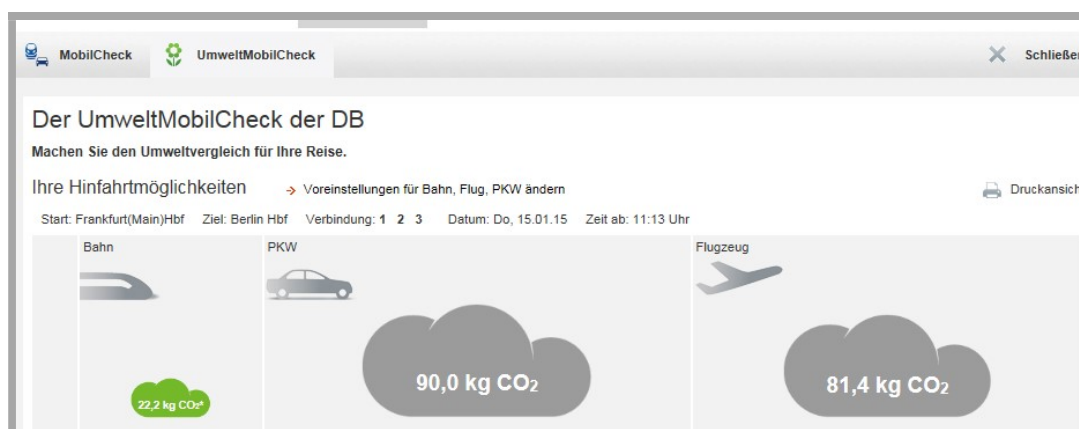


Grundlagenbericht zum UmweltMobilCheck



Juli 2019

DB Regio AG
Umweltschutz Personenverkehr
Stephensonstr. 1
60326 Frankfurt a.M.

Deutsche Bahn AG
DB Umwelt
Caroline-Michaelis-Str. 5-11
10115 Berlin

DB Regio und DB Fernverkehr sind zertifiziert nach DIN EN ISO 9001,
DIN EN ISO 14001 und OHSAS 18001

Inhaltsverzeichnis

I.	Einführung	3
II.	Vergleich der Umweltwirkungen verschiedener Verkehrsmittel	4
2.1	Verursacher und Art der Umweltbelastungen	4
2.2	Bezugsgrößen für den Vergleich	4
2.3	Welche Aussagen lässt ein Vergleich zu?	5
2.4	Welche Umweltwirkungen werden verglichen?	6
2.4.1	Energieverbrauch	7
2.4.2	Emissionen	7
III.	Daten und Annahmen zur Energie- und Emissionsberechnung	10
3.1	Pkw	10
3.2	Bahn und öffentlicher Personenverkehr	11
3.2.1	ÖPNV und Zubringer	11
3.2.2	Bahn	12
3.3	Flugverkehr	15
3.4	Energieverbrauch und Emissionsfaktoren der Energiebereitstellung	18
3.4.1	Kraftstoffe	18
3.4.2	Strom	19
IV.	Literaturverzeichnis	20

Kontakt:

DB Regio AG
Umweltschutz Personenverkehr
Thomas Hennecke
Caroline-Michaelis-Str. 5-11
10115 Berlin

Deutsche Bahn AG
Klimaschutz, Energie, Luftreinhaltung
Andreas Löchter
Caroline-Michaelis-Str. 5-11
10115 Berlin

thomas.hennecke@deutschebahn.com

andreas.loechter@deutschebahn.com

<https://gruen.deutschebahn.com/de>

<http://www.deutschebahn.com/umwelt>

I. Einführung

Der Vergleich der Umweltwirkungen, die bei Fahrten mit verschiedenen Verkehrsmitteln entstehen, hat in der öffentlichen und politischen Diskussion einen hohen Stellenwert. Aus diesem Grund hat sich die Deutsche Bahn bereits 2002 entschieden, einen Umweltvergleich in ihre Reiseauskunft zu integrieren, der unter dem Namen UmweltMobilCheck (UMC) firmiert. Mit durchschnittlich 50.000 Zugriffen im Monat wird dieser Service von den Bahnkunden gerne genutzt. Mit dem UMC können die Umweltwirkungen beliebiger Bahnreisen, die in der Fahrplanauskunft ermittelt werden, innerhalb Deutschlands, im grenzüberschreitenden Verkehr und in vielen europäischen Ländern mit Pkw- und Flugreisen verglichen werden. Die softwaretechnische Umsetzung des UmweltMobilChecks erfolgt durch die Hacon Ingenieurgesellschaft mbH Hannover.

Die Emissionsdaten stammen unter anderem aus der hierfür führenden Quelle TREMOD (Transport Emission Model). Diese Modellrechnung, wurde vom Umweltbundesamt (UBA) beauftragt und vom Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu) Heidelberg entwickelt. Datenbasis für die TREMOD-Berechnungen bildet unter anderem das von dem unabhängigen Forschungs- und Beratungsbüro INFRAS regelmäßig herausgegebene Handbuch für Emissionsfaktoren. Die Daten für die Bahnverkehre innerhalb Deutschlands liefert die Deutsche Bahn. Außerhalb Deutschlands bezieht der UMC seine Daten aus dem europäischen Tool EcoPassenger (www.ecopassenger.org) bzw. direkt vom Internationalen Eisenbahnverband (UIC).

Seit 2015 bietet der UMC die Option für die Berechnung zwischen verschiedenen Datengrundlagen zu wählen. Dadurch ist es möglich, den steigenden Einsatz von Ökostrom, z.B. durch die Umstellung auf 100% Ökostrom des DB Fernverkehrs, sowie den zu erwartenden Anstieg der Elektromobilität im Straßenverkehr bei der Berechnung der Umweltwirkungen zu berücksichtigen. Im Detail bedeutet dies, dass die Berechnung der Emissionen der Zugfahrten innerhalb Deutschlands auf zwei unterschiedlichen Grundlagen erfolgen kann:

- auf der „market based method“, die den Unternehmensstrommix zugrunde legt
- auf der „location based method“, die den Landesstrommix zugrunde legt

Der UMC ermöglicht die Berechnung nach beiden Methoden. Die Auswahl erfolgt über den Button „Einstellungen ändern“ Mehr dazu im Kapitel 2.4.

Weitere Informationen zum UmweltMobilCheck und den Umweltseiten der Bahn finden Sie im Internet: <http://www.umweltmobilcheck.de>.

