



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr

Ermittlung der externen Kosten des Verkehrs in Sachsen

Bearbeiter

Dipl.-Ing. Alexander Neumann

Verkehrsökologische Schriftenreihe

Heft 3 /2016

Herausgeber

TU Dresden
Lehrstuhl für Verkehrsökologie
Prof. Dr. Ing. Udo J. Becker
Dr. Ing. Thilo Becker

ISSN 2367-315X

Stand

Dresden, den 12.05.2016



Autor:

Dipl.-Ing. A. Neumann

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Udo J. Becker

Dr.-Ing. Thilo Becker

Technische Universität Dresden
Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“
Lehrstuhl für Verkehrsökologie
01062 Dresden

Telefon: (0351) 463-36566

Telefax: (0351) 463-37718

E-Mail: verkehrsoekologie@tu-dresden.de

www.verkehrsoekologie.de

Als wissenschaftliches elektronisches Dokument veröffentlicht auf dem
Hochschulschriftenserver der Sächsischen Landesbibliothek – Staats- und
Universitätsbibliothek Dresden (SLUB)

Diplomarbeit eingereicht: 2014

Veröffentlicht: 2016

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

Vorwort

Verkehrsaktivitäten stehen in vielfältigen Wechselwirkungen mit ihrem wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Umfeld. Der Lehrstuhl für Verkehrsökologie beschäftigt sich seit seiner Gründung im Jahr 1994 in Forschung und Lehre mit diesen Wechselwirkungen, denn nur eine zusammenfügende Betrachtung kann sinnvolle und tragfähige Lösungen ergeben. Übergeordnetes Ziel aller Arbeiten des Lehrstuhls ist entsprechend der offiziellen Widmung, „zur Verringerung der Umweltbelastungen aus dem Verkehr beizutragen“. Schwerpunkte sind dabei Arbeiten zur Umsetzung einer nachhaltigeren Verkehrsentwicklung, die in folgenden Themenschwerpunkten konkretisiert werden:

- a) Emissionsfaktoren im Straßenverkehr und bei anderen Verkehrsträgern, Fahrmuster sowie Verkehrssituationen und ihre Bestimmung
- b) Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs, Kostenwahrheit, Internalisierungsansätze
- c) Nachhaltige Verkehrsentwicklung: Auswirkungen, Verfahren, Konsequenzen
- d) Forschungsschwerpunkt Rad- und Fußverkehr
- e) Energie und CO₂ im Verkehr, Energieflussmodelle und kumulierte Energieaufwände
- f) Verkehr in Entwicklungsländern
- g) Umweltbildung, Monitoring und Evaluation

Die Ergebnisse der dazu durchgeführten Untersuchungen sowie ausgewählter studentischer Arbeiten sollen im Rahmen dieser „Verkehrsökologischen Schriftenreihe“ einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Damit möchten wir einerseits die fachliche Diskussion zu Problemstellungen einer nachhaltigen Mobilitätsentwicklung und andererseits den offenen Zugang zu Wissen und Informationen unterstützen.

Die hier vorgelegte Arbeit quantifiziert die externen Verkehrskosten für Sachsen und bezieht dabei aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse und Eingangsdaten aus verschiedenen sächsischen Landesämtern ein. Der Wert der Arbeit liegt dabei einerseits darin, eine ungefähre Bandbreite der jährlich verursachten externen Kosten zu ermitteln und andererseits auch die methodischen Besonderheiten von räumlich disaggregierten Schätzungen zu diskutieren. Wir danken Herrn Neumann aus diesem Grund sehr herzlich für die überaus sorgsame und engagierte Bearbeitung der Themenstellung.

Dresden, 11.05.2016

Udo Becker, Thilo Becker

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Mein außerordentlicher Dank gilt meinem Betreuer Herrn Thilo Becker für die hilfreichen Anregungen, die konstruktive Kritik und den stets freundlichen Umgang, den er mir entgegengebracht hat.

Weiterhin danke ich dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, insbesondere Frau Ute Schreiber und Herrn Andreas Rink, für die Bereitstellung der sächsischen Emissions- und Lärmdaten sowie die überaus lobenswerte Auskunftsbereitschaft, ohne die die Anfertigung dieser Diplomarbeit nicht möglich gewesen wäre.

Danken möchte ich außerdem dem Statistischen Landesamt Sachsen in Person von Frau Renate Recknagel für die Zusendung der sächsischen Unfallstatistiken.

Herzlichen Dank auch an Herrn Dr. Martin Jäschke für die Darreichung seiner Dissertationsschrift und seinen diesbezüglichen Hinweisen.

Einen besonderen Dank möchte ich auch an meine Eltern, die mir mein Studium ermöglicht und mich in all meinen Entscheidungen unterstützt haben, sowie meiner Freundin für den alltäglichen Beistand und das kritische Korrekturlesen meiner Diplomarbeit aussprechen.

Thesen

1. Die externen Kosten sind nach den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen und Berechnungsmethoden auch für den Verkehr in Sachsen ermittelbar.
2. Die externen Kosten des sächsischen Verkehrs übersteigen insgesamt 5% des Bruttoinlandproduktes.
3. Die externen Gesamtkosten im Freistaat Sachsen werden vor allem durch Unfälle und Treibhausgasemissionen bestimmt.
4. Der Großteil der gesamten externen Kosten entfällt auf den Straßenverkehr.
5. Im Vergleich der Verkehrsmittel ist der PKW für die höchsten externen Kosten verantwortlich.

Executive Summary

Die Mobilität und der damit verbundene Verkehr sind ein zentraler Baustein unserer heutigen Gesellschaft, deren individuelle Nutzenstiftung offensichtlich und unumstritten ist. Als weitaus weniger augenscheinlich werden hingegen die damit einhergehenden externen Effekte wahrgenommen, welche der gesamten Gesellschaft angelastet werden. Nichtsdestotrotz ist anzunehmen, dass der Umfang dieser verkehrsbedingten Externalitäten beträchtlich ist.

Die folgende Arbeit beschäftigt sich deshalb mit der Fragestellung, welche unkompensierten volkswirtschaftlichen Verluste durch den Verkehr am Beispiel des Freistaates Sachsen entstehen.

Dafür wurden zunächst die wichtigsten Grundlagen zur Thematik der verkehrsbezogenen externen Effekte erarbeitet. Hierbei zeigte sich, dass es vor allem die Kosten des Verkehrs sind, bei denen der externe Anteil einen hohen Stellenwert einnimmt, weshalb diese auch den Hauptgegenstand der vorliegenden Untersuchung abbilden. Im Hinblick darauf sind insbesondere die Kosten aufgrund von Unfällen, Lärm, Luftverschmutzung, Treibhausgasemissionen, vor- und nachgelagerten Prozessen sowie der Inanspruchnahme von Natur- und Landschaft zu nennen.

