

Allianz pro Schiene e.V.

Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland

Straßen-, Schienen-, Luft- und Binnenschiffverkehr 2017

Schlussbericht
Zürich, 21. August 2019

Cuno Bieler, Daniel Sutter

Impressum

Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland

Straßen-, Schienen-, Luft- und Binnenschiffverkehr 2017

Schlussbericht

Zürich, 21. August 2019

Externe_Kosten_des Verkehrs_in_Deutschland_2017.docx

Auftraggeber

Allianz pro Schiene e.V.

Projektleitung

Dr. Andreas Geißler

Martin Roggermann

Dirk Flege

Autorinnen und Autoren

Cuno Bieler, Daniel Sutter

INFRAS, Binzstrasse 23, 8045 Zürich

Tel. +41 44 205 95 95

Inhalt

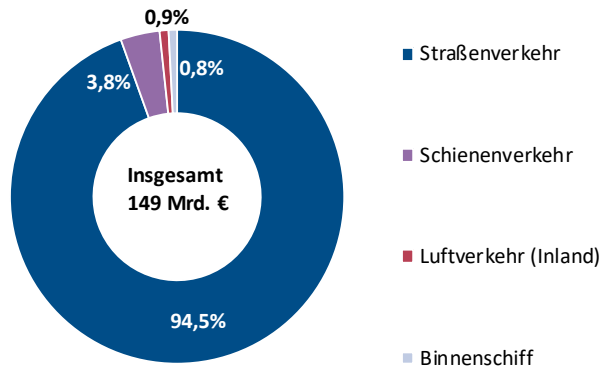
| | |
|--|-----------|
| Zusammenfassung | 4 |
| 1. Einleitung | 8 |
| 1.1. Ausgangslage | 8 |
| 1.2. Ziele und Aufbau Bericht | 8 |
| 2. Methodik | 9 |
| 2.1. Systemgrenzen | 9 |
| 2.2. Berücksichtigte Kostenkategorien | 10 |
| 2.3. Vorgehen | 10 |
| 2.3.1. Verkehrsmengengerüst | 11 |
| 2.3.2. Emissionsbasierte Kostenkategorien | 12 |
| 2.3.3. Unfallkosten | 14 |
| 2.3.4. Lärmkosten | 16 |
| 2.3.5. Natur und Landschaft | 17 |
| 3. Ergebnisse | 19 |
| 3.1. Gesamte externe Kosten | 19 |
| 3.2. Durchschnittskosten | 25 |
| 3.3. Plausibilisierung / Vergleich mit anderen Studien | 28 |
| 3.3.1. Handbuch der externen Transportkosten der Europäischen Kommission | 28 |
| 3.3.2. Methodenkonvention 3.0 des Umweltbundesamts | 30 |
| 3.4. Vergleich mit Ergebnissen der Studie zum Jahr 2005 | 32 |
| Annex | 35 |
| Literatur | 37 |

Zusammenfassung

Unter „externen Kosten des Verkehrs“ versteht man diejenigen Kosten, die durch die Mobilitätsteilnehmenden verursacht, jedoch nicht von ihnen selber getragen werden. Die Allianz pro Schiene e.V. hat im Jahr 2007 eine Studie zu den externen Kosten des Verkehrs in Deutschland in Auftrag gegeben, die auf dem Datenstand des Jahres 2005 beruhte. Seither wurden die Berechnungen der gesamten externen Kosten des Verkehrs für Deutschland nicht mehr aktualisiert. Die vorliegende Studie ermittelt deshalb die externen Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekte des Verkehrs in Deutschland für das Jahr 2017. Ermittelt werden sowohl die Gesamtkosten als auch die Durchschnittskosten je Verkehrsleistung (Pkm bzw. tkm). Folgende Kostenbereiche werden dabei berücksichtigt: Klima, gesundheitliche und nicht-gesundheitliche Schäden durch Luftverschmutzung, Unfälle, Lärm, Natur und Landschaft und vor- und nachgelagerte Prozesse. Berechnet werden die Kosten für den Straßenverkehr (PKW, Motorräder, Linien- und Reisebusse, Lieferwagen und LKW), Schienenverkehr (Personenfern- und Nahverkehr, Güterverkehr, Diesel und elektrisch), Luftverkehr (Inlandsluftverkehr) und die Binnengüterschifffahrt. Die Überarbeitung stützt sich soweit möglich auf die Empfehlungen der Methodenkonvention 3.0 des Umweltbundesamts (UBA 2019a) ab. In Bereichen, in denen keine Empfehlungen seitens des Umweltbundesamts vorhanden sind, hauptsächlich beim Lärm und bei den Unfällen, wird auf andere aktuelle Publikationen, insbesondere das Handbuch der externen Transportkosten der Europäischen Kommission (DG MOVE 2019), zurückgegriffen.

Insgesamt belaufen sich die externen Kosten des Verkehrs in Deutschland im Jahr 2017 auf rund 149 Mrd. Euro. Die Anteile der vier Verkehrsträger sind in der Abbildung 1 dargestellt.

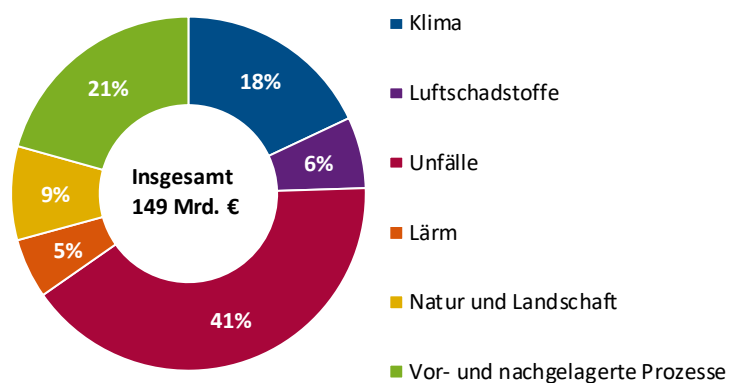
Abbildung 1: Übersicht über die externen Kosten des Verkehrs in Deutschland 2017 nach Verkehrsträgern



Mit 94,5% (141 Mrd. €) verursacht der Straßenverkehr den größten Anteil daran. Der Schienenverkehr ist für 3,8% (5,7 Mrd. €) der Gesamtkosten verantwortlich, der inländische Luftverkehr verursacht 0,9% (1,3 Mrd.€) und die Binnengüterschifffahrt 0,8% (1,1 Mrd. €).

Betrachtet man die Anteile der verschiedenen Kostenbereiche, ergibt sich folgendes Bild: Den größten Anteil verursachen die Unfälle mit 41% (61 Mrd. €), gefolgt von den Kosten der vor- und nachgelagerten Prozesse mit 21% (31 Mrd. €), die Klimakosten 18% (26,8 Mrd. €), Natur- und Landschaftskosten 8% (12,8 Mrd. €), Luftschadstoffe 6% (9,7 Mrd.€) und Lärm 5% (8,1 Mrd. €).

Abbildung 2: Übersicht über die externen Kosten des Verkehrs in Deutschland 2017 nach Kostenbereichen

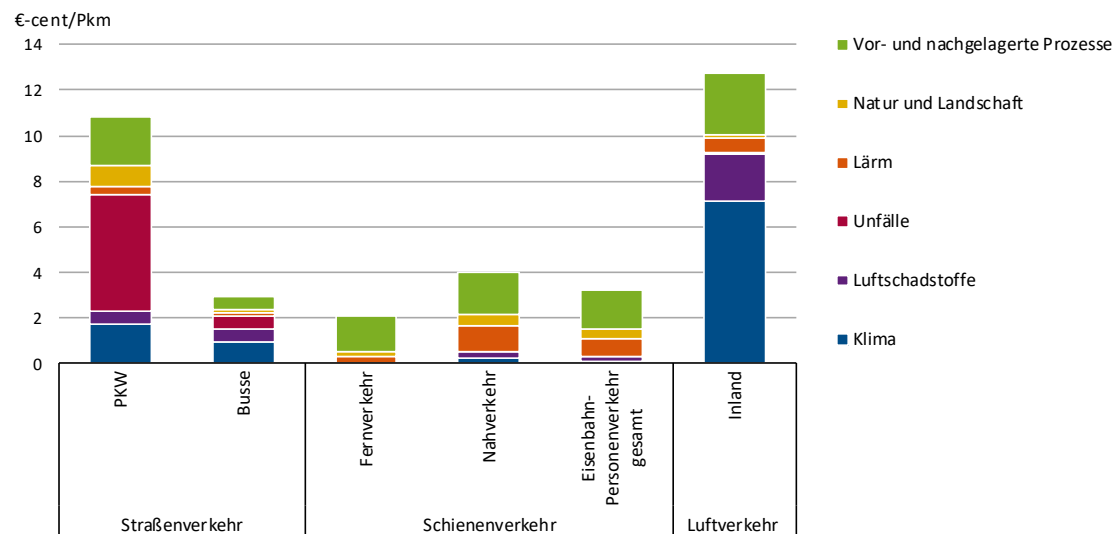


Verglichen mit der Studie aus dem Jahr 2007 (Datenstand 2005) liegen die externen Kosten des Verkehrs in Deutschland heute um 69 Mrd. € höher als vor zwölf Jahren (Gesamtkosten damals rund 80 Mrd. €). Der Vergleich mit der früheren Studie ist allerdings nur bedingt möglich, weil es neben aktualisierten Grundlagendaten (wie z.B. das Verkehrsmengengerüst) auch grundle-

gende Änderungen in der Methodik (z.B. Berücksichtigung der Luftschadstoffe bei den vor- und nachgelagerten Prozesse) gibt, sowie neue, teilweise deutlich höhere Kostensätze für die Monetarisierung (z.B. Klimakostensatz von 180 €/t CO₂-Äq. anstatt wie damals 70 €/t CO₂-Äq.). Das heißt, die Ergebnisse der beiden Studien sind aufgrund unterschiedlicher Betrachtungsweisen und Methoden nur bedingt miteinander vergleichbar. Auf eine Aktualisierung unter genau gleichen Voraussetzungen wird verzichtet.

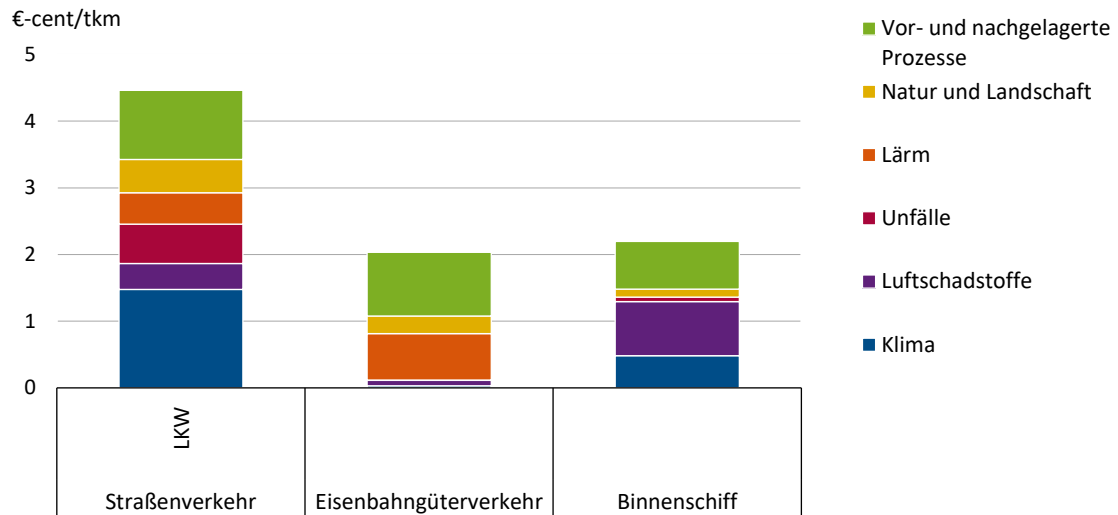
Die externen Kosten können auch als Durchschnittskosten angegeben werden, d.h. als Centbeitrag pro Verkehrsleistungseinheit. Die Verkehrsleistung wird im Güterverkehr in Tonnenkilometern (tkm) angegeben und im Personenverkehr in Personenkilometern (Pkm). Die Durchschnittskosten Cent/tkm bzw. Cent/Pkm machen deutlich, wie sich die externen Kosten der einzelnen Verkehrsträger bei gleicher Leistung unterscheiden. Die nachfolgenden beiden Grafiken zeigen diese Durchschnittskosten für den Personen- und Güterverkehr.

Abbildung 3: Durchschnittskosten im Personenverkehr in Deutschland im Jahr 2017 (ohne Motorräder).



Die Durchschnittskosten im gesamten Eisenbahn-Personenverkehr sind 3,2 Cent/Pkm. Diese setzen sich zusammen aus dem Personennahverkehr (4,01 Cent/Pkm) und dem Personenfernverkehr (2,08 Cent/Pkm). Das gewichtete Mittel der Busse liegt bei 2,97 Cent/Pkm, dasjenige der PKW bei 10,80 Cent/Pkm, und die höchsten Durchschnittskosten generiert der Inlandsluftverkehr mit 12,77 Cent/Pkm.

Abbildung 4: Durchschnittskosten im Güterverkehr in Deutschland im Jahr 2017



Die Durchschnittskosten im Eisenbahngüterverkehr liegen bei 2,04 Cent/tkm, nur leicht höher diejenigen der Binnengüterschifffahrt mit 2,19 Cent/tkm und am höchsten sind sie beim LKW mit 4,46 Cent/tkm.

