

Umweltfreundlich mobil!

Ein ökologischer Verkehrsartenvergleich für
den Personen- und Güterverkehr in Deutschland





Für Mensch & Umwelt

Umwelt 
Bundesamt

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de
 /umweltbundesamt
 /umweltbundesamt
 /umweltbundesamt

Autorinnen und Autoren:

Michel Allekotte, ifeu, Heidelberg
Hans-Jörg-Althaus, INFRAS, Zürich
Fabian Bergk, ifeu, Heidelberg
Kirsten Biemann, ifeu, Heidelberg
Wolfram Knörr, ifeu, Heidelberg
Daniel Sutter, INFRAS, Zürich

Lektorat:

Dipl.-Ing. Christa Friedl, Wissenschaftsjournalistin, Krefeld

Abschlussdatum:

Juni 2020

Redaktion:

Fachgebiet I 2.1 Umwelt und Verkehr
Martin Lambrecht

Satz und Layout:

le-tex publishing services GmbH

Publikationen als pdf:

www.umweltbundesamt.de/publikationen

Bildquellen:

Titel: Adobe Stock/Yehuda
S. 4: Adobe Stock/MaxSafaniuk
S. 8: Shutterstock/Tupungato
S. 10: Adobe Stock/anamejia18
S. 11 v.l.n.r.: Adobe Stock/Stockr; Shutterstock/Nataliya Hora; Shutterstock/Paulik_by; Adobe Stock/LVDESIGN;
Adobe Stock/lcswart; Adobe Stock/MaxSafaniuk;
Shutterstock/ArtisticPhoto; Adobe Stock/ MaxSafaniuk
S. 13: Shutterstock/connel
S. 18: Adobe Stock/BERLINSTOCK
S. 23: Adobe Stock/AlenKadr
S. 25: Shutterstock/Travel mania
S. 32: Adobe Stock/Ilan Amith
S. 34: Adobe Stock/Markus Mohr
S. 35: Shutterstock/Firn
S. 36: Adobe Stock/Markus Mainka

Stand: Dezember 2020

ISSN 1862-4804

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

Danksagung

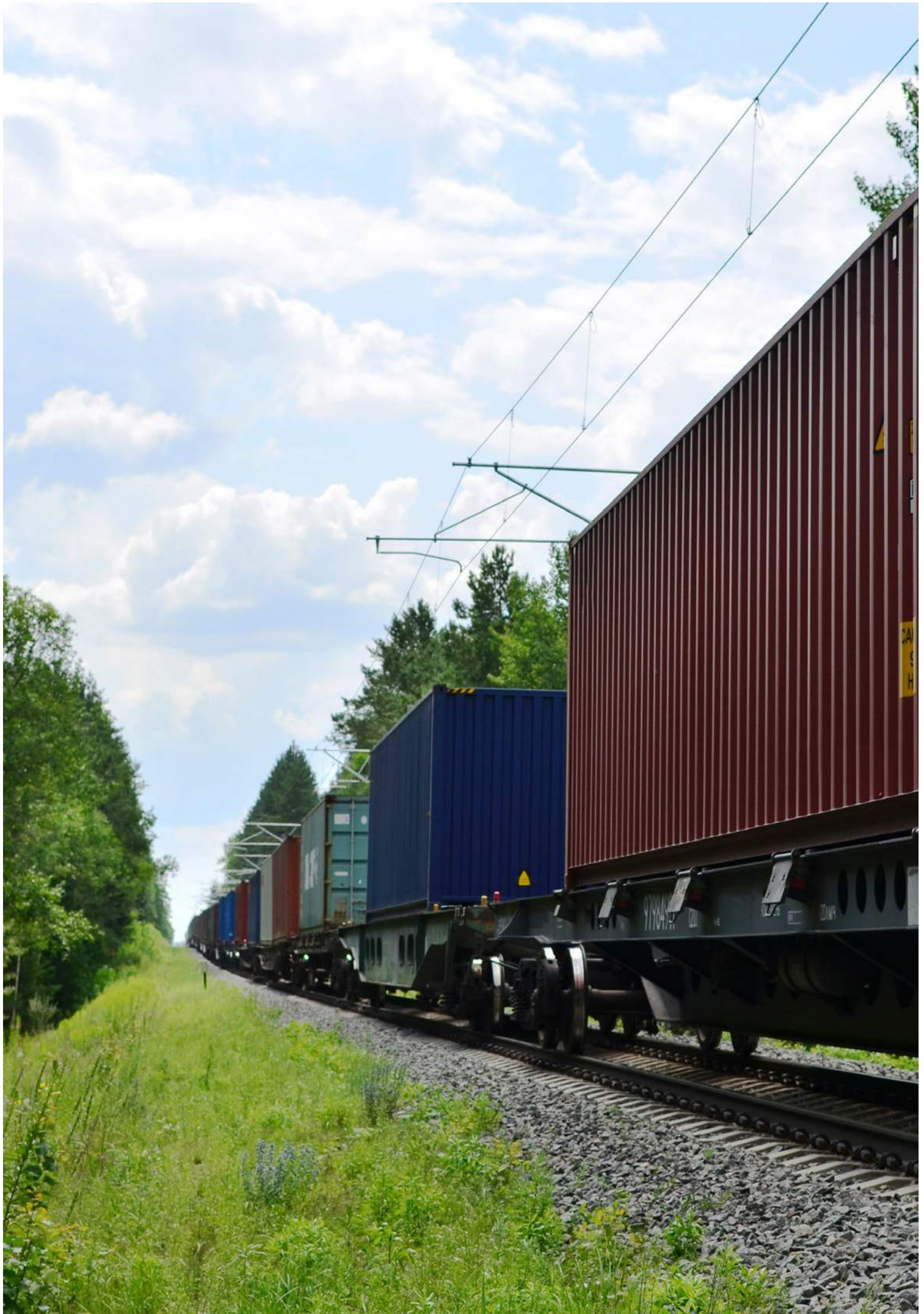
Im Rahmen eines Begleitkreises sind in diese Broschüre Praxiserfahrungen und Hinweise aus Verbänden und Unternehmen eingeflossen. Besonders gedankt sei an dieser Stelle:

Martin Bunkowski, ADV, Berlin
Boris Kluge, BÖB, Berlin
Angela Kohls, ADFC, Berlin
Erhard Michel, DB AG, Berlin
Kai Neumann, BDO, Berlin
Dr. Michael Niedenthal, VDA, Berlin
Michael Niedermeier, ADAC, München
Uta Maria Pfeiffer, BDL, Berlin
Dirk Polenz, BVG, Berlin
Martin Roggermann, Allianz pro Schiene, Berlin
Jens Schwanen, BDB, Duisburg

Die Fachbroschüre wurde von ifeu und INFRAS im Vorhaben „Ökologische Bewertung von Verkehrsarten“ (FKZ 3716 58 106 0) erarbeitet. Das Vorhaben wurde im Rahmen des Umweltforschungsplanes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit gefördert und im Auftrag des Umweltbundesamtes vergeben.

Umweltfreundlich mobil!

**Ein ökologischer Verkehrsartenvergleich
für den Personen- und Güterverkehr in Deutschland**



Abbildungen

Abbildung 1:	Lebenswegabschnitte im Verkehrsartenvergleich	11
Abbildung 2:	Verkehrsarten für den Personenverkehr	14
Abbildung 3:	Bedeutung und Klimawirkung einzelner Verkehrsarten im Personenverkehr	15
Abbildung 4:	Klimawirkung des Personennahverkehrs	16
Abbildung 5:	Klimawirkung des Personenfernverkehrs	17
Abbildung 6:	NO _x -Emissionen des Personenverkehrs	19
Abbildung 7:	PM ₁₀ -Emissionen des Personenverkehrs	20
Abbildung 8:	Durchschnittliche Flächenbelegung des Personenverkehrs	21
Abbildung 9:	Umweltkosten des Personenverkehrs	22
Abbildung 10:	Fallbeispiel Urlaub: Anzahl von Reisen mit gleicher Klimawirkung in Abhängigkeit des Verkehrsmittels	24
Abbildung 11:	Verkehrsarten für den Güterverkehr	26
Abbildung 12:	Bedeutung und Klimawirkung einzelner Verkehrsarten im Güterverkehr	27
Abbildung 13:	Klimawirkung des Nah- und Verteilerverkehrs	28
Abbildung 14:	Klimawirkung des Güterfernverkehrs	29
Abbildung 15:	NO _x -Emissionen des Güterverkehrs	30
Abbildung 16:	PM ₁₀ -Emissionen des Güterverkehrs	31
Abbildung 17:	Durchschnittliche Flächenbelegung des Güterverkehrs	33
Abbildung 18:	Umweltkosten des Güterverkehrs	33

Tabellen

Tabelle 1:	Welche ökologischen Wirkungen sind im Verkehr relevant?	9
Tabelle 2:	Wege, Verkehrsleistungen und Klimawirkung im Personenverkehr in Deutschland – Anteile je Verkehrsart und Gesamtsumme	38
Tabelle 3:	Klimawirkung im Personenverkehr in Deutschland – spezifische Emissionen in Gramm CO _{2eq} je Personenkilometer	38
Tabelle 4:	NO _x -Emissionen im Personenverkehr in Deutschland – spezifische Emissionen in Gramm NO _x je Personenkilometer	39
Tabelle 5:	PM ₁₀ -Emissionen im Personenverkehr in Deutschland – spezifische Emissionen in Gramm PM ₁₀ je Personenkilometer	39
Tabelle 6:	Flächenbelegung im Personenverkehr in Deutschland in m ² *Jahr je Mio. Personenkilometer, Allokation nach Fahrleistung	40
Tabelle 7:	Umweltkosten im Personenverkehr in Deutschland in €-ct/Pkm	40
Tabelle 8:	Güteraufkommen, Transportleistung und Klimawirkung im Güterverkehr in Deutschland – Anteile je Verkehrsart und Gesamtsumme	41
Tabelle 9:	Klimawirkung im Güterverkehr in Deutschland – spezifische Emissionen in Gramm CO _{2eq} je Tonnenkilometer	41
Tabelle 10:	NO _x -Emissionen im Güterverkehr in Deutschland – spezifische Emissionen in Gramm NO _x je Tonnenkilometer	42
Tabelle 11:	PM ₁₀ -Emissionen im Güterverkehr in Deutschland – spezifische Emissionen in Gramm PM ₁₀ je Tonnenkilometer	42
Tabelle 12:	Flächenbelegung Güterverkehr in Deutschland in m ² *Jahr je Mio. Tonnenkilometer, Allokation nach Fahrleistung	43
Tabelle 13:	Umweltkosten im Güterverkehr in Deutschland in €-ct/tkm	43

Inhalt

Abbildungen	5
Tabellen	6
1 Warum ein Verkehrsartenvergleich?	8
1.1 Negative Wirkungen von Verkehr	9
1.2 Von Anfang bis Ende: Lebenswegbetrachtung	11
2 Personenverkehr: Unsere alltägliche und gelegentliche Reise	13
2.1 Emissionen des Personenverkehrs: Treibhausgase und Luftschadstoffe	15
2.2 Flächenbedarf des Personenverkehrs	21
2.3 Umweltkosten des Personenverkehrs	22
3 Güterverkehr: Eine schwere Last	25
3.1 Emissionen des Güterverkehrs: Treibhausgase und Luftschadstoffe	26
3.2 Flächenbedarf des Güterverkehrs	32
3.3 Umweltkosten des Güterverkehrs	32
4 Abschlussbemerkungen	36
Literatur	37
Tabellenanhang	38



1

Warum ein Verkehrsartenvergleich?

Wir wollen und müssen mobil sein. Von Zuhause zur Arbeit, zu Familie und Freunden, zum Sport und Einkaufen, in Freizeit und Urlaub. Wer unterwegs ist, hat die Wahl: Zu Fuß oder mit dem Rad? Nehme ich das Auto oder die Bahn? Auch bei jeder Urlaubsplanung wird über das Verkehrsmittel mitentschieden. Manche Destinationen sind nur mit dem Flugzeug erreichbar, viele aber auch mit Bus oder Bahn. Was für den Personenverkehr gilt, gilt auch für den Transport von Waren aller Art: Welches Verkehrsmittel soll es sein?

Bei der **Wahl der Verkehrsart** spielen stets mehrere Faktoren eine Rolle. Dazu gehören Geschwindigkeit, Kosten, Komfort und Bequemlichkeit und natürlich das jeweilige Angebot vor Ort. Sie alle entscheiden darüber, wie und womit Menschen und Waren mobil sind.

Auch wenn es nicht jeder und jedem bewusst ist: Mit der alltäglichen Wahl eines bestimmten Transportmittels fällt zugleich auch eine Entscheidung über die ökologischen Auswirkungen von Verkehr. In den vergangenen Jahren haben höhere Reisegeschwindigkeiten, wachsendes Angebot, zunehmende Trans-

portkapazitäten und sinkende Kosten in Deutschland den Verkehr stark anwachsen lassen. Die **negativen Folgen**: Treibhausgasemissionen heizen das Klima an, Abgase sind eine Gefahr für Mensch und Umwelt, Verkehrslärm und Unfälle gefährden die Gesundheit und der Bedarf an Flächen, Energie und Rohstoffen ist immens groß.

Was also tun? An einer Verminderung der negativen Wirkungen des Verkehrs führt kein Weg vorbei. Dafür sind einerseits politische Weichenstellungen nötig, andererseits aber auch die „richtige“ Wahl des Verkehrsmittels durch jeden Einzelnen: Moderne Mobilität muss sicher und zweckgerichtet, zugleich aber umwelt- und klimaverträglich sein.

Diese Broschüre zeigt die **ökologischen Wirkungen der verschiedenen Verkehrsarten in Deutschland im Vergleich**. Sie basiert auf einer umfassenden Studie aus dem Jahr 2020, die Grundlagen, Methodik, Wirkungskategorien und Verkehrsarten detailliert darstellt.¹

¹ Allekotte et al. (2020b)

Exemplarisch werden die durchschnittlichen Umweltwirkungen der Verkehrsmittel in Deutschland im Jahr 2017 dargestellt. Warum 2017? Für dieses Jahr liegen alle notwendigen Untersuchungen und Kennzahlen vor, die dieser Verkehrsartenvergleich braucht. Zudem verändert sich Verkehr zwar stetig, aber langsam – das gilt z. B. für die Erneuerung des Fahrzeugparks, das Verkehrsverhalten der Bürgerinnen und Bürger oder die Entwicklung der Warenströme. Insbesondere die Bilanzierung der Infrastruktur berücksichtigt einen langen, zurückliegenden Zeitraum. Daher sind Daten und Kennzahlen aus dem Jahr 2017 nach wie vor tragfähig und aussagekräftig. Die den Abbildungen im Text zugrunde liegenden Daten sind in dem entsprechenden Tabellenanhang am Ende der Broschüre zu finden.

Die Darstellung der verschiedenen Umweltwirkungen ermöglicht den Vergleich der Verkehrsmittel untereinander und kann als **Entscheidungshilfe** dienen, um weniger umweltschädliche Verkehrsmittel zu identifizieren. Zugleich wird deutlich, wie komplex die Suche nach der besten Option ist. Die Aussage „Bei einer Bahnfahrt entstehen geringere Umweltwirkungen als bei einer Fahrt mit dem Pkw“ ist zwar meist korrekt – aber eben nicht immer. Wird der Pkw mit einer oder mit mehreren Menschen besetzt, ist die Fahrt im Nah- oder Fernbereich, ist ein leichtes Paket oder ein schwerer Container zu transportieren? Es lohnt sich, genauer hinzuschauen!

1.1 Negative Wirkungen von Verkehr

Verkehr führt zu schädlichen Wirkungen für Gesundheit, Klima und Umwelt und damit zu hohen volkswirtschaftlichen Kosten. Diese Umweltkosten werden

in der Regel nicht von den Verursachenden, sondern von der Allgemeinheit getragen und werden daher auch als externe Kosten bezeichnet. Tabelle 1 zeigt im Überblick die Umweltwirkungen, Indikatoren und Kostenarten, mit denen sich diese Broschüre befasst.

Auch Lärm und Unfälle sind negative Wirkungen des Verkehrs. Sie werden in der Hauptstudie zum Verkehrsartenvergleich vertiefend betrachtet.²

Klimawirkung: Verkehr heizt die Erderwärmung an, die Reduktion der Treibhausgase (THG) ist eine der drängendsten Aufgaben. Wichtige Indikatoren sind die Kohlendioxidemission durch die Verbrennung fossiler Kraft- und Treibstoffe und treibhausgasrelevante Gase wie Methan und Lachgas. Flugverkehr ist zudem durch den Ausstoß von Partikeln, Schwefel- und Stickoxiden, Wasserdampf und anderen Emissionen vor allem in großen Flughöhen klimaschädlich.

Stickoxide: Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen (NO_x) entstehen hauptsächlich im Verbrennungsmotor von Pkw und Lkw. Stickoxide verursachen Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen und überdüngen Böden und Gewässer.

Der Verkehr verursacht mehr als ein Drittel der NO_x-Emissionen in Deutschland. Grund dafür ist vor allem der hohe Anteil von Dieselmotoren bei Pkw, Bussen, Lkw, nichtelektrischen Bahnen und Binnenschiffen. Durch die Abgasgesetzgebung konnten bei Bussen und Lkw deutliche NO_x-Minderungen erreicht

² Allekotte et al. (2020b)

Tabelle 1

Welche ökologischen Wirkungen sind im Verkehr relevant?

Wirkung	Ort	Indikator(en)	Kostenart
Klimawirkung	global	Treibhausgase (CO ₂ , CH ₄ , CO und N ₂ O) sowie zusätzliche Klimawirkung beim Flugzeug (EWF) durch Wasserdampf (H ₂ O), Stickoxid (NO _x), Partikel (PM ₁₀ und PM _{2,5}) und Schwefeldioxid (SO ₂)	Kosten infolge Treibhausgasemissionen und weiteren Klimawirkungen
Luftschadstoffe	regional/ lokal	Stickoxid (NO _x), Feinstaub, Partikel (PM ₁₀ und PM _{2,5})	Gesundheitsschäden, Gebäude- und Materialschäden, Ernteauffälle, Biodiversitätsverluste
Flächenbelegung	lokal	Landnutzung und Landnutzungsänderung	Fragmentierung und Verlust von natürlichen Habitaten bzw. Ökosystemen



werden. Ältere Diesel-Pkw dagegen halten im realen Fahrbetrieb die geltenden Grenzwerte häufig nicht ein und tragen daher einen hohen Anteil an der Gesamtbelastung.