Aufbauend auf den theoretischen Grundlagen wurden die einzelnen externen Kosten für Sachsen bestimmt. Dies erfolgte unter Einbeziehung aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse aus unterschiedlichen Studien und Projekte sowie auf Basis gegenwartsnaher Eingangsdaten von verschiedenen sächsischen Landesämtern. Im Ergebnis der Berechnungen konnten durch Externalitäten des sächsischen Verkehrs verursachte Kosten in Höhe von 7,2 Mrd. € pro Jahr (hohe Schätzung) festgelegt werden, was ganzen 7,4% des sächsischen Bruttoinlandsproduktes entspricht. Der Straßenverkehr hat mit 94% daran den größten Anteil. Darüber hinaus erschienen die Unfälle und Klimagasemissionen als besonders nachteilig. Im Vergleich der einzelnen Verkehrsmittel sind es speziell Krafträder, PKW und Sattelzugmaschinen, welche beträchtliche Durchschnittskosten offenbaren. Angesichts dieser Resultate wird deshalb auf die Dringlichkeit von Internalisierungsmaßnahmen im Verkehrsreich hingewiesen.

Inhaltsübersicht

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	IX
1. Einführung	1
2 Externe Effekte	5
3 Berechnung der externen Kosten	11
4 Auswertung der Berechnungsergebnisse.....	48
5 Fazit	59
Literaturverzeichnis	X

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1. Einführung	1
1.1. Hintergrund und Zielstellung	1
1.2. Aufbau der Arbeit	2
1.3. Allgemeines methodisches Vorgehen	2
2 Externe Effekte	4
2.1 Definition und Einordnung	4
2.2 Externalitäten im Verkehrsbereich	4
2.3 Bewertungsansätze	5
2.4 Existierende Projekte und Studien	7
3 Berechnung der externen Kosten	9
3.1. Abgrenzungen	9
3.2 Unfallkosten	10
3.2.1 Berechnungsmethodik und Kostensätze	10
3.2.2 Eingangsdaten	14
3.2.3 Teilergebnisse	18
3.3 Lärmkosten	19
3.3.1 Berechnungsmethodik und Kostensätze	19
3.3.2 Eingangsdaten	21
3.3.3 Teilergebnisse	23
3.4 Kosten der Luftverschmutzung	24
3.4.1 Berechnungsmethodik und Kostensätze	24
3.4.2 Eingangsdaten	26
3.4.3 Teilergebnisse	27

3.5 Klimakosten	28
3.5.1 Berechnungsmethodik und Kostensätze	28
3.5.2 Eingangsdaten	31
3.5.3 Teilergebnisse	32
3.6 Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse	33
3.6.1 Berechnungsmethodik und Kostensätze	33
3.6.2 Eingangsdaten	34
3.6.3 Teilergebnisse	35
3.7 Kosten für Natur und Landschaft	38
3.7.1 Berechnungsmethodik und Kostensätze	38
3.7.2 Eingangsdaten	40
3.7.3 Teilergebnisse	40
4 Auswertung der Berechnungsergebnisse	42
4.1 Gesamtkosten	42
4.2 Durchschnittskosten	45
4.3 Ergebnisvergleich mit [Becker et al. 2002]	48
5 Fazit	51
Literaturverzeichnis	X

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersicht zum methodischen Vorgehen; Quelle: Eigene Darstellung	3
Abbildung 2:	Wirkung von externen Effekten im Verkehr;..... Quelle: [Gerike 2009, S. 3].....	4
Abbildung 3:	Monetarisierungsansätze für externe Effekte;..... Quelle: Eigene Darstellung nach [Weinreich 2004, S. 165].....	6
Abbildung 4:	Methodik zur Berechnung der externen Verkehrsunfallkosten;..... Quelle: Eigene Darstellung	10
Abbildung 5:	Anteil der verschiedenen Verkehrsteilnehmer an den..... externen Unfallkosten des Straßenverkehrs im Freistaat..... Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung	18
Abbildung 6:	Methodik zur Berechnung der externen Lärmkosten im Verkehr; Quelle: Eigene Darstellung	20
Abbildung 7:	Kartierte Schienentrassen nach Lärmkartierungsstufe 1..... in Sachsen; Quelle: [EBA 2007].....	22
Abbildung 8:	Anteil der verschiedenen Pegelklassen an den externen Kosten durch Verkehrslärm im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung	23
Abbildung 9:	Methodik zur Berechnung der externen Kosten durch Luftschadstoffemissionen im Verkehr; Quelle: Eigene Darstellung	26
Abbildung 10:	Anteil der verschiedenen Verkehrsmittel an den externen Kosten durch Luftschadstoffemissionen des Verkehrs..... im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung	27
Abbildung 11:	Anteil der verschiedenen Luftschadstoffe an den externen..... Kosten durch Luftschadstoffemissionen des Verkehrs..... im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung	28
Abbildung 12:	Schematische Darstellung der Treiber, Auswirkungen..... und Reaktionen des anthropogenen Klimawandels; Quelle: [IPCC 2007, S. 26].....	29
Abbildung 13:	Methodik zur Berechnung der externen Kosten durch Treibhausgasemissionen im Verkehr; Quelle: Eigene Darstellung	31

Abbildung 14:	Anteil der verschiedenen Verkehrsmittel an den externen Kosten durch Treibhausgasemissionen des Verkehrs im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung 33
Abbildung 15:	Anteil der verschiedenen Verkehrsmittel an den externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse des Verkehrs (niedrige Schätzung) im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung 36
Abbildung 16:	Anteil der verschiedenen Verkehrsmittel an den externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse des Verkehrs (hohe Schätzung) im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung 36
Abbildung 17:	Anteil der verschiedenen Treibhausgase und Luftschadstoffe an den externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse des Verkehrs (niedrige Schätzung) im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung 37
Abbildung 18:	Anteil der verschiedenen Treibhausgase und Luftschadstoffe an... den externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse des Verkehrs (hohe Schätzung) im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung 37
Abbildung 19:	Methodik zur Berechnung der externen Kosten für Natur und Landschaft im Verkehr; Quelle: Eigene Darstellung 39
Abbildung 20:	Anteil der verschiedenen Kostenkomponenten an den externen Kosten für Natur und Landschaft durch den Verkehr im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung 41
Abbildung 21:	Anteil der verschiedenen Verkehrsträger an den externen Kosten des Verkehrs im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung 43
Abbildung 22:	Anteil der verschiedenen Kostenkategorien an den externen Kosten des Verkehrs im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung 43
Abbildung 23:	Verteilung der absoluten externen Kosten auf die motorisierten Verkehrsmittel nach Kostenkategorien im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung 44
Abbildung 24:	Absolute externe Kosten motorisierter Verkehrsmittel unterteilt nach Kostenkategorien im Freistaat Sachsen (ohne PKW); Quelle: Eigene Darstellung 45
Abbildung 25:	Externe Durchschnittskosten motorisierter Verkehrsmittel unterteilt nach Kostenkategorien im Freistaat Sachsen (ohne Krad); Quelle: Eigene Darstellung 47

