

Methoden- und Anwenderhandbuch

Tool zur monetären Abschätzung der Wirkungen externer Effekte städtischer Verkehrssysteme

Version 1.0

Mai 2018

Universität Kassel
Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrssysteme

M.Sc. Assadollah Saighani
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Carsten Sommer

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das Projekt „NRVP 2020 - Kostenvergleich zwischen Radverkehr, Fußverkehr, motorisiertem Individualverkehr und ÖPNV anhand von kommunalen Haushalten“, wurde vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) aus Mitteln zur Umsetzung des Nationalen Radverkehrsplans (NRVP) gefördert.

Inhalt

1	Einleitung	3
1.1	Einführung	3
1.2	Aufbau des Handbuchs.....	3
2	Methodischer Ansatz und Abgrenzungen	4
2.1	Unfallkosten	6
2.1.1	Einführung	6
2.1.2	Ermittlung des Mengengerüsts	6
2.1.3	Kostensätze	6
2.1.4	Allokationsrechnung.....	7
2.2	Luftschadstoffkosten	8
2.2.1	Einführung	8
2.2.2	Abschätzung des Mengengerüsts.....	8
2.2.3	Kostensätze	8
2.2.4	Allokationsrechnung.....	8
2.3	Klimafolgekosten.....	9
2.3.1	Einführung	9
2.3.2	Abschätzung des Mengengerüsts.....	9
2.3.3	Kostensätze	9
2.3.4	Allokationsrechnung.....	9
2.4	Lärmbelastungskosten.....	10
2.4.1	Einführung	10
2.4.2	Abschätzung des Mengengerüsts.....	10
2.4.3	Kostensätze	12
2.4.4	Allokationsrechnung.....	13
2.5	Nutzen im nicht-motorisierten Verkehr.....	14
2.5.1	Einführung	14
2.5.2	Abschätzung des Nutzens im nicht-motorisierten Verkehr.....	14
3	Allgemeine Bedienhinweise	15
3.1	Systemspezifikationen	15
3.2	Bedienoberfläche.....	16
4	Programmbedienung	17
4.1	Übersicht der Programmstruktur	17
4.2	Tabellenblatt „START“	17
4.3	Tabellenblatt „VERKEHRSNACHFRAGE“	18
4.4	Tabellenblatt „LAERMBELASTUNG“	20
4.5	Tabellenblatt „UNFAELLE“	21
5	Ergebnisse und Interpretation	23
5.1	Tabellenblatt „ERGEBNISSE“	23
5.2	Tabellenblatt „ERGEBNISREPORT“	25
6	Abbildungsverzeichnis	26
7	Tabellenverzeichnis	26
8	Literaturverzeichnis	27

1 Einleitung

1.1 Einführung

Zur monetären Abschätzung der Wirkungen von externen Effekten der städtischen Verkehrssysteme wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „NRVP 2020 – Welche Kosten verursachen verschiedene Verkehrsmittel wirklich?“ (VB1513) ein IT-gestütztes Berechnungsinstrument (Tool) vom Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrssysteme der Universität Kassel konzipiert. Mit dem Tool soll der kommunalen Verwaltung ein einfach zu bedienendes Instrument zur Verfügung gestellt werden, um verkehrssystemspezifisch die Wirkungen der externen Effekte des städtischen Verkehrs abzuschätzen und zu monetarisieren. Entwickelt wurde das Tool auf Basis des weit verbreiteten Tabellen-Kalkulationsprogramm Microsoft Excel. Damit soll gewährleistet sein, dass das Tool von seinen Software- und Hardwarevoraussetzungen sowie Administrationsrechten (keine installierten Makros) in den meisten Kommunen anwendbar ist. Für das im Tool implementierte Rechenmodell sind stadtspezifische Eingangsgrößen erforderlich. Eine fachgerechte Ermittlung der erforderlichen Eingangsgrößen ist Voraussetzung für belastbare Ergebnisse. Die durch das Rechenmodell erzielten Ergebnisse ersetzen keine fachliche Kompetenz. In jedem Fall bedürfen die Ergebnisse des Tools einer fachlichen Interpretation und abschließender Bewertung. Durch den hier verfolgten verkehrssystemübergreifenden Ansatz sollen u.a. folgende Leitfragen beantwortet werden:

- Wie hoch sind die verkehrsbedingten externen Effekte (Kosten und Nutzen)?
- Welche verkehrsbedingten Wirkungen werden monetarisiert?
- Wer verursacht die externen Kosten bzw. Nutzen?

Neben den absoluten Größen werden verschiedene Kennwerte ermittelt, die eine Einordnung und Interpretation der Ergebnisse ermöglichen (siehe Kapitel 5). Durch die Ergebnisse und Kennwerte wird eine Kostentransparenz erreicht, die sowohl im Rahmen der Verkehrs- und Stadtplanung als auch im Rahmen der kommunalen Verkehrs- und Finanzpolitik eingesetzt werden können.

Das vorliegende Methoden- und Anwenderhandbuch dient zum einen als Grundlage für das Verständnis der verschiedenen und im Tool implementierten Bewertungsansätze zur Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Effekte. Zum anderen soll mit Hilfe des Methoden- und Anwenderhandbuchs die Anwendung bzw. Nutzung des Tools erläutert werden.

1.2 Aufbau des Handbuchs

Neben dem **ersten Kapitel** ist das vorliegende Handbuch folgendermaßen aufgebaut:

- In **Kapitel 2** werden zunächst der methodische Ansatz des Bewertungsverfahrens und allgemeine Abgrenzungen zum Untersuchungsrahmen vorgestellt. Darauf aufbauend werden die einzelnen Bewertungsverfahren und Allokationsprinzipien der berücksichtigten externen Effekte des städtischen Verkehrs detailliert beschrieben.
- **Kapitel 3** beschreibt allgemeine Bedienhinweise des IT-gestützten Tools.
- **Kapitel 4** zeigt detailliert die Nutzung des Tools. Dabei werden für jedes Tabellenblatt die erforderlichen Eingangsgrößen und deren Ermittlung beschrieben.
- Abschließend wird in **Kapitel 5** die Darstellung und Interpretation der Ergebnisse und Kennwerte in den dazugehörigen Tabellenblättern beschrieben.

2 Methodischer Ansatz und Abgrenzungen

Das im Tool implementierte Rechenmodell zur monetären Abschätzung der verkehrsbedingten Wirkungen von externen Effekten basiert auf den nachfolgenden Festlegungen.

- **Berücksichtigte Kosten- und Nutzenbereiche sowie methodischer Ansatz**

Im vorliegenden Bewertungsverfahren werden die allokatonsrelevanten externen Effekte berücksichtigt, die durch den Verkehrsmittelbetrieb der betrachteten städtischen Verkehrssysteme entstehen (siehe Tabelle 2.1). Die wichtigsten externen Kosten entstehen durch Luftschadstoff-, Klimagas- und Lärmemissionen sowie durch Verkehrsunfälle. Der nicht-motorisierte Verkehr (Fuß- und Radverkehr) erzeugt durch regelmäßige Bewegung einen externen Nutzen in Form von positiven Wirkungen auf die Gesundheit. Nicht berücksichtigt werden die externen Kosten, die durch vor- und nachgelagerter Prozesse zur Bereitstellung von Energie für den Verkehrsmittelbetrieb (Kraftstoffgewinnung und Stromerzeugung) und beim Bau, Unterhalt und Entsorgung von Fahrzeugen und Infrastrukturen entstehen. Die Internalisierung dieser Kosten sollte nach (Tinbergen 1968) direkt in den vor- und nachgelagerten Prozessen stattfinden und nicht im Verkehrssektor. Eine detailliertere Beschreibung der verschiedenen Ansätze wird in den folgenden Abschnitten beschrieben (siehe Kapitel 2.1 bis Kapitel 2.5). Tabelle 2.1 zeigt die wichtigsten methodischen Elemente nach Kosten- bzw. Nutzenart.

Tabelle 2.1: Übersicht der wichtigsten methodischen Elemente nach (Saighani 2018)

	Unfallkosten	Luftschadstoffkosten	Klimafolgekosten	Lärmbelastungskosten	Nutzen im Fuß- und Radverkehr
Bewertete Wirkungen	Medizinische Behandlungskosten, Nettoproduktionsausfall, Wiederbesetzungskosten, immaterielle Kosten, Administrativkosten, Polizei- und Rechtsfolgekosten	Gesundheitskosten, Kosten für Gebäudeschäden, Ernteausfälle, Biodiversitätsverluste	Kosten für Vermeidungsmaßnahmen zur Erreichung eines langfristigen globalen Klimaziels (2-Grad-Ziel)	Gesundheitsschäden (Ischämische Herzkrankheiten und Hypertonie) Belästigende Wirkungen	Reduzierung der Mortalität (Sterblichkeit) (höhere Lebenserwartung) verhinderte Todesfälle
Mengengerüst	Personenschäden differenziert nach Verletzungsgrad	Luftschadstoffemissionen von Stickoxiden (NO _x), flüchtige Kohlenwasserstoffe ohne Methan (NMVOC), Schwefeldioxid (SO ₂), Ammoniak (NH ₃) und Feinstaubpartikel (PM)	Emissionen der Klimagase CO ₂ , CH ₄ und N ₂ O	Einwohnerbezogene Schalldruckpegel aus den im Zuge der EU-Richtlinie 2002/49/EG erstellten Lärmkarten	Wöchentliche Wegedauer zu Fuß bzw. mit dem Fahrrad
Monetarisierungsansatz	Schadenskostenansatz Immaterielle Kosten als Zahlungsbereitschaftskosten (VSL)	Schadenskostenansatz	Vermeidungskostenansatz	Zahlungsbereitschaftskostenansatz	Zahlungsbereitschaftskostenansatz (VSL)
Kostensätze	(Baum et al. 2010); (van Essen et al. 2011)	(UBA 2012)	(UBA 2012)	(Friedrich et al. 2012)	(van Essen et al. 2011)
Allokationsprinzipien	Hauptverursacher in Kombination mit Gefährdungspotential	Proportional zur spezifischen Fahrleistung	Proportional zur spezifischen Fahrleistung	Lärmgewichtungsfaktoren, spezifische Fahrleistung	Proportional zur spezifischen Unterwegszeit

- **Räumliche Abgrenzung**

Abgeschätzt werden die Wirkungen der externen Effekte, die durch den städtischen Verkehr innerhalb der administrativen Grenze einer Kommune verursacht werden (Territorialprinzip). Berücksichtigt werden daher die verkehrsbedingten externen Effekte, die sich auf den Ort der Verursachung (städtischer Verkehr) beziehen, unabhängig davon, wo und zu welchen Zeiten die Kosten (negative externe Effekte) oder die Nutzen (positive externe Effekte) entstehen bzw. auftreten. Beispielweise werden die Klimafolgekosten abgeschätzt, die durch den motorisierten Verkehr innerhalb einer Kommune verursacht werden. Die Klimafolgeschäden, die sich in den Kostensätzen widerspiegeln, umfassen nicht (nur) die Schäden, die in der betrachteten Kommune auftreten, sondern die globalen Schäden infolge der emittierten Treibhausgasemissionen des städtischen Verkehrs. Eine Ausnahme stellt der externe Nutzen im Fuß- und Radverkehr dar. Hier wird der Nutzen (Gesundheitsnutzen) betrachtet, der durch die Wohnbevölkerung der betrachteten Kommune gestiftet wird (Inländerprinzip).

- **Preisstand und Zeitraum**

Die Ergebnisse werden im Wesentlichen auf der Preisbasis des Jahres 2010 abgeschätzt und beziehen sich auf ein bestimmtes und vom Anwender festgelegtes Kalenderjahr.

- **Verkehrssysteme**

Betrachtet werden die fünf städtischen Verkehrssysteme: Fuß-, Rad-, Pkw-, Lkw- und Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV bzw. ÖSPV). Die städtischen Verkehrssysteme sind wie in Tabelle 2.2 definiert und abgegrenzt.

Tabelle 2.2: Abgrenzung der städtischen Verkehrssysteme

Verkehrssystem	Verkehrsträger	Verkehrsmittel/ Nutzergruppen
Pkw-Verkehr	Straße*	Personenwagen, Kombi leichte Güterfahrzeuge (Fahrzeuge ≤ 3.5 t, Lieferwagen)
Lkw-Verkehr	Straße*	schwere Güterfahrzeuge (Fahrzeuge > 3.5 t, Lastwagen & schwere Sattelschlepper)
ÖPNV bzw. ÖSPV	Straße* ÖSPV	Linienbusse Straßenbahnen U- / Stadtbahnen
Fußverkehr	Straße*	Fußgänger
Radverkehr	Straße*	Fahrräder

*Baulastträger der Verkehrsinfrastruktur (ggf. Bundes-, Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen)

- **Umgang mit Unsicherheiten bei der Monetarisierung**

Grundlage bei der Quantifizierung der externen Effekte bilden vorhandene (valide) nationale und internationale Verfahren, die mit entsprechenden (akzeptierten) Kostensätze aus der Fachliteratur monetarisiert werden. Die im Tool implementierten Kostensätze beruhen im Wesentlichen auf den Best-Practice-Ansätzen der Methodenkonvention des Umweltbundesamtes¹ sowie auf Standardwerke die im Auftrag der EU erstellt wurden². Bei der Interpretation der Ergebnisse ist darauf zu achten, dass die im Tool ausgewiesene (monetäre) Höhe der externen Effekte zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Kosten und Nutzen („At-Least-Ansatz“) führt.

