kopf und Tag an.

Es muss eingeschränkt werden, dass die Bewertung der Verkehrsmittelsituation vor Ort keinen objektiven Kriterien folgt und von den befragten Personen nach persönlichen Erfahrungen, Verkehrsmittelpräferenzen und ggf. auch im Hinblick auf die gegebene Infrastruktur ganz unterschiedlich erfolgt. Zudem erfolgt die Bewertung der Fahrradsituation nach anderen Kriterien als die des öffentlichen Verkehrs. Dabei steht der Bewertung von der Infrastruktur bei Fahrradwegen eine Bewertung der Angebotssituation gegenüber. Bei dem an dieser Stelle erfolgten Vergleich zwischen den Verkehrsmitteln blieben diese unterschiedlichen Maßstäbe unberücksichtigt.

7 Auswirkungen des CO₂-Preises

Die bisherigen Betrachtungen haben sich auf die Analyse der CO₂-Aufkommen im Alltagsverkehr fokussiert und dabei die Einflussgrößen identifiziert, die besonders stark zu den CO₂-Emissionen beitragen. Im Folgenden soll nun der Blick auf die Einführung des CO₂-Preises gerichtet werden, der ab 2021 für die Bereiche Wärme und Verkehr eingeführt wird. Ab Januar 2021 wird jede Tonne CO₂ mit 25 Euro bepreist. Bis zum Jahr 2026 ist ein Anstieg innerhalb eines Preiskorridors auf mindestens 55 und höchstens 65 Euro geplant. Dabei interessiert die Frage, welche Steuerungswirkungen durch die monetären Be- und Entlastungen für Haushalte zu erwarten sind. Diese ergeben sich aus dem Zusammenspiel von CO₂-Preis und Pendlerpauschale.

Angenommen wird ein CO₂-Preis, der sich mit 8,1 Cent pro Liter Benzin (inkl. MWSt.) und 9,2 Cent pro Liter Diesel auf die Kraftstoffpreise auswirkt (vgl. Tabelle 16). Ist die Antriebsart nicht bekannt, wird mit 8,65 Cent pro Liter das ungewichtete Mittel der beiden Werte genommen. Als Verbrauchswerte der Fahrzeuge werden jeweils 6,5 Liter auf 100 Kilometern angenommen. Auf dieser Berechnungsgrundlage lassen sich die zusätzlichen Kosten für jeden MIV-Weg approximieren und auf die Personen- oder Haushaltsebene übertragen. Dabei werden nur Personen und Haushalte berücksichtigt, die MIV-Wege absolvieren. Werden ausschließlich Verkehrsmittel des Umweltverbundes für die Wege zur Arbeit genutzt, wird diese Person bzw. der Haushalt nicht in die Berechnungen miteinbezogen.

In einem zweiten Schritt lässt sich der über die Anhebung der Pendlerpauschale eingeführte Ausgleichsmechanismus in diese Rechnung mit einbeziehen. In 2021 erfolgt eine Anhebung um 5 Cent pro Kilometer, die ab dem 21. Kilometer greift und für Wege zur Arbeitsstelle gilt, jedoch nicht für die Rückfahrt. Ab 2024 soll die Pendlerpauschale um weitere 3 Cent pro Kilometer auf dann insgesamt 38 Cent pro Kilometer angehoben werden. Mit diesen Eckwerten können differenzierte Betrachtungen der monetären Wirkung des CO₂-Preises durchgeführt werden, zum Beispiel entlang des ökonomischen Haushaltsstatus oder regionalstatistischen Raumtypen.

Tabelle 16: Erwartete Preisanstiege für Kraftstoffe durch den CO₂-Preis

Antriebsart	2021	2022	2023	2024	2025
Benzin (mit MWSt.) in Cent/Liter	8,1	9,7	11,4	14,6	17,9
Diesel (mit MWSt.) in Cent/Liter	9,2	11,0	12,8	16,5	20,2

Quelle: Center Automotive Research (CAR)

Durch die Einführung des CO₂-Preises ab 2021 ergibt sich zunächst nur eine geringe zusätzliche finanzielle Belastung für Haushalte. Für Arbeitswege verringern sich die Out-of-Pocket-Kosten sogar durch die Anhebung der Pendlerpauschale. Auf einen Monat hochgerechnet sind das für Arbeitswege Einsparungen von etwa 1,60 Euro, ohne Pendlerpauschale würde sich eine Mehrbelastung auf Arbeitswegen von etwa 2,80 Euro ergeben. Für alle anderen Wege erhöhen sich die Kosten durch den CO₂-Preis um etwas weniger als 8 Euro im Durchschnitt. Unterm Strich ergibt sich eine durchschnittliche Nettobelastung von weniger als 6,50 Euro im Monat für jeden Haushalt, bei dem Arbeitswege mit dem MIV zurückgelegt werden.

Eine differenzierte Betrachtung entlang des ökonomischen Haushaltsstatus zeigt zudem eine regressive Verteilungswirkung, bei der die Haushalte mit höherem ökonomischem Status mehr belastet werden als die Haushalte mit niedrigerem Status, auch wenn die Spannbreite von 5,01 Euro gegenüber 7,31 Euro als eher gering zu bewerten ist. Auf Arbeitswegen zeigt sich, dass Haushalte mit höherem Haushaltsstatus deutlich mehr entlastet werden als die Haushalte mit niedrigerem Status. Der mittleren Entlastungen bei sehr hohem Haushaltsstatus liegen bei 3,37

Euro pro Monat, bei niedrigem Status nur bei 0,25 Euro pro Monat. Für Arbeitswege fallen also durch die Kombination CO₂-Preis und Pendlerpauschale geringere Kosten an als zuvor.

Bis ins Jahr 2025 steigt der CO₂-Preis so stark an, dass auch durch die Pendlerpauschale keine negativen Kosten entstehen und auch Arbeitswege über alle Haushalte hinweg mehr Kosten verursachen als vor der Einführung. Über alle Wege hinweg entstehen für Haushalte mit sehr hohem ökonomischem Status durchschnittliche Mehrkosten von rund 25 Euro pro Monat, für Haushalte mit sehr niedrigem ökonomischem Status liegen die durchschnittlichen Mehrkosten bei rund 14 Euro im Monat. Auch wenn die Belastung durch den CO₂-Preis bei besser gestellten Haushalten fast doppelt so hoch ist, ist deren Anteil am verfügbaren Haushaltseinkommen deutlich geringer als bei Haushalten mit niedrigem Haushaltsstatus. Relativ gesehen werden schwache Haushalte damit etwa dreimal so stark belastet wie wohlhabende Haushalte (vgl. Tabelle 17).

Tabelle 17: Durchschnittliche Belastungen durch den CO₂-Preis nach ökonomischen Haushaltsstatus

Angaben in Euro pro Monat

Haushaltsstatus	2021			2025		
	Arbeitswege ohne Pendlerpauschale	Arbeitswege mit Pendlerpauschale	sonstige Wege	Arbeitswege ohne Pendlerpauschale	Arbeitswege mit Pendlerpauschale*	sonstige Wege
sehr niedrig	1,68	-0,80	5,81	3,70	1,22	12,81
niedrig	1,78	-0,25	6,73	3,93	1,89	14,83
mittel	2,00	-0,78	6,83	4,41	1,63	15,05
hoch	4,12	-2,99	9,63	9,07	1,96	21,22
sehr hoch	4,16	-3,37	10,68	9,16	1,63	23,51
insgesamt	2,77	-1,59	7,91	6,10	1,74	17,43

Quelle: MiD 2017. Eigene Berechnung.