Abbildung 26:	Externe Durchschnittskosten motorisierter..... Verkehrsmittel des Personenverkehrs unterteilt nach..... Kostenkategorien im Freistaat Sachsen (ohne Krad);..... Quelle: Eigene Darstellung	47
Abbildung 27:	Externe Durchschnittskosten motorisierter Verkehrsmittel..... des Güterverkehrs unterteilt nach Kostenkategorien im..... Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung.....	48
Abbildung 28:	Vergleich der absoluten externen Kosten zu..... [Becker et al. 2002]; Quelle: Eigene Darstellung.....	49
Abbildung 29:	Vergleich der absoluten externen Kosten zu..... [Becker et al. 2002] nach Kostenkategorien;..... Quelle: Eigene Darstellung	50
Abbildung 30:	Vergleich der externen Durchschnittskosten zu	
	[Becker et al. 2002] nach Verkehrsmitteln;.....	
	Quelle: Eigene Darstellung	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Kostensätze für Verunglückte bei Verkehrsunfällen nach Verletzungsschwere und Unfallverschulden;..... Quelle: Eigene Berechnung nach [Baum et al. 2010;..... Becker et al. 2002; CE Delft et al. 2011] 13
Tabelle 2:	Verunglückte bei Straßenverkehrsunfällen im Freistaat Sachsen nach Unfallverschulden und Verletzungsschwere ohne Einbeziehung einer Dunkelziffer für das Jahr 2012;..... Quelle: Eigene Berechnung nach [Statistisches Landesamt Sachsen/Recknagel, Renate 2013]..... 14
Tabelle 3:	Korrekturfaktoren für die Berücksichtigung von Dunkelziffern bei Verkehrsunfällen; Quelle: [Becker et al. 2002, S. 27] 15
Tabelle 4:	Verunglückte bei Schienenverkehrsunfällen in Deutschland und Sachsen nach Verletzungsschwere; Quelle: Eigene Berechnung..... nach [Destatis 2014b]..... 16
Tabelle 5:	Luftverkehrsunfälle in Deutschland für das Jahr 2007 und..... 2008 nach Verletzungsschwere; Quelle: [BFU 2010, S. 8]..... 17
Tabelle 6:	Externe Verkehrsunfallkosten für den Freistaat Sachsen;..... Quelle: Eigene Berechnung 18
Tabelle 7:	Beurteilung der Wohnsituation nach Lärmbelästigung [in % der Befragten]; Quelle: [BMU und UBA 2013, S. 52]..... 19
Tabelle 8:	Kostensätze für Lärmbetroffene des Verkehrs in Deutschland nach Pegelklasse (im Schienenverkehr für das Jahr 2007 sowie im Straßen- und Luftverkehr für das Jahr 2012);..... Quelle: Eigene Berechnung nach..... [CE Delft et al. 2011, S. 147] 20
Tabelle 9:	Anzahl der durch Verkehrslärm betroffenen Personen in..... Sachsen nach Pegelklassen (Datenstand: Straßen- und Luftverkehr – 2012; Schienenverkehr – 2007); Quelle: [LfULG/Rink 2014] 21
Tabelle 10:	Schwellenwerte für die Lärmkartierung der Stufe 1 und 2;..... Quelle: [LfULG 2012]..... 21
Tabelle 11:	Anpassungsfaktoren für Pegelklassen und real durch Verkehrslärm betroffene Personen in Sachsen;..... Quelle: Eigene Berechnung nach [Jäschke 2014]..... 22
Tabelle 12:	Externe Kosten durch Verkehrslärm im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Berechnung 23

Tabelle 13:	Kostensätze für Luftschadstoffemissionen im Verkehr in Deutschland (für das Jahr 2011); Quelle: Eigene Berechnung nach [CE Delft et al. 2011, S. 38ff] 25
Tabelle 14:	Luftschadstoffemissionen des Verkehrs im Freistaat Sachsen nach Verkehrsmitteln (Datenstand: Straßenverkehr - 2010; Schienenverkehr - 2011; Luftverkehr - 2012); Quelle: [LfULG/Schreiber 2013] 26
Tabelle 15:	Externe Kosten durch Luftschadstoffemissionen des Verkehrs im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Berechnung 27
Tabelle 16:	Kostensätze für Kohlenstoffdioxidemissionen im Verkehr (für das Jahr 2011); Quelle: Eigene Berechnung nach [Becker et al. 2012, S. 33] 30
Tabelle 17:	Treibhausgasemissionen des Verkehrs im Freistaat Sachsen nach Verkehrsmitteln (Datenstand: Straßenverkehr - 2010; Schienenverkehr - 2011; Luftverkehr - 2012); Quelle: [LfULG/Schreiber 2013] 32
Tabelle 18:	Externe Kosten durch Treibhausgasemissionen des Verkehrs im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Berechnung 32
Tabelle 19:	Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen bei vor- und nachgelagerten Prozessen des Verkehrs im Freistaat Sachsen nach Verkehrsmittel (für das Jahr 2010); Quelle: Eigene Berechnung nach [TREMOVE 2010] 35
Tabelle 20:	Externe Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse des Verkehrs im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Berechnung 35
Tabelle 21:	Durch Verkehr belastete Flächen, Böden und Wasser im Freistaat Sachsen (für das Jahr 2011); Quelle: Eigene Berechnung nach [Destatis 2014a; Dresden International Airport 2014; Seiter 2013] 40
Tabelle 22:	Externe Kosten für Natur und Landschaft durch den Verkehr im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Berechnung 41
Tabelle 23:	Externe Kosten des Verkehrs im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Berechnung 42
Tabelle 24:	Beförderungsleistungen verschiedener Verkehrsmittel des Freistaates Sachsen; Quelle: Eigene Berechnung nach [DIW 2011; Destatis 2013; Destatis 2012] 45
Tabelle 25:	Externe Durchschnittskosten verschiedener Verkehrsmittel im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Berechnung 46