¹ Vgl. UBA 2012)

² Vgl. u.a.: Maibach et al. 2007), Maibach et al. 2008), van Essen et al. 2011), Korzhenevych et al. 2014)

2.1 Unfallkosten

2.1.1 Einführung

Ein Verkehrsunfall kann zu weitreichenden Folgen führen. Neben Sachschäden (Materialschäden) kommt es je nach Unfallart zu Verletzten oder sogar zu Todesfällen. Im vorliegenden Bewertungsverfahren werden die im Verkehrswegenetz einer Kommune (Baulast der Kommune, d.h. ohne Bundesautobahnen) entstandenen und polizeilich registrierten Personenschäden infolge von Verkehrsunfällen betrachtet. Nicht berücksichtigt werden Sachschäden (Materialschäden) an Fahrzeugen und Infrastrukturen. Diese werden aus individueller Sicht durch Versicherungsbeiträge abgedeckt und sind entsprechend bereits im Rahmen der Fahrzeugbetriebskosten als privater Kostenbestandteil erfasst und somit internalisiert. Zur Abschätzung der externen Unfallkosten werden nach (Baum et al. 2010) die folgenden Kostenbereiche in der Allokationsrechnung berücksichtigt:

- Reproduktionskosten (Kosten für die medizinische Versorgung, Polizei- Rechtssprechungs-, Versicherungs- und Neubesetzungskosten),
- Ressourcenausfallkosten (Verluste durch Produktionsausfälle infolge Arbeitsunfähigkeit),
- außermärkliche Kosten (Wertschöpfungsverluste in Haushaltswirtschaft etc.) sowie
- immaterielle bzw. humanitäre Kosten (Schmerz, Leid etc.).

Zur monetären Bewertung der Unfallfolgen ist eine differenzierte Betrachtung der Unfallfolgen erforderlich. Dabei werden die Verletzungsfolgen mit Personenschäden in die dreigliedrige Klassifizierung nach Unfall mit Getöteten, Unfall mit Schwerverletzten und Unfall mit Leichtverletzten unterschieden.

2.1.2 Ermittlung des Mengengerüsts

Als Datengrundlage werden alle polizeilich registrierten Verkehrsunfälle im Verkehrswegenetz einer Kommune (ohne Bundesautobahnen), die nach den definierten Merkmalen des Straßenverkehrsunfallstatistikgesetzes (StVUnfStatG 2015) erfasst werden, berücksichtigt. Verkehrsunfalldaten liegen bei den zuständigen Polizeiamttern in einer zentralen Datenbank über längere Zeiträume vor (z.B. elektronisches Unfallsteckkartensystem). Für den hier beschriebenen Ansatz sind folgende Angaben je Unfallereignis erforderlich:

- Angaben zu den Unfallfolgen: Anzahl der getöteten, leicht- und schwerverletzten Personen,
- Angaben zum Unfallereignis: Unfallstelle (hier: Verkehrswegenetz der Kommune, ohne Bundesautobahnen),
- Angaben zu den am Unfallereignis beteiligten Verkehrssystemen: beteiligte Verkehrssysteme differenziert nach Fahrzeugart und Hauptunfallverursacher.

2.1.3 Kostensätze

Zur Ermittlung der Unfallkosten werden die von (Baum et al. 2010) ermittelten Kostensätze verwendet, die in regelmäßigen Abständen die volkswirtschaftlichen Kosten durch Straßenverkehrsunfälle in Deutschland ermitteln und basieren auf Schadenskosten. Eine klare Abgrenzung zwischen internen und externen Unfallkostenkomponenten ist nicht ohne weiteres möglich. So werden bei einem Verkehrsunfall gewisse Kostenbestandteile durch Versicherungen und Eigenleistungen bereits internalisiert und somit direkt vom Verkehrsteilnehmer selbst getragen. Die Haftungspflicht des Unfallverursachers gegenüber dem Nichtunfallverursachers werden daher nach (Becker et al. 2002) von den gesamten Unfallkosten herausgerechnet (siehe Tabelle 2.3). In Anlehnung an (Becker et al. 2002) werden für immaterielle Kosten der a „Value of Statistical Life“ (Wert des statistischen Lebens oder auch „Risk Value“ bezeichnet) angesetzt. Nach (van Essen et al. 2011) wird als „Value of Statistical Life“ für einen Todesfall in den Mitgliedstaaten der EU (EU-27) ein mittlerer Wert in Höhe von 1,67 Mio. EUR empfohlen.

Anteilig vom „Value of Statistical Life“ werden für Schwerverletzte 13,3% (217.000 EUR) und für Leichtverletzte 1% (16.700 EUR) angerechnet. Aus ethischen Gründen wird der „Value of Statistical Life“ nicht nach Alter, Einkommen oder Berufstätigkeit der Opfer differenziert (Doll et al. 2013). Wie bei (Becker et al. 2002) wird angenommen, dass der Unfallverursacher die von ihm verursachten immateriellen Kosten selbst trägt (Verursacherprinzip). Die im vorliegenden Verfahren angesetzten Kosten-sätze sind in Tabelle 2.3 zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 2.3: Kostensätze für Verunglückte bei Verkehrsunfällen nach Verletzungsgrad und Unfallverschulden nach (Baum et al. 2010), (van Essen et al. 2011), (Becker et al. 2002), (Neumann 2016)

EUR/Verunglückter	Getötete		Schwerverletzte		Leichtverletzte	
	Ver- ursacher	Nicht-Ver- ursacher	Ver- ursacher	Nicht-Ver- ursacher	Ve- ursacher	Nicht-Ver- ursacher
Reproduktionskosten (Summe)	16.264	16.004	20.451	20.199	1.037	1.003
Ressourcenausfallkosten	105.846	105.846	52.735	52.735	798	798
Außermarktliche Kosten (Summe)	431.048	431.048	27.299	27.299	428	428
Immaterielle (humanitäre) Kosten	---	1.670.000	---	217.100	---	16.700
Minderung um Zahlungen der Haftpflicht	---	- 354.086	---	- 22.201	---	- 7.326
Summe	553.158	1.868.812	100.485	295.132	2.263	11.603

2.1.4 Allokationsrechnung

Jeder polizeilich erfasste Verkehrsunfall im städtischen Straßenverkehrsnetz (ohne BAB) wird anhand der in Tabelle 2.3 dargestellten Kostensätze monetarisiert. Die Kostenallokation erfolgt nach dem Ansatz von (Saighani 2018) und basiert aus der Kombination des Verursacherprinzips und der Berücksichtigung der ausgehenden Gefährdungspotentiale der Verkehrssysteme. Das Gefährdungspotential der Verkehrssysteme beruht auf der im Straßenverkehrsgesetz (StVG 2017) geregelten Gefährdungshaftung von Kraftfahrzeugen. Die Gefährdungshaftung bringt zum Ausdruck, dass bereits der reine Betrieb von Kraftfahrzeugen eine Gefahr für den Straßenverkehr und seinen Teilnehmern darstellt. Ausgehend von diesem Ansatz erfolgt die Allokation der externen Unfallkosten nach (Saighani 2018) wie folgt: das unfallverursachende Verkehrssystem (Hauptverursacher) trägt vollständig seine eigenen Unfallkosten (Fahrer und Mitfahrer) und anteilig die externen Unfallkosten des nicht-unfallverursachenden Verkehrssystems. Die Aufteilung der nicht-unfallverursachenden Kosten erfolgt auf Grundlage der kinetischen Energie als Aufprallkraft (ohne Bremsverzug), die am Unfallereignis entsteht (Saighani 2018). Die kinetische Energie (E_{kin}) eines Verkehrssystems ist abhängig von der Masse (m) und der mittleren gefahrenen Geschwindigkeit (v) und wird über die folgende Gleichung ausgedrückt:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (1)$$

Die Allokation der nicht-unfallverursachenden Kosten erfolgt dementsprechend anteilig auf die am Unfallereignis beteiligten Verkehrssysteme. Der Anteil ergibt sich über das Verhältnis der entstandenen kinetischen Energie eines Verkehrssystems zu den gesamten kinetischen Energien aller am Unfallereignis beteiligten Verkehrssysteme (Saighani 2018).

2.2 Luftschadstoffkosten

2.2.1 Einführung

Durch die Verbrennung von fossilen Kraftstoffen werden Luftschadstoffemissionen im Straßenverkehr freigesetzt, die schädlich für die menschliche Gesundheit und die gesamte Umwelt sind. Das Bewertungsverfahren zur Abschätzung der Luftschadstoffkosten erfolgt durch eine Monetarisierung der Menge an (straßen-)verkehrsbedingten Schadstoffemissionen (Abschnitt 2.2.2) mit spezifischen Kostensätzen (Abschnitt 2.2.3).

2.2.2 Abschätzung des Mengengerüsts

Die Emissionsmengen von Stickoxiden (NO_x), flüchtige Kohlenwasserstoffe ohne Methan (NMVOC), Schwefeldioxid (SO₂), Ammoniak (NH₃) und Feinstaubpartikel (PM) werden getrennt für die verschiedenen Fahrzeugarten im Pkw-, Lkw-, und Linienbusverkehr auf Grundlage von spezifischen Emissionsfaktoren (g/Fzkm) und der jährlichen Fahrleistung abgeschätzt. Berücksichtigt werden die motorbedingten Emissionen, die durch den warmen Betriebszustand der Kraftfahrzeuge entstehen. Die spezifischen Emissionsfaktoren wurden aggregiert je nach Fahrzeugart, Antriebsart, Verkehrssituation, Flottenzusammensetzung, Verkehrszusammensetzung, Straßentyp etc. auf Basis der HBEFA-Datenbank in der Version 3.3 (Keller et al. 2017) ermittelt.

2.2.3 Kostensätze

Zur Monetarisierung der Luftschadstoffemissionen werden im vorliegenden Bewertungsverfahren die empfohlenen Kostensätze der UBA-Methodenkonvention (UBA 2012) verwendet. Die Kostensätze basieren auf Schadenskosten und beinhalten Gesundheits-, Material- und Ernteschäden sowie Biodiversitätsverluste (Tabelle 2.4).

Tabelle 2.4: Kostensätze für Luftschadstoffemissionen im Verkehr in EUR/t (2010) aus (UBA 2012)

Schadstoffart	Kostensatz für Emissionen in Deutschland je Schadstoffart in EUR/t Innerorts (Durchschnitt, Stadt und Großstadt)
PM _{2.5} Verkehr (Auspuff)	364.100
PM _{coarse} * Verkehr (Abrieb, Aufwirbelung)	10.200
PM ₁₀ ** Verkehr (Abrieb, Aufwirbelung)	33.700
NO _x (Bau und Betriebsphase)	15.400
SO ₂ (Bau und Betriebsphase)	13.200
NMVOC (Bau und Betriebsphase)	1.700
NH ₃ (Bau und Betriebsphase)	26.800

* als PM_{coarse} werden Partikel zwischen 2,5 und 10 Mikrometer bezeichnet.

** Kostensätze für PM₁₀-Emissionen durch Abrieb und Aufwirbelungen 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.

2.2.4 Allokationsrechnung

Die Luftschadstoffkosten des Straßenverkehrs werden aus der Multiplikation der Emissionsmengen an Schadstoffen im Pkw-, Lkw- und Linienbusverkehr und einem spezifischen Kostensatz je Schadstoffart differenziert abgeschätzt.

2.3 Klimafolgekosten

2.3.1 Einführung

Der Ausstoß von anthropogenen CO₂-Emissionen verursacht nachhaltig negative Auswirkungen auf das globale Klima. Die daraus resultierende globale Temperaturerhöhung führt u.a. zum Anstieg des Meeresspiegels, zu vermehrten Extremwetterereignissen, Schäden an Ökosystemen, Gesundheitsschäden am Menschen. Zur Abschätzung der Klimafolgekosten wird die Menge der straßenverkehrsbedingten Treibhausgasemissionen, ausgedrückt in CO₂-Äquivalente (siehe Abschnitt 2.3.2), mit einem spezifischen Kostensatz multipliziert (siehe Abschnitt 2.3.3).

2.3.2 Abschätzung des Mengengerüsts

Auf Basis von spezifischen Emissionsfaktoren (nach HBEFA 3.3) und der jährlichen Fahrleistung wird die jährliche Menge an Treibhausgasen Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffoxid (N₂O) abgeschätzt. Anschließend wird die Menge der Treibhausgasemissionen (CO₂, CH₄, N₂O) entsprechend ihrem „Global Warming Potential“ nach Gewichtungsfaktoren von (UBA 2014) in CO₂-Äquivalente umgerechnet (Tabelle 2.5).

