

Impressum

Herausgeber: Umweltbundesamt
Pressestelle
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau

E-Mail: pressestelle@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Stand: August 2012, aktualisierte Fassung Februar 2014

Redaktion: Fachgebiet I 1.4 -
Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Umweltfragen,
nachhaltiger Konsum

Autoren: Dr. Sylvia Schwermer (UBA)
Philipp Preiss, Wolf Müller (IER)

unter Mitarbeit von: Veronika Wille, Jutta Reumann-Schwichtenberg, Katrin Ohlau,
Sandra Torras Ortiz, Peter Fantke, Rainer Friedrich (IER);
Markus Maibach, Daniel Sutter (Infras)

Gestaltung: UBA

Titelfoto: © Wrangler / Fotolia.de

Der Anhang B basiert wesentlich auf den Ergebnissen des UFOPLAN Projektes 3708 14 101 „Schätzung externer Umweltkosten und Vorschläge zur Kosteninternalisierung in ausgewählten Politikfeldern“, bearbeitet vom Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER) und Infrac, Zürich.

Inhalt

B 1 Einleitung.....	4
B 2 Bewertung von Klimafolgeschäden: Kostensatz für Kohlendioxid- und andere Treibhausgasemissionen	5
B 3 Kostensätze für Luftschadstoffe.....	9
B 3.1 Durchschnittliche Kostensätze für Luftschadstoffemissionen.....	9
B 3.2 Differenzierte Kostensätze für Luftschadstoffemissionen aus der Energieerzeugung und industriellen Prozessen	10
B 3.3 Kostensätze für Luftschadstoffe aus dem Straßenverkehr.....	12
B 4 Umweltkosten des Straßen- und Schienenverkehrs in Deutschland	13
B 4.1 Annahmen zur Emissionsberechnung	13
B.4.2 Kostensätze für Schäden an Natur und Landschaft.....	17
B 4.3 Kostensätze für Lärm	17
B.4.4 Kostensätze für verkehrsbezogene Aktivitäten.....	19
B 5 Umweltkosten der Strom- und Wärmeerzeugung	28
B 5.1 Umweltkosten der Stromerzeugung.....	28
B 5.2 Umweltkosten der Wärmeerzeugung.....	31
B Ergänzende Tabellen zu Emissionsfaktoren Verkehr	32
Literaturverzeichnis	42

B 1 Einleitung

Fachlich fundierte Informationen zur Schätzung von Umweltkosten sind von hohem umweltpolitischem Interesse. Sie bieten wichtige Informationen zur Versachlichung der Diskussion um die Kosten und Nutzen des Umweltschutzes und für die Gestaltung der Umweltschutzinstrumente. Die ökonomische Bewertung von Umweltschäden ermöglicht es, den Nutzen umweltpolitischer Maßnahmen zu schätzen, denn umweltpolitische Maßnahmen vermeiden Kosten für Umwelt und Gesundheit in Gegenwart und Zukunft.

Für die Verwendbarkeit der Schätzungen von Umweltkosten ist eine qualifizierte Einschätzung der Validität solcher Schätzungen von großer Bedeutung. Das Umweltbundesamt hat vor diesem Hintergrund erstmals im Jahr 2007 eine „Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten“ erarbeitet. Die Konvention enthält Verfahrensvorschläge und Empfehlungen zu wichtigen Annahmen für die Schätzung von Umweltkosten (zum Beispiel zur Diskontierung, zum Umgang mit Risiko und Unsicherheit, zu Bewertungsansätzen und -methoden). Für einige Kostenkategorien (Kosten durch Luftverschmutzung und Klimafolgeschäden sowie daraus abgeleitete Kosten der Stromerzeugung, Kosten des Verkehrs) wurden Best-Practice-Kostensätze auf Grundlage der UBA-Methodenkonvention berechnet.¹

Um neue Forschungsergebnisse bei der Schätzung von Umweltkosten zu berücksichtigen, beauftragte das UBA im Jahr 2009 das Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER, Stuttgart) und das Forschungsinstitut Infras, Zürich, mit dem Forschungsprojekt „Schätzung externer Umweltkosten und Vorschläge zur Kosteninternalisierung in ausgewählten Politikfeldern“. Teil des Forschungsprojektes war die Überprüfung und Aktualisierung der Methodenkonvention im Hinblick auf aktuelle wissenschaftliche Entwicklungen. Die Ergebnisse sind in Sachstandspapieren dokumentiert.²

Dieser Anhang zur „Methodenkonvention 2.0“ enthält die UBA-Empfehlungen zu Best-Practice-Kostensätzen für Klima und Luftschadstoffe sowie die daraus abgeleiteten Schätzungen für aktivitätsbezogene Umweltkosten des Verkehrs sowie der Strom- und Wärmeerzeugung. Die Empfehlungen beruhen in wesentlichen Teilen auf den Ergebnissen des Forschungsprojektes. Weitergehende Annahmen oder Werturteile des Umweltbundesamtes, die eingeflossen sind, werden begründet. Alle Empfehlungen beziehen sich auf Euro-Werte im Jahr 2010 (€₂₀₁₀).

¹ Vgl. hierzu Maibach et al. (2007) „Praktische Anwendung der Methodenkonvention: Möglichkeiten der Berücksichtigung externer Umweltkosten bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen öffentlicher Investitionen“, Download unter <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3194.pdf> sowie das darauf basierende Hintergrundpapier des Umweltbundesamtes „Externe Kosten kennen – Umwelt besser schützen“, Download unter <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/externekosten.pdf>.

² Links zu den Sachstandspapieren THG/Klimawandel, Klassische Luftschadstoffe und Lärm stehen im Literaturverzeichnis unter Wille/Preiss/Friedrich (2012), Preiss et al. (2012) und Ohlau/Preiss/Friedrich (2012).

B 2 Bewertung von Klimafolgeschäden: Kostensatz für Kohlendioxid- und andere Treibhausgasemissionen

Aus der Zusammenschau vorliegender Schätzungen von Schadens- und Vermeidungskosten und unter der Maßgabe, eher eine vorsichtige Schätzung vorzulegen, halten wir einen Best-Practice-Kostensatz in Höhe von 80 €₂₀₁₀ / Tonne (t) CO₂ für angemessen.

Tabelle B1: UBA-Empfehlung zu den Klimakosten (in €₂₀₁₀ / t CO₂)

	Klimakosten in € ₂₀₁₀ / t CO ₂		
	Kurzfristig 2010	Mittelfristig 2030	Langfristig 2050
Unterer Wert	40	70	130
Mittlerer Wert	80	145	260
Oberer Wert	120	215	390

- Wir empfehlen, den Wert 80 €₂₀₁₀ / t CO₂ als zentralen Kostensatz zu verwenden.
- Sensitivitätsanalysen im Bereich 40 € / t CO₂ bis 120 € / t CO₂ halten wir für sinnvoll.
- Bei den Kostensätzen sollte zwischen kurz-, mittel- und langfristigen Sätzen unterschieden werden, da die Schadenskosten und auch die Vermeidungskosten im Zeitablauf steigen.
- Die Kostensätze für die Treibhausgase CH₄ und N₂O errechnen sich analog des Treibhausgaspotenzials, d.h. für CH₄ wird der 25fache Satz der CO₂ Kosten verwendet und für N₂O der 298fache Satz.³
- Treibhausgasemissionen des Flugverkehrs werden mit einem Emissionsgewichtungsfaktor (EGF) von 2 multipliziert. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass Emissionen in großer Höhe ein höheres Schadenspotenzial entwickeln.

Begründung:

Zur Schätzung des Kostensatzes für Kohlendioxidemissionen werden sowohl Schadenskosten als auch Vermeidungskosten herangezogen. Das IER hat in dem Sachstandspapier „Treibhausgase – Klimawandel“ (Wille et al. 2012) die Ergebnisse vorliegender Studien zu den Schadenskosten des Klimawandels und den Vermeidungskosten zur Erreichung klimapolitischer Ziele ausgewertet.

IER schlägt vor, zur Erreichung des 2-Grad Ziels den Vermeidungskostenansatz zu verwenden⁴ und ermittelt einen Kostensatz in Höhe von 77€₂₀₁₀ / t CO₂. Der Kostensatz steigt

³ Vgl. IPCC (2007a) und Blasing (2012): http://cdiac.ornl.gov/pns/current_ghg.html

im Zeitablauf an, da die günstigen Vermeidungsoptionen zuerst gewählt werden. Grundlage der Empfehlung ist eine umfangreiche Literaturlauswertung. Als Vermeidungskosten werden die Werte der Meta-Studie von Kuik et al. (2009) für ein Ziel bei 450ppm CO₂e empfohlen. Auf Basis der Literaturlauswertung und Interpolation gelangt man zu den Werten in Tabelle B2.

Tabelle B2: Empfehlung IER Vermeidungskosten (in €₂₀₁₀ / t CO₂)

	2010	2020	2025	2030	2040	2050
unterer Wert	44	59	68	79	106	143
mittlerer Wert	77	104	119	139	186	251
oberer Wert	135	182	211	244	329	442

Quelle: Wille et al. (2012) auf Basis von Kuik et al. (2009),
Umrechnung in €₂₀₁₀: eigene Berechnungen.

Eine alleinige Verwendung von Vermeidungskosten als Näherungswert für die Klimakosten hält das Umweltbundesamt jedoch nicht für angemessen. Denn Vermeidungskosten sind zwar ein guter Indikator für die Anpassungskosten oder Opportunitätskosten, die die Volkswirtschaft tragen muss, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen, geben aber keinen Anhaltspunkt über das Ausmaß der Schäden. Auch für Kosten-Nutzen-Analysen sind sie nicht verwendbar.⁵ Hierzu muss man auf Schadenskosten zurückgreifen.

Neuere Schätzungen der Schadenskosten streuen sehr stark. Neben den Unsicherheiten und Varianzen bzgl. der physikalischen Auswirkungen des Klimawandels sowie deren monetärer Bewertung sind es folgende Schlüsselfaktoren der Modelle, die die unterschiedlichen Schadenskostenabschätzungen der Studien erklären:

- die verwendete Diskontrate,
- die Art der Gewichtung für das Auftreten von Schäden in verschiedenen Regionen (genannt Equity Weighting, siehe hierzu die Erläuterung weiter unten in dem Kasten),
- die Art der Einbeziehung der Unsicherheit (Abschneidegrenzen bei der Durchschnittsbildung)⁶.

⁴ Die im Kontext der Klimaerwärmung auftretenden Unsicherheiten in den Schätzungen des Umweltschadens werden als zu groß für die Anwendung des Schadenskostenansatzes angesehen. Die Anwendung des Vermeidungskostenansatzes dagegen ist – unter der Annahme, dass das 2-Grad Ziel die Präferenzen der Bevölkerung korrekt wiedergibt – gerechtfertigt. Wille et al. (2012), S. 7f.

⁵ Siehe hierzu Methodenkonvention 2.0, Abschnitt 3.2.

⁶ Wille et al. (2012).

Seit Veröffentlichung der Methodenkonvention 2007 hat sich die Anzahl der Varianten, die sich aus den Modellrechnungen ableiten lassen, noch deutlich erhöht.

Eine Einschränkung der Bandbreiten ist durch die Festlegung bestimmter Konventionen bzgl. der Annahmen möglich, wie es das UBA auch schon bei der Methodenkonvention 2007 vorgeschlagen hatte.

UBA empfiehlt in der Methodenkonvention für die Abschätzung langfristiger oder intergenerationeller Folgen eine niedrige Zeitpräferenzrate (1 Prozent, Sensitivitätstest mit 0 Prozent) und die Anwendung von Equity Weighting. Nach Auswertung von IER zeichnet sich ein wissenschaftlicher Konsens ab bei der Wahl der Diskontrate (1 Prozent) und der Methode zur Abschneidung unwahrscheinlicher Werte (1 Prozent getrimmte Durchschnittsberechnung)⁷. Die in Tabelle B3 dargestellten Werte für Schadenskosten spiegeln diese Annahmen wider. Sie stammen aus dem Modell FUND und wurden im Rahmen des NEEDS-Projekts berechnet. Zugrunde liegt ein Klimaszenario, das sogenannte „standardisierte EMF 14“ Szenario. Es geht von Emissionen aus, die zwischen 15-17 Gt C/a im Jahr 2050 und 20-26 Gt C/a im Jahr 2100 liegen. Dies entspricht zumindest bis 2080 etwa dem IPCC-Szenario A1 und spiegelt ein moderates business as usual Szenario wider.

Tabelle B3: Schadenskosten mit Equity Weighting (in €/t CO₂) und niedriger Zeitpräferenzrate

	2005	2015	2025	2035	2045	2055
Equity Weighting (WEu) Zeitpräferenz: 0%	416,72	511,97	569,00	509,50	508,33	671,33
Equity Weighting (WEu) Zeitpräferenz: 1%	111,81	141,23	170,55	158,51	164,96	225,95
Equity Weighting (Av) Zeitpräferenz: 0%	87,5	103,7	112,7	100,4	101,0	136,7
Equity Weighting (Av) Zeitpräferenz: 1%	23,5	28,6	33,8	31,2	32,8	46,0

WEu: West European Equity Weighting; Av: Average Equity Weighting

Quelle: Eigene Darstellung, zitiert nach Wille et al. (2012) und Anthoff (2007).

Betrachtet man die hier dargestellte Bandbreite sowie weitere Literaturlauswertungen zu den Schadenskosten, so zeigt sich, dass der bisher vom Umweltbundesamt empfohlene Kostensatz für CO₂ in Höhe von 70 €₂₀₀₀/t CO₂ in seiner Größenordnung weiterhin Bestand hat. Berücksichtigt man die Preisentwicklung seit 2000, ergäbe eine Umrechnung dieses Wertes auf €₂₀₁₀ mit deutscher Inflationsanpassung einen Kostensatz in Höhe von 82 €/t CO₂. Bei Anpassung an die europäische Inflationsrate sind dies 89 €/t CO₂. Unter bestimmten Annahmen, wie etwa einer Zeitpräferenzrate von 0 Prozent (siehe Zeile 1 in Tabelle B3), lassen sich aber auch deutlich höhere Werte rechtfertigen.