II. Vergleich der Umweltwirkungen verschiedener Verkehrsmittel

2.1 Verursacher und Art der Umweltbelastungen

Der Personenverkehr mit motorisierten Verkehrsmitteln verursacht zahlreiche Umweltbelastungen. Diese entstehen vor allem aus folgenden Aktivitäten:

- Bau, Betrieb, Unterhalt und Entsorgung der Fahrzeuge,
- Bau, Unterhalt und Entsorgung der Verkehrsinfrastruktur (Verkehrswege, Tunnel, Brücken) und anderer zum Betrieb notwendiger Anlagen (Bahnhöfe, Flugplätze, Verwaltungsgebäude, Tankstellen, Umspannanlagen),
- Exploration, Förderung, Umwandlung und Transport von Primärenergieträgern zur Bereitstellung der Endenergie am Fahrzeug. Im weiteren Sinne gehören hierzu auch die Aufwendungen zur Erstellung, zum Unterhalt und zur Entsorgung der dazu benötigten Anlagen.

Vielfältig sind die Wirkungen, die von diesen Aktivitäten ausgehen. Zu nennen sind insbesondere

- der Verbrauch erschöpflicher und erneuerbarer Energie,
- die Entwertung der Landschaft durch Zerschneidung und Umwandlung natürlicher oder naturnaher Flächen in ökologisch weniger wertvolle Flächen (Böschungen, Grünstreifen) sowie pflanzenfreie (z.B. das Schotterbett herkömmlicher Bahnstrecken) oder versiegelte Flächen (Straßen, Bahnstrecken mit fester Fahrbahn),
- die Belastung der Luft mit Emissionen, die Gesundheit, Pflanzen, Gebäude, Gewässer und Klima beeinflussen,
- der Eintrag von flüssigen und festen Stoffen in Boden und Gewässer sowie
- Lärmbelastung.

Im UmweltMobilCheck werden wichtige Umweltkennzahlen wie CO₂-Emissionen, Primärenergieverbrauch sowie ausgewählte Luftschadstoffe betrachtet und quantifiziert (siehe Kapitel 2.4).

2.2 Bezugsgrößen für den Vergleich

Zweck einer jeden Fahrt mit motorisierten Verkehrsmitteln ist die Bewegung von Personen oder Gütern von einem Ort zu einem anderen mit einem akzeptablen Zeit-, Kraft- und Kostenaufwand. Ein Umweltvergleich muss daher primär an der Erfüllung der Transportaufgabe, zum Beispiel also der Bewegung einer Person von A nach B gemessen werden. Im Personenverkehr wird daher üblicherweise die Umweltwirkung betrachtet, die je Person für die zurückgelegte Strecke entsteht. Bei Schadstoffemissionen ist das etwa die Einheit

„Gramm Schadstoff je Person und (gleicher) Reise“

Diese Bezugsgrößen eignen sich für den Vergleich konkreter Reisen auf bestimmten Relationen. Soll ein Umweltvergleich von Verkehrsmitteln unabhängig von konkreten Relationen bestimmt werden, wird üblicherweise der Bezug auf die Kapazität des Verkehrsmittels und einen zurückgelegten Kilometer gewählt. Beim Personenverkehr ist dies beispielsweise die Einheit „Gramm je Platz und Kilometer (g/Platz-km)“.

Der Bezug von Umweltwirkungen auf die Kapazität und den zurückgelegten Kilometer eignet sich vor allem für Potenzialbetrachtungen, jedoch nicht zur Bewertung bestimmter Transportaufgaben. Denn neben dem technischen Potenzial eines Verkehrsmittels haben vor allem folgende Parameter einen entscheidenden Einfluss auf den Umfang von Umweltwirkungen einer Reise oder eines Transportvorgangs:

- Die Entfernung und die dabei benutzten Verkehrsmittel (einschließlich Zubringer),
- die Auslastung der benutzten Fahrzeuge.

2.3 Welche Aussagen läßt ein Vergleich zu?

Der wichtigste Aspekt, der bei einem Verkehrsmittelvergleich beachtet werden muss, ist der Unterschied zwischen Individualverkehr und öffentlichem Verkehr: Öffentliche Verkehrsmittel fahren innerhalb einer Fahrplanperiode im Gegensatz zum eigenen Pkw regelmäßig und unabhängig davon, ob sie benutzt werden oder nicht. Daher gilt:

Jede individuelle Entscheidung, statt mit dem eigenen Pkw mit einem öffentlichen Verkehrsmittel zu fahren, vermeidet die gesamten direkten Umweltbelastungen, die durch die Fahrt mit dem Pkw entstehen würden.

Ein differenzierter Vergleich der Verkehrsmittel ist dann sinnvoll, wenn beispielweise

- das durchschnittliche Emissionsverhalten bei Reisen mit verschiedenen Verkehrsmitteln interessiert,
- der Vergleich der individuellen Reise im Pkw gegenüber einer Bahnreise gefragt ist,
- die Umweltbilanz für eine typische Reisesituation (wie z. B. Montagmorgen im Berufsverkehr) ermittelt werden soll.

Darüber hinaus lassen sich mit dem UmweltMobilCheck auch weitere Fragen beantworten:

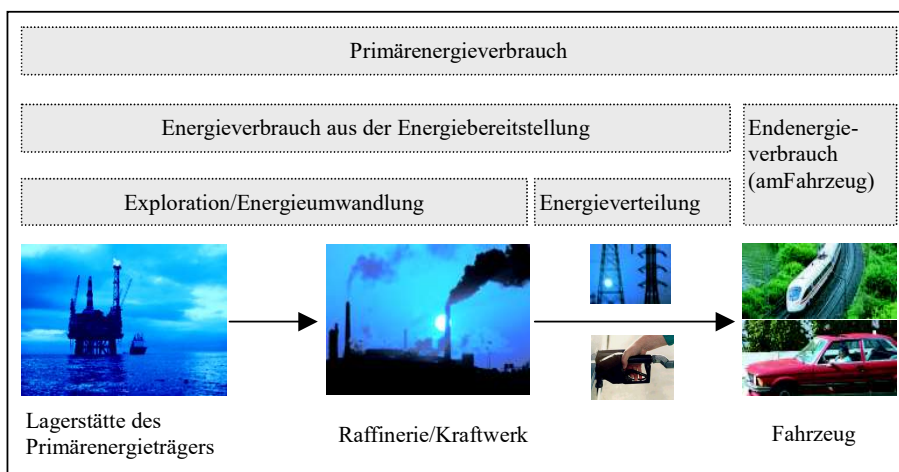
- Wie hoch ist die durchschnittliche Umweltbelastung durch eine Reise mit dem Pkw statt der Bahnreise bei durchschnittlichen Besetzungsgraden in Deutschland?
- Wie verschiebt sich die Umweltbelastung der Pkw-Reise durch
 - individuell geänderte Auslastung?
 - die Wahl eines anderen Fahrzeugtyps, einer anderen Größenklasse oder Antriebsart?

- Wie viel Energie bzw. Emissionen kann man einsparen, wenn man statt mit dem Pkw mit der sowieso verkehrenden Bahn fährt?
- Welchen Einfluss haben die jeweiligen Verkehrsmittel bei einer zusammengesetzten Reisekette im Öffentlichen Verkehr (z.B Bus, Bahn, Taxi)?