Tabelle 2.5: Global Warming Potential (GWP) je Emissionsart aus (UBA 2014)

Emissionsart	Global Warming Potential (GWP) (Treibhausgaspotential)
Kohlendioxid (CO ₂)	1
Methan (CH ₄)	25
Lachgas (N ₂ O)	298

2.3.3 Kostensätze

Ausgehend von der Einhaltung des global vereinbarten 2-Grad-Ziels wird als Vermeidungskostensatz der empfohlene Wert von (UBA 2012) in Höhe von 77 EUR pro Tonne CO₂-eq für das Jahr 2010 nach (Wille et al. 2012) basierend auf der Metaanalyse von (Kuik et al. 2009) verwendet (Tabelle 2.6).

Tabelle 2.6: Empfehlungen von (UBA 2012) zu Vermeidungskosten in EUR / t CO₂-eq nach (Wille et al. 2012) auf Basis von (Kuik et al. 2009)

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

2.3.4 Allokationsrechnung

Analog zu den Luftschadstoffkosten werden die Klimafolgekosten aus der Multiplikation der gesamten Treibhausgasemissionen im Pkw-, Lkw- und Linienbusverkehr und dem empfohlenen Wert von 77 EUR pro Tonne CO₂-eq differenziert abgeschätzt.

2.4 Lärmbelastungskosten

2.4.1 Einführung

Unterscheiden lassen sich die negativen Auswirkungen der Lärmbelastung nach (Ecoplan und INFRAS 2014) in folgende zwei Bereiche:

- **Belästigungen durch Lärm:** Störungen in der Kommunikation, Störungen von Ruhe und Erholung, Konzentrationsstörungen (Leistungsfähigkeit bzw. Produktionsfähigkeit), Einschränkungen von Freizeitaktivitäten, Verminderung des allgemeinen Wohlbefindens etc.
- **Gesundheitsschäden durch Lärmbelastung:** negative Auswirkungen auf die psychische und physische Gesundheit (Schlafstörungen, Bluthochdruck, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Schädigung des Hörorgans und viele weitere) aufgrund von mittel- bis langfristig auftretenden Lärmbelastungen.

Hauptlärmquellen des Stadtverkehrs sind zum einen die Geräusche von Kraftfahrzeugen, die sich hauptsächlich aus Antriebsgeräuschen und das Reifen-Fahrbahn-Geräusch im Straßenverkehr ergeben und zum anderen durch Reibungen beim Rad-Schiene-Kontakt beim spurgeführten Verkehr (Saighani 2018). Abgeschätzt werden die Lärmbelastungskosten auf Grundlage von verkehrslärmexponierten Personen (Kapitel 2.4.2) und spezifischen Kostensätzen (Kapitel 2.4.3).

2.4.2 Abschätzung des Mengengerüsts

Als Mengengerüst zur Abschätzung der Lärmbelastung werden für die lärm betroffenen Einwohner differenziert nach den Straßen- und Schienenverkehr (ohne das Schienennetz der Deutschen Bahn AG) aus den Ergebnissen der EU-Umgebungslärmrichtlinie (EG-Richtlinie 2002/49/EG) verwendet. Bezugsgröße zur Bewertung der Lärmbelastung stellt die Anzahl von verkehrslärmexponierten Personen je Schalldruckpegelklasse dar, die über den ganzen Tag (24-Stunden, Tag-Abend-Nacht Lärmindex L_{DEN}) belastet sind. Der europaweit normierte Tag-Abend-Nacht-Lärmindex L_{DEN} geht von einem energieäquivalenten Dauerschallpegel aus, der jeweils über ein durchschnittliches Jahr ermittelt wird. Der Tag wird dabei in drei Zeitabschnitte eingeteilt, den Tagzeitraum (12 Stunden), den Abendzeitraum (4 Stunden) und die Nacht (8 Stunden). Für diese Zeitabschnitte wird im Rahmen der EU-Umgebungslärmrichtlinie jeweils separat ein Mittelungspegel berechnet (L_{Day} , $L_{Evening}$, L_{Night}). Der Tag-Abend-Nacht-Lärmindex L_{DEN} wird anschließend als zeitgewichtetes Mittel auf Grundlage dieser drei Zeiträume berechnet. Für den Abendzeitraum wird ein Zuschlag von 5 dB (A) und für den Nachtzeitraum ein Zuschlag von 10 dB (A) berücksichtigt (34. BImSchV 2006). Durch den Tag-Abend-Nacht-Lärmindex soll eine Bewertung der Belästigungswirkung des Umgebungslärms bei den betroffenen Einwohnern ermöglicht werden. Berechnet werden die Lärmindizes auf Basis einer Vielzahl von Eingangsgrößen, die die Situation vor Ort realistisch nachbilden (z.B. Geländemodell, Bebauung, Lärmschutzeinrichtungen, Verkehrsstärken, Verkehrszusammensetzung, Geschwindigkeiten, Fahrbahnoberfläche etc.). Aufbauend auf der Lärmemissionsmodellierung erfolgt die Berechnung von Lärmimmissionen der Einwohner, die innerhalb der Isophonen-Bänder der Lärmindizes liegen. Die verkehrslärmexponierten Personen werden nach (VBEB 2007) auf Grundlage von fiktiven Immissionspunkten an Gebäudefassaden modelltechnisch abgeschätzt. Nach (VBEB 2007) sind die fiktiven Immissionspunkte in 4 m Höhe über dem Boden an allen Gebäudefassaden angeordnet und ihre Anzahl variiert in Abhängigkeit von der Gebäudegröße. Dies erfolgt getrennt für Straßen-, Schienen- und Fluglärm. Nicht berücksichtigt werden die Lärmbelastungen, die von Schienenwegen von Eisenbahnen des Bundes ausgehen. Diese werden separat vom Eisenbahn-Bundesamt (EBA) ausgearbeitet und sind nicht Bestandteil der Bewertung.

Zu beachten ist, dass die EU-Umgebungslärmrichtlinie (EG-Richtlinie 2002/49/EG) Mindestanforderungen an die Lärmkartierungen in Ballungsräumen stellt, die in zwei zeitlichen Phasen (Stufe 1 und Stufe

2) festgelegt sind. Die Mindestanforderungen in den beiden Berichtsräumen nach den einheitlichen Verfahren der (EG-Richtlinie 2002/49/EG) sind in Tabelle 2.7 dargestellt.

Tabelle 2.7: Mindestanforderungen zur Erstellung von Lärmkarten in der Stufe 1 und 2 nach (Europäische Kommission 2017)

	1. Berichtsrunde (2005 bis 2009)	2. Berichtsrunde (2010 bis 2014)
Ballungsräume	> 250.000 Einwohner	> 100.000 Einwohner
Hauptverkehrsstraßen	Verkehrsaufkommen von > 6 Millionen Kraftfahrzeugen pro Jahr	Verkehrsaufkommen von > 3 Millionen Kraftfahrzeugen pro Jahr)
Haupteisenbahnstrecken	Verkehrsaufkommen von > 60.000 Zügen pro Jahr	Verkehrsaufkommen von > 30.000 Zügen pro Jahr
Großflughäfen	Verkehrsaufkommen von > 50.000 Bewegungen pro Jahr	Verkehrsaufkommen von > 50.000 Bewegungen pro Jahr

Aus den Mindestanforderungen geht hervor, dass Hauptverkehrsstraßen erst ab einem Verkehrsaufkommen von über 6 Mio. Kraftfahrzeugen pro Jahr (Stufe 1) bzw. von über 3 Mio. Kraftfahrzeugen pro Jahr (Stufe 2) in die Lärmberechnung Eingang finden. Infolge dieser Mindestanforderungen ist davon auszugehen, dass die modellhaft abgeschätzten Betroffenenzahlen systematisch unterschätzt werden, da ein großer Teil des Verkehrswegenetzes unkartiert bleibt. Aus der Praxis ist bekannt, dass einige Städte bei der Lärmberechnung, z.B. um die Wirkungen von Lärminderungsmaßnahmen im Rahmen von Lärmaktionsplänen zu quantifizieren, über die Mindestanforderungen der Richtlinie hinausgehen und auch Straßen mit einer geringeren Verkehrsbelastung berücksichtigen (Saighani 2018). Daher sind die Ergebnisse von verschiedenen Städten nicht direkt miteinander vergleichbar (Gerlach et al. 2015).

Neben einer grafischen Darstellung in Form von Lärmkarten, die in der Regel anhand von Isophone-Bänder in 5 dB (A) Intervallen dargestellt werden (siehe Bild 2.1), werden die Ergebnisse der Lärmkartierungen auch in Tabellenform veröffentlicht.

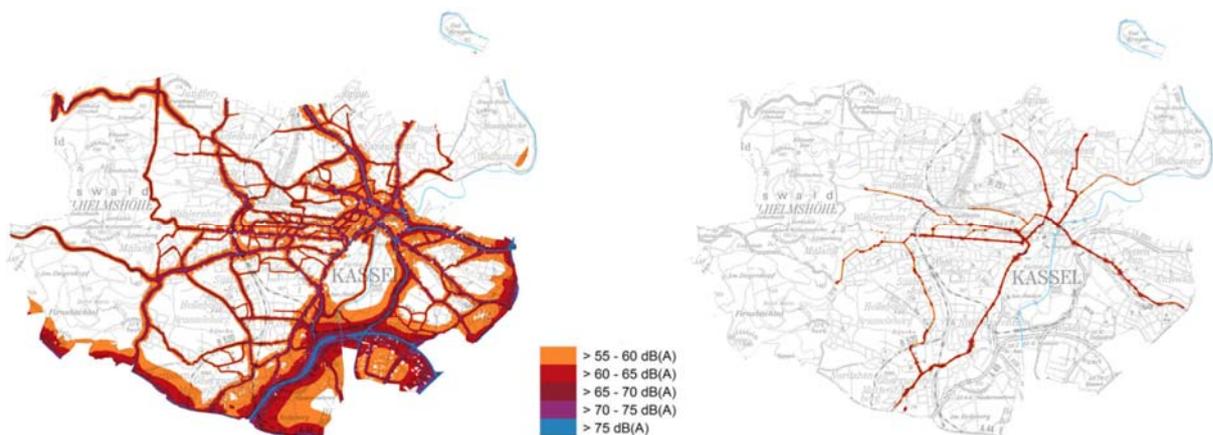


Bild 2.1: Straßenverkehrslärm (links) und Straßenbahnlärm (rechts) L_{DEN} in der Stadt Kassel aus (HLUG 2013)

Abschätzung der lärmbeeinträchtigten Einwohner durch Bundesautobahnen

Bei der Straßenverkehrslärmkartierung werden auch die verkehrslärmexponierten Einwohner berücksichtigt, die durch Bundesautobahnen betroffen sind (siehe Bild 2.1). Eine eindeutige Zuordnung von lärmbeeinträchtigten Einwohnern zu bestimmten Straßenkategorien und -abschnitten ist aufgrund einer Überlagerung von verschiedenen lärm erzeugenden Straßen am Immissionsort nicht ohne weiteres möglich (Saighani 2018). Um die Anzahl der lärmbeeinträchtigten Einwohner durch Bundesautobahnen ver-

einfacht abzuschätzen, kann der Ansatz von (Saighani 2018) verwendet werden. Hierzu sind die Iso-phonen-Bänder des Straßenverkehrslärms mit Bevölkerungsdaten auf Basis eines Ein-Hektar-Rasters (z.B. aus (Zensus 2011)) georeferenziert zusammen zu führen. Anschließend können die lärmbeeinträchtigten Einwohner, die sich innerhalb der Iso-phonen-Bänder des Straßenverkehrs befinden, der Straßenkategorie zugeordnet werden, die die geringste Luftlinienentfernung zu den Einwohner-Rastern und dementsprechend zu den Wohngebäuden der Einwohner aufweist. Die so ermittelte Anzahl an Einwohner wird anschließend vom Mengengerüst (Anzahl an lärmbeeinträchtigten Einwohner je Schalldruckpegel) abgezogen. Sofern keine derartigen rechenzeitintensiven Untersuchungen vorliegen bzw. durchgeführt werden können, ist zu beachten, dass die im Tool ausgewiesenen Lärmbelastungskosten entsprechend höher ausfallen. Dieser Umstand im Mengengerüst wirkt sich entsprechend bei der Monetarisierung direkt aus und ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Im Rahmen einer Analyse in drei Städten (Bremen, Kassel und Kiel) hat (Saighani 2018) festgestellt, dass die Lärmbelastungskosten des Straßenverkehrs mit Berücksichtigung von Bundesautobahnen in der Größenordnung von 6% bis 9% höher ausfallen³. Je mehr Autobahn-Km in der Kommune vorhanden sind, desto größer ist der Anteil der Autobahnen an den Lärmbelastungskosten.