⁷ Vgl. zur Erläuterung der Durchschnittsberechnung Anthoff (2007) sowie Wille et al. (2012).

Exkurs: Equity Weighting

Nach den vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnissen sind heute ärmere Länder wie Afrika, Südamerika und Indien stärker negativ vom Klimawandel betroffen als die reichen Länder in den mittleren und nördlichen Breitengraden.

Bei der ökonomischen Bewertung kann man die Unterschiede im Wohlstand der betroffenen Regionen durch Equity Weighting im Rahmen von Sensitivitätsanalysen berücksichtigen. Dies beruht auf der begründeten Annahme, dass ein zusätzlicher Euro für eine arme Person einen höheren Wert als für eine reiche Person hat. Umgekehrt ist ein Schaden von einem Euro bei einer armen Person deutlich gravierender zu bewerten als bei einer reichen Person. Anschaulich wird dies bei folgender Überlegung: Durch den Klimawandel wird ein angenommener Schaden von 1 € verursacht – unabhängig von der Region. Tritt dieser Schaden in einem ärmeren Land auf, welches ein durchschnittliches Einkommen von 100 € pro Kopf aufweist, so beträgt der Schaden 1/100 des pro Kopf-Einkommens. Tritt derselbe Schaden dagegen in einem reichen Land mit einem durchschnittlichen Einkommen von 5000 € auf, würde dieser Schaden nur 1/5000 des pro Kopf-Einkommens ausmachen. Im Verhältnis zum Einkommen ist der Schaden also im reichen Land weniger gravierend. Equity Weighting bedeutet, dass man die Schäden entsprechend den Einkommensäquivalenten gewichtet. Ist das pro Kopf-Einkommen in einem armen Land 50-mal geringer, so werden die Kosten 50-mal höher gewichtet. Auch wegen des überproportionalen Auftretens von Umweltschäden in ärmeren Weltregionen hat die Art und Weise, wie Schäden und Nutzen in verschiedenen Regionen zu einem globalen Wert aggregiert werden, einen entscheidenden Einfluss auf die Höhe der gesamten Schadenskosten: Equity Weighting kann die Schadenskosten des Klimawandels um einen Faktor von bis zu 10 vergrößern.⁸

Die Gewichtung der Schäden in den verschiedenen Regionen kann auf drei Arten erfolgen: NoEW (No Equity Weighting) bedeutet, dass die Schadenskosten ohne Gewichtung mit ihren Eurowerten eingehen. Bei AvEW (Average Equity Weighting) werden die Schadenskosten entsprechend dem Weltdurchschnittseinkommen korrigiert und bei WeuEW erfolgt eine Korrektur mit den EU-Durchschnittseinkommen. Die Kostensätze sind am höchsten bei WeuEW und am geringsten bei NoEW.

Das UBA hat sich in der Methodenkonvention 2007 für ein Equity Weighting ausgesprochen. Wir plädieren dafür, das WeuEW zu verwenden, da dies dem Verursacherprinzip am ehesten entspricht. Die Schadenskosten, die eine Tonne CO₂ verursacht, werden dadurch so bewertet als würden sie auch (vollständig) in Europa anfallen. Unter der Annahme einer niedrigen Zeitpräferenzrate (1 Prozent), der Anwendung von WeuEW und 1 Prozent getrimmte Durchschnittsberechnung ergibt sich eine Schätzung der Schadenskosten für das Jahr 2010 von etwa 120 €/t CO₂ (2010). Dieser Wert liegt in der Gesamtschau über die vorliegenden Ergebnisse verschiedener Studien im oberen Drittel. Bei Anwendung der AvEW liegt der Kostensatz bei etwa 25 €.

⁸ Vgl. Watkiss et al. (2005), die dies mit Modellrechnungen und Sensitivitätsrechnungen zeigen.

B 3 Kostensätze für Luftschadstoffe

B 3.1 Durchschnittliche Kostensätze für Luftschadstoffemissionen⁹

Die Kostensätze für verschiedene Luftschadstoffe wurden im Rahmen des 2009 abgeschlossenen EU-Projekts NEEDS (New Energy Externalities for Sustainability) ermittelt und sind in Preiss et al. (2008) dokumentiert.¹⁰ Diese Ergebnisse stellen den derzeitigen verfügbaren Stand des Wissens dar. Tabelle B4 zeigt die durchschnittlichen Umweltkosten pro emittierter Tonne des jeweiligen Schadstoffs¹¹ für Emissionen aus „unbekannten Quellen“¹² in Deutschland. Diese Durchschnittswerte können für eine überschlägige Schätzung der Schadenskosten durch Luftschadstoffe verwendet werden, wenn es keine standortspezifischen Informationen zu den Emissionsquellen gibt.

Tabelle B4: Durchschnittliche Umweltkosten der Luftverschmutzung durch Energieerzeugung in Deutschland (in €₂₀₁₀ / t Emission)

	Kostensätze für Emissionen in Deutschland				
€ ₂₀₁₀ /t Emission	Gesundheits-schäden	Biodiversitäts-verluste	Ernte-schäden	Material-schäden	Gesamt
Deutschland gesamt					
PM _{2.5}	55.400	0	0	0	55.400
PM _{coarse}	2.900	0	0	0	2.900
PM ₁₀	39.700	0	0	0	39.700
NO _x	12.600	2.200	500	100	15.400
SO ₂	11.900	800	-100	500	13.200
NMVOG	1.600	-300	300	0	1.600
NH ₃	18.200	8.700	-100	0	26.800

Quelle: NEEDS, <http://www.needs-project.org/docs/RS3a%20D1.1.zip>¹³

Die angegebenen Werte beziehen sich auf Emissionen für das Jahr 2010. In den Originalquellen sind die Kosten in €₂₀₀₀ angegeben. Um den Gegenwartswert des Euros wiederzugeben, wurden die Preisniveauänderungen in Deutschland zwischen 2000 und 2010 berücksichtigt. Dazu wurden Inflationsdaten von Eurostat in Form des Harmonisierten Verbraucherpreisindex (HVPI) verwendet, um die Kostensätze in €₂₀₁₀ umzurechnen.¹⁴

⁹ Die folgenden Ausführungen sind entnommen aus Müller/Preiss (2012).

¹⁰ Die Dokumentation der Kostensätze, die in NEEDS empfohlen werden, findet man unter <http://www.needs-project.org/docs/RS3a%20D1.1.zip> (alle Werte in €₂₀₀₀).

¹¹ Die wichtigsten Luftschadstoffe in diesem Zusammenhang sind Feinstaub (PM), Stickstoffoxide (NO_x), Schwefeldioxid (SO₂), Nicht Methan flüchtige organische Verbindungen (NMVOG) und Ammoniak (NH₃).

¹² Unbekannte Quellen (unknown height of release) bedeutet hier, dass es keine Spezifikation bzgl. des Standortes der Anlage (z. B. innerorts oder außerorts) und der Schornsteinhöhe gibt. Es handelt sich daher um Durchschnittswerte. Emissionen aus niedrigen Quellen und in dicht besiedelten Gebieten weisen höhere Kosten auf; solche aus höheren Quellen bzw. dünn besiedelten Gebieten entsprechend niedrigere Werte.

¹³ Eigene Umrechnung von €₂₀₀₀ auf €₂₀₁₀ anhand Eurostat/HVPI, Werte gerundet. In geringem Umfang kann es in einzelnen Bereichen zu negativen externen Kosten kommen.

¹⁴ Die Daten sind abrufbar unter <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/hicp/data/database>

Im Rahmen des NEEDS Projektes wurden auch für andere europäische Länder Umweltkostensätze ermittelt. Generell sind die Werte für Deutschland deutlich höher als der EU 27-Durchschnitt. Dies hat im Wesentlichen zwei Gründe. Erstens liegt die Bevölkerungsdichte in Deutschland über dem Durchschnitt der EU-27, so dass es bei gleicher Emissionsmenge in Deutschland mehr Betroffene und damit höhere Gesundheitsschäden gibt. Zweitens liegt das Einkommen in Deutschland über dem Durchschnitt in der EU-27, so dass die Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung von Umwelt- und Gesundheitsschäden höher ist.

Tabelle B5 zeigt die durchschnittlichen Werte in €₂₀₁₀, die für energiebezogene Luftschadstoffemissionen angesetzt werden können.

Tabelle B5: Durchschnittliche Umweltkosten der Luftverschmutzung durch Energieerzeugung in EU-27 (in €₂₀₁₀ / t Emission)

Luftschadstoffe	Kostensätze für Emissionen in EU-27
PM _{2,5}	40.600
PM _{coarse}	2.800
PM ₁₀	29.300
NO _x	10.300
SO ₂	10.100
NM _{VOC}	1.500
NH ₃	19.100

Quelle: NEEDS, <http://www.needs-project.org/docs/RS3a%20D1.1.zip>, eigene Umrechnung von €₂₀₀₀ auf €₂₀₁₀ sowie Gewichtung der EU-Kostensätze nach Müller/Preiss (2012)¹⁵. Annahme: PM₁₀ besteht zu 70% aus PM_{2,5}.

B 3.2 Differenzierte Kostensätze für Luftschadstoffemissionen aus der Energieerzeugung und industriellen Prozessen

Die Schadwirkungen der Luftschadstoffemissionen auf Umwelt und Gesundheit sind in der Regel umso gravierender, je niedriger die Emissionsquelle ist und umso höher die Bevölkerungsdichte in der Nähe der Emissionsquelle. Daher unterscheiden sich auch die Umweltkosten pro Tonne Emission in Abhängigkeit dieser Einflussfaktoren. Diese Differenzierung ist vor allem für die Kosten der primären Partikel und der Staubemissionen relevant. Die Kostensätze der anderen Luftschadstoffe unterscheiden sich nur geringfügig bezüglich der Freisetzungshöhe und -orte.

Für die meisten Anwendungen reicht es daher aus, auf durchschnittliche Kostensätze zurückzugreifen. Sofern es jedoch um standortbezogene Bewertungen geht oder auch der Anteil von Staubemissionen relativ hoch ist, bietet die Anwendung differenzierter Kostensätze einen Erkenntnisgewinn.

¹⁵ Zur Ermittlung des Durchschnitts wurde angenommen, dass 45% der Emissionen aus Kleinf Feuerung und Industrie und 10% aus Kraftwerken kommen. Des Weiteren wird von einer Verteilung der Emissionsquelle auf 70% ländliche und 30% städtische Gebiete ausgegangen.

Tabelle B6 zeigt die differenzierten Kostensätze für Deutschland und die EU-27. Die Werte differieren dabei einerseits nach unterschiedlichen Freisetzungshöhen für die Energieerzeugung (Kraftwerke, Freisetzungshöhe >100m), industrielle Energieerzeugung (20-100m) und Kleinf Feuerungsprozesse (3-20m). Andererseits wird zwischen Emissionen aus städtischen und ländlichen Gebieten unterschieden.

Die angegebenen Werte beziehen sich auf Emissionen für das Jahr 2010 und sind mit dem Verbraucherpreisindex auf €₂₀₁₀ umgerechnet.¹⁶

Tabelle B6: Kosten der Luftverschmutzung durch Energieerzeugung und industrielle Prozesse in Deutschland und der EU-27 (in €₂₀₁₀ / t)

€ ₂₀₁₀ / t Emission	Kostensätze für Emissionen in Deutschland		Kostensätze für Emissionen in EU-27	
	Innerorts (Durchschnitt)	Außerorts	Innerorts (Durchschnitt)	Außerorts
PM _{2.5} (Kraftwerk)	30.600	30.600	18.600	18.600
PM _{coarse} (Kraftwerk)	1.200	1.200	700	700
PM ₁₀ (Kraftwerk)	21.800	21.800	13.200	13.200
PM _{2.5} (Industrie)	56.000	55.400	33.500	33.000
PM _{coarse} (Industrie)	3.200	2.900	2.100	1.900
PM ₁₀ (Industrie)	40.100	39.700	24.100	23.700
PM _{2.5} (Kleinf Feuerung)	127.200	58.500	85.000	39.200
PM _{coarse} (Kleinf Feuerung)	11.400	2.900	8.600	2.200
PM ₁₀ (Kleinf Feuerung)	92.500	41.800	62.100	28.100
NO _x (Kraftwerk)	12.300	12.300	8.000	8.000
NO _x (Industrie/Kleinf Feuerung)	15.400	15.400	10.500	10.500
SO ₂ (Kraftwerk)	12.400	12.400	9.200	9.200
SO ₂ (Industrie/Kleinf Feuerung)	13.200	13.200	10.100	10.100
NM VOC	1.700	1.700	1.500	1.500
NH ₃	26.800	26.800	19.100	19.100

Quellen: NEEDS (Preiss et al., 2008) und EXIOPOL (Müller et al., 2010), Werte gerundet. Annahme: PM₁₀ besteht zu 70% aus PM_{2.5}.

¹⁶ Eine weitere Überarbeitung der Kostensätze unter Verwendung neuer Konzentrationswirkungsbeziehungen (CRF) für die klassischen Luftschadstoffe aus dem EU-Projekt HEIMTSA (Health and Environment Integrated Methodology and Toolbox for Scenario Assessment) und INTARESE (Integrated Assessment of Health Risks of Environmental Stressors in Europe) (Friedrich et al., 2011) ist angestrebt. Allerdings sind diese Ergebnisse noch nicht vollständig veröffentlicht und werden aus diesem Grund an dieser Stelle nicht dargestellt.

B 3.3 Kostensätze für Luftschadstoffe aus dem Straßenverkehr

Die Emissionen aus dem Straßenverkehr erfolgen mit sehr geringem Abstand zum Boden (Freisetzungshöhe 0-3m) und werden deshalb von den Rezeptoren stärker aufgenommen als die Emissionen aus größeren Freisetzungshöhen. Dies gilt in besonderem Maße für die Emissionen von Feinstaubpartikeln, da diese bei geringer Emissionshöhe vermehrt vom Menschen eingeatmet werden und somit zu höheren Gesundheitseffekten führen. Aus diesem Grund müssen die Auswirkungen dieser Emissionen gesondert betrachtet werden.