1. Einleitung

1.1. Ausgangslage

INFRAS hat für die Allianz pro Schiene im Jahr 2007 eine Studie zum Thema «Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland» mit Datenstand 2005 erstellt. Darin wurden für die wichtigsten Kostenkategorien (Unfall, Lärm, Luftverschmutzung, Klima, vor- und nachgelagerte Prozesse, Natur und Landschaft und Zusatzkosten städtische Räume) und Verkehrsträger (Straße, Schiene und Luftverkehr) die externen Effekte in Deutschland berechnet.

Weil es seit 2007 für Deutschland keine Berechnung der gesamten externen Kosten des Verkehrs mehr gab, hat die Allianz pro Schiene e.V. beschlossen, eine Studie zur fundierten Aktualisierung der damaligen Arbeit in Auftrag zu geben. Als wichtigste Grundlage zu dieser Aktualisierung dient die Methodenkonvention zur Ermittlung von Umweltkosten des Umweltbundesamts, welche im Februar 2019 in einer aktuellen Version, der Methodenkonvention 3.0, veröffentlicht worden ist.

1.2. Ziele und Aufbau Bericht

Die Allianz pro Schiene plant eine umfassende Aktualisierung der Studie zu den externen Kosten des Verkehrs in Deutschland, die letztmals im Jahr 2007 mit Daten des Jahres 2005 durchgeführt wurde. Die Aktualisierungsstudie soll sich am Vorbild der alten Studie orientieren, aber auf den aktuellsten Datengrundlagen und dem neusten Stand der Monetarisierung der externen Kosten basieren. Folgende Ziele wurden dafür festgehalten:

- Darstellung der externen Kosten des Verkehrs in Deutschland, mit Datenstand 2017
- Darstellung der Gesamtkosten je Verkehrsträger und Kostenkategorie
- Darstellung der Durchschnittskosten pro Verkehrsleistungseinheit je Verkehrsträger

Der Aufbau und der Inhalt der Aktualisierungsstudie sehen wie folgt aus:

- Kapitel 2: Methodik
 - Grundlagen und Herleitung des Verkehrsmengengerüsts
 - Berücksichtigte Kostenkategorien
 - Vorgehen zur Berechnung der einzelnen Kostenkategorien
- Kapitel 3: Ergebnisse
 - Darstellung der gesamten externen Kosten
 - Durchschnittskosten je Verkehrsträger und Kostenkategorie
 - Plausibilisierung, Vergleich mit anderen Studien
 - Beurteilung der Entwicklung 2005-2017

2. Methodik

2.1. Systemgrenzen

Bezugsjahr

Das Bezugsjahr der Berechnungen der externen Kosten des Verkehrs in Deutschland ist das Jahr 2017. Oftmals werden offizielle Statistiken mit größeren (teilweise mehrere Jahre) Verzögerungen publiziert. Es war das Ziel der Berechnungen, einerseits möglichst aktuelle und andererseits auch konsistente Datengrundlagen zu nutzen. Diese Vorgaben waren für das Jahr 2017 gegeben.

Räumliche Abgrenzung

Die externen Kosten des Verkehrs in Deutschland werden nach dem sogenannten Territorialprinzip ermittelt. Das heißt, sämtliche verkehrliche Aktivitäten innerhalb Deutschlands und somit die Emissionen des Verkehrs auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland werden in die Berechnungen miteinbezogen. Es spielt dabei keine Rolle, ob die Emissionen von Inländern oder Ausländern emittiert werden. Beim Luftverkehr wird nur der nationale Luftverkehr (Start- und Landeflughafen liegt auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland) berücksichtigt. Grenzüberschreitende Flüge sind nicht Teil der Analyse, um die Vergleichbarkeit des Luftverkehrs mit den landgebundenen Verkehrsträgern zu verbessern.

Eine Ausnahme zum Territorialprinzip bilden die vor- und nachgelagerten Kosten, bei denen auch die Emissionen aus Vor- und Nachleistungen, wie z.B. Produktion und Entsorgung von Fahrzeugen, die räumlich nicht zwingend in Deutschland stattfinden, berücksichtigt werden. Dies ist aber insofern konsistent mit dem Territorialprinzip, als dass diese Emissionen bzw. Kosten eine direkte Folge einer Verkehrsleistung innerhalb Deutschlands sind.

Wertgerüst/Monetarisierung

Die Kostensätze wurden alle auf das Jahr 2017 aufdatiert. Die meisten Kostensätze stammen dabei aus der Methodenkonvention 3.0 des Umweltbundesamts (UBA 2019a) und wurden für das Jahr 2017 inflationsbereinigt. Die Unfall- und Lärmkosten sind in der Methodenkonvention 3.0 nicht enthalten (bzw. beim Lärm sind dazu keine anwendbaren Kostensätze pro Personenkilometer verfügbar). Diese stammen aus dem «Handbook on the external costs of transport» der Europäischen Kommission (DG MOVE 2019). Darin sind Kostensätze für unterschiedlichste Kostenkategorien für sämtliche Mitgliedstaaten der Europäischen Union für das Jahr 2016 aufbereitet. Aus dem Handbuch wurden die Unfall- und Lärmkostensätze für Deutschland genommen und für das Jahr 2017 inflationsbereinigt fortgeschrieben.

2.2. Berücksichtigte Kostenkategorien

Tabelle 1 zeigt sämtliche in der Untersuchung berücksichtigte Kostenkategorien. Grundsätzlich sind es die gleichen Kategorien wie in der Studie von 2007. Auf die Staukosten und die Zusatzkosten in städtischen Räumen wird in der vorliegenden Aufdatierung verzichtet.

Tabelle 1: Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland - Kostenkategorien

| Kostenkategorien | Beschreibung |
|---|--|
| Klimakosten | Kosten infolge der Emission von Treibhausgasen und der daraus folgenden Klima- veränderung (Schadenskostenansatz) |
| Luftverschmutzung | Die Umweltkosten infolge der Emissionen von Luftschadstoffen umfassen folgen- de vier Teilkategorien: Gesundheitskosten, Ernteauffälle, Gebäude- und Materialschäden sowie Biodiver- sitätsverluste |
| Vor- und nachgelagerte Prozesse | Folgekosten durch Emission von Treibhausgasen und Luftschadstoffen aus Herstel- lung, Unterhalt und Entsorgung von: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Energieträgern (Treibstoffe, Strom) ▪ Fahrzeugen ▪ Verkehrsinfrastruktur Monetarisierung analog zu Luftverschmutzungs- und Klimakosten (vgl. oben) |
| Unfallkosten | Verkehrsunfälle (Schadenskostenansatz) |
| Lärmkosten | Lärmbedingte Gesundheitskosten und Kosten durch Lärmbelästigung (Schadens- kosten) |
| Natur und Landschaft (Schäden an natürlichen Habitaten) | Habitatverluste (durch Flächenverbrauch) und Habitatfragmentierung ('Zerschnei- dung') |

2.3. Vorgehen

Die Berechnung der externen Kosten des Verkehrs in Deutschland 2017 ist, wie in den voran-
gegangenen Kapiteln beschrieben, angelehnt an die gleichnamige Studie aus dem Jahr 2007. Die
Arbeit ist eine Aufdatierung der Ziele der damaligen Studie. Allerdings haben sich die Methodik
und auch die Datengrundlagen verändert. Es werden in der vorliegenden Studie sämtliche
Emissionsfaktoren und Kostensätze erneuert. Diese basieren auf verschiedenen Studien, die in
jüngster Vergangenheit publiziert wurden. In den verwendeten Studien wurden z.B. die Emis-
sionsfaktoren und Kostensätze grundlegend neu erarbeitet und nicht einfach fortgeschrieben. In
Kapitel 3.4 werden die Ergebnisse der beiden Studien verglichen und die Unterschiede in der

Methodik und den Datengrundlagen erläutert. Im folgenden Abschnitt wird für jede Kostenkategorie erläutert, wie sie berechnet wurde und auf welchen Grundlagen die Berechnungen basieren. Ein Grundsatz der Aufdatierung lautet, dass wo immer möglich, die Daten aus der Methodenkonvention 3.0 vom Umweltbundesamt (UBA 2019a) verwendet werden.

2.3.1. Verkehrsmengengerüst

Die Grundlage für die Berechnungen der externen Kosten des Verkehrs (vor allem für die Emissionen der Treibhausgase und Luftschadstoffe) bildet das Verkehrsmengengerüst. Gleichzeitig wird es benötigt, um die gesamten Kosten pro Verkehrsträger in durchschnittliche Kosten pro Verkehrsleistung für alle Verkehrsträger bzw. Fahrzeugkategorien zu berechnen (z.B. €-cent / Pkm). Die berücksichtigten Verkehrsträger sind der Straßen-, Schienen- und Inlandsluftverkehr, sowie die Binnenschifffahrt. Die innerhalb dieser Verkehrsträger untersuchten Fahrzeugkategorien sowie deren Technologien sind in Tabelle 2 abgebildet.

Tabelle 2: Berücksichtigte Fahrzeugkategorien und Quellen der Verkehrsgrundlagen

| Verkehrsträger | Fahrzeugkategorie | Technologie | Definition |
|------------------|--|----------------|---|
| Straßenverkehr | PKW | | |
| | Motorräder | | ohne Kleinkrafträder, Mopeds etc. |
| | Linienbusse | | Summe <=15t, 15-18t, >=18t |
| | Reisebusse | | Summe <=18t & > 18t |
| | LKW | | LKW >3,5t, Lastzüge, Sattelzüge |
| | Lieferwagen | | Leichte Nutzfahrzeuge <= 3,5t |
| Eisenbahnverkehr | Personenfernverkehr | elektrifiziert | |
| | Personennahverkehr | elektrifiziert | |
| | Personennahverkehr | Diesel | |
| | Güterverkehr | elektrifiziert | |
| | Güterverkehr | Diesel | |
| Luftverkehr | Inland | | |
| Binnenschiff | Güterverkehr, gewichteter Mittelwert der eingesetzten Schiffstypen | | Gütermotorschiffe, Schubverbände, Tankmotorschiffe und Containerschiffe |

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Die Fahr- und Verkehrsleistungen der einzelnen Fahrzeugkategorien stammen mit zwei Ausnahmen alle aus Tremod Version 5.82¹. Die erste Ausnahme sind die Güterverkehrszahlen des

¹ Auszug aus der Webseite des Umweltbundesamts (Zugriff 03.06.2019): «Zur Ermittlung und Aufbereitung von Informationen aus dem Verkehrsbereich hat das Umweltbundesamt das Computerprogramm TREMOD (Transport Emission Model) entwickeln lassen. Mit Hilfe dieses Modells sind aktuelle Aussagen beziehungsweise Trend- und Szenarienrechnungen für den Zeitraum von 1960 bis 2030 möglich. TREMOD ist das vom Umweltbundesamt, den Bundesministerien, dem Verband der Deutschen Automobilindustrie (VDA) sowie der Deutschen Bahn AG genutzte Experten-Modell zur Berechnung der Luftschadstoff und Klimagasemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland.»

Schienenverkehrs, welche aus Gründen der Aktualität aus der Publikation «Verkehr in Zahlen 2018/2019» des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI 2018) stammen. Die zweite Ausnahme sind die Verkehrsmengen der Busse (Reisebusse und Linienbusse). Diese stammen vom Statistischen Bundesamt (Destatis). Auch der Bundesverband Deutscher Omnibusunternehmer e.V. nennt für Deutschland Zahlen, die den Zahlen von Destatis entsprechen.² Tabelle 3 zeigt diese Verkehrsleistungen, die mit Ausnahme der Lieferwagen alle in Personen- bzw. Tonnenkilometer dargestellt sind. Für die Lieferwagen liegen in Tremod keine empirischen Daten zur Auslastung vor, weshalb hier mit der Fahrleistung (Fzkm) gerechnet wird und die Durchschnittskosten pro Fzkm ausgewiesen werden.

Tabelle 3: Verkehrsmengengerüst

| Verkehrsträger | Fahrzeugkategorie | Technologie | Einheit | Verkehrsleistung 2017 |
|------------------|--|----------------|---------|-----------------------|
| Straßenverkehr | PKW | | Pkm | 960.818.589.326 |
| | Motorräder | | Pkm | 12.920.385.748 |
| | Linienbusse | | Pkm | 44.557.000.000 |
| | Reisebusse | | Pkm | 17.921.000.000 |
| | LKW | | tkm | 475.724.911.614 |
| | Lieferwagen | | Fzkm | 41.595.520.464 |
| Eisenbahnverkehr | Personenfernverkehr | elektrifiziert | Pkm | 39.675.826.176 |
| | Personennahverkehr | elektrifiziert | Pkm | 45.744.520.192 |
| | Personennahverkehr | Diesel | Pkm | 9.163.676.416 |
| | Güterverkehr | elektrifiziert | tkm | 120.899.276.139 |
| | Güterverkehr | Diesel | tkm | 8.500.723.861 |
| Luftverkehr | Inland | | Pkm | 10.111.548.658 |
| Binnenschiff | Güterverkehr, gewichteter Mittelwert der eingesetzten Schiffstypen | | tkm | 55.518.401.579 |

Quelle: Tremod v5.82 und Destatis 2018

2.3.2. Emissionsbasierte Kostenkategorien

Die grundsätzliche Berechnungsmethode ist für alle Kostenkategorien, welche über Emissionen gerechnet werden, gleich. Dies sind die Klimakosten, die Kosten durch Luftverschmutzung sowie diejenigen der vor- und nachgelagerten Prozesse. Die Emissionen werden über ein Verkehrsmengengerüst und spezifische Emissionsfaktoren berechnet, bevor sie mittels Kostensätze monetarisiert werden. Die Grundlage für die Monetarisierung bildet bei fast allen Kostensätzen die Methodenkonvention 3.0 des Umweltbundesamtes (UBA 2019a).