Feinstaub: Staub ist ein Sammelbegriff für Feststoffe aus Verbrennungs- und Herstellungsprozessen, er entsteht aber auch durch Reifenabrieb oder Aufwirbelungen von der Fahrbahn. Im Normalfall gilt: Je kleiner die Partikel, umso gefährlicher ist Feinstaub. Er wird für Erkrankungen der Atemwege und des Herz-Kreislaufsystems verantwortlich gemacht.

Flächenbedarf: Beim Bau von Verkehrsinfrastruktur wie Straßen, Schienen, Flughäfen oder Kanälen werden Flächen umgewandelt. Da sich verschiedene Verkehrsmittel oft dieselbe Infrastruktur teilen, ist zur Bestimmung der Flächenbelegung von einzelnen Verkehrsarten eine Zuordnung erforderlich (die sogenannte Allokation). Die hier angewandte Allokationsmethode basiert auf dem Ansatz, dass die benötigte Verkehrsfläche einerseits durch die jährliche Fahrleistung, andererseits durch die Fahrzeuggröße bestimmt wird.

Umweltkosten: Die durch den Verkehr entstehenden Umweltkosten werden für jede Wirkungskategorie berechnet³. Die Umweltkosten berücksichtigen Luftschadstoff- und Treibhausgasemissionen aus dem Betrieb eines Transportmittels („Tank-to-Wheel“), der Energiebereitstellung („Well-to-Tank“), der Herstellung und dem Unterhalt von Fahrzeugen, der Infrastruktur und dem Flächenbedarf – also dem gesamten Lebenszyklus.

Die Monetarisierung von Umweltwirkungen ist für verschiedene Fragestellungen wichtig, z. B. für Wirtschaftlichkeitsrechnungen von Straßen oder Schienentrassen, um umweltschonendere Investitionsentscheidungen zu fällen. Auch bei Umweltschutzmaßnahmen kann deren Nutzen konkret umgemünzt werden – das ist wichtig bspw. für eine Gesetzesfolgenabschätzung. Nicht zuletzt können Umweltkosten gezielt den Verursachern angelastet werden, beispielsweise in Form von Energiesteuern, CO₂-Abgaben oder Mautgebühren.

³ Umweltbundesamt (2019a)

1.2 Von Anfang bis Ende: Lebenswegbetrachtung

Auf welche Weise schadet Verkehr der Umwelt? Für die meisten beantwortet sich diese Frage im Wesentlichen mit der Menge an Schadstoffen und Treibhausgasen, die aus dem Auspuff eines Fahrzeugs kommen. Doch das ist zu kurz gegriffen. Umweltwirkungen entstehen nicht nur beim Fahrzeugbetrieb, sondern über den **gesamten Lebensweg** – von der Energie-, Infrastruktur- und Fahrzeugbereitstellung über die Auspuffemissionen bis zur Entsorgung von Fahrzeugen („Von der Wiege bis zur Bahre“), wie Abbildung 1 zeigt.

Dabei gilt: Pauschale Aussagen zur Bedeutung einzelner Lebenswegphasen über alle Verkehrsarten sind kaum möglich, da die **Umweltauswirkungen stark** von Verkehrsmittel zu Verkehrsmittel **variieren**. Bei einem Flugzeug, das 30 Jahre im Dienst steht, fällt die Herstellung relativ gesehen sehr wenig ins Gewicht, die ökologischen Auswirkungen werden vielmehr durch die Nutzung des Flugzeugs – vor allem dessen Kerosinverbrauch – dominiert. Anders beispielsweise bei einem Pkw, der als Zweit- oder Drittfahrzeug nur wenig gefahren wird. Auch hier spielt die Nutzungs-

phase eine entscheidende, wenn auch geringere, Rolle, aber zusätzlich fallen die anderen Phasen der Lebenswegbetrachtung stärker ins Gewicht.

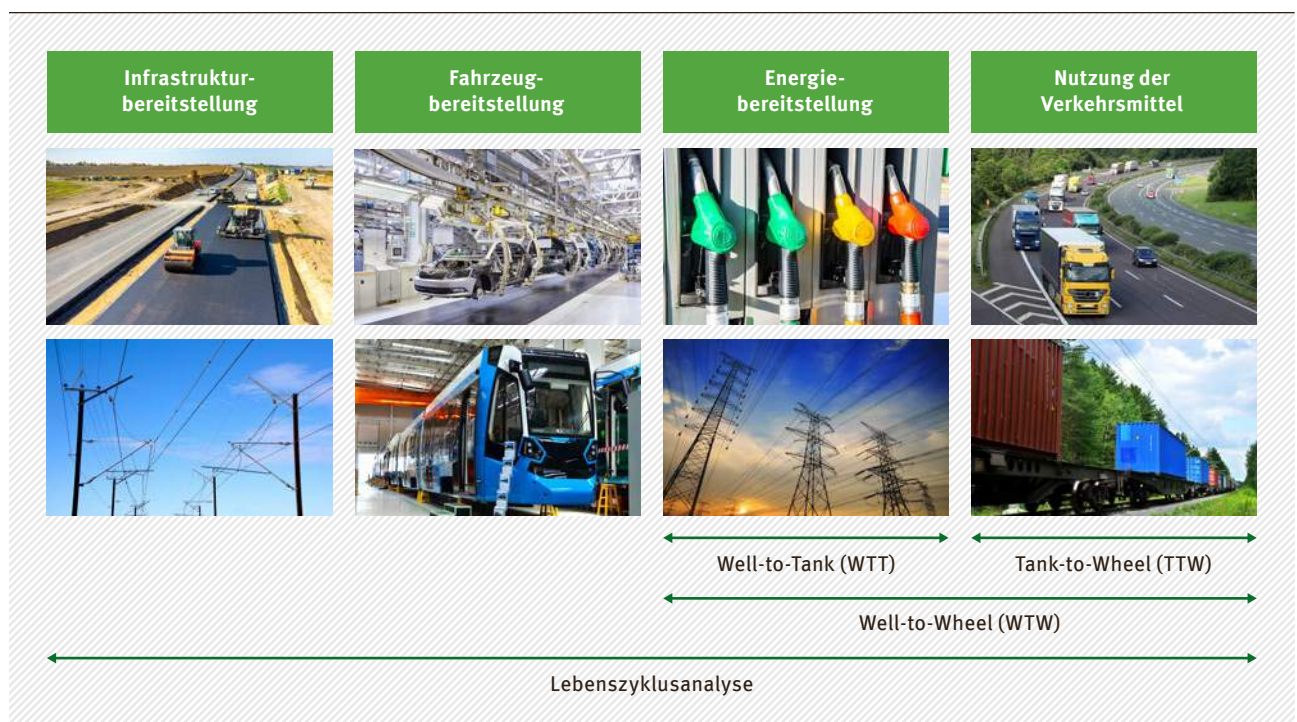
Nutzung: Die Betriebsphase eines Verkehrsmittels wird als „Tank-to-Wheel“ (TTW) bezeichnet. Relevante Größen für diese Phase sind der (End-)Energieverbrauch des Fahrzeugs, Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen durch die Verbrennungsmotoren und Lärmemissionen durch Motoren, Wind- und Rollwiderstände. Die Nutzungsphase ist der einzige Lebenswegabschnitt, bei dem die Umweltwirkungen direkt an den Nutzen gekoppelt sind: Je höher die Verkehrsleistung, umso schädlicher sind hier die Wirkungen. Datenquelle ist vor allem das etablierte Verkehrsinventarmodell TREMOD.⁴

Energiebereitstellung: Diese Phase beschreibt den „Well-to-Tank“-Teil (WTT) der Prozesskette. Neben der Nutzung ist die Bereitstellung der benötigten Energie, also von Kraftstoffen und Strom, für die Umweltwirkungen relevant. Dazu gehören Extraktion der Rohstoffe, Kraftwerke und Raffinerien sowie die Energieverteilung. Durch den Zuwachs der E-Mobili-

4 Allekotte et al. (2020a)

Abbildung 1

Lebenswegabschnitte im Verkehrsartenvergleich



tät wächst die Bedeutung der Stromerzeugung für die ökologischen Auswirkungen. Basis sind Datensätze des Umweltbundesamtes und anderer Fachinstitute, die auch in TREMOD verwendet werden. Unternehmensspezifisch abweichende Strom-Mixe werden hierbei nicht berücksichtigt.

Fahrzeugbereitstellung: Dazu gehören sowohl die Aufwendungen für die Herstellung der Fahrzeuge (Material, Herstellungsprozesse) als auch Fahrzeugwartung und Entsorgung. Entscheidend für die Bewertung dieser Phase sind verlässliche Datenbanken, die für alle benötigten Vorketten transparente, gut dokumentierte und unabhängig geprüfte Datensätze liefern⁵.

Infrastrukturbereitstellung: Kein Verkehr ohne Straßen, Schienen, ausgebaute Flüsse und Flughäfen. Auch die Umweltwirkungen von Bau, Unterhalt und Entsorgung der Verkehrsinfrastrukturen sind für die

verschiedenen Verkehrsarten sehr unterschiedlich. Datengrundlagen für die Ermittlung der Materialströme im Rahmen des Verkehrsartenvergleichs sind detaillierte Statistiken zu den Netzlängen und Flächen sowie deren Änderungen im Zeitverlauf.

Mit der Bilanzierung dieser vier Abschnitte geht dieser Verkehrsartenvergleich deutlich über die derzeit meist üblichen Well-to-Wheel Betrachtungen der reinen Verkehrsmittelnutzung hinaus. Sie eröffnet den Blick auf die gesamten Umweltwirkungen einer Verkehrsart über ihren Lebensweg und erlaubt eine Bewertung und Einschätzung der Bedeutung einzelner Phasen im Vergleich.

⁵ Weidema et al. (2016)

Was sagen die Umweltkennzahlen aus?⁶

Die in der Broschüre dargestellten mittleren Kennzahlen beschreiben die durchschnittlichen Umweltwirkungen und -kosten der Verkehrsarten in Deutschland (Status Quo). Sie ermöglichen den Vergleich der Verkehrsarten untereinander und Schlussfolgerungen wie „Bahnfahren weist im Durchschnitt geringere Treibhausgasemissionen pro Personenkilometer auf als der Pkw.“ Vergleiche dieser Art können als Entscheidungshilfe dienen, um weniger umweltschädliche Verkehrsmittel zu identifizieren.

Sie gelten jedoch nicht für jede Betrachtung und jede Situation. Sie können z. B. keine Systemänderungen abbilden, die im komplexen Mobilitätsgeschehen so gut wie permanent stattfinden: Nutzen Reisende den Zug statt ihr Auto, erhöht das zunächst die Auslastung der Bahn. Im Gegenzug entfallen Emissionen auf der

Straße, es entstehen aber keine oder nur sehr geringe zusätzliche Emissionen durch die Bahnfahrten, da keine zusätzlichen Züge eingesetzt werden.

Überlegungen dieser Art müssen berücksichtigt werden, wenn die Auswirkungen von Verhaltensänderungen auf die Umweltwirkungen ermittelt werden sollen. Einige Aspekte von systemischen Änderungen werden an anderer Stelle in dieser Broschüre angesprochen, wenn es um die Frage geht, wie der Verkehr umwelt- und klimaverträglicher werden kann.⁶

Weitere Informationen zu diesem Thema: UBA-Studie „Ökologische Bewertung von Verkehrsarten – Abschlussbericht“ (UBA-Texte 156/2020)

⁶ siehe hierzu auch Allekotte et al. (2020b): S. 98 ff.

2

Personenverkehr: Unsere alltägliche und gelegentliche Reise

Die Mobilität von Menschen ist vielfältig. Sie reicht vom kurzen Fußweg bis zum Langstreckenflug um die halbe Welt, wie Abbildung 2 verdeutlicht. Entsprechend umfangreich ist die Liste der Faktoren, die Einfluss nehmen: kurze oder lange Strecke? Stadt oder Land? Gutes oder schlechtes Angebot? Persönliche Vorlieben? All diese Punkte entscheiden darüber, ob, wo und wie sich was bewegt.

Personenverkehr findet auf Straße, Schiene und in der Luft statt, er ist nicht-motorisiert oder motorisiert, er ist individuell, geteilt oder öffentlich. Und er nimmt immer wieder neue Formen an: Pedelec und E-Tretroller passen beispielsweise nicht mehr in das klassische Schema. Daher spricht man auch von „aktiver Mobilität“ oder „Langsamverkehr“ und meint damit den Fußverkehr und den Fahrradverkehr einschließlich Pedelecs mit einer Motorunterstützung bis zu 25 km/h und Elektro-Tretrollern mit einer Höchstgeschwindigkeit bis 20 km/h.

Personenmobilität wird gemessen als Anzahl der Wege je Person. Der Personenverkehr errechnet sich als Verkehrsleistung durch Multiplikation der zurückgelegten Kilometer mit der Anzahl der Wege bzw. Reisenden (Einheit: Personenkilometer = Pkm).

Die Menschen in Deutschland fahren viel mit dem eigenen Auto. Dieser **motorisierte Individualverkehr** per Pkw oder Motorrad hat mit insgesamt 950 Milliarden Personenkilometern (Pkm) im Jahr einen Anteil von 79 % an der Gesamtverkehrsleistung innerhalb Deutschlands. Der Anteil der Motorräder liegt bei 1,6 %. Erstaunlich dabei: Die mittlere Wegelänge des motorisierten Individualverkehrs liegt bei 16,3 km. Auto und Motorrad werden also häufig für recht kurze Strecken genutzt.

Das zweitwichtigste Verkehrsmittel in Deutschland ist die **Bahn**. Im **Nahverkehr** erbringen Bahnen etwa 54,8 Mrd. Pkm im Jahr. Knapp vier Fünftel der Verkehrsleistung entfallen auf Elektroantrieb, ein Fünftel auf Dieselantrieb. Insgesamt hat der Nahverkehr mit dem Zug einen Anteil von 4,6 % an der inländischen Personenverkehrsleistung, die mittlere Fahrtlänge liegt bei 20,4 km. Im **Fernverkehr** liegt die Verkehrsleistung bei 40,4 Mrd. Pkm. Dies entspricht einem Anteil am gesamten inländischen Personenverkehr von 3,4 %.

Innerhalb der Stadt und im Regionalverkehr sind **Linienbusse, Straßen- Stadt- und U-Bahnen** die motorisierte Alternative zum Auto. Zusammen

Abbildung 2

Verkehrsarten für den Personenverkehr



haben sie knapp 10 % Anteil an allen zurückgelegten Wegen. Der Linienbusverkehr hat mit 37,5 Mrd. Pkm einen Anteil von 3,1 % an der Verkehrsleistung, Straßen-, Stadt und U-Bahnen mit 17,7 Mrd. Pkm einen Anteil von 1,5 %.

Auch Fliegen innerhalb Deutschlands spielt eine Rolle. Der **nationale Flugverkehr** umfasst etwa 10,3 Mrd. Pkm, das entspricht einem Anteil von 0,9 % am Personenverkehr. Beim **Fernverkehr mit Bussen**

hat vor allem der Charter- oder Gelegenheitsverkehr Bedeutung. Er umfasst 11 Mrd. Pkm, der Linienbus dagegen nur 4,6 Mrd. Pkm.

Viele steigen aufs Rad, um mobil zu sein. In Deutschland werden etwa 28 Millionen Wege und 112 Mio. Pkm pro Tag mit dem **Fahrrad** zurückgelegt. Das ist ein Anteil von 10 % an den Wegen und 3,4 % an der Verkehrsleistung. Fahrradfahren ist seit einiger Zeit auch mit Motorunterstützung möglich: Der Anteil der Fahrradfahrten mit sogenannten Pedelecs lag 2017 bei etwa 5 %. Ihr Anteil an der Verkehrsleistung

war aber höher, da die mittlere Wegstrecke für Fahrräder bei 3,7 km, für Pedelecs jedoch bei 6,1 km lag. Zwischen 2017 und 2019 hat sich die Zahl der Pedelecs in Deutschland verdoppelt.

Der **Fußverkehr** ist die natürlichste Fortbewegungsart des Menschen. In Deutschland werden täglich rund 56 Millionen Wege und 93 Millionen Personenkilometer zu Fuß erbracht. Das ist ein Anteil von 20 % an den Wegen und 2,8 % an der Verkehrsleistung. Im Mittel sind Fußwege 1,6 km lang.

In dieser Auflistung nicht enthalten ist der grenzüberschreitende Flugverkehr. Allein der abgehende Verkehr mit Start in Deutschland und Landung auf ausländischen Flughäfen liegt bei 229 Mrd. Pkm, das ist fast ein Fünftel bezogen auf die gesamte Inlandsverkehrsleistung.⁷

⁷ Allekotte et al. (2020b) / Allekotte et al. (2020a) / DB Umwelt (2019) / Radke (2018) / Statistisches Bundesamt (2018)

2.1 Emissionen des Personenverkehrs: Treibhausgase und Luftschadstoffe

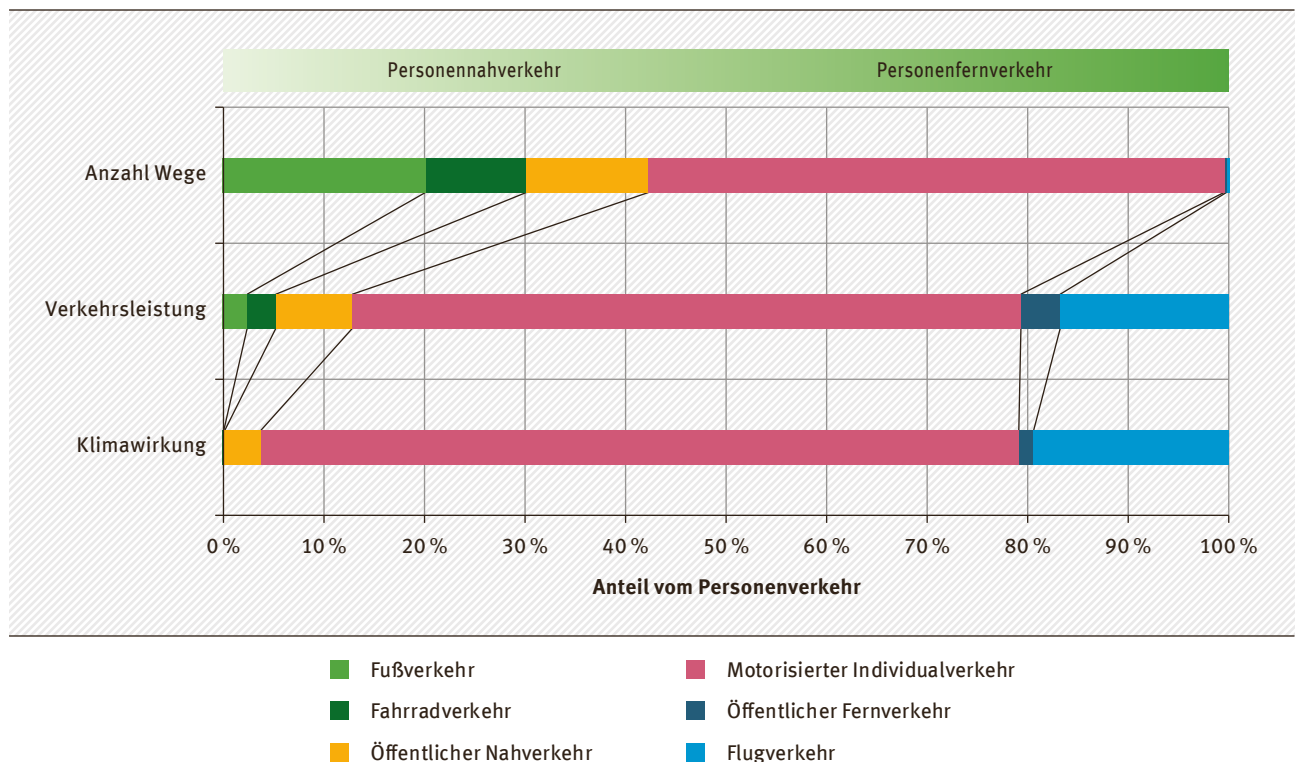
Manche Verkehrsmittel werden eher im Nahbereich genutzt, andere für weitere Distanzen. Grundsätzlich gilt: Je länger die Strecke, desto höher auch die Umweltwirkungen. Das gilt insbesondere für die Emissionen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen.