Tabelle B7 stellt die verschiedenen Kostensätze für Emissionen in Deutschland und in der EU-27 dar. Die Kostensätze für SO₂, NO_x, NMVOC und NH₃ entsprechen dabei den Kostensätzen für energiebezogene Emissionen aus niedrigen Freisetzungshöhen (Tabelle B6). Die Bewertung von Feinstaub aus dem Verkehr erfolgt auf Grundlage der Arbeit von Torras Ortiz (2010)¹⁷.

Tabelle B7: Kostensätze für Luftschadstoffe aus dem Straßenverkehr in Deutschland und der EU-27 (in €₂₀₁₀ / t)

Emission	Kostensätze für Emissionen in Deutschland		Kostensätze für Emissionen in EU-27	
	Innerorts Durchschnitt	Außerorts	Innerorts Durchschnitt	Außerorts
PM _{2.5} Auspuff	364.100	122.800	392.600	81.400
PM _{coarse} Abrieb, Aufwirbelung	10.200	2.900	11.000	3.100
PM ₁₀ Abrieb, Aufwirbelung*	33.700	11.000	36.300	8.500
NO _x Bau und Betriebsphase	15.400	15.400	10.300	10.300
SO ₂ Bau und Betriebsphase	13.200	13.200	10.100	10.100
NMVOC Bau und Betriebsphase	1.700	1.700	1.500	1.500
NH ₃ Bau und Betriebsphase	26.800	26.800	19.100	19.100

*: PM₁₀-Emissionen durch Abrieb und Aufwirbelung setzen sich aus 10% PM_{2.5} und 90% PM_{coarse} zusammen. Als Bewertungsgrundlage für PM_{2.5} wird hierbei der Kostensatz für Emissionen aus dem Auspuff ohne den Toxizitätsfaktor von 1,5 für Emissionen aus Verbrennungsmotoren verwendet.

Quellen: Ergebnisse für Feinstaub von Torras (2010) und HEIMTSA (Friedrich et al., 2011), Kosten der anderen Schadstoffe NEEDS (Preiss et al., 2008) und EXIOPOL (Müller et al., 2010), Werte gerundet.

Hinsichtlich der dargestellten Faktoren für PM_{2.5}-Emissionen aus dem Straßenverkehr gilt es zu beachten, dass diese einen Aufschlag auf die Schäden durch Emissionen aus Verbrennungsmotoren um einen Faktor 1,5 enthalten. Dies wurde im Rahmen des Methodenupdates der ExternE-Projektreihe (ExternE, 2005) und auch in der ersten Version der Methodenkonvention empfohlen.

¹⁷ Torras Ortiz (2010) berücksichtigt bereits die neuen Dosis-Wirkungs-Beziehungen aus den EU-Projekten HEIMTSA und INTARESE (Friedrich et al., 2011). Vgl. hierzu ausführlich das Sachstandspapier „Klassische Luftschadstoffe“ (Preiss et al., 2012).

Die Werte beziehen sich auf Emissionen für das Jahr 2010. In den Originalquellen werden die Kostensätze in Euro für das Jahr 2000 (€₂₀₀₀) angegeben. Um in etwa den Gegenwartswert des Euros wiederzugeben, wurden die Preisniveauänderungen in Deutschland und Europa zwischen 2000 und 2010 berücksichtigt. Dazu wurden Inflationsdaten von Eurostat in Form des Harmonisierten Verbraucherpreisindex (HVPI) verwendet, um die Kostensätze in €₂₀₁₀ umzurechnen.

B 4 Umweltkosten des Straßen- und Schienenverkehrs in Deutschland

Die Bestimmung der Kostensätze für die Umweltkosten des Straßen- und Schienenverkehrs in Deutschland ist in zwei Teile gegliedert. So werden zunächst die Emissionen aus dem Betrieb der verschiedenen Fahrzeugtypen ermittelt, die bei der Verbrennung der Kraftstoffe, Abrieb und Staubaufwirbelungen entstehen. Im Anschluss daran werden die Emissionen aus den anderen Phasen des Lebenszyklus, z. B. Bau, Wartung und Entsorgung sowie aus der Bereitstellung der Kraftstoffe geschätzt.

Neben Luftschadstoffemissionen und Treibhausgasemissionen verursacht Verkehr auch Lärm und negative Effekte auf Natur und Landschaft. Auch hierfür liegen Kostenschätzungen vor, die zu den emissionsbezogenen Kosten noch hinzukommen. Das Vorgehen und die resultierenden verkehrsbezogenen Kostensätze werden im Folgenden beschrieben.

B 4.1 Annahmen zur Emissionsberechnung

Emissionsbedingte Umwelt- und Gesundheitsschäden sind in Städten größer als in ländlichen Gebieten. Um verkehrsbezogene Kostensätze zu schätzen (z.B. Kosten pro Fahrzeugkilometer) ist daher eine Bestimmung der jeweiligen Emissionen (z.B. pro Fahrzeugkilometer) und der Anteile von Fahrleistungen in städtischen und ländlichen Gebieten notwendig. Die Anteile an Fahrleistungen in städtischen und ländlichen Gebieten (Tabelle B8) entsprechen den Angaben aus dem vom Umweltbundesamt verwendeten Modell TREMOD (Transport Emission Model).

Tabelle B8: Verteilung der PM-Emissionen aus dem Straßenverkehr in städtische und ländliche Quellen nach Fahrzeugkategorie

Fahrzeugtyp	Stadt	Land
PKW	38%	62%
Leichte Nutzfahrzeuge	49%	51%
Schwere Nutzfahrzeuge	26%	74%
Krafträder	28%	72%
Linienbusse	72%	28%
Reisebusse	23%	77%
Busflotte (Annahme)	40%	60%
Zugverkehr (Annahme)	20%	80%

Quelle: IFEU (2010) und eigene Schätzungen.

Die Emissionsfaktoren, die zur Ermittlung der Kostensätze für Personen- und Güterzüge sowie für Krafträder verwendet werden, stammen aus dem Transportmodell REMOVE (De Ceuster et al., 2007). Diese Daten beziehen sich auf die gefahrenen Fahrzeugkilometer für das Jahr 2010. Da für den Schienenverkehr jedoch nur ein durchschnittlicher Emissionsfaktor für jeden Schadstoff verfügbar war, wurde eine Annahme über die Aktivitäten in städtischen und ländlichen Gebieten getroffen. Dabei wurde angenommen, dass Züge zu 20 Prozent in städtischen und zu 80 Prozent in ländlichen Gebieten verkehren. Auch für die Verteilung der Fahrleistung der gesamten Busflotte musste mangels verfügbarer Daten eine Annahme getroffen werden. Diese ist ebenfalls der Tabelle zu entnehmen.

Für die Ermittlung der Emissionen für die Betriebsphase der Fahrzeuge wurden Emissionsfaktoren aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren aus dem Straßenverkehr (HBEFA 3.1, 2010) verwendet.¹⁸ Das HBEFA liefert Emissionsfaktoren für die Jahre 2005 und 2010 in der Einheit Gramm pro Fahrzeugkilometer für die Luftschadstoffe CO, NH₃, NMVOC, NO_x, PPM_{2.5} und SO₂ sowie für die Treibhausgase CH₄, CO₂ und N₂O. Für die Berechnung der vorliegenden Kostensätze wurden allerdings lediglich die Emissionsfaktoren für das Jahr 2010 angewendet.

Darüber hinaus werden die Berechnungen der Kostensätze für Emissionen aus dem Straßen- und Schienenverkehr in Deutschland zum einen für die durchschnittliche Flotte der verschiedenen Fahrzeugtypen und zum anderen für die Euronormklassen (Euro 0 bis Euro V) für jede dieser Fahrzeugtypen und deren Unterklassen durchgeführt.

¹⁸ Für kommerzielle Nutzer des Handbuchs gelten besondere Lizenzbestimmungen. Die Dokumentation zum HBEFA 3.1 wird in Kürze auf www.hbefa.net verfügbar sein.

Die Unterteilung nach den unterschiedlichen Abgasnormen Euro 0 bis Euro V ist für die folgenden Fahrzeugtypen möglich:

- Personenkraftwagen (PKW): Dieselmotor und Benzinmotor
- Leichte Nutzfahrzeuge (LNF): Dieselmotor und Benzinmotor
- Schwere Nutzfahrzeuge (SNF): Dieselmotor, 7,5t/7,5t-12t/12t-14t/
14t-20t/20t-26t/26t-28t/28t-32t/>32t
- (Schwer-)Lastzüge: Dieselmotor, 20t-28t/28t-34t/34t-40t
- Linienbusse: Dieselmotor
- Reisebusse: Dieselmotor
- Krafträder (KR): 2-Takt und 4-Takt

Die Emissionsfaktoren aus dem HBEFA haben sich gegenüber vorangegangenen Versionen teilweise deutlich erhöht. Da die Gründe dafür sehr vielfältiger Natur sind, wird an dieser Stelle auf eine ausführliche Diskussion und Beschreibung der Änderungen verzichtet.¹⁹ Für alle Euronormstufen wurden die Emissionsfaktoren für das Jahr 2010 verwendet. Die Faktoren für die Berechnungen der Kosten des Abriebs und der Wiederaufwirbelung wurden von Kugler (2012) ermittelt.

Die Berechnung der Kostensätze für die anderen Lebenszyklusphasen ist in mehrere unterschiedliche Bereiche gegliedert.

Kosten der Bau-, Wartungs- und Entsorgungsphase

Für diese Phasen wurden Daten aus dem Ökobilanzinventar ecoinvent 2.0 verwendet. Die Emissionsfaktoren wurden dabei aus den Angaben aus Spielmann et al. (2007) zu Gesamtemissionen und gesamter Fahrleistung der einzelnen Fahrzeugtypen errechnet.²⁰

Kraftstoffbereitstellung

Die Berechnung der Emissionen aus der Kraftstoffbereitstellung erfolgte ebenfalls unter Verwendung der Emissionsfaktoren aus dem Ökobilanzinventar ecoinvent 2.0.²¹ Da die Angaben aus der ecoinvent Datenbasis in kg Emission pro kg Treibstoff gegeben sind, war eine Umrechnung in kg Emission je Fahrzeugkilometer notwendig. Diese Umrechnung wurde anhand der Dichte der beiden Treibstoffe Diesel und Benzin sowie der Angaben zum Verbrauch in Litern pro Fahrzeugkilometer nach Fahrzeugtypen durchgeführt. Die Angaben zum Verbrauch wurden aus der REMOVE Datenbank entnommen (Tabelle B9). Für die vorliegenden Berechnungen wurden die Verbrauchsangaben für das Jahr 2010 verwendet.

¹⁹ Vgl. Kugler et al. (2010).

²⁰ Aus Spielmann et al. (2007) geht hervor, welche Prozesse betrachtet wurden:

„Included processes: The inventory includes processes of material, energy and water use in vehicle manufacturing. Rail and road transport of materials is accounted for. Plant infrastructure is included, addressing issues such as land use, building, road and parking construction.”

²¹ Für die Berechnung der Emissionen aus der Kraftstoffbereitstellung wurden aus der ecoinvent 2.0 Datenbank die Prozesse „petrol, unleaded, at refinery“ und „petrol, unleaded, at regional storage“ für die Benzinproduktion sowie die Prozesse „diesel, at refinery“ und „diesel, at regional storage“ für die Dieselproduktion verwendet.

Tabelle B9: Verwendete Angaben zum Treibstoffverbrauch nach Fahrzeugkilometer für verschiedene Fahrzeugtypen

Fahrzeugkategorie	Treibstoff	Liter / 100 Fzkm	
		2005	2010
PKW	Benzin	8,18	7,65
PKW	Diesel	6,05	5,95
LNF	Benzin	8,72	8,35
LNF	Diesel	9,75	8,82
Reisebus	Diesel	28,57	28,87
Linienbus	Diesel	40,48	42,97
KR	Benzin (4-Takt)	4,60	4,57
KR	Benzin (2-Takt)	2,71	2,61
KR	Benzin (gew. Mittel)	4,03	3,92
SNF	Diesel	27,64	27,37

Quelle: Datengrundlage: De Ceuster et al. (2007).

B.4.2 Kostensätze für Schäden an Natur und Landschaft

In einer aktuellen Studie von INFRAS wurden die Kostensätze für Natur und Landschaft in €-Cent₂₀₀₈ berechnet.²² Diese Faktoren sind in der folgenden Tabelle B10 abgebildet.

Tabelle B10: Angaben zu Umweltkosten des Straßenverkehrs für Natur und Landschaft (in €-Cent₂₀₀₈ pro Fahrzeugkilometer)

Fahrzeugkategorie	Kosten für Natur und Landschaft
PKW	0,08
Busse	0,17
Motorräder	0,04
LNF	0,12
SNF	0,4
Güter- und Passagierzüge	1,9

Quelle: Sutter (2011).

B 4.3 Kostensätze für Lärm

Die Annahmen zur Bewertung der Schäden durch Verkehrslärm stellt das IER Sachstandspapier zu Lärm (Ohlau et al., 2012) ausführlich dar.

Geht es in erster Linie um eine eher pauschale (d.h. nicht nach Verkehrsstärke und Tageszeit differenzierte) Schätzung der Lärmkosten, so sollten Durchschnittskosten pro Fahrzeugtyp statt marginaler Kosten verwendet werden. Die Berechnung von Durchschnittskosten mit Hilfe der Wirkungspfadanalyse wurde bisher allerdings noch nicht durchgeführt. Will man dennoch grob die Größenordnung der Durchschnittskosten bestimmen, so empfiehlt IER, die Obergrenze der Grenzkosten pro Fahrzeugkilometer zu verwenden.²³

²² Bei der Studie handelt es sich um die Überarbeitung der UIC Studie von INFRAS/IWW (2004). Diese neue Studie ist noch nicht veröffentlicht. Die Werte wurden von Sutter (2011) zur Verfügung gestellt.