* Für 2025 wurde mit einer Pendlerpauschale von 2021 in Höhe von 35 Cent/Kilometer gerechnet

Im Hinblick auf das Verhältnis von Stadt und Land zeigen sich keine großen Unterschiede für das Jahr 2021. Die höchsten zusätzlichen Belastungen treten zwar im sehr ländlich geprägten Räumen auf, die durchschnittlichen zusätzlichen Kosten betragen dort 7,37 Euro pro Monat, aber der Unterschied zu den Metropolenräumen ist mit 0,44 Euro eher zu vernachlässigen. Durch den Anstieg des CO₂-Preises bis 2025 wächst der Unterschied leicht an. Die durchschnittlichen Zusatzkosten liegen dann in Metropolenräumen bei 19,21 Euro pro Monat, in sehr ländlichen Räumen bei 22,21 Euro pro Monat. Nimmt man nur die Arbeitswege in den Blick, so liegen in 2025 die Zusatzkosten zwischen 1,00 und 2,00 Euro pro Monat über alle Raumtypen hinweg.

8 Bewertung der Ergebnisse

Werden ausschließlich die Emissionen nach Verkehrsmitteln in den Blick genommen, so scheint der einzige wirksame Hebel zur deutlichen Reduktion der CO₂-Emissionen im Pkw-Verkehr zu liegen. Maßnahmen im Bereich des ÖV inkl. Flugverkehr können dabei ergänzend einbezogen werden, da deren aufsummierte Emissionswerte mit 16 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr mehr als ein Viertel der Minderungslücke von 56 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente ausmachen, die zur Erreichung der für das Jahr 2030 gesetzten Klimaziele geschlossen werden muss. Dieser Vergleich zeigt die damit verbundenen Herausforderungen, umfasst diese Lücke doch – nun umgekehrt gerechnet – fast das Vierfache der Gesamtemissionen im öffentlichen Verkehr einschließlich des Flugverkehrs. Deutlich wird dadurch einmal mehr, dass ein wirksamer Hebel zur Emissionsminderung vor allem beim MIV zu sehen ist, dem jährlich 117 Millionen Tonnen CO₂-Emissionen zuzurechnen sind.

Nimmt man statt der Verkehrsmittel die Wegezwecke in den Blick, so treten derartige Ansatzpunkte nicht so eindeutig hervor. Die höchsten Emissionswerte zeigen Arbeits-, Dienst- und Freizeitwege, die jeweils ein Viertel der Gesamtemissionen umfassen. Im Vergleich dieser drei Wegezwecke kann ein großer Hebel für effiziente emissionsreduzierende Maßnahmen bei dienstlichen Wegen erkannt werden. Diese haben einen Anteil von 17 Prozent an der gesamten Verkehrsleistung, die auf hohe Emissionswerte pro zurückgelegten Kilometer zurückzuführen sind. Mit etwa 190 Gramm CO₂ pro Kilometer sind das die höchsten aller Wegezwecke. Damit fallen zum einen hochmotorisierte Dienstwagen in den Blick, zum anderen die geringen Effizienzgewinne im Kraftstoffverbrauch von Lkw.

Die pauschale Besteuerung von Dienstwagen wird insbesondere von Seiten der Umweltverbände kritisiert und deren Reform als wichtiger Ansatzpunkt zur Erreichung der Klimaziele benannt (vgl. Kap. 2.2). Bislang gibt es jedoch keine politischen Maßnahmen, die an diesem Punkt ansetzen und den Empfehlungen der Umweltverbände folgen. Anders sieht es bei den Lkw aus, für die bereits 2019 Flottengrenzwerte beschlossen wurden, die seit 01. Januar 2020 gültig sind und sukzessive gesteigert werden. Durch diesen Ansatz ist zu erwarten, dass fehlende Investitionen von Seiten der Betreiber der Fahrzeuge, wie sie in einem Report von Transport & Environment (T&E 2017) berichtet wurden, in die Verantwortung der Hersteller übertragen werden.

Arbeitswege zeichnen sich gegenüber dienstlichen Wegen durch eine heterogenere Verkehrsmittelnutzung aus. So zeigen sich dort mit 14 Prozent die zweithöchsten ÖPNV-Anteil aller Wegezwecke, allerdings auch den zweithöchsten MIV-Fahrer-Anteil mit 55 Prozent. Schließlich kommt auch dem Fahrrad mit zwölf Prozent ein großer Anteil an den Arbeitswegen zu. Ansätze zur Emissionsreduktion lassen sich hier aus mehreren Gründen deutlich schwieriger identifizieren. Der umfassende Mix der verschiedenen Verkehrsmittel für Arbeitswege, bei denen Fuß- und Fahrradwege bereits 20 Prozent am Modalsplit umfassen, besitzt nur einen kleinen Spielraum zur Verlagerung vom Auto auf das Fahrrad oder den ÖV. Beim Fahrradverkehr zeigt sich zudem noch ein Entfernungsproblem, da etwa 45 Prozent der Arbeitswege zehn Kilometer oder länger sind. Das scheint für viele einfach zu weit zu sein, um täglich das Fahrrad zu nutzen, zumal mit dem Rückweg die täglichen Entfernungen dann leicht 20 bis 25 Kilometer überschreiten. Push-Maßnahmen, die auf eine Erhöhung der Kosten setzen, wie zum Beispiel eine Reduzierung der Pendlerpauschale oder einer Erhöhung des CO₂-Preises, können zu sozialen Härten führen und erfordern eine entsprechend sensible Justierung solcher Instrumente.

Dort, wo längere Arbeitswege und ein dünnes ÖV-Angebot das eigene Auto für den Weg zur Arbeit unverzichtbar machen, kann auch über eine Steigerung des Besetzungsgrads der Fahrzeuge eine deutliche Minderung erreicht werden. Doch viele Fahrgemeinschaften sind einer Flexibilisierung der Arbeitszeiten zum Opfer gefallen. Wer morgens noch einen zweiten Kaffee

möchte oder nachmittags etwas früher in den Feierabend, hat nun die Möglichkeit dazu. Die dadurch entstehenden zeitlichen Asynchronitäten verringern jedoch die Bündelungsfähigkeit trotz gemeinsamer Ziele.

Freizeitwege zeichnen sich durch eine linksschiefe Verteilung der Emissionswerte nach Entfernungen aus. Nur drei Prozent aller Freizeitwege sind länger als 100 Kilometer, trotzdem entfallen auf dieses Entfernungssegment 45 Prozent der im Freizeitverkehr erzeugten Emissionen. Dies zeigt den vergleichsweise großen Anteil des Flugverkehrs in diesem Segment, obwohl zu berücksichtigen ist, dass entfernungsintensive Flugreisen in der MiD nur bis zu einer Distanz von maximal 1.000 Kilometern berücksichtigt werden. Demzufolge werden die Emissionsanteile für Wege von mehr als 100 Kilometern Länge eher unterschätzt. Trotzdem zeigt sich in diesem Segment ein großer Hebel, der von einer Abschaffung der Energiesteuerbefreiung des Kerosins und der Mehrwertsteuerbefreiung für internationale Flüge ausgehen würde (vgl. dazu auch Kap. 2.2).

Unbenommen davon ist aber – über alle Entfernungsklassen und Wegezwecke hinweg – der Autoverkehr mit großem Abstand die Hauptursache für Emissionen im Verkehrssektor und sollte deswegen auch im Fokus der Ergebnisbewertung stehen. Dazu wird die Perspektive von der Wege- auf die Personenebene gewechselt.