Der Indikator „Klimawirkung“ eignet sich gut für eine Einordnung der Bedeutung der Verkehrsarten für die Mobilität und Umwelt. Abbildung 3 stellt dafür die Verteilung der Verkehrsarten nach Anzahl der Wege, Verkehrsleistung (Personenkilometer) und Klimawirkung (in CO₂-Äquivalenten) gegenüber. In dieser Darstellung ist auch der abgehende internationale Flugverkehr enthalten.

Die klimafreundlichsten und emissionsärmsten Fortbewegungsarten sind Zufußgehen und Radfahren. Nahezu jeder dritte Weg wird zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt. Da die zurückgelegten Distanzen im Mittel relativ kurz sind, umfassen Fuß- und Radverkehr aber nur 5 % der Verkehrsleistung. Die daraus resultierende Klimawirkung (bezogen

Abbildung 3

Bedeutung und Klimawirkung einzelner Verkehrsarten im Personenverkehr



Anmerkungen: Werte für 2017

Quellen: Nobis (2019), Radke (2018), Statistisches Bundesamt (2018), Statistisches Bundesamt (2019), VDV (2019), eigene Berechnungen

auf CO₂-Äquivalente) liegt nahezu bei null. Auch der öffentliche Personennahverkehr ist eine umwelt- und klimafreundliche Art, mobil zu sein. Er erbringt 8 % der Verkehrsleistung, verursacht jedoch nur 4 % der Treibhausgasemissionen des Personenverkehrs.

Auto- und Motorradfahren zeigen im Vergleich die größte Klima- und Umweltwirkung: Sie haben 57 % Anteil an den Wegen, 66 % Anteil an der Verkehrsleistung, allerdings 75 % Anteil an den Treibhausgasemissionen. Auch Fliegen schadet dem Klima vergleichsweise stark: Der von Deutschland ausgehende Flugverkehr umfasst zwar nur 0,1 % der Wege und 17 % der Verkehrsleistung. Sein Anteil an der Klimawirkung aber liegt bei 19 %.

Wie sind die Klimawirkungen des Personenverkehrs genau?

Für die Beurteilung der Klimawirkung der Verkehrsarten sind die spezifischen Emissionen je Person und zurückgelegtem Kilometer entscheidend. Da mit

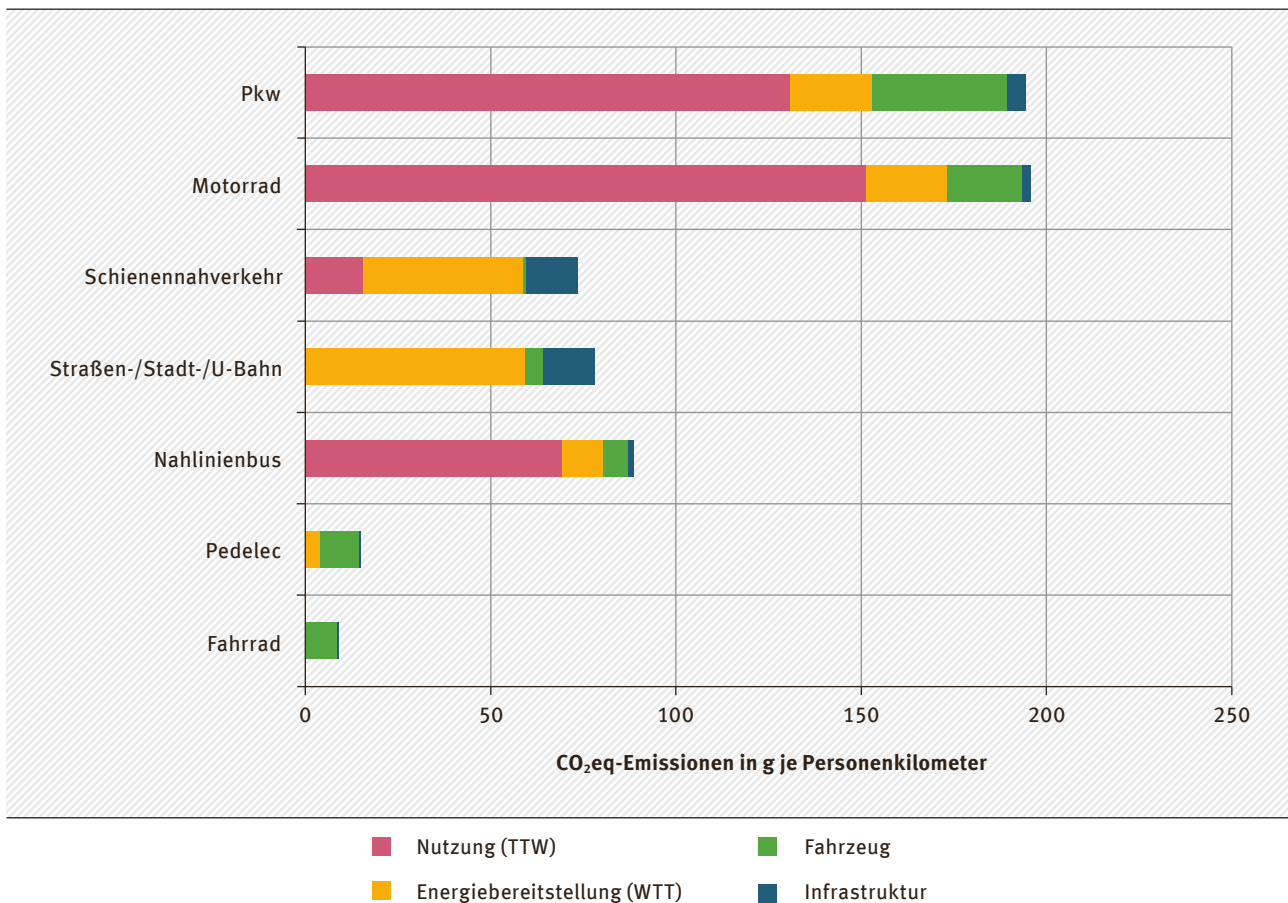
Ausnahme des Pkw unterschiedliche Verkehrsmittel für kurze und weite Distanzen relevant sind, wird in den Abbildungen 4 und 5 zwischen Nah- und Fernverkehr unterschieden.

Für den Nahverkehr gilt (siehe Abbildung 4):

- ▶ Fuß- und Fahrradverkehr verursachen sehr geringe THG-Emissionen, die vor allem aus den Aufwendungen für die Fahrzeugbereitstellung beim Fahrrad resultieren. Beim Pedelec verursacht der elektrische Antrieb mit der Strombereitstellung eine relevante, aber vergleichsweise geringe Emissionsmenge.
- ▶ Busse und Bahnen haben rund sechs bis neun Mal höhere THG-Emissionen als Fahrräder und Pedelecs. Die Bedeutung der einzelnen Lebenswegebabschnitte ist unterschiedlich: Beim Schienenverkehr ist der Beitrag der Infrastruktur deutlich höher als beim Linienbus. Bei strombetriebenen

Abbildung 4

Klimawirkung des Personennahverkehrs



Anmerkungen: Werte für 2017

Quelle: eigene Berechnungen

Bahnen kommt ein Großteil der THG-Emissionen aus der Energiebereitstellung, bei den Verbrennungsfahrzeugen aus der direkten Nutzung. Der Beitrag der Fahrzeugbereitstellung ist bei all diesen Systemen wegen der hohen Fahrleistungen über das ganze Fahrzeugleben relativ gering.

- ▶ Pkw wiederum haben im Mittel zwei- bis dreimal höhere spezifische THG-Emissionen je Personenkilometer als Busse und Bahnen. Neben der Fahrzeugnutzung werden Klimawirkungen wesentlich auch durch die Herstellung der Fahrzeuge bestimmt.

Für den Fernverkehr gilt (siehe Abbildung 5):

- ▶ Bus und Bahn schneiden am besten ab. Beim Bus dominiert mit Abstand der Fahrzeugbetrieb, bei der Bahn die Strombereitstellung über die Klimawirkung. Bei der Bahn hat auch der Bau der Infrastruktur relevante Anteile.

- ▶ Pkw haben im Mittel vier- bis über fünfmal höhere spezifische THG-Emissionen je Personenkilometer als Busse und Bahnen. Verantwortlich dafür sind einerseits der Fahrzeugbetrieb, andererseits die Fahrzeugbereitstellung, die im Vergleich mit anderen Verkehrsmitteln den höchsten Anteil verzeichnet.

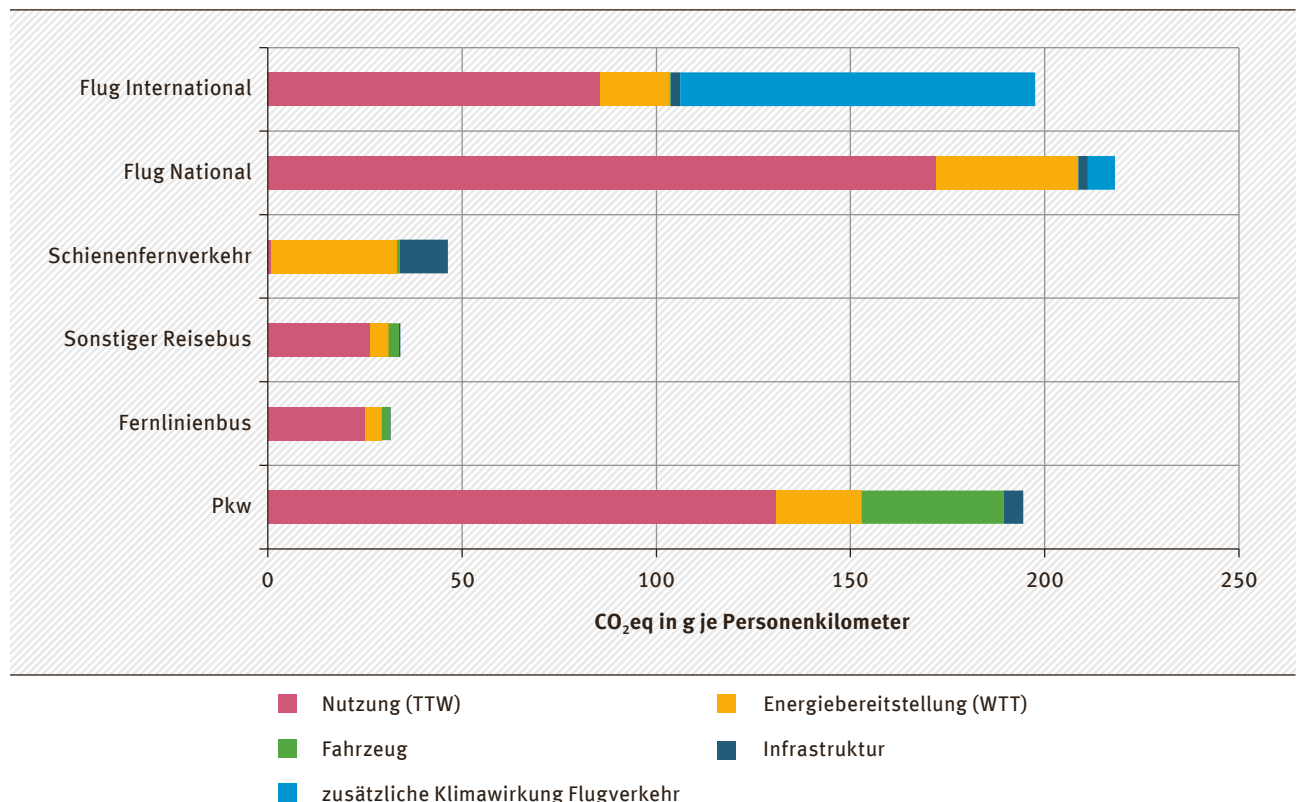
- ▶ Am stärksten ist die Klimawirkung des Flugverkehrs. Hier haben mit wachsender Reisedistanz vor allem die Flugzeugabgase (NO_x, Partikel, Wasserdampf) einen zunehmenden Anteil, während Flugzeugherstellung und Bau der Infrastruktur aufgrund der hohen Kilometerleistung eines Flugzeugs relativ geringen Einfluss haben.

Luftschadstoff-Emissionen des Personenverkehrs: Dicke Luft in den Städten

Anders als bei Treibhausgasen steht bei Luftschadstoffen die lokale Wirkung im Vordergrund. Daher sind die in der Nähe von Siedlungen ausgestoßenen direkten Auspuffemissionen anders zu bewerten

Abbildung 5

Klimawirkung des Personenfernverkehrs



Anmerkungen: Werte für 2017

Quelle: eigene Berechnungen

als die Emissionen der Energie-, Fahrzeug- und Infrastrukturbereitstellung und die Emissionen des Luftverkehrs in Reiseflughöhe.

In den vergangenen Jahren wurden die Auspuffemissionen durch die Abgasgesetzgebung stark reduziert. Dennoch gibt es noch zahlreiche Orte, an denen die geltenden Grenzwerte für die Luftbelastung, insbesondere für NO_2 und PM_{10} , nicht eingehalten werden. Meist trägt in diesen Bereichen der Straßenverkehr mit relevanten Mengen zur Luftbelastung bei. Verantwortlich dafür sind vor allem die Emissionen aus dem Fahrzeugbetrieb.

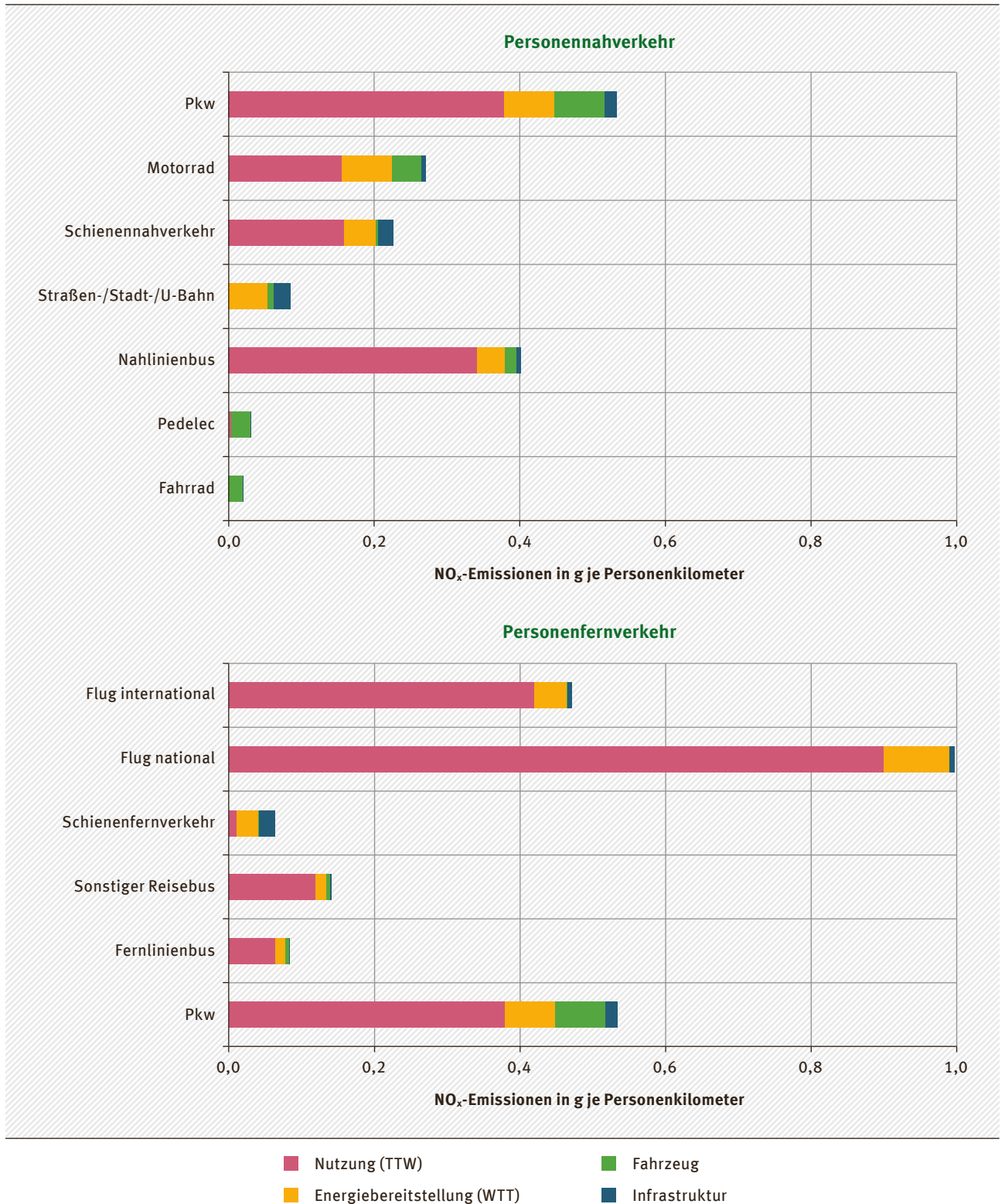
Andere Lebenswegabschnitte tragen zur Hintergrundbelastung bei, das gilt etwa für stadtnahe Kraftwerke, Raffinerien und Produktionsanlagen oder Bauarbeiten am Verkehrsnetz. Diese Emissionen entstehen zeitlich immer vor der Fahrzeugnutzung.