²³ Zur Problematik der Verwendung von Grenzkosten bei der Bewertung von Lärmkosten, vgl. die Methodenkongvention 2.0, Kapitel 3.3.

Tabelle B11: Marginale Kosten des Lärms (in €-Cent₂₀₁₀/Fahrzeugkilometer) für Straßen- und Schienenverkehr

		städtisch	niedrige Siedlungsdichte
Tageszeit		Bandbreite	Bandbreite
PKW	Tag	0,79 – 1,94	0,04 – 0,13
	Nacht	1,45 – 3,53	0,08 – 0,23
Motorrad	Tag	1,60 – 3,87	0,09 – 0,25
	Nacht	2,91 – 7,05	0,17 – 0,46
Linienbus	Tag	3,99 – 9,68	0,22 – 0,62
	Nacht	7,27 – 17,61	0,41 – 1,15
Leichte LKW	Tag	3,99 – 9,68	0,22 – 0,62
	Nacht	7,27 – 17,61	0,41 – 1,15
Schwere LKW	Tag	7,33 – 17,78	0,41 – 1,15
	Nacht	13,37 – 32,41	0,75 – 2,09
Passagierzug	Tag	24,74 – 48,88	10,91 – 21,56
	Nacht	81,58 – 161,19	35,99 – 71,11
Güterzug	Tag	43,86 – 105,82	21,54 – 41,73
	Nacht	178,93 – 431,73	70,82 – 170,88

Quelle: CE Delft (2008) und eigene Berechnungen.

Tabelle B12: Empfehlung für Durchschnittskosten des Lärms (in €-Cent₂₀₁₀/Fahrzeugkilometer) für Straßen- und Schienenverkehr

		städtisch
Tageszeit		
PKW	Tag	1,94
	Nacht	3,53
Motorrad	Tag	3,87
	Nacht	7,05
Linienbus	Tag	9,68
	Nacht	17,61
Leichte LKW	Tag	9,68
	Nacht	17,61
Schwere LKW	Tag	17,78
	Nacht	32,41
Passagierzug	Tag	48,88
	Nacht	161,19
Güterzug	Tag	105,82
	Nacht	431,73

Quelle: CE Delft (2008) und eigene Berechnungen.

B.4.4 Kostensätze für verkehrsbezogene Aktivitäten

Über die Verknüpfung der Emissionsfaktoren für die einzelnen Fahrzeugkategorien, die Unterscheidung in städtische und ländliche Gebiete (nach der oben dargestellten Verteilung) und in Betriebs- und andere Life Cycle (LC)-Phasen erhält man die in Tabelle B13 dargestellten Kostensätze für Verkehr in €-Cent₂₀₁₀ pro gefahrenem Fahrzeugkilometer. Die Kosten für Lärm entsprechen einer Situation tagsüber mit hoher Verkehrsdichte.

Tabelle B13: Umweltkosten pro Fahrzeugkilometer für verschiedene Fahrzeugtypen in Deutschland (in €-Cent₂₀₁₀ / Fzkm)

Kostensätze Verkehr		Innerorts							Außerorts								
		Auspuff		Abrieb	Lärm	Bau, Wartung, Entsorgung	Kraftstoffbereitstellung	Natur und Landschaft	Gesamt	Auspuff		Abrieb	Lärm	Bau, Wartung, Entsorgung	Kraftstoffbereitstellung	Natur und Landschaft	Gesamt
THG	nicht-THG	THG	nicht-THG														
PKW (Flotte 2010)	Diesel	1,4	1,9	0,3	1,9	0,6	1,6	0,1	7,7	1,0	1,0	0,0	0,0	0,6	1,6	0,1	4,3
	Benzin	1,5	0,5	0,3	1,9	0,6	1,1	0,1	5,9	1,2	0,4	0,0	0,0	0,6	1,1	0,1	3,3
LKW (Flotte 2010)	LNF (Diesel)	1,7	4,7	0,3	9,7	0,4	1,8	0,1	18,6	1,6	2,8	0,0	0,0	0,4	1,8	0,1	6,7
	LNF (Benzin)	1,6	1,2	0,3	9,7	0,4	1,7	0,1	14,9	1,3	0,9	0,0	0,0	0,4	1,7	0,1	4,4
	SNF (Diesel)	5,4	12,1	2,7	17,8	0,8	5,4	0,4	44,6	5,1	6,2	0,3	0,0	0,8	5,4	0,4	18,3
Bus (Flotte 2010)	Diesel	8,7	26,6	2,7	9,7	1,4	5,1	0,2	54,4	6,2	12,6	0,3	0,0	1,4	5,1	0,2	25,9
Krafträder (Flotte 2010)	KR (Benzin, 4-T)	0,8	0,8	0,1	3,9	0,0	0,6	0,0	6,2	0,8	0,7	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	2,1
	KR (Benzin, 2-T)	0,5	1,0	0,1	3,9	0,0	0,8	0,0	6,3	0,6	0,8	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	2,2
Personenzug	Diesel	29,2	248,0		48,9	43,9		1,8	371,8	29,2	153,7		0,0	43,9		1,8	228,6
	elektrisch	49,7	15,9		48,9	43,9		1,8	160,2	49,7	11,1		0,0	43,9		1,8	106,5
Güterzug	Diesel	93,0	789,6		105,8	43,9		1,8	1.034,1	93,0	489,3		0,0	43,9		1,8	628,0
	elektrisch	98,9	31,7		105,8	43,9		1,8	282,0	98,9	22,1		0,0	43,9		1,8	166,7

Kostensätze Verkehr		Autobahn							Alle Strecken (Ø)								
		Auspuff		Abrieb	Lärm	Bau, Wartung, Entsorgung	Kraftstoffbereitstellung	Natur und Landschaft	Gesamt	Auspuff		Abrieb	Lärm	Bau, Wartung, Entsorgung	Kraftstoffbereitstellung	Natur und Landschaft	Gesamt
THG	nicht-THG	THG	nicht-THG														
PKW (Flotte 2010)	Diesel	1,2	1,5	0,0	0,0	0,6	1,6	0,1	5,0	1,2	1,5	0,1	0,7	0,6	1,6	0,1	5,8
	Benzin	1,6	0,6	0,0	0,0	0,6	1,1	0,1	4,0	1,4	0,5	0,1	0,7	0,6	1,1	0,1	4,5
LKW (Flotte 2010)	LNF (Diesel)	2,0	4,0	0,0	0,0	0,4	1,8	0,1	8,3	1,7	4,0	0,2	4,7	0,4	1,8	0,1	12,9
	LNF (Benzin)	1,6	1,2	0,0	0,0	0,4	1,7	0,1	5,0	1,5	1,1	0,2	4,7	0,4	1,7	0,1	9,7
	SNF (Diesel)	5,6	5,7	0,3	0,0	0,8	5,4	0,4	18,3	5,4	7,5	0,9	4,6	0,8	5,4	0,4	25,1
Bus (Flotte 2010)	Diesel	5,6	10,8	0,3	0,0	1,4	5,1	0,2	23,4	7,0	17,6	1,3	4,6	1,4	5,1	0,2	37,3
Krafträder (Flotte 2010)	KR (Benzin, 4-T)	1,1	1,3	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	3,1	0,9	1,0	0,0	1,1	0,0	0,6	0,0	3,6
	KR (Benzin, 2-T)	1,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	3,0	0,7	1,0	0,0	1,1	0,0	0,8	0,0	3,7
Personenzug	Diesel									29,2	172,6		9,8	43,9		1,8	257,2
	elektrisch									49,7	12,1		9,8	43,9		1,8	117,2
Güterzug	Diesel									93,0	549,4		21,2	43,9		1,8	709,2
	elektrisch									98,9	24,0		21,2	43,9		1,8	189,8

Quelle: Berechnungen des IER im Rahmen des Forschungsprojekts.

Tabelle B14 stellt die Kostensätze nach Euronormen für die unterschiedlichen Fahrzeugtypen dar. Dabei wurden die Berechnungen wieder auf Basis der im Rahmen der Methodenkonvention empfohlenen Ergebnisse von Torras Ortiz (2010) und HEIMTSA durchgeführt. Bei den verschiedenen LKW-Typen erfolgt eine zusätzliche Unterscheidung nach Transportgewicht, außerdem ist eine zusätzliche Kategorie für Schwerlastzüge enthalten. Um die Tabelle übersichtlicher zu gestalten, sind die berechneten Kostensätze für Bau, Wartung, Entsorgung und Kraftstoffbereitstellung sowie die Schäden an Natur und Landschaft durch den Straßenbau in der Kategorie Lebenszyklus zusammengefasst. Auch hier sind die dargestellten Faktoren für Lärm in einer Situation tagsüber mit hoher Verkehrsdichte gegeben.

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind im Abschnitt „Ergänzende Tabellen zu Emissionsfaktoren Verkehr“ aufgelistet.

Tabelle B14: Kostensätze Verkehr: differenziert nach Emissionskategorie (Euronorm) für die verschiedenen Fahrzeugtypen (in €-Cent₂₀₁₀ / Fzkm)

Fahrzeugtyp und Emissionskategorie		Umweltkosten (Ø aller Strecken)					
		Auspuff		Abrieb	Lärm	Lebenszyklus	Gesamt
		THG	nicht-THG				
PKW Benzinmotor (Flotte 2010)	Euro I	1,7	1,7	0,1	0,7	1,8	6,0
	Euro II	1,7	1,2	0,1	0,7	1,8	5,4
	Euro III	1,6	0,3	0,1	0,7	1,8	4,5
	Euro IV	1,5	0,3	0,1	0,7	1,8	4,4
	Euro V	1,4	0,2	0,1	0,7	1,8	4,3
PKW Dieselmotor (Flotte 2010)	Euro 0	1,5	3,5	0,1	0,7	2,3	8,1
	Euro I	1,3	3,6	0,1	0,7	2,3	8,0
	Euro II	1,2	2,8	0,1	0,7	2,3	7,1
	Euro III	1,2	2,0	0,1	0,7	2,3	6,3
	Euro IV	1,2	1,6	0,1	0,7	2,3	5,8
Krafträder (2-Takt, Flotte 2010)	Euro 0	0,9	3,6	0,0	1,1	0,9	6,5
	Euro I	0,8	1,8	0,0	1,1	0,9	4,6
	Euro II	0,7	1,0	0,0	1,1	0,9	3,7
	Euro III	0,6	0,5	0,0	1,1	0,9	3,1

Fahrzeugtyp und Emissionskategorie		Umweltkosten (Ø aller Strecken)					
		Auspuff		Abrieb	Lärm	Lebenszyklus	Gesamt
		THG	nicht-THG				
Krafträder (4-Takt, Flotte 2010)	Euro 0	0,8	1,1	0,0	1,1	0,6	3,6
	Euro I	0,8	1,0	0,0	1,1	0,6	3,5
	Euro II	0,7	0,8	0,0	1,1	0,6	3,2
	Euro III	1,0	0,6	0,0	1,1	0,6	3,3
Linienbusse (Dieselmotor, Flotte 2010)	Euro 0	8,8	48,3	1,2	4,6	6,8	69,7
	Euro I	7,6	27,6	1,2	4,6	6,8	47,8
	Euro II	7,5	22,6	1,2	4,6	6,8	42,7
	Euro III	7,7	19,1	1,2	4,6	6,8	39,5
	Euro IV	7,5	10,6	1,2	4,6	6,8	30,7
	Euro V	7,7	7,8	1,2	4,6	6,8	28,0
Reisebusse (Dieselmotor, Flotte 2010)	Euro 0	6,4	23,4	0,7	4,6	6,8	41,9
	Euro I	5,8	17,5	0,7	4,6	6,8	35,3
	Euro II	5,8	15,8	0,7	4,6	6,8	33,7
	Euro III	5,9	12,8	0,7	4,6	6,8	30,8
	Euro IV	5,9	7,2	0,7	4,6	6,8	25,1
	Euro V	6,0	4,9	0,7	4,6	6,8	23,1

Fahrzeugtyp und Emissionskategorie		Umweltkosten (Ø aller Strecken)					
		Auspuff		Abrieb	Lärm	Lebenszyklus	Gesamt
		THG	nicht-THG				
Leichte Nutzfahrzeuge (Benzinmotor, Flotte 2010)	Euro 0	2,1	4,1	0,1	4,7	2,2	13,2
	Euro I	2,0	2,8	0,1	4,7	2,2	11,8
	Euro II	1,8	1,6	0,1	4,7	2,2	10,4
	Euro III	1,6	0,4	0,1	4,7	2,2	9,0
	Euro IV	1,5	0,3	0,1	4,7	2,2	8,8
	Euro V	1,1	0,2	0,1	4,7	2,2	8,3
Leichte Nutzfahrzeuge (Dieselmotor, Flotte 2010)	Euro 0	2,3	10,4	0,1	4,7	2,3	19,8
	Euro I	1,9	6,5	0,1	4,7	2,3	15,6
	Euro II	1,6	4,4	0,1	4,7	2,3	13,1
	Euro III	1,4	2,7	0,1	4,7	2,3	11,2
	Euro IV	1,4	2,5	0,1	4,7	2,3	11,0
	Euro V	1,0	1,1	0,1	4,7	2,3	9,2
Schwere Nutzfahrzeuge (≤7,5t, Dieselmotor, Flotte 2010)	Euro 0	3,0	12,2	0,9	4,6	6,6	27,4
	Euro I	2,6	7,3	0,9	4,6	6,6	22,1
	Euro II	2,5	6,6	0,9	4,6	6,6	21,3
	Euro III	2,7	4,8	0,9	4,6	6,6	19,7
	Euro IV	2,7	2,6	0,9	4,6	6,6	17,4
	Euro V	2,7	1,6	0,9	4,6	6,6	16,5
Schwere Nutzfahrzeuge (7,5t - 12t, Dieselmotor, Flotte 2010)	Euro 0	4,1	17,1	0,9	4,6	6,6	33,4
	Euro I	3,6	10,3	0,9	4,6	6,6	26,1
	Euro II	3,5	9,3	0,9	4,6	6,6	25,0
	Euro III	3,7	6,9	0,9	4,6	6,6	22,8
	Euro IV	3,6	3,7	0,9	4,6	6,6	19,5
	Euro V	3,7	2,4	0,9	4,6	6,6	18,2
Schwere Nutzfahrzeuge (12t - 14t, Dieselmotor, Flotte 2010)	Euro 0	4,3	18,1	0,9	4,6	6,6	34,6
	Euro I	3,8	11,0	0,9	4,6	6,6	27,0
	Euro II	3,7	10,0	0,9	4,6	6,6	25,8
	Euro III	3,9	7,5	0,9	4,6	6,6	23,6