² Diese Abweichungen von Tremod bei den Bussen führen zu (leichten) Abweichungen bei den Ergebnissen der Durchschnittskosten pro Personenkilometer gegenüber den Ergebnissen der UBA Methodenkonvention 3.0 (UBA 2019a).

Emissionsfaktoren und Emissionen

Um die Emissionen aus dem direkten Betrieb zu errechnen, werden die Verkehrsleistungen (Tabelle 3) mit spezifischen Emissionsfaktoren multipliziert. Um die Konsistenz mit den offiziellen Emissionsdaten des UBA zu gewährleisten, wurden dazu die gleichen Emissionsfaktoren wie in der Methodenkonvention 3.0 (UBA 2019a) verwendet. Die Grundlagen der Methodenkonvention 3.0 sind für den Straßenverkehr das HBEFA 3.3³ und für die restlichen Verkehrsträger Tremod. Ein weiterer Punkt für die Berechnungen der Emissionen des Flugverkehrs ist der Emissionsgewichtungsfaktor (EGF), welcher der Tatsache Rechnung trägt, dass Emissionen in großer Höhe ein höheres Schadenspotenzial entwickeln. Für die vorliegenden Berechnungen wird auf Empfehlung der Methodenkonvention 3.0 (UBA 2019a) ein EGF von 2 genutzt.

Genau gleich wie die Emissionen aus dem direkten Betrieb werden auch diejenigen aus dem indirekten Betrieb berechnet. Diese Emissionen bilden die selbstständige Kostenkategorie «Vor- und nachgelagerte Prozesse», die sämtlichen Emissionen, die bei der Produktion, dem Unterhalt und der Entsorgung der Fahrzeuge und der Infrastruktur anfallen, berücksichtigt. Dazu kommen die Emissionen, die bei der Energieaufbereitung der Treibstoffe (Benzin, Diesel, Kerosin) und der Elektrizität für die Schiene anfallen. Sämtliche Emissionsfaktoren sind im Anhang abgelegt.

Die Kostensätze, mit denen die Luftschadstoff- und Treibhausgasemissionen monetarisiert werden, stammen ebenfalls aus der Methodenkonvention 3.0 (UBA 2019a) und werden für diese Vorhaben noch um ein Jahr fortgeschrieben (2016 -> 2017). Für die Klimakosten empfiehlt die Methodenkonvention 3.0 einen Kostensatz von 180 Euro pro Tonne CO₂-Äquivalent⁴. Die Kostensätze für die Luftschadstoffemissionen sind in folgender Tabelle abgebildet.

Tabelle 4: Kostensätze für Luftschadstoffe

| Kostensätze in Euro/Tonne 2017 | NOx | PM10 Auspuff | PM10 Abrieb | NH3 | NMHC | SO2 |
|--------------------------------|--------|-----------------|----------------|--------|-------|--------|
| Direkter Betrieb | 19.230 | 43.856 | 7.119 | 34.462 | 2.165 | 16.229 |
| Indirekter Betrieb | 18.643 | 42.884 | | 33.119 | 2.182 | 15.664 |

Quelle: Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten (UBA 2019a)

³ Das Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA 3.3, April 2017) stellt Emissionsfaktoren für alle gängigen Fahrzeugkategorien jeweils in emissionsrelevanter Differenzierung für eine Vielzahl von Verkehrssituationen zur Verfügung. Die hier abrufbaren Emissionsfaktoren sind gewichtete Mittelwerte für Deutschland, Österreich, Schweiz, Frankreich, Norwegen und Schweden und wurde von INFRAS entwickelt und unterhalten.

⁴ bei den 180 Euro pro Tonne CO₂-Äquivalent handelt es sich um einen reinen Schadenskostensatz. Neue wissenschaftliche Ergebnisse zu Klimakosten zeigen, dass die Schadenskostenschätzungen insgesamt robuster werden. Das UBA hält es deswegen für angemessen, einen reinen Schadenskostensatz zu verwenden. Im Sinne einer eher vorsichtigen Schätzung der Schadenskosten basieren die vom UBA empfohlenen Kostensätze weiterhin auf dem in der Methodenkonvention 2.0 verwendeten Schadenskostenmodell FUND (Version 3.0, Anthoff 2007)

2.3.3. Unfallkosten

Die Berechnung der Unfallkosten basiert auf den Unfallstatistiken des Statistischen Bundesamts (Destatis). Monetarisiert wurden die Unfallkosten anhand der Anzahl Getöteter und Verletzter nach Verkehrsträgern und einem entsprechenden Schadenskostensatz. In der Methodenkonvention 3.0 vom Umweltbundesamt (UBA 2019a) werden keine Unfallkostensätze ausgewiesen. Deswegen stammen die hier verwendeten Kostensätze aus dem aktualisierten, kürzlich veröffentlichten Handbuch der externen Transportkosten der EU Kommission (DG MOVE, 2019), wo für jedes Mitgliedsland der EU ein kaufkraftbereinigter Schadenskostensatz ausgewiesen wird⁵.

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die Verkehrsunfälle, differenziert nach Verkehrsträger und Unfallschwere. Die Details zur Hochrechnung und Allokation der Grundlegendaten jedes Verkehrsträgers sind im folgenden Abschnitt erläutert.

Tabelle 5: Verkehrsunfälle nach Verkehrsträger und Unfallschwere in Deutschland

| Verkehrsträger | Fahrzeugkategorie | Technologie | Jahr | Getötete | Schwer verletzte | Leicht verletzte |
|----------------------------|--|----------------|---------|--------------|------------------|------------------|
| Straßenverkehr | PKW | | 2017 | 2.527 | 52.854 | 257.305 |
| | Motorräder | | 2017 | 301 | 6.295 | 30.645 |
| | Linienbusse | | 2017 | 6 | 248 | 1.975 |
| | Reisebusse | | 2017 | 18 | 63 | 186 |
| | LKW | | 2017 | 146 | 3.052 | 14.860 |
| | Lieferwagen | | 2017 | 165 | 3.442 | 16.755 |
| Eisenbahnverkehr | Personenfernverkehr | elektrifiziert | Ø 10 J. | 1 | 2 | 14 |
| | Personennahverkehr | elektrifiziert | Ø 10 J. | 2 | 9 | 55 |
| | Personennahverkehr | Diesel | Ø 10 J. | 0 | 2 | 11 |
| | Güterverkehr | elektrifiziert | Ø 10 J. | 1 | 4 | 24 |
| | Güterverkehr | Diesel | Ø 10 J. | 0 | 0 | 2 |
| Luftverkehr | Inland | | Ø 10 J. | 1 | 1 | 2 |
| Binnenschiff | Güterverkehr, gewichteter Mittelwert der eingesetzten Schiffstypen | | | n.v. | n.v. | n.v. |
| Nach Verkehrsträger | | | | | | |
| Strassenverkehr | | | | 3.162 | 65.954 | 321.726 |
| Schienenverkehr | | | | 4 | 17 | 106 |
| Luftverkehr Inland | | | | 1 | 1 | 2 |
| Binnengüterschifffahrt | | | | n.v. | n.v. | n.v. |
| Total | | | | 3.168 | 65.973 | 321.833 |

Quelle: Straßen- und Schienenverkehr aus Verkehrsunfälle 2017 (Destatis 2018), Luftverkehr Inland von der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU 2019), Leichtverletzte des Luftverkehrs abgeleitet aus Verkehrsunfälle 2017 (Destatis 2018)
n.v. = Wert nicht verfügbar

⁵ Die Schadenskostensätze im Handbuch der externen Transportkosten der EU enthalten Schadenskostensätze für die drei Kategorien Getötete, Leicht- und Schwerverletzte. Die Kostensätze setzen sich zusammen aus Humankosten, Produktionsausfallkosten, medizinischen Kosten und administrativen Kosten.

Für den **Straßenverkehr** ist die Unfallstatistik von Destatis hochdifferenziert, wodurch eine Bestimmung der Opferzahlen nach dem Verursacherprinzip ermöglicht wird, d.h. die Zahl der getöteten und verletzten Personen (differenziert nach leicht und schwer) konnte dem jeweils verursachenden Verkehrsteilnehmer zugeordnet werden. Im Straßenverkehr werden diese Daten jährlich erfasst und ausgewiesen (Destatis 2018).

Für den **Schienenverkehr** existiert keine offizielle Statistik, die eine Zuordnung der Unfälle und Unfallopfer nach Verursacherprinzip zulässt. In der offiziellen Statistik (Destatis 2018) sind Unfälle in folgende Unfallkategorien eingeteilt:

- **Entgleisungen von Eisenbahnfahrzeugen**
- **Zusammenstöße von Eisenbahnfahrzeugen**
- **Aufpralle auf Gegenstände**
- Zusammenprall mit Wegebenutzern
- Personenunfälle
- Sonstige Unfälle

Analog zur Studie aus dem Jahr 2007 werden für die Quantifizierung der Unfallkosten im Schienenverkehr die ersten drei Kategorien (fett gedruckt) berücksichtigt. Bereits in früheren Studien (INFRAS/IWW, 2000) wurde festgestellt, dass bei Unfällen der Kategorie «Zusammenprall mit Wegbenutzern» fast ausschließlich andere Wegebenutzer unfallverursachend sind (dies sind v.a. Unfälle an Bahnübergängen). Bei Personenunfällen handelt es sich mehrheitlich um Suizide sowie Unfälle, die auf einem Fehlverhalten der verunglückten Unfallopfer beruhen (Auf- oder Abspringen aus fahrenden Zügen und ähnliches). Deswegen können diese Unfallkosten gemäß dem Verursacherprinzip nicht dem Schienenverkehr angelastet werden (auch dies in Analogie zu anderen Studien wie z.B. DG MOVE 2019). Anders als im Straßenverkehr werden im Schienenverkehr nicht die im Jahr 2017 tatsächlich geschehenen Unfälle als Grundlage genommen, sondern ein Mittelwert der vergangenen 10 Jahre. Der Grund dafür liegt in der starken, zum Teil zufälligen Streuung von Schienenverkehrsunfällen zwischen verschiedenen Jahren, die mit der Verwendung eines Mittelwerts aufgefangen werden kann. Die Allokation der Unfälle auf die fünf unterschiedlichen Fahrzeugkategorien im Schienenverkehr (siehe Tabelle 2) basiert auf der Fahrleistung (Fzkm) der einzelnen Kategorien.

Im **Luftverkehr** werden nur die Unfallopfer des Inland-Personenverkehrs⁶ berücksichtigt. Die Daten stammen von der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU 2019). Diejenigen der Freizeit- und Sportluftfahrt werden nicht berücksichtigt. Auch hier wird nur der Inlandsluft-

⁶ Da die Unfallzahlen des Luftverkehrs nicht differenziert nach Verwendungszweck ausgewiesen werden, sondern nur nach Massenkategorien der Flugzeuge, wurden hier alle Flugzeuge von mehr als 5,7 Tonnen Gewicht berücksichtigt. Dies entspricht gemäß Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung den Flugzeugen, die zu öffentlichen Personentransporten genutzt werden.

verkehr, das heißt nur Flugbewegungen mit Start und Landung innerhalb Deutschlands von Maschinen mit einem Gesamtgewicht von mehr als 5,7 Tonnen, berücksichtigt. Aus dem gleichen Grund wie beim Schienenverkehr wird auch hier mit einem Mittelwert der vergangenen 10 Jahre gerechnet.

Für die **Binnenschifffahrt** (Güterverkehr) liegen keine offiziellen Unfallstatistiken für Deutschland vor. Deswegen sind die Unfallkosten bei der Binnenschifffahrt nicht mit der gleichen Methode berücksichtigt. Dies ist insofern unproblematisch, als dass die Unfallkosten der Binnenschifffahrt gemäß anderen Studien (z.B. aktuell DG MOVE 2019) eher gering sind. In den Resultaten werden die Unfallkosten der Binnenschifffahrt in Klammern ausgewiesen, da diese aus den Kostensätzen des Handbuchs der externen Transportkosten der EU berechnet wurden und dies ein Bruch in der Methodik ggü. anderen Fahrzeugkategorien darstellt.

2.3.4. Lärmkosten

Verkehrslärm wird in der Regel als Belastung empfunden und ist mit erheblichen Kosten verbunden – einerseits durch Gesundheitsschäden, andererseits infolge von Lärmbelastung und daraus bedingten Einbußen der Lebensqualität. Die Lärmemissionen des Verkehrs stellen ein zunehmendes Umweltproblem dar, das durch den Trend zu mehr Urbanisierung und einem Anstieg des Verkehrsaufkommens verstärkt wird. Während die Zunahme des Verkehrsaufkommens zu einem höheren Lärmpegel führen kann, wenn sie Fortschritte bei der Lärmminde- rung an der Quelle übersteigt, führt die Zunahme der Urbanisierung tendenziell zu einer höheren Anzahl von Menschen, die unter Lärmbelastung leiden. Infolgedessen dürften die Kosten für Verkehrslärm in Zukunft trotz möglicher lärmindernder Verbesserungen bei Fahrzeugen, Reifen und Straßen weiter relevant bleiben.

Die Lärmkosten in der vorliegenden Studie basieren auf dem Verkehrsmengengerüst multipliziert mit einem spezifischen Kostensatz für die Lärmkosten pro Fahrzeugkilometer. Kapitel 2.3.2 beschreibt die Herleitung des Verkehrsmengengerüsts.