Abkürzungsverzeichnis

BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BFU	Bundesanstalt für Flugunfalluntersuchung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
Destatis	Statistisches Bundesamt
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EU	Europäische Union
GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft
GENESIS	Gemeinsames neues statistisches Informationssystem des Bundes und der Länder
GKFZ	Güterkraftfahrzeug
HEATCO	Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment
IMPACT	Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
Krad	Kraftrad
L _{den}	Lärmindeks (day/evening/night)
LfUG	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LKW	Lastkraftwagen

LNfZ	Leichtes Nutzfahrzeug
LSZ	Last- und Sattelzug
LTO	Landing and Take-off
Mofa	Motorisiertes Fahrrad
N ₂ O	Distickstoffoxid
NEEDS	New Energy Externalities Development for Sustainability
NO _x	Stickoxid
O ₃	Ozon
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PKW	Personenkraftwagen
PM _{10/2,5}	Feinstaubpartikel
SGV	Schienengüterverkehr
SLUB	Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden
SMWA	Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr
SO ₂	Schwefeldioxid
SPFV	Schienenpersonenfernverkehr
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
Suva	Schweizer Unfallversicherungsanstalt
TREMOVE	Transport and Mobility Leuven
UBA	Umweltbundesamt
VOC	Flüchtige organische Verbindungen

1. Einführung

1.1. Hintergrund und Zielstellung

Ein Bedürfnis der Menschen besteht seit jeher darin mobil zu sein und somit räumliche Trennungen zu überwinden. Die Mobilität stellt dabei einen maßgebenden Faktor für Wohlstand und Entwicklung einer Gesellschaft dar. Sichtbar wird diese jedoch erst durch den fortwährenden Verkehr auf Straßen, Schienen, zu Wasser und in der Luft.

Aus individueller Sicht ist der jeweilige Nutzen des Verkehrs hoch, weshalb er auch einen wesentlichen Bestandteil unseres täglichen Lebens ausmacht. Ausgeschlossen ist allerdings, dass die individuelle Nutzenstiftung ebenfalls durchgehend das Optimum für die gesamte Gesellschaft darstellt. Dies liegt vor allem darin begründet, dass die Verkehrsteilnehmer nicht die zusätzlichen Einflüsse, die mit dem Betrieb bzw. der Nutzung eines Verkehrsmittels einhergehen, in ihr Entscheidungskalkül mit einbeziehen. Die resultierenden Folgen, durch die auch als externe Effekte bezeichneten Einflüsse, werden zumeist von der Gesellschaft als Ganzes getragen. Um den offensichtlichen Missstand mit entsprechenden Internalisierungsmaßnahmen¹ entgegenwirken zu können, ist es vorab unerlässlich den Umfang der gesellschaftlichen und umweltbezogenen Auswirkungen abzuschätzen und zu monetarisieren.

Mit dem Auftreten von externen Effekten im Verkehr sieht sich ebenfalls der Freistaat Sachsen konfrontiert, der sich im *Umweltbericht zum Landesverkehrsplan 2025* zur Aufgabe gestellt hat, einen umweltverträglichen und nachhaltigen Verkehr bei gleichzeitiger Verbesserung der Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit zu schaffen [SMWA 2014a, S. 2]. Trotz dieses ambitionierten Vorhabens ist jedoch nicht davon auszugehen, dass die bestehende Problematik auch zukünftig an Bedeutung verliert, was unter anderem durch den prognostizierten Zuwachs im sächsischen Güterverkehr unterstrichen wird [SMWA 2014b, S. 25].

Das Ziel der vorliegenden Arbeit soll deshalb darin bestehen, die relevanten verkehrsbedingten Externalitäten mit ihren Wirkungen auszuweisen sowie die darauf bezogenen aktuellen Gesamt- und Durchschnittskosten für Sachsen mit Hilfe von zeitgemäßen Berechnungsverfahren und Kostensätzen zu ermitteln.

¹ Der Begriff Internalisierung steht für verschiedene Anreize, die dazu dienen sollen, soziale Zusatzeffekte in die Entscheidungen des Verursachers mit einfließen zu lassen, um somit Wohlfahrtsverluste zu mindern bzw. ganz zu vermeiden [Mankiw und Taylor 2008, S. 236ff].

1.2. Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in fünf grundlegende Kapitel gegliedert. Das erste Kapitel gibt zunächst eine Einführung in die betreffende Thematik, wobei die Problem- und Zielstellung sowie die allgemeine methodische Vorgehensweise aufgezeigt werden.

Daran anschließend werden im Kapitel 2 die wesentlichen theoretischen Grundlagen zu externen Effekten im Verkehr erarbeitet. Diese sind für den Aufbau eines besseren Verständnisses erforderlich und bilden gleichzeitig die Basis für die späteren Berechnungen. In diesem Zusammenhang wird sich zunächst mit den Ursachen und Wirkungen der Externalitäten auseinandergesetzt und anschließend deren Auftreten im Verkehrsbereich zu diskutieren. Fortfolgend werden generelle Ansätze aufgezeigt, die eine Monetarisierung und somit die Abschätzung der ökonomischen Wirkung ermöglichen. Außerdem soll in diesem Bereich ein Überblick über themenspezifische Studien und Projekte gegeben werden.

Darauf aufbauend wird sich im dritten Kapitel der Berechnung der einzelnen externen Kosten des sächsischen Verkehrs zugewandt. Hierbei werden vorab die generellen Abgrenzungen für die nachfolgenden Ausführungen definiert. Danach wird auf die verwendeten Berechnungsverfahren, Kostensätze und Eingangsdaten der jeweiligen externen verkehrliche Einflüsse eingegangen. Neben der reinen Visualisierung von Werten und Vorgehensweisen werden an dieser Stelle ebenfalls Hintergründe und Problemstellungen zu den genannten Teilbereichen thematisiert. Im weiteren Verlauf werden abschnittsweise die daraus ermittelten Zwischenergebnisse ausgewiesen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird im letzten Themenkapitel die Auswertung der verkehrsbedingten externen Kosten vorgenommen. Zu diesem Zweck werden die Gesamtkosten, die sich aus den verschiedenen im Voraus berechneten Kostenkomponenten ergeben, dargestellt und charakterisiert. Nachfolgend sollen die Durchschnittskosten je Verkehrsmittel beschrieben und für einen gegenseitigen Vergleich herangezogen werden. Im Anschluss daran erfolgt eine Gegenüberstellung mit der Vorgängerstudie *„Ermittlung der Kosten und Nutzen von Verkehr in Sachsen“* [Becker et al. 2002].

Abschließend werden im Fazit noch einmal die gewonnenen Erkenntnisse der Arbeit zusammengetragen, Probleme dargelegt und diesbezügliche Handlungsempfehlungen ausgesprochen.