Fahrzeugtyp und Emissionskategorie		Umweltkosten (Ø aller Strecken)					
		Auspuff		Abrieb	Lärm	Lebens- zyklus	Gesamt
		THG	nicht- THG				
	Euro IV	3,8	3,9	0,9	4,6	6,6	19,9
	Euro V	3,9	2,5	0,9	4,6	6,6	18,6
Schwere Nutzfahrzeuge (14t - 20t, Dieselmotor, Flotte 2010)	Euro 0	5,2	21,9	0,9	4,6	6,6	39,3
	Euro I	4,4	13,4	0,9	4,6	6,6	29,9
	Euro II	4,3	12,1	0,9	4,6	6,6	28,5
	Euro III	4,5	9,3	0,9	4,6	6,6	26,0
	Euro IV	4,3	4,9	0,9	4,6	6,6	21,4
	Euro V	4,4	3,3	0,9	4,6	6,6	19,8
Schwere Nutzfahrzeuge (20t - 26t, Dieselmotor, Flotte 2010)	Euro 0	6,1	22,7	0,9	4,6	6,6	41,0
	Euro I	5,7	16,3	0,9	4,6	6,6	34,2
	Euro II	5,2	14,7	0,9	4,6	6,6	32,1
	Euro III	5,4	11,5	0,9	4,6	6,6	29,0
	Euro IV	5,2	5,9	0,9	4,6	6,6	23,2
	Euro V	5,3	3,9	0,9	4,6	6,6	21,3
Schwere Nutzfahrzeuge (26t - 28t, Dieselmotor, Flotte 2010)	Euro 0	6,4	23,9	0,9	4,6	6,6	42,5
	Euro I	5,6	17,1	0,9	4,6	6,6	34,8
	Euro II	5,5	15,1	0,9	4,6	6,6	32,8
	Euro III	5,7	11,9	0,9	4,6	6,6	29,7
	Euro IV	5,5	6,1	0,9	4,6	6,6	23,8
	Euro V	5,6	4,0	0,9	4,6	6,6	21,7
Schwere Nutzfahrzeuge (28t - 32t, Dieselmotor, Flotte 2010)	Euro 0	7,3	27,1	0,9	4,6	6,6	46,6
	Euro I	6,4	19,6	0,9	4,6	6,6	38,2
	Euro II	6,4	17,4	0,9	4,6	6,6	35,9
	Euro III	6,6	13,4	0,9	4,6	6,6	32,1
	Euro IV	6,4	6,8	0,9	4,6	6,6	25,5
	Euro V	6,6	4,4	0,9	4,6	6,6	23,2
Schwere Nutzfahrzeuge (>32t, Dieselmotor, Flotte 2010)	Euro 0	7,2	27,1	0,9	4,6	6,6	46,5
	Euro I	6,3	19,6	0,9	4,6	6,6	38,1

Fahrzeugtyp und Emissionskategorie		Umweltkosten (Ø aller Strecken)					
		Auspuff		Abrieb	Lärm	Lebens- zyklus	Gesamt
		THG	nicht- THG				
	Euro II	6,2	17,6	0,9	4,6	6,6	36,0
	Euro III	6,4	13,7	0,9	4,6	6,6	32,3
	Euro IV	6,3	6,8	0,9	4,6	6,6	25,3
	Euro V	6,4	4,5	0,9	4,6	6,6	23,0
Lastzüge (20t - 28t, Dieselmotor, Flotte 2010)	Euro 0	6,0	22,4	0,9	4,6	6,7	40,6
	Euro I	5,3	16,2	0,9	4,6	6,7	33,8
	Euro II	5,2	14,3	0,9	4,6	6,7	31,7
	Euro III	5,4	11,1	0,9	4,6	6,7	28,7
	Euro IV	5,3	5,7	0,9	4,6	6,7	23,2
	Euro V	5,3	3,8	0,9	4,6	6,7	21,3
Lastzüge (28t - 34t, Dieselmotor, Flotte 2010)	Euro 0	6,3	23,5	0,9	4,6	6,7	42,0
	Euro I	5,6	17,0	0,9	4,6	6,7	34,8
	Euro II	5,5	15,0	0,9	4,6	6,7	32,7
	Euro III	5,7	11,6	0,9	4,6	6,7	29,5
	Euro IV	5,6	5,9	0,9	4,6	6,7	23,7
	Euro V	5,7	3,8	0,9	4,6	6,7	21,7
Lastzüge (34t - 40t, Dieselmotor, Flotte 2010)	Euro 0	7,2	26,8	0,9	4,6	6,7	46,1
	Euro I	6,3	19,4	0,9	4,6	6,7	37,9
	Euro II	6,2	17,3	0,9	4,6	6,7	35,7
	Euro III	6,4	13,5	0,9	4,6	6,7	32,1
	Euro IV	6,2	6,8	0,9	4,6	6,7	25,3
	Euro V	6,3	4,5	0,9	4,6	6,7	23,0

Quelle: Berechnungen des IER im Rahmen des Forschungsprojekts.

Um eine Umrechnung der dargestellten Kosten pro Fahrzeugkilometer für die verschiedenen Fahrzeugtypen in Kostensätze je Personenkilometer (Pkm) und Tonnenkilometer (tkm) zu ermöglichen, benötigt man Angaben zu den Besetzungsgraden nach Fahrzeugtyp. Hier wurden einerseits Empfehlungen von INFRAS, basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes sowie REMOVE, und aus Spielmann et al. (2007) verwendet. Die folgende Tabelle B15 fasst diese Angaben zusammen. Es gilt hier darauf hinzuweisen, dass die Angaben zur Auslastung in Personenzügen zwischen den beiden genannten Quellen sehr stark abweichen. Wie aus der Tabelle zu entnehmen ist, geht aus den Daten von INFRAS eine durchschnittliche Auslastung von 112 Personen je Zug hervor. Die Daten aus ecoinvent (jeweils mit einem Sternchen versehen) zeigen dagegen eine Auslastung von 309 Personen je Zug.

Tabelle B15: Verwendete Besetzungsgrade nach Fahrzeugtyp

Besetzungsgrad		
Fahrzeugtyp	Personen / Fzg.	Tonnen / Fzg.
PKW	1,47	
Leichte Nutzfahrzeuge		0,8
Schwere Nutzfahrzeuge		10,52
Kraftrad	1,11	
Busflotte	17,10	
Linienbus	16,3*	
Reisebus	14,6*	
Passagierzug (allgemein)	112,0 (309*)	
Passagierzug (Diesel)	31,8	
Passagierzug (elektrisch)	138,5	
Güterzug (allgemein)		497,0
Güterzug (Diesel)		223,6
Güterzug (elektrisch)		586,5

Quelle: Berechnungen des IER im Rahmen des Forschungsprojekts.

Mit diesen Faktoren lassen sich alle in Fahrzeugkilometer angegebenen Kosten in Personenkilometer (Pkm) bzw. Tonnenkilometer (tkm) umrechnen. Beispielsweise betragen die Umweltkosten pro Kilometer bei Nutzung eines Diesel-PKW im Durchschnitt 6 €-Cent / Fzkm. Bei einem Besetzungsgrad von 1,5 Personen betragen die Umweltkosten pro Personenkilometer 4 €-Cent / Pkm.

Tabelle B16 stellt beispielhaft die so errechneten durchschnittlichen Umweltkosten (über alle Strecken) pro Personen- bzw. Tonnenkilometer dar.

Tabelle B16: Umweltkosten pro Personen- bzw. Tonnenkilometer für verschiedene Fahrzeugtypen in Deutschland (in €-Cent₂₀₁₀ / Pkm bzw. tkm)

Fahrzeugtyp		Umweltkosten gesamt	
PKW	Diesel	4,0	€-Cent ₂₀₁₀ / Pkm
	Benzin	3,1	€-Cent ₂₀₁₀ / Pkm
LKW	LNF (Diesel)	16,2	€-Cent ₂₀₁₀ / tkm
	LNF (Benzin)	12,1	€-Cent ₂₀₁₀ / tkm
	SNF (Diesel)	2,4	€-Cent ₂₀₁₀ / tkm
Bus	Diesel	2,2	€-Cent ₂₀₁₀ / Pkm
Krafträder	Benzin, 4 Takt	3,2	€-Cent ₂₀₁₀ / Pkm
	Benzin, 2 Takt	3,3	€-Cent ₂₀₁₀ / Pkm
Personenzug	Diesel	8,1	€-Cent ₂₀₁₀ / Pkm
	Elektrisch	0,8	€-Cent ₂₀₁₀ / Pkm
Güterzug	Diesel	3,2	€-Cent ₂₀₁₀ / tkm
	Elektrisch	0,3	€-Cent ₂₀₁₀ / tkm

Quelle: Berechnungen des IER im Rahmen des Forschungsprojekts.

B 5 Umweltkosten der Strom- und Wärmeerzeugung

B 5.1 Umweltkosten der Stromerzeugung

Um die Umweltkosten der Stromerzeugung zu ermitteln, benötigt man Emissionsfaktoren für die verschiedenen Stromerzeugungstechnologien. Das Umweltbundesamt veröffentlicht regelmäßig die Emissionsfaktoren in der Einheit Gramm pro elektrische Kilowattstunde (kWh_{el}) für fossile und erneuerbare Stromerzeugungstechnologien.

Darüber hinaus werden die Emissionsfaktoren in indirekte und direkte Emissionen unterschieden. Direkte Emissionen beziehen sich auf die Emissionen, die im Rahmen der Energieerzeugung, also in der Operationsphase des Lebenszyklus der einzelnen Technologien, entstehen. Indirekte Emissionen ergeben sich in den anderen Phasen des Lebenszyklus (Bau, Instandhaltung, Abbau).

Unter der Verwendung von Emissionsfaktoren und den oben dargestellten Umweltkosten pro Tonne emittierter Schadstoffe lassen sich u.a. die vermiedenen Umweltschäden und Umweltkosten für verschiedene Technologien zur Stromerzeugung berechnen.²⁴

Hierzu gibt es grundsätzlich zwei Berechnungsmöglichkeiten. Für eine differenzierte Analyse sind Informationen und Annahmen zu den Standorten der Energieerzeugungsanlagen in Deutschland notwendig, auf dessen Basis man dann modellgestützt die Umweltschadenskosten²⁵ pro Kilowattstunde Strom ermitteln kann. Eine weitere Berechnungsmöglichkeit besteht darin, auf durchschnittliche Kostensätze zurückzugreifen und die Umweltkosten hier nach auszuweisen. Die Berechnungen lassen sich so einfacher nachvollziehen und sind auch leicht zu aktualisieren, wenn neue Emissionsfaktoren vorliegen. Die Abweichungen zur o.g. differenzierten Methode sind eher gering und haben keinen Einfluss auf die qualitativen Schlussfolgerungen. Vor diesem Hintergrund wurde diese Berechnungsmethode z.B. von Breitschopf (2012) zur Aktualisierung der Umweltschadenskosten in der periodisch fortgeschriebenen BMU-Veröffentlichung „EE in Zahlen 2011“ gewählt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen werden auch hier dargestellt (vgl. Tabelle B17).

Die Emissionen aus der direkten Betriebsphase der Anlagen bewertet man dazu mit den durchschnittlichen Kostensätzen für Deutschland (vgl. Tabelle B4). Indirekte Emissionen entstehen jedoch nicht nur in Deutschland, sondern auch in anderen europäischen Ländern. Denn die zum Bau einer Anlage zur Stromerzeugung benötigten Teile werden nicht notwendigerweise alle in Deutschland produziert. Da nicht für jede Technologie die einzelnen Inputs und deren Ursprungsländer ermittelt werden konnten, schlägt das IER die Verwendung der EU Kostensätze vor (Tabelle B5).

²⁴ Siehe hierzu ausführlich Breitschopf (2012), sowie BMU (2012) Erneuerbare Energien in Zahlen.

²⁵ Vgl. ausführlich Müller/Preiss (2012).

Insgesamt schlägt das Umweltbundesamt für die Schätzung der Umweltkosten der Stromerzeugung Folgendes vor:

- Für überschlägige Berechnungen der vermiedenen Umweltschäden und der Umweltkosten pro erzeugter Einheit Strom oder Wärme können die Durchschnittskostensätze verwendet werden.
- Die Emissionen aus der direkten Betriebsphase sollten mit den deutschen Kostensätzen (Tabelle B4) bewertet werden.
- Die indirekten Emissionen sollten mit den durchschnittlichen EU-Kostensätzen bewertet werden (Tabelle B5).
- Für die Ausweisung standortbezogener Umweltschäden je Technologie bzw. Energieträger empfiehlt das UBA, die differenzierten Kostensätze aus Tabelle B6 anzusetzen.