2.4.3 Kostensätze

Die Anzahl an lärmbeeinträchtigten Einwohnern wird anschließend mit spezifischen Kostensätzen von (Friedrich et al. 2012) multipliziert. Die in Tabelle 2.8 dargestellten Kostensätze beinhalten die monetarisierten Lärmwirkungen der beiden Schadenskategorien Belästigungen und negative Gesundheitswirkungen. Für den Schienenverkehrslärm (hier: Straßen, U-/Stadtbahn) sind die Kostensätze um eine Stufe d.h. um 5 dB (A) nach unten versetzt, da bei gleichem Geräuschpegel der Schienenverkehrslärm als weniger belastend empfunden wird (van Essen et al. 2011). Über den Schalldruckpegel von 70 dB (A) (auf Grund von Gesundheitsschäden) bestehen insgesamt geringfügige Unterschiede in den Kostensätzen (siehe Tabelle 2.8).

Tabelle 2.8: Empfohlene Kostensätze der Lärmbelastung in EUR pro Jahr und exponierter Person nach Schalldruckpegel für Straßen- und Schienenverkehr aus (Friedrich et al. 2012) (Preisbasis 2010)

Schalldruckpegel L_{DEN} in dB(A)	Straßen- verkehr	Schienen- verkehr
45 dB (A)	0	0
50 dB (A)	10	0
55 dB (A)	51	10
60 dB (A)	101	51
65 dB (A)	152	101
70 dB (A)	203	152
75 dB (A)	337	286
80 dB (A)	422	372
> 81 dB (A)	439	388

³ Es kann angenommen werden, dass je mehr Autobahn-km in der Kommune vorhanden sind, desto größer ist der Anteil der Bundesautobahnen an den Lärmbelastungskosten.

2.4.4 Allokationsrechnung

Während die Lärmbelastungskosten des Straßenbahnverkehrs (Tram, U-/Stadtbahnen) vollständig dem ÖPNV zugeordnet werden können, sind die Lärmbelastungskosten des Straßenverkehrs auf die Verkehrssysteme Lkw-, Pkw- und Linienbusverkehr verursachergerecht aufzuteilen. Zur verkehrssystem-spezifischen Aufteilung der Lärmbelastungskosten des Straßenverkehrs wird nach (Saighani 2018) ein Aufteilungsschlüssel ermittelt, der im Folgenden beschrieben wird. Aufgrund fahrzeugtechnischer Spezifika (z.B. Motorgeräusche, Reifen-Fahrbahn-Abrollgeräusche etc.) verursachen die verschiedenen Fahrzeuge der betrachteten motorisierten Verkehrssysteme (Pkw-, Lkw-, und Linienbusverkehr) unterschiedlich hohe Lärmemissionen (Korn et al. 2014). Ausgehend davon wird angenommen, dass die verschiedenen Fahrzeuge in unterschiedlichem Maße für die straßenverkehrsbedingten Lärmimmissionen und dementsprechend den Lärmbelastungskosten verantwortlich sind. Als Grundlage zur Ermittlung des Aufteilungsschlüssels „Straßenverkehrslärm“ dienen die sog. fahrzeugspezifischen „Lärmgewichtungsfaktoren“ (LGF) von (Maibach et al. 2008). Für die Verkehrssysteme Pkw- und Lkw-Verkehr, die sich aus verschiedenen Fahrzeugarten zusammensetzen (Größe, Motorisierung, Antriebsart etc.) wurden in (Saighani 2018) neue fahrleistungsgewichtete Lärmgewichtungsfaktoren für innerörtliche Straßen auf Basis der Inlandsfahrleistung 2014 in Deutschland (Bäumer et al. 2017) ermittelt. Der Gewichtungsfaktor von 9,8 für Linienbusse auf innerörtlichen Straßen wird aus (Maibach et al. 2008) für den Linienbusverkehr (ÖPNV) für das vorliegende Verfahren direkt übernommen. Die verkehrssystem-spezifisch aggregierten und im vorliegenden Tool implementierten Lärmgewichtungsfaktoren für den Straßenverkehr sind Tabelle 2.9 dargestellt.

Tabelle 2.9: Fahrleistungsgewichtete „Lärmgewichtungsfaktoren“ (LGF) für die motorisierten Straßenverkehrssysteme (innerorts) aus (Saighani 2018)

Verkehrssystem	Lärmgewichtungsfaktoren für innerörtliche Straßen (fahrleistungsgewichtet)
Pkw-Verkehr	1,1
Lkw-Verkehr	11,8
Linienbusverkehr	9,8

Nach (Saighani 2018) wird der Aufteilungsschlüssel „Straßenverkehrslärm“ (λ_{NOIST}) fahrleistungsgewichtet mit den stadtspezifischen Jahresfahrleistungen der motorisierten Verkehrssysteme und den in Tabelle 2.9 dargestellten Lärmgewichtungsfaktoren ermittelt. Anschließend werden die straßenverkehrsbedingten Lärmbelastungskosten nach Gleichung 2 auf die verschiedenen motorisierten Verkehrssysteme allokiert (Saighani 2018).

$$\text{CNOIST}_{\text{mvs}} = \sum_k (\text{POPST}_k \cdot \text{cnoist}_k) \cdot \lambda_{\text{NOIST}}_{\text{mvs}}$$

mit

$$\lambda_{\text{NOIST}}_{\text{mvs}} = \frac{\text{LGF}_{\text{mvs}} \cdot \text{FL}_{\text{mvs}}}{\sum_{\text{mvs}} (\text{LGF}_{\text{mvs}} \cdot \text{FL}_{\text{mvs}})}$$

(2)

- CNOIST_{mvs} ... Externe Lärmbelastungskosten des Straßenverkehrs je mot. Verkehrssystem in [EUR/a]
- POPST_k ... Verkehrslärmexponierte Einwohner durch Straßenverkehrslärm je Pegelklasse (k) in [EW/Pegelklasse]
- cnoist_k ... Kostensatz Straßenverkehrslärm je Einwohner und Pegelklasse (k) in [EUR*EW/Pegelklasse]
- $\lambda_{\text{NOIST}}_{\text{mvs}}$... Aufteilungsschlüssel „Straßenverkehrslärm“ je mot. Verkehrssystem in [-]
- LGF_{mvs} ... Lärmgewichtungsfaktor je mot. Verkehrssystem in [-]
- FL_{mvs} ... Jährliche Fahrleistung je mot. Verkehrssystem in [Fzkm/a]

2.5 Nutzen im nicht-motorisierten Verkehr

2.5.1 Einführung

Unumstritten sind die positiven Wirkungen von Bewegung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden (Götschi und Kahlmeier 2012). Körperliche Aktivität wirkt sich positiv auf viele Teilbereiche der Morbidität (Krankheitshäufigkeit) wie u.a. Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Schlaganfall, Diabetes, einigen Krebsarten, auf die Gesundheit des Bewegungsapparates sowie auf Aspekte der geistigen Gesundheit aus, einschließlich Angstneurosen und Depression, Reduzierung von Stürzen älterer Menschen und Verbesserung der allgemeinen Lebensqualität (Pedersen und Saltin 2015). Bei Bewegungsmangel ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass diese Zivilisationskrankheiten auftreten (Bull et al. 2004). Im Rahmen eines internationalen Projektes hat die WHO (Weltgesundheitsorganisation World Health Organization) ein Berechnungsverfahren entwickelt, das den Gesundheitsnutzen im Fuß- und Radverkehr monetarisiert (WHO 2014), (Kahlmeier et al. 2010). Im vorliegenden Tool ist das Berechnungsverfahren des „HEAT-Tools“ (Health Economic Assessment Tool) der WHO zur Abschätzung der Nutzen im Fuß- und Radverkehr in komprimierter Form implementiert. Das Verfahren bildet einen vereinfachten, jedoch robusten Ansatz ab, der für eine breite Anwendung ausgelegt ist. Das Verfahren ermittelt aus Angaben zum Mobilitätsverhalten im Fuß- und Radverkehr der Bevölkerung ein reduziertes Mortalitätsrisiko (Sterberisiko) und darauf aufbauend werden (statistisch) reduzierte bzw. verhinderte Todesfälle berechnet. Die so berechneten verhinderten Todesfälle infolge aktiver Mobilität werden anschließend einem monetären Wert zugewiesen („Value of Statistical Life“).

2.5.2 Abschätzung des Nutzens im nicht-motorisierten Verkehr

Zur Abschätzung der Nutzen im Fuß- und Radverkehr sind spezifische Mobilitätsverhaltensdaten (wöchentliche Wegedauer) für Fußgänger in der Altersgruppe 20 bis 74 Jahren und von Radfahrern in der Altersgruppe 20 bis 64 Jahren erforderlich. Eine Unterscheidung zwischen Frauen und Männern findet nicht statt. Stadtspezifische Daten zum Mobilitätsverhalten können aus Haushaltsbefragungen (z.B. Mobilität in Deutschland (MiD), Mobilität in Städten (SrV) etc.) abgeleitet werden. Der Zusammenhang zwischen wöchentlicher Wegedauer zu Fuß bzw. mit dem Fahrrad und reduziertem Sterberisiko (Mortalitätsrisiko) wird über das sogenannte „Relative-Risiko“ (RR) aus epidemiologischen Studien quantifiziert. In der Epidemiologie wird auf Grundlage von statistischen Analysen der Einfluss zwischen Ursache und Wirkung quantitativ über mathematische Beziehungen abgebildet. In diesem Zusammenhang gibt das Relative Risiko an, wie hoch das Sterberisiko von Personen ist, die regelmäßig zu Fuß gehen oder Fahrrad fahren, verglichen mit Personen die nicht bzw. weniger zu Fuß gehen oder Rad fahren. In „HEAT“ sind diese relativen Risiken (RR) für den Fußverkehr aus einer Metaanalyse von neun Langzeitstudien (Kahlmeier et al. 2010) und für den Radverkehr aus einer Langzeitstudie (Andersen et al. 2000) hinterlegt (siehe Tabelle 2.10). In der Forschung konnten diese positiven Zusammenhänge bisher nur für Erwachsene quantifiziert werden.

Das reduzierte Mortalitätsrisiko ($\Delta_{\text{mort.Risk}}$) infolge aktiver Mobilität im Fuß- und Radverkehr wird nach (WHO 2014) anhand der Gleichung 3 ermittelt.

$$\Delta_{\text{mort.Risk}} = (1 - \text{RR}) \cdot \left(\frac{\text{tw}}{\text{twRef}} \right) \quad (3)$$

$\Delta_{\text{mort.Risk}}$... Reduziertes Mortalitätsrisiko (Sterberisiko)

RR ... Relatives Sterberisiko (Gehen: 0,89 und Radfahren: 0,90; siehe Tabelle 2.10)

tw ... Wöchentliche Wegedauer zu Fuß bzw. mit dem Fahrrad in (Minuten/Woche)

twRef ... Bezugsleistung wöchentliche Wegedauer (Gehen: 168 Minuten/Woche und Radfahren: 100 Minuten/Woche; siehe Tabelle 2.10)



Das reduzierte Mortalitätsrisiko ist nach (WHO 2014) für Radfahrer auf maximal 45% (458 Minuten pro Woche) und für Fußgänger auf maximal 30% (450 Minuten pro Woche) beschränkt (siehe auch Tabelle 2.10). Auch wenn die Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen körperlicher Betätigung und Sterblichkeit höchstwahrscheinlich nichtlinear ist, wurde im HEAT-Tool eine lineare-Funktion gewählt, um zusätzliche Datenanforderungen zu Ausgangsniveaus der körperlichen Betätigung zu vermeiden, die bei einer nichtlinearen Dosis-Wirkungs-Funktion benötigt würden (WHO 2017).

Tabelle 2.10: Parameter für die Anwendung des HEAT-Tools

Nicht Motorisierter Verkehr	Anwendbare Altersgruppe	Relatives Risiko (RR)	Bezugsleistung	Obergrenze
Fußverkehr	20 bis 74 Jahre	0,89 (KI 0,83 - 0,96)	168 Minuten/Woche	30% (458 Minuten/Woche)
Radverkehr	20 bis 64 Jahre	0,90 (KI 0,87 - 0,94)	100 Minuten/Woche	45% (450 Minuten/Woche)

KI = 95% Konfidenzintervall

Das „HEAT-Verfahren“ rechnet das nach Gleichung 3 ermittelte reduzierte Sterberisiko in „verhinderte Todesfälle“ um. Hierzu werden die reduzierten Mortalitätsrisiken der verschiedenen Altersgruppen im Fuß- und Radverkehr unter Berücksichtigung der Mortalitätsrate der Bevölkerung für 20 bis 74-Jährige (501,45 pro 100.000 Einwohner) und 20 bis 64-Jährige (266,55 pro 100.000 Einwohner) in Deutschland nach (Statistisches Bundesamt 2010) in „verhinderte Todesfälle“ umgerechnet. Zur Veranschaulichung des Verfahrens von (WHO 2014) ist im Folgenden eine Beispielrechnung dargestellt.