Personen in ländlichen Räumen haben einen größeren CO₂-Fußabdruck als die Einwohner von Städten. Das lässt sich durch die Funktionsdichte in urbanen Räumen erklären, die auf dem Land nicht gegeben ist. Für Alltagserledigungen ist dort das Auto das wichtigste und auch unverzichtbare Verkehrsmittel. Der öffentliche Verkehr bietet oftmals keine Alternative, ist er doch vielerorts zu unflexibel und in ein starres Gerüst aus Linien- und Fahrplanbindung gezwungen. So zeigt er sich zwar verlässlich und planbar, aber kaum bedarfsgerecht und zur Bewältigung komplexer Zeit-Raum-Muster wenig geeignet. Die gewöhnlichen ÖV-Linien im ländlichen Raum, die die kleineren Orte mit dem Mittel- oder Oberzentrum im Stundentakt verbinden, erfordern bei der Nutzung ein großes Zeitbudget und Geduld für mitunter lange Wartezeiten an den Bushaltestellen. Dabei kann durchaus kritisch hinterfragt werden, wie gut ein raumordnungspolitischer Zentrale-Orte-Ansatz der lebensweltlichen Situation tatsächlich entspricht. Bedürfnisse richten sich nicht nur nach zentralörtlichen Funktionen aus, sondern werden über soziale Kontakte vermittelt. Freunde und Bekannte wohnen vielleicht im Nachbarort, sind aber – wenn keine direkte Buslinie besteht – dann häufig nur mit großem Aufwand zu erreichen.

Mehr Bedarfsorientiertheit im ländlichen ÖV ist seit langem ein Thema der Verkehrsforschung und mit Bedarfslinien, Rufbussen, Anrufsammeltaxi (AST) und weiteren ÖV-Zwischenformen konnten die starren Vorgaben des Personenbeförderungsgesetzes flexibilisiert und wichtige Entwicklungen angestoßen werden. Andererseits sind solche Angebote wenig bekannt, setzen Ortskenntnis voraus und bedürfen zur Nutzung einen Planungsvorlauf von mehreren Stunden, z.B. bei Rufbusangeboten. Trotz zahlreicher Forschungsprojekte sind umfassende Lösungen für einen effizienten, bedürfnisgerechten und klimaschonenden ÖPNV auf dem Land nicht in Sicht. Deshalb bleibt das Auto das vorherrschende Verkehrsmittel. Entsprechend sind die CO₂-Emissionen pro Weg fast doppelt so hoch, wie die Emissionen der Metropolenbewohner.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie gerecht eine CO₂-Bepreisung bei gegebenen raumstrukturellen Unterschieden sein kann oder sein sollte. Lassen sich höhere Kosten wegen größerer Entfernungen durch niedrigere Lebenshaltungskosten rechtfertigen? Sollte die Pendlerpauschale als Ausgleichsmechanismus für höhere Belastungen tatsächlich angepasst werden oder wird dadurch das Instrument der CO₂-Bepreisung vielmehr konterkariert und weniger wirksam? Sollte das Haus im Grünen aus umweltpolitischen Gesichtspunkten überhaupt gefördert werden oder ist nicht vielmehr eine negative Sanktionierung erforderlich? Ist Siedlungspolitik als Klimapolitik eine Lösung?

Der Kern dieser Fragen liegt in einer Abwägung von Verteilungsgerechtigkeit und ökologischer Effizienz. Was kann Haushalten an zusätzlichen Belastungen zugemutet werden, um umweltpolitische Zielsetzungen zu erreichen? Und wie lassen sich zusätzliche Belastungen für Haushalte mit ökonomisch niedrigem Status vermeiden und auf die Haushalte mit großem Haushaltseinkommen verteilen? Zumal die zweite Gruppe auch den deutlich größeren CO₂-Fußabdruck zeigt. Die ökonomisch besser gestellten Haushalte haben einen doppelt so hohen Emissionsausstoß als die Haushalte mit sehr niedrigem Status und sie legen pro Tag auch doppelt so viele Kilometer zurück. Somit wirkt eine CO₂-Bepreisung eher progressiv und belastet die Haushalte mit hohem ökonomischem Status stärker, aufgrund längerer Pendlerdistanzen, aber gleichzeitig profitieren sie besonders stark von der Erhöhung der Pendlerpauschale. Sie wirkt regressiv und kommt den Haushalten mit niedrigem ökonomischem Status und eher kürzeren Pendlerwegen kaum zugute.

Die überschlägigen Berechnungen in Kapitel 7 haben dabei gezeigt, dass von dem CO₂-Preis in der derzeitigen Konzeption nur eine begrenzte Steuerungswirkung zu erwarten sein wird, da die finanziellen Belastungen eher moderat sind. Lediglich bei ökonomisch sehr schwachen Haushalten lassen sich ggf. Verhaltensänderungen erwarten, wenn die anteiligen Kosten am Haushaltseinkommen bis zu zwei Prozent betragen. Allerdings besteht für diese Haushalte wenig Handlungsspielraum. Zudem ist ihr Beitrag an den gesamten CO₂-Emissionen eher gering. Bei den besser gestellten Haushalten sind die absoluten Kosten deutlich höher, gemessen am Haushaltseinkommen jedoch vernachlässigbar. Es ist nicht zu erwarten, dass sich allein aufgrund der zusätzlichen Kosten festgefahrene Verhaltensmuster auflösen werden. Ob also durch dieses Instrument ein Modalshift angestoßen werden kann und sich Verkehr vom Auto auf den Umweltverbund verlagert, kann bezweifelt werden.

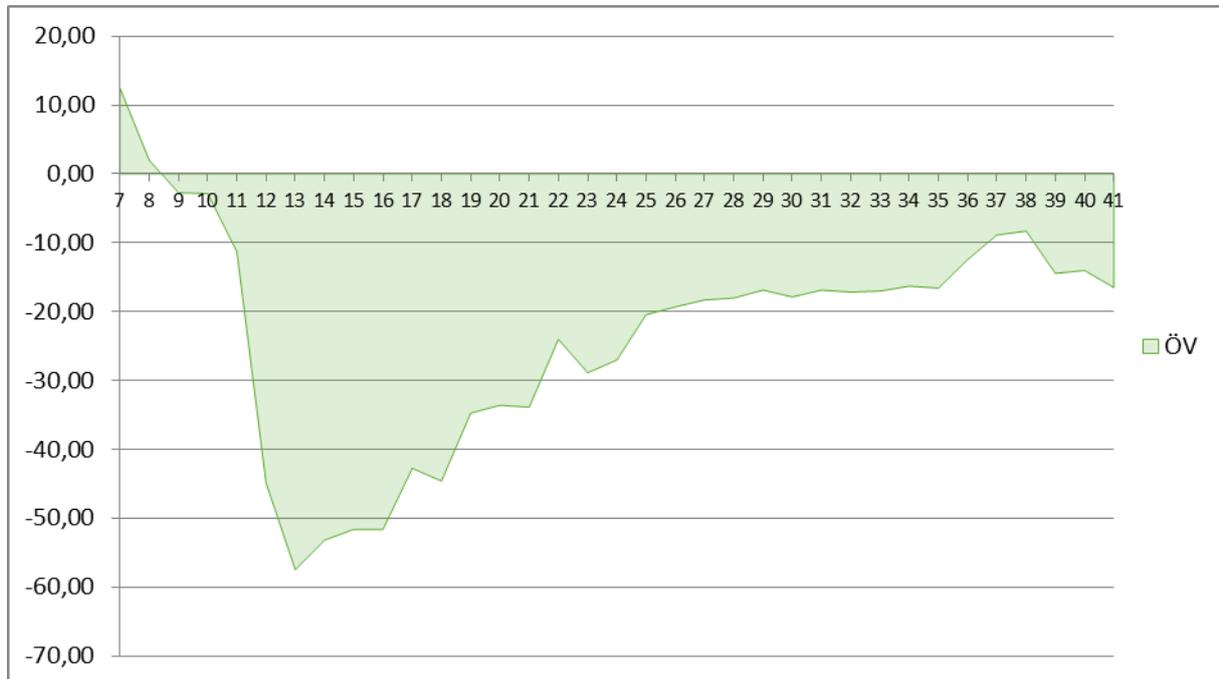
Aber ein Zugewinn an Fahrgästen für den ÖV wäre aus Klimagesichtspunkten wünschenswert, hat dieser durch die Corona-Pandemie nachhaltig an Kunden verloren. Auch während der Sommermonate haben sich die Fahrgastzahlen nicht vollständig normalisiert und liegen weiterhin etwa 20 Prozent unter den gewöhnlichen Auslastungszahlen, Stand Oktober 2020 (vgl. Abbildung 20). Die Zuwendungen des Bundes und der Länder decken nur etwa die Hälfte der prognostizierten Einnahmeverluste der ÖV-Branche, so geht es aus einer Stellungnahme des VDV zum ÖPNV-Rettungsschirm hervor (vgl. VDV 2020), da würden neue Kunden die Situation entspannen.