2.4 Welche Umweltwirkungen werden verglichen?

Einen hohen Stellenwert in der Umweltdiskussion haben der Primärenergieverbrauch und die Emissionen zahlreicher luftgetragener Komponenten wie CO₂, NO_x oder Partikel. Da in diesem Bereich in der Vergangenheit zahlreiche Daten gesammelt und Methoden zur Beurteilung der Emissionen entwickelt wurden, können viele relevante Luftschadstoffemissionen der Verkehrsmittel miteinander verglichen werden. Dies gilt insbesondere für die direkten Emissionen und den Energieverbrauch beim Betrieb der Fahrzeuge sowie für die, bei der Bereitstellung von Kraftstoffen und Strom, entstehenden Aufwendungen (Energiebereitstellung).

Abb. 1 Aufteilung von Primärenergieverbrauch und Emissionen nach „Fahrzeug“ und „Energiebereitstellung“



Nicht quantifiziert werden im UmweltMobilCheck die Emissionen und energetischen Aufwendungen für die Herstellung, den Unterhalt und die Entsorgung von Fahrzeugen und Infrastruktur. Erneuerbare Energien werden gemäß Emissionsbilanz Umweltbundesamt [UBA 2018] berechnet.

Beim quantitativen Vergleich von Energieverbrauch und Emissionen der Verkehrsmittel muss insbesondere beachtet werden, dass Relevanz und Wirkung vieler Komponenten von ihrem Emissionsort abhängig sind. So sind die direkten Emissionen der Pkw im Innerortsbereich je nach Komponente anders zu bewerten als die außerhalb von Ballungsgebieten über hohe Schornsteine ausgestoßenen Emissionen der Kraftwerke, die zur Bahnstromversorgung eingesetzt werden. Im UMC werden die direkten Emissionen mit „davon am Fahrzeug“ bezeichnet.

Zu den lokal wirksamen und die Gesundheit der Menschen beeinträchtigenden Komponenten zählen insbesondere die Partikel sowie Stickoxide. Unabhängig vom Emissionsort wirken die klimarelevanten Stoffe, vor allem Kohlendioxid, aber auch Methan und Distickstoffmonoxid (im UMC als CO₂-Äquivalent zusammengefasst).

Eine besondere Klimawirksamkeit geht nach Erkenntnissen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) von den Emissionen des Flugverkehrs oberhalb der Tropopause aus. Die Tropopause befindet sich je nach Jahreszeit und Region in unterschiedlichen Höhen, in der Regel jedoch oberhalb von neun Kilometern. Im UmweltMobilCheck wird diese zusätzliche Klimawirksamkeit nicht berücksichtigt.

Weitere Umweltwirkungen wie Lärm, Flächenverbrauch oder Wasserbelastung werden im UMC nicht verglichen.

2.4.1 Energieverbrauch

Der UMC betrachtet sowohl den Endenergieverbrauch (am Fahrzeug), als auch den Primärenergieverbrauch (Verbrauch am Fahrzeug sowie durch Exploration, Umwandlung und Verteilung). Der Energieverbrauch wird in der Einheit „Liter Benzinäquivalent je Person und Reise“ angegeben. Die Primärenergie wird zusätzlich in MJ (= 1 Million Joule) dargestellt.

Energieverbrauch am Fahrzeug: Der Energieverbrauch bzw. die Emissionen am Fahrzeug entstehen beim Betrieb der Fahrzeuge während der Reise und beziehen sich somit auf die Endenergie Benzin, Dieselmotorkraftstoff oder Strom, die von den Fahrzeugen direkt verbraucht wird. Bildlich ausgedrückt, ist das der Kraftstoff im Tank, bzw. der Strom ab dem Stromabnehmer der Lokomotive. Enthalten sind somit auch Nebenverbräuche, wie beispielsweise die für Heizung, Klimaanlage, Beleuchtung oder Bordrestaurant.

Energieverbrauch aus der Exploration/Energieumwandlung: Der Energieverbrauch bzw. die Emissionen aus der Exploration/Energieumwandlung sind die anteiligen Emissionen bzw. energetischen Aufwendungen für die Förderung, den Transport und die Umwandlung der Primärenergieträger (z.B. Rohöl, Steinkohle, Erdgas) in die Endenergieträger Benzin, Diesel und Strom. Basis der Zuordnung ist die Menge der von den Fahrzeugen verbrauchten Endenergie.

Energieverbrauch aus der Energieverteilung: Hierunter fallen die Verluste bzw. der Energieaufwand für den Transport der Energie zum Fahrzeug.

2.4.2 Emissionen

Kohlendioxid und Klimawirksamkeit (CO₂ und CO₂-e): Der von Menschen verursachte Treibhauseffekt wird überwiegend durch die Emission von Kohlendioxid (CO₂) verursacht, das bei der Verbrennung fossiler Energieträger entsteht. Er gilt in Hinblick auf die Risiken im Zusammenhang mit der Erwärmung der Atmosphäre als sehr problematisch.

Neben Kohlendioxid tragen auch andere Komponenten, vor allem Methan (CH₄) und Distickstoffmonoxid (N₂O) zum Treibhauseffekt bei. Diese werden unter dem Sammelbegriff „Klimawirksamkeit“ entsprechend der Empfehlung von [IPCC 2007] zusammengefasst. Beim Flugverkehr sind auch der Ausstoß von Wasserdampf, der Ozon- und Methanabbau durch

Stickoxide sowie der Einfluss von Rußpartikeln und von Sulfaten in der oberen Troposphäre klimawirksam.

Schwefeldioxid (SO₂): Schwefeldioxid verursacht unterschiedliche Schäden bei Mensch und Tier (Atemwegserkrankungen), der Vegetation („Waldsterben“), am Boden und in Gewässern (Versauerung) und an Gebäuden (Säurefraß). In der oberen Troposphäre vermindern Sulfate die Erderwärmung. Die Schwefeldioxidemissionen wurden in Deutschland in der Vergangenheit bei allen Verursachern stark reduziert, so dass die Mengen, die die Verkehrsmittel bzw. die Kraftwerke und Raffinerien in Deutschland emittieren, entsprechend gesunken sind. Allerdings entstehen größere Mengen noch beim Seetransport der Primärenergieträger. Dies führt in dem Verkehrsmittelvergleich zu hohen Anteilen der indirekten Emissionen bei allen Verkehrsmitteln. Abhängig vom Entstehungsort sind die Wirkungen von Schwefeldioxid unterschiedlich zu bewerten. Für die Wirkung auf den Menschen sind vor allem die innerörtlichen Emissionen bedeutsam, für die anderen Wirkungen die überregionalen Emissionen.

Stickoxide (NO_x): Wie Schwefeldioxid sind Stickoxide für zahlreiche Schädwirkungen bei Mensch und Tier (Atemwegserkrankungen), am Boden und in Gewässern (Versauerung, Überdüngung) verantwortlich. Neben den Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffen gelten Stickstoffoxide als wichtige Vorläufersubstanz des Sommersmogs (bodennahes Ozon).

