



NRVP 2020 – Welche Kosten verursachen verschiedene Verkehrsmittel wirklich?

Klimafolgekosten und Luftverschmutzungskosten

M.Sc. Assadollah Saighani

Abschlussworkshop zum Forschungsprojekt (VB1513)

Kassel, 28.11.2017

Gefördert durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) aus Mitteln zur Umsetzung des Nationalen Radverkehrsplans 2020

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



DWVG Nordhessen e.V.

VERKEHRSPLANUNG
UND VERKEHRSSYSTEME

Prof. Dr. Carsten Sommer



11:00 Uhr Begrüßung und thematischer Einstieg

Anwendung des Verfahrens

11:15 Uhr Verwaltungsinterne Abstimmungsprozesse vor einer eigenständigen Anwendung

12:00 Uhr Erfahrungsbericht der eigenständigen Anwendung aus Sicht der Praxis

12:45 Uhr *Mittagspause*

Weiterentwicklung des Verfahrens: Lösungsansatz und Ergebnisse

13:45 Uhr Berücksichtigung des Lkw-Verkehrs

14:15 Uhr Externe Kosten: Klimafolgekosten und Luftverschmutzungskosten

14:45 Uhr Externe Kosten: Lärmbelastungskosten

15:05 Uhr *Kaffeepause*

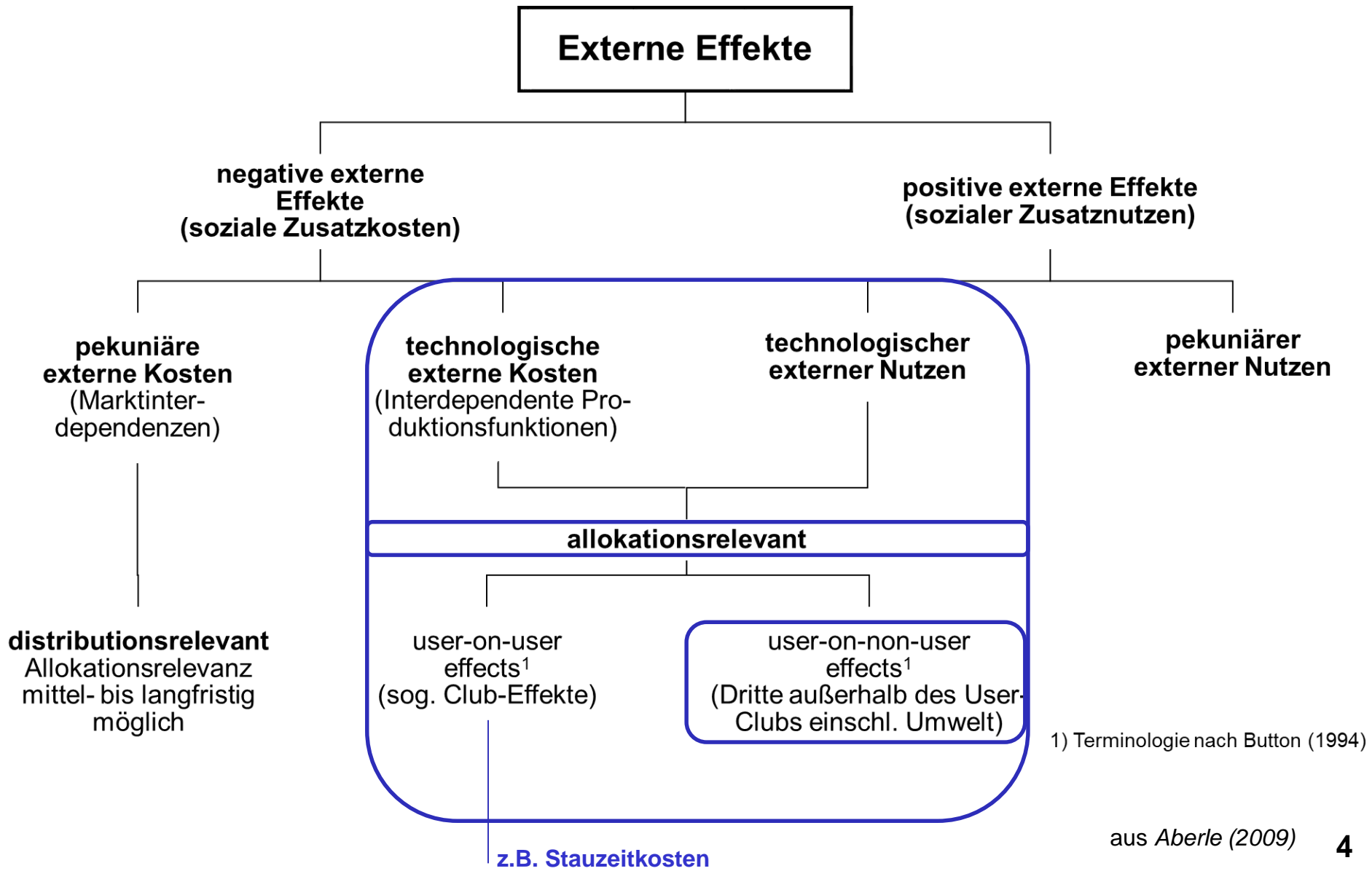
15:20 Uhr Externe Kosten: Unfallkosten

15:40 Uhr Externe Nutzen: Nutzen im Fuß- und Radverkehr

16:00 Uhr *Zusammenfassung, Ausblick und Diskussion*

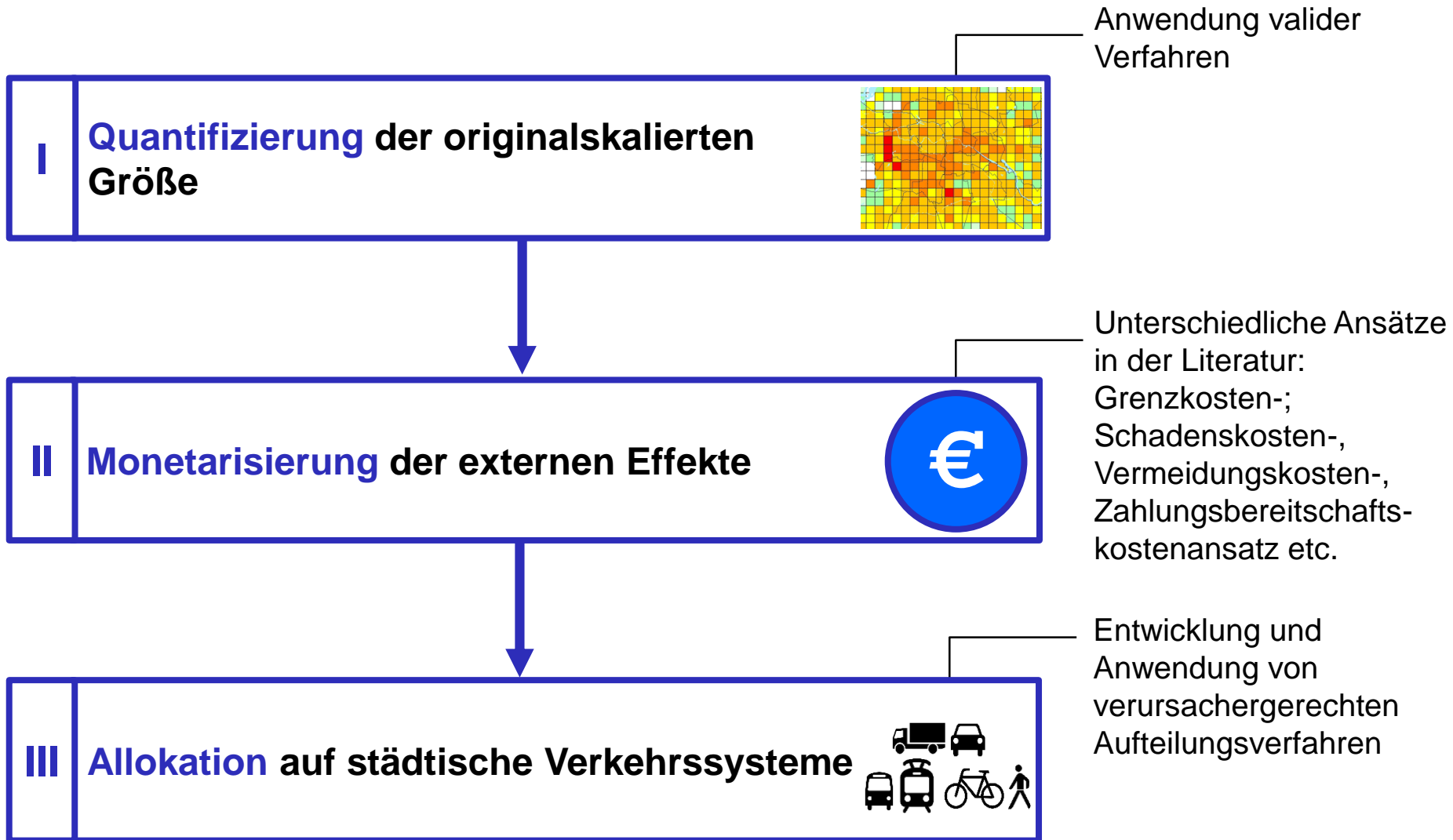
Einführung externe Effekte

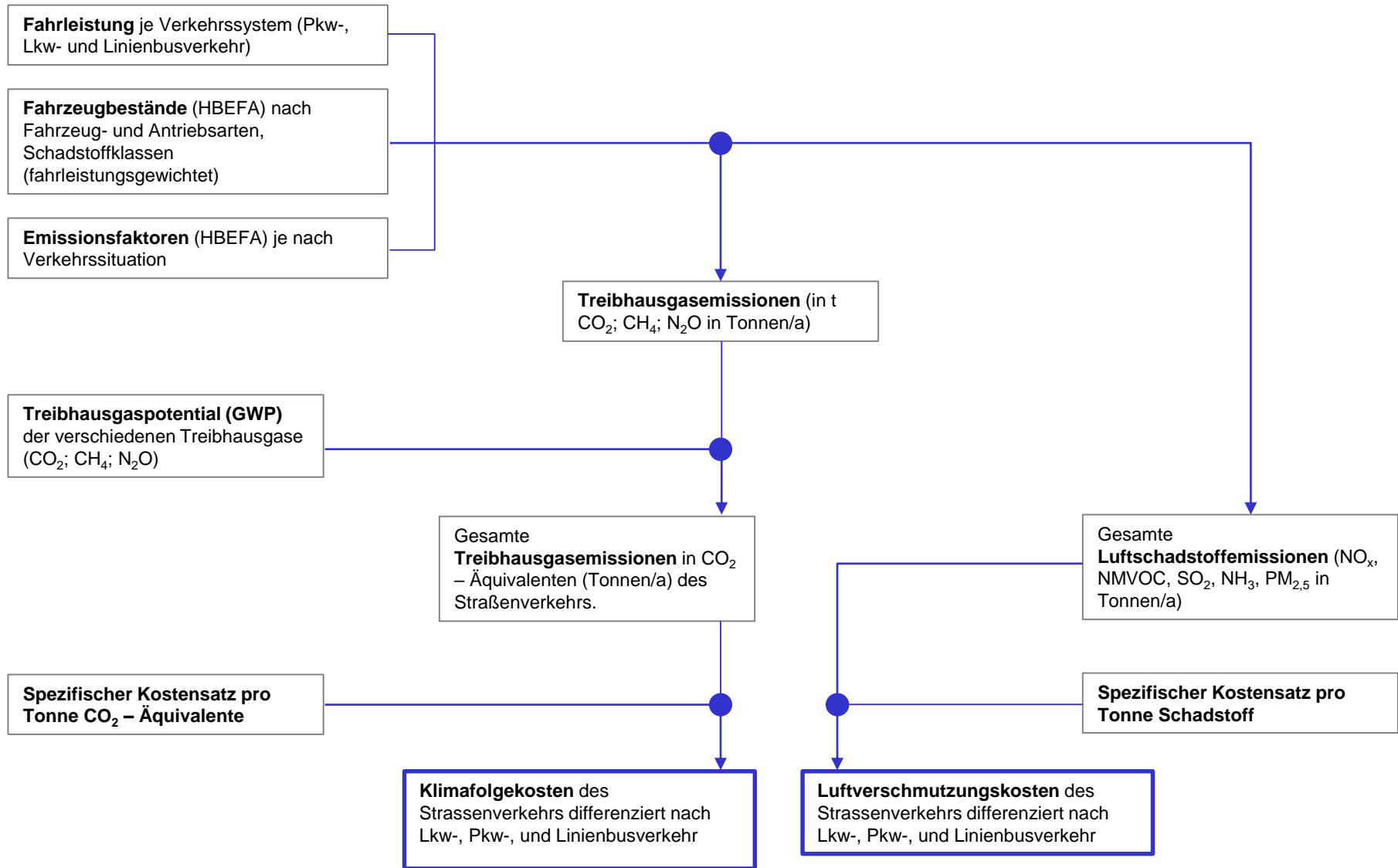
- Verkehr verursacht eine Reihe von externe Effekte. Die entsprechenden Aufwendungen und Erträge sind **nicht** in den kommunalen Rechnungsunterlagen enthalten
- **Externe Effekte** entstehen, wenn Kosten bzw. Nutzen bei Dritten anfallen und nicht vom Verursacher/Erzeuger getragen werden (Kosten) oder diese nicht direkt davon profitieren (Nutzen)
- Externe Effekte sind **unkompensierte** Kosten oder Nutzen die Dritten und nicht bei den Verkehrsteilnehmern entstehen
- **Externe Nutzen** im (Kfz-)Verkehr werden nahezu komplett durch Marktprozesse weitergegeben und werden somit **internalisiert**
- **Externe Kosten** werden nicht durch den Markt weitergegeben und verursachen Ineffizienzen (da Verursacher nicht die Kosten tragen)
- Damit in einer Volkswirtschaft die Ressourcen optimal eingesetzt werden können, sollten die externen Kosten bzw. Nutzen **internalisiert** werden, d.h. sie sind denjenigen anzulasten bzw. gutzuschreiben, die sie verursachen