Eine andere erwünschte Wirkung des CO₂-Preises wäre die Anschaffung verbrauchsarmer Pkw. Für ökonomisch schwächere Haushalte kann darin allerdings keine Option gesehen werden, da zunächst Geld investiert werden muss, um dann diese Ausgaben über geringere Kraftstoffverbräuche zu kompensieren.

Neben dem Umstieg auf andere Verkehrsmittel oder der Anschaffung verbrauchsarmer Fahrzeuge kann auch von einer verhaltensändernden Wirkung des CO₂-Preises ausgegangen werden. Zu denken ist eine Verlagerung von Einkaufswegen in das nahräumliche Umfeld, wobei dabei nur ein geringer Hebel gegeben ist. Nur etwa 11 Prozent der Einkaufswege haben eine längere von mehr als 10 Kilometern. Zudem würde eine Stärkung des Online-Shoppings die Emissionen lediglich vom privaten in den Wirtschaftsverkehr verlagern. Eine große Einsparung an CO₂-Emissionen ist dabei nicht zu erwarten.

Abbildung 20: Abweichungen vom Medianwert (Referenzwert) nach Besuchen von ÖV-Einrichtungen für Deutschland nach Kalenderwochen

Die Referenz (Nulllinie) ist der Medianwert der fünf Wochen vom 3. Januar bis 6. Februar 2020.



Quelle: google (<https://www.google.com/covid19/mobility/>)

Die Ergebnisse und Diskussionen zeigen, dass über den CO₂-Preis in der derzeit diskutierten Ausgestaltung keine Steuerungswirkung zu erreichen ist und keine oder nur geringe Effekte im Hinblick auf CO₂-Minderungen zu erwarten sind. Dazu bedarf es weiterer Maßnahmen und Instrumente. Die Ansatzpunkte sind bekannt und wurden auch in dieser Studie bestätigt.

9 Ausblick

„Die Hauptgründe für den anhaltend hohen CO₂-Ausstoß im Verkehrssektor sind die Dominanz fossiler Kraftstoffe, die Zunahme der Fahrleistung, schwerere Fahrzeugmodelle im Personenverkehr sowie die steigende Zahl von Autos und Flügen im Personen- und Güterverkehr“ (BMU 2020a, 36).

Die vorgestellten Ergebnisse beschreiben die „CO₂-Situation“ im Alltagsverkehr deutlich. Sie belegen aus einer anderen Analyseperspektive den bekannten Befund, dass der Verkehrssektor bisher nicht zu einer diesbezüglichen Emissionsreduktion beigetragen hat. Die Werte sind in der hier betrachteten Zeitspanne von 2002 bis 2017 sogar leicht gestiegen. Möglicherweise ist dieser nur leichte Anstieg bereits ein Erfolg, da noch höhere Zuwächse verhindert werden konnten, aber dies wäre ein Gedankenexperiment, das in die falsche Richtung weist.

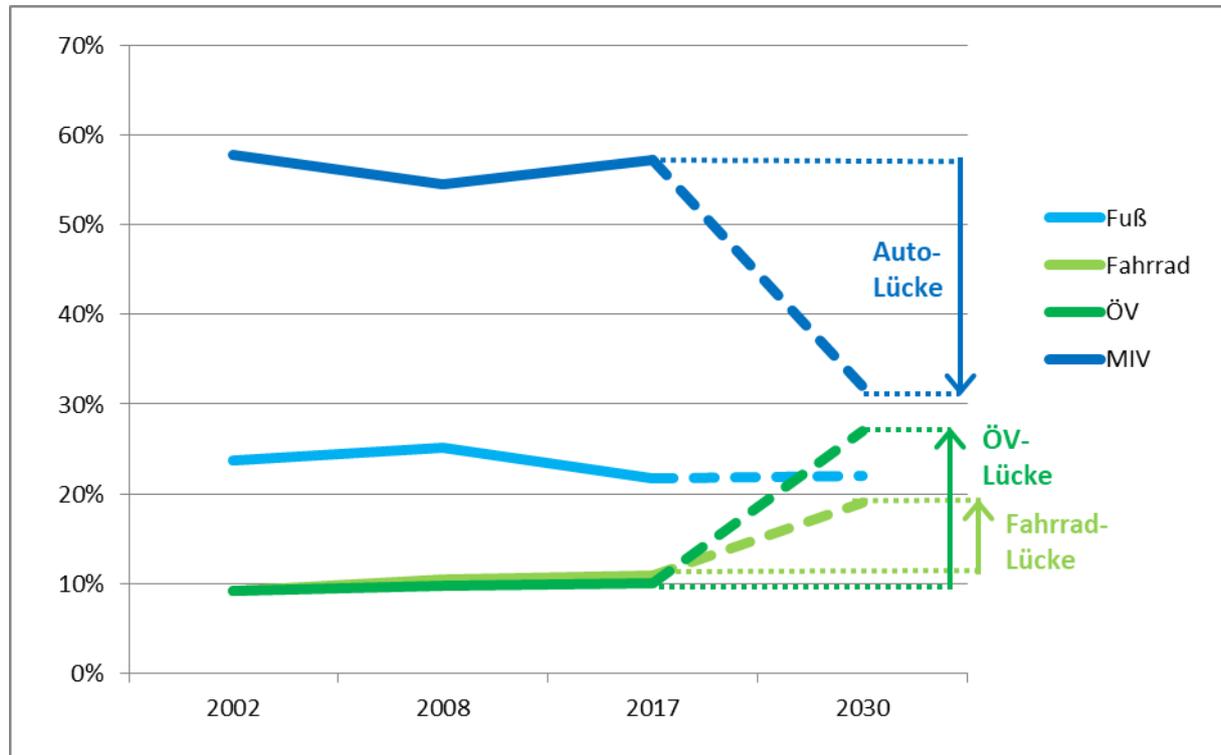
Die Gründe für das Wachstum wurden herausgearbeitet. Sie liegen in einer weiterhin ansteigenden Verkehrsleistung. Dies gilt insbesondere für den Pkw-Verkehr sowie für die wachsenden Anteile längeren Strecken, ganz unabhängig von dem dabei verwendeten Verkehrsmittel. Je nach Abgrenzung entfällt ein Viertel bis ein Drittel der CO₂-Emissionen im Alltagsverkehr der Bürgerinnen und Bürger in Deutschland auf Streckenlängen in den Bereichen ab der 50-Kilometer-Distanz. Wenn zusätzlich bedacht wird, dass in den hier beschriebenen Resultaten definitionsgemäß der Auslandsverkehr der Deutschen nicht eingerechnet wurde, spitzt sich dieser Befund weiter zu.