Abhängig vom Entstehungsort sind die Wirkungen von NO_x unterschiedlich zu bewerten. Für die Wirkung auf den Menschen sind vor allem die innerorts entstehenden Emissionen bedeutsam, für die anderen Wirkungen wie z.B. die Überdüngung und den Sommersmog auch die überregional verursachten Emissionen. Beim Flugverkehr sind Stickstoffoxide in der oberen Troposphäre am Ozon- und Methanabbau beteiligt.

Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC): Bei den Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffen handelt es sich um eine Vielzahl von Komponenten unterschiedlicher Wirksamkeit und Menge. Sie gelten neben den Stickstoffoxiden als Vorläufersubstanz des Sommersmogs (bodennahes Ozon) und sind damit auch relevant, wenn ihr Entstehungsort überwiegend außerhalb von Ballungsräumen bzw. geschlossenen Ortschaften ist. Andere Substanzen (z.B. Benzol) wirken krebserregend. Da ihre Wirkung vor allem im innerstädtischen Bereich relevant ist, wird sie hier nicht ausgewiesen.

Feinstaub (PM₁₀): Feinstaub <10µm ist ein Bestandteil des Schwebstaubs. Als Schwebstaub gelten alle festen und flüssigen Teilchen in der Außenluft, die nicht sofort zu Boden sinken, sondern eine gewisse Zeit in der Atmosphäre verweilen. Schwebstaub oder das atmosphärische Aerosol bezeichnet man in der Wissenschaft international als Particulate Matter (PM). Die Größe der Staubteilchen – der sogenannten Partikel – und ihre chemische Zusammensetzung bestimmen die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Schwebstaubes. Der Durchmesser der Partikel reicht von einigen Nanometern (nm oder Milliardstel Meter) bis zu 100 Mikrometern (µm oder Millionstel Meter).

PM₁₀-Teilchen haben einen Durchmesser von bis zu 10 Mikrometern. Für sie hat die EU in der Richtlinie 1999/30/EG strenge Grenzwerte für die Luftqualität festgelegt.

Problematisch ist Feinstaub vor allem wegen der möglichen gesundheitlichen Schäden. Die Wirkungen reichen von vorübergehenden Beeinträchtigungen der Atemwege (was sich in der Zunahme von Atemwegssymptomen, wie zum Beispiel Husten, und verschlechterten Lungenfunktionsmesswerten zeigt) über einen erhöhten Medikamentenbedarf bei Asthmatikern bis zu vermehrten Krankenhausaufnahmen sowie einer Zunahme der Sterblichkeit wegen Atemwegserkrankungen und Herz-Kreislauf-Problemen (Beschreibung Schwebstaub nach [UBA 2005]).

Im UmweltMobilCheck werden die verbrennungsbedingten Feinstaubemissionen der Fahrzeuge und zusätzlich die Feinstaubemissionen aus der Energiebereitstellung angegeben. Nicht enthalten sind die Emissionen durch Brems-, Reifen-, Schienen- und Oberleitungsabrieb sowie durch Aufwirbelung.

III. Daten und Annahmen zur Energie- und Emissionsberechnung

3.1 Pkw

Für die Fahrt mit dem Pkw werden verschiedene Antriebsarten (Otto, Diesel, Elektro), Größenklassen (Kleinwagen, Mittelklasse, Oberklasse) und Emissionsstandards (konventionell, Euro 1 bis Euro 6, Bundesstrommix, 100% Ökostrom) zur Auswahl angeboten.

Energieverbrauch und Emissionen der Pkw sind auf verschiedenen Straßenkategorien unterschiedlich. Daher wird bei der Berechnung im UMC zwischen den Straßenkategorien „Innerorts“, „Außerorts“ (ohne Autobahnen) und „Autobahnen“ unterschieden.

Die Werte für den Innerortsverkehr enthalten anteilig die Verdunstungsemissionen (NMHC) durch die Tankatmung sowie die zusätzlichen Emissionen im Fahrbetrieb, die durch den Start und die Fahrt mit nicht warmen Motoren entstehen. Fahrten auf Außerortsstraßen und Autobahnen finden fast ausschließlich mit betriebswarmen Motoren statt.

Alle Werte für den spezifischen Energieverbrauch und die Emissionsfaktoren werden angegeben in Gramm je Fahrzeugkilometer (g/km). Die Datenbasis ist damit identisch mit dem europäischen Tool Ecopassenger [UIC 2016]. Hier werden Werte aus dem Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA 3.3) von [INFRAS 2017] für die NO_x, NMHC und PM Emissionen sowie Werte aus TREMOD Version 5.5 [ifeu 2018] für die Energieverbräuche verwendet. Dabei basieren alle Energieverbräuche und Emissionsdaten auf Realdaten und nicht auf dem neuen europäischen Fahrzyklus.

Mit der Unterscheidung nach Fahrzeugtypen und Straßenkategorien wird das unterschiedliche Energieverbrauchs- und Emissionsverhalten hinreichend genau abgebildet. Dadurch werden ebenfalls die verschiedenen technischen Konzepte als auch das Fahrverhalten, wie Fahrdynamik oder gefahrene Höchstgeschwindigkeiten ausreichend berücksichtigt.

Zu diesen Werten des Endenergieverbrauchs kommt noch der Verbrauch für die Energiebereitstellung (siehe Kapitel 3.4).

Tab. 1 Durchschnittliche direkte Kraftstoffverbräuche (in Liter/100 km) für Pkw der Stufe Euro 5 nach Größenklassen und Straßenkategorien

Fahrzeugtyp	Größenklasse	Autobahn	Außerorts ohne Autobahn	Innerorts
Otto Pkw Euro 5	Kleinwagen	6,2	4,8	7,3
	Mittelklasse	7,4	5,8	8,6
	Oberklasse	9,1	7,1	10,4
Diesel-Pkw Euro 5	Kleinwagen	4,4	3,8	5,6
	Mittelklasse	5,3	4,5	6,6
	Oberklasse	6,7	5,8	8,4
Quelle: [ifeu 2018]				

Zur Berücksichtigung der Auslastung der Pkw wird angenommen, dass ein Fahrzeug mit maximal 5 Personen besetzt werden kann. Als mittlere Auslastung wird ein Wert von 1,5 Personen je Fahrzeug angenommen.

Im UmweltMobilCheck wird für die Auslastung der Pkw die unter den Angaben zur Preisberechnung der Bahntickets ursprünglich eingestellte Anzahl der Reisenden übernommen (max. 5 Personen). Für Gruppenreisen (mehr als 5 Bahnreisende) steht kein UmweltMobilCheck zur Verfügung. Die Personenzahl ergibt sich aus der Summe der angegebenen Anzahl Erwachsener und Kinder. Alternativ kann unter „Einstellungen ändern“ die Berechnung auf die mittlere Auslastung von 1,5 Personen umgestellt werden. Dieser Wert entspricht dem Mittelwert, der sich aufgrund der Statistik für den Pkw-Verkehr in Deutschland ergibt [ViZ]. In demselben Fenster ist auch eine individuelle Einstellung der Fahrzeugklasse und der Antriebsart möglich. Voreingestellt ist ein PKW Mittelklasse, Diesel Euro 5.