In der Methodenkonvention 3.0 sind die Lärmkosten nicht als Kostensätze pro Fahrleistung ausgewiesen, sondern lediglich in Kostensätzen pro belästigte Personen und dB-Klasse. Aus diesem Grund erfolgt die Monetarisierung der Lärmkosten in der vorliegenden Studie auf Basis von Lärmkostensätzen aus dem aktualisierten Handbuch der externen Transportkosten (DG MOVE 2019). Die dort ausgewiesenen, spezifischen Lärmkostensätze für Deutschland werden anhand des harmonisierten Verbraucherpreisindex (HVPI) auf das Jahr 2017 fortgeschrieben, und setzen sich aus Gesundheits- und Belästigungskosten zusammen. Tabelle 6 zeigt die daraus abgeleiteten spezifischen Lärmkostensätze für Deutschland.

Tabelle 6: Lärmkostensätze pro Fahrzeugkategorie

| Verkehrsträger | Fahrzeugkategorie | Technologie | Einheit | Lärmkosten |
|------------------|--|----------------|-------------|------------|
| Straßenverkehr | PKW | | €-cent/Fzkm | 0,5 |
| | Motorräder | | €-cent/Fzkm | 3,6 |
| | Linienbusse | | €-cent/Fzkm | 3,6 |
| | Reisebusse | | €-cent/Fzkm | 2,1 |
| | LKW | | €-cent/Fzkm | 3,8 |
| | Lieferwagen | | €-cent/Fzkm | 0,7 |
| Eisenbahnverkehr | Personenfernverkehr | elektrifiziert | €-cent/Fzkm | 91 |
| | Personennahverkehr | elektrifiziert | €-cent/Fzkm | 91 |
| | Personennahverkehr | Diesel | €-cent/Fzkm | 91 |
| | Güterverkehr | elektrifiziert | €-cent/Fzkm | 345 |
| | Güterverkehr | Diesel | €-cent/Fzkm | 345 |
| Luftverkehr | Inland | | €-cent/Pkm | 0,7 |
| Binnenschiff | Güterverkehr, gewichteter Mittelwert der eingesetzten Schiffstypen | | | n.v. |

Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf DG MOVE (2019).
n.v. = Wert nicht verfügbar

2.3.5. Natur und Landschaft

Die Kostenkategorie Natur und Landschaft umfasst einerseits die Kosten durch den Verlust von natürlichen Flächen (Habitate, Ökosysteme) durch Verkehrsinfrastrukturen und andererseits die Kosten durch Zerschneidungseffekte der Verkehrsinfrastrukturen und dem darauf abgewickelten Verkehr. Die Kosten im Bereich Natur und Landschaft werden nicht über Emissionsfaktoren monetarisiert, sondern über Kosten pro Kilometer Infrastruktur. Dabei ist die Länge oder Fläche der Verkehrsinfrastrukturen der zentrale Kostentreiber und somit der Inputparameter für die Berechnung der Kosten infolge des Flächenverbrauchs und Zerschneidung. Die Hauptgrundlage für die Kostensätze ist die vom Schweizer Bundesamt für Raumentwicklung 2018 veröffentlichte Studie: Externe Effekte des Verkehrs für das Jahr 2015 (ARE 2018). Die Infrastrukturdaten für den Straßen-, Schienen- und Luftverkehr stammen aus der Publikation «Verkehr in Zahlen» vom BMVI (BMVI 2018). Die Methode zur Allokation der Kosten auf die einzelnen Fahrzeugtypen ist die gleiche wie in der Methodenkonvention 3.0 (UBA 2019a). Trotzdem kommt es zu Abweichungen in den Kostensätzen pro Fahrzeugtypen gegenüber der Methodenkonvention. Dies hat drei Gründe; das Verkehrsmengengerüst bezieht sich grundsätzlich auf ein anderes Jahr (2017 anstatt 2014), die Verkehrsmengen der Linien- und Reisebusse basieren auf einer anderen Grundlage (Destatis anstatt Tremod) und die Infrastrukturlängen der Straße berücksichtigen auch Gemeindestraßen.

Tabelle 7: Kostensätze zur Berechnung der externen Natur und Landschaftskosten

| Verkehrsträger | Fahrzeugkategorie | Technologie | Einheit | Kostensatz |
|------------------|---|----------------|-------------|------------|
| Straßenverkehr | PKW | | €-cent/Pkm | 0,92 |
| | Motorräder | | €-cent/Pkm | 0,55 |
| | Linienbusse | | €-cent/Pkm | 0,20 |
| | Reisebusse | | €-cent/Pkm | 0,11 |
| | LKW | | €-cent/tkm | 0,50 |
| | Lieferwagen | | €-cent/Fzkm | 1,47 |
| Eisenbahnverkehr | Personenfernverkehr | elektrifiziert | €-cent/Pkm | 0,22 |
| | Personennahverkehr | elektrifiziert | €-cent/Pkm | 0,51 |
| | Personennahverkehr | Diesel | €-cent/Pkm | 0,51 |
| | Güterverkehr | elektrifiziert | €-cent/tkm | 0,26 |
| | Güterverkehr | Diesel | €-cent/tkm | 0,26 |
| Luftverkehr | Inland | | €-cent/Pkm | 0,10 |
| Binnenschiff | Güterverkehr, gewichteter Mittelwert der eingesetzten Schiffstypen | | | n.v. |

Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf UBA 2019a, Destatis 2018, ARE 2018 und Tremod v5.82
n.v. = Wert nicht verfügbar

3. Ergebnisse

3.1. Gesamte externe Kosten

Die gesamten externen Kosten des Verkehrs belaufen sich in Deutschland für das Jahr 2017 auf rund 149 Mrd. Euro. Abbildung 5 zeigt die Anteile der berücksichtigten Verkehrsträger. 94,5% (141 Mrd. €) davon verursacht der Straßenverkehr, 3,8% (5,7 Mrd. €) der Schienenverkehr, 0,9% (1,3 Mrd. €) der inländische Luftverkehr und 0,8% (1,1 Mrd. €) die Binnengüterschifffahrt.

Abbildung 5: Übersicht über die externen Kosten des Verkehrs in Deutschland 2017 nach Verkehrsträgern

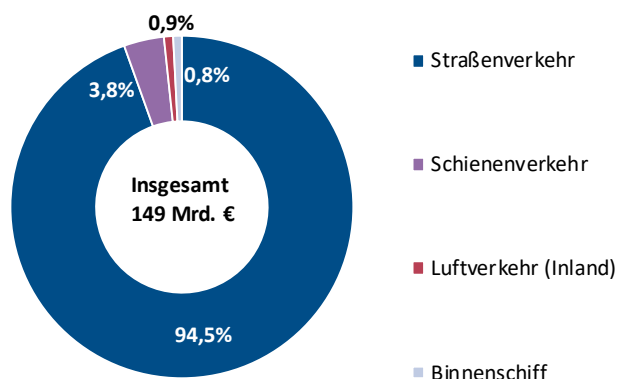


Abbildung 6 zeigt die Aufteilung der gesamten externen Kosten des Verkehrs nach Kostenkategorien. Der größte Anteil verursachen mit 41% (61 Mrd. €) die Unfallkosten, dann mit 21% (31 Mrd. €) die Kosten der vor- und nachgelagerten Prozesse, die Klimakosten mit 18% (27 Mrd. €), die Natur und Landschaftskosten mit 9% (13 Mrd. €), die Luftschadstoffe mit 6% (10 Mrd. €) und die Lärmkosten mit 5% (8 Mrd. €).

Abbildung 6: Übersicht über die externen Kosten des Verkehrs in Deutschland 2017 nach Kostenkategorien

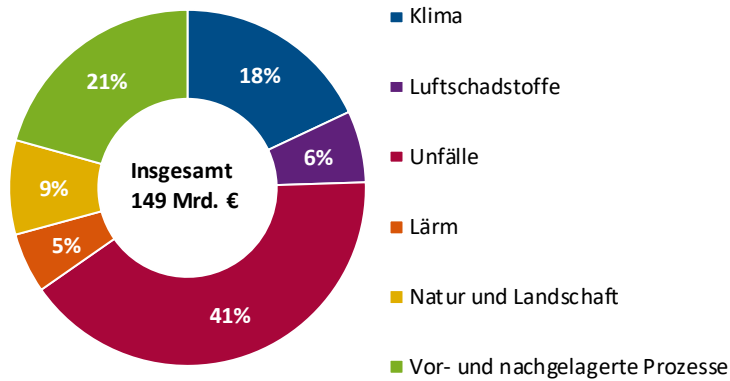


Tabelle 8 ermöglicht eine differenzierte Betrachtung der gesamten externen Kosten des Verkehrs in Deutschland für das Jahr 2017. In der Tabelle sind die Kosten für die untersuchten Verkehrsträger des Personen- und Güterverkehrs, sowie für jede betrachtete Kostenkategorie dargestellt. Bei den Bussen und dem Schienenverkehr sind in der Tabelle noch Zwischensummen eingeblendet. Im Annex befindet sich eine weitere vollständige Übersicht mit sämtlichen Differenzierungen.

Von den gesamten 149 Mrd. Euro fallen 117 Mrd. Euro auf den Personenverkehr und 32 Mrd. Euro auf den Güterverkehr. Im Personenverkehr verursachen mit 104 Mrd. Euro die PKW die höchsten Kosten. Die weiteren Fahrzeugkategorien verursachen externe Kosten in der Größenordnung zwischen 7 Mrd. Euro (Motorräder) und 0,3 Mrd. Euro (Reisebusse). Der Eisenbahnpersonenverkehr verursacht gesamthaft rund 3 Mrd. Euro, wovon rund 2,2 Mrd. Euro vom Personennahverkehr und rund 0,8 Mrd. Euro vom Personenfernverkehr stammen.

Tabelle 8: Übersicht über die externen Kosten des Verkehrs in Deutschland 2017 nach Verkehrsträgern und Kostenkategorien

| Personenverkehr | | Klima | Luftschadstoffe | Unfälle | Lärm | Natur und Landschaft | Vor- und nachgelagerte Prozesse | Gesamt |
|-------------------------|--------------------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------|
| Mio. Euro | | | | | | | | |
| Straßenverkehr | PKW | 16.580 | 5.690 | 48.769 | 3.376 | 8.852 | 20.494 | 103.760 |
| | Motorräder | 209 | 68 | 5.808 | 419 | 71 | 376 | 6.952 |
| | Linienbusse | 509 | 300 | 241 | 97 | 89 | 291 | 1.527 |
| | Reisebusse | 74 | 52 | 106 | 12 | 19 | 62 | 326 |
| | Busse | 584 | 352 | 346 | 110 | 108 | 353 | 1.853 |
| Eisenbahnverkehr | Fernverkehr | 0 | 1 | 4 | 125 | 87 | 608 | 824 |
| | Nahverkehr Elektr. | 0 | 26 | 15 | 507 | 235 | 908 | 1.692 |
| | Nahverkehr Diesel | 117 | 135 | 3 | 102 | 47 | 105 | 508 |
| | Personennahverkehr | 117 | 161 | 18 | 609 | 282 | 1.013 | 2.200 |
| | Eisenbahnpersonenverkehr | 117 | 162 | 22 | 734 | 369 | 1.621 | 3.024 |
| Luftverkehr | Inland | 718 | 212 | 4 | 70 | 10 | 277 | 1.291 |
| Gesamt PV | | 19.025 | 7.160 | 55.336 | 6.161 | 10.168 | 26.108 | 116.881 |
| Güterverkehr | | | | | | | | |
| Straßenverkehr | LKW | 7.033 | 1.841 | 2.816 | 2.224 | 2.389 | 4.930 | 21.234 |
| | Lieferwagen | 1.349 | 852 | 3.176 | 284 | 610 | 1.206 | 7.476 |
| Eisenbahnverkehr | Elektrisch | 0 | 45 | 7 | 840 | 320 | 1.172 | 2.383 |
| | Diesel | 41 | 58 | 0 | 59 | 22 | 69 | 251 |
| | Eisenbahngüterverkehr | 41 | 103 | 7 | 899 | 342 | 1.241 | 2.634 |
| Binnenschifffahrt | Güterverkehr | 268 | 450 | (38)* | n.v. | (66)* | 396 | 1.114 (1.218)* |
| Gesamt GV | | 8.731 | 3.350 | 6.006 | 4.306 | 3.684 | 9.015 | 32.458 |
| Gesamt GV und PV | | 27.756 | 10.510 | 61.342 | 10.466 | 13.852 | 35.123 | 149.339 |

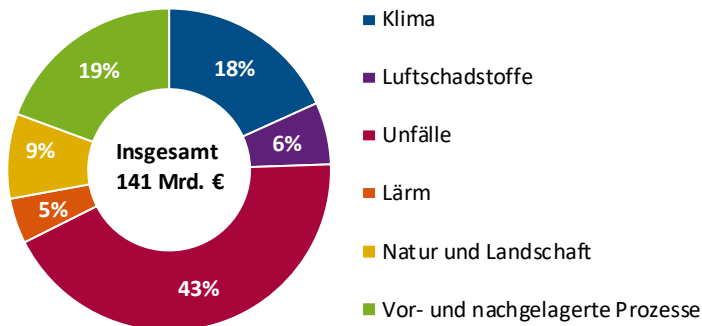
* Die Kosten für Unfälle und Natur und Landschaftsschäden der Binnenschifffahrt konnten aufgrund fehlender Grundlagendaten nicht mit der gleichen Methode erhoben werden, wie dies bei den anderen Fahrzeugkategorien der Fall war. Deswegen wurde auf das Handbuch der externen Transportkosten der EU zurückgegriffen, wo externe Unfallkosten und Kosten für Natur und Landschaft für den Binnengüterschiffverkehr in Deutschland ausgewiesen werden. Die Werte (inkl. der Summe) wurden in Klammern gesetzt, um die fehlende Konsistenz der Methodik zu berücksichtigen.

n.v. = Wert nicht verfügbar

Straßenverkehr

Den größten Anteil an den gesamten externen Kosten des Verkehrs verursacht der Straßenverkehr. Abbildung 7 zeigt die Anteile der berücksichtigten Kostenkategorien an den 141 Mrd. Euro. Den größten Anteil verursachen die Unfälle mit 43%, gefolgt von den vor- und nachgelagerten Prozessen mit 19%, den Klimakosten mit 18%, Natur und Landschaftsschäden mit 9%, Luftschadstoffen mit 6% und Lärmkosten mit 5%.