Die gewählte Auswertungsperspektive über die personenbezogene Betrachtung auf Mikroebene – anstatt der Beschränkung auf ein einzelnes Aggregat – offenbart darüber hinaus zweierlei: Zum einen fallen die verkehrsbedingten CO₂-Bilanzen der Bürgerinnen und Bürger individuell sehr unterschiedlich aus. Insbesondere Personen mit einem niedrigen ökonomischen Status weisen niedrige Werte auf. Dagegen verursachen Personen am anderen Ende einer solchen Wohlstandsskala deutlich höhere Pro-Kopf-Werte. Ihr Anteil an den Gesamtemissionen ist überproportional hoch. Dies spiegelt – innerdeutsch betrachtet – ein ähnliches Ergebnis wider wie der global betrachtete Unterschied zwischen hochentwickelten Industrieländern und Staaten außerhalb oder am Rand dieser Kategorie. Zum anderen legen die Resultate nahe, die oft auf den Berufsverkehr beschränkte Diskussionsperspektive zu erweitern. Diese ist wichtig, doch sie konzentriert sich bestenfalls auf nur eine Hälfte des Geschehens. Die andere Hälfte bilden Einkaufs-, Versorgungs- und vor allem Freizeitverkehre.

Was zu Entlastung und zur Erreichung der Klimaziele getan werden muss, lässt sich aus den Ergebnissen ebenfalls ableiten. Es stellt eigentlich keine Überraschung dar und ist eher unzweifelhaft – wenn das formulierte 40-Prozent-Reduktionsziel in einer Zeitspanne über die nächsten knapp zehn Jahre als Maßstab angelegt wird. Eine einfache überschlägige Simulation, die hier abschließend zur Verdeutlichung vorgestellt werden soll, führt zu dem Erfordernis, dass der Anteil des Pkw-Verkehrs am Verkehrsaufkommen und der Verkehrsleistung halbiert und die jeweiligen Tortenstücke des Fahrrads und des öffentlichen Verkehrs verdoppelt werden müssen. Dies gilt unter der vereinfachenden, aber nicht unrealistischen Bedingung, dass der Pkw trotz der langsam wachsenden Elektromobilität in dieser Zeit keine wesentlichen Effizienzgewinne verzeichnen wird. Die aktuelle Pkw-Flotte wird bei einem durchschnittlichen Flottenalter noch ein wenig Bestand haben – und noch wächst der Pkw-Bestand in Deutschland sogar weiter, nach ersten Zahlen des KBA auf niedrigem Niveau vermutlich selbst im Corona-Jahr 2020. Die Abbildung veranschaulicht, welche Knicke die bisherigen Kurvenverläufe verzeichnen müssten, soll auch im Verkehr das 40-Prozent-Ziel erreicht werden (vgl. Abbildung 21).

Abbildung 21: Erforderliche Änderungen am Verkehrsaufkommen zur Erreichung der Emissionsziele

Anteil am Verkehrsaufkommen in Wegen, Angaben in Prozent



Quellen: MiD 2002, 2008, 2017

Die Corona-Situation, soweit in der zweiten Jahreshälfte 2020 absehbar, wird dies vermutlich nur kurzfristig entschärfen. Bei kurzer Vorausschau bleibt das Verkehrsniveau (Verkehrsleistung, Verkehrsaufkommen) etwas reduziert – im Herbst 2020 in einem Bereich von etwa zehn Prozent – und schafft so ein wenig Entlastung. Bei einem weiter reichenden Blick wird diese Reduzierung eher abschmelzen und sich alten Baselines annähern oder diese sogar übertreffen. Möglicherweise entschärfen manche länger andauernden Veränderungen in der Arbeitswelt und dem Reiseverhalten das „Wieder-Wachstum“, aber, so unsere Einschätzung, wird dies langfristig vielleicht nur ein kleiner Hebel sein. Dem entgegen steht die Annahme, dass sich das gegenwärtig noch andauernde Minus im öffentlichen Verkehr als etwas dauerhafter erweist und das Auto seinen Wachstumskurs, auch angetrieben von einem frostigen „Corona-Rückenwind“, trotz aller gegenteiliger Bemühungen fortsetzt. Soll dies verhindert werden, ist ein konsequentes, massives und sehr schnelles Handeln unabdingbar, sowohl im individuellen Verhalten wie in den Rahmenbedingungen, den gesetzten Anreizen, aber auch mit Hilfe von Restriktionen.

10 Quellenverzeichnis

- Agora Energiewende (2017): Das Klimaschutzziel von -40 Prozent bis 2020: Wo landen wir ohne weitere Maßnahmen? Eine realistische Bestandsaufnahme auf Basis aktueller Rahmendaten. https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2015/Kohlekonsens/Agora_Analyse_Klimaschutzziel_2020_07092016.pdf (07.07.2020).
- Agora Energiewende, Agora Verkehrswende (2018): Die Kosten von unterlassenem Klimaschutz für den Bundeshaushalt. Die Klimaschutzverpflichtungen Deutschlands bei Verkehr, Gebäuden und Landwirtschaft nach der EU-Effort-Sharing-Entscheidung und der EU-Climate-Action-Verordnung. O.O.
- Agora Verkehrswende (2018): Klimaschutz im Verkehr: Maßnahmen zur Erreichung des Sektorziels 2030. https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2017/Klimaschutzszenarien/Agora_Verkehrswende_Klimaschutz_im_Verkehr_Massnahmen_zur_Erreichung_des_Sektorziels_2030.pdf (10.07.2020).
- Agora Verkehrswende (2020): Städte in Bewegung. Zahlen, Daten, Fakten zur Mobilität in 35 deutschen Städten.
- Agora Verkehrswende, ICCT (2018): CO₂-Minderung bei Pkw – die Rolle der Steuerpolitik. Ein europäischer Vergleich. https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Fiskalische_Instrumente/14_Fiskalische-Instrumente_WEB.pdf (14.08.2020).
- Ahrens, G.-A. (2015): Sonderauswertung zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten – SrV 2013“ SrV-Stadtgruppe: Oberzentren bis unter 500.000 EW, Topografie: hügelig. Dresden.
- Andor, M.; Frondel, M.; Horvath, M.; Larysch, T.; Ruhrort, L. (2019): Präferenzen und Einstellungen zu vieldiskutierten verkehrspolitischen Maßnahmen: Ergebnisse einer Erhebung aus dem Jahr 2018. RWI-Materialien Heft 131. http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-materialien/rwi-materialien_131.pdf (07.08.2020).
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hrsg.) (2016): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutz-plan_2050_bf.pdf (24.03.2020).
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2017): Die Klimakonferenz von Paris. Beitrag vom 05.09.2017. <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/internationale-klimapolitik/pariser-abkommen/> (04.08.2020).
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hrsg.) (2019a): Klimaschutzbericht 2018 zum Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzbericht_2018_bf.pdf (24.03.2020).
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2019b): „Schulze: CO₂-Preis kann sozial gerecht gestaltet werden“, Pressemitteilung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit vom 5.7.2019. <https://www.bmu.de/pressemitteilung/schulze-co2-preis-kann-sozial-gerecht-gestaltet-werden/> (07.08.2020).
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hrsg.) (2020): Klimaschutz in Zahlen. Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik. Ausgabe 2020.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hrsg.) (2020b): Klimaschutzbericht 2019 zum Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzbericht_2019_kabinettsfassung_bf.pdf (01.11.2020).