3.2 Bahn und öffentlicher Personenverkehr

Der UmweltMobilCheck ermöglicht einen Vergleich einer Pkw-Fahrt zu einer Fahrt mit öffentlichen Verkehrsmitteln. Dies kann auf kurzen Strecken beispielsweise eine Bus- oder U-Bahn-Fahrt sein. Auf längeren Strecken kann das eine Bahnfahrt oder eine aus mehreren Verkehrsmitteln zusammengesetzte Verbindung sein. Ein Beispiel dafür wäre eine Fahrt mit dem Bus als Zubringer zum Bahnhof, danach die Fahrt per Bahn und im Anschluss eine Taxifahrt vom Zielbahnhof zur Zieladresse.

3.2.1 ÖPNV und Zubringer

Im UmweltMobilCheck lassen sich standardmäßig alle Haltestellen des Öffentlichen Verkehrs als Start- und Zielort auswählen. Für diese Auswahl wird automatisch eine Verbindung ermittelt. Als Verkehrsmittel werden neben der Bahn auch der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV mit Linienbus, Straßen-, Stadt- oder U-Bahn) berücksichtigt. In den erweiterten Optionen besteht zusätzlich die Möglichkeit, beliebige Adressen oder Sehenswürdigkeiten als Start- und Zielort auszuwählen. In diesen Fällen werden zusätzlich Taxi, Pkw oder ein Fuß- oder Fahrradweg zur Haltestelle oder zum Bahnhof berücksichtigt, falls das sinnvoll ist. Bevorzugt werden Fußweg und öffentliche Verkehrsmittel ausgewählt. Pkw oder Taxi wird nur verwendet, wenn die Verbindung mit öffentlichen Verkehrsmitteln sehr ungünstig ist, Pkw und Taxi also deutlich schneller sind oder ein Fußweg zu weit ist.

Auslastung: Der Auslastungsgrad des ÖPNV wird einheitlich mit 21 % veranschlagt [2018], bei Pkw und Taxi wird die Personenzahl entsprechend der Vorgabe für die reine Pkw-Fahrt übernommen. Beim Taxi wurde zusätzlich eine halbe Leerfahrt pro Fahrt berücksichtigt.

Die Auslastung der Verkehrsmittel wird als prozentualer Anteil der besetzten Plätze an allen Plätzen angegeben. Bei den öffentlichen Verkehrsmitteln Straßen-, Stadt-, U-Bahn und Bus im Nahverkehr bezieht sich der Wert auf die vorhandenen Sitz- und Stehplätze.

Endenergieverbrauchs- und Emissionsfaktoren: Für die Berechnung des ÖPNV bzw. des Zubringerverkehrs werden Energiekennwerte und Emissionsfaktoren für die Verkehrsmittel „Linienbus“, „Taxi“, „Straßen-, Stadt- und U-Bahnen“, „Otto-Pkw“ und „Diesel-Pkw“ benötigt. Da mit diesen Verkehrsmitteln in der Regel nur ein kleiner Teil der Strecke zurückgelegt wird, werden Durchschnittswerte für die Situation in Deutschland verwendet. Folgende Werte werden abgeleitet:

Linienbus: Spezifischer Endenergieverbrauch in „Gramm Dieselkraftstoff je Platz-Kilometer“= 4,4 g/Platz-km [ifeu 2018]. Dieser wurde als Mittelwert über alle Linienbusse in Deutschland aus TREMOD abgeleitet. Ebenso wurden die Emissionsfaktoren in der Einheit „Gramm je kg Dieselkraftstoff (g/kg)“ bestimmt.

Taxi: Spezifischer Endenergieverbrauch in „Gramm Dieselkraftstoff je Platz-Kilometer (g/Platz-km)“ unter der Annahme, dass im Taxi 4 Plätze zur Verfügung stehen. Basis war der Energieverbrauch eines moderneren Diesel-Pkws der Mittelklasse im Innerortsverkehr. Ebenso wurden die Emissionsfaktoren in der Einheit „Gramm je kg Dieselkraftstoff (g/kg)“ bestimmt. Um eventuelle Leerfahrten zu berücksichtigen, wurde zusätzlich ein Aufschlag von 50% auf den Energieverbrauch (und damit auf die Emissionen) vorgenommen. Diese Annahme bedeutet, dass bei jeder zweiten Taxifahrt eine Leerfahrt gleicher Länge erforderlich ist. Insgesamt ergibt sich damit ein Wert von 22 g/Platz-km [ifeu 2018].

Straßen-, Stadt- und U-Bahnen: Spezifischer Endenergieverbrauch in „Wattstunde Strom je Platz-Kilometer“= 23 Wh/Platz-km [ifeu 2018]. Dieser wurde als Mittelwert über alle Straßen-, Stadt- und U-Bahnen in Deutschland aus TREMOD abgeleitet.

Pkw: Spezifischer Endenergieverbrauch in „Gramm Otto- oder Dieselkraftstoff je Platz-Kilometer (g/Platz-km)“ unter der Annahme, dass im Pkw 5 Plätze zur Verfügung stehen. Es werden dabei die Verbrauchswerte der Pkw je Größen- und Euroklasse zugrunde gelegt (siehe auch Tabelle 1).

3.2.2 Bahn

Fahrzeuge und Fahrweg: Der Hauptlauf der Bahn kann mit verschiedenen Zuggattungen durchgeführt werden. Jede Zuggattung kann wiederum unterschiedlich zusammengesetzt und angetrieben sein. Die Art des Antriebs (Elektromotor oder Dieselmotor) wird als Betriebsart bezeichnet.

Da mit höheren Geschwindigkeiten der Energieverbrauch ansteigt, wird der ICE-Verkehr in die Geschwindigkeitsklassen „<200 km/h“ und „>200 km/h“ unterteilt. Die Möglichkeit, über 200 km/h schnell zu fahren, hängt von der zulässigen Streckenhöchstgeschwindigkeit ab und damit vom Streckenabschnitt (Teilstrecke).

Weitere Merkmale, wie z.B. die Länge oder das Gewicht des Zuges und die Streckenführung (Kurvigkeit, Steigung/Gefälle, Haltestellenabstände) werden nicht unterschieden. Sie sind in den durchschnittlichen Energieverbräuchen berücksichtigt.