Die Abbildungen 6 und 7 zeigen die spezifischen NO_x - und Partikelemissionen der Verkehrsmittel im Personennah- und -fernverkehr. Gut sichtbar ist der hohe Anteil der NO_x -Emissionen aus der Nutzung von Autos sowie Bahnen und Bussen mit Verbrennungsmotor im Nahverkehr. PM_{10} -Emissionen von Pkw und Bussen wurden in der Vergangenheit durch Partikelfilter deutlich reduziert. Trotzdem verursachen Reise- und Fernbusse pro Personenkilometer erheblich geringere PM_{10} -Emissionen als Pkw. Der Flugverkehr verursacht hohe direkte Emissionen, allerdings wird nur ein kleiner Teil dieser Emissionen in Bodennähe auf den Flugplätzen ausgestoßen. Auf Reiseflughöhe beeinflussen diese zusätzlich das Klima. Ein Großteil der Partikelemissionen stammt nicht aus der Verbrennung im Fahrzeug, sondern entsteht bei den Prozessen der anderen Lebenswegabschnitte.



Abbildung 6

NO_x-Emissionen des Personenverkehrs

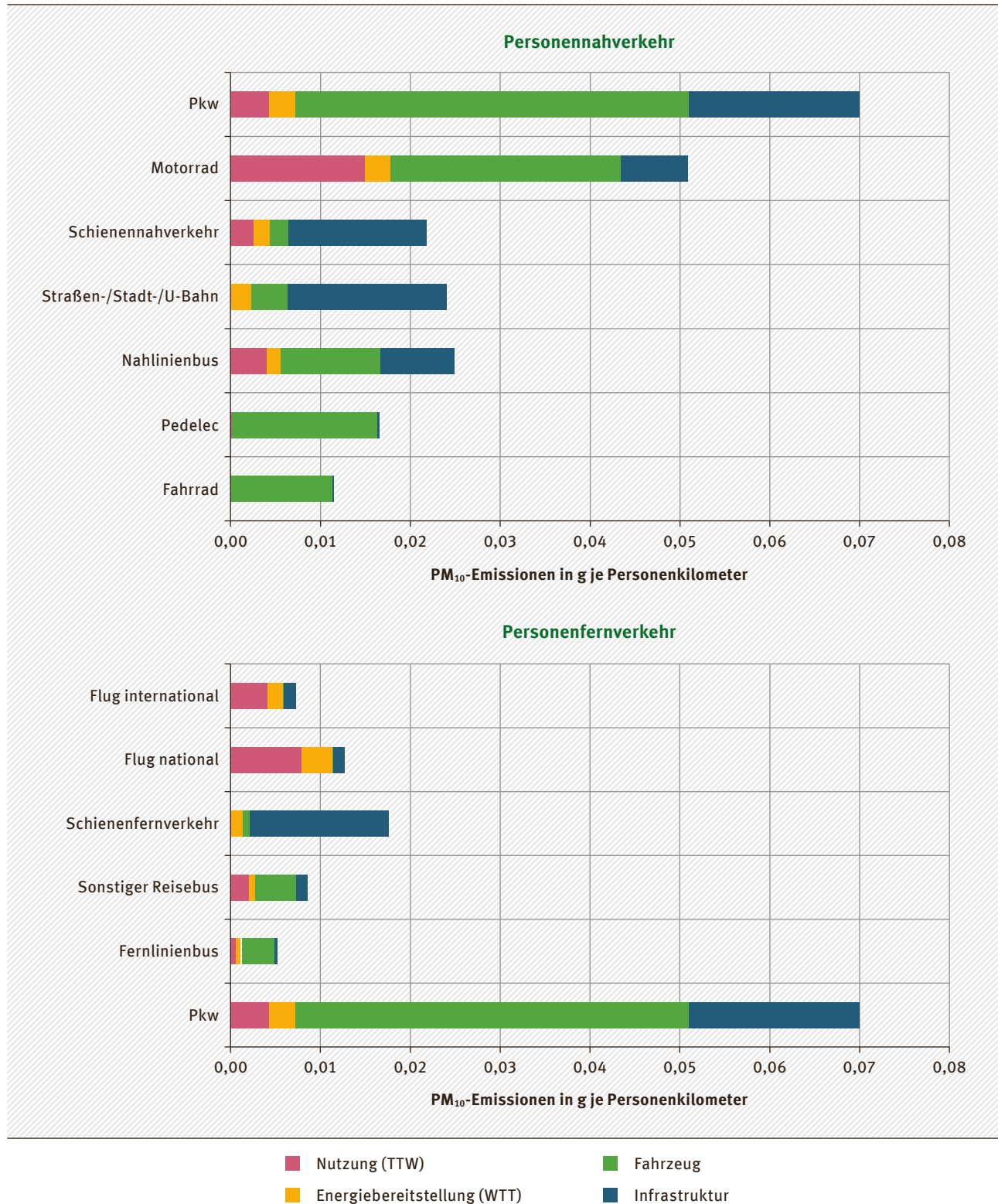


Anmerkungen: Werte für 2017

Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 7

PM₁₀-Emissionen des Personenverkehrs



Anmerkungen: Werte für 2017

Quelle: eigene Berechnungen

2.2 Flächenbedarf des Personenverkehrs

Verkehr braucht Fläche. Beim Bau von Straßen, Schienen, Radwegen und Flughäfen werden in der Regel Flächen umgenutzt, zum Beispiel von einem Acker zu einer Straße. Dabei werden Ökosysteme verändert und u. U. zerstört. Solche Prozesse gehen typischerweise mit einer Veränderung – oft einem Verlust – von Biodiversität auf den betroffenen Flächen einher. Auch während der Nutzung der Infrastruktur werden Ökosysteme beeinträchtigt, z. B. durch Zerschneidung oder den Einsatz von Unkrautvernichtungsmitteln im Rahmen des Unterhalts.

Je nach dem ursprünglichen Zustand der Fläche und abhängig von der Infrastruktur sind die ökologischen Wirkungen unterschiedlich. Eine genaue Betrachtung müsste auf sehr kleinräumiger Ebene erfolgen, was den Rahmen dieses Verkehrsartenvergleichs gesprengt hätte. Stattdessen wurden die Verkehrsflächen nach der Art der Infrastruktur unterschieden und gemäß der Nutzung den verschiedenen Verkehrsträgern zugeordnet. Die Zuordnung

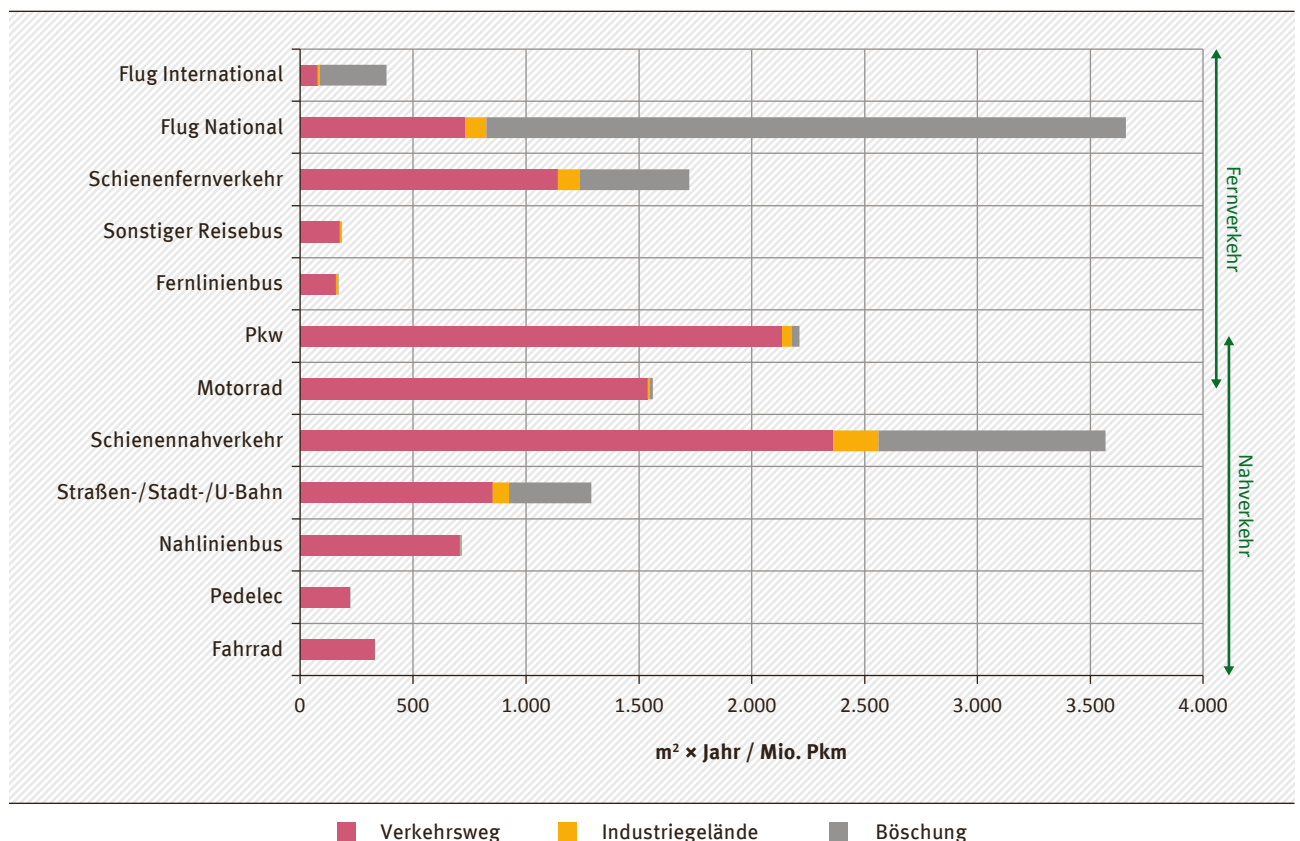
(Allokation) der benötigten Verkehrsfläche auf die einzelnen Verkehrsarten erfolgt z. B. im Straßenverkehr auf Basis der jährlichen Fahrleistung und der Fahrzeuggröße. Daraus resultiert ein Indikator für die Belegung einer Fläche durch die Verkehrsinfrastruktur – nicht durch die Verkehrsträger direkt – über eine bestimmte Zeit.

Ein zweiter Indikator berücksichtigt den Aufwand für die Umwandlung einer Fläche vom ursprünglichen Zustand in eine Fläche für den Verkehr. Dieser Wert spielt auch eine Rolle für die Berechnung der Umweltkosten.

Verkehrswege und Industrieflächen sind oft versiegelt und haben nur noch einen geringen oder keinen Umweltnutzen. Die Flächenart „Industriegelände“ beinhaltet z. B. Tankstellen, Straßenmeistereien, Werkstätten, Flughafengebäude, Häfen und Umschlagplätze. Dagegen weist die Flächenart „Böschung“ (z. B. Grünflächen an Flughäfen und Bahngleisen) eine höhere ökologische Qualität auf. Sie wird in Abbildung 8 mitgeführt aber nur abge-

Abbildung 8

Durchschnittliche Flächenbelegung des Personenverkehrs



Anmerkungen: Werte für 2017

Quelle: eigene Berechnungen

schwächt dargestellt, da eine ungewichtete Addition der unterschiedlich genutzten Flächen falsch wäre. Eine konkrete Bewertung der unterschiedlichen Flächenarten wurde hier nicht vorgenommen.

Der Vergleich der Verkehrswege zeigt, dass Pkw, Motorrad und Schienennahverkehr die höchsten spezifischen Flächenbelegungen aufweisen. Nationaler Luftverkehr, Schienenfernverkehr und öffentlicher Personennahverkehr zeigen mittlere Werte. Internationaler Luftverkehr, Reisebus, Fahrräder und Pedelecs belegen am wenigsten Verkehrsfläche pro Pkm (siehe Abbildung 8).

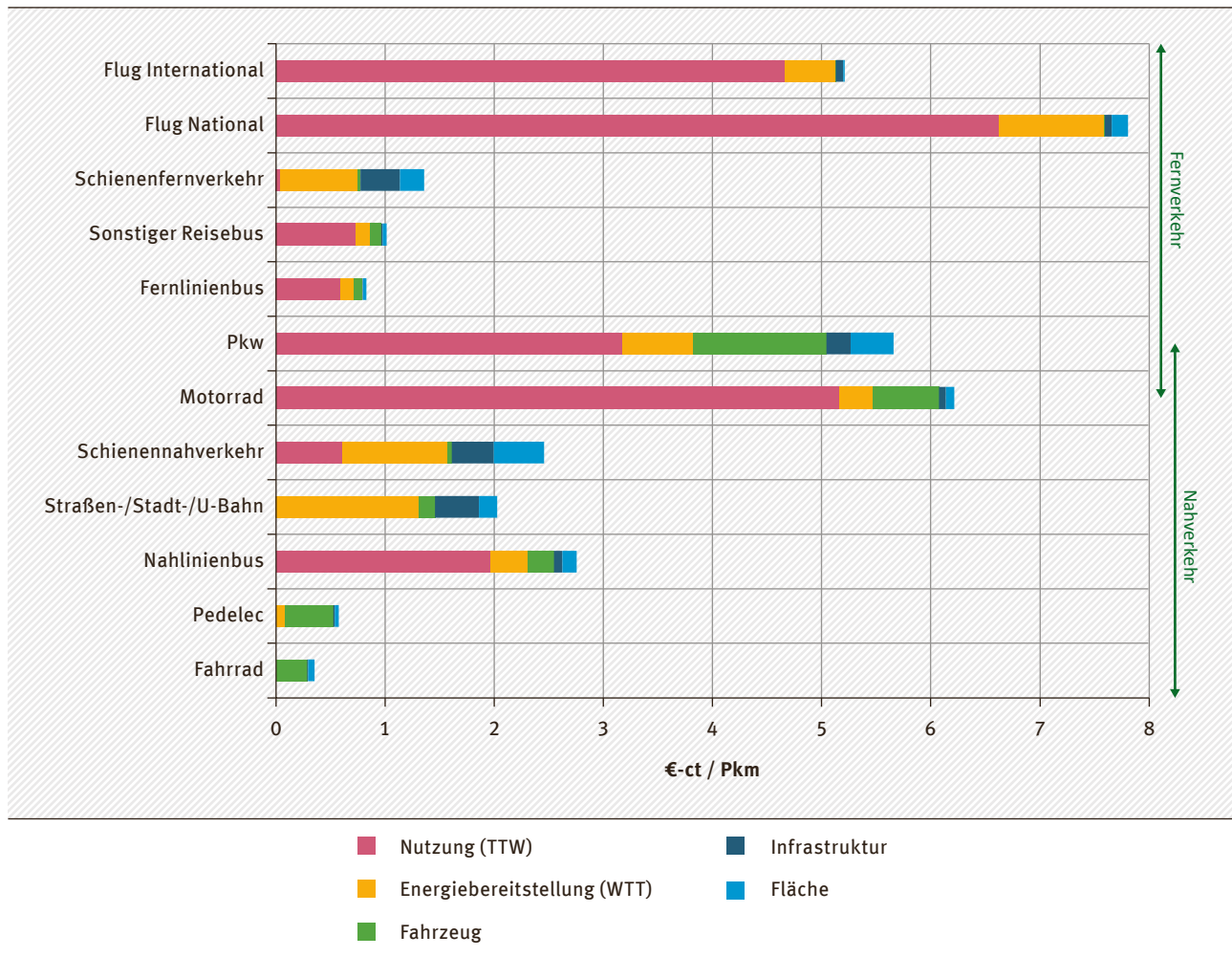
Die Industrieflächen, die den Verkehrsarten zugeordnet werden, sind insgesamt relativ gering. Böschungflächen sind bei Flughäfen und beim Schienenverkehr deutlich grösser als beim Straßenverkehr.

2.3 Umweltkosten des Personenverkehrs

Verkehr verursacht neben individuellen Kosten durch Anschaffung eines Fahrzeugs oder durch Diesel und Benzin weitere Kosten. Eher versteckt und nur selten im Bewusstsein sind die externen Umweltkosten, für die nicht die einzelnen Nutzenden, sondern die Gesellschaft aufkommen muss. Dazu gehören beispielsweise Gesundheitskosten durch schädliche Emissionen des Verkehrs oder Kosten für Anpassung an den Klimawandel, an dem der Verkehr einen erheblichen Anteil hat.

Abbildung 9

Umweltkosten des Personenverkehrs



Anmerkungen: Werte für 2017; ohne Lärmkosten

Quelle: eigene Berechnungen

Personenverkehr verursacht Umweltbelastungen durch Emissionen, Ressourcennutzung, Flächenbedarf und die Beeinträchtigung von Ökosystemen. Beim Vergleich einzelner Verkehrsarten ist es wichtig, Fern- und Nahverkehr zu unterscheiden, da ein bestimmtes Verkehrsmittel in der Regel nur innerhalb des Fern- oder Nahverkehrs Verwendung findet: Der Weg zur Arbeit kann beispielsweise mit dem Rad oder Bus & Bahn, die Urlaubsreise per Flugzeug, ICE oder Reisebus erfolgen.

Die höchsten Umweltkosten verursacht das Fliegen innerhalb Deutschlands. Hier schlägt jeder Personenkilometer (Pkm) mit knapp acht Cent zu Buche. Danach folgen Auto und internationale Flüge, deren Umweltkosten zwischen fünf und sechs Cent pro Pkm betragen. Deutlich geringer sind die Umweltkosten des Schienenfernverkehrs mit etwa 1,4 Cent pro Pkm sowie die von Reise- und Fernlinienbussen mit 0,8 bis 1 Cent pro Pkm.

Bei kurzen Strecken im Nahverkehr verursachen Auto und Motorräder die höchsten Umweltkosten (rund fünf bis sechs Cent pro Pkm). Nur etwa halb so hoch sind die Umweltkosten im ÖPNV. Straßen-, Stadt- und U-Bahnen, Schienennahverkehr und der Nahlinienbus verursachen Umweltkosten von zwei bis 2,75 Cent/Pkm. Wer mit dem herkömmlichen, nicht motorisierten Fahrrad unterwegs ist, verursacht die geringsten Umweltkosten – hier schlagen lediglich die Herstellung des Fahrrads, die notwendigen Radwege und die anteilige Flächenbelegung zu Buche (siehe Abbildung 9).

Und was bedeuten diese Erkenntnisse für die Politik?