Tabelle B17: Umweltkosten der Stromerzeugung in Deutschland (in €-Cent₂₀₁₀ / kWh_{el})

Stromerzeugung durch	Luftschadstoffe	Treibhausgase	Umweltkosten gesamt
Braunkohle	2,07	8,68	10,75
Steinkohle	1,55	7,38	8,94
Erdgas	1,02	3,90	4,91
Öl	2,41	5,65	8,06
<i>Erneuerbare Energien</i>			
Wasserkraft	0,14	0,04	0,18
Windenergie	0,17	0,09	0,26
Photovoltaik	0,62	0,56	1,18
Biomasse*	2,78	1,07	3,84
* Nach Erzeugungsanteilen gewichteter Durchschnittswert für Biomasse gasförmig, flüssig und fest (Haushalte und Industrie), Bandbreite von 0,3 bis 7,2 €-Cent/kWh _{el}			

Quelle: Breitschopf, B. (2012) und BMU (2012).

Stromerzeugung mit Braunkohle verursacht mit 10,75 €-Cent/kWh_{el} die höchsten Umweltkosten, gefolgt von den fossilen Energieträgern Steinkohle und Öl. Bereits deutlich niedriger liegen die Umweltkosten der Stromerzeugung aus Erdgas, am umweltfreundlichsten ist die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Gewichtet man die erneuerbaren Energien nach ihren Anteilen an der Stromerzeugung so liegen die Umweltkosten der erneuerbaren Energien, gemessen an ihrem Anteil an der Stromerzeugung 2010, im Durchschnitt nur bei etwa 1,8 €-Cent pro kWh_{el}. Die Umweltkosten der fossilen Energieträger liegen dagegen um 7 bis 9 €-Cent pro kWh_{el} darüber. Die Umweltkosten des Strommix Deutschland betragen 7,8 €-Cent / kWh_{el}.

Dies zeigt, dass durch die Förderung erneuerbarer Energien Folgekosten für Umwelt und Gesundheit in beträchtlicher Höhe vermieden werden. So beliefen sich die vermiedenen Umweltschäden durch den Einsatz von erneuerbarer Energie zur Stromerzeugung auf:²⁶

- 2007: 5,6 Mrd. €
- 2008: 5,9 Mrd. €
- 2009: 5,7 Mrd. €
- 2010: 5,8 Mrd. €
- 2011: 8,0 Mrd. €

Oftmals ist es sinnvoll, die Umweltkosten des durchschnittlichen Strommix zu bewerten, etwa um die Größenordnung vermiedener Umweltschäden durch Energieeinsparungen zu beziffern. Die durchschnittlichen Kosten pro kWh_{el} berechnet man, indem man die Anteile an der Stromerzeugung mit den jeweiligen Kostensätzen gewichtet.

Für das Jahr 2010 erhält man:

Strommix Deutschland (mit Kernkraft):	7.8 €-Cent / kWh _{el}
Strommix Deutschland (ohne Kernkraft):	7.0 €-Cent / kWh _{el}
Strommix erneuerbare Energien Deutschland:	1.8 €-Cent / kWh _{el}
Bahnstrommix:	7.0 €-Cent / kWh _{el}

Bei der Abschätzung der Umweltkosten der Kernenergie besteht das Problem, das die Ergebnisse der Studien große Bandbreiten aufweisen. Zur Bewertung der Kernenergie wurde hier die Vorgabe aus der Methodenkonvention²⁷ angewendet. Danach sollten für die Bewertung der Emissionen aus der Kernenergie die Emissionsfaktoren der Technologie mit den höchsten Umweltkosten, in diesem Fall also Braunkohle, verwendet werden.²⁸

²⁶ Vgl. Breitschopf et al. (2010), Breitschopf et al. (2011) und Breitschopf (2012).

²⁷ Vgl. Methodenkonvention 2.0, Kapitel 2.5.4.

²⁸ Ausführlicher zu diesem Vorgehen vgl. Methodenkonvention 2.0, Kapitel 2.5.4.

1.1. B 5.2 Umweltkosten der Wärmeerzeugung

Tabelle B18 stellt die Umweltkosten der Wärmeerzeugung für das Jahr 2010 dar. Heizen mit Kohle und Strom verursacht mit Abstand die höchsten Umweltkosten. Schon mit deutlichem Abstand folgt die Fernwärmeversorgung und das Heizen mit Erdgas und Heizöl. Die Umweltkosten der erneuerbaren Energien zur Wärmeerzeugung liegen noch deutlich darunter. Dies zeigt, dass der Ausbau erneuerbarer Energien auf dem Wärmemarkt die entstehenden Umweltkosten deutlich verringert.

Tabelle B18: Umweltkosten der Wärmeerzeugung der Haushalte in Deutschland (in €-Cent₂₀₁₀ / kWh_{Endenergie})

Wärmeerzeugung durch	Luftschadstoffe	Treibhausgase	Umweltkosten gesamt
Heizöl	0,80	2,52	3,32
Erdgas	0,26	2,02	2,28
Braunkohle (Brikett)	2,74	3,43	6,17
Fernwärme mit Netzverlusten	0,88	2,60	3,48
Stromheizung mit Netzverlusten*	1,14	5,15	6,29
<i>Erneuerbare Energien</i>			
Solarthermie	0,54	0,55	1,10
Oberflächengeothermie	0,39	1,75	2,13
Biomasse*	1,63	0,25	1,88
* Zugrundegelegt wurde der Durchschnittssatz der Stromerzeugung (inkl. erneuerbare Energien und unter Berücksichtigung der Vorketten für die Erzeugung der jeweiligen Kraftstoffe. ** Nach Erzeugungsanteilen gewichteter Durchschnittswert für Biomasse gasförmig, flüssig und fest (Haushalte und Industrie), Bandbreite von 0,56 – 3,2 €-Cent/kWh.			

Quelle: Breitschopf, B. (2012) und BMU (2012).

B Ergänzende Tabellen zu Emissionsfaktoren Verkehr

Tabelle BA1: Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugtypen in Deutschland [in t / Fzkm]

		Auspuff (exhaust)								Abrieb		
		CH ₄	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	NMVOC	NO _x	PPM _{2,5}	SO ₂	PPM ₁₀	PPM _{2,5}	PPM _{coarse}
PKW (Diesel)	AB	2,59E-10	1,50E-04	4,20E-09	1,00E-09	1,06E-08	7,64E-07	2,48E-08	8,09E-10	2,20E-08	2,20E-09	1,98E-08
	AO	3,00E-10	1,25E-04	4,15E-09	1,00E-09	1,22E-08	4,87E-07	1,99E-08	6,79E-10	2,20E-08	2,20E-09	1,98E-08
	IO	4,95E-10	1,67E-04	5,92E-09	1,00E-09	2,01E-08	6,17E-07	2,50E-08	9,05E-10	6,00E-08	6,00E-09	5,40E-08
PKW (Benzin)	AB	2,76E-09	1,97E-04	9,92E-10	6,40E-08	3,41E-08	2,05E-07	6,98E-09	1,05E-09	2,20E-08	2,20E-09	1,98E-08
	AO	2,36E-09	1,44E-04	1,40E-09	5,66E-08	3,09E-08	1,37E-07	2,65E-09	7,65E-10	2,20E-08	2,20E-09	1,98E-08
	IO	3,76E-09	1,83E-04	3,07E-09	3,93E-08	5,05E-08	1,80E-07	1,78E-09	9,71E-10	6,00E-08	6,00E-09	5,40E-08
LNF (Diesel)	AB	7,57E-10	2,47E-04	4,26E-09	1,00E-09	3,08E-08	1,81E-06	1,01E-07	1,34E-09	2,20E-08	2,20E-09	1,98E-08
	AO	7,75E-10	1,94E-04	4,22E-09	1,00E-09	3,15E-08	1,13E-06	8,36E-08	1,05E-09	2,20E-08	2,20E-09	1,98E-08
	IO	1,17E-09	2,10E-04	5,30E-09	1,00E-09	4,77E-08	1,02E-06	8,47E-08	1,14E-09	6,00E-08	6,00E-09	5,40E-08
LNF (Benzin)	AB	1,41E-08	1,94E-04	5,08E-09	6,15E-08	2,48E-07	5,38E-07	1,66E-08	1,03E-09	2,20E-08	2,20E-09	1,98E-08
	AO	8,17E-09	1,59E-04	6,18E-09	6,06E-08	1,69E-07	4,08E-07	8,02E-09	8,45E-10	2,20E-08	2,20E-09	1,98E-08
	IO	1,23E-08	1,99E-04	9,60E-09	5,67E-08	2,83E-07	5,01E-07	5,47E-09	1,06E-09	6,00E-08	6,00E-09	5,40E-08
SNF (Diesel)	AB	2,24E-09	6,92E-04	3,47E-08	3,00E-09	9,11E-08	3,28E-06	5,08E-08	3,75E-09	2,00E-07	2,00E-08	1,80E-07
	AO	2,48E-09	6,30E-04	2,92E-08	3,00E-09	1,01E-07	3,49E-06	6,44E-08	3,41E-09	2,00E-07	2,00E-08	1,80E-07
	IO	5,29E-09	6,63E-04	2,16E-08	3,00E-09	2,15E-07	5,34E-06	1,04E-07	3,59E-09	6,00E-07	6,00E-08	5,40E-07

KR (Benzin, 4-T)	AB	3,56E-08	1,37E-04	2,00E-09	2,00E-09	8,11E-07	6,59E-07	6,98E-09	7,27E-10	1,60E-08	1,60E-09	1,44E-08
	AO	2,43E-08	9,59E-05	2,00E-09	2,00E-09	5,59E-07	2,75E-07	2,65E-09	5,10E-10	1,60E-08	1,60E-09	1,44E-08
	IO	4,04E-08	1,02E-04	2,00E-09	2,00E-09	1,00E-06	1,36E-07	1,78E-09	5,44E-10	1,20E-08	1,20E-09	1,08E-08
KR (Benzin, 2-T)	AB	4,13E-07	1,11E-04	2,00E-09	2,00E-09	4,55E-06	1,60E-07	2,48E-08	5,92E-10	1,60E-08	1,60E-09	1,44E-08
	AO	3,28E-07	6,20E-05	1,19E-09	1,19E-09	3,06E-06	6,43E-08	1,99E-08	3,30E-10	1,60E-08	1,60E-09	1,44E-08
	IO	3,17E-07	5,62E-05	1,04E-09	1,04E-09	2,85E-06	6,47E-08	2,50E-08	2,99E-10	1,20E-08	1,20E-09	1,08E-08
Busse	AB	5,80E-09	6,90E-04	5,87E-09	3,00E-09	2,36E-07	5,97E-06	1,27E-07	3,74E-09	2,00E-07	2,00E-08	1,80E-07
	AO	6,43E-09	7,76E-04	6,65E-09	3,00E-09	2,61E-07	6,94E-06	1,52E-07	4,20E-09	2,00E-07	2,00E-08	1,80E-07
	IO	1,37E-08	1,08E-03	8,44E-09	3,00E-09	5,57E-07	1,06E-05	2,77E-07	5,83E-09	6,00E-07	6,00E-08	5,40E-07

Personenzug (Diesel)		3,64E-03		3,42E-06	6,45E-05	3,91E-06	4,40E-06
Personenzug (elekt- risch)	1,88E-05	5,71E-03		1,37E-07	3,00E-06	1,98E-07	3,07E-06
Güterzug (Die- sel)		1,16E-02		1,09E-05	2,05E-04	1,24E-05	1,40E-05
Güterzug (elektrisch)	3,74E-05	1,14E-02		2,72E-07	5,97E-06	3,95E-07	6,11E-06

AB = Autobahn, AO = Außerorts, IO = Innerorts

Quelle: Berechnungen des IER im Rahmen des Forschungsprojekts.

Tabelle BA2: Emissionsfaktoren für LC-Phasen für verschiedene Fahrzeugtypen in Deutschland [in t / Fzkm]

Fahrzeugtyp	Bau					Wartung				
	CO ₂	NM VOC	NO _x	PPM _{2,5}	SO ₂	CO ₂	NM VOC	NO _x	PPM _{2,5}	SO ₂
PKW (Diesel)	2,57E-05	4,99E-08	5,51E-08	1,18E-08	1,34E-07	4,83E-06	4,76E-09	9,81E-09	1,49E-09	1,78E-08
PKW (Benzin)	2,57E-05	4,99E-08	5,51E-08	1,18E-08	1,34E-07	4,83E-06	4,76E-09	9,81E-09	1,49E-09	1,78E-08
LNF (Diesel)	1,32E-05	1,78E-08	2,98E-08	7,92E-09	5,71E-08	1,01E-05	4,03E-09	1,83E-08	2,75E-09	3,48E-08
LNF (Benzin)	1,32E-05	1,78E-08	2,98E-08	7,92E-09	5,71E-08	1,01E-05	4,03E-09	1,83E-08	2,75E-09	3,48E-08
SNF,16t (Diesel)	3,23E-05	3,64E-08	7,67E-08	1,51E-08	9,26E-08	1,88E-05	3,27E-08	3,22E-08	4,00E-09	5,56E-08
SNF,28t (Diesel)	4,61E-05	4,77E-08	1,09E-07	2,33E-08	1,36E-07	2,47E-05	4,24E-08	4,44E-08	6,34E-09	7,19E-08
SNF,40t (Diesel)	6,33E-05	6,29E-08	1,50E-07	3,32E-08	1,93E-07	3,53E-05	6,64E-08	6,63E-08	1,01E-08	1,04E-07
KR (Benzin, 4-T)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
KR (Benzin, 2-T)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Busse	6,03E-05	5,23E-08	1,42E-07	3,98E-08	2,10E-07	3,23E-05	2,96E-08	4,34E-08	4,75E-09	6,13E-08
Personenzug	1,45E-03	9,91E-07	3,15E-06	7,32E-07	6,15E-06	9,45E-04	4,02E-06	1,78E-06	2,23E-07	2,21E-06
Güterzug	1,45E-03	9,91E-07	3,15E-06	7,32E-07	6,15E-06	9,45E-04	4,02E-06	1,78E-06	2,23E-07	2,21E-06