Beispielrechnung 1:

In einer (fiktiven) Stadt leben in der Altersgruppe 20 bis 74 Jahre insgesamt 150.000 Einwohner. Die mittlere wöchentliche Wegedauer zu Fuß beträgt pro Person 100 Minuten. Aus diesen Angaben wird die Risikoverminderung wie folgt berechnet:

$$\Delta_{\text{mort.Risk}} = (1 - 0,89) \cdot \left(\frac{100}{168}\right)$$

$$\Delta_{\text{mort.Risk}} = 0,06547$$

Die Mortalität der Bevölkerung in der Altersgruppe 20 bis 74 Jahre beträgt insgesamt 752 Todesfälle pro Jahr ($0,005015 \cdot 150.000$). Die „verhinderten“ Todesfälle pro Jahr berechnen sich schließlich aus der Multiplikation der Mortalität der Bevölkerung 20 bis 74 Jahre (752 Todesfälle pro Jahr) und dem reduzierten Mortalitätsrisiko infolge aktiver Mobilität zu 41 verhinderten Todesfällen ($752 \cdot 0,06547$).

Die so ermittelte Anzahl an „verhinderten Todesfällen“ wird anschließend anhand des Wertes „Value of Statistical Life“, analog zur Abschätzung der immateriellen Kosten bei Unfallkosten, mit einem Wert in Höhe von 1,67 Mio. EUR monetarisiert.

3 Allgemeine Bedienhinweise

3.1 Systemspezifikationen

Bei der Entwicklung des Tools wurde darauf geachtet, ein ausgewogenes Verhältnis zwischen einem (hinreichend) genauen Rechenmodell und einem vertretbaren Eingabe- und Installationsaufwand für die Anwendung in Kommunen zu erreichen. Entwickelt wurde das vorliegende Tool auf Basis des weit verbreiteten Tabellen-Kalkulationsprogramm Microsoft Excel. Somit soll gewährleistet sein, dass das Tool von seinen Software-, Hardware- und Administrationsrechten (ohne implementierte Makros) in den

meisten Kommunen anwendbar ist. Eine separate Installation des Tools ist dementsprechend nicht erforderlich. Das Tool wird als gepackte Datei im .zip-Format zur Verfügung gestellt. Bitte entpacken Sie das gesamte Verzeichnis und belassen Sie auch für die Anwendung alle Dateien darin. Die Excel-Datei kann vom Anwender beliebig oft unter frei wählbarer Bezeichnung gespeichert werden. Jedoch sollte der Speicherort immer mit dem Projektverzeichnis übereinstimmen, da sonst ggf. die Funktionalität eingeschränkt wird.

3.2 Bedienoberfläche

Das Tool verhält sich wie eine gewöhnliche Excel-Datei. Am unteren Bildrand sind die verschiedenen Tabellenblätter durch sog. „Reiter“ dargestellt. Es kann jederzeit zwischen den Reitern gewechselt werden, ohne dass die bereits eingetragenen Daten verloren gehen. Des Weiteren dienen die verschiedenen Reiter als eine Art „Navigation“ durch das Tool. Das Tool arbeitet mit einer Farbkodierung, die im Folgenden und im Deckblatt des Tools dargestellt ist:

	Die grünen Felder erfordern eine Eingabe durch den Anwender.
	In den orangenen Felder sind Standardwerte voreingestellt. Diese können entweder beibehalten oder durch stadtspezifische Werte ersetzt werden.
	Die blauen Felder enthalten Werte, die bereits in einem vorherigen Schritt eingegeben wurden.
	Die weißen Felder enthalten Berechnungsergebnisse. Eine Dateneingabe ist nicht erforderlich.

Am Ende wird dem Anwender ein ausführlicher „Ergebnisreport“ als Zusammenstellung aller Eingaben und Ergebnisse in übersichtlicher Form angeboten (siehe Abschnitt 5.2). Dieser kann direkt auf dem Standarddrucker gedruckt oder im .pdf-Format gespeichert werden.

4 Programmbedienung

4.1 Übersicht der Programmstruktur

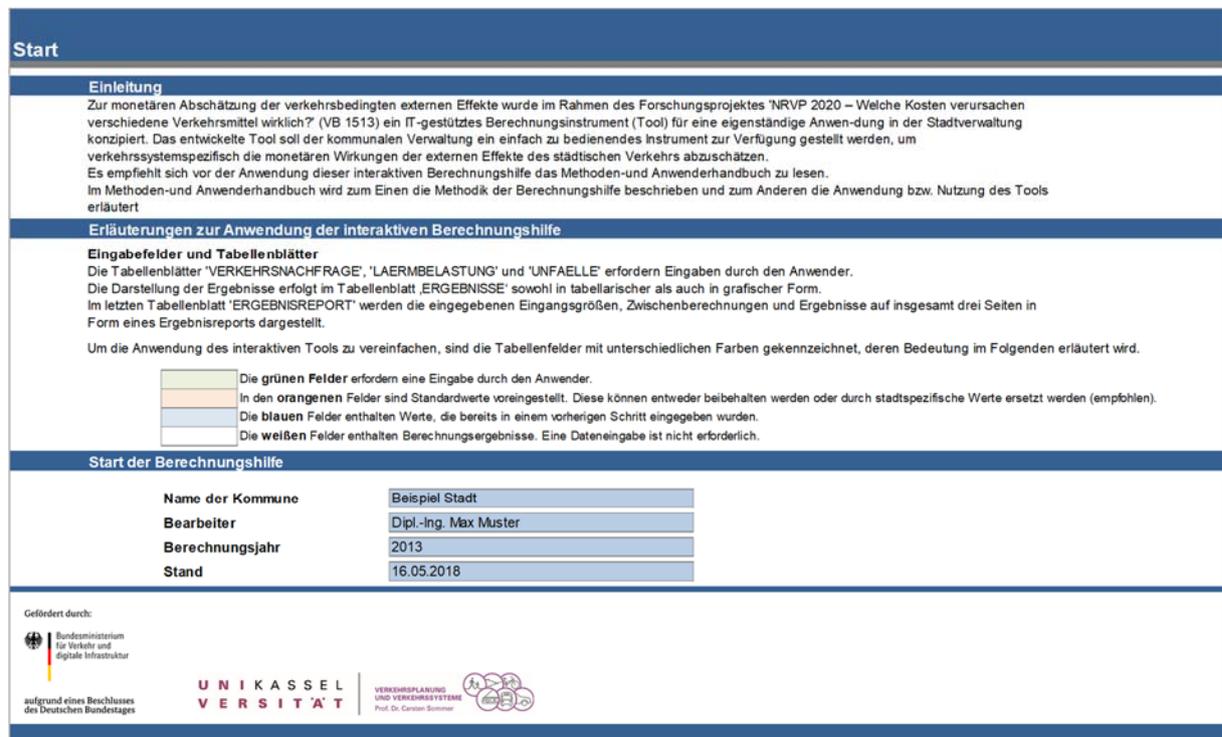
Die Excel-Datei besteht aus insgesamt sechs Tabellenblättern. Das im Tool hinterlegte Rechenmodell bedient sich aus den Eingaben von fünf Tabellenblättern. In Tabelle 4.1 sind die wesentlichen Inhalte der verschiedenen Tabellenblätter (Reiter) im Tool dargestellt.

Tabelle 4.1: Wesentliche Inhalte der Tabellenblätter des Tools

Tabellenblatt / Reiter	Inhalt
START	<ul style="list-style-type: none"> Allgemeine Erläuterungen zur Anwendung und Eingabe von allgemeinen Angaben (Name der Kommune, Bearbeiter etc.)
VERKEHRSNACHFRAGE	<ul style="list-style-type: none"> Eingabe von spezifischen Mobilitätsverhaltensdaten (z.B. aus Haushaltsbefragungen wie SrV oder MiD, z.B. mittlere Wegehäufigkeit pro Person und Tag, Modal-Split etc.) Eingabe von spezifischen Jahresfahrleistungen im Lkw-, Pkw-, Linienbusverkehr und im gesamten ÖPNV
LAERMBELASTUNG UNFAELLE	<ul style="list-style-type: none"> Eingabe von verkehrslärmexponierten Personen im Straßen- und Schienenverkehr Eingabe von polizeilich registrierten Verkehrsunfällen
ERGEBNISSE	<ul style="list-style-type: none"> Ergebnisdarstellung in Form von Kennwerttabelle und grafischer Darstellung
ERGEBNISREPORT	<ul style="list-style-type: none"> Ausführliche Darstellung der Eingangsgrößen und Ergebnisse (tabellarisch und grafisch)

4.2 Tabellenblatt „START“

Das Tabellenblatt „START“ gibt einen thematischen Einstieg in das Tool und ermöglicht einige allgemeine Angaben, die teilweise im Weiteren übernommen werden (siehe Bild 4.1)



Start

Einleitung

Zur monetären Abschätzung der verkehrsbedingten externen Effekte wurde im Rahmen des Forschungsprojektes 'NRVP 2020 – Welche Kosten verursachen verschiedene Verkehrsmittel wirklich?' (VB 1513) ein IT-gestütztes Berechnungsinstrument (Tool) für eine eigenständige Anwendung in der Stadtverwaltung konzipiert. Das entwickelte Tool soll der kommunalen Verwaltung ein einfach zu bedienendes Instrument zur Verfügung gestellt werden, um verkehrssystemspezifisch die monetären Wirkungen der externen Effekte des städtischen Verkehrs abzuschätzen. Es empfiehlt sich vor der Anwendung dieser interaktiven Berechnungshilfe das Methoden- und Anwenderhandbuch zu lesen. Im Methoden- und Anwenderhandbuch wird zum Einen die Methodik der Berechnungshilfe beschrieben und zum Anderen die Anwendung bzw. Nutzung des Tools erläutert.

Erläuterungen zur Anwendung der interaktiven Berechnungshilfe

Eingabefelder und Tabellenblätter

Die Tabellenblätter 'VERKEHRSNACHFRAGE', 'LAERMBELASTUNG' und 'UNFAELLE' erfordern Eingaben durch den Anwender. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt im Tabellenblatt 'ERGEBNISSE' sowohl in tabellarischer als auch in grafischer Form. Im letzten Tabellenblatt 'ERGEBNISREPORT' werden die eingegebenen Eingangsgrößen, Zwischenberechnungen und Ergebnisse auf insgesamt drei Seiten in Form eines Ergebnisreports dargestellt.

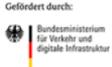
Um die Anwendung des interaktiven Tools zu vereinfachen, sind die Tabellenfelder mit unterschiedlichen Farben gekennzeichnet, deren Bedeutung im Folgenden erläutert wird.

	Die grünen Felder erfordern eine Eingabe durch den Anwender.
	In den orangenen Felder sind Standardwerte voreingestellt. Diese können entweder beibehalten werden oder durch stadtspezifische Werte ersetzt werden (empfohlen).
	Die blauen Felder enthalten Werte, die bereits in einem vorherigen Schritt eingegeben wurden.
	Die weißen Felder enthalten Berechnungsergebnisse. Eine Dateneingabe ist nicht erforderlich.

Start der Berechnungshilfe

Name der Kommune	Beispiel Stadt
Bearbeiter	Dipl.-Ing. Max Muster
Berechnungsjahr	2013
Stand	16.05.2018

Gefördert durch:

 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T

VERKEHRSPLANUNG
UND VERKEHRSSYSTEME
Prof. Dr. Carsten Sommer



Bild 4.1: Startbildschirm

4.3 Tabellenblatt „VERKEHRSNACHFRAGE“

In dem Tabellenblatt „VERKEHRSNACHFRAGE“ sind zum einen (stadt-)spezifische Angaben zur Einwohnerstruktur, spezifische Mobilitätsverhaltensdaten und spezifische Fahrleistungen im Pkw-, Lkw-Linienbusverkehr und im gesamten ÖPNV erforderlich (siehe Bild 4.2). Im Folgenden werden die erforderlichen Eingangsgrößen kurz beschrieben.