1.3. Allgemeines methodisches Vorgehen

Die methodische Vorgehensweise in dieser Diplomarbeit gründete auf drei wesentlichen Schritten, welche in der nachstehenden Übersicht dargestellt sind.

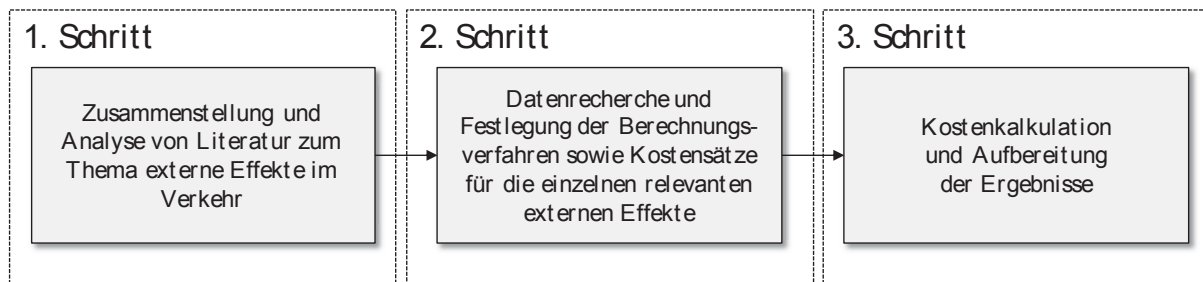


Abbildung 1: Übersicht zum methodischen Vorgehen; Quelle: Eigene Darstellung

1. Schritt

Der erste Arbeitsschritt beinhaltete die Suche nach relevanter themenbezogener Literatur. Dazu wurden einschlägige nationale und internationale Studien, Monografien, Lehrbücher und Sammelbände ausgewertet, die als Print- oder digitales Medium in der *Sächsischen Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden (SLUB)* zur Verfügung standen. Darüber hinaus wurden Nachforschungen im *Internet* angestellt, um ebenfalls die ausschließlich online zur Verfügung stehenden Veröffentlichungen mit in die Analyse einbeziehen zu können.

2. Schritt

Nach der Sichtung der Literatur erfolgte die Zusammenstellung der notwendigen Eingangsdaten auf möglichst kleinräumiger Ebene. Bei der Recherche wurde hierzu primär von öffentlich und nichtöffentlich zugänglichen Datenbanken des *Statistischen Landesamtes Sachsen* und des *Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)* Gebrauch gemacht. Daran anschließend galt es für die einzelnen Externalitäten des Verkehrs die entsprechenden Quantifizierungsverfahren und Kostensätze zu bestimmen. Dabei wurde auf Fachliteratur zurückgegriffen, die dem heutigen Forschungs- und Kenntnisstand entspricht. Im Fokus standen hier sowohl Publikationen aus dem Ausland als auch aus dem Inland. In diesem Zusammenhang soll vor allem auf die Studie „*External Costs of Transport in Europe – Update Study for 2008*“ [CE Delft et al. 2011] hingewiesen werden, an der sich die externe Kostenschätzung dieser Arbeit maßgeblich orientiert.²

3. Schritt

Abschließend wurde sich auf Basis der erarbeiteten Grundlagen der Berechnung, Zusammenstellung und formalen Auswertung der externen Teil-, Gesamt- und Durchschnittskosten gewidmet.

² Die ausführliche Darlegung der jeweiligen methodischen Vorgehensweise zur Berechnung der signifikanten externen Effekte im Verkehr ergibt sich aus den Kapiteln 3.2 bis 3.7.

2 Externe Effekte

Das Auftreten von externen Effekten, vor allem im Verkehrsbereich, stellt ein offensichtliches und unumstrittenes Problem in unserer heutigen Gesellschaft dar [Hoelzer 2004, S. 25]. In Europa wird deren Umfang allein im Transportsektor auf insgesamt 514 Mrd. € geschätzt [CE Delft et al. 2011, S. 78]. Bevor jedoch die Folgewirkungen speziell im Hinblick auf Sachsen abgeschätzt werden können, ist es vorab unerlässlich sich mit Hilfe einiger Vorbetrachtungen dieser Thematik anzunähern. Dazu wird in diesem Kapitel zunächst der Begriff der externen Effekte definiert und anschließend die Externalitäten im Verkehrssektor ausgewiesen. Darüber hinaus sollen Ansätze zur Bewertung von externen Effekten sowie aktuelle themenbezogene Forschungen dargestellt werden.

2.1 Definition und Einordnung

Als externe Effekte gelten gemeinhin Einflüsse von Aktivitäten auf unbeteiligte Dritte, die nicht in dem Entscheidungsprozess des eigentlichen Verursachers mit einbezogen werden [Hoelzer 2004, S. 23]. Die Einflüsse können sich dabei sowohl in vorteilhafter als auch nachteiliger Form auf die Drittpersonen auswirken. Die unentgeltliche Nutzenstiftung an Außenstehende wird in dieser Beziehung auch als externer Nutzen bezeichnet. Hingegen spricht man bei einer unkompensierten Schadensanlastung von externen Kosten. Beide wirken am Markt vorbei und werden somit auch nicht durch die Marktpreise widergespiegelt. Sie treten allgemein hin dort auf, wo Nutzenstifter andere nicht ausschließen und Benachteiligte sich nicht abgrenzen können, was vorwiegend der Schwierigkeit geschuldet ist konkrete Verfügungsrechte festzulegen und durchzusetzen. [Beck 2011, S. 145ff]

2.2 Externalitäten im Verkehrsbereich

Mit seinen Anlagen, Bauten und Bewegungsabläufen stellt der Verkehrssektor ein einzigartiges und zugleich besonders sensibles Feld hinsichtlich des Auftretens und Wirksamwerdens von externen Effekten dar [Willeke 1996, S. 63].