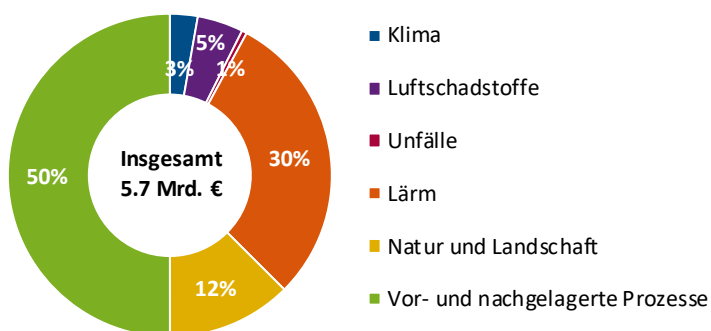
Abbildung 7: Übersicht über die externen Kosten des Straßenverkehrs in Deutschland 2017



Schienerverkehr

Beim Schienenverkehr verursachen die vor- und nachgelagerten Prozesse die Hälfte der insgesamt 5,7 Mrd. Euro externen Kosten. Diese beinhalten neben der Produktion des elektrischen Stroms und des Diesels für den Antrieb⁷, auch die Produktion, den Unterhalt und die Entsorgung der Fahrzeuge und der Infrastruktur. Da der Strommix im Jahr 2017 in Deutschland rund zur Hälfte (UBA 2019b) aus fossilen Energieträgern (Steinkohle, Braunkohle, Gase und Mineralölprodukte) produziert wird, verursacht dieser dementsprechend hohe externe Klimakosten⁸. Den zweithöchsten Anteil verursacht mit 30% der Lärm, dann Natur- und Landschaftskosten (12%), gefolgt von den Luftschadstoffen (5%), Klimakosten (3%) und den Unfallkosten (1%).

Abbildung 8: Übersicht über die externen Kosten des Schienenverkehrs in Deutschland 2017



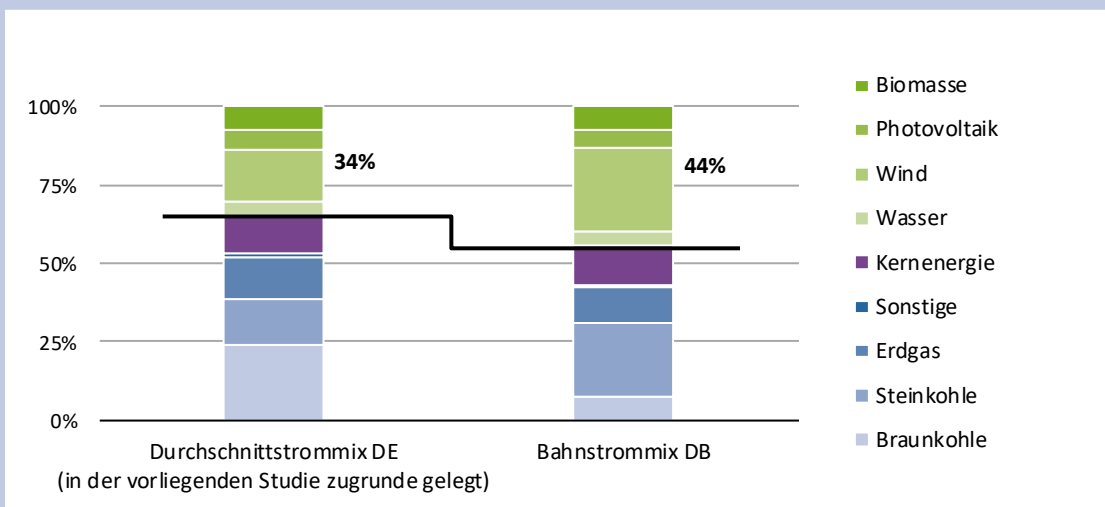
⁷ Beim Eisenbahnpersonenverkehr beträgt der Anteil der externen Kosten für die Energiebereitstellung an der Kostenkategorie 'vor- und nachgelagerte Prozesse' 57%. Der Rest stammt aus Bau, Unterhalt und Entsorgung von Infrastruktur und Fahrzeugen.

⁸ Die verwendeten Daten des Umweltbundesamtes berücksichtigen nicht den tatsächlichen Strommix der Bahnstromversorgung in Deutschland. Stattdessen wird der Durchschnittstrommix für Deutschland insgesamt auch für den Schienenverkehr angenommen. Im Jahr 2017 lag der Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch in Deutschland bei 34%, im Bahnstrommix lag der Anteil bei 44%. Siehe Exkurs Strommix.

Exkurs Strommix

Abbildung 8 zeigt, dass 50% der externen Umweltkosten des Schienenverkehrs aus den vor- und nachgelagerten Prozessen stammen. Diese beinhalten die Emissionen aus der Energiebereitstellung (die mit Abstand den größten Teil der Kosten in der Kategorie „Vor- und nachgelagerte Prozesse“ verursacht) und die Emissionen aus Produktion, Unterhalt und Entsorgung der Fahrzeuge und der Infrastruktur. Die Emissionen der Fahrzeuge und der Infrastruktur sind länderübergreifend sehr ähnlich, die Emissionen der Energiebereitstellung, also die Emissionen, die bei der Produktion des Stroms anfallen, sind länderspezifisch sehr unterschiedlich. Für die Berechnungen der vor- und nachgelagerten Prozesse der vorliegenden Studie wurde der Durchschnittstrommix in Deutschland zugrunde gelegt. Dieser bestand 2017 zu 34% aus erneuerbaren Energien (UBA 2019b). Der Strommix der Bahnstromversorgung in Deutschland wurde 2017 zu 44% aus erneuerbaren Energien produziert. Die Zusammensetzungen der beiden Strommixe sind in Abbildung 9 dargestellt.

Abbildung 9: Durchschnittstrommix Deutschland vs. Strommix der Bahnstromversorgung in Deutschland 2017

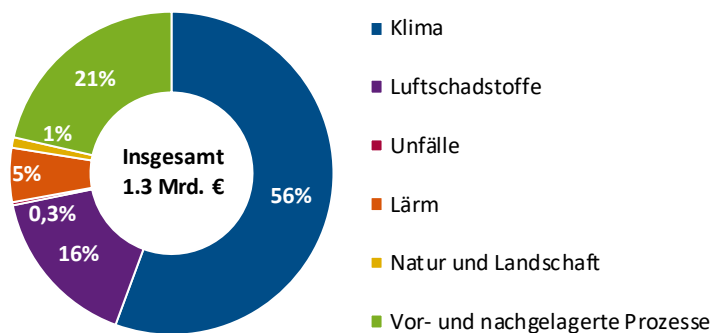


Wäre in der vorliegenden Studie mit dem Bahnstrommix gerechnet worden, würden die Umweltkosten für die Energiebereitstellung um 31% geringer ausfallen. Die Umweltkosten der Energiebereitstellung machen zwischen 42% und 63% der Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse aus (je nach Fahrzeugtyp). Umgerechnet wären die Kosten der Kategorie „Vor- und nachgelagerte Prozesse“ rund 430 Mio. Euro tiefer, wenn mit dem Bahnstrommix gerechnet würde. Das sind 15% der 2,8 Mrd. Euro (Gesamtkosten ‚Vor- und nachgelagerte Prozesse‘), die in den Hauptergebnissen ausgewiesen werden.

Luftverkehr Inland

Der Anteil des inländischen Luftverkehrs an den externen Kosten des Verkehrs beträgt rund 1% oder 1,3 Mrd. Euro. Etwas mehr als die Hälfte (56%) davon ist auf die Klimakosten zurückzuführen. Weitere 21% auf die Vor- und nachgelagerten Prozesse, 16% auf Luftschadstoffe, 5% auf den Lärm, 1% sind Natur und Landschaftskosten und rund 0,3% auf Unfälle.

Abbildung 10: Übersicht über die externen Kosten des Luftverkehrs in Deutschland 2017



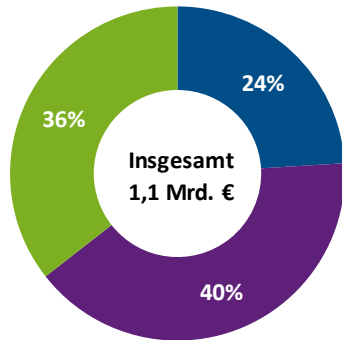
Binnenschifffahrt

Die Binnenschifffahrt ist schwierig mit den anderen Verkehrsträgern zu vergleichen, da einige Kostenkategorien aufgrund fehlender Datengrundlage in der Methodenkonvention 3.0 nicht mit der gleichen Methode zu ermitteln sind. Dies sind die Unfälle und die Natur- und Landschaftskosten. Die Lärmkosten sind auch in anderen Studien (z.B. DG MOVE 2019) nicht berücksichtigt, da diese als irrelevant angesehen werden können. Somit bleiben drei Kategorien übrig, die durch die Grundlagen der Methodenkonvention 3.0 berücksichtigt werden und zusammen 1,1 Mrd. Euro externe Kosten verursachen. Dies sind vor allem die Luftschadstoffe (40%), die vor und nachgelagerten Prozesse (36%) und die Klimakosten (24%). In der Abbildung 11 sind zwei Darstellungsformen gewählt. Einmal die Resultate, welche nur die in der Methodenkonvention 3.0 (UBA 2019a) vorliegenden Kostenkategorien beinhalten, und einmal ergänzt mit Resultaten aus dem Handbuch der externen Transportkosten der EU zu den Unfallkosten sowie den Kosten im Bereich Natur und Landschaft (DG MOVE 2019). Weil diese beiden Kostenkategorien bei der Binnenschifffahrt aber sehr gering sind, unterscheiden sich die beiden Ergebnisse um weniger als 10%.

Abbildung 11: Übersicht über die externen Kosten der Binnenschifffahrt in Deutschland 2017

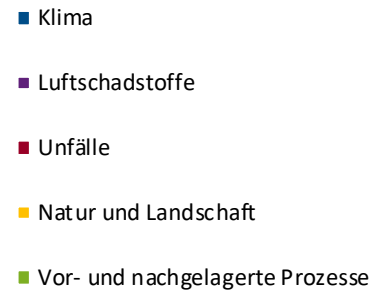
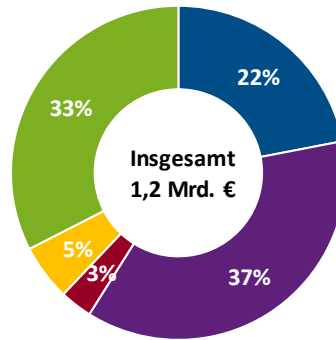
Darstellung 1:

Basierend auf der MK 3.0, wie bei den anderen Verkehrsträgern



Darstellung 2:

mit Werten aus DG Move 2019 für Unfälle und Natur und Landschaft



3.2. Durchschnittskosten

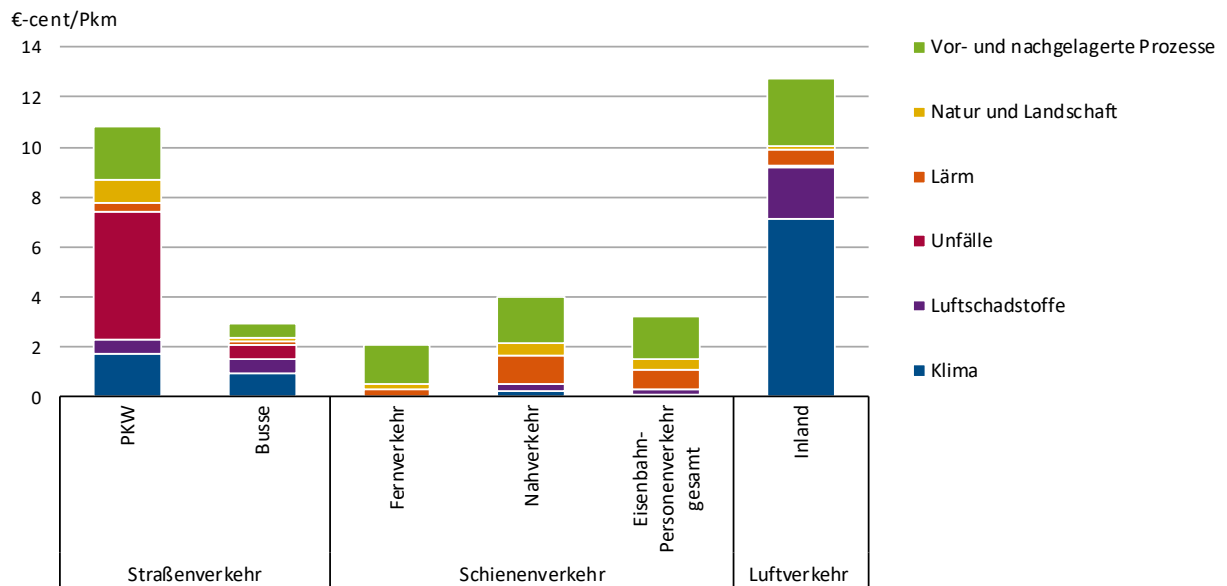
Personenverkehr

Tabelle 9 und Abbildung 12 zeigen die durchschnittlichen externen Kosten des Personenverkehrs nach Verkehrsträger und Kostenkategorien. Die Kostensätze sind dargestellt in €-cent pro Personenkilometer. Die höchsten durchschnittlichen externen Kosten verursachen die Motorräder mit rund 54 €-cent / Pkm. Der Hauptgrund dafür sind die Unfallkosten, die vergleichsweise hoch sind bei den Motorrädern. Die zweithöchsten Durchschnittskosten fallen mit rund 13 €-cent / Pkm beim Inlandluftverkehr an. Mehr als die Hälfte der durchschnittlichen Kosten beim Luftverkehr sind auf die Klimakosten zurückzuführen. Rund 11 €-cent / Pkm betragen die Durchschnittskosten der PKW und rund 3 €-cent / Pkm diejenigen der Busse (Linien- und Reisebusse). Die Durchschnittskosten des Eisenbahnpersonenverkehrs betragen 3,2 €-cent / Pkm und sind ein gewichtetes Mittel aus 2,1 €-cent / Pkm des Personenfernverkehrs und 4,1 €-cent / Pkm des Personennahverkehrs (Diesel und elektrisch).