Fahrzeugtyp	Entsorgung					Kraftstoffbereitstellung				
	CO ₂	NM VOC	NO _x	PPM _{2,5}	SO ₂	CO ₂	NM VOC	NO _x	PPM _{2,5}	SO ₂
PKW (Diesel)	2,50E-06	6,66E-10	2,18E-09	1,50E-10	1,66E-09	4,44E-05	2,18E-07	6,91E-08	1,65E-08	4,24E-07
PKW (Benzin)	2,50E-06	6,66E-10	2,18E-09	1,50E-10	1,66E-09	7,79E-05	2,46E-07	1,54E-07	2,53E-08	6,91E-07
LNF (Diesel)	1,90E-07	6,04E-11	2,83E-10	1,33E-11	8,42E-11	6,58E-05	3,23E-07	1,02E-07	2,45E-08	6,28E-07
LNF (Benzin)	1,90E-07	6,04E-11	2,83E-10	1,33E-11	8,42E-11	7,95E-05	2,51E-07	1,57E-07	2,58E-08	7,06E-07
SNF, 16t (Diesel)	1,24E-06	1,65E-10	9,76E-10	3,91E-11	1,53E-10	2,06E-04	1,01E-06	3,21E-07	7,68E-08	1,97E-06
SNF, 28t (Diesel)	2,00E-06	3,07E-10	1,80E-09	7,13E-11	2,75E-10	2,06E-04	1,01E-06	3,21E-07	7,68E-08	1,97E-06
SNF, 40t (Diesel)	2,00E-06	3,07E-10	1,80E-09	7,13E-11	2,75E-10	2,06E-04	1,01E-06	3,21E-07	7,68E-08	1,97E-06
KR (Benzin, 4-T)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,35E-05	1,37E-07	8,58E-08	1,41E-08	3,86E-07
KR (Benzin, 2-T)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,35E-05	1,37E-07	8,58E-08	1,41E-08	3,86E-07
Busse	2,51E-06	1,15E-10	7,73E-10	2,36E-11	1,16E-10	2,68E-04	1,32E-06	4,17E-07	9,98E-08	2,56E-06
Personenzug	3,94E-06	4,25E-09	2,00E-08	1,09E-09	2,83E-09					
Güterzug	3,94E-06	4,25E-09	2,00E-08	1,09E-09	2,83E-09					

Quelle: Berechnungen des IER im Rahmen des Forschungsprojekts.

Tabelle BA3: Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugtypen nach Euronormen in Deutschland [in t / Fzkm]

		Auspuff (exhaust)								Abrieb		
		CH ₄	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	NMVOC	NO _x	PPM _{2,5}	SO ₂	PM ₁₀	PPM _{2,5}	PPM _{coarse}
PKW (Benzin)	Euro 0 (niedrig)	1,41E-08	1,60E-04	6,97E-09	2,00E-09	1,54E-07	7,98E-07	7,14E-09	8,57E-10	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 0 (hoch)	4,33E-08	2,86E-04	1,13E-08	1,00E-07	1,24E-06	2,34E-06	1,18E-08	1,52E-09	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 1	1,49E-08	2,12E-04	1,04E-08	9,99E-08	1,62E-07	7,98E-07	7,14E-09	1,12E-09	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 2	5,02E-09	2,04E-04	5,02E-09	1,26E-07	5,48E-08	3,79E-07	1,09E-08	1,09E-09	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 3	1,76E-09	1,99E-04	4,43E-10	4,06E-08	1,92E-08	6,59E-08	3,98E-09	1,06E-09	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 4	7,50E-10	1,93E-04	4,80E-10	4,05E-08	8,17E-09	6,22E-08	2,05E-09	1,02E-09	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 5	6,22E-10	1,79E-04	4,20E-10	4,03E-08	6,78E-09	5,56E-08	1,86E-09	9,54E-10	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
PKW (Diesel)	Euro 0	5,52E-09	1,84E-04	0,00E+00	1,00E-09	8,75E-08	6,74E-07	1,15E-07	9,17E-10	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 1	1,34E-09	1,55E-04	3,73E-09	1,00E-09	5,47E-08	6,97E-07	1,19E-07	8,35E-10	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 2	7,49E-10	1,43E-04	5,73E-09	1,00E-09	3,05E-08	7,42E-07	7,83E-08	7,62E-10	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 3	4,53E-10	1,43E-04	4,67E-09	1,00E-09	1,84E-08	7,89E-07	3,73E-08	7,72E-10	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 4	2,26E-10	1,42E-04	4,67E-09	1,00E-09	9,20E-09	5,31E-07	3,60E-08	7,63E-10	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 5	2,33E-10	1,40E-04	4,67E-09	1,00E-09	9,49E-09	5,28E-07	1,47E-09	7,76E-10	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
Krafträder (2-Takt)	Euro 0	4,69E-07	9,82E-05	2,00E-09	2,00E-09	6,23E-06	8,37E-08	1,15E-07	5,13E-10	1,47E-08	1,47E-09	1,32E-08
	Euro 1	3,26E-07	9,09E-05	2,00E-09	2,00E-09	4,33E-06	5,70E-08	1,19E-07	4,77E-10	1,47E-08	1,47E-09	1,32E-08
	Euro 2	5,30E-07	7,72E-05	2,00E-09	2,00E-09	1,84E-06	7,13E-08	7,83E-08	4,06E-10	1,47E-08	1,47E-09	1,32E-08
	Euro 3	3,41E-07	6,43E-05	2,00E-09	2,00E-09	1,18E-06	7,32E-08	3,73E-08	3,38E-10	1,47E-08	1,47E-09	1,32E-08

		Auspuff (exhaust)								Abrieb		
		CH ₄	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	NMVOG	NO _x	PPM _{2,5}	SO ₂	PM ₁₀	PPM _{2,5}	PPM _{coarse}
Krafträder (4-Takt)	Euro 0	3,97E-08	9,65E-05	2,00E-09	2,00E-09	1,14E-06	3,09E-07	1,18E-08	5,04E-10	1,47E-08	1,47E-09	1,32E-08
	Euro 1	2,19E-08	9,35E-05	2,00E-09	2,00E-09	6,28E-07	2,97E-07	7,14E-09	4,91E-10	1,47E-08	1,47E-09	1,32E-08
	Euro 2	3,60E-08	9,17E-05	2,00E-09	2,00E-09	3,92E-07	2,71E-07	1,09E-08	4,83E-10	1,47E-08	1,47E-09	1,32E-08
	Euro 3	1,76E-08	9,45E-05	2,00E-09	2,00E-09	1,92E-07	1,95E-07	3,98E-09	4,97E-10	1,47E-08	1,47E-09	1,32E-08
Linienbus	Euro 0	4,14E-08	1,09E-03	2,44E-09	3,00E-09	1,68E-06	1,61E-05	7,82E-07	5,92E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 1	1,46E-08	9,50E-04	2,44E-09	3,00E-09	5,93E-07	1,03E-05	3,93E-07	5,14E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 2	1,01E-08	9,28E-04	2,44E-09	3,00E-09	4,11E-07	1,07E-05	2,06E-07	5,02E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 3	9,16E-09	9,64E-04	1,22E-09	3,00E-09	3,72E-07	8,86E-06	1,83E-07	5,21E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 4	1,13E-09	9,33E-04	2,61E-09	3,00E-09	4,59E-08	6,03E-06	4,52E-08	5,05E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 5	1,15E-09	9,51E-04	6,76E-09	3,00E-09	4,68E-08	4,13E-06	4,62E-08	5,14E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
Reisebus	Euro 0	1,17E-08	7,92E-04	8,00E-09	3,00E-09	4,77E-07	1,11E-05	3,48E-07	4,29E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 1	1,17E-08	7,16E-04	8,00E-09	3,00E-09	4,77E-07	8,05E-06	2,80E-07	3,87E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 2	7,94E-09	7,19E-04	7,46E-09	3,00E-09	3,23E-07	8,63E-06	1,40E-07	3,88E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 3	7,62E-09	7,39E-04	4,46E-09	3,00E-09	3,10E-07	6,59E-06	1,42E-07	3,99E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 4	8,77E-10	7,26E-04	1,24E-08	3,00E-09	3,57E-08	4,31E-06	2,94E-08	3,92E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 5	9,01E-10	7,41E-04	3,62E-08	3,00E-09	3,66E-08	2,84E-06	3,01E-08	4,01E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
LNF (Benzin)	Euro 0	5,13E-08	2,58E-04	7,11E-09	2,00E-09	1,47E-06	2,25E-06	1,63E-08	1,37E-09	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 1	3,58E-08	2,35E-04	2,94E-08	1,02E-07	3,90E-07	1,42E-06	1,20E-08	1,25E-09	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08

		Auspuff (exhaust)								Abrieb		
		CH ₄	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	NMVOc	NO _x	PPM _{2,5}	SO ₂	PM ₁₀	PPM _{2,5}	PPM _{coarse}
	Euro 2	1,23E-08	2,21E-04	1,81E-08	1,35E-07	1,35E-07	5,01E-07	1,84E-08	1,17E-09	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 3	2,14E-09	2,02E-04	2,70E-09	3,73E-08	2,34E-08	8,76E-08	5,97E-09	1,07E-09	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 4	1,21E-09	1,87E-04	4,43E-10	3,71E-08	1,32E-08	5,54E-08	4,20E-09	9,92E-10	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 5	9,82E-10	1,34E-04	3,09E-10	3,69E-08	1,07E-08	3,88E-08	3,31E-09	7,11E-10	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
LNF (Diesel)	Euro 0	5,49E-09	2,83E-04	0,00E+00	1,00E-09	2,23E-07	1,74E-06	3,21E-07	1,53E-09	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 1	3,02E-09	2,38E-04	3,65E-09	1,00E-09	1,23E-07	1,50E-06	1,74E-07	1,29E-09	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 2	1,37E-09	2,03E-04	5,65E-09	1,00E-09	5,55E-08	1,31E-06	9,73E-08	1,09E-09	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 3	2,09E-10	1,70E-04	4,88E-09	1,00E-09	8,50E-09	1,01E-06	4,73E-08	9,17E-10	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 4	2,06E-10	1,73E-04	4,88E-09	1,00E-09	8,40E-09	8,57E-07	4,68E-08	9,33E-10	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
	Euro 5	2,25E-10	1,17E-04	4,88E-09	1,00E-09	9,15E-09	6,96E-07	7,00E-10	6,35E-10	3,47E-08	3,47E-09	3,12E-08
SNF (< 7,5t)	Euro 0	1,56E-08	3,75E-04	3,41E-09	3,00E-09	6,35E-07	4,82E-06	2,50E-07	2,03E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 1	3,81E-09	3,24E-04	3,41E-09	3,00E-09	1,55E-07	3,49E-06	1,02E-07	1,75E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 2	2,54E-09	3,14E-04	3,38E-09	3,00E-09	1,03E-07	3,58E-06	5,49E-08	1,70E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 3	2,30E-09	3,31E-04	2,19E-09	3,00E-09	9,36E-08	2,53E-06	4,77E-08	1,79E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 4	3,22E-10	3,30E-04	6,03E-09	3,00E-09	1,31E-08	1,54E-06	9,96E-09	1,79E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 5	3,23E-10	3,30E-04	1,75E-08	3,00E-09	1,31E-08	9,00E-07	1,00E-08	1,79E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
SNF (7,5t - 12t)	Euro 0	1,24E-08	5,03E-04	3,41E-09	3,00E-09	5,03E-07	8,16E-06	2,40E-07	2,72E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 1	5,95E-09	4,47E-04	3,41E-09	3,00E-09	2,42E-07	4,87E-06	1,50E-07	2,42E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07

		Auspuff (exhaust)								Abrieb		
		CH ₄	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	NM VOC	NO _x	PPM _{2,5}	SO ₂	PM ₁₀	PPM _{2,5}	PPM _{coarse}
	Euro 2	3,89E-09	4,34E-04	3,38E-09	3,00E-09	1,58E-07	5,04E-06	8,16E-08	2,35E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 3	3,56E-09	4,56E-04	2,19E-09	3,00E-09	1,45E-07	3,60E-06	7,24E-08	2,47E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 4	4,82E-10	4,51E-04	6,03E-09	3,00E-09	1,96E-08	2,20E-06	1,51E-08	2,44E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 5	4,84E-10	4,52E-04	1,75E-08	3,00E-09	1,97E-08	1,34E-06	1,52E-08	2,45E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
SNF (12t - 14t)	Euro 0	1,33E-08	5,30E-04	7,44E-09	3,00E-09	5,43E-07	8,62E-06	2,54E-07	2,87E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 1	6,33E-09	4,70E-04	7,44E-09	3,00E-09	2,57E-07	5,19E-06	1,61E-07	2,54E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 2	4,18E-09	4,57E-04	6,63E-09	3,00E-09	1,70E-07	5,39E-06	8,78E-08	2,47E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 3	3,82E-09	4,78E-04	4,19E-09	3,00E-09	1,56E-07	3,91E-06	7,90E-08	2,59E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 4	4,91E-10	4,69E-04	1,18E-08	3,00E-09	2,00E-08	2,34E-06	1,59E-08	2,54E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 5	4,93E-10	4,70E-04	3,45E-08	3,00E-09	2,00E-08	1,44E-06	1,60E-08	2,54E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
SNF (14t - 20t)	Euro 0	1,96E-08	6,43E-04	7,44E-09	3,00E-09	7,98E-07	1,03E-05	3,22E-07	3,48E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 1	8,73E-09	5,45E-04	7,44E-09	3,00E-09	3,55E-07	6,15E-06	2,06E-07	2,95E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 2	5,88E-09	5,30E-04	6,63E-09	3,00E-09	2,39E-07	6,47E-06	1,10E-07	2,87E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 3	5,52E-09	5,56E-04	4,19E-09	3,00E-09	2,25E-07	4,69E-06	1,10E-07	3,01E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 4	6,00E-10	5,36E-04	1,18E-08	3,00E-09	2,44E-08	2,92E-06	1,96E-08	2,90E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 5	6,06E-10	5,37E-04	3,45E-08	3,00E-09	2,47E-08	1,87E-06	1,97E-08	2,91E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
SNF (20t - 26t)	Euro 0	1,04E-08	7,53E-04	7,44E-09	3,00E-09	4,25E-07	1,07E-05	3,29E-07	4,08E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 1	1,02E-08	7,05E-04	7,44E-09	3,00E-09	4,13E-07	7,49E-06	2,53E-07	3,55E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07