Eingabe von Einwohnerdaten und Verkehrsnachfrage				
2. Eingabe von Einwohnerdaten und Verkehrsnachfrage				
Anzahl Einwohner	Gesamt	Altersgruppe 20- bis 64-jährige	Altersgruppe 20- bis 74-jährige	
	550.000	390.000	330.000	
Mittlere Wegehäufigkeit pro Person [Wege/(P*d)]	3,3			
Mittlere Wegehäufigkeit zu Fuß pro Person und Tag [Weg/P*d] [Altersgruppe 20- bis 74-jährige, Hauptverkehrsmittel]	0,60			
Mittlere Dauer eines Weges zu Fuß [Min./Weg] [Altersgruppe 20- bis 74-jährige, Hauptverkehrsmittel]	14,00			
Mittlere Wegehäufigkeit Fahrrad pro Person und Tag [Weg/P*d] [Altersgruppe 20- bis 64-jährige, Hauptverkehrsmittel]	0,70			
Mittlere Dauer eines Weges mit dem Fahrrad [Min./Weg] [Altersgruppe 20- bis 64-jährige, Hauptverkehrsmittel]	16,00			
Modal-Split (Wegebezogen) [%]	MIV (Fahrer und Mitfahrer)	42,0%		
	ÖPNV	13,0%		
	Radverkehr	20,0%		
	Fußverkehr	25,0%		
Jahresfahrleistung (ohne BAB) [Fzkm/a]	ÖPNV-Gesamt	Linienbusverkehr	Lkw-Verkehr	Pkw-Verkehr
	16.000.000	16.000.000	170.000.000	1.500.000.000

Bild 4.2: Tabellenblatt „VERKEHRSNACHFRAGE“

Einwohnerdaten

Daten zur Bevölkerung können aus den amtlichen Statistiken der betrachteten Kommunen bezogen werden. Als Eingangsgrößen sind im Tool erforderlich:

- die Anzahl der Bevölkerung insgesamt,
- die Anzahl der Bevölkerung in der Altersgruppe 20 bis 64-Jährige,
- die Anzahl der Bevölkerung in der Altersgruppe 20 bis 74-Jährige.

Kennwerte zum Mobilitätsverhalten im Fuß- und Radverkehr

Zur Abschätzung der Nutzen im Fuß- und Radverkehr sind spezifische Mobilitätsverhaltensdaten erforderlich:

- Mittlere Wegehäufigkeit pro Person und Tag [Wege/P*d]
- mittlere Wegehäufigkeit zu Fuß pro Person und Tag [Weg/P*d]
[Altersgruppe 20 bis 74 Jahre, Hauptverkehrsmittel]
- mittlere Dauer eines Weges zu Fuß [Min./Weg]
[Altersgruppe 20 bis 74 Jahre, Hauptverkehrsmittel]
- mittlere Wegehäufigkeit Fahrrad pro Person und Tag [Weg/P*d]

- [Altersgruppe 20 bis 64 Jahre, Hauptverkehrsmittel]
- mittlere Dauer eines Weges mit dem Fahrrad [Min./Weg]
- [Altersgruppe 20 bis 64 Jahre, Hauptverkehrsmittel]

Stadtspezifische Mobilitätsverhaltensdaten in den Altersgruppen können aus Haushaltsbefragungen wie z.B. System repräsentativer Verkehrsbefragungen (SrV), Mobilität in Deutschland (MiD) etc. ermittelt werden.

Modal-Split der Einwohner (wegebezogen)

Als Modal-Split wird die Aufteilung der Verkehrsnachfrage auf verschiedene Verkehrsmittel definiert (FGSV 2012). Der Modal-Split kann im Personenverkehr bezogen auf das Verkehrsaufkommen (Wege) oder die Verkehrsleistung (Personenkilometer) angegeben werden. Die Kenngröße gibt somit die spezifischen Anteile der verschiedenen Verkehrsmittel an dem pro Tag unternommenen Wege bzw. an den zurückgelegten Distanzen wieder. Für das vorliegende Tool ist der wegebezogene Modal-Split der Einwohner der untersuchten Kommune erforderlich (Kennwertbildung). Stadtspezifische Modal-Split Werte werden i.d.R. im Rahmen von Haushaltsbefragungen (Wegetagebücher) ermittelt. Dabei sollten ggf. die methodischen Abgrenzungen zur Ermittlung der Modal-Split-Werte berücksichtigt werden.

Spezifische Fahrleistungen

Die Fahrleistung wird als Produkt aus der Anzahl der Fahrzeuge und der von ihnen zurückgelegten Distanz (Wegstrecke) in einem räumlich abgegrenzten Verkehrswegenetz je Zeiteinheit (i.d.R. ein Jahr) ermittelt (FGSV 2012). Für das vorliegende Tool sind als Eingangsgrößen die stadtspezifischen Jahresfahrleistungen aller Fahrzeuge der motorisierten Verkehrssysteme (Pkw-, Lkw- und Linienbusverkehr) erforderlich, die auf dem städtischen Straßenverkehrsnetz (ohne Bundesautobahnen) der betrachteten Kommune erbracht werden (Territorialprinzip). Die jährliche Fahrleistung im Pkw- und Lkw-Verkehr kann, aus dem Ergebnis der Umlegung in Verkehrsnachfragemodellen auf Basis von streckenspezifischen durchschnittlichen Verkehrsstärken (DTV) abgeschätzt werden. Der DTV-Wert ist der über das gesamte Jahr gemittelte durchschnittliche tägliche Verkehr. Er beinhaltet nicht nur die Normalwerkstage, sondern auch die unterschiedlich starken Verkehrsmengen der einzelnen Wochentage im Wochengang, Sondereinflüsse aufgrund von Feiertagen oder Ferienzeiten sowie saisonale Schwankungen. Die jährliche Fahrleistung im Pkw- und Lkw-Verkehr ergibt sich aus dem Produkt des durchschnittlichen täglichen Verkehrs (streckenspezifische Verkehrsstärke) je modelliertem Streckenabschnitt und der Streckenlänge, sowie die Anzahl der Tage des Jahres (und ggf. Wochentagsfaktoren je Wochentagstyp) (Saighani 2018). Wird ein durchschnittlicher Werktag abgebildet und die im Rahmen der Umlegung ausgegebenen Verkehrsstärken der Strecken als durchschnittliche werktägliche Verkehrsstärken (DTVw) ausgewiesen, ist eine fachgerechte Umrechnung auf DTV-Werte und eine entsprechende Hochrechnung für ein Jahr erforderlich (Saighani 2018). Mit Hilfe von Hochrechnungsfaktoren können aus den durchschnittlichen werktäglichen Verkehren (DTVw) entsprechende DTV-Werte abgeschätzt werden. Hierzu sind die spezifischen Hochrechnungsfaktoren von (Arnold et al. 2008) zu verwenden. Je nach Detaillierungsgrad des verwendeten Verkehrsnachfragemodells ist zu beachten, dass für Strecken in Erschließungsstraßen keine flächendeckenden DTV-Werte vorliegen bzw. im Modell lediglich ausschnittsweise abgebildet werden. Dieser Umstand ist dadurch zu begründen, dass Erschließungsstraßen vorwiegend der Erschließung dienen und somit im Rahmen einer (großräumigen) Umlegung durch Umlegungsmodelle eine geringe Relevanz haben (Saighani 2018).

Die auf Basis von Verkehrsnachfragemodellen abgeschätzten jährlichen Fahrleistungen sind daher modellbedingt niedriger, als die tatsächlich erbrachte Fahrleistung, da bei der Schätzung lediglich die Strecken des Modellnetzes berücksichtigt werden (Saighani 2018). Angenommen werden kann, dass aufgrund einer geringen Abdeckung von Erschließungsstraßen (Anliegerverkehre), die Abschätzung der

Fahrleistung im Pkw-Verkehr deutlich niedriger ausfällt als die Fahrleistung im Lkw-Verkehr (vorwiegende Nutzung von Hauptverkehrsstraßen). Wie hoch die Unterschätzung sein kann, ist je nach Detaillierungsgrad des betrachteten Verkehrsmodells unterschiedlich (Saighani 2018). Diese Unsicherheiten sind bei der Interpretation der Ergebnisse stets zu berücksichtigen.

Die Betriebsleistung im ÖPNV (Linienbusverkehr, Straßenbahn, U-/Stadtbahn) sollte analog zur Fahrleistung im Pkw- und Lkw-Verkehr auch nur innerhalb der administrativen Stadtgrenze berücksichtigt werden und können in Absprache mit den jeweiligen Unternehmen ermittelt werden. Alternativ können die Betriebsleistung aus den veröffentlichten Berichten (GuV) der Unternehmen entnommen werden. Hier ist jedoch zu berücksichtigen, dass das Bedienungsgebiet nicht a priori mit der administrativen Stadtgrenze übereinstimmt. Diese Unschärfen sind bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

4.4 Tabellenblatt „LAERMBELASTUNG“

Im Tabellenblatt „LAERMBELASTUNG“ sind die Anzahl an betroffenen Einwohnern durch Straßenverkehr sowie durch Straßenbahnen und U-/Stadtbahnen differenziert nach den Schalldruckpegeln des Lärmindezes L_{DEN} einzugeben. Wie in Abschnitt 2.4.2 beschrieben, stehen diese Eingangsgrößen in der Regel aus den Ergebnissen der Lärmkartierungen zur Verfügung. Berücksichtigt werden sollte, dass die Anzahl der lärmbeeinträchtigten Einwohner im Straßenverkehr, abzüglich der von Bundesautobahnen Betroffenen, einzugeben sind (Bild 4.3).

Eingabe von lärmbeeinträchtigten Personen		
3. Eingabe von lärmbeeinträchtigten Personen		
Schalldruckpegelklasse L_{DEN} in dB (A)	Anzahl betroffener Einwohner durch Straßenverkehr (nach VBEB) (ohne Bundesautobahnen)	Anzahl betroffener Einwohner durch Straßenbahn, U-Bahn, Stadtbahn (nach VBEB)
50 bis 55	-	-
55 bis 60	70.000	8.000
60 bis 65	40.000	6.000
65 bis 70	19.000	7.000
70 bis 75	4.000	1.500
über 75	100	-

Bild 4.3: Tabellenblatt „LAERMBELASTUNG“

4.5 Tabellenblatt „UNFAELLE“

Im Tabellenblatt „UNFAELLE“ sind alle polizeilich erfassten Verkehrsunfälle in der vordefinierten Eingabemaske des Tabellenblattes „UNFAELLE“ einzugeben (Bild 4.4 und Bild 4.5).

- In der ersten Spalte „Unfall ID“ ist eine eindeutige Bezeichnung des Unfallereignisses zu vergeben.
- In der zweiten Spalte „Anzahl beteiligte Verkehrssysteme“ ist die Anzahl der beteiligten Verkehrssysteme am Unfallereignis anzugeben.
- In der dritten Spalte „Verursacher-System“ ist das verursachende Verkehrssystem am Unfallereignis einzutragen. Die Eingabe erfolgt durch eine Zahlencodierung, die im Folgenden und in der Eingabemaske des Tools beschrieben wird:
 - 1 = Pkw
 - 2 = Fahrrad
 - 3 = Fußgänger
 - 4 = Lkw
 - 5 = Bus
 - 6 = Zweiräder
 - 7 = Sonstige
 - 99 = Straßenbahn, U-/Stadtbahn
- In den Spalten 4 bis 13 sind die nicht-verursachenden Verkehrssysteme am Unfallereignis einzugeben. Die Eingabe erfolgt analog zum „verursachendem Verkehrssystem“ durch eine Zahlencodierung. Beschränkt ist die Anzahl an nicht-verursachenden Verkehrssystemen an einem Unfallereignis auf insgesamt 10 (siehe Bild 4.4).

Unfall ID	Anzahl beteiligte Verkehrssysteme	Beteiligte Verkehrssysteme am Unfallereignis Codierung: [1=Pkw; 2=Fahrrad; 3=Fußgänger; 4=Lkw; 5=Bus; 6=Zweiräder; 7=Sonstige; 99=Straßenbahn (o.Ä.)]																		
		Verursacher System	Nicht Verursacher 1	Nicht Verursacher 2	Nicht Verursacher 3	Nicht Verursacher 4	Nicht Verursacher 5	Nicht Verursacher 6	Nicht Verursacher 7	Nicht Verursacher 8	Nicht Verursacher 9	Nicht Verursacher 10								

Eingabe einer eindeutigen Bezeichnung des Unfallereignisses

Eingabe der Anzahl der beteiligten Verkehrssysteme am Unfallereignis

Eingabe des verursachenden Verkehrssystem am Unfallereignis (Eingabe durch Codierung)

Eingabe der nicht-verursachenden Verkehrssysteme am Unfallereignis (Eingabe durch Codierung). (Eingabemöglichkeit von insgesamt 10 Verkehrssystemen)

Summe der beteiligten Verkehrssysteme, muss mit der Anzahl der beteiligten Verkehrssysteme übereinstimmen

Bild 4.4: Eingabemaske im Tabellenblatt „UNFAELLE“

- In den nächsten Spalten sind die Anzahl der Personenschäden einzutragen, die am Unfallereignis entstanden sind. Dazu bestehen drei separate Eingabefelder für getötete, schwerverletzte und leichtverletzte Personen. Im Folgenden werden beispielhaft die Eingabefelder für leichtverletzte Personen vorgestellt (siehe Bild 4.5). Die Eingabe für getötete und schwerverletzte Personen erfolgt analog.
- Im Feld „Verursacher Fahrer“ ist einzutragen, ob der Fahrer des verursachenden Verkehrssystems am Unfallereignis leichtverletzt wurde (bzw. in den anderen Eingabefeldern getötet oder schwerverletzt wurde). Im Feld „Verursacher Mitfahrer“ ist die Anzahl von leichtverletzten Personen als Mitfahrer beim verursachendem Verkehrssystem einzugeben. In den Feldern „Nicht Verursacher 1“ bis „Nicht Verursacher 10“ ist die Anzahl von leichtverletzten Personen (hier Fahrer und Mitfahrer) der nicht-verursachenden Verkehrssysteme einzutragen (die Eingabe ist nach der Nummerierung der in Bild 4.4 beteiligten Verkehrssysteme zu wählen).