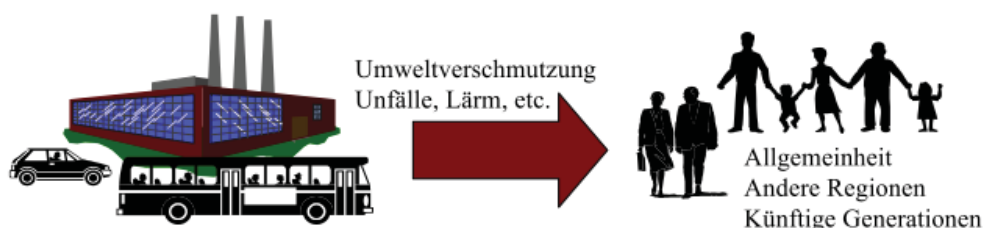


Abbildung 2: Wirkung von externen Effekten im Verkehr; Quelle: [Gerike 2009, S. 3]

Betrachtet man den implizierten Nutzen und die Kosten durch den Verkehr getrennt voneinander, so zeigt sich, dass der eigentliche Nutzen schon weitestgehend über den Markt abgegolten wird und demzufolge nur von geringfügiger externer Natur ist. Anders verhält es sich mit den Kosten des Verkehrs, bei denen der externe Anteil einen beträchtlichen Umfang ausmacht. [Becker et al. 2012, S. 6] Im Rahmen dieser Arbeit wurde sich deshalb vordringlich auf die verkehrsbedingten externen Kosten konzentriert, die nachstehend mit ihren Komponenten aufgeführt sind:

- **Unfallkosten:**
Direkte und indirekte Reproduktionskosten, außermärkliche Kosten, Ressourcenausfallkosten sowie immaterielle Kosten.
- **Lärmkosten:**
Gesundheitskosten durch erhöhte Lärmexposition.
- **Luftverschmutzungskosten:**
Kosten durch Gesundheits-, Gebäude- und Materialschäden sowie Ernte- und Biodiversitätsverluste.
- **Klimakosten:**
Schadenskosten durch Treibhausgasemissionen (mit CO₂ als „Leitgas“).
- **Kosten für Natur und Landschaft:**
Kosten für Entsiegelung, Dekontaminierung und Wiederherstellung sowie weitere Effekte.
- **Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse:**
Zusätzliche Klima- und Luftverschmutzungskosten.

Zweifelloos gibt es neben den gerade aufgeführten noch eine Reihe von weiteren Externalitäten, die mit dem Verkehr einhergehen. Beispiele dafür sind Stau- und Wegekosten, aber auch Kosten durch Trennwirkungen. Diese werden allerdings nicht in den späteren Berechnungen für den Verkehr in Sachsen berücksichtigt.

2.3 Bewertungsansätze

Die Monetarisierung von tatsächlichen oder potentiellen Schäden ist die Grundlage jeder ökonomisch effizienten umweltpolitischen Handlung. Durch die Bewertung von Umweltauswirkungen in Geldeinheiten wird sichergestellt, dass die Dimension eines Problems beurteilt sowie Kosten und Nutzen möglicher Gegenmaßnahmen evaluiert werden können [Fritsch 2011, S. 140f]. Die Abschätzung der externen Wohlfahrtsverluste erfolgt dabei vorwiegend über den Schadens- oder Vermeidungskostenansatz [Weinreich 2004, S. 165].

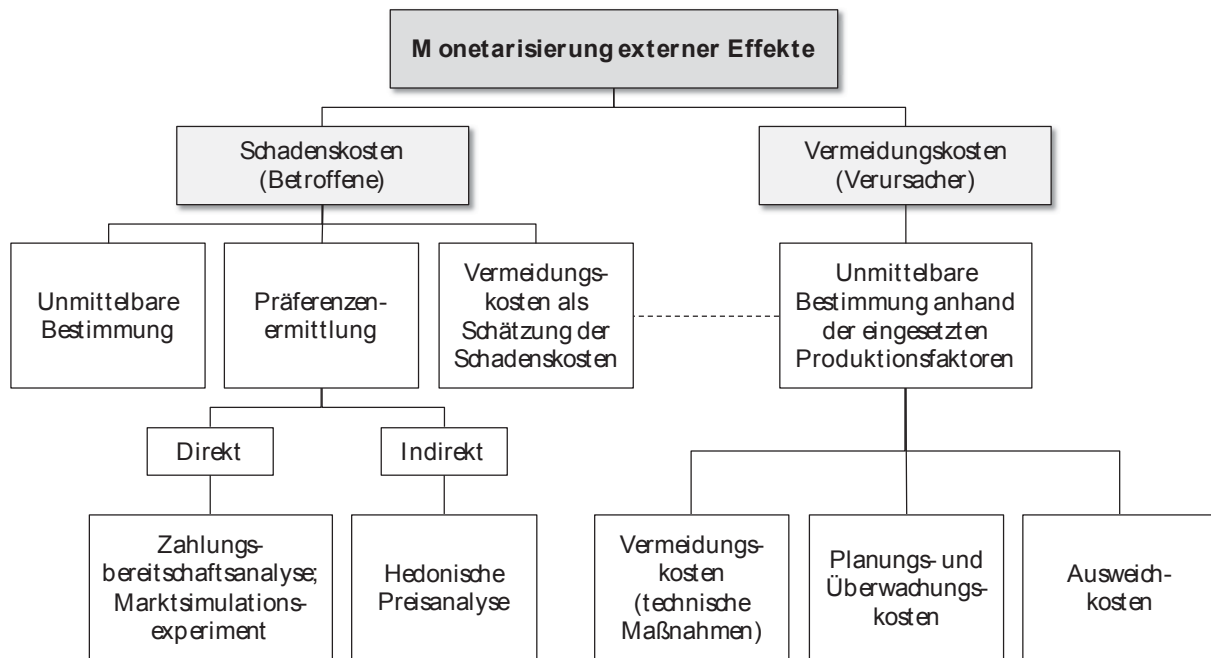


Abbildung 3: Monetarisierungsansätze für externe Effekte; Quelle: Eigene Darstellung nach [Weinreich 2004, S. 165]

Schadenskostenansatz

Der Schadenskostenansatz zielt darauf ab den Nutzenverlust eines Betroffenen zu bestimmen, der ihm aufgrund von Umwelteinflüssen widerfährt. Im einfachsten Fall kann dieser über *Marktpreise beziffert* werden, die den Wiederbeschaffungswert oder auch die Wiederherstellungskosten eines geschädigten Gutes ausweisen. Sind dafür keine realen Marktpreise existent, so kann die monetäre Bewertung auch ersatzweise über eine *Zahlungsbereitschaftsanalyse* erfolgen. Mit Hilfe von repräsentativen Befragungen wird dabei die individuelle Zahlungs- (Willingness to Pay) oder auch Akzeptanzbereitschaft (Willingness to Accept) ermittelt, die es zulässt den Gütern einen Preis zuzuordnen, ohne dass sie direkt am Markt gehandelt werden. Alternativ dazu bietet sich ebenfalls der *hedonische Preisansatz* an. Dem Konzept liegt der Denkansatz zugrunde, dass externe Effekte, die selbst mit keinem Geldwert beziffert werden können, den Marktpreis von Privatgütern beeinflussen. Über diesen indirekten Zusammenhang ist es mittels statistischer Verfahren möglich einen impliziten Preis für eine nicht marktfähige Externalität festzulegen. [Weinreich 2004, S. 165ff]