BMVI - Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.) (2019): Wege zur Erreichung der Klimaziele im Verkehrssektor. NPM - Nationale Plattform Zukunft der Mobilität; Zwischenbericht 03/2019 der Arbeitsgruppe 1: Klimaschutz im Verkehr.

BMVI - Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2020): Regionalstatistische Raumtypologie (RegioStaR) . Letzte Aktualisierung vom Januar 2020. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/regionalstatistische-raumtypologie.html> (24.08.2020).

Deutsche Bahn (2018): Daten & Fakten 2018. https://www.deutschebahn.com/resource/blob/3992278/1d136e983334750ef4f24072d49c7cdf/20190325_bpk_2019_daten_fakten-data.pdf (24.08.2020).

Deutsche Bahn/DB Mobility Logistics (2008): Daten & Fakten 2008. https://www1.deutschebahn.com/resource/blob/1045698/f8059e6510068244bf78e8479614e8bd/2008_duf_de-data.pdf (24.08.2020).

DB Netze (2020): Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung II. Infrastrukturzustands- und -entwicklungsbericht 2019. April 2020.

DLR (2017): Luftverkehrsbericht 2016. Daten und Kommentierungen des deutschen und weltweiten Luftverkehrs. Köln.

Europäische Union (2009): Verordnung (EG) Nr. 443/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO₂-Emission von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen. Straßburg/Brüssel.

Europäische Union (2019a): Verordnung (EU) 2019/631 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. April 2019 zur Festsetzung von CO₂-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 443/2009 und (EU) Nr. 510/2011 (Neufassung). Straßburg.

Europäische Union (2019b): Verordnung (EU) 2019/631 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 zur Festlegung von CO₂-Emissionsnormen für neue schwere Nutzfahrzeuge und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 595/2009 und (EU) 2018/956 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie der Richtlinie 96/53/EG des Rates. Brüssel.

Europäische Kommission (2020): Übereinkommen von Paris. https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_de (06.08.2020).

Follmer, R. (2019): Mobilität in Deutschland – MiD Wegeerfassung im Etappenkonzept. Studie von infas, DLR und IVT im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15). Bonn, Berlin

Follmer, R. (2020): Unsere Gewohnheitslücke: Die Mobilitätswende und CO₂-Emissionen im Alltagsverkehr. Beitrag im infas-Blog vom 01. April 2020. <http://blog.infas.de/unsere-gewohnheitsluecke-die-mobilitaetswende-und-co2-emissionen-im-alltagsverkehr/> (02.04.2020).

Gehrke, M. (2016): Fahrscheinfrei im ÖPNV –Eine Alternative für Großstädte. Ein Maßnahmensortiment und die Realisierbarkeit in Berlin. IVP-Discussion Paper. Heft4/2016. Berlin.

Heusch-Boesefeldt (1996): Ermittlung der Pkw- und Nfz-Jahresfahrleistungen 1993 auf allen Straßen in der Bundesrepublik Deutschland. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Aachen.

FÖS - Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (2015): Steuervergünstigung für Dieselmotoren. Kurzanalyse für Greenpeace. Autoren: Runkel, M.; Mahler, A..

ICCT - The International Council on Clean Transportation (2017): Shell game? Debating real-world fuel consumption trends for heavy-duty vehicles in Europe. <https://theicct.org/blogs/staff/debating-EU-HDV-real-world-fuel-consumption-trends> (20.08.2020).

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) (2007): Fourth Assessment Report, Working Group I: The Physical Science Basis. 2007, 8.6.3.1. <https://ipcc.ch> (11.08.2020).

ifeu (2012): Aktualisierung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030“ (TREMOMOD, Version 5.3) für die Emissionsberichterstattung 2013 (Berichtsperiode 1990-2011). Endbericht. Heidelberg.

IVT (2004): Fahrleistungserhebung 2002, Band 2: Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko. Untersuchung im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heilbronn, Mannheim.

Milbert, A. (2020): Stadt-Umland-Definitionen in der Raumbearbeitung. Stadtforschung und Statistik: Zeitschrift des Verbandes Deutscher Städtestatistiker, 33(1), 2-11.
https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/67129/ssoar-stadtfstatistik-2020-1-milbert-Stadt-Umland-Definitionen_in_der_Raumbearbeitung.pdf?sequence=1&isAllowed=y&lnkname=ssoar-stadtfstatistik-2020-1-milbert-Stadt-Umland-Definitionen_in_der_Raumbearbeitung.pdf (30.10.2020).

Mobilität in Deutschland (2010): Mobilität in Deutschland 2008. Ergebnisbericht. Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends. http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/infas_MiD2008_Abschlussbericht_1.pdf (25.03.2020).

Mobilität in Deutschland (2019a): Mobilität in Deutschland - MiD. Ergebnisbericht. [URL: http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf; Zugriff: 25.03.2020].

Mobilität in Deutschland (2019b): Mobilität in Deutschland - MiD. Methodenbericht. http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Methodenbericht.pdf (25.03.2020).

Mobilität in Deutschland (2019c): Mobilität in Deutschland - MiD. Zeitreihenbericht. http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Zeitreehenbericht_2002_2008_2017.pdf (05.08.2020).

Rothenwänder, C. (2009): Kritische Betrachtung des JiT-Beschaffungssystems international agieren-der Unternehmen. Diplomarbeit der Hochschule Mittweida. Salzburg.

Sachs, W. (1993): Die vier E's. Merkpösten für einen maß-vollen Wirtschaftsstil. In: Politische Ökologie, Jg. 11, Nr. 33, S. 69-72.

Santarius, T. (2012): Der Rebound-Effekt: Über die unerwünschten Folgen der erwünschten Energieeffizienz. Impulse zur Wachstums Wende 5. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal. [URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:wup4-opus-42193>; Zugriff: 24.08.2020]

Simons, H.; Weiden, L. (2016): Schwarmverhalten, Reurbanisierung und Suburbanisierung. In: bbsr (Hrsg.): Im Schatten der Reurbanisierung? Suburbias Zukünfte. Informationen zur Raumentwicklung, Heft 3.2016, S. 263-273.

Statista (2020): Auslastung der Züge im Schienenpersonennahverkehr (SPNV) in Deutschland in den Jahren 2002 bis 2018. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/261311/umfrage/fahrgast-auslastung-im-spnv-in-deutschland/> (20.08.2020).

T&E - Transport & Environment (2017): Uptake for truck fuel efficiency technologies. Why market forces alone will not do the job. T-E Report, September 2017. https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2017_09_Market_penetration_fuel_efficiency_tech_0.pdf (20.08.2020).

UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2015): Rebound-Effekte: Ihre Bedeutung für die Umweltpolitik. Texte 31/2015. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_31_2015_rebound-effekte_ihre_bedeutung_fuer_die_umweltpolitik.pdf (12.08.2020).

UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2016): Repräsentative Erhebung von Pro-Kopf-Verbräuchen natürlicher Ressourcen in Deutschland (nach Bevölkerungsgruppen). https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_39_2016_repraesentative_erhebung_von_pro-kopf-verbraeuchen_natuerlicher_ressourcen.pdf (31.03.2020).