- ▶ **Fuß- und Fahrradverkehr sind die Joker einer nachhaltigen Verkehrspolitik.** Städte sollten daher auf ihren innerstädtischen Verkehrsflächen einen höheren Anteil für sichere und attraktive Fuß- und Radwege zur Verfügung stellen.
- ▶ **Wer Busse und Bahnen nutzt, reduziert in der Regel die Emissionen deutlich im Vergleich zur Fahrt mit dem eigenen Auto.** Daher sollte dem Ausbau des öffentlichen Verkehrs Priorität eingeräumt werden. Um die Emissionen je Passagier zu senken, sind Umwege zu reduzieren und eine möglichst hohe Auslastung anzustreben.
- ▶ Effektiver für eine klima- und umweltverträgliche Verkehrspolitik erscheint es daher, parallel mit wachsendem Angebot von umweltfreundlichen Verkehrsträgern **Preissignale zu setzen, die die jeweils anfallenden Umweltkosten den entsprechenden Verkehrsträgern anlasten.** Das würde die Nutzung von Flugzeug und Pkw verteuern. Ein erster Schritt hierzu wäre der Abbau umweltschädlicher Subventionen wie der Kerosinsteuerbefreiung, Pendlerpauschale oder steuerlichen Entlastung für Dienstwagen.⁸

⁸ siehe hierzu auch Umweltbundesamt (2019b)



So wird Personenverkehr umwelt- und klimaverträglicher

Der Vergleich der Verkehrsarten untereinander zeigt deutliche Unterschiede in der Umwelt- und Klimawirkung und bei den Umweltkosten. Die Ergebnisse sind Anhaltspunkte dafür, wie der Personenverkehr nachhaltiger und weniger belastend werden kann. Strategien zur Verminderung der Wirkungen müssen weitere Einflüsse aus den Handlungsbereichen Vermeiden, Verlagern und Verbessern einbeziehen. Zu den relevanten Ansatzpunkten gehören:

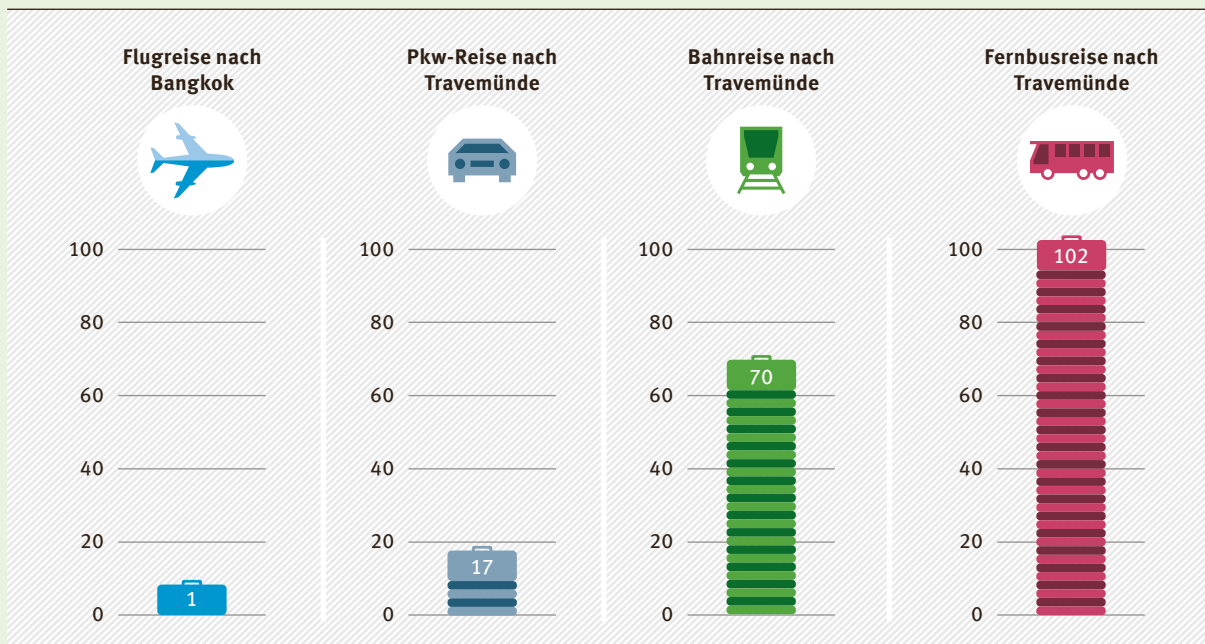
- ▶ **Ein motorisierter Weg, der nicht anfällt, verursacht auch keine Emissionen.** Beispiele hierfür sind eine längere Urlaubsreise statt zweier Wochenendtrips oder die Arbeit im Homeoffice statt im Büro. Beinahe ebenso effektiv wie die Vermeidung ist mit ihren extrem niedrigen Emissionen je Kilometer die Verlagerung auf Fuß- und Fahrradverkehr.
- ▶ Für Wege, die sich nicht vermeiden lassen, können **geringere Distanzen die Emissionen deutlich reduzieren.** Dies gilt für alltägliche Wege zur Arbeit, für die Nutzung der Nahversorgung und die Wahl des Urlaubziels. **Dabei beeinflussen sich Reisedistanzen und Verkehrsmittelwahl gegenseitig:** Kürzere Strecken können häufig mit umweltfreundlichen

Verkehrsmitteln wie dem Fahrrad zurückgelegt werden. Das andere Extrem ist das emissionsintensive Flugzeug, das bei Distanzen von vielen tausend Kilometern meist alternativlos ist. Zur Darstellung der Größenordnung: Eine Flugreise von Frankfurt am Main nach Bangkok und zurück verursacht 3,7 Tonnen CO_{2eq} je Person und Reise. Das entspricht einer Strecke von rund 19.000 km mit dem Pkw, 80.000 km mit dem Zug und 117.000 km mit dem Fernlinienbus. Damit käme man von Frankfurt mit dem Pkw 17-mal, mit der Bahn 70-mal und mit dem Fernlinienbus 102-mal nach Travemünde und zurück (siehe Abbildung 10).

- ▶ **Emissionen je Person sinken, wenn Fahrzeuge besser ausgelastet sind.** Ein Auto hat eine mittlere Auslastung von 1,5 Personen. Mitfahrkonzepte auf Basis digitaler Informationssysteme können helfen, Fahrten zu bündeln und Pkw-Kilometer zu vermeiden. Auch Straßen-, Stadt- und U-Bahnen haben im Mittel nur rund 20 % Auslastung – die Kapazität wird jedoch benötigt, um die Nachfrage in Stoßzeiten zu decken. Da die Attraktivität öffentlicher Verkehrsmittel an eine dichte Taktung gekoppelt ist, kann die mittlere Auslastung nur begrenzt erhöht werden.

Abbildung 10

Fallbeispiel Urlaub: Anzahl von Reisen mit gleicher Klimawirkung in Abhängigkeit des Verkehrsmittels



Anmerkungen: Anzahl der Reisen je Person ab Frankfurt am Main; Fahrzeugauslastung: Durchschnitt (Pkw 1,5 Personen, Bahn 56 %, Fernlinienbus 57 % und Flug 83 %)

Quelle: eigene Berechnungen



3

Güterverkehr: Eine schwere Last

Der Güterverkehr ist ein stark wachsendes Verkehrsegment und verursacht durch zunehmende Transportentfernungen, wachsende Fahrzeugzahl und steigende Tonnagen beträchtliche Umweltbelastungen. Zwei Trends verstärken dabei den besonders umweltschädlichen Lkw-Verkehr. Dies ist zum einen der „Güterstruktureffekt“: Er beschreibt den wachsenden Anteil an kleineren, aber höherwertigen Gütern (z. B. Elektronikgeräte), die oft mit dem Lkw oder dem Flugzeug transportiert werden. Zum anderen der „Logistikeffekt“: Er integriert Transporte tief in die Produktionsprozesse, was bedeutet, dass Güter zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort sein müssen („Just-in-Time“).

Im Güterverkehr kommen fast ausschließlich motorisierte Verkehrsmittel zum Einsatz: Die Verteilung von Waren übernehmen leichte Nutzfahrzeuge und vermehrt teils elektrische Lastenräder. Ansonsten überwiegen auf der Straße Lkw, Last- oder Sattelzüge sowohl auf kurzen als auch auf langen Strecken, im Fernverkehr werden auch Bahn, Binnenschiff und Flugzeug genutzt (siehe Abbildung 11).

Im Güterverkehr ist Tonnenkilometer (tkm) die übliche Maßeinheit für die Verkehrsleistung und errechnet sich durch Multiplikation der zurückgelegten Kilometer mit der transportierten Tonnage.

Schwere Lkw, Last- und Sattelzüge tragen die Hauptlast des **Straßengüterverkehrs** in Deutschland. 2017 betrug deren Verkehrsleistung 491 Mrd. tkm, das entspricht einem Anteil am inländischen Gütertransport von 73 %.

Die **Bahn** verzeichnete im Güterverkehr eine Verkehrsleistung von 129,9 Mrd. tkm, diese erfolgte zu 96 % durch Elektroantrieb. Der Güterverkehr auf der Schiene hatte damit einen Anteil von 19 % an der Güterverkehrsleistung in Deutschland. Im Güterverkehr mit **Binnenschiffen** wurden 55,5 Mrd. tkm erbracht, das entspricht einem Anteil von 8 %.

Abbildung 11

Verkehrsarten für den Güterverkehr



Beim **Flugverkehr** werden im Verkehrsartenvergleich sowohl nationale als auch abgehende internationale Flugverbindungen berücksichtigt. Demnach liegt der Schwerpunkt des Gütertransports per Flugzeug im internationalen Verkehr. Durch Inlandsflüge wurden nur 51 Mio. tkm transportiert, im abgehenden internationalen Verkehr dagegen 12,4 Mrd. tkm.⁹

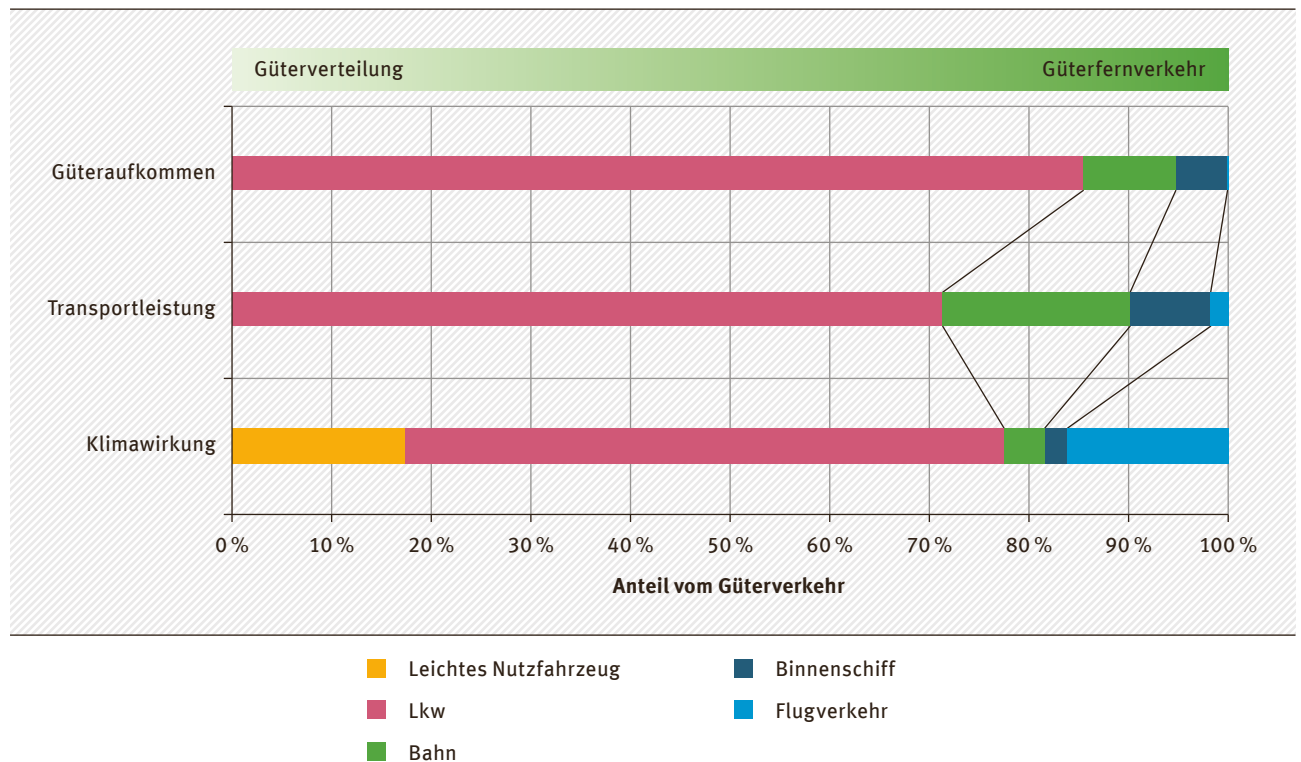
3.1 Emissionen des Güterverkehrs: Treibhausgase und Luftschadstoffe

Auch für den Güterverkehr eignet sich der Indikator „Klimawirkung“ gut für eine Einordnung der Bedeutung der Verkehrsarten für die Mobilität und Umwelt. Abbildung 12 stellt dafür die Verteilung der Verkehrsarten nach Anzahl der Wege, Verkehrsleistung (Tonnenkilometer) und Klimawirkung (in CO₂-Äquivalenten) einschließlich des abgehenden internationalen Flugverkehrs gegenüber. Der Vergleich berücksichtigt keine Lastenräder, da für

⁹ Allekotte et al. (2020b) / Allekotte et al. (2020a) / DB Umwelt (2019) / Nobis (2019) / Radke (2018) / Statistisches Bundesamt (2018) / Statistisches Bundesamt (2019) / VDV (2018)

Abbildung 12

Bedeutung und Klimawirkung einzelner Verkehrsarten im Güterverkehr



Anmerkungen: Werte für 2017

Quelle: eigene Berechnungen

sie noch keine verkehrlichen Basisdaten für Deutschland vorliegen und daher keine – sicherlich noch sehr geringe – Gesamtemissionen ermittelt werden können. Bei leichten Nutzfahrzeugen lassen sich die THG-Emissionen auf Basis der Fahrleistungen berechnen.

85 % aller Güter werden mit dem Lkw transportiert. Da viele der Güter im Nahbereich transportiert werden, ist der Anteil des Lkw an der Transportleistung mit 71 % geringer. 60 % der THG-Emissionen verursachen die Lkw, 17 % die leichten Nutzfahrzeuge. Der Schienenverkehr mit einem Anteil von 9 % am Güteraufkommen erbringt damit 19 % der Verkehrsleistung, verursacht jedoch nur 4 % der Treibhausgasemissionen des Güterverkehrs. Binnenschiffe liegen mit einem Anteil von 5 % am Aufkommen, 8 % an der Transportleistung und 2 % an den THG-Emissionen bei etwa der Hälfte der Bahn. Vom Güteraufkommen eher vernachlässigbar ist der von Deutschland ausgehende Flugverkehr: Nur 0,06 % der Güter werden per Flugzeug transportiert, diese Flüge haben allerdings einen Anteil von 16 % an der Klimawirkung.

Wie sind die Klimawirkungen des Güterverkehrs genau?

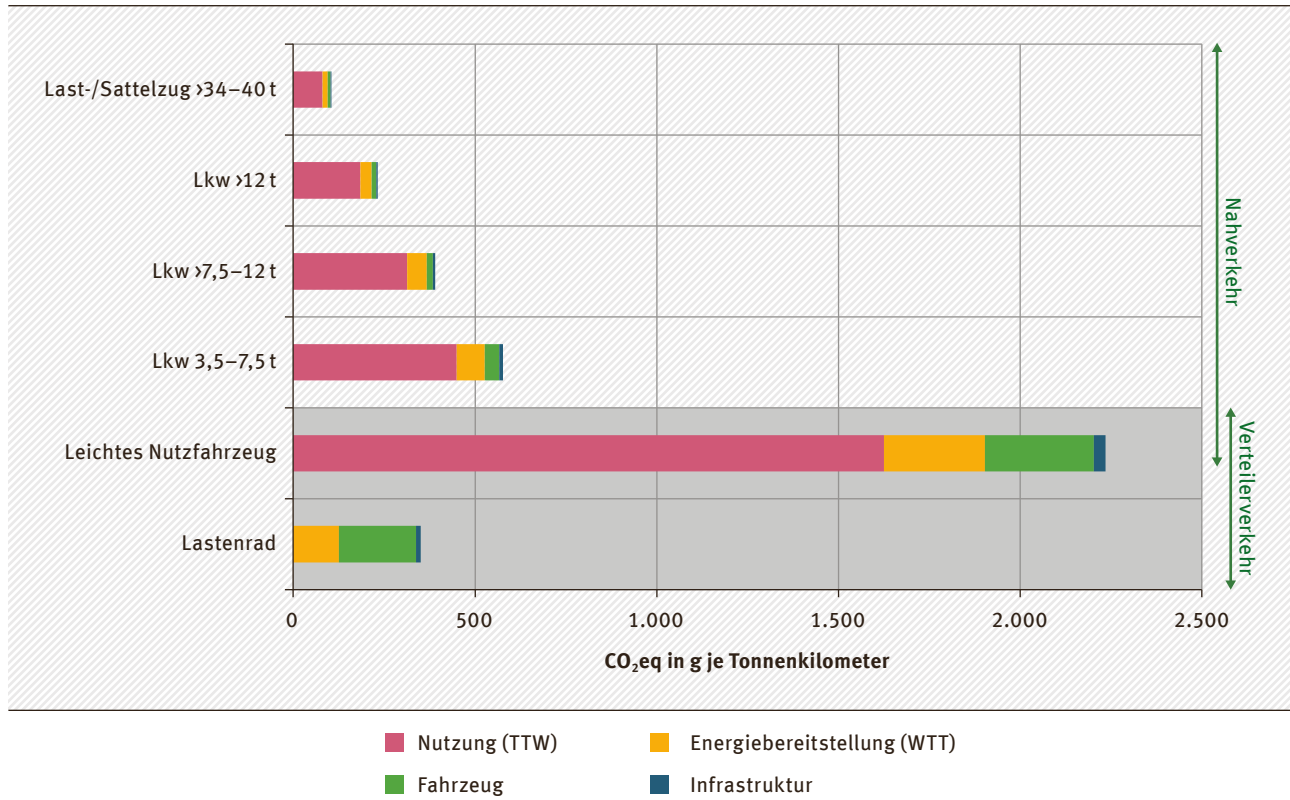
Um die Klimawirkung des Güterverkehrs zu reduzieren, ist die Kenntnis der Beiträge einzelner Verkehre notwendig. Ausgangspunkt sind die spezifischen Emissionen je Tonnenkilometer der relevanten Fahrzeugarten.