Vermeidungskostenansatz

Der Vermeidungskostenansatz steht im direkten Bezug zu einer schädigenden Aktivität und zielt im Wesentlichen darauf ab, die Kosten zur Vermeidung einer Umwelteinwirkung auf ein vorab festgelegtes Zielniveau zu ermitteln. Die Vermeidung wird dabei umso teurer, je höher der festgelegte Grenzwert ist und je mehr Schäden es zu verhindern gilt. Die Vermeidungskosten, die sich aus dem Einsatz bestimmter Produktionsfaktoren ergeben, lassen sich grundsätzlich in Kosten für *konkrete technische Maßnahmen* und Kosten für die *Planung und*

Durchsetzung von Regulierungsmaßnahmen unterteilen. Die Preise für die einzelnen Produktionsfaktoren können gewöhnlich dem Markt entnommen werden. Neben den eben aufgeführten Kostenkategorien sind zusätzlich noch die *Ausweichkosten* als mögliche Schadensvermeidungskosten zu nennen. Dies sind Kosten, die von Wirtschaftssubjekten auf sich genommen werden, um sich negativen externen Effekten zu entziehen. [Weinreich 2004, S. 170f]

Die verschiedenen Ansätze zur monetären Bewertung externer Effekte sind teils mit einigen Problemen behaftet. Ungeachtet davon führen die entsprechenden Schätzungen in der Regel zu plausiblen Ergebnissen, wobei sich die alternativen Verfahren in ihren Ergebnissen oftmals nur geringfügig unterscheiden. In vielen Fällen ergeben sich beträchtliche Summen, die auf die Dringlichkeit adäquater Maßnahmen hinweisen. [Fritsch 2011, S. 170f]

2.4 Existierende Projekte und Studien

Seit der letzten Studie zur *„Ermittlung der Kosten und Nutzen von Verkehr in Sachsen“* [Becker et al. 2002] aus dem Jahr 2002 und der Fortschreibung im Jahr 2004, die beide durch das damalige *Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG)* in Auftrag gegeben wurden, haben sich einige nationale und internationale Forschungsinstitutionen mit der methodischen Weiterentwicklung der externen Kostenschätzung und der Aktualisierung von Kostensätzen beschäftigt. Im Folgenden soll deshalb ein Überblick über einige gegenwartsnahe, themenbezogene Projekte und Studien gegeben werden.

HEATCO (2004-2006)

Das *„Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment“* kurz *HEATCO* ist ein Projekt, dass sich vordringlich mit der Kosten-Nutzen-Analyse bei Verkehrsinvestitionen auseinander gesetzt hat. Das primäre Ziel war dabei die Erarbeitung einer harmonisierten Leitlinie für die Bewertung von Infrastrukturprojekten auf EU-Ebene. Im Ergebnis wurden unter anderem Kostensätze für die Schadstoffemissionen, Lärmemissionen und Unfallopfer von 26 EU-Staaten erarbeitet.

IMPACT (2006-2008)

IMPACT (*„Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport“*) ist ein Forschungsprogramm im Auftrag der Europäischen Kommission, bei dem auf Grundlage einer umfangreichen Literatur- und Best-Practice-Analyse das *„Handbook on estimation of external costs in the transportsector“* [CE Delft et al. 2008] entwickelt wurde. Dieses beinhaltet Grenzkosten von externen Effekten als Basis für eine Preisgestaltung im Verkehr sowie eine Untersuchung und Beurteilung darauf bezogener politischer Internalisierungsstrategien.

NEEDS (2004-2009)

NEEDS („*New Energy Externalities Development for Sustainability*“) bezeichnet ein Projekt, dessen Ziel darin lag, die vollen Kosten und Nutzen des Energiesektors und der zukünftigen Energiesysteme sowohl auf Länder- als auch erweiterter EU-Ebene ganzheitlich zu evaluieren. Die Resultate von *NEEDS* umfassen eine state-of-the-art Kostenschätzung von Luftschadstoffemissionen, bei denen ebenfalls Biodiversitätsverluste mitberücksichtigt wurden.

CE Delft (2011)

Die Studie „*External Costs of Transport in Europe - Update Study for 2008*“ [CE Delft et al. 2011] weist, unter Berücksichtigung der neuesten verkehrspolitischen Entwicklungen in Europa, die externen Durchschnitts- und Grenzkosten des Verkehrssektors der erweiterten EU-Mitgliedsstaaten aus. Die Ergebnisse ermöglichen beispielsweise die Gegenüberstellung von Verkehrsträgern, die Ausarbeitung von Verkehrspreisen und die Bewertung von Verkehrsinvestitionen. Aufgrund der Validität und Aktualität dieser Untersuchung gründet ein Großteil der vorliegenden Arbeit auf den Erkenntnissen dieser Studie.

Umweltbundesamt (2012)

Die „*Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten*“ [UBA 2012] des Umweltbundesamtes zielt auf die Entwicklung von einheitlichen Bewertungsmaßstäben für umweltrelevante Kosten sowie auf die Verbesserung der Transparenz in den Schätzungsverfahren ab. In diesem Zusammenhang ist die ökonomische Bewertung von Umweltschäden von besonderer Relevanz. Darüber hinaus sind Kriterien für die Beurteilung und Auswahl von unterschiedlichen Bewertungsmethoden enthalten. Damit soll die Methodenkonvention insgesamt als Leitfaden zur Schätzung von Umweltkosten dienen.

3 Berechnung der externen Kosten

Aus den eben erarbeiteten theoretischen Grundlagen geht unter anderem hervor, dass es vor allem die unterschiedlichen externen Negativwirkungen sind, welche es im Verkehrsbereich zu quantifizieren gilt. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen wird sich deshalb in diesem Kapitel den unkompensierten Kosten des sächsischen Verkehrs gewidmet. Dafür werden anfangs die notwendigen allgemeinen Abgrenzungen festgesetzt, bevor anschließend für jeden der externen Effekte die Berechnungsmethodik und Kostensätze vorgestellt, die notwendigen Eingangsdaten dargelegt und die abschließenden Teilergebnisse als Gesamtkosten ausgewiesen werden.

3.1. Abgrenzungen

Untersuchungsgegenstand

Der Gegenstand der Untersuchungen beschränkt sich auf die Betrachtung der externen Effekte des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs. Diesbezüglich werden nur ausgewählte Externalitäten berücksichtigt, die im Kapitel 2.2 aufgeführt sind.

Untersuchungsgebiet

Der Freistaat Sachsen stellt das zu untersuchende Gebiet dieser Arbeit dar. Die Berechnungen erfolgen überwiegend dem Inlandsprinzip³ entsprechend. Ausgewiesen werden die Ergebnisse dabei für Gesamtsachsen und mehrheitlich auch für die sächsischen Gemeinden. Angesichts des Datenvolumens sind die gemeindefeinen Resultate lediglich auf dem beiliegenden Datenträger hinterlegt.