1) Terminologie nach Button (1994)

- Monetarisierung von externen Effekten kann nicht ohne **Annahmen** und **Vereinfachungen** vorgenommen werden
- Monetarisierung der externen Effekte sind mit großen **Unsicherheiten** verbunden
- Bewertungsverfahren und **Kostensätze** müssen hinsichtlich methodischer Konsistenz kritisch geprüft werden
- Ausführliche **Sensitivitätsanalysen** sind unerlässlich, um Wirkungstiefe der verschiedenen Einflussgrößen darzustellen
- Auswahl von **validen** Verfahren zur Quantifizierung der originalskalierten Größen sowie wissenschaftlich fundierte Kostensätze (literaturgestützt)
- Vorsichtige Schätzung („At-Least-Ansatz“), eher **Untergrenze** der tatsächlichen Kosten





Abschätzung der jährlichen Fahrleistung

- Die Menge an Treibhausgasemissionen und Luftschadstoffen sind u.a. abhängig von der spezifischen **Fahrleistung** (Kraftstoffverbrauch)
- Die jährliche Fahrleistung im städtischen **Linienbusverkehr** (ÖPNV) erfolgt aus Angaben der jeweiligen Verkehrsunternehmen
- Als Grundlage zur Abschätzung der jährlichen Fahrleistung im **Pkw- und Lkw-Verkehr** dient das jeweilige städtische Verkehrsnachfragemodell
- Die Fahrleistung ergibt sich aus der Multiplikation der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (**DTV**) je Strecke und der Streckenlänge. Berücksichtigt werden alle Straßen in der Baulastträgerschaft der jeweiligen Stadt (**ohne BAB**)
- Der DTV-Wert ist der über das **gesamte Jahr** gemittelte durchschnittliche tägliche Verkehr (inkl. unterschiedliche Verkehrsmengen der einzelnen Wochentage, Sondereinflüsse aufgrund Feiertage und saisonale Schwankungen)

Emissionsmodellierung

- Zentrale Datengrundlage zur Modellierung von straßenverkehrsbedingten Emissionen stellt das Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (**HBEFA**) dar (Version 3.3)
- HBEFA-Datenbank beinhaltet **spezifische Emissionsfaktoren** für alle reglementierte sowie eine Reihe von nicht-reglementierten Schadstoffen
- Die spezifischen Emissionsfaktoren geben die charakteristischen und spezifischen Abgasemissionen differenziert nach **Fahrzeugkategorien** für definierte Verkehrssituationen in **g/Fzkm** an
- Eine vollständige **Modellierung** der straßenverkehrsbedingten Emissionen setzt sich im Wesentlichen zusammen aus:
 - (1) **den Emissionen im warmen Betriebszustand,**
 - (2) den Emissionen aus Abrieb und Aufwirbelungen,
 - (3) den Emissionen durch Startvorgänge,
 - (4) den Verdampfungsemissionen durch Abstellung des Motors sowie durch Tankatmung

Einführung Klimafolgekosten

- Durch die Verbrennung von fossilen Treibstoffen entstehen klimawirksame **Treibhausgasemissionen**
- Treibhausgasemissionen führen zu einer **Veränderung des Klimas** und können vielfältige Folgen haben (Extremwetterereignisse, Schäden an Ökosystemen, Gesundheitsschäden am Menschen usw.)
- Aufgrund **komplexer globaler Wirkungspfade**, großen Unsicherheiten bei der Quantifizierung der langfristigen Folgen sowie der globalen Auswirkung der Schäden (Schadenskosten in anderen Ländern) etc. ist eine Quantifizierung der Klimafolgekosten schwierig (vgl. u.a. *Ecoplan/Infras, 2014; Becker et al., 2002*)
- Es gibt somit keinen „**natürlichen**“ oder „originären“ Preis für eine Tonne CO₂-Emissionen
- Daher wird in der Fachliteratur mit „**Hilfskonstruktionen**“ bei der Monetarisierung gearbeitet (u.a. Vermeidungskostensätze, Konventionenwerte (z.B. *UBA, 2012; EWS, 1997*), CO₂-Emissionshandel usw.)