Tabelle 9: Übersicht über die Durchschnittskosten des Personenverkehrs in Deutschland im Jahr 2017

| Personenverkehr | | Klima | Luftschadstoffe | Unfälle | Lärm | Natur und Landschaft | Vor- und nachgelagerte Prozesse | Gesamt |
|------------------|--------------------------|-------|-----------------|---------|------|----------------------|---------------------------------|--------------|
| Eurocent pro Pkm | | | | | | | | |
| Straßenverkehr | PKW | 1,73 | 0,59 | 5,08 | 0,35 | 0,92 | 2,13 | 10,80 |
| | Motorräder | 1,62 | 0,53 | 44,96 | 3,24 | 0,55 | 2,91 | 53,81 |
| | Linienbusse | 1,14 | 0,67 | 0,54 | 0,22 | 0,20 | 0,65 | 3,43 |
| | Reisebusse | 0,42 | 0,29 | 0,59 | 0,07 | 0,11 | 0,35 | 1,82 |
| | Busse | 0,93 | 0,56 | 0,55 | 0,18 | 0,17 | 0,57 | 2,97 |
| Eisenbahnverkehr | Fernverkehr | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,31 | 0,22 | 1,53 | 2,08 |
| | Nahverkehr Elektr. | 0,00 | 0,06 | 0,03 | 1,11 | 0,51 | 1,99 | 3,70 |
| | Nahverkehr Diesel | 1,28 | 1,47 | 0,03 | 1,11 | 0,51 | 1,14 | 5,55 |
| | Personenahverkehr | 0,21 | 0,29 | 0,03 | 1,11 | 0,51 | 1,85 | 4,01 |
| | Eisenbahnpersonenverkehr | 0,12 | 0,17 | 0,02 | 0,78 | 0,39 | 1,71 | 3,20 |
| Luftverkehr | Inland | 7,10 | 2,10 | 0,04 | 0,69 | 0,10 | 2,74 | 12,77 |

Abbildung 12: Übersicht über die Durchschnittskosten des Personenverkehrs in Deutschland im Jahr 2017 (ohne Motorräder)



Güterverkehr

Tabelle 10 und Abbildung 13 zeigen die durchschnittlichen externen Kosten des Güterverkehrs in Deutschland nach Verkehrsträgern und Kostenkategorien. Die Durchschnittskosten der Lieferwagen belaufen sich auf rund 18 €-cent pro Fahrzeugkilometer. Sie sind in €-cent pro Fahrzeugkilometer dargestellt, da diese teilweise auch für den Personentransport eingesetzt werden und zudem keine empirischen Daten zur Auslastung vorliegen. Die Werte sind somit nicht

vergleichbar mit den anderen Durchschnittskosten des Güterverkehrs und werden deswegen auch nicht in Abbildung 13 dargestellt. Die weiteren Kategorien sehen wie folgt aus. Die LKW verursachen rund 4,5 €-cent pro tkm, der dieselbetriebene Schienengüterverkehr rund 3 €-cent pro tkm, der elektrische Schienengüterverkehr rund 2 €-cent pro tkm und die Binnengüterschifffahrt verursacht rund 2 €-cent pro tkm resp. 2,2 €-cent pro tkm, wenn die beiden Kostenkategorien Unfall und Natur und Landschaft mit den Werten aus dem Handbuch der externen Transportkosten der EU (DG MOVE 2019) ergänzt werden. Die ergänzten Werte sind in der Tabelle Klammern gesetzt und in der Abbildung mit einem sich etwas abgrenzendem Muster hinterlegt.

Tabelle 10: Übersicht über die Durchschnittskosten des Güterverkehrs in Deutschland im Jahr 2017

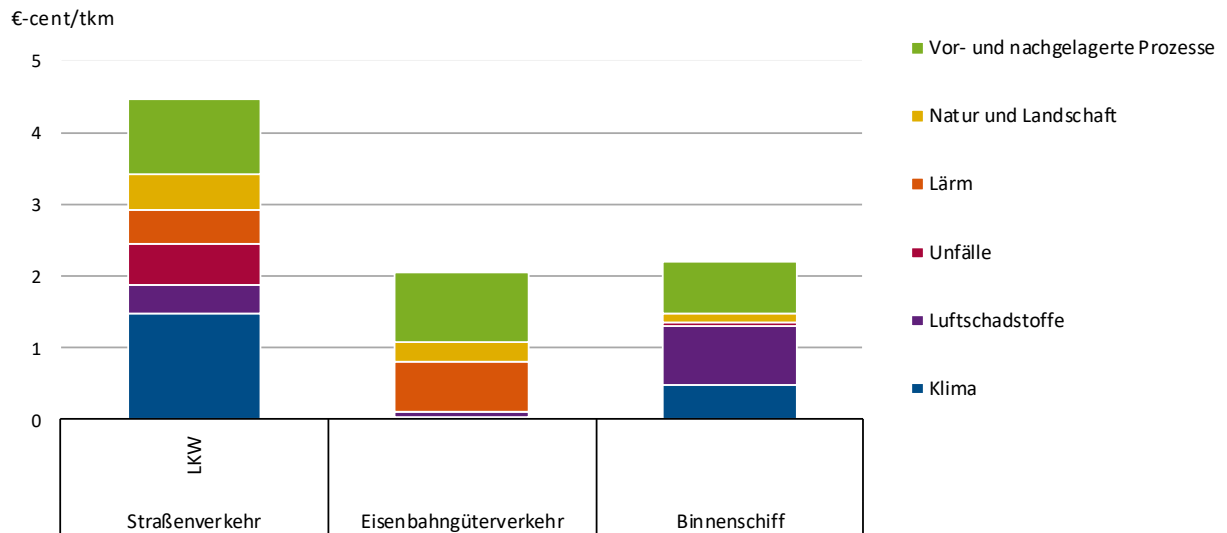
| Güterverkehr | | Klima | Luftschadstoffe | Unfälle | Lärm | Natur und Landschaft | Vor- und nachgelagerte Prozesse | Gesamt |
|-------------------|-----------------------|-------|-----------------|----------|------|----------------------|---------------------------------|----------------------|
| Eurocent pro tkm | | | | | | | | |
| Straßenverkehr | LKW | 1,48 | 0,39 | 0,59 | 0,47 | 0,50 | 1,04 | 4,46 |
| | Lieferwagen* | 3,24 | 2,05 | 7,63 | 0,68 | 1,47 | 2,90 | 17,97 |
| Eisenbahnverkehr | Elektrisch | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,69 | 0,26 | 0,97 | 1,97 |
| | Diesel | 0,48 | 0,69 | 0,01 | 0,69 | 0,26 | 0,82 | 2,95 |
| | Eisenbahngüterverkehr | 0,03 | 0,08 | 0,01 | 0,69 | 0,26 | 0,96 | 2,04 |
| Binnenschifffahrt | Güterverkehr | 0,48 | 0,81 | (0,07)** | n.v. | (0,12)** | 0,71 | 2,01 (2,19)** |

* Da Fahrzeuge der Kategorie Lieferwagen teilw. auch für den Personentransport eingesetzt werden und zudem keine empirischen Daten zur Auslastung vorliegen, werden keine Kostensätze pro tkm ausgewiesen, sondern Kostensätze pro Fahrzeugkilometer. Der Vergleich der Lieferwagen mit den anderen Kategorien ist somit nicht möglich.

** In der Methodenkonvention 3.0 werden keine Kosten für Unfälle und Natur und Landschaftsschäden für den Binnenschiffverkehr ausgewiesen. Anders im Handbuch der externen Transportkosten der EU, wo sich die externen Unfallkosten und Kosten für Natur und Landschaft für den Binnengüterschiffverkehr in Deutschland auf 38 Mio. resp. 66 Mio. Euro belaufen. Mit diesen Werten und dem Verkehrsmengengerüst aus Tabelle 2 wurden die Durchschnittskosten (Werte in Klammern) berechnet.

n.v. = Wert nicht verfügbar

Abbildung 13: Übersicht über die Durchschnittskosten des Güterverkehrs in Deutschland im Jahr 2017



3.3. Plausibilisierung / Vergleich mit anderen Studien

In diesem Abschnitt wird die aktuelle Studie der Allianz pro Schiene für das Jahr 2017 mit zwei anderen, kürzlich publizierten Studien verglichen und so eine Plausibilisierung der Ergebnisse vorgenommen. Wenn in den folgenden Abschnitten von „aktuelle Studie“ die Rede ist, ist die vorliegende Studie der Allianz pro Schiene mit Ergebnissen für das Jahr 2017 gemeint.

3.3.1. Handbuch der externen Transportkosten der Europäischen Kommission

Ende Juni 2019 hat die Europäische Kommission die aktualisierte Version des Handbuchs der externen Transportkosten (DG MOVE 2019) publiziert. Darin werden für jeden Mitgliedstaat der EU externe Kosten des Verkehrs für das Jahr 2016 ausgewiesen. In der Studie werden die Kostenkategorien Klima, Luftschadstoffe, Unfälle, Lärm, Natur und Landschaft und vor- und nachgelagerte Prozesse (nur Energiebereitstellung) betrachtet. An dieser Stelle werden die Ergebnisse der vorliegenden Studie für das Jahr 2017 mit denjenigen des Handbuchs verglichen, auf Unterschiede hingewiesen und diese erklärt.

Tabelle 11: Vergleich der gesamten externen Kosten (in Mrd. Euro) pro Kostenkategorie in der aktuellen Studie und DG MOVE 2019

| Kostenkategorie [Mio. €] | Handbook ext. cost EC (2016) | Aktuelle Studie (2017) | Abweichung in % |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------|
| Klima | 15,2 | 26,9 | 77% |
| Luftschadstoffe | 14,6 | 9,7 | -33% |
| Unfälle | 75,8 | 61,0 | -19% |
| Lärm | 7,1 | 8,2 | 15% |
| Natur und Landschaft | 8,5 | 12,8 | 50% |
| Vor- und nachgelagerte Prozesse | 7,4 | 30,9 | 315% |
| Total | 128,6 | 149,5 | 16% |

Quelle: Ergebnisse aktuelle Studie und DG MOVE 2019

Die **Klimakosten** sind in der aktuellen Studie um 77% höher als im Handbuch der EU, was fast ausschließlich auf den höheren Klimakostensatz zurückzuführen ist. Im Handbuch der EU ist dieser mit 100 €/t CO₂-Äq niedriger; in der aktuellen Studie wird mit den vom UBA vorgeschlagenen 180 €/t CO₂-Äq gerechnet. Die übrigen Prozente Abweichung sind auf das unterschiedliche Verkehrsmengengerüst zurückzuführen. Das Verkehrsmengengerüst, das im Handbuch verwendet wurde, basiert auf Eurostat-Daten, welche von den hier verwendeten Fahrleistungen abweichen.

Bei den **Luftschadstoffen** ist es der gleiche Grund, der aber hier zu einer Abweichung in die andere Richtung führt. Die Kostensätze im Handbuch der EU sind höher als diejenigen, die der Methodenkonvention 3.0 zugrunde liegen. Auch hier hat das Verkehrsmengengerüst noch einen zusätzlichen, aber kleinen Einfluss.

Die **Unfallkosten** sind im Handbuch der EU für Deutschland ebenfalls höher. Da die Kostensätze in der aktuellen Studie identisch sind mit denjenigen aus dem Handbuch, muss der Unterschied in der Datengrundlage (Anzahl Verunfallte) liegen. Während die aktuelle Studie sich auf Daten vom statistischen Bundesamt (Destatis) abstützt, kommt beim Handbuch die „EU’s Community Road Accident Database (CARE)“, eine länderübergreifende Datenbank zum Einsatz. Die genaue Anzahl der Verunfallten für Deutschland ist im Handbuch nicht publiziert.