UBA - Umweltbundesamt (2018): Klimabilanz 2017: Emissionen gehen leicht zurück. Pressemitteilung 08/2018 vom 26.03.2018. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/dokumente/pm-2018-08_thg-nahzeitprognose_2017.pdf (08.08.2020).

UBA - Umweltbundesamt (2019a): Kein Grund zur Lücke. So erreicht Deutschland seine Klimaschutzziele im Verkehrssektor für das Jahr 2030. Positionspapier November 2019.

UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2019b): Rechtliche Hemmnisse und Innovationen für eine nachhaltige Mobilität – untersucht an Beispielen des Straßenverkehrs und des öffentlichen Personennahverkehrs in Räumen schwacher Nachfrage. Texte 94/2019. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-08-20_texte_94-2019_rechtsinnmobil_1-teilbericht-recht-innovation_0.pdf (14.08.2020).

UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2019c): Veränderungen im Mobilitätsverhalten zur Förderung einer nachhaltigen Mobilität. Abschlussbericht. Texte 101/2019.

UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2019d): Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. RESCUE-Studie. Climate Change 36/2019. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/szenarien-konzepte-fuer-die-klimaschutz/rescue-wege-in-eine-ressourcenschonende#hintergrund> (01.11.2020).

UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2020a): Energiebedingte Emissionen. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energiebedingte-emissionen#energiebedingte-treibhausgas-emissionen> (20.08.2020).

UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2020b): Klimawirksame Emissionen des deutschen Reiseverkehrs. Abschlussbericht. Texte 141/2020.

UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2020c): Klimaschutz durch Tempolimit. Wirkung eines generellen Tempolimits auf Bundesautobahnen auf die Treibhausgasemissionen. Texte 38/2020.

UBA - Umweltbundesamt (2020d): Atmosphärische Treibhausgas-Konzentrationen. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/atmosphaerische-treibhausgas-konzentrationen> (20.08.2020).

UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2020e): Aktualisierung der Modelle TREMOD/TREMOD-MM für die Emissionsberichterstattung 2020 (Berichtsperiode 1990-2018). Texte 116/2020. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-29_texte_116-2020_tremod_2019_0.pdf (30.07.2020).

VDV (2020). Stellungnahme des VDV vom 03.06.2020 zu den Ergebnissen des Koalitionsausschusses. <https://www.vdv.de/20200605-vdv-auswertung-der-ergebnisse-des-koalitionsausschusses.pdf?forced=true> (30.06.2020).

WWF Deutschland (Hrsg.) (2014): Klimafreundlicher Verkehr in Deutschland. Weichenstellungen bis 2050. https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Verbaendekzept_Klimafreundlicher_Verkehr.pdf (14.08.2020).

Zeit Online (2018): Jedes fünfte Kind wird zur Schule gefahren. Zeit Online vom 22.08.2018. <https://www.zeit.de/gesellschaft/schule/2018-08/elterntaxi-grundschueler-schulweg-sicherheit-umfrage> (01.10.2020).

Zimmer, W. et al. (2016): Endbericht RENEWABILITY III - Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors. https://elib.dlr.de/109486/1/__bafiler1_VF-BA_VF_Server_neu_Projekte_PJ_laufend_RNB3_2-Ergebnisse_21-Berichte_Renewability-III_Endbericht.pdf (14.08.2020).

A Anhang

A.1 Verkehrsmittelspezifische Emissionskennwerte

Emissionswerte für Pkw etc.

TREMODO 6.03 (01/2020)						
Pkw						
Scenario	YearRef	Component	Vehicle Group	Vehicle Size	Energy	Specific Value g/Pkm
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2002	CO2	PKW	Alle	B total	164,33
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2002	CO2	PKW	Alle	D total	149,19
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2002	CO2	PKW	Alle	LPG	137,35
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	PKW	Alle	B total	155,06
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	PKW	Alle	CNG total	103,88
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	PKW	Alle	D total	137,01
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	PKW	Alle	LPG	137,33
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	PKW	Alle	B total	145,67
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	PKW	Alle	CNG total	79,28
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	PKW	Alle	D total	145,39
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	PKW	Alle	El total	78,54
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	PKW	Alle	LPG	140,70

Pedelec						
Scenario	YearRef	Component	Vehicle Group	Vehicle Size	Energy	Specific Value g/Pkm
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	HPV	Alle	El total	3,64

Kleinkrafträder						
Scenario	YearRef	Component	Vehicle Group	Vehicle Size	Energy	Specific Value g/Pkm
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2002	CO2	KKR	Alle	B total	68,90
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	KKR	Alle	B total	67,37
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	KKR	Alle	B total	67,79
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	KKR	Alle	El total	13,33

Krafträder						
Scenario	YearRef	Component	Vehicle Group	Vehicle Size	Energy	Specific Value g/Pkm
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2002	CO2	KR	Alle	B total	150,73
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	KR	Alle	B total	143,53
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	KR	Alle	B total	142,56
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	KR	Alle	El total	41,50

Emissionswerte für Busse

Busse						
--------------	--	--	--	--	--	--

Fernlinienbus						
Scenario	YearRef	Component	Vehicle Group	Vehicle Size	Energy	Specific Value g/Pkm
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	FLBus	Coach <=18t	D total	32,80
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	FLBus	Coach >18t	D total	25,93
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	FLBus	Coach >18t	El total	22,68

Linienbus						
Scenario	YearRef	Component	Vehicle Group	Vehicle Size	Energy	Specific Value g/Pkm
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2002	CO2	LBus	Ubus<=15t	D total	94,70
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2002	CO2	LBus	Ubus>15-18t	D total	66,83
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2002	CO2	LBus	Ubus>18t	D total	58,28
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	LBus	Ubus<=15t	CNG total	96,25
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	LBus	Ubus>15-18t	CNG total	68,09
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	LBus	Ubus>18t	CNG total	54,97
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	LBus	Ubus<=15t	D total	103,35
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	LBus	Ubus>15-18t	D total	72,57
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	LBus	Ubus>18t	D total	62,50
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LBus	Ubus<=15t	CNG total	87,62
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LBus	Ubus>15-18t	CNG total	60,22
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LBus	Ubus>18t	CNG total	50,04
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LBus	Ubus<=15t	D total	123,54
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LBus	Ubus>15-18t	D total	89,38
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LBus	Ubus>18t	D total	74,86
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LBus	Ubus<=15t	El total	109,18
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LBus	Ubus>15-18t	El total	72,71
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LBus	Ubus>18t	El total	64,15

Sonstige Reisebusse						
Scenario	YearRef	Component	Vehicle Group	Vehicle Size	Energy	Specific Value g/Pkm
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2002	CO2	SRBus	Coach <=18t	D total	30,48
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2002	CO2	SRBus	Coach >18t	D total	22,65
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	SRBus	Coach <=18t	D total	27,57
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	SRBus	Coach >18t	D total	20,27
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	SRBus	Coach <=18t	D total	37,81
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	SRBus	Coach >18t	D total	27,42
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	SRBus	Coach <=18t	El total	28,68
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	SRBus	Coach >18t	El total	23,12

Emissionswerte für LKW etc.