Kostensätze Klimafolgekosten

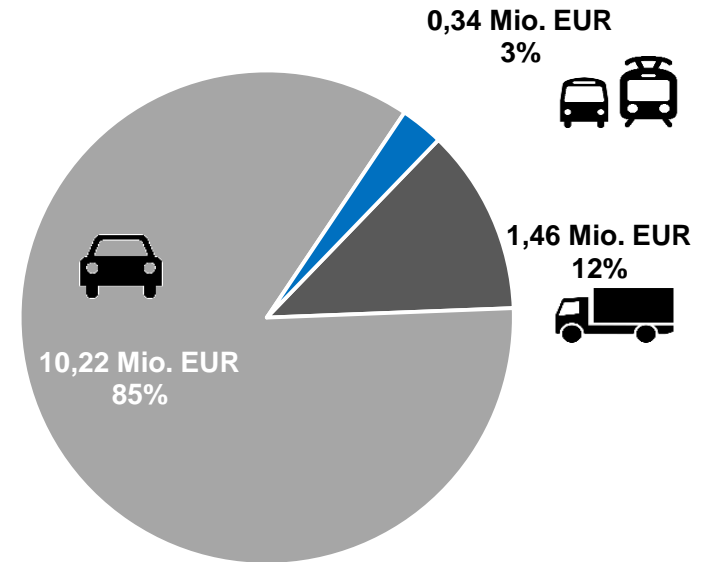
Vermeidungskostensätze (EUR/Tonne CO₂-Äquivalent)

	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

- Empfehlungen von *UBA (2012)* zu Vermeidungskosten in EUR / t CO₂-eq nach *Wille, Preiss und Friedrich (2012)* auf Basis von *Kuik, Brander und Tol (2009)*
- Neben dem **zentralen** und empfohlenen Wert werden auch ein oberer und unterer Wert für Sensitivitätsanalysen angegeben, die sich als Bandbreiten des Maximal- bzw. Minimalwertes des Vertrauensintervalls ergeben
- **Die Spannweite** der empfohlenen Vermeidungskostensätze ist außerordentlich hoch und verdeutlicht die **Unsicherheiten** der Monetarisierung der Klimafolgekosten

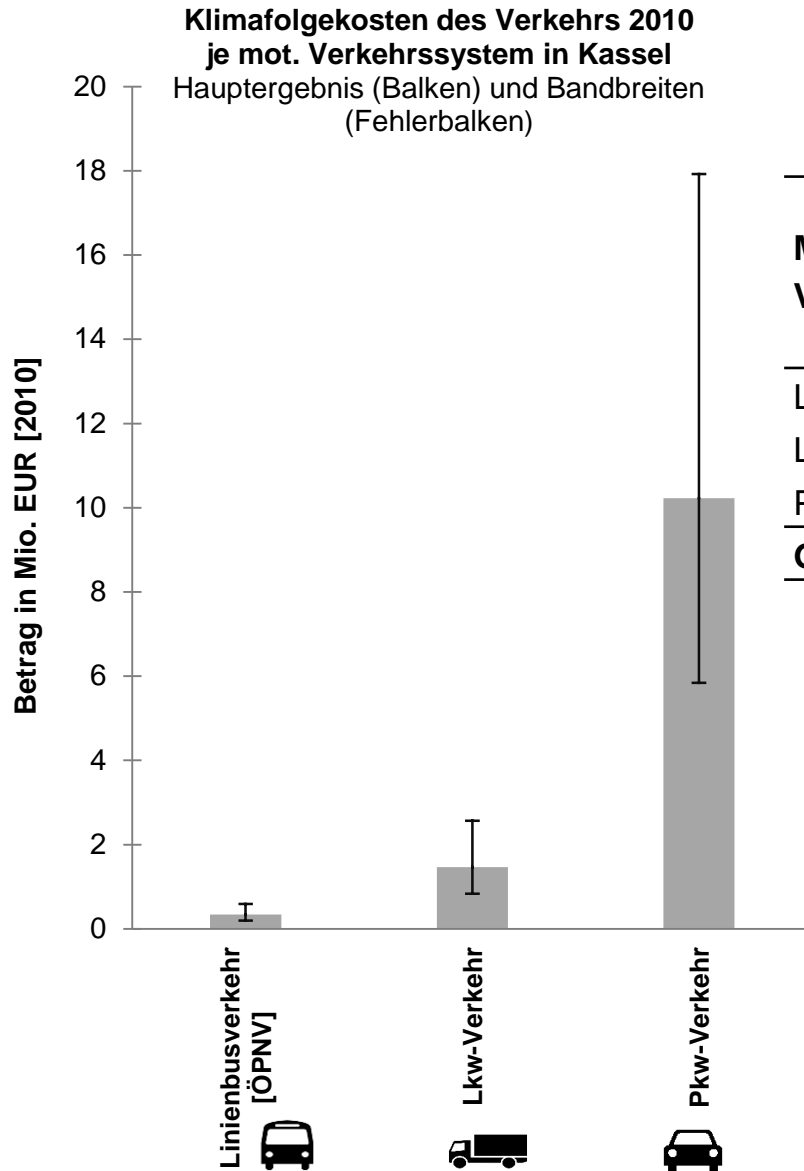
Ergebnis Klimafolgekosten in der Stadt Kassel