Die **Lärmkosten** sind in den beiden Studien fast identisch, der Unterschied ist einzig auf das Verkehrsmengengerüst zurückzuführen. Die Kostensätze pro Fahrzeugkilometer sind in der aktuellen Studie aus dem Handbuch der EU übernommen, da die Methodenkonvention 3.0 (UBA 2019a) keine Kostensätze pro Verkehrsleistung ausweist.

Bei den Kosten der **Natur und Landschaft** sind die Kostensätze nicht genau identisch, aber nach gleicher Methode ermittelt. Während das Handbuch für alle Infrastrukturtypen der einzelnen Verkehrsträger (z.B. Autobahn, überörtliche Straße etc.) unterschiedliche Kostensätze anwendet, wird für die aktuelle Studie ein gewichteter Durchschnittskostensatz verwendet –

analog zur Methodenkonvention 3.0 des UBA. Hinzu kommt die Tatsache, dass in der aktuellen Studie die Gemeindestrassen vollumfänglich miteingerechnet werden, während in der EU-Studie die Infrastrukturdaten nur größere Straßen umfasste. Letztgenannter Punkt ist der Hauptgrund für die höheren Kosten der vorliegenden Studie.

Die **vor- und nachgelagerten Prozesse** umfassen in der EU-Studie von DG MOVE lediglich die Kosten aus der Energieproduktion, während in der vorliegenden Studie die vor- und nachgelagerten Prozesse umfassender abgedeckt sind, nämlich auch Produktion, Unterhalt und Entsorgung vom Fahrzeug und der Infrastruktur. Dieser Umstand erklärt den größten Teil der Abweichung der beiden Studien von über 300%. Der zweite Grund für die Abweichung liegt beim deutlich höheren Klimakostensatz der vorliegenden Studie im Vergleich zum Handbuch (siehe Klimakosten), der die Kosten der Energiebereitstellung um 80% erhöht.

3.3.2. Methodenkonvention 3.0 des Umweltbundesamts

Das Umweltbundesamt publizierte die aktuellste Version der Methodenkonvention (MK 3.0) im Februar 2019. Darin empfiehlt das UBA durchschnittliche Kostensätze (Durchschnittskosten pro Fzkm bzw. pro Pkm und tkm) für verschiedene Verkehrsträger. Die berücksichtigten Kostenkategorien und auch Fahrzeugkategorien sind allerdings nicht völlig identisch mit der aktuellen Studie. Um eine Vergleichbarkeit herzustellen, umfassen die in Tabelle 12 abgebildeten Durchschnittskosten in der Spalte „Aktuelle Studie 2017“ nur jene Elemente der Durchschnittskosten der aktuellen Studie, die auch in der Methodenkonvention berücksichtigt wurden. Das heißt, die Unfall- und Lärmkosten wurden für die Gegenüberstellung herausgerechnet, weil sie in der Methodenkonvention 3.0 nicht enthalten sind. Bei den Werten der Methodenkonvention 3.0 wurde bei allen Fahrzeugkategorien, die mehrere Unterkategorien umfassen (z.B. PKW Diesel/Benzin, Gewichtsklassen bei LKWs etc.), ein gewichteter Mittelwert berechnet.

Tabelle 12: Vergleich der Durchschnittskosten pro Fahrzeugkategorie mit der Methodenkonvention 3.0

| Fahrzeugkategorie [€-cent pro Pkm/tkm] | | Methoden- konvention 3.0 (2016) | Aktuelle Studie (2017) | Abweichung in % |
|---|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-----------------|
| Straßenverkehr | PKW | 4,70 | 5,37 | 14,3% |
| | Motorräder | 5,10 | 5,61 | 10,0% |
| | Linienbusse | 2,50 | 2,67 | 6,7% |
| | Reisebusse | 1,10 | 1,16 | 5,6% |
| | LKW | 3,20 | 3,40 | 6,5% |
| Eisenbahnverkehr | Personenfernverkehr | 1,74 | 1,75 | 0,7% |
| | Personennahverkehr elektr. | 2,47 | 2,56 | 3,5% |
| | Personennahverkehr Diesel | 4,40 | 4,40 | 0,1% |
| | Güterverkehr elektr. | 1,21 | 1,27 | 4,8% |
| | Güterverkehr Diesel | 2,25 | 2,25 | -0,1% |
| Luftverkehr | Inland | 8,33 | 12,04 | 44,5% |
| Binnenschiff | Güterverkehr | 2,01 | 2,13 | 5,5% |

Quelle: Ergebnisse aktuelle Studie und UBA 2019a

Ein grundsätzlicher Unterschied zwischen den beiden Studien ist das Bezugsjahr, in der MK 3.0 ist dies 2016, hier ist es 2017. Das zieht kleine Unterschiede im Verkehrsmengengerüst und in der Auslastung der einzelnen Fahrzeugkategorien mit sich. Zusätzlich wurden auch die Kostensätze auf das Jahr 2017 fortgeschrieben, was ebenfalls zu kleinen Differenzen führt.

Die Unterschiede beim **Straßenverkehr** beruhen, nebst diesen erwähnten Unterschieden in den Grundlagendaten, fast ausschließlich auf der Kostenkategorie Natur und Landschaft. Diesen Kosten liegen die Infrastrukturlängen zugrunde und diese unterscheiden sich stark zwischen Methodenkonvention 3.0 und der aktuellen Studie. Bei der Methodenkonvention wurden die Gemeindestrassen nicht berücksichtigt. Der Effekt ist für die Kostenkategorie ‚Natur und Landschaft‘ zwar beträchtlich. Der Einfluss auf die gesamten Durchschnittskosten (für alle Kostenkategorien) des Straßenverkehrs ist aber eher gering (ca. 0,4 EUR-ct/Pkm bei den Pkw).

Beim **Schieneverkehr** sind die Unterschiede sehr klein, zwischen -0,1% und +4,8% und beruhen hauptsächlich auf den erwähnten Anpassungen (Verkehrsmengengerüst, Auslastung, Fortschreibung Kostensätze). Die Schieneninfrastruktur umfasst ebenfalls nicht exakt die gleiche Länge wie in der Methodenkonvention 3.0, allerdings ist die Abweichung geringer als bei der Straße und nur auf ein aktuelleres Jahr in der Statistik (Destatis 2019) zurückzuführen.

Der **Luftverkehr** umfasst in der aktuellen Studie eine andere Distanzklasse als in der Methodenkonvention. Während hier nur die Inlandsflüge (Start und Landung in Deutschland) berücksichtigt werden, wurden bei der Methodenkonvention 3.0 sämtliche Kurz- und Mittelstreckenflüge zusammengefasst zu einer Kategorie, das heißt alle Kontinentalflüge unterhalb 2.000 km. Die Inlandstrecken sind deutlich kürzer, was zu deutlich höheren Kosten pro Pkm führt: Einerseits erhalten bei kurzen Distanzklassen die Kostenkategorien Lärm und Luftschadstoffe mehr Gewicht, weil diese v.a. bei Start und Landung relevant sind. Andererseits sind auch die

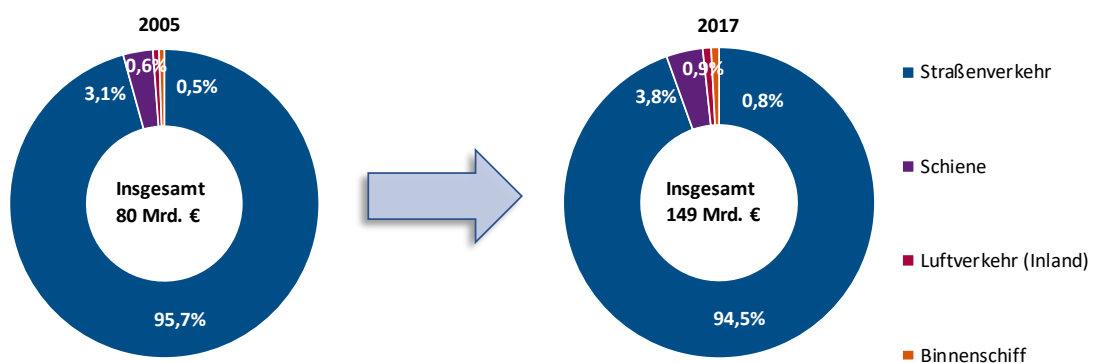
spezifischen (Treibhausgas-)Emissionen pro Pkm bei kürzeren Flügen höher (u.a. weil kleinere Flugzeugtypen mit weniger Passagieren zum Einsatz kommen).

Die **Binnengüterschifffahrt** verursacht in der aktuellen Studie mit 2,13 €-cent pro tkm um 5,5% höhere Umweltkosten als in der Methodenkonvention. Die Gründe liegen primär im unterschiedlichen Bezugsjahr

3.4. Vergleich mit Ergebnissen der Studie zum Jahr 2005

Ein Vergleich der Ergebnisse der beiden Studien kann nicht ohne weitere Hintergrundinformationen erfolgen. Es handelt sich bei der aktuellen Studie nicht um eine einfache Aktualisierung der bisherigen Studie auf Basis der gleichen Methodik. Vielmehr gibt es erhebliche Änderungen in der Methodik, verschiedene Grundlagendaten stammen aus unterschiedlichen Quellen, einige Kostenkategorien beinhalten andere Fahrzeugtypen als damals und die Kostenkategorie „Zusatzkosten in städtischen Räumen“ wurde nicht fortgeführt. Ebenfalls nicht berücksichtigt wurden in der vorliegenden Studie die Staukosten. Später in diesem Kapitel werden die Unterschiede in der Herleitung der externen Kosten für jede Kostenkategorie einzeln analysiert. Zuerst werden die gesamten externen Kosten und vor allem deren Aufteilung auf die Verkehrsträger und Kostenkategorien veranschaulicht.

Abbildung 14: Vergleich der gesamten externen Kosten des Verkehrs in Deutschland 2005 und 2017

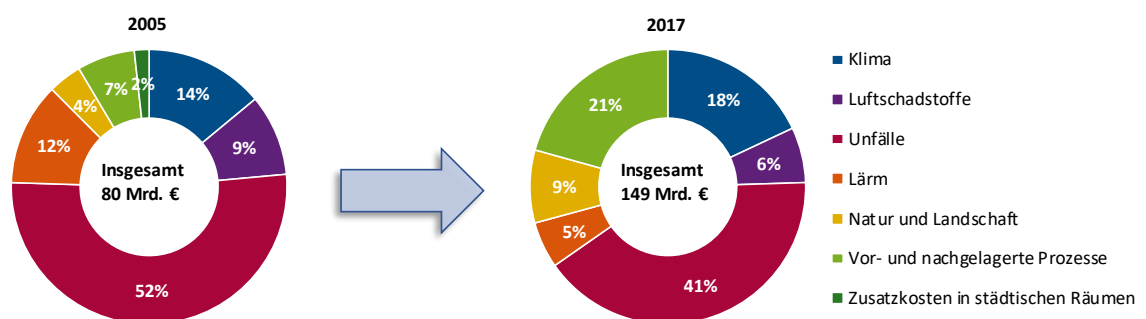


Quelle: Vergleich INFRAS 2007 und aktuelle Studie 2019

Abbildung 14 zeigt die Anteile der vier Verkehrsträger an den gesamten externen Kosten. Die Veränderungen sind gering. Damals wie heute ist der größte Teil der externen Kosten rund 96% resp. 95% auf den Straßenverkehr zurück zu führen. Der Schienenverkehr mit damals 3,1% verursacht heute einen Anteil von 3,8%, der inländische Luftverkehr damals 0,6% heute 1% und die Binnenschifffahrt ist von rund 0,5% auf rund 0,8% gestiegen. Insgesamt sind die externen

Kosten in der vorliegenden Studie mit 149 Mrd. Euro um rund 69 Mrd. Euro höher als in der Studie für das Jahr 2005 (rund 80 Mrd. Euro). Die größte Zunahme gab es bei den Klimakosten und den vor- und nachgelagerten Prozessen infolge des deutlich höheren Klimakostensatzes. Ebenfalls deutlich höher sind die Unfallkosten, v.a. aufgrund methodischer Änderungen (neue Kostensätze zur Monetarisierung).

Abbildung 15: Anteile der einzelnen Kostenkategorien an gesamten externen Kosten des Verkehrs in Deutschland 2005 und 2017



Quelle: Vergleich INFRAS 2007 und aktuelle Studie 2019

Die Aufteilung der Anteile nach Kostenkategorien hat sich durchaus verändert. Die Anteile der Klimakosten, der vor- und nachgelagerten Prozesse sowie der Unfallkosten haben deutlich zugenommen. Das Ausmaß und die Gründe für diese Veränderungen werden nachfolgend für jede Kostenkategorie erläutert:

- Die **Klimakosten** werden methodisch gleich berechnet wie in der alten Studie. Allerdings haben sich sämtliche Grundlagendaten zum Teil stark geändert. Das größere Verkehrsmengengerüst und die (durchschnittlich) niedrigeren Emissionsfaktoren führen heute bei allen Verkehrsträgern zu niedrigeren Emissionen, außer beim Luftverkehr. Die THG-Emissionen des Luftverkehrs haben sich mehr als verdoppelt, obwohl ein niedrigerer Emissionsgewichtungsfaktor (EGF) von 2 anstatt 2,5 angewendet wurde. Monetarisiert wurden die Emissionen dann aber mit einem mehr als Faktor 2 höheren Klimakostensatz von 180 €/t CO₂-Äq. In der alten Studie betrug dieser noch 70 €/t CO₂-Äq, also weniger als die Hälfte. Im Total führen diese Veränderung zu rund 16 Mrd. € (+140%) höheren externen Klimakosten.
- Die **Luftschadstoffe** sind mit rund 2 Mrd. € um 26% höher als in den Berechnungen von 2005. Auch hier haben sich die Grundlagen für die Berechnung der Emissionen (Verkehrsmengengerüst etwas größer, Emissionsfaktoren meist etwas niedriger) verändert. Die Kostensätze stammen aus der Methodenkonvention 3.0 (UBA 2019a) und sind somit auf aktuellsten Stand.