		Auspuff (exhaust)								Abrieb		
		CH ₄	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	NM VOC	NO _x	PPM _{2,5}	SO ₂	PM ₁₀	PPM _{2,5}	PPM _{coarse}
	Euro 2	6,79E-09	6,42E-04	6,63E-09	3,00E-09	2,76E-07	7,89E-06	1,35E-07	3,47E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 3	6,28E-09	6,67E-04	4,19E-09	3,00E-09	2,55E-07	5,84E-06	1,30E-07	3,61E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 4	6,85E-10	6,42E-04	1,18E-08	3,00E-09	2,79E-08	3,51E-06	2,34E-08	3,48E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 5	6,90E-10	6,44E-04	3,45E-08	3,00E-09	2,81E-08	2,21E-06	2,36E-08	3,48E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
SNF (26t - 28t)	Euro 0	1,08E-08	7,96E-04	7,44E-09	3,00E-09	4,41E-07	1,13E-05	3,46E-07	4,31E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 1	1,05E-08	6,93E-04	7,44E-09	3,00E-09	4,28E-07	7,82E-06	2,67E-07	3,75E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 2	7,12E-09	6,84E-04	6,63E-09	3,00E-09	2,90E-07	8,03E-06	1,45E-07	3,70E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 3	6,56E-09	7,06E-04	4,19E-09	3,00E-09	2,67E-07	6,00E-06	1,38E-07	3,82E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 4	7,53E-10	6,83E-04	1,18E-08	3,00E-09	3,06E-08	3,61E-06	2,53E-08	3,70E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 5	7,56E-10	6,85E-04	3,45E-08	3,00E-09	3,07E-08	2,26E-06	2,55E-08	3,71E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
SNF (28t - 32t)	Euro 0	1,16E-08	9,06E-04	1,09E-08	3,00E-09	4,70E-07	1,30E-05	3,83E-07	4,90E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 1	1,13E-08	7,96E-04	1,09E-08	3,00E-09	4,60E-07	9,05E-06	2,99E-07	4,31E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 2	7,65E-09	7,89E-04	1,09E-08	3,00E-09	3,11E-07	9,28E-06	1,63E-07	4,27E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 3	7,06E-09	8,14E-04	6,38E-09	3,00E-09	2,87E-07	6,83E-06	1,51E-07	4,41E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 4	8,79E-10	7,97E-04	1,80E-08	3,00E-09	3,57E-08	4,08E-06	2,85E-08	4,31E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 5	8,85E-10	8,00E-04	5,30E-08	3,00E-09	3,60E-08	2,52E-06	2,87E-08	4,33E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
SNF (> 32t)	Euro 0	1,15E-08	8,97E-04	1,09E-08	3,00E-09	4,66E-07	1,29E-05	3,88E-07	4,85E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 1	1,15E-08	7,85E-04	1,09E-08	3,00E-09	4,68E-07	9,00E-06	3,03E-07	4,25E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07

		Auspuff (exhaust)								Abrieb		
		CH ₄	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	NMVOc	NO _x	PPM _{2,5}	SO ₂	PM ₁₀	PPM _{2,5}	PPM _{coarse}
	Euro 2	7,58E-09	7,72E-04	1,09E-08	3,00E-09	3,08E-07	9,41E-06	1,61E-07	4,18E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 3	6,97E-09	7,97E-04	6,38E-09	3,00E-09	2,83E-07	7,03E-06	1,50E-07	4,31E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 4	8,11E-10	7,75E-04	1,80E-08	3,00E-09	3,30E-08	4,10E-06	2,75E-08	4,19E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 5	8,18E-10	7,77E-04	5,30E-08	3,00E-09	3,33E-08	2,55E-06	2,77E-08	4,21E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
Lastzug (20t - 28t)	Euro 0	1,01E-08	7,45E-04	7,44E-09	3,00E-09	4,10E-07	1,06E-05	3,22E-07	4,03E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 1	9,82E-09	6,62E-04	7,44E-09	3,00E-09	3,99E-07	7,44E-06	2,52E-07	3,58E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 2	6,64E-09	6,44E-04	6,63E-09	3,00E-09	2,70E-07	7,63E-06	1,34E-07	3,48E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 3	6,09E-09	6,69E-04	4,19E-09	3,00E-09	2,48E-07	5,63E-06	1,28E-07	3,62E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 4	7,11E-10	6,53E-04	1,18E-08	3,00E-09	2,89E-08	3,44E-06	2,33E-08	3,53E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 5	7,14E-10	6,55E-04	3,45E-08	3,00E-09	2,90E-08	2,15E-06	2,34E-08	3,54E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
Lastzug (28t - 34t)	Euro 0	9,99E-09	7,80E-04	1,09E-08	3,00E-09	4,06E-07	1,12E-05	3,34E-07	4,22E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 1	9,87E-09	6,95E-04	1,09E-08	3,00E-09	4,01E-07	7,81E-06	2,63E-07	3,76E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 2	6,66E-09	6,79E-04	1,09E-08	3,00E-09	2,71E-07	7,98E-06	1,40E-07	3,67E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 3	6,10E-09	7,04E-04	6,38E-09	3,00E-09	2,48E-07	5,91E-06	1,32E-07	3,81E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 4	7,24E-10	6,88E-04	1,80E-08	3,00E-09	2,94E-08	3,54E-06	2,39E-08	3,72E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 5	7,29E-10	6,90E-04	5,30E-08	3,00E-09	2,97E-08	2,19E-06	2,41E-08	3,73E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
Lastzug (34t - 40t)	Euro 0	1,17E-08	8,87E-04	1,19E-08	3,00E-09	4,77E-07	1,27E-05	3,86E-07	4,80E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 1	1,15E-08	7,78E-04	1,19E-08	3,00E-09	4,69E-07	8,85E-06	3,05E-07	4,21E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07

		Auspuff (exhaust)								Abrieb		
		CH ₄	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	NMVOC	NO _x	PPM _{2,5}	SO ₂	PM ₁₀	PPM _{2,5}	PPM _{coarse}
	Euro 2	7,63E-09	7,68E-04	1,10E-08	3,00E-09	3,10E-07	9,21E-06	1,62E-07	4,16E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 3	6,97E-09	7,90E-04	7,38E-09	3,00E-09	2,83E-07	6,92E-06	1,50E-07	4,28E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 4	8,08E-10	7,70E-04	1,99E-08	3,00E-09	3,29E-08	4,09E-06	2,69E-08	4,17E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07
	Euro 5	8,11E-10	7,72E-04	5,73E-08	3,00E-09	3,30E-08	2,56E-06	2,70E-08	4,18E-09	3,33E-07	3,33E-08	3,00E-07

Quelle: Berechnungen des IER im Rahmen des Forschungsprojekts.

Literaturverzeichnis

Anthoff, D. (2007): Report on marginal external damage costs inventory of greenhouse gas emissions, NEEDS Delivery n° 5.4 – RS 1b, 2007.

Blasing, T. J. (2012): Recent Greenhouse Gas Concentrations, (Updated February 2012); DOI: 10.3334/CDIAC/atg.032; http://cdiac.ornl.gov/pns/current_ghg.html

BMU (2012): Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung, http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_ee_zahlen_bf.pdf .

Breitschopf, B. (2012): Ermittlung vermiedener Umweltschäden – Hintergrundpapier zur Methodik im Rahmen des Projektes „Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien“, im Auftrag des BMU, http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hg_umweltschaeden_bf.pdf .

Breitschopf, B. et al. (2011), Einzel- und gesamtwirtschaftliche Analyse von Kosten- und Nutzenwirkungen des Ausbaus Erneuerbarer Energien im deutschen Strom- und Wärmemarkt – Update der qualifizierten Kosten- und Nutzenwirkungen für 2010, Untersuchung im Auftrag des BMU.

Breitschopf, B. et al. (2010), Einzel- und gesamtwirtschaftliche Analyse von Kosten- und Nutzenwirkungen des Ausbaus Erneuerbarer Energien im deutschen Strom- und Wärmemarkt – Update der qualifizierten Kosten- und Nutzenwirkungen für 2009, Untersuchung im Auftrag des BMU.

CE Delft (2008), Handbook on estimation of external costs in the transport sector - IMPACT D1, Version 1.1 February, 2008.

De Ceuster, G., van Herbruggen, B., Ivanova, O., Carlier, K., Martino, A. und Fiorello, D. (2007): REMOVE. Service contract for the further development and application of the transport and environmental REMOVE model, Lot 1 (Improvement of the data set and model structure), Service Contract 070501/2005/420798/MAR/C1, Final Report, European Commission, Directorate General Environment, Brüssel.

ExternE (2005): Externalities of Energy – Methodology 2005 update, Editiert von Peter Bickel und Rainer Friedrich, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung; DG Research; EUR 21951.

Friedrich, R., Kuhn, A., Bessagnet, B., Blesl, M., Bruchof, D., Cowie, H., et al. (2011): D 5.3.1/2 Methods and results of the HEIMTSA/INTARESE Common Case Study, http://www.integrated-assessment.eu/sites/default/files/CCS_FINAL_REPORT_final.pdf.

HBEFA (2010): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA), Version 3.1, Umweltbundesamt Berlin, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft Bern, Bern, INFRAS AG.

IFEU (2010): Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland"(TREMOMOD, Version 5.1), Heidelberg.

INFRAS/IWW (2004): External costs of transport, Update Study, Zürich, Karlsruhe.

IPCC (International Panel on Climate Change) (2007a): Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policy Makers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC.

Kugler, U., Jörß, W. Theloke, J. (2010): Verkehrsemissionsmodellierung - Modellvergleich und Alternative Szenarien. UFOPLAN FKZ 206 43 200/01.

Kugler, U. (2012): Straßenverkehrsemissionen in Europa – Emissionsberechnung und Bewertung von Minderungsmaßnahmen, Dissertation, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart, http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2012/7039/pdf/FB107_OPUS.pdf

Kuik, O., Brander, L. und Tol, R. S. J. (2009): Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions: A meta-analysis, Energy Policy 37, S. 1395–1403.

Maibach, M. et al. (2007): Praktische Anwendung der Methodenkonvention: Möglichkeiten der Berücksichtigung externer Umweltkosten bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen von öffentlichen Investitionen. Endbericht März 2007. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes.

Müller, W./ Preiss, P. (2012), Kostensätze für Luftschadstoffe, Verkehr, Strom- und Wärmeerzeugung, IER, Version: 05. Juni 2012.

Müller, W., Preiss, P., Klotz, V. und Friedrich, R. (2010): External cost values for EE SUT framework – Final report providing external cost values to be applied in an EE SUT framework, Deliverable DIII,1,b-2, EXIOPOL (A new environmental accounting framework using externality data and input-output tools for policy analysis), <https://feem-projectnet.serversicuro.it/exiopol/index.php>

Ohlau, K., Preiss, P. und Friedrich, R. (2012): Lärm, Sachstandspapier im Rahmen des Vorhabens „Schätzung Externer Umweltkosten und Vorschläge zur Kosteninternalisierung in ausgewählten Politikfeldern“, Umweltbundesamt, Forschungsprojekte FKZ 3708 14 101, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart, http://www.umweltbundesamt.de/umweltoekonomie/publikationen/sachstandspapier_laerm.pdf

Preiss, P., Friedrich, R. und Klotz V. (2008): Report on the procedure and data to generate averaged/aggregated data, Deliverable N° 1.1 - RS 3a, NEEDS (New Energy Externalities Developments for Sustainability), <http://www.needs-project.org>

Preiss, P., Müller, W., Torras, S., Kuhn, A. und Friedrich, R. (2012): Klassische Luftschadstoffe, Sachstandspapier im Rahmen des Vorhabens „Schätzung Externer Umweltkosten und Vorschläge zur Kosteninternalisierung in ausgewählten Politikfeldern“, Umweltbundesamt, Forschungsprojekt FKZ 3708 14 101, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart, http://www.umweltbundesamt.de/umweltoekonomie/publikationen/sachstandspapier_klassische_luftschadstoffe.pdf

Spielmann, M., Bauer, C., Dones, R. und Tuchs Schmid, M. (2007): Transport Services, Data v2.0, Ecoinvent report No. 14, Villingen und Uster, Dezember 2007.

Sutter, D. (2011): Kostensatz Natur und Landschaft. Persönliche Mitteilung im Rahmen der Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten. Umweltbundesamt, Forschungsprojekte FKZ 3708 14 101, INFRAS, E-Mail vom 24. Februar 2011

Torras Ortiz, S. (2010), A hybrid dispersion modelling approach for quantifying and assessing air quality in Germany with focus on urban background and kerbside concentrations, Dissertation, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart.

UBA (Umweltbundesamt) (2007): Ökonomische Bewertung von Umweltschäden – Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten, Umweltbundesamt, April 2007.

Watkiss, P. et al. (2005), The Impacts and Costs of Climate Change, final Report prepared as task 1 of the project 'Modelling support for Future Actions: Benefits and Cost of Climate Change Policies and Measures', Brussels: Commissioned by European Commission DG Environment, 2005,

http://europa.eu.int/comm/environment/climat/pdf/final_report2.pdf

Wille, V., Preiss, P. und Friedrich, R. (2012): Sachstandspapier zu Treibhausgasen & Klimawandel, Sachstandspapier im Rahmen des Vorhabens „Schätzung Externer Umweltkosten und Vorschläge zur Kosteninternalisierung in ausgewählten Politikfeldern“, Umweltbundesamt, Forschungsprojekte FKZ 3708 14 101, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart,

http://www.umweltbundesamt.de/umweltoekonomie/publikationen/sachstandspapier_klima_und_treibhaus_gase.pdf