Verkehrsbedingte Klimafolgekosten differenziert nach Verkehrssystem in der Stadt Kassel (Mio. EUR)
(zentraler CO₂-Kostensatz von 77 EUR pro CO₂-eq, Preisstand 2010)



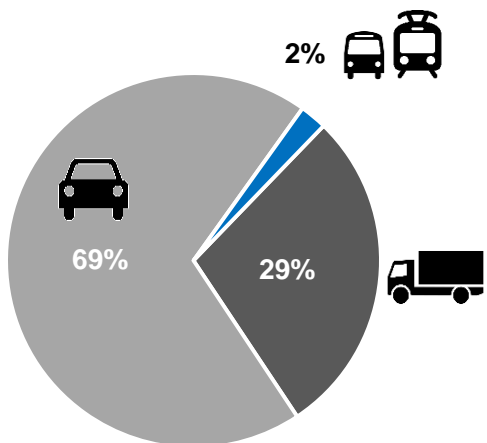
Motorisiertes Verkehrssystem	Absolut (Mio. EUR)	Anteil (%)	Kosten pro Einwohner (EUR/Ew)	Fahrleistungsabhängige Kosten (EUR/Fzkm)
Linienbusverkehr [ÖPNV]	0,34	3%	1,7	0,099
Lkw-Verkehr	1,46	12%	7,5	0,056
Pkw-Verkehr	10,22	85%	52,3	0,015
Gesamt	12,02	100%	61,5	---

Sensitivitätsanalyse Klimafolgekosten

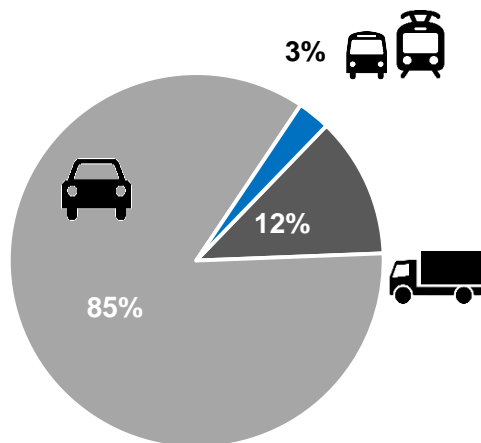


Motorisiertes Verkehrssystem	Hauptergebnis (zentraler Wert)	Sensitivität Min. (unterer Wert)	Sensitivität Max. (oberer Wert)
Linienbusverkehr	0,34	0,19	0,59
Lkw-Verkehr	1,46	0,84	2,56
Pkw-Verkehr	10,22	5,84	17,92
Gesamt	12,02	6,87	21,08

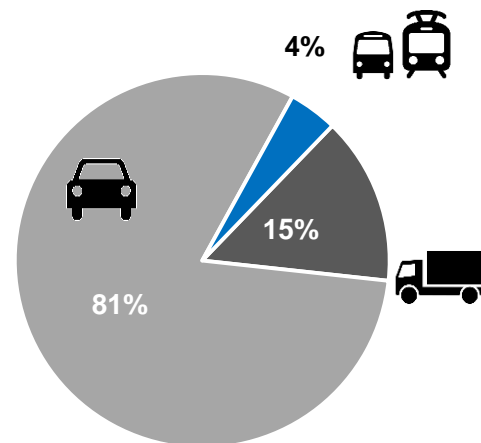
Anteile der motorisierten Verkehrssysteme an den Klimafolgekosten in den drei untersuchten Städten
(zentraler CO₂-Kostensatz von 77 EUR pro Tonne CO₂-eq, Preisstand 2010)