Die einzelnen Parameter werden im UmweltMobilCheck folgendermaßen ermittelt:

- Die Reiseentfernung ergibt sich aus der Entfernung zwischen den Haltebahnhöfen
- Die mögliche Höchstgeschwindigkeit (<200 km/h, >200 km/h) zwischen zwei Halten wird aus der Fahrzeit und der zuvor berechneten Entfernung berechnet.
- Zur Bestimmung der Betriebsart (Elektrisch/Diesel) wird auf Informationen über die nicht elektrifizierten Streckenabschnitte zurückgegriffen. Grundsätzlich wird elektrischer Betrieb unterstellt. Dieselbetrieb wird angenommen, wenn der Zuglauf ganz oder teilweise auf nicht- elektrifizierten Streckenabschnitten stattfindet.

Auslastung: Die Auslastung der Züge wird als prozentualer Anteil der besetzten Plätze an allen Plätzen im Zug angegeben (rechnerisch: Personenkilometer pro Platzkilometer bzw. Person je Platz). Dabei werden durchschnittliche Auslastungen je Zuggattungen verwendet.

Die Auslastungswerte wurden je Zuggattungen für das Jahr 2016 auf Grundlage des Reisenden-Erfassungs-Systems der DB AG ermittelt:

ICE	56 %
EC/IC	48 %
RE/RB/IRE	25 %
S-Bahn	29 %

Diese Durchschnittswerte werden für alle Relationen verwendet. Die reale Auslastung einer Zugfahrt kann je nach Tages-/Jahreszeit oder Streckenabschnitt davon abweichen und kann deshalb methodisch nicht abgebildet werden. Neben der durchschnittlichen Auslastung kann (unter „Einstellungen ändern“) auch die maximale Auslastung (100%) als Vorgabe für die Berechnung ausgewählt werden.

Endenergieverbrauchs- und Emissionsfaktoren: Die Energie- und Emissionskennzahlen für den Betrieb der Züge werden in der gleichen Systematik wie beim Zubringerverkehr angegeben:

- Spezifischer Energieverbrauch in „Gramm Dieselkraftstoff je Platz-km (g/Platz-km)“ bzw. in „Wattstunde Strom je Platz-km (Wh/Platz-km)“. Der zugrundeliegende Strom ist innerhalb Deutschlands der Strommix des jeweiligen Eisenbahnverkehrsunternehmens bzw. optional der nationale Strommix. Außerhalb Deutschlands wird grundsätzlich der nationale Strommix verwendet.

- Emissionsfaktoren für den dieselbetriebenen Schienenverkehr in „Gramm je kg Dieselkraftstoff (g/kg)“. Die zugrunde liegenden Basisdaten stammen aus den DB-Betriebsdaten 2017.

Gibt es bei den Energiequellen Diesel, Benzin, Gas eine weitgehend einheitlich anerkannte Berechnung der Emissionsfaktoren, so ist diese für Strom in den letzten Jahren vermehrt in der Diskussion. Aktuell haben sich zwei Betrachtungsweisen als gleichberechtigt nebeneinander stehend erwiesen, denen der UMC gerecht wird:

- die „market based method“, die den Unternehmensstrommix zugrunde legt
- die „location based method“, die den jeweiligen Landesstrommix zugrunde legt

Beide Sichten unterscheiden sich darin, dass im Falle der „market based method“ ein Unternehmen z. B. freiwillig zusätzlich Ökostrom einkauft, um damit seine CO₂-Bilanz zu verbessern. Im anderen Fall („location based method“) wird dies nicht berücksichtigt. Im UMC kann der elektrisch betriebene Eisenbahnverkehr nun ebenfalls aus beiden Blickwinkeln betrachtet werden. Also entweder mit dem Emissionsfaktor des Strommixes des Bahnunternehmens oder mit dem Emissionsfaktor des nationalen Strommixes. Beim elektrischen PKW gibt es quasi analog die Möglichkeit, zwischen 100 % Ökostrom und dem Emissionsfaktor des nationalen Strommixes zu wählen. Beides lässt sich im UMC mit dem Button „Einstellungen ändern“ auswählen. Da der UMC den tatsächlich genutzten Strommix des Fahrzeugbetreibers nicht kennt, bleibt nur die Möglichkeit eines Vergleichs mit diesen beiden „Eckwerten“.

Spezifischer Energieverbrauch: Basis für den spezifischen Energieverbrauch verschiedener Zuggattungen der DB AG sind Messwerte. Ermöglicht wird dies, weil alle elektrischen Triebfahrzeuge mit Strommessgeräten ausgerüstet sind und Dieselverbräuche durch Erfassung der Tankdaten erhoben werden. Neben den Verbräuchen werden gleichzeitig Streckenlänge und Platzangebot erfasst. Der spezifische Energieverbrauch des ICE wird nach den Geschwindigkeitsklassen „<200 km/h“ und „>200 km/h“ differenziert.

Tab. 2 Spezifische Energieverbräuche nach Betriebsarten, Zuggattungen und Streckenhöchstgeschwindigkeiten der DB

Betriebsart	Zuggattung	Vmax	Wert	Einheit	Quelle
Elektro	ICE	<200 km/h	26	Wh/Platz-km	DB AG 2017
		>200 km/h	38		
	EC/IC	22			
	RE/RB/IRE	21			
S-Bahn	18				
Diesel	EC/IC		8	g/Platz-km	
	RE/RB/IRE		6		

Die spezifischen Verbrauchswerte der übrigen europäischen Länder basieren auf der Datengrundlage für Ecopassenger (siehe <http://www.ecopassenger.org>).

Emissionsfaktoren: Die direkten Emissionsfaktoren (TTW) für den dieselbetriebenen Schienenverkehr werden von der DB AG ermittelt. Sie sind in folgender Tabelle dargestellt. Werte für den elektrischen Verkehr finden Sie in Kapitel 3.4.2.

Tab. 3 Emissionsfaktoren (TTW) für die Dieselflotte der DB 2017 (in g/kg Diesel)

Zuggattung	CO ₂	CO ₂ -e	NO _x	SO ₂	NMHC	Partikel*
EC/IC	2.930	2.970	46	0,02	1,8	0,47
RE/RB/IRE	2.930	2.970	33	0,02	1,5	0,54
Anmerkungen: Partikel im UMC bezeichnet als Feinstaub am Fahrzeug (=direkte verbrennungsbedingte Fahrzeugemissionen) Quelle: DB AG 2017 (NO _x , SO ₂ , NMHC, Partikel); ifeu 2018 (CO ₂ , CO ₂ -e)						

3.3 Flugverkehr

Der UmweltMobilCheck stellt Informationen zu den Umweltwirkungen von Flugreisen innerhalb Deutschlands zur Verfügung. Dazu wird die kürzeste Flugverbindung zwischen Start- und Zielort abgeschätzt. Die Gesamtdistanz dieser Flugverbindung setzt sich zusammen aus den Entfernungen für die Fahrt vom Startort zum Flughafen bzw. vom Zielflughafen zum Zielort und der Luftlinienentfernung zwischen den für die Start- und Zielorte in Frage kommenden Flughäfen. Jede so bestimmte Flugverbindung wird auf Plausibilität geprüft, d. h. sie wird nur dann für die Emissionsberechnung in Betracht gezogen, wenn die mit der Benutzung der Flugverbindung verbundenen Umwege (in Summe mit der eigentlichen Flugdistanz) ein bestimmtes Verhältnis zur Luftlinienentfernung zwischen Start- und Zielort nicht überschreiten (Umwegfaktor). Erfüllt sie diese Bedingung nicht, wird sie verworfen und die nächst kürzere untersucht. Möglicherweise werden dabei alle in Frage kommenden Flugverbindungen als nicht plausibel eingestuft, so dass keine Ergebnisse für den Flugverkehr angezeigt werden.