Für den Nah- und Fernverkehr gilt (siehe Abbildung 13):

- ▶ Ähnlich wie beim Personenverkehr werden auch im Güterverkehr die Klimawirkungen stark vom Fahrzeugbetrieb und von der Energiebereitstellung bestimmt.
- ▶ Der Gütertransport mit kleinen Fahrzeugen verursacht hohe spezifische THG-Emissionen. Je größer der Lkw und je mehr Güter in einem Fahrzeug transportiert werden, desto besser ist die THG-Bilanz. Bei großen Last- und Sattelzügen mit mittlerer Beladung sind sie um den Faktor drei höher als beim Schienenverkehr, bei kleineren Fahrzeugen steigt der Faktor gar auf sieben bis 18.

Abbildung 13

Klimawirkung des Nah- und Verteilerverkehrs



Anmerkungen: Werte für 2017

Quelle: eigene Berechnungen

- ▶ Bei der Güterverteilung mit kleinen Fahrzeugen hat das Lastenrad einen großen Klima-Vorteil gegenüber einem Lieferwagen (leichtes Nutzfahrzeug).

Für den Fernverkehr gilt (siehe Abbildung 14):

- ▶ Der Schienengüterverkehr verursacht die geringsten spezifischen THG-Emissionen, gefolgt vom Binnenschiff.
- ▶ Im Güterfernverkehr sind Lkw-Größe und Auslastung entscheidend. Hier dominieren die großen Fahrzeuge, so dass der Mittelwert der THG-Emissionen über alle Lkw nur um ein Fünftel höher liegt als der Wert für die großen Last- und Sattelzüge.
- ▶ Der Gütertransport mit Flugzeugen (Luftfracht) verursacht hohe spezifische THG-Emissionen. Sie sind um den Faktor 45 bis 62 höher als beim Transport auf der Schiene.

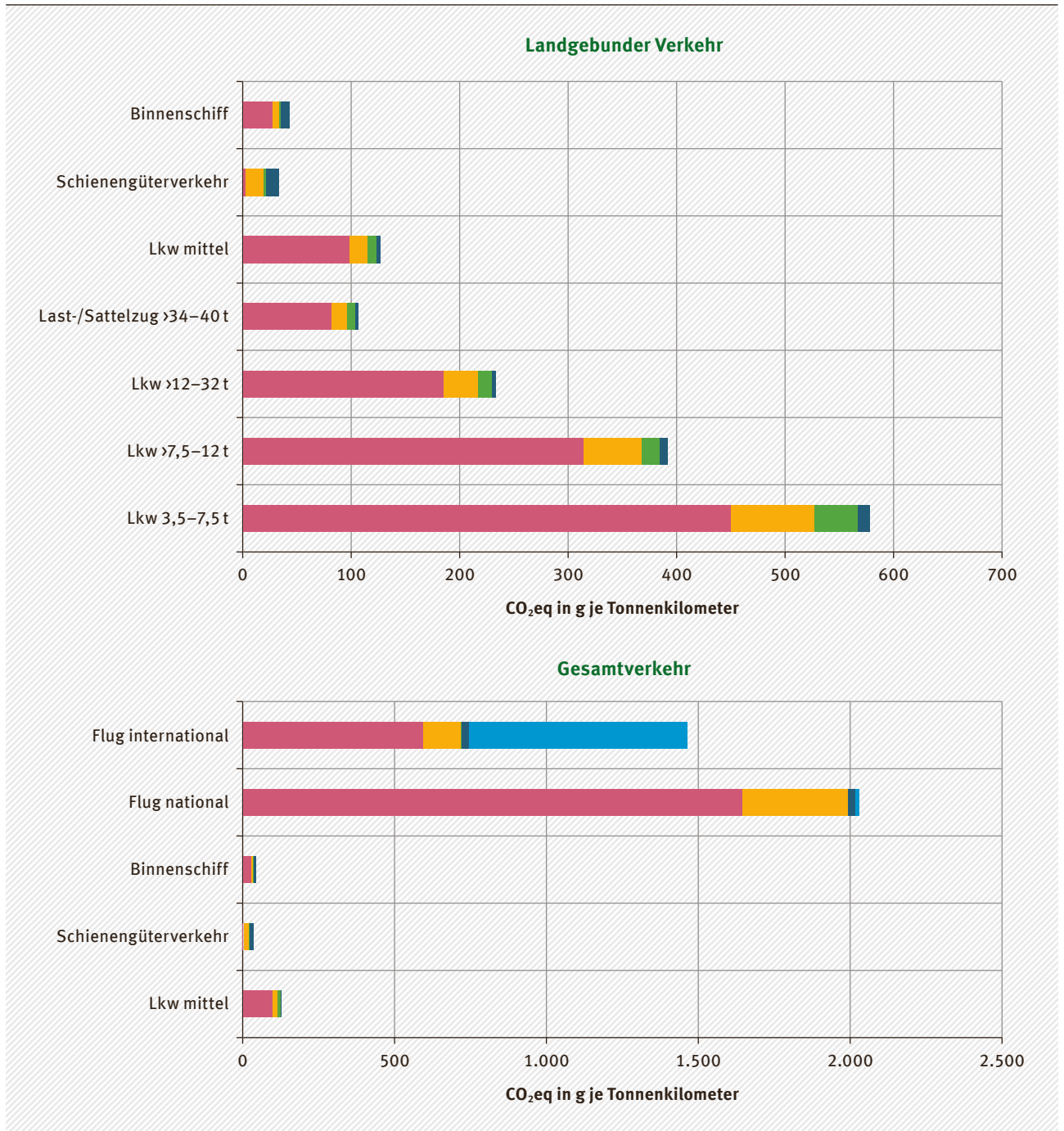
Luftschadstoff-Emissionen des Güterverkehrs: Dicke Luft in den Städten

Wie beim Personenverkehr steht bei Luftschadstoffen die lokale Wirkung im Vordergrund. Alle Aussagen gelten entsprechend auch für den Güterverkehr.

Die Abbildungen 15 und 16 zeigen exemplarisch die spezifischen NO_x- und Partikelemissionen der Verkehrsmittel im Güterverkehr. Gut sichtbar ist der hohe Anteil der vor Ort wirksamen NO_x-Emissionen der Nutzung bei Fahrzeugen mit Verbrennungsantrieb (Lkw, Binnenschiffe, Flugzeuge). Im Unterschied dazu wurden die abgasbedingten PM₁₀-Emissionen der Fahrzeugnutzung durch den Einsatz von Partikelfiltern bereits deutlich reduziert, so dass der Großteil der PM₁₀-Emissionen aus den übrigen Lebenswegabschnitten resultiert.

Abbildung 14

Klimawirkung des Güterfernverkehrs



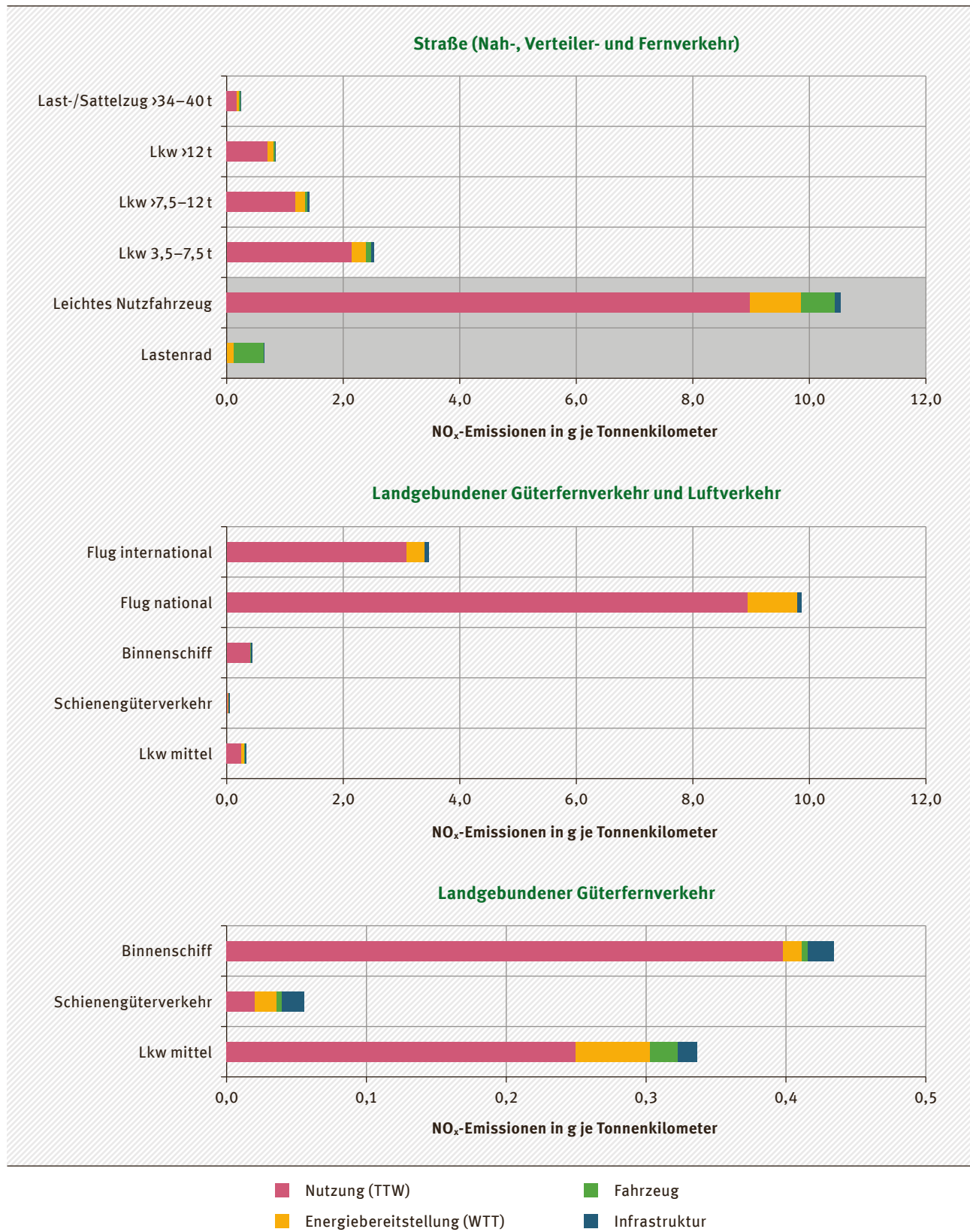
- Nutzung (TTW)
- Energiebereitstellung (WTT)
- Fahrzeug
- Infrastruktur
- zusätzliche Klimawirkung Flugverkehr

Anmerkungen: Werte für 2017; Skalierung der Balkendiagramme unterschiedlich

Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 15

NO_x-Emissionen des Güterverkehrs

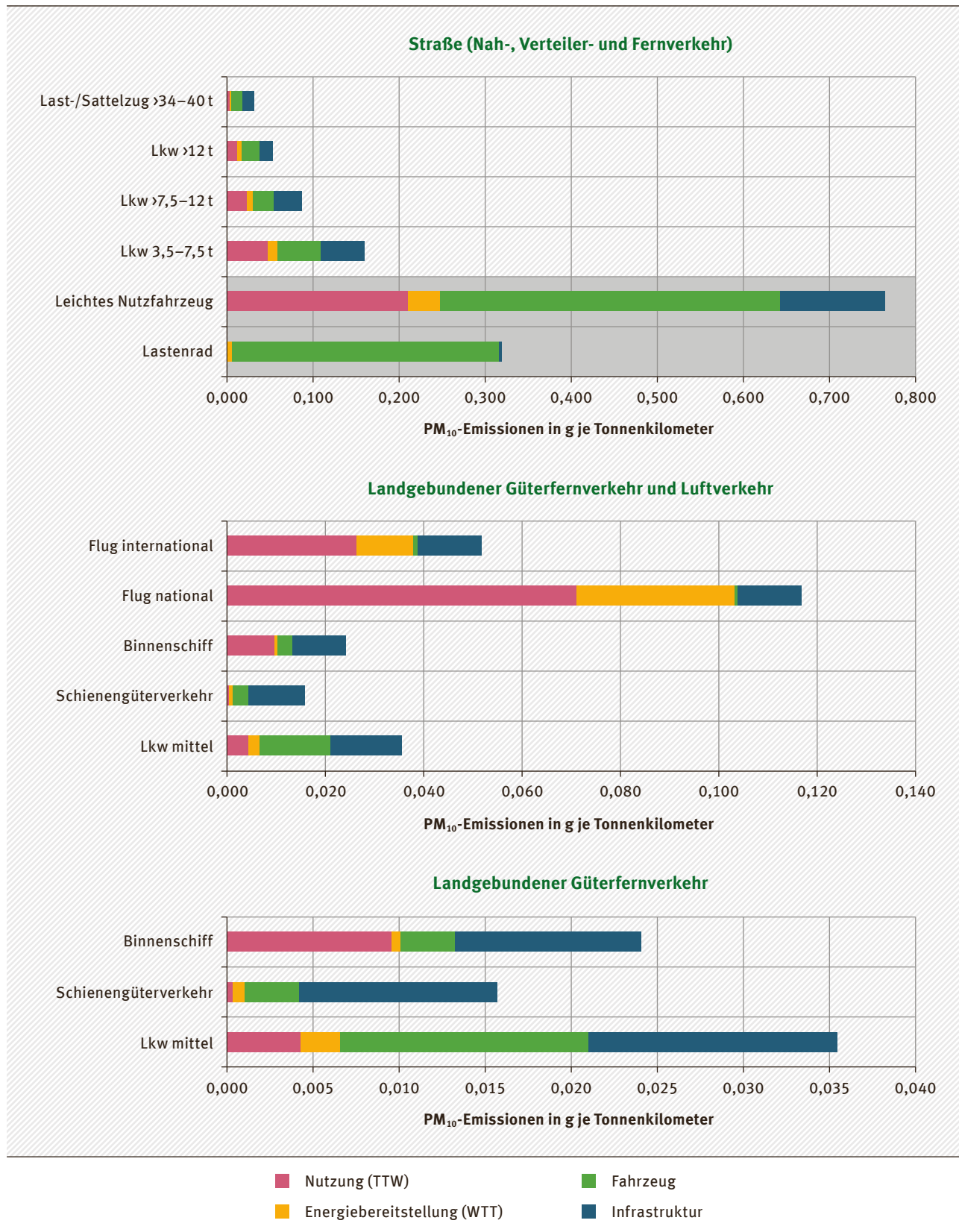


Anmerkungen: Werte für 2017; Skalierung der Balkendiagramme unterschiedlich

Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 16

PM₁₀-Emissionen des Güterverkehrs



Anmerkungen: Werte für 2017; Skalierung der Balkendiagramme unterschiedlich

Quelle: eigene Berechnungen

3.2 Flächenbedarf des Güterverkehrs

Binnenschiffe, schwere Lkw und internationale Frachtflüge belegen am wenigsten Verkehrsfläche pro tkm, gefolgt vom Schienengüterverkehr. Beim Gütertransport verursacht der nationale Flugverkehr einen hohen Flächenbedarf in den Kategorien „Verkehrsweg“ und „Böschung“ (siehe Abbildung 17). Weitergehende Hinweise zu den einzelnen Flächenarten sind in Kapitel 2.2 aufgeführt.

Beim Binnenschiff als Transportmittel hängt die Flächenbelegung in der dominierenden Kategorie „künstlicher Fluss“ stark von der genutzten Wasserstraße ab. Da beispielsweise der Rhein für den Gütertransport intensiv genutzt wird, liegt die Flächenbelegung der Schifftransporte auf dem Rhein nur wenig höher als diejenige des Schienengüterverkehrs. Kanäle weisen, verglichen mit dem Rhein, einen rund dreimal höheren Verbrauch an Fläche auf. Andere Wasserstraßen liegen im Vergleich etwa 20-mal höher als der Rhein, da auf ihnen deutlich weniger Güter transportiert werden.

Der hohe Bedarf an Verkehrsflächen bei Lieferwagen und Lastenrädern rührt speziell daher, dass diese Fahrzeuge im Durchschnitt wenig Last mitführen, pro Tonnenkilometer also viele Fahrzeugkilometer anfallen.

3.3 Umweltkosten des Güterverkehrs

Im Güterfernverkehr verursacht der Luftverkehr mit 30 bis 60 Cent pro tkm die höchsten Umweltkosten. Beim landgebundenen Verkehr sind die Umweltkosten beim Schienengüterverkehr mit rund 1 Cent pro tkm und der Binnenschifffahrt mit rund 1,8 Cent pro tkm am geringsten. Schwere Lkw (Last-/Sattelzüge über 34 t) verursachen Umweltkosten von rund 2,8 Cent pro tkm. Die Umweltkosten des Durchschnitts aller Lkw liegen bei 3,4 Cent/tkm (siehe Abbildung 18).