- Die **Unfallkosten** haben sich gegenüber 2005 um 19 Mrd. € (+46%) erhöht. Der Straßenverkehr verursacht bei allen Kategorien von Verunfallten (Getötete, Schwerverletzte und Leichtverletzte) über 98% des Gesamttotals. Während die Anzahl der durch Verkehrsunfälle getöteten Personen seit 2005 abgenommen hat, hat die Zahl der Schwer- und Leichtverletzten zugenommen. Der Hauptgrund für die höheren Unfallkosten liegt aber bei den deutlich höheren Kostensätzen: Die aktuellen Kostensätze (DG MOVE 2019) für die Monetarisierung der Unfallfolgen sind rund doppelt so hoch wie in der Studie zum Jahr 2005.
- Die **Lärmkosten** sind die einzige Kostenkategorie, in der die Kosten in der aktuellen Studie mit rund -1,5 Mrd. € (-16%) niedriger ausgefallen sind als im Jahr 2005. Die damalige Methode stützte sich auf Lärmbelastungsdaten des Umweltbundesamts. In der aktuellen Studie wurden Lärmkostensätze aus dem aktuell publizierten Handbuch der externen Transportkosten der europäischen Union (für jedes Land eigene Kostensätze verfügbar) verwendet (DG MOVE 2019). Die Resultate sind somit nur schwer zu vergleichen, da die Basisdaten aufgrund unterschiedlicher Methoden hergeleitet wurden und uns nicht im Detail vorliegen.
- Die Umweltkosten für Schäden an **Natur und Landschaft** sind in der aktuellen Studie rund 9,6 Mrd. € (+304%) höher als in der Studie aus dem Jahr 2005. Der Grund ist eine Anpassung der Methodik. Neu wurden die gesamten Straßeninfrastrukturlängen berücksichtigt, und diese sind rund dreimal länger als in der letzten Studie.
- Den insgesamt größten Zuwachs haben die **vor- und nachgelagerten Prozesse** erfahren. Rund 25 Mrd. € höhere Kosten werden dafür ausgewiesen, was einem Zuwachs von fast 470% entspricht. Ein zentraler Grund für die höheren Kosten ist die Berücksichtigung der Luftschadstoffe auch in der Kategorie vor- und nachgelagerte Prozesse in der aktuellen Studie. Ein zweiter treibender Effekt sind die Treibhausgasemissionen, welche heute mit einem viel höheren Klimakostensatz monetarisiert (siehe Klimakosten) werden. Ein weiterer Punkt sind die leicht höheren Emissionsfaktoren aus einer neueren Version der Lebenszyklusdaten-Datenbank Ecoinvent für die Emissionen für Bau, Unterhalt und Entsorgung von Verkehrsinfrastrukturen und Fahrzeugen.

Annex

Emissionsfaktoren direkter Betrieb

| Verkehrsträger | Fahrzeugkategorie | Technologie | Einheit | CO2-eq | NOx | PM-exhau | PM-none | NH3 | NMHC | SO2 |
|-----------------|--|----------------|---------|--------|------|----------|---------|------|------|--------|
| Strassenverkehr | PKW | | g/Fzkm | 143 | 0,39 | 0,00 | 0,04 | 0,02 | 0,01 | 0,0008 |
| | Motorräder | | g/Fzkm | 100 | 0,22 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,51 | 0,0005 |
| | Linienbusse | | g/Fzkm | 1.048 | 5,57 | 0,05 | 0,21 | 0,00 | 0,11 | 0,0060 |
| | Reisebusse | | g/Fzkm | 702 | 4,35 | 0,09 | 0,12 | 0,00 | 0,17 | 0,0040 |
| | LKW | | g/Fzkm | 667 | 1,53 | 0,02 | 0,10 | 0,00 | 0,04 | 0,0038 |
| | Lieferwagen | | g/Fzkm | 180 | 0,96 | 0,04 | 0,04 | 0,00 | 0,01 | 0,0010 |
| Schienenverkehr | Personenfernverkehr | elektrifiziert | g/Pkm | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,0000 |
| | Personennahverkehr | elektrifiziert | g/Pkm | 0 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,0000 |
| | Personennahverkehr | Diesel | g/Pkm | 71 | 0,76 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,03 | 0,0003 |
| | Güterverkehr | elektrifiziert | g/tkm | 0 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,0000 |
| | Güterverkehr | Diesel | g/tkm | 27 | 0,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,0001 |
| Luftverkehr | Inland | | g/Pkm | 198 | 1,02 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,06 | 0,0198 |
| Binnenschiff | Güterverkehr, gewichteter Mittelwert der eingesetzten Schiffstypen | | g/tkm | 27 | 0,40 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,0001 |

Quelle: Tremod 5.82, HBEFA 3.4, Methodenkonvention 3.0

Emissionsfaktoren indirekter Betrieb

| Verkehrsträger | Fahrzeugkategorie | Technologie | Einheit | CO2-eq | NOx | PM-exhaust | PM-none | NH3 | NMHC | SO2 |
|-----------------|--|----------------|---------|--------|------|------------|---------|------|------|-------|
| Strassenverkehr | PKW | | g/Fzkm | 99 | 0,22 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,346 |
| | Motorräder | | g/Fzkm | 110 | 0,17 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,362 |
| | Linienbusse | | g/Fzkm | 380 | 0,90 | 0,19 | 0,00 | 0,01 | 0,56 | 0,843 |
| | Reisebusse | | g/Fzkm | 360 | 0,83 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | 0,867 |
| | LKW | | g/Fzkm | 242 | 0,71 | 0,27 | 0,00 | 0,01 | 0,49 | 0,931 |
| | Lieferwagen | | g/Fzkm | 91 | 0,22 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,291 |
| Schienenverkehr | Personenfernverkehr | elektrifiziert | g/Pkm | 57 | 0,09 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,059 |
| | Personennahverkehr | elektrifiziert | g/Pkm | 78 | 0,10 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,060 |
| | Personennahverkehr | Diesel | g/Pkm | 34 | 0,10 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,095 |
| | Güterverkehr | elektrifiziert | g/tkm | 35 | 0,06 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,042 |
| | Güterverkehr | Diesel | g/tkm | 25 | 0,07 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,063 |
| Luftverkehr | Inland | | g/Pkm | 63 | 0,16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,11 | 0,133 |
| Binnenschiff | Güterverkehr, gewichteter Mittelwert der eingesetzten Schiffstypen | | g/tkm | 5 | 0,09 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,07 | 0,116 |

Quelle: Tremod 5.82, Methodenkonvention 3.0, Ecoinvent 3.4

Übersicht gesamte externe Kosten des Verkehrs in Deutschland 2017

| Verkehrsträger | Fahrzeugkategorie | Technologie | Definition | Kostenkategorien [Mio. Euro] | | | | | | Gesamt | Anteile % |
|------------------------|--|----------------|---|------------------------------|-----------------|---------------|--------------|----------------------|---------------------------------|----------------|-----------|
| | | | | Klima | Luftschadstoffe | Unfälle | Lärm | Natur und Landschaft | Vor- und nachgelagerte Prozesse | | |
| Strassenverkehr | PKW | | | 16.580 | 5.690 | 48.769 | 3.376 | 8.852 | 20.494 | 103.760 | 69,5% |
| | Motorräder | | ohne Kleinkraftmäder, Mopeds etc. | 209 | 68 | 5.808 | 419 | 71 | 376 | 6.952 | 4,7% |
| | Linienbusse | | Summe <=15t, 15-18t, >=18t | 509 | 300 | 241 | 97 | 89 | 291 | 1.527 | 1,0% |
| | Reisebusse | | Summe <=18t & > 18t | 74 | 52 | 106 | 12 | 19 | 62 | 326 | 0,2% |
| | LKW | | LKW >3,5t, Lastzüge, Sattelzüge | 7.033 | 1.841 | 2.816 | 2.224 | 2.389 | 4.930 | 21.234 | 14,2% |
| | Lieferwagen | | Leichte Nutzfahrzeuge <= 3,5t | 1.349 | 852 | 3.176 | 284 | 610 | 1.206 | 7.476 | 5,0% |
| Schienenverkehr | Personenfernverkehr | elektrifiziert | | 0 | 1 | 4 | 125 | 87 | 608 | 824 | 0,6% |
| | Personennahverkehr | elektrifiziert | | 0 | 26 | 15 | 507 | 235 | 908 | 1.692 | 1,1% |
| | Personennahverkehr | Diesel | | 117 | 135 | 3 | 102 | 47 | 105 | 508 | 0,3% |
| | Güterverkehr | elektrifiziert | | 0 | 45 | 7 | 840 | 320 | 1.172 | 2.383 | 1,6% |
| | Güterverkehr | Diesel | | 41 | 58 | 0 | 59 | 22 | 69 | 251 | 0,2% |
| Luftverkehr | Inland | | | 718 | 212 | 4 | 70 | 10 | 277 | 1.291 | 0,9% |
| Binnenschiff | Güterverkehr, gewichteter Mittelwert der eingesetzten Schiffstypen | | Gütermotorschiffe, Schubverbände, Tankmotorschiffe und Containerschiffe | 268 | 450 | n.v. | n.v. | n.v. | 396 | 1.114 | 0,7% |
| Strassenverkehr | | | | 25.754 | 8.803 | 60.916 | 6.412 | 12.030 | 27.360 | 141.276 | 94,6% |
| Schienenverkehr | | | | 158 | 265 | 29 | 1.633 | 711 | 2.862 | 5.658 | 3,8% |
| Luftverkehr Inland | | | | 718 | 212 | 4 | 70 | 10 | 277 | 1.291 | 0,9% |
| Binnengüterschifffahrt | | | | 268 | 450 | 0 | 0 | 0 | 396 | 1.114 | 0,7% |
| Total | | | | 26.897 | 9.732 | 60.949 | 8.115 | 12.751 | 30.895 | 149.339 | |
| Anteile in % | | | | 18,0% | 6,5% | 40,8% | 5,4% | 8,5% | 20,7% | | |

Literatur

- Anthoff 2007:** Report on marginal external damage costs inventory of greenhouse gas emissions. Hamburg, Hamburg University: 47.
- ARE 2018:** Externe Effekte des Verkehrs 2015, Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten, Ecoplan und INFRAS im Auftrag des eidgenössischen Bundesamtes für Raumentwicklung ARE, Bern.
- Bachmann, T. M. 2018:** Umweltkosten durch Treibhausgasemissionen, Sachstandspapier zur Methodenkonvention 3.0., Umweltbundesamt, Juli 2018
- BFU 2019:** Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung, Online Abfrage: https://www.bfu-web.de/DE/Publikationen/Statistiken/Tabellen-Studien/Studien-Tabellen_node.html , abgerufen am 03.07.2019
- Bieler, C., Sutter, D. 2018:** Umweltkosten des Verkehrs in Deutschland, Sachstandspapier zur Methodenkonvention 3.0., Umweltbundesamt, September 2018.
- BMVI 2018:** Verkehr in Zahlen 2018/2019, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 47. Ausgabe, Berlin 2018
- Destatis 2018:** Verkehrsunfälle 2017, Fachserie 8 Reihe 7, Statistisches Bundesamt (Destatis) 2018
- DG MOVE 2019:** Handbook on the external costs of transport, Version 2019, European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport, Delft, January 2019
- ifeu / INFRAS / LBST 2016:** Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050. UBA-Texte 56/2016; Dessau -Roßlau
- INFRAS 2007:** Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland, Aufdatierung 2005, im Auftrag der Allianz pro Schiene, Zürich, 2007
- INFRAS 2019:** HBEFA 4.1. Handbook of Emission Factors for Road Transport. Infrass, Bern. [www.hbefa.net].
- Kuik et al. 2009:** Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions: A meta-analysis. O. Kuik, L. Brander, R.S.J. Tol. Energy Policy, vol. 37, Iss. 4 (2009), pp. 1395-1403.
- mobitool:** Schweizer Plattform für Mobilitätsmanagementtools und aufbereitete Umweltdaten; gemeinschaftliches Engagement der Trägerschaft aus SBB, Swisscom, EnergieSchweiz, Bundesamt für Umwelt BAFU und öbu. Online: <https://www.mobitool.ch/>
- OECD 2012:** Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies. Online: <http://www.oecd.org/environment/mortalityriskvaluationinenvironmenthealthandtransportpolicies.htm> (27.3.2017).

- Ifeu 2018:** Aktualisierung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2035“ (TREMOT) für die Emissionsberichterstattung 2018 (Berichtsperiode 1990-2018), im Auftrag Umweltbundesamt
- van der Kamp, J., Bachmann, T. M., Preiss, P., Sutter, D., Bieler, C. 2017:** Umweltkosten durch Luftschadstoffemissionen, Sachstandspapier zur Methodenkonvention 3.0., Umweltbundesamt, Dezember 2017.
- UBA 2019a:** Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten – Kostensätze, Stand Februar 2019, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Februar 2019
- UBA 2019b:** Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2018, Umweltbundesamt 10/2019, Dessau-Roßlau, April 2019
- WHO 2013:** Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project Recommendations for concentration– response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide, World Health Organization, Regional Office for Europe: 54