Damit wird bspw. eine Flugverbindung für den Fall als nicht plausibel eingestuft, bei der Start- und Zielort auf einer Ellipse zwischen Frankfurt und Hannover liegen und vom Startort aus erst zum Flughafen Frankfurt (also vom Zielort weg) gefahren werden muss um dort in das Flugzeug nach Hannover zu steigen, um von dort wiederum in Richtung Frankfurt zum Zielort zu fahren. So erhält man keine sinnvolle Flugverbindung zwischen Hannover und Göttingen, weil der damit verbundene Umweg über Frankfurt das Verhältnis zwischen Gesamtdistanz und Luftlinienentfernung zwischen Hannover und Göttingen mehr als verdoppelt. Zwischen Fulda und Hannover wird eine Flugverbindung berechnet, weil hier der „Umwegfaktor“ einen akzeptierten Wert erreicht.

Insgesamt sind 35 innerdeutsche Flughäfen enthalten. Als Zu-/Abbringer zum Flughafen können Pkw oder Bahn ausgewählt werden. Das ist über den Button „Einstellungen ändern“ möglich.

Die Flugverbindungen werden unabhängig von konkreten Fahrplandaten berechnet. Die angegebenen Reisezeiten errechnen sich aus Durchschnittsangaben zu den Flugzeiten zwischen den Flughäfen und durchschnittlichen Reisezeiten für die Zubringer. Zusätzlich werden für den Übergang an den Flughäfen insgesamt 75 Minuten berücksichtigt.

Der nationale und internationale gewerbliche Flugverkehr wird heutzutage fast ausschließlich mit Verkehrsflugzeugen durchgeführt, die mit Flugzeugturbinen angetrieben werden und Kerosin als Kraftstoff benutzen. Mit der Verbrennung von Kerosin entstehen, wie bei anderen Verbrennungsprozessen in Fahrzeugen auch, eine Reihe von Emissionen. Das sind insbesondere die Komponenten, die auch bei den übrigen Verkehrsmitteln im Rahmen des UmweltMobilChecks betrachtet werden, also Kohlendioxid, Stickoxid, Kohlenwasserstoffe, Schwefeldioxid und Feinstaub.

Flugzyklen: Der Flug wird in unterschiedliche Flugphasen unterteilt: Taxi (Rollverkehr), Start und Landeanflug (LTO) sowie Steigflug, Reiseverkehr und Sinkflug (CCD). **Flugentfernungen:** Grundlage für die Berechnung der kürzesten Flugverbindung zwischen einem Start- und einem Zielort sind die Großkreisentfernungen zwischen den Flughäfen. Diese berechnen sich aus der Luftlinie zwischen den Flughäfen unter Berücksichtigung der Erdkrümmung. Folgende Tabelle zeigt beispielhaft die Großkreisentfernungen zwischen acht großen deutschen Flughäfen.

Tab. 4 Großkreisentfernungen zwischen den großen Verkehrsflughäfen in Deutschland (in km)

	Bonn/ Köln	Düsseldorf	Frankfurt	Hamburg	Hannover	Leipzig	München	Stuttgart
Berlin/Tegel	464	470	430	- 1)	262	146	479	518
Bonn/Köln		- 1)	138	364	250	361	438	286
Düsseldorf			187	342	240	379	485	336
Frankfurt				410	279	299	300	158
Hamburg					- 1)	288	600	552
Hannover						208	480	421
Leipzig							343	372
München								194
1) Keine sinnvolle Flugentfernung								

Die reine Flugdistanz kann bei einem Flug verlängert werden durch Umwege und Warteschleifen. Zur Größenordnung der Länge von Umwegen und Warteschleifen liegen folgende Angaben vor:

- In der Atmosfair-Dokumentation [ATMOSFAIR 2008] werden Umwegfaktoren in Abhängigkeit der Großkreisentfernung nach einer persönlichen Mitteilung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) zitiert. Der absolute Umweg ergibt sich daraus für alle Distanzen zu etwa 50 km.

Der Einfluss des Windes wird aufgrund der überwiegend paarigen Verkehre nicht berücksichtigt.

Um mögliche Umwege und Warteschleifen zu berücksichtigen, wird im UmweltMobilCheck zusätzlich zur Großkreisentfernung pauschal angenommen, dass je Flug zusätzlich 50 km zurückgelegt werden, die entsprechende Mehrmissionen verursachen. Dies entspricht einem Mehrverbrauch pro Flug und Passagier von gut 2 kg Kerosin.

Flugzeugtypen: Für den UMC wurden für jede Flugdistanz die mittlere Flotte, wie sie 2014 in Deutschland eingesetzt wurde, zugrunde gelegt [ifeu 2018]. Typische Flugzeugtypen für kurze und mittlere Distanzen sind Flugzeuge der B737-Familie und der A319-321 Familie.

Auslastung: Die Auslastung von Passagierflugzeugen in Europa liegt zwischen 71% (nationale Verbindungen) und 80% (internationale Verbindungen) [DESTATIS 2015], [EUROSTAT 2015]. Daher wird, analog zu den Angaben in Ecopassenger, für Flugdistanzen zwischen 125 und 375 km eine Auslastung von 71% angenommen, für Flugdistanzen zwischen 500 und 625 km werden 75% Auslastung angesetzt und für Flugdistanzen größer als 750 km 80%.

Energieverbrauch und Emissionsfaktoren: Der Energieverbrauch und die Emissionsfaktoren der Flugzeuge stammen aus dem air pollutant emission inventory guidebook [EMEP-EEA 2013]. Hier sind Daten zu den unterschiedlichen Flugphasen und zu unterschiedlichen Entfernungstufen enthalten. Um auf die durchschnittlichen Emissionsfaktoren zu kommen, wurde eine typische Flughöhe für die unterschiedlichen Entfernungstufen in Deutschland angesetzt. Diese Daten sollten ähnlich denen anderer europäischer Staaten sein und werden daher im Folgenden gezeigt.

In der Tabelle sind die Energieverbräuche und Emissionsfaktoren von Flugzeugen aus EcoPassenger für die verschiedenen Entfernungsstufen gezeigt.