		Anzahl Personen leichtverletzt									
Ver- ursacher Fahrer	Ver- ursacher Mitfahrer	Nicht Verursacher 1	Nicht Verursacher 2	Nicht Verursacher 3	Nicht Verursacher 4	Nicht Verursacher 5	Nicht Verursacher 6	Nicht Verursacher 7	Nicht Verursacher 8	Nicht Verursacher 9	Nicht Verursacher 10
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Eingabe der Anzahl von leichtverletzten Personen als Mitfahrer beim verursachendem Verkehrssystem

Eingabe, ob der Fahrer des verursachendem Verkehrssystem leichtverletzt wurde (Eingabe durch 1 (ja) oder 0 (nein))

Eingabe der Anzahl von leichtverletzten Personen (Fahrer und Mitfahrer) der nicht-verursachenden Verkehrssysteme

Bild 4.5: Eingabefelder zur Eingabe der Personenschäden im Tabellenblatt „UNFAELLE“ (hier beispielhaft dargestellt für leichtverletzte Personen)



5 Ergebnisse und Interpretation

5.1 Tabellenblatt „ERGEBNISSE“

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt im Tabellenblatt „ERGEBNISSE“ sowohl in tabellarischer als auch in grafischer Form. Der Ergebnisreiter kann zur Dokumentation über den Standarddrucker als DIN A4 Seite gedruckt werden. Im Folgenden werden die verschiedenen Darstellungen und Inhalte des Tabellenblatts beschrieben.

Tabellenform (Kennwerttabelle)

Die abgeschätzten jährlichen externen Kosten und Nutzen werden für die betrachteten fünf Verkehrssysteme nach den fünf Kategorien: Unfall, Luft, Klima, Lärm und Nutzen im Fuß- und Radverkehr, differenziert ausgewiesen. Zur Interpretationshilfe werden aus den Ergebnissen und den eingegeben Eingangsgroößen weitere Kennwerte ermittelt (siehe Bild 5.1).

	Lkw- Verkehr	Pkw- Verkehr	ÖPNV	Radverk- ehr	Fußverk- ehr	Gesamt	Anteil an externen Kosten
Unfallkosten [Mio. EUR]	4,1	48,5	3,2	12,7	3,4	71,9	43%
Luftschadstoffkosten [Mio. EUR]	20,8	19,7	3,3	---	---	43,8	26%
Klimafolgekosten [Mio. EUR]	9,6	22,5	1,6	---	---	33,7	20%
Lärmbelastungskosten [Mio. EUR]*	7,8	6,4	2,5	---	---	16,8	10%
Nutzen im NMV [Mio. EUR]**	---	---	---	- 136,1	- 106,4	- 242,5	
Externe Kosten Gesamt [Mio. EUR]	42,3	97,2	10,6	12,7	3,4	166,1	100%
Anteil externe Kosten [%]	25%	58%	6%	8%	2%	100%	
Externe Kosten je Einwohner [EUR/Ew]	76,9	176,6	19,3	23,0	6,2	302,0	
Fahrleistungsabh. ext. Kosten Kfz-Verkehr [EUR-C	24,9	6,5	---	---	---		
Betriebsleistungsabh. ext Kosten ÖPNV [EUR/Fzkm	---	---	0,66	---	---		
Externe Kosten pro Weg [EUR-Cent/Weg]	---	34,9	12,3	9,6	2,1		
Nutzen im NMV je Einwohner [EUR/Ew]**	---	---	---	- 349,0	- 322,4		
Nutzen im NMV je Unterwegsstunde [EUR/h]**	---	---	---	- 5,1	- 6,3		

*ohne Bundesautobahnen; **Gesundheitsnutzen (negative Kosten)

Bild 5.1: (fiktives) Beispiel der Darstellung von Ergebnissen in Tabellenform

Folgende Kennwerte werden im Tool ausgewiesen:

- **Anteil externe Kosten [%]:** Der relative Anteil der externen Kosten stellt das Verhältnis der externen Kosten zwischen den Verkehrssystemen prozentual dar. Dabei werden die verkehrssystemspezifisch allokierten externen Kosten ins Verhältnis zu den gesamten externen Kosten gesetzt.
- **Externe Kosten je Einwohner [EUR/EW]:** Ausgewiesen wird der Kennwert externe Kosten je Einwohner zum einem verkehrssystemspezifisch und zum anderen als Gesamt-Wert, d.h. aggregiert über alle Verkehrssysteme. Dazu werden die allokierten externen Kosten in Bezug zu der Einwohnerzahl der jeweiligen Stadt gebracht. Der Kennwert ist eine für jedermann vorstellbare Größe, die einen Vergleich sowie eine transparente Kalkulation ermöglicht.
- **Fahrleistungsabhängige externe Kosten im Kfz-Verkehr [EUR-Cent/Fzkm]:** Die fahrleistungsabhängigen externen Kosten im Kfz-Verkehr werden differenziert für den Pkw- und Lkw-Verkehr ausgewiesen. Der Kennwert ermittelt sich aus den allokierten externen Kosten im Verhältnis zu den jeweilig erbrachten Fahrleistungen.

- **Betriebsleistungsabhängige externe Kosten im ÖPNV:** Der Kennwert ermittelt sich analog wie die fahrleistungsabhängigen externen Kosten im Kfz-Verkehr. Dabei werden die allokierten externen Kosten in Bezug zu der Betriebsleistung im ÖPNV gesetzt. Der Kennwert wird in (EUR/Fzkm bzw. Wkm) angegeben.
- **Externe Kosten pro Weg [EUR-Cent/Weg]:** Der Kennwert externe Kosten pro Weg wird für die Verkehrssysteme des Personenverkehrs (Pkw, ÖPNV, Rad- und Fußverkehr) berechnet. Ermittelt wird der Kennwert, indem die allokierten externen Kosten ins Verhältnis zu den jeweiligen zurückgelegten Wegen der Verkehrssysteme gesetzt werden.
- **Externe Nutzen im nicht-motorisierten Verkehr pro Einwohner [EUR/EW]:** Die Nutzen werden als negative Kosten ausgedrückt. Ausgewiesen wird der Kennwert in dem der absolute Nutzen im Fuß- und Radverkehr in Bezug zu den Einwohnern in der Altersgruppe 20 bis 74 Jahren (Fußverkehr) und 20 bis 64 Jahren (Radverkehr) gesetzt wird.
- **Externe Nutzen je Unterwegsstunde [EUR/h]:** Der Kennwert wird aus den absoluten externen Nutzen und der Unterwegszeit ermittelt. Angegeben wird der Kennwert in (EUR/h) und weist den Nutzen aus, der durch jede Stunde im Fuß- oder Radverkehr gestiftet wird.

Grafische Darstellung

Neben der tabellarischen Darstellung erfolgt die Ergebnisdarstellung im Tool auch in grafischer Form (siehe Bild 5.2 und Bild 5.3).

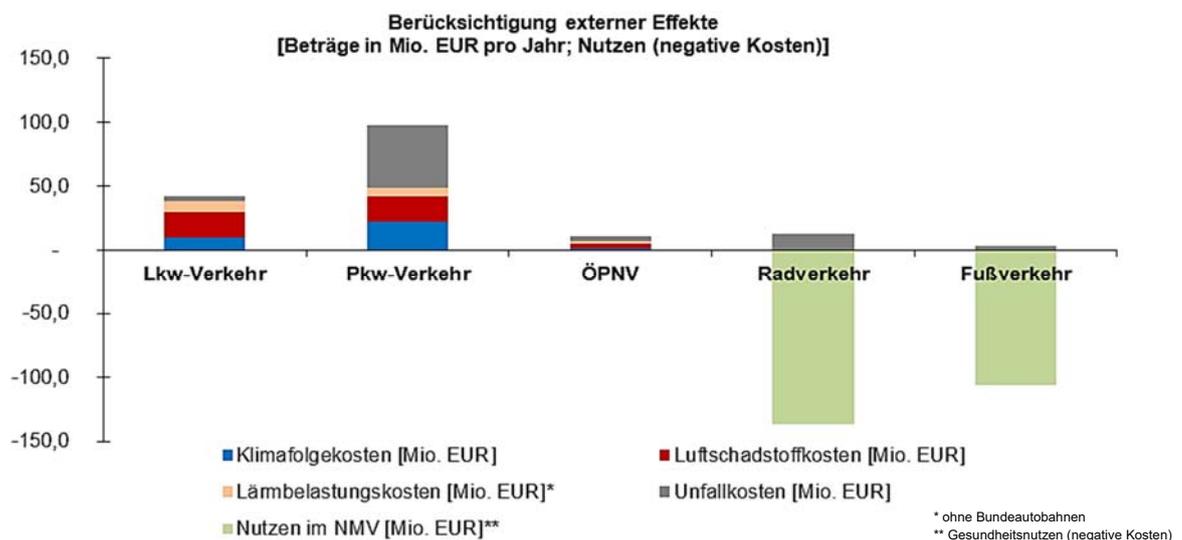


Bild 5.2: Ergebnis der monetär abgeschätzten externen Effekte dargestellt in einem „Balkendiagramm“ (fiktives Beispiel)



Anteil der externen Kosten je Verkehrssystem an den gesamten externen Kosten in Prozent [%]

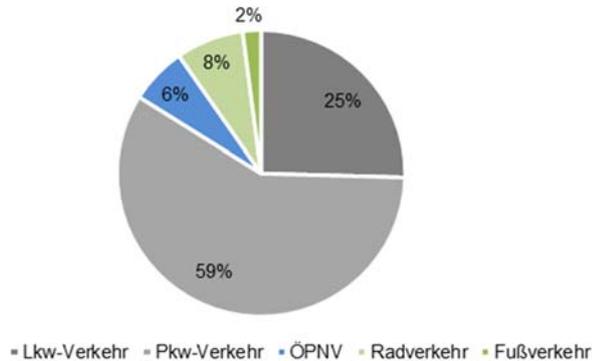


Bild 5.3: Anteil der externen Kosten je Verkehrssystem an den gesamten externen Kosten in Prozent dargestellt in einem „Tortendiagramm“ (fiktives Beispiel)

5.2 Tabellenblatt „ERGEBNISREPORT“

Im letzten Reiter werden die eingegebenen Eingangsgrößen, Zwischenberechnungen und Ergebnisse auf insgesamt drei Seiten in Form eines Ergebnisreports dargestellt. Der Ergebnisreport ist wie folgt aufgebaut: auf Seite 1 werden allgemeine Angaben zum Untersuchungsrahmen wiedergegeben (u.a. Name der Kommune, Berechnungsjahr etc.) und ein Inhaltsverzeichnis des Ergebnisreports dargestellt. Seite 2 listet sowohl alle Angaben, die vom Anwender in den vorherigen Tabellenblättern eingetragen wurden auf und stellt Zwischenergebnisse dar. Auf Seite 3 werden die Ergebnisse analog zum Tabellenblatt „ERGEBNISSE“ aufgeführt (siehe Bild 5.4).