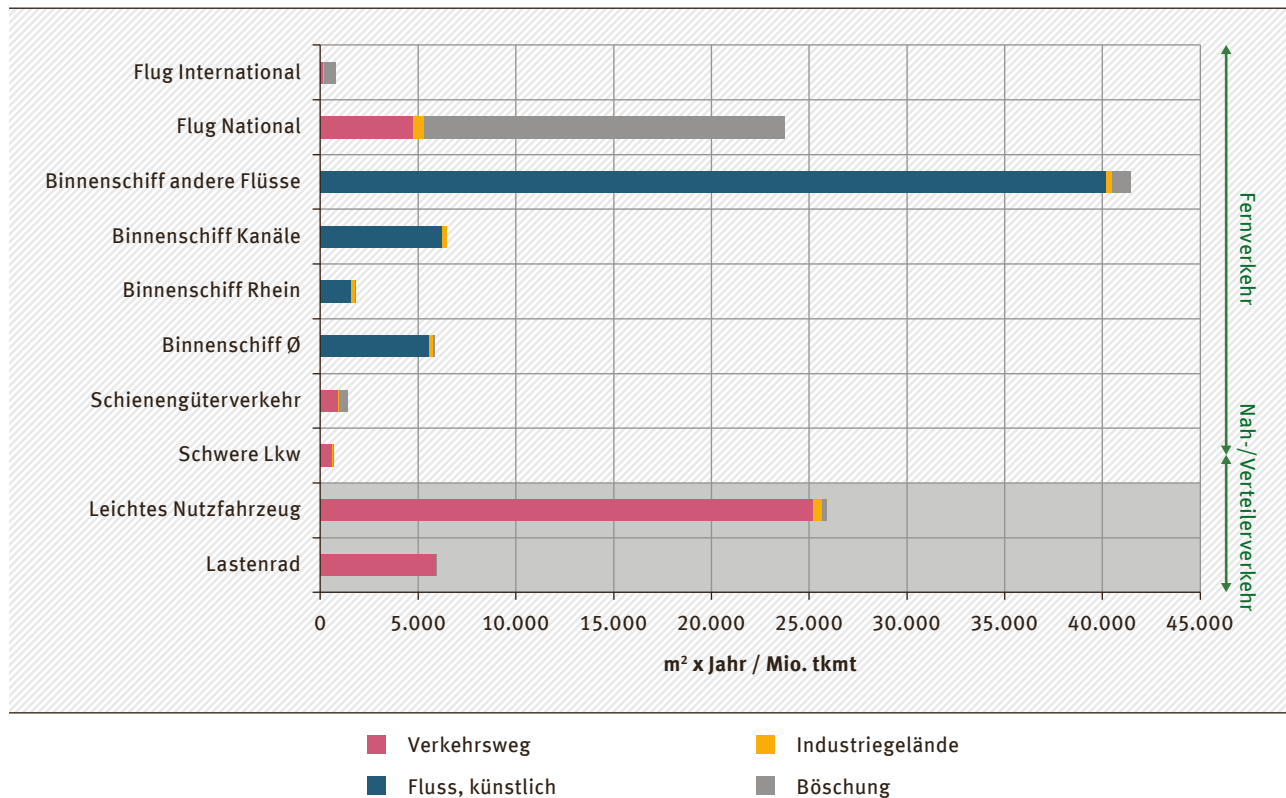
Je kleiner die Fahrzeuge des Straßengüterverkehrs, desto höher die durchschnittlichen Umweltkosten je Tonne transportierter Fracht.¹⁰ Das leichte Nutzfahrzeug verursacht mit über 70 Cent pro tkm die höchsten Umweltkosten. Dagegen weist das Lastenrad relativ niedrige Umweltkosten auf und erweist sich damit als vorteilhaft für den Transport kleiner Gütermengen im Nahbereich oder die Auslieferung von Paketen.

¹⁰ Umweltbundesamt (2019a)



Abbildung 17

Durchschnittliche Flächenbelegung des Güterverkehrs

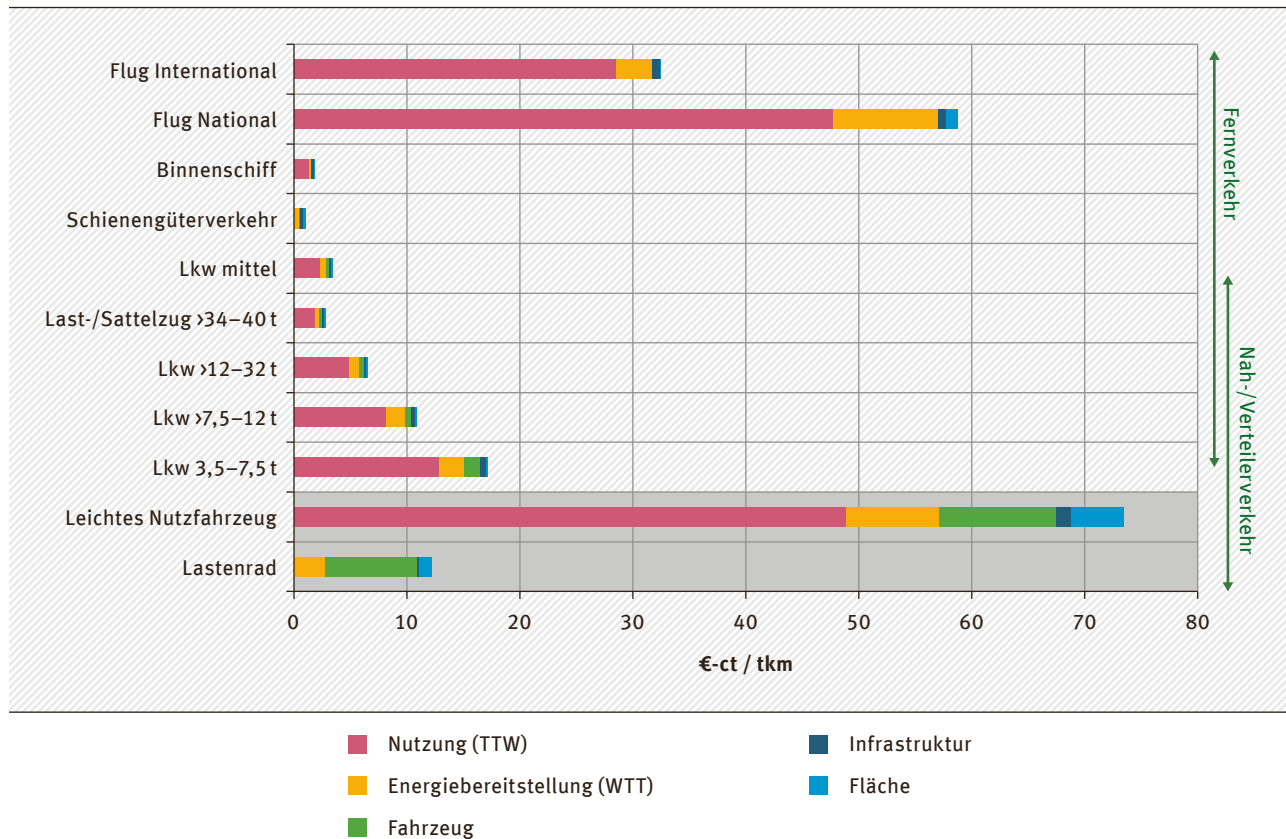


Anmerkungen: Werte für 2017

Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 18

Umweltkosten des Güterverkehrs



Anmerkungen: Werte für 2017; ohne Lärmkosten

Quelle: eigene Berechnungen



So wird Güterverkehr umwelt- und klimaverträglicher

Der Vergleich der Verkehrsarten untereinander zeigt deutliche Unterschiede in der Umwelt- und Klimawirkung und bei den Umweltkosten mit einer deutlich höheren Spreizung als beim Personenverkehr. Dabei erfüllen die verschiedenen Verkehrsmittel ganz unterschiedliche Transportaufgaben, für die es oft nur begrenzte Alternativen gibt. Strategien zur Verminderung der Wirkungen müssen daher verschiedene Aspekte aus den Handlungsbereichen Vermeiden, Verlagern und Verbessern einbeziehen. Relevante Ansatzpunkte sind:

Weltweite Warenströme

- ▶ Die global vernetzte Wirtschaft verlangt weltweite Warentransporte. Auf langen Distanzen, insbesondere zwischen den Kontinenten, sind oftmals Seeschifffahrt und Luftverkehr die einzigen Alternativen. **Der Gütertransport mit Flugzeugen ist jedoch mit hohen spezifischen Umweltwirkungen verbunden**, die umso schwerer wiegen, als dass sehr weite Distanzen zurückgelegt werden.
- ▶ Ansätze zur Verminderung der Umweltbelastungen liegen daher, wenn möglich, in der **Verlagerung vom Flugzeug auf andere Verkehrsarten und der Vermeidung von Transporten**.

Nationaler Ferntransport

- ▶ In Deutschland werden Güter über lange Distanzen auf der Straße mit Last- und Sattelzügen, mit der Bahn und dem Binnenschiff transportiert. Der **Vorteil des Straßenverkehrs** liegt in der flächendeckenden Erschließung des Straßennetzes von der Autobahn bis in die Wohnstraße, verbunden mit hoher Flexibilität in der Transportplanung und -durchführung. **Bahn und Binnenschiff haben Vorteile** beim Transport von ganzen Zug- oder Schiffsladungen, insbesondere wenn Start- und Bestimmungsort

direkten Zugang zum Bahnnetz, Fluss oder Kanal haben. Wegen der geringeren Vernetzung sind sie bei Transporten auf Relationen ohne durchgehenden Bahn- und Schiffsanschluss auf Kooperation mit der Straße als Teil einer intermodalen Transportkette (Kombinierter Ladungsverkehr) angewiesen.

- ▶ Eine **Verlagerung von der Straße auf Bahn oder Binnenschiff ist unter Umweltgesichtspunkten vorteilhaft und für Transporteure attraktiv**, wenn die betreffenden Infrastrukturen – z. B. leistungsfähige Gleisanschlüsse – gut ausgebaut sind. Bei langen Umwegen, häufigem Umladen und geringen Auslastungen schwindet der Vorteil.

Nah- und Verteilerverkehr

- ▶ Die Feinverteilung von Waren und Paketen wird in der Regel mit kleinen Fahrzeugen durchgeführt. **Leichte Nutzfahrzeuge verursachen hohe THG- und Luftschadstoffemissionen je transportierter Einheit**.
- ▶ Der **Ersatz von Lieferwagen durch Lastenräder für die Paketzustellung lohnt sich in größeren Städten**. Dadurch kann eine relevante Reduktion der Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen erreicht werden, da das Verlagerungspotenzial mit ca. 60 % sehr hoch ist.¹¹
- ▶ Weiterer Ansatzpunkt ist eine Reduktion der gefahrenen Strecken durch eine **Bündelung von Transporten und einer optimierten Routenwahl**, im Gegensatz zur heutzutage üblichen flächendeckenden Belieferung durch mehrere, voneinander unabhängige Dienstleister.

¹¹ siehe hierzu auch Allekotte et al. (2020b): S. 160 ff.

Und was bedeuten diese Erkenntnisse für die Politik?

- ▶ Die **Vermeidung von Transporten sollte an erster Stelle stehen**, etwa durch Verbesserung der Transportlogistik, z. B. durch bessere Auslastung und Vermeidung von Leerfahrten, durch Förderung regionaler Vermarktungsstrukturen bzw. regionaler Wirtschaftskreisläufe, vor allem aber durch die Anrechnung der realen Umweltkosten auf die Transporte.
- ▶ Die **Verlagerung von Straße auf Schiene und Binnenschiff** ist ein weiterer Hebel zur Senkung der Umweltbelastungen. **Beim Infrastrukturausbau sollte daher dem Schienenverkehr Priorität eingeräumt werden.** Dabei sollte der Fokus auch auf kundenorientierte und flächendeckende Bedienkonzepte gelegt werden.
- ▶ Die **Infrastruktur für die Durchführung intermodaler Transporte von Lkw, Bahn und Binnenschiff sollte deutlich ertüchtigt werden.** Dazu gehören neben leistungsfähigen intermodalen Verladestationen mit innovativen Umschlagtechniken effiziente Kommunikationstechniken zur Planung und Steuerung der Transportvorgänge.
- ▶ Konzepte und Infrastruktur zur **Verbesserung des Lieferverkehrs in den Städten unter Einbezug von Elektro-Lastenrädern** sollten entwickelt und optimiert werden.
- ▶ Auch im Güterverkehr ist es für eine klima- und umweltverträgliche Verkehrspolitik wichtig **Preissignale zu setzen, die die jeweils anfallenden Umweltkosten den entsprechenden Verkehrsträgern anlasten.** Ein erster Schritt hierzu wäre der Abbau umweltschädlicher Subventionen wie der Energiesteuerbefreiung bei Kerosin oder die Energiesteuervergünstigung für Dieselmotoren.¹²

¹² siehe hierzu auch Umweltbundesamt (2019b)





4

Abschlussbemerkungen

Diese Broschüre enthält eine Vielzahl an Darstellungen zu den **Umweltwirkungen der Verkehrsarten in Deutschland**. Diese durchschnittlichen Kennzahlen, die auch im Tabellenanhang dokumentiert sind, sind eine wertvolle **Grundlage für die ökologische Bewertung des Verkehrs**. Dies gilt für die individuelle Wahl eines Verkehrsmittels ebenso wie für Entscheidungsträger in Wirtschaft, Politik und Verwaltung.

Die Kennzahlen beruhen auf den aktuellsten und bestmöglichen Grundlagen und Methoden. Sie sind in dieser Form für mehrere Jahre verwendbar, da sich relevante Veränderungen innerhalb der Verkehrsarten, wie die Fahrzeugerneuerung und das Nutzungsverhalten, nur über längere Zeiträume entwickeln. Weiterführende und detailliertere Informationen zu den ökologischen Wirkungen des Verkehrs finden sich in der **Hauptstudie „Ökologische Bewertung von Verkehrsarten“ (UBA-Texte 156/2020)**.

Bei vielen Fragestellungen bieten die **Durchschnittswerte** einen guten Ausgangspunkt für die Bewertung. Eine konkrete Nutzung kann sich jedoch von der durchschnittlichen Nutzung eines Verkehrsmittels deutlich unterscheiden: etwa wegen einer besseren oder schlechteren Auslastung des Fahrzeugs, wegen erhöhter Aufwendungen durch Umwege oder Wechsel des Verkehrsmittels, wegen der speziell

eingesetzten Fahrzeug- und Antriebstechnik oder wegen der Herkunft der verwendeten Energie. **Daher ist es notwendig, bei konkreten Fragestellungen auch die konkreten Randbedingungen zu berücksichtigen**. Dies ist in der Regel nur durch eine Einzelfallbetrachtung möglich.

Der **Klimawandel** stellt eine ernste Bedrohung dar, die nur durch rasche und tiefgreifende Veränderungen abgemildert werden kann. In der Broschüre werden Strategien angesprochen, wie Treibhausgasemissionen im Verkehr durch **Vermeiden, Verlagern und Verbessern** gezielt reduziert werden können („**Verkehrswende**“).

Ein vierter wichtiger Baustein ist neben der Verkehrswende die **Energiewende im Verkehr**. Diese umfasst eine vollständige Umstellung der Antriebe auf treibhausgasneutrale Energieträger sowie eine treibhausgasneutrale Energie-, Fahrzeug- und Infrastrukturbereitstellung. Gerade bei den derzeit hohen Emissionen des motorisierten Verkehrs muss diese Umstellung schon in den nächsten Jahren deutlich vorangehen. Diese Umstellung baut wiederum auf der Verkehrswende auf – diese ist zentral, um die Kosten und den Ressourcenverbrauch in einem vertretbaren Rahmen zu halten und damit die Energiewende im Verkehr überhaupt erst zu ermöglichen.

Literatur

- Allekotte, M.; Biemann, K.; Heidt, C.; Colson, M.; Knörr, W. (2020a): Aktualisierung der Modelle TREMOD/TREMOD-MM für die Emissionsberichterstattung 2020 (Berichtsperiode 1990–2018) – Berichtsteil „TREMOD“ (UBA-Texte 116/2020). <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aktualisierung-tremod-2019>
- Allekotte, M.; Bergk, F.; Biemann, K.; Deregowski, C.; Knörr, W.; Althaus, H.-J.; Sutter, D.; Bergmann, T. (2020b): Ökologische Bewertung von Verkehrsarten (UBA-Texte 156/2020). <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekologische-bewertung-von-verkehrsarten>
- DB Umwelt (2019): Jährliche Auswertung der Eisenbahn-Aktivitätsdaten für TREMOD (unveröffentlicht). Datum: April 2019
- Nobis, C. (2019): Mobilität in Deutschland – MiD: Analysen zum Radverkehr und Fußverkehr. Veröffentlichungsdatum: Mai 2019 http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Analyse_zum_Rad_und_Fussverkehr.pdf
- Radke, S. (2018): Verkehr in Zahlen 2018/2019 (47. Jahrgang). Veröffentlichungsdatum: September 2018 https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen_2018-pdf.pdf
- Statistisches Bundesamt (2018): Verkehr – Luftverkehr auf allen Flugplätzen 2017. Veröffentlichungsdatum: 10. Juli 2018. https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Personenverkehr/Publikationen/Downloads-Luftverkehr/luftverkehr-alle-flugplaetze-2080620177004.pdf?__blob=publicationFile&v=4.
- Statistisches Bundesamt (2019): Personenverkehr mit Bussen und Bahnen 2017 (Fachserie 8, Reihe 3.1). Veröffentlichungsdatum: 31. Januar 2019 https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Personenverkehr/Publikationen/Downloads-Personenverkehr/personenverkehr-busse-Bahnen-jahr-2080310177004.pdf?__blob=publicationFile
- Umweltbundesamt (2019a): Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten – Kostensätze. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/methodenkonvention-30-zur-ermittlung-von>
- Umweltbundesamt (2019b): Kein Grund zur Lücke – So erreicht Deutschland seine Klimaschutzziele im Verkehrssektor für das Jahr 2030. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kein-grund-zur-luecke>
- VDV (2018): VDV-Statistik 2017. Veröffentlichungsdatum: Oktober 2018 <https://www.vdv.de/vdv-statistik-2017.pdf>
- Weidema, B. P.; Bauer, C.; Hischer, R.; Mutel, C.; Nemecek, T.; Reinhard, J.; Vadenbo, C. O.; Wernet, G. (2013): Overview and methodology – Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. https://www.ecoinvent.org/files/dataqualityguideline_ecoinvent_3_20130506.pdf

Tabellenanhang

Tabelle 2

Wege, Verkehrsleistungen und Klimawirkung im Personenverkehr in Deutschland – Anteile je Verkehrsart und Gesamtsumme

	Anzahl Wege	Verkehrsleistung	Klimawirkung
Fußverkehr	20,1 %	2,4 %	0,0 %
Fahrradverkehr	10,1 %	2,9 %	0,2 %
Öffentlicher Nahverkehr	12,2 %	7,7 %	3,6 %
Motorisierter Individualverkehr	57,3 %	66,4 %	75,3 %
Öffentlicher Fernverkehr	0,2 %	4,0 %	1,5 %
Flugverkehr	0,1 %	16,7 %	19,4 %
Gesamt	102 Mrd. Wege	1.432 Mrd. Pkm	245 Mio. t CO_{2eq}

Anmerkungen: Werte für 2017; Verkehr im Inland; Flugverkehr einschließlich Strecke bis zum ersten Auslandsflughafen; Klimawirkung aus Fahrzeugnutzung (TTW), Energiebereitstellung (WTT), Fahrzeugbereitstellung, Infrastrukturbereitstellung und zusätzlicher Klimawirkung des Flugverkehrs (EWF)

Quellen: Nobis (2019), Radke (2018), Statistisches Bundesamt (2018), Statistisches Bundesamt (2019), VDV (2019), eigene Berechnungen

Tabelle 3

Klimawirkung im Personenverkehr in Deutschland – spezifische Emissionen in Gramm CO_{2eq} je Personenkilometer

	Nutzung (TTW)	Energie (WTT)	Fahrzeug	Infrastruktur	EWF	Gesamt
Fahrrad	0,00	0,00	8,68	0,48		9,16
Pedelec	0,00	3,90	10,62	0,65		15,17
Nahlinienbus	69,02	11,52	6,51	1,58		88,63
Straßen-/Stadt-/U-Bahn	0,00	59,30	4,81	13,98		78,09
Schienenahverkehr	15,66	43,13	0,96	13,94		73,69
Motorrad	151,29	22,01	20,14	2,17		195,61
Pkw	130,69	22,17	36,54	5,01		194,41
Fernlinienbus	25,01	4,32	2,16	0,14		31,62
Sonstiger Reisebus	26,39	4,61	2,77	0,29		34,06
Schienenfernverkehr	0,82	32,41	0,69	12,39		46,32
Flug National	172,24	36,29	0,14	2,43	7,02	218,12
Flug International	85,43	18,08	0,20	2,43	91,36	197,51

Anmerkungen: Werte für 2017; Verkehr im Inland; Flugverkehr einschließlich Strecke bis zum ersten Auslandsflughafen; spezifische Emissionen aus Fahrzeugnutzung (TTW), Energiebereitstellung (WTT), Fahrzeugbereitstellung, Infrastrukturbereitstellung und zusätzlicher Klimawirkung des Flugverkehrs (EWF); Die Werte für die Bahnen basieren auf Angaben zum durchschnittlichen Strom-Mix in Deutschland; Emissionsfaktoren, die auf unternehmens- oder sektorbezogenen Strombezügen basieren (siehe z. B. den „Umweltmobilcheck“ der Deutschen Bahn AG), weichen daher von den dargestellten Werten ab.

Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 4

NO_x-Emissionen im Personenverkehr in Deutschland – spezifische Emissionen in Gramm NO_x je Personenkilometer

	Nutzung (TTW)	Energie (WTT)	Fahrzeug	Infrastruktur	Gesamt
Fahrrad	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02
Pedelec	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03
Nahlinienbus	0,34	0,04	0,02	0,01	0,40
Straßen-/Stadt-/U-Bahn	0,00	0,05	0,01	0,02	0,09
Schienennahverkehr	0,16	0,04	0,00	0,02	0,23
Motorrad	0,16	0,07	0,04	0,01	0,27
Pkw	0,38	0,07	0,07	0,02	0,53
Fernlinienbus	0,06	0,01	0,01	0,00	0,08
Sonstiger Reisebus	0,12	0,01	0,01	0,00	0,14
Schienerfernverkehr	0,01	0,03	0,00	0,02	0,06
Flug national	0,90	0,09	0,00	0,01	1,00
Flug international	0,42	0,04	0,00	0,01	0,47

Anmerkungen: Werte für 2017; Verkehr im Inland; Flugverkehr einschließlich Strecke bis zum ersten Auslandsflughafen; spezifische Emissionen aus Fahrzeugnutzung (TTW), Energiebereitstellung (WTT), Fahrzeugbereitstellung und Infrastrukturbereitstellung; die Werte für die Bahnen basieren auf Angaben zum durchschnittlichen Strom-Mix in Deutschland; Emissionsfaktoren, die auf unternehmens- oder sektorbezogenen Strombezügen basieren (siehe z. B. den „Umweltmobilcheck“ der Deutschen Bahn AG), weichen daher von den dargestellten Werten ab.

Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 5

PM₁₀-Emissionen im Personenverkehr in Deutschland – spezifische Emissionen in Gramm PM₁₀ je Personenkilometer

	Nutzung (TTW)	Energie (WTT)	Fahrzeug	Infrastruktur	Gesamt
Fahrrad	0,000	0,000	0,011	0,000	0,011
Pedelec	0,000	0,000	0,016	0,000	0,017
Nahlinienbus	0,004	0,002	0,011	0,008	0,025
Straßen-/Stadt-/U-Bahn	0,000	0,002	0,004	0,018	0,024
Schienennahverkehr	0,003	0,002	0,002	0,015	0,022
Motorrad	0,015	0,003	0,026	0,007	0,051
Pkw	0,004	0,003	0,044	0,019	0,070
Fernlinienbus	0,001	0,001	0,004	0,000	0,005
Sonstiger Reisebus	0,002	0,001	0,005	0,001	0,009
Schienerfernverkehr	0,000	0,001	0,001	0,015	0,018
Flug national	0,008	0,003	0,000	0,001	0,013
Flug international	0,004	0,002	0,000	0,001	0,007

Anmerkungen: Werte für 2017; Verkehr im Inland; Flugverkehr einschließlich Strecke bis zum ersten Auslandsflughafen; spezifische Emissionen aus Fahrzeugnutzung (TTW), Energiebereitstellung (WTT), Fahrzeugbereitstellung und Infrastrukturbereitstellung; Ohne Abrieb- und Aufwirbelungsemissionen aus der Nutzung; die Werte für die Bahnen basieren auf Angaben zum durchschnittlichen Strom-Mix in Deutschland; Emissionsfaktoren, die auf unternehmens- oder sektorbezogenen Strombezügen basieren (siehe z. B. den „Umweltmobilcheck“ der Deutschen Bahn AG), weichen daher von den dargestellten Werten ab.

Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 6

Flächenbelegung im Personenverkehr in Deutschland in m²*Jahr je Mio. Personenkilometer, Allokation nach Fahrleistung

	Verkehrsweg	Böschung	Industriegelände	Gesamt
Fahrrad	329,8		0,1	329,9
Pedelec	219,9		1,1	221,0
Nahlinienbus	705,9	3,0	6,0	714,9
Straßen-/Stadt-/U-Bahn	851,8	73,1	364,5	1.289,4
Schienennahverkehr	2.359,6	201,8	1.006,8	3.568,2
Motorrad	1.538,1	11,0	12,9	1.562,0
Pkw	2.133,0	44,7	33,7	2.211,3
Fernlinienbus	157,5	10,1	2,9	170,5
Sonstiger Reisebus	175,1	7,0	3,5	185,5
Schienerfernverkehr	1.139,7	97,3	485,6	1.722,5
Flug National	729,7	93,4	2.834,2	3.657,2
Flug International	76,3	9,8	296,3	382,3

Anmerkungen: Werte für 2017

Quellen: INFRAS auf Basis von Öko-Institut (Flächen) und TREMOD (Verkehrsmengengerüst)

Tabelle 7

Umweltkosten im Personenverkehr in Deutschland in €-ct/Pkm

	Nutzung (TTW)	Energie (WTT)	Fahrzeuge	Infrastruktur	Fläche	Total
Fahrrad	0,00	0,00	0,29	0,01	0,06	0,36
Pedelec	0,00	0,09	0,44	0,01	0,04	0,58
Nahlinienbus	1,96	0,35	0,24	0,08	0,13	2,75
Straßen-/Stadt-/U-Bahn	0,00	1,31	0,15	0,40	0,17	2,03
Schienennahverkehr	0,60	0,97	0,04	0,38	0,46	2,46
Motorrad	5,16	0,31	0,61	0,07	0,08	6,22
Pkw	3,16	0,65	1,23	0,22	0,39	5,66
Fernlinienbus	0,59	0,13	0,08	0,01	0,03	0,83
Sonstiger Reisebus	0,73	0,14	0,10	0,01	0,03	1,01
Schienerfernverkehr	0,04	0,71	0,02	0,36	0,22	1,36
Flug National	6,62	0,97	0,00	0,06	0,15	7,81
Flug International	4,65	0,47	0,01	0,06	0,02	5,21

Anmerkungen: Werte für 2017; Umweltkosten aus Fahrzeugnutzung (TTW), Energiebereitstellung (WTT), Fahrzeugbereitstellung, Infrastrukturbereitstellung, Flächenbelegung und zusätzlicher Klimawirkung des Flugverkehrs (EWF); ohne Lärmkosten

Quellen: Eigene Berechnungen

Tabelle 8

Güteraufkommen, Transportleistung und Klimawirkung im Güterverkehr in Deutschland – Anteile je Verkehrsart und Gesamtsumme

	Güteraufkommen	Transportleistung	Klimawirkung
Lastenrad	*	*	*
Leichtes Nutzfahrzeug	*	*	17,4 %
Lkw**	85,5 %	71,3 %	60,1 %
Bahn	9,3 %	18,8 %	4,1 %
Binnenschiff	5,2 %	8,0 %	2,3 %
Flugverkehr	0,1 %	1,8 %	16,1 %
Gesamt	4,3 Mrd. t	690,1 Mrd. tkm	103 Mio. t CO _{2eq}

*keine statistischen Daten verfügbar

**Lkw, Last- und Sattelzug mit mehr als 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht

Anmerkungen: Werte für 2017; Verkehr im Inland; Flugverkehr einschließlich Strecke bis zum ersten Auslandsflughafen; Klimawirkung aus Fahrzeugnutzung (TTW), Energiebereitstellung (WTT), Fahrzeugbereitstellung, Infrastrukturbereitstellung und zusätzlicher Klimawirkung des Flugverkehrs (EWF)

Quellen: Radke (2018), Statistisches Bundesamt (2018), eigene Berechnungen

Tabelle 9

Klimawirkung im Güterverkehr in Deutschland – spezifische Emissionen in Gramm CO_{2eq} je Tonnenkilometer

	Nutzung (TTW)	Energie (WTT)	Fahrzeug	Infrastruktur	EWF	Gesamt
Lastenrad	0,00	126,63	212,30	12,11		351,04
Leichtes Nutzfahrzeug	1.625,60	277,68	300,24	31,70		2.235,22
Lkw 3,5–7,5 t	449,74	77,70	39,87	10,80		578,12
Lkw >7,5–12 t	314,04	53,96	16,26	7,29		391,54
Lkw >12–32 t	185,04	31,61	12,77	3,78		233,21
Last-/Sattelzug >34–40 t	81,68	13,96	7,70	2,82		106,16
Lkw mittel*	97,83	16,73	8,67	3,06		126,30
Schienengüterverkehr	1,92	16,63	2,02	12,05		32,61
Binnenschiff	27,10	5,66	1,72	8,08		42,55
Flug national	1.645,02	346,82	0,84	24,32	11,39	2.028,39
Flug international	592,04	125,44	1,18	24,32	719,02	1.462,00

*Lkw, Last- und Sattelzug mit mehr als 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht

Anmerkungen: Werte für 2017; Verkehr im Inland; Werte für Lastenrad und leichtes Nutzfahrzeug bei einer angenommenen Auslastung von 33 % (entspricht einer mittleren Zuladung von 67 kg beim Lastenrad und 167 kg beim leichten Nutzfahrzeug); Flugverkehr einschließlich Strecke bis zum ersten Auslandsflughafen; spezifische Emissionen aus Fahrzeugnutzung (TTW), Energiebereitstellung (WTT), Fahrzeugbereitstellung, Infrastrukturbereitstellung und zusätzlicher Klimawirkung des Flugverkehrs (EWF); Die Werte für die Bahnen basieren auf Angaben zum durchschnittlichen Strom-Mix in Deutschland; Emissionsfaktoren, die auf unternehmens- oder sektorbezogenen Strombezügen basieren (siehe z. B. den „Umweltmobilcheck“ der Deutschen Bahn AG), weichen daher von den dargestellten Werten ab.

Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 10

NO_x-Emissionen im Güterverkehr in Deutschland – spezifische Emissionen in Gramm NO_x je Tonnenkilometer

	Nutzung (TTW)	Energie (WTT)	Fahrzeug	Infrastruktur	Gesamt
Lastenrad	0,00	0,12	0,52	0,00	0,64
Leichtes Nutzfahrzeug	8,98	0,88	0,58	0,10	10,54
Lkw 3,5–7,5 t	2,15	0,25	0,09	0,04	2,53
Lkw >7,5–12 t	1,18	0,17	0,04	0,03	1,41
Lkw >12–32 t	0,70	0,10	0,03	0,01	0,85
Last-/Sattelzug >34–40 t	0,17	0,04	0,02	0,01	0,24
Lkw mittel*	0,25	0,05	0,02	0,01	0,34
Schienengüterverkehr	0,02	0,02	0,00	0,02	0,06
Binnenschiff	0,40	0,01	0,00	0,02	0,43
Flug national	8,94	0,86	0,00	0,07	9,87
Flug international	3,09	0,31	0,00	0,07	3,47

*Lkw, Last- und Sattelzug mit mehr als 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht

Quelle: eigene Berechnungen

Anmerkungen: Werte für 2017; Verkehr im Inland; Werte für Lastenrad und leichtes Nutzfahrzeug bei einer angenommenen Auslastung von 33% (entspricht einer mittleren Zuladung von 67 kg beim Lastenrad und 167 kg beim leichten Nutzfahrzeug); Flugverkehr einschließlich Strecke bis zum ersten Auslandsflughafen; spezifische Emissionen aus Fahrzeugnutzung (TTW), Energiebereitstellung (WTT), Fahrzeugbereitstellung und Infrastrukturbereitstellung; die Werte für die Bahnen basieren auf Angaben zum durchschnittlichen Strom-Mix in Deutschland; Emissionsfaktoren, die auf unternehmens- oder sektorbezogenen Strombezügen basieren (siehe z. B. den „Umweltmobilcheck“ der Deutschen Bahn AG), weichen daher von den dargestellten Werten ab.

Tabelle 11

PM₁₀-Emissionen im Güterverkehr in Deutschland – spezifische Emissionen in Gramm PM₁₀ je Tonnenkilometer

	Nutzung (TTW)	Energie (WTT)	Fahrzeug	Infrastruktur	Gesamt
Lastenrad	0,000	0,005	0,311	0,003	0,319
Leichtes Nutzfahrzeug	0,210	0,038	0,395	0,122	0,764
Lkw 3,5–7,5 t	0,047	0,011	0,051	0,051	0,159
Lkw >7,5–12 t	0,023	0,007	0,024	0,032	0,086
Lkw >12–32 t	0,012	0,004	0,021	0,015	0,053
Last-/Sattelzug >34–40 t	0,003	0,002	0,013	0,014	0,031
Lkw mittel*	0,004	0,002	0,014	0,014	0,035
Schienengüterverkehr	0,000	0,001	0,003	0,011	0,016
Binnenschiff	0,010	0,001	0,003	0,011	0,024
Flug national	0,071	0,032	0,001	0,013	0,117
Flug international	0,026	0,012	0,001	0,013	0,052

*Lkw, Last- und Sattelzug mit mehr als 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht

Quelle: eigene Berechnungen

Anmerkungen: Werte für 2017; Verkehr im Inland; Werte für Lastenrad und leichtes Nutzfahrzeug bei einer angenommenen Auslastung von 33% (entspricht einer mittleren Zuladung von 67 kg beim Lastenrad und 167 kg beim leichten Nutzfahrzeug); Flugverkehr einschließlich Strecke bis zum ersten Auslandsflughafen; spezifische Emissionen aus Fahrzeugnutzung (TTW), Energiebereitstellung (WTT), Fahrzeugbereitstellung und Infrastrukturbereitstellung; Ohne Abrieb- und Aufwirbelungsemissionen aus der Nutzung; die Werte für die Bahnen basieren auf Angaben zum durchschnittlichen Strom-Mix in Deutschland; Emissionsfaktoren, die auf unternehmens- oder sektorbezogenen Strombezügen basieren (siehe z. B. den „Umweltmobilcheck“ der Deutschen Bahn AG), weichen daher von den dargestellten Werten ab.

Tabelle 12

Flächenbelegung im Güterverkehr in Deutschland in m²*Jahr je Mio. Tonnenkilometer, Allokation nach Fahrleistung

	Verkehrsweg	Fluss, künstlich	Industrie- gelände	Böschung	Gesamt
Lastenrad	5.935			4	5.939
Leichtes Nutzfahrzeug	25.191		441	253	25.885
Schwere Lkw*	623		36	17	675
Schienengüterverkehr	912		78	389	1.379
Binnenschiff Ø		5.582	209	88	5.880
Binnenschiff Rhein		1.584	209	18	1.811
Binnenschiff Kanäle		6.226	224		6.450
Binnenschiff andere Flüsse		40.190	292	949	41.431
Flug National	4.740		606	18.412	23.759
Flug International	156		20	608	784

*Lkw, Last- und Sattelzug mit mehr als 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht
Anmerkungen: Werte für 2017; Verkehr im Inland; Werte für Lastenrad und leichtes Nutzfahrzeug bei einer angenommenen Auslastung von 33 % (entspricht einer mittleren Zuladung von 67 kg beim Lastenrad und 167 kg beim leichten Nutzfahrzeug); Flugverkehr einschließlich Strecke bis zum ersten Auslandsflughafen und einschließlich zusätzlicher Klimawirkung (EWF)

Quellen: INFRAS auf Basis von Öko-Institut (Flächen) und TREMOD (Verkehrsmengengerüst)

Tabelle 13

Umweltkosten im Güterverkehr in Deutschland in €-ct/tkm

	Nutzung (TTW)	Energie (WTT)	Fahrzeuge	Infra- struktur	Fläche	Total
Lastenrad	0,00	2,79	8,08	0,24	1,07	12,18
Leichtes Nutzfahrzeug	48,87	8,24	10,32	1,40	4,64	73,48
Lkw 3,5–7,5 t	12,79	2,30	1,37	0,54	0,12	17,12
Lkw >7,5–12 t	8,19	1,60	0,57	0,35	0,12	10,84
Lkw >12–32 t	4,82	0,94	0,46	0,17	0,12	6,52
Last-/Sattelzug >34–40 t	1,83	0,41	0,28	0,15	0,12	2,79
Lkw mittel*	2,30	0,50	0,32	0,16	0,12	3,39
Schienengüterverkehr	0,08	0,37	0,07	0,32	0,18	1,01
Binnenschiff	1,30	0,15	0,07	0,26	0,05	1,84
Flug (national)	47,76	9,29	0,03	0,65	0,97	58,69
Flug (international)	28,50	3,22	0,04	0,65	0,03	32,44

Anmerkungen: Werte für 2017; Werte für Lastenrad und leichtes Nutzfahrzeug bei einer angenommenen Auslastung von 33 % (entspricht einer mittleren Zuladung von 67 kg beim Lastenrad und 167 kg beim leichten Nutzfahrzeug); Umweltkosten aus Fahrzeugnutzung (TTW), Energiebereitstellung (WTT), Fahrzeugbereitstellung, Infrastrukturbereitstellung, Flächenbelegung und zusätzlicher Klimawirkung des Flugverkehrs (EWF); ohne Lärmkosten
*Lkw, Last- und Sattelzug mit mehr als 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht

Quellen: eigene Berechnungen



► **Unsere Broschüren als Download**
Kurzlink: bit.ly/2dowYYI

 www.facebook.com/umweltbundesamt.de
 www.twitter.com/umweltbundesamt
 www.youtube.com/user/umweltbundesamt
 www.instagram.com/umweltbundesamt/