Tab. 5 Mittlere Emissionsfaktoren (in g/kg) für den Verkehrsflug nach Entfernungsstufen (TTW)

Entfernungsklasse	Energieverbrauch	CO ₂	NO _x	SO ₂	NM VOC	PM
	g/Platz-km	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
125 km	120,5	3.150	12,6	0,2	0,95	0,24
250 km	75,7	3.150	14,2	0,2	0,72	0,27
375 km	60,1	3.150	13,8	0,2	0,72	0,26
500 km	42,7	3.150	16,6	0,2	0,52	0,29
625 km	38,4	3.150	15,1	0,2	0,58	0,29
750 km	36,0	3.150	14,7	0,2	0,59	0,30
1000 km	33,2	3.150	14,2	0,2	0,51	0,30
>1000 km	19,0	3.150	14,4	0,2	0,45	0,31

Quelle: EMEP_EEA 2013, ifeu Annahmen

3.4 Energieverbrauch und Emissionsfaktoren der Energiebereitstellung

3.4.1 Kraftstoffe

Bei Otto- und Dieselmotoren werden die Emissionsfaktoren für die Energiebereitstellungskette der Kraftstoffe ab Förderung des Rohöls bis zur Betankung der Fahrzeuge, einschließlich der Verdunstungsemissionen bei Umfüllvorgängen und der Transporte der Energieträger mit Fahrzeugen berücksichtigt. Dabei wird ebenfalls mit denselben Werten wie in EcoPassenger gearbeitet. Diese stammen aus TREMOD [ifeu/INFRAS/LBST 2015] und aus der EN 16258, wobei sich beide Quellen auf europäische Joint Research Centre-Studien [JEC 2014] beziehen. Die Emissionsfaktoren für Biokraftstoffe stammen vom ifeu [ifeu 2018] und sind anteilig bereits in die konventionellen Kraftstoffe mit Beimischung eingerechnet.

Tab. 6 Emissionsfaktoren der Energiebereitstellungskette für Kraftstoffe (WTT)

	CO ₂	CO ₂ -e	NO _x	SO ₂	NMHC	Partikel
	kg/kg	kg/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Benzin	0,46	0,57	1,7	1,2	2,1	0,07
Diesel	0,48	0,63	1,8	1,4	1,5	0,08
Kerosin	0,63	0,67	1,7	1,4	1,5	0,06
LPG	0,62	0,65	2,0	1,5	1,5	0,05

Emissionsfaktoren bezogen auf Endenergieverbrauch
Quelle: [ifeu 2018], [ifeu/INFRAS/LBST 2015], [EN 16258]

3.4.2 Strom

Die Energiebereitstellungskette für Strom enthält die anteiligen Aufwendungen ab der Förderung von Kohle, Erdgas etc. bis zum Stromabnehmer der Fahrzeuge einschließlich Transport der Primärenergieträger bis Kraftwerk und den Umform- und Leitungsverlusten. Zur Bestimmung der mittleren Emissionsfaktoren wird die Stromerzeugung im Jahresdurchschnitt zugrunde gelegt. Für Verkehre in Deutschland werden die Unternehmensmixe der Eisenbahnverkehrsunternehmen des Jahres 2018 angesetzt, soweit diese vorliegen. Alternativ kann im Einstellungs Menü auch der nationale Mix zugrunde gelegt werden. Für alle anderen Länder werden die Emissionsfaktoren des Stroms aus der aktuellen Version von Ecopassenger abgeleitet.

Insgesamt ergeben sich daraus für die betrachteten Energien folgende Emissionsfaktoren für Deutschland:

Tab. 7 Emissionsfaktoren (in g/kWh Endenergie) für die Bereitstellung von Elektrizität (WTT)

Strommix	CO₂	CO₂-e	NO_x	SO₂	NMHC	Partikel
	kg/kWh	kg/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh
DB Fernverkehr (100% Ökostrom , vorwiegend Wasserkraft)	0,003	0,004	0,064	0,055	0,007	0,007
DB Nahverkehr	0,556	0,608	0,555	0,539	0,056	0,036
S-Bahn Hamburg (100% Ökostrom aus Wasserkraft)	0,003	0,004	0,064	0,055	0,007	0,007
Nicht-DB Bahnen	0,554	0,606	0,554	0,537	0,056	0,036
Ökostrom Deutschland	0,019	0,022	0,121	0,031	0,004	0,011
Deutschland 1)	0,548	0,580	0,522	0,308	0,022	0,028
Eigene Berechnungen						
1) ifeu Berechnungen]						

IV. Literaturverzeichnis

- ATMOSFAIR 2008** Atmosfair - Der Emissionsrechner; Dokumentation der Grundlagen des Emissionsrechners
- CEN 2012 / EN 16258** Methodology for calculation and declaration of energy consumption and GHG emissions of transport services (freight and passengers) - EN 16258:2012; CEN/TC 320 - Transport - Logistics and services; 21.11.2012
- DB AG 2018** Auswertungen der DB-Umwelt zu den aktuellen Verkehrsleistungs-, Energie- und Umweltkennzahlen der DB AG
- DESTATIS 2015:** Luftverkehr auf Hauptverkehrsflughäfen 2014; Statistisches Bundesamt; Fachserie 8, Reihe 6.1; Wiesbaden 2015
- EMEP_EEA 2013** EMEP/EEA emission inventory guidebook 2013 1; 1.A.3.a, 1.A.5.b *Civil and military aviation; Guidebook 2013;
<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>
- ifeu 2018:-** TREMOD 5.82 - Transport Emission Model; im Auftrag des Umweltbundesamtes; Dessau/Heidelberg
- Eurostat 2015:** Energy statistics - quantities, annual data (nrg_quant), online access: Oct. 2015, data for 2013, Eurostat, Brussels; 2008
<http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- ifeu/INFRAS/LBST 2015** Klimaschutzbeitrag des Verkehrs; im Auftrag des Umweltbundesamtes; in Bearbeitung
- IPCC** Aviation and the Global Atmosphere; Bericht vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC); 2007; www.grida.no/climate/ipcc/aviation/index.htm
- INFRAS 2017** Handbook of Emission Factors for Road Transport (HBEFA): Version 3.3; www.hbefa.net
- JEC 2014** JEC - Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE collaboration
<http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/downloads>
- UBA 2018** Emissionsbilanz erneuerbarer Energien
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-10-22_climate-change_23-2018_emissionsbilanz_erneuerbarer_energien_2017_fin.pdf
- UIC 2016:** UIC CO₂ and Energy Database; Paris 2016 <http://www.uic.org/Energy-and-CO2-emissions#Environment-Strategy-Reporting-System-ESRS>
- UIC 2018** Ecopassenger; im Auftrag des Internationalen Eisenbahnverbandes (UIC). Tool und Grundlagenbericht auf www.ecopassenger.org
- VIZ** BMVBW (Hrsg.): Verkehr in Zahlen; bearbeitet von DIW; Erscheinungsweise jährlich; Bonn/Berlin