Bremen



Kassel



Kiel

- Durch die Verbrennung **fossiler Kraftstoffe** werden Schadstoffe freigesetzt, die unterschiedliche Schäden verursachen:
 - Negative gesundheitliche Auswirkungen auf den Menschen,
 - Gebäude- und Infrastrukturschäden,
 - Schäden an der Vegetation (u.a. Ernteaufträge, Waldschäden, Beeinträchtigung des Ökosystems, Biodiversitätsverluste etc.)
- Die hieraus resultierenden Schäden werden von **Dritten**, also der Allgemeinheit getragen und sind daher externer Natur
- Folgende verkehrsbedingte ausgestoßene gasförmige und feste **Luftschadstoffkomponenten** werden berücksichtigt:
 - Stickoxide (NO_x)
 - flüchtige Kohlenwasserstoffe ohne Methan (NMVOC)
 - Schwefeldioxid (SO_2)
 - Ammoniak (NH_3)
 - Feinstaubpartikel ($\text{PM}_{2.5}$ und PM_{10})

Kostensätze Luftschadstoffkosten

Schadstoff- emissionsart	Kostensätze EUR2010 / t	
	Innerorts Durchschnitt	Außerorts Durchschnitt
PM _{2.5} (Auspuff)	364.100	122.800
PM _{coarse} * (Abrieb, Aufwirbelung)	10.200	2.900
PM ₁₀ ** (Abrieb, Aufwirbelung)	33.700	11.000
NO _x (Bau und Betriebsphase)	15.400	15.400
SO ₂ (Bau und Betriebsphase)	13.200	13.200
NMVOG (Bau und Betriebsphase)	1.700	1.700
NH ₃ (Bau und Betriebsphase)	26.800	26.800

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

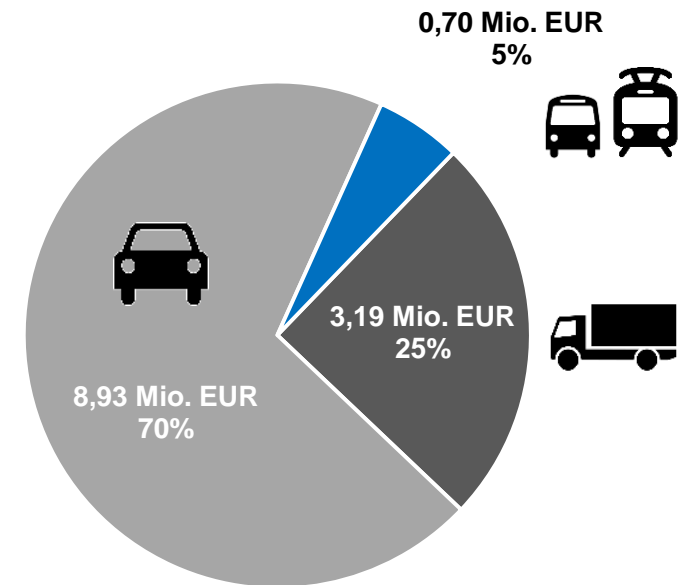
** Kostensätze für PM₁₀-Emissionen durch Abrieb und Aufwirbelungen setzen sich aus 10% PM_{2.5} und 90% PM_{coarse} zusammen. Als Bewertungsgrundlage für PM_{2.5} wird hierbei der Kostensatz für Emissionen aus dem Auspuff ohne den Toxizitätsfaktor von 1,5 für Emissionen aus Verbrennungsmotoren verwendet.

aus UBA (2012)

- **Schadenskostensätze** von UBA (2012) beinhalten Gesundheits-, Material- und Ernteschäden sowie Biodiversitätsverluste

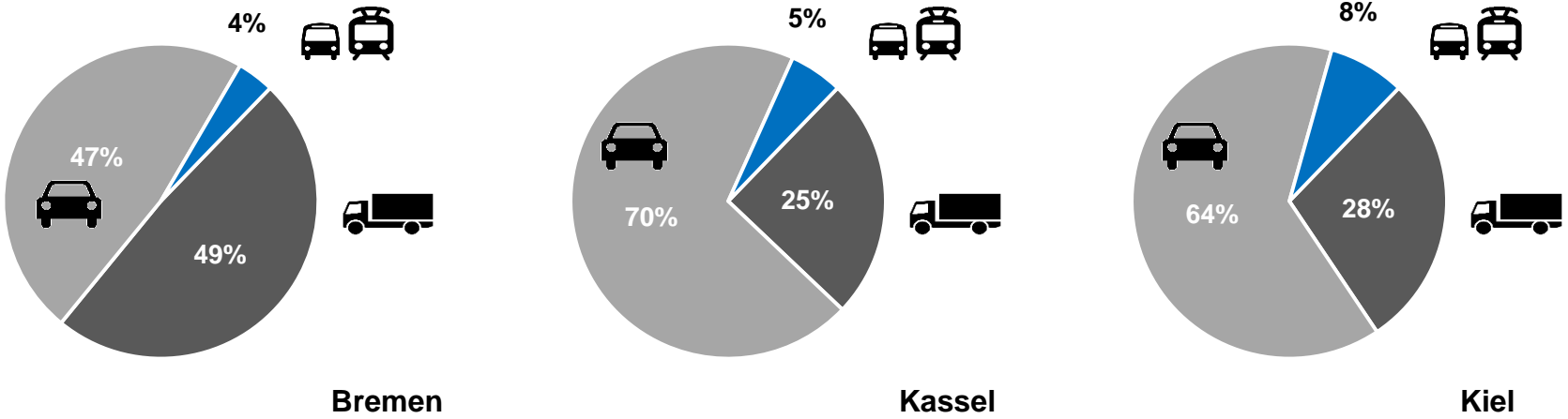
Ergebnis Luftschadstoffkosten in der Stadt Kassel