Leichte Nutzfahrzeuge						
Scenario	YearRef	Component	Vehicle Group	Vehicle Size	Energy	Specific Value g/km
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2002	CO2	LNF	Alle	B total	263,35
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2002	CO2	LNF	Alle	D total	309,90
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	LNF	Alle	B total	260,77
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	LNF	Alle	CNG total	218,63
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	LNF	Alle	D total	291,22
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LNF	Alle	B total	254,81
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LNF	Alle	CNG total	174,80
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LNF	Alle	D total	306,96
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LNF	Alle	El total	194,02

Lkw ab 3,5t						
Scenario	YearRef	Component	Vehicle Group	Vehicle Size	Energy	Specific Value g/km
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2002	CO2	LKW	Alle	D total	653,07
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	LKW	Alle	D total	612,18
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LKW	Alle	CNG total	343,81
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LKW	Alle	D total	652,21
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LKW	Alle	El total	385,26

Lastzüge						
Scenario	YearRef	Component	Vehicle Group	Vehicle Size	Energy	Specific Value g/km
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2002	CO2	LZ	Alle	D total	1014,36
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	LZ	Alle	D total	954,57
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LZ	Alle	CNG total	653,06
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LZ	Alle	D total	969,82
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	LZ	Alle	El total	937,73

Sattelzüge						
Scenario	YearRef	Component	Vehicle Group	Vehicle Size	Energy	Specific Value g/km
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2002	CO2	SZ	Alle	D total	1028,47
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2008	CO2	SZ	Alle	D total	977,19
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	SZ	Alle	LNG	612,93
SYS_D_Real (TREMODO 6.03-30.01.2020)	2017	CO2	SZ	Alle	D total	992,59

Emissionswerte für Bahnen

Bahn, Nahverkehr						
Scenario	YearRef	Component	Train Group	Operation Group	Energy	Specific Value g/Pkm
D_Trend_190808	2002	CO2	PNV	Zug	D total	97,01
D_Trend_190808	2002	CO2	PNV	Zug	El total	114,74
D_Trend_190808	2008	CO2	PNV	Zug	D total	87,67
D_Trend_190808	2008	CO2	PNV	Zug	El total	73,76
D_Trend_190808	2017	CO2	PNV	Zug	D total	83,45
D_Trend_190808	2017	CO2	PNV	Zug	El total	47,08
Diesel+Elektrisch						
Scenario	YearRef	Component	Train Group	Operation Group	Energy	Specific Value g/Pkm
D_Trend_190808	2002	CO2	PNV	Zug	Alle	109,99
D_Trend_190808	2008	CO2	PNV	Zug	Alle	76,97
D_Trend_190808	2017	CO2	PNV	Zug	Alle	54,75

Bahn, Fernverkehr						
Scenario	YearRef	Component	Train Group	Operation Group	Energy	Specific Value g/Pkm
D_Trend_190808	2002	CO2	PFV	Zug	D total	78,08
D_Trend_190808	2002	CO2	PFV	Zug	El total	54,01
D_Trend_190808	2008	CO2	PFV	Zug	D total	67,63
D_Trend_190808	2008	CO2	PFV	Zug	El total	45,21
D_Trend_190808	2017	CO2	PFV	Zug	D total	50,21
D_Trend_190808	2017	CO2	PFV	Zug	El total	30,56
Diesel+Elektrisch						
Scenario	YearRef	Component	Train Group	Operation Group	Energy	Specific Value g/Pkm
D_Trend_190808	2002	CO2	PFV	Zug	Alle	54,64
D_Trend_190808	2008	CO2	PFV	Zug	Alle	45,73
D_Trend_190808	2017	CO2	PFV	Zug	Alle	30,88

Straßenbahn						
Scenario	YearRef	Component	Train Group	Operation Group	Energy	Specific Value g/Pkm
D_Trend_190808	2002	CO2	StrBahn	Zug	El total	90,53
D_Trend_190808	2008	CO2	StrBahn	Zug	El total	73,54
D_Trend_190808	2017	CO2	StrBahn	Zug	El total	59,52

U-Bahn						
Scenario	YearRef	Component	Train Group	Operation Group	Energy	Specific Value g/Pkm
D_Trend_190808	2002	CO2	U-Bahn	Zug	El total	81,12
D_Trend_190808	2008	CO2	U-Bahn	Zug	El total	66,97
D_Trend_190808	2017	CO2	U-Bahn	Zug	El total	47,76

Emissionswerte für Flugzeug

Flugzeug, national									
Kerosin+Flugbenzin, Distanzen Summe									
Scenario	YearRef	Component	Transport Sector	Cycle Group	Plane Group	Relation Group	Energy	Distance Group	Specific Value g/Pkm
SYS_D_Real	2002	CO2	PV	Alle	Alle	national	Alle	Alle	287,85
SYS_D_Real	2008	CO2	PV	Alle	Alle	national	Alle	Alle	248,56
SYS_D_Real	2017	CO2	PV	Alle	Alle	national	Alle	Alle	233,88
Kerosin+Flugbenzin, nach Distanzen									
Scenario	YearRef	Component	Transport Sector	Cycle Group	Plane Group	Relation Group	Energy	Distance Group	Specific Value g/Pkm
SYS_D_Real	2002	CO2	PV	Alle	Alle	national	Alle	<=00500km	304,43
SYS_D_Real	2008	CO2	PV	Alle	Alle	national	Alle	<=00500km	272,53
SYS_D_Real	2017	CO2	PV	Alle	Alle	national	Alle	<=00500km	254,46
SYS_D_Real	2002	CO2	PV	Alle	Alle	national	Alle	>00500-01000km	218,93
SYS_D_Real	2008	CO2	PV	Alle	Alle	national	Alle	>00500-01000km	185,09
SYS_D_Real	2017	CO2	PV	Alle	Alle	national	Alle	>00500-01000km	170,10
Kraftstoffe getrennt, Distanzen Summe									
Scenario	YearRef	Component	Transport Sector	Cycle Group	Plane Group	Relation Group	Energy	Distance Group	Specific Value g/Pkm
SYS_D_Real	2002	CO2	PV	Alle	Alle	national	BF	Alle	2325,57
SYS_D_Real	2008	CO2	PV	Alle	Alle	national	BF	Alle	2083,42
SYS_D_Real	2017	CO2	PV	Alle	Alle	national	BF	Alle	2868,41
SYS_D_Real	2002	CO2	PV	Alle	Alle	national	K	Alle	267,54
SYS_D_Real	2008	CO2	PV	Alle	Alle	national	K	Alle	233,82
SYS_D_Real	2017	CO2	PV	Alle	Alle	national	K	Alle	219,62
Kraftstoffe getrennt, nach Distanzen									
Scenario	YearRef	Component	Transport Sector	Cycle Group	Plane Group	Relation Group	Energy	Distance Group	Specific Value g/Pkm
SYS_D_Real	2002	CO2	PV	Alle	Alle	national	BF	<=00500km	2336,98
SYS_D_Real	2008	CO2	PV	Alle	Alle	national	BF	<=00500km	2090,51
SYS_D_Real	2017	CO2	PV	Alle	Alle	national	BF	<=00500km	2894,41
SYS_D_Real	2002	CO2	PV	Alle	Alle	national	BF	>00500-01000km	924,00
SYS_D_Real	2008	CO2	PV	Alle	Alle	national	BF	>00500-01000km	1347,89
SYS_D_Real	2017	CO2	PV	Alle	Alle	national	BF	>00500-01000km	611,15
SYS_D_Real	2002	CO2	PV	Alle	Alle	national	K	<=00500km	279,44
SYS_D_Real	2008	CO2	PV	Alle	Alle	national	K	<=00500km	252,55
SYS_D_Real	2017	CO2	PV	Alle	Alle	national	K	<=00500km	235,74
SYS_D_Real	2002	CO2	PV	Alle	Alle	national	K	>00500-01000km	218,64
SYS_D_Real	2008	CO2	PV	Alle	Alle	national	K	>00500-01000km	184,76
SYS_D_Real	2017	CO2	PV	Alle	Alle	national	K	>00500-01000km	169,99