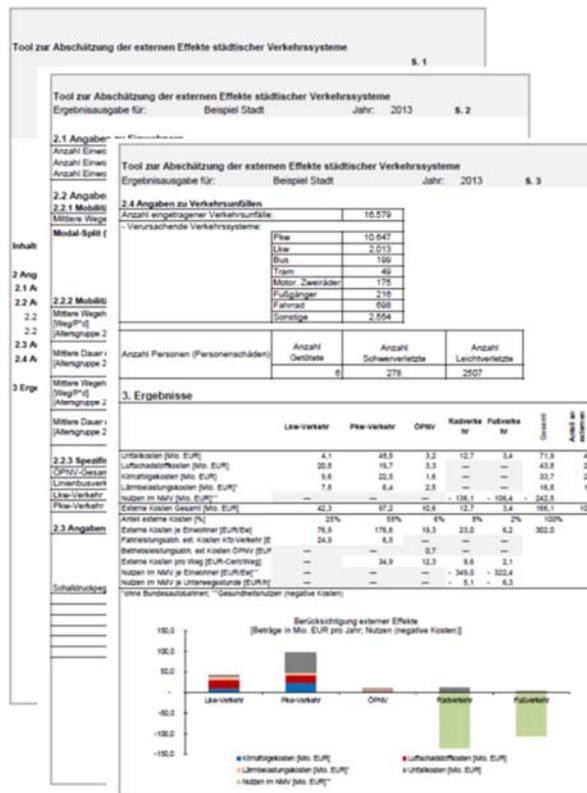


Bild 5.4: Beispiel eines Ergebnisreports

6 Abbildungsverzeichnis

Bild 2.1:	Straßenverkehrslärm (links) und Straßenbahnlärm (rechts) L_{DEN} in der Stadt Kassel aus (HLUG 2013).....	11
Bild 4.1:	Startbildschirm.....	17
Bild 4.2:	Tabellenblatt „VERKEHRSNACHFRAGE“	18
Bild 4.3:	Tabellenblatt „LAERMBELASTUNG“	20
Bild 4.4:	Eingabemaske im Tabellenblatt „UNFAELLE“	21
Bild 4.5:	Eingabefelder zur Eingabe der Personenschäden im Tabellenblatt „UNFAELLE“ (hier beispielhaft dargestellt für leichtverletzte Personen).....	22
Bild 5.1:	(fiktives) Beispiel der Darstellung von Ergebnissen in Tabellenform	23
Bild 5.2:	Ergebnis der monetär abgeschätzten externen Effekte dargestellt in einem „Balkendiagramm“ (fiktives Beispiel) 24	
Bild 5.3:	Anteil der externen Kosten je Verkehrssystem an den gesamten externen Kosten in Prozent dargestellt in einem „Tortendiagramm“ (fiktives Beispiel).....	25
Bild 5.4:	Beispiel eines Ergebnisreports.....	25

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Übersicht der wichtigsten methodischen Elemente nach (Saighani 2018)	4
Tabelle 2.2:	Abgrenzung der städtischen Verkehrssysteme.....	5
Tabelle 2.3:	Kostensätze für Verunglückte bei Verkehrsunfällen nach Verletzungsgrad und Unfallverschulden nach (Baum et al. 2010), (van Essen et al. 2011), (Becker et al. 2002), (Neumann 2016).....	7
Tabelle 2.4:	Kostensätze für Luftschadstoffemissionen im Verkehr in EUR/t (2010) aus (UBA 2012).....	8
Tabelle 2.5:	Global Warming Potential (GWP) je Emissionsart aus (UBA 2014)	9
Tabelle 2.6:	Empfehlungen von (UBA 2012) zu Vermeidungskosten in EUR / t CO ₂ -eq nach (Wille et al. 2012) auf Basis von (Kuik et al. 2009)	9
Tabelle 2.7:	Mindestanforderungen zur Erstellung von Lärmkarten in der Stufe 1 und 2 nach (Europäische Kommission 2017)	11
Tabelle 2.8:	Empfohlene Kostensätze der Lärmbelastung in EUR pro Jahr und exponierter Person nach Schalldruckpegel für Straßen- und Schienenverkehr aus (Friedrich et al. 2012) (Preisbasis 2010)	12
Tabelle 2.9:	Fahrleistungsgewichtete „Lärmgewichtungsfaktoren“ (LGF) für die motorisierten Straßenverkehrssysteme (innerorts) aus (Saighani 2018).....	13
Tabelle 2.10:	Parameter für die Anwendung des HEAT-Tools	15
Tabelle 4.1:	Wesentliche Inhalte der Tabellenblätter des Tools	17

8 Literaturverzeichnis

34. BImSchV (2006): "Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung) vom 6. März 2006 (BGBl. I S. 516)".

Andersen, Lars Bo; Schohr, Peter; Schroll, Marianne; Hein, Hans Ole (2000): All-Cause Mortality Associated With Physical Activity During Leisure Time, Work, Sports, and Cycling to Work. In: *American Medical Association* 2000, S. 1621–1628.

Arnold, Martin; Hedeler, Martin; Wöppel, Hans-Dieter; Dahme, Josefa (2008): Hochrechnungsverfahren für Kurzzeitzählungen auf Hauptverkehrsstraßen in Großstädten. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*. Heft 1077. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, Bonn. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, Verl. für neue Wissenschaft.

Baum, Herbert; Kranz, Thomas; Westerkamp, Ulrich (2010): Volkswirtschaftliche Kosten durch Straßenverkehrsunfälle in Deutschland. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*. Mensch und Sicherheit, Heft M 208. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, Verl. für neue Wissenschaft.

Bäumer, Marcus; Hautzinger, Heinz; Pfeiffer, Manfred; Stock, Wilfried; Lenz, Barbara; Kuhnimhof, Tobias; Köhler, Katja (2017): Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko. In *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*. Verkehrstechnik Heft V 291. Bremen: Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH.

Becker, Udo J.; Gerike, Regine; Rau, Andreas; Zimmermann, Frank (2002): Ermittlung der Kosten und Nutzen von Verkehr in Sachsen. Hauptstudie, Abschlussbericht, Lehrstuhl für Verkehrsökologie, Technische Universität Dresden. Dresden.

Bull, Fiona C.; Armstrong, Timothy P.; Dixon, Tracy; Ham, Sandra; Neiman, Andrea; Pratt, Michael (2004): Physical inactivity. In: Ezzati u. a., *Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors*. Kapitel 10, S729 – 881. WHO, Genf. Genf.

Doll, Claus; Hartwig, Johannes; Senger, Florian (2013): Wirtschaftliche Aspekte nicht technischer Maßnahmen zur Emissionsminderung im Verkehr. Vortrag. Fachgespräch: Nachhaltige Mobilitätskonzepte. Fraunhofer-Forum Berlin. Berlin, 2013.

Ecoplan; INFRAS (2014): Externe Effekte des Verkehrs 2010. Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten. Schlussbericht. Hg. v. Bundesamt für Raumentwicklung (ARE). Bundesamt für Raumentwicklung (ARE). Bern, Zürich, Altdorf. Online verfügbar unter www.ecoplan.ch.

EG-Richtlinie 2002/49/EG: RICHTLINIE 2002/49/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&from=DE>.

Europäische Kommission (2017): BERICHT DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DEN RAT über die Durchführung der Richtlinie über Umgebungslärm gemäß Artikel 11 der Richtlinie 2002/49/EG. COM(2017) 151 final. Brüssel.

FGSV (Hg.) (2012): Begriffsbestimmungen Teil Verkehrsplanung, Straßenentwurf und Straßenbetrieb. Ausgabe 2012. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Köln: FGSV-Verlag (FGSV, 220 : W 1).

Friedrich, Rainer; Ohlau, Kathrin; Preiss, Phillip; Müller, Wolf (2012): Sachstandspapier zu Lärm. UBA Methodenkonvention 2.0 Umweltbundesamt FKZ 3708 14 101 „Schätzung Externer Umweltkosten und Vorschläge zur Kosteninternalisierung in ausgewählten Politikfeldern“. Version an UBA am 30.Mai 2012. Stuttgart.

Gerlach, Julia; Hübner, Susan; Becker, Thilo; Becker, Udo J. (2015): Entwicklung von Indikatoren im Bereich Mobilität für die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (12/2015).

Götschi, Thomas; Kahlmeier, Sonja (2012): Ökonomische Abschätzung der volkswirtschaftlichen Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs in der Schweiz, Anwendung der „Health Economic Assessment Tools“ (HEAT) for Walking and Cycling der Weltgesundheitsorganisation auf die Schweiz. Zürich.

HLUG (2013): Technischer Abschlussbericht Umgebungslärmkartierung Hessen 2012. Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG). Wiesbaden.

Kahlmeier, Sonja; Racioppi, Francesca; Cavill, Nick; Rutter, Harry; Oja, Pekka (2010): "Health in All Policies" in Practice: Guidance and Tools to Quantifying the Health Effects of Cycling and Walking. In: *Journal of Physical Activity and Health* 2010/7(Suppl 1). S120-S125.

Keller, Mario; Wüthrich, Philipp; Notter, Benedikt (2017): Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs 3.1/3.2/3.3 (HBEFA). INFRAS. Bern.

Korn, Michael; Leupold, Andreas; Niederau, Arnold; Schneider, Christiane; Hartwig, Karl-Hans; Scheffler, Raimund (2014): Berechnung der Wegekosten für das Bundesfernstraßennetz sowie der externen Kosten nach Maßgabe der Richtlinie 1999/62/EG für die Jahre 2013 bis 2017. Endbericht. Weimar, Leipzig, Aachen, Münster.

Korzhenyevych, Artem; Dehnen, Nicola; Bröcker, Johannes; Holtkamp, Michael; Meier, Henning; Gibson, Gena et al. (2014): Update of the Handbook on External Costs of Transport. Ricardo-AEA. DIW-econ, CAU Universität Kiel. Report for the European Commission DG MOVE. MOVE/D3/2011/571. Final Report. Unter Mitarbeit von Artem Korzhenevych, Nicola Dehnen, Johannes Bröcker, Michael Holtkamp, Henning Meier, Gena Gibson et al. Didcot (UK). Online verfügbar unter <http://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/sustainable/studies/doc/2014-handbook-external-costs-transport.pdf>.

Kuik, Onno; Brander, Luke; Tol, Richard S. J. (2009): Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions. A metaanalysis. In: *Energy policy* (37), S. 1395–1403. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421508007295>, zuletzt geprüft am 03.05.2017.

Maibach, Markus; Schreyer, Christoph; Sutter, Daniel; van Essen, H. P.; Boon, B. H.; Smokers, R. et al. (2007): Handbook on estimation of external cost in the transport sector. Produced within the study Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT). Publication Data. Version 1.0. Hg. v. CE Delft. CE Delft. Delft.

Maibach, Markus; Schreyer, Christoph; Sutter, Daniel; van Essen, H. P.; Boon, B. H.; Smokers, R. et al. (2008): Handbook on estimation of external costs in the transport sector. Produced within the study Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT). Publication Data. Version 1.1. Hg. v. CE Delft. CE Delft. Delft.

Neumann, Alexander (2016): Ermittlung der externen Kosten des Verkehrs. Diplomarbeit an der Professur für Verkehrsökologie, TU Dresden (2014). In: Verkehrsökologische Schriftenreihe (3/2016). ISSN 2367-315X. Dresden.

Pedersen, B. K.; Saltin, B. (2015): Exercise as medicine - evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases (25 Suppl 3).

Saighani, Assadollah (2018): Ökonomischer Vergleich städtischer Verkehrssysteme; (Entwurf der) Dissertation am Fachbereich Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen. Universität Kassel, Institut für Verkehrswesen, Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrssysteme. Kassel.

Statistisches Bundesamt (2010): Genesis-Online Datenbank. Bevölkerungstand nach Altersgruppen in Deutschland (2010); Statistik der Sterbefälle (Anzahl) nach Altersgruppen (2010). <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>.

StVG (2017): "Straßenverkehrsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. März 2003 (BGBl. I S. 310, 919), das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 17. August 2017 (BGBl. I S. 3202) geändert worden ist".

StVUnfStatG (2015): Straßenverkehrsunfallstatistikgesetz vom 15. Juni 1990 (BGBl. I S. 1078), das zuletzt durch Artikel 497 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist.

Tinbergen, Jan (1968): Wirtschaftspolitik. in Beiträge zur Wirtschaftspolitik. Band 8. Freiburg: Rombach.

UBA (2012): Ökonomische Bewertung von Umweltschäden Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten. Stand August 2012. Unter Mitarbeit von Sylvia Schwermer. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/uba_methodenkonvention_2.0_-_2012_gesamt.pdf, zuletzt geprüft am 26.08.2016.

UBA (2014): Schätzung der Umweltkosten in den Bereichen Energie und Verkehr. Empfehlungen des Umweltbundesamtes. Empfehlungen des Umweltbundesamtes. Unter Mitarbeit von Andreas Burger. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter www.umweltbundesamt.de.

van Essen, Huib; Schrotten, Arno; Otten, Matthijs; Sutter, Daniel; Schreyer, Christoph; Zandonella, Remo et al. (2011): External Costs of Transport in Europe - Update Study for 2008. Publication code: 11.4215.50. Delft.

VBEb (2007): Bekanntmachung der Vorläufigen Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm (VBEb), BMUB & BMVBS, VBEb. In: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) und Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS).

WHO (2014): Health economic assessment tools (HEAT) for walking and for cycling. Methodology and user guide, 2014 update. ECONOMIC ASSESSMENT OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE AND POLICIES. Kopenhagen.

WHO (2017): Gesundheitsökonomisches Bewertungsinstrument (HEAT) für Gehen und für Radfahren Methodik und Benutzeranleitung für Bewertungen der Auswirkungen von körperlicher Betätigung, Luftverschmutzung, Verletzungen und Kohlenstoffemissionen.

Wille, V.; Preiss, P.; 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, Stuttgart. Online verfügbar unter http://www.umweltbundesamt.de/umweltoekonomie/publikationen/sachstandspapier_kli.



Zensus (2011): Ergebnisse des Zensus 2011. Gitterzellenbasierte Ergebnisse Bevölkerung und Wohnungen und Gebäude im 100 Meter-Gitter. Statistische Ämter des Bundes und der Länder. (<https://www.zensus2011.de/SharedDocs/Aktuelles/Ergebnisse/DemografischeGrunddaten.html>).