Verkehrsbedingte Luftschadstoffkosten differenziert nach Verkehrssystem in der Stadt Kassel (Mio. EUR)
 (Preisstand 2010)



Motorisiertes Verkehrssystem	Absolut (Mio. EUR)	Anteil (%)	Kosten pro Einwohner (EUR/Ew)	Fahrleistungsabhängige Kosten (EUR/Fzkm)
Linienbusverkehr [ÖPNV]	0,70	5%	3,6	0,207
Lkw-Verkehr	3,19	25%	16,3	0,122
Pkw-Verkehr	8,93	70%	45,6	0,013
Gesamt	12,81	100%	65,5	---

Anteile der motorisierten Verkehrssysteme an den Luftschadstoffkosten in den drei untersuchten Städten
(Preisstand 2010)



Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?

Quellen- und Literaturverzeichnis (1)

- **ABERLE, G. (2009):** Transportwirtschaft. Einzelwirtschaftliche und gesamtwirtschaftliche Grundlagen. 5. Aufl. München: Oldenbourg.
- **ARNOLD, M. et al. (2008):** Hochrechnungsverfahren für Kurzzeitählungen auf Hauptverkehrsstraßen in Großstädten. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. Bremerhaven. Heft 1077. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, Bonn. 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, U. et al. (2009):** Stickoxide, Partikel und Kohlendioxid: Grenzwerte, Konflikte und Handlungsmöglichkeiten kommunaler Luftreinhaltung im Verkehrsbereich. Informationen und Empfehlungen für Mitarbeiter deutscher Kommunen. Dresden.
- **BECKER, U. (2016):** Grundwissen Verkehrsökologie - Grundlagen, Handlungsfelder und Maßnahmen für die Verkehrswende. Dresdener Institut für Umwelt und Verkehr e.V. (DIVU). München.
- **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.
- **Dahl, Alexander (2010):** Berücksichtigung externer Kosten bei der Ermittlung von Straßenbenutzungsgebühren auf deutschen Autobahnen. Dissertation an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar. Weimar: Verlag der Bauhaus-Universität Weimar.
- **DAHL, A. et al. (2016):** Methodenhandbuch zum Bundesverkehrswegeplan 2030. FE-Projekt-Nr.: 97.358/2015. Entwurfsfassung für das Bundesministerium für Verkehrs und digitale Infrastruktur. Karlsruhe, Berlin, Waldkirch, München.

Quellen- und Literaturverzeichnis (2)

- **DG MOVE (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. Didcot (UK). Retrieved from <http://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/sustainable/studies/doc/2014-handbook-external-costs-transport.pdf>.
- **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.
- **EWS (1997): Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchen an Straßen (EWS).** Aktualisierung der RAS-W 86. Köln: FGSV-Verlag.
- **KELLER, M.; P. WÜTHRICH; B. NOTTER (2017):** Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs 3.1/3.2/3.3 (HBEFA). INFRAS. Bern.
- **KUIK, O.; L. BRANDER; R. S. J. TOL (2009):** Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions. A metaanalysis. In: Energy policy, 1395–1403. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421508007295>, zuletzt geprüft am 03.05.2017.
- **MAIBACH, M. 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. Delft.
- **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.

Quellen- und Literaturverzeichnis (3)

- **SAIGHANI, A. (2018):** Ökonomischer Vergleich städtischer Verkehrssysteme, Entwurf der Dissertation am Fachbereich Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen der Universität Kassel, Institut für Verkehrswesen, Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrssysteme. Kassel.
- **PREISS, P. et al. (2012):** Sachstandspapier zu Klassische Luftschadstoffe. 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
- **Wille, V.; Preiss, P.; Friedrich, R. (2012): Sachstandspapier zu Treibhausgase & 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.