Untersuchungsjahr

Auf die Festlegung eines einheitlichen Untersuchungsjahres musste aufgrund der variierenden Datenverfügbarkeit verzichtet werden. Allerdings wurde darauf geachtet, einen möglichst aktuellen Datenstand⁴ zu erarbeiten. Die einschlägigen Kostensätze⁵ wurden an das jeweilige Untersuchungsjahr der Eingangsdaten über die Entwicklung des BIP je Einwohner in Deutschland angepasst.

Untersuchungsverfahren

Das Vorgehen zur Abschätzung der externen Kosten orientiert sich überwiegend an aktuellen Studien zu dieser Thematik und wurde somit nicht eigens entwickelt.

³ Gemäß dem Inländerprinzip werden alle verkehrsbezogenen Externalitäten, die innerhalb der Landesgrenzen von Sachsen verursacht werden, berücksichtigt. [CE Delft et al. 2011, S. 23]

⁴ Die Eingangsdaten sind überwiegend auf dem Stand der Jahre 2010 bis 2012.

⁵ Die Kostensätze entsprechen bundesweiten Kostensätzen.

Dennoch war es stellenweise erforderlich von der vorgegebenen Methodik abzuweichen bzw. diese anzupassen. Gleiches gilt für die angewandten Kostensätze mit Ausnahme der Unfallkostensätze, denen teils eine eigene Berechnung zugrunde liegt.

Untersuchungsgenauigkeit

Mit den Ergebnissen der Untersuchung wird kein Anspruch darauf erhoben die exakten externen Kosten für den sächsischen Verkehr ermittelt zu haben. Vielmehr wurde mit dem derzeitigen Wissensstand eine hinreichend genaue Beurteilung der externen Folgewirkungen vorgenommen, die insbesondere dazu dienen soll, den Umfang der Problematik besser einschätzen zu können.

3.2 Unfallkosten

3.2.1 Berechnungsmethodik und Kostensätze

Die Berechnung der Unfallkosten basiert methodisch auf dem erarbeiteten Verfahren der *Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)*, welche in regelmäßigen Abständen die volkswirtschaftlichen Kosten durch Straßenverkehrsunfälle in Deutschland ermittelt. Die prinzipielle Verfahrensweise ergibt sich dabei aus der nachstehenden Abbildung 4.

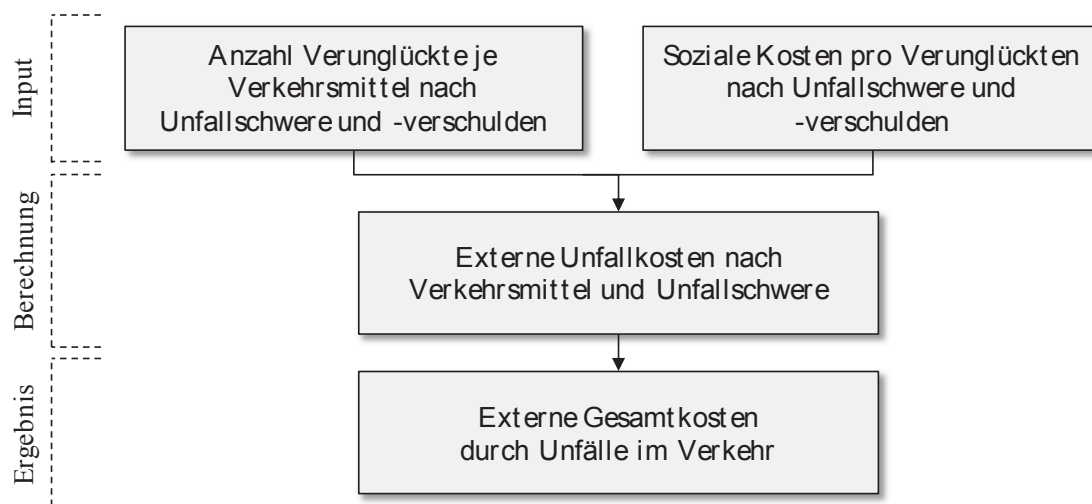


Abbildung 4: Methodik zur Berechnung der externen Verkehrsunfallkosten; Quelle: Eigene Darstellung

Der Entschluss für diese Bewertungsmethodik erfolgte vor allem aufgrund der überaus differenzierten und detaillierten Erfassung der Kostenkomponenten, die im europäischen Vergleich sehr weit fortgeschritten ist [Baum et al. 2010, S. 15]. Die in dieser Beziehung relevanten verkehrsbedingten externen Unfallkosten sind im Folgenden aufgeführt.

Reproduktionskosten

Bei den Reproduktionskosten wird allgemein nach direkten und indirekten Kosten unterschieden. Als direkt gelten vorrangig Kosten der medizinischen Versorgung. Dazu gehören Kosten für stationäre und ambulante Behandlung, Krankentransport, Rehabilitation, Nachbehandlung und sonstige Hilfsmittel. Demgegenüber sind indirekte Kosten vor allem von administrativer Natur. Sie umfassen Polizei-, Rechtsprechungs-, Versicherungs- und Neubesetzungskosten.⁶ [Baum et al. 2010, S. 26]

Ressourcenausfallkosten

Die Ressourcenausfallkosten bezeichnen volkswirtschaftliche Verluste durch Produktionsausfälle. Ursache dafür ist die dauerhafte oder auch vorübergehende Arbeitsunfähigkeit von Verunglückten. Der dadurch entgangene Wertschöpfungsbeitrag kann mit Hilfe potentieller Arbeitszeitausfälle über eine Produktionsfunktion abgeschätzt werden.⁷ [Baum et al. 2010, S. 41ff] Um letztendlich den Nettoproduktionsverlust zu erhalten, muss dieser jedoch noch um die zukünftigen Konsumausgaben bereinigt werden [Becker et al. 2002, S. 22].⁸

Immaterielle Kosten

Die persönliche Betroffenheit von Unfallopfern und deren Angehörigen wird nicht über die Reproduktions- bzw. Ressourcenausfallkosten ausgedrückt. Dazu zählen unter anderem Schmerz und Leid, psychische Beeinträchtigungen, verringerte Belastbarkeit sowie Verlust an Lebensqualität. Diese Komponenten werden unter dem Begriff immaterielle oder auch humanitäre Kosten zusammengefasst. Bei der BAST erfolgt eine entsprechende Bewertung anhand von Schmerzensgeldurteilen bzw. -zahlungen. [Baum et al. 2010, S. 72ff]

In Anlehnung an [Becker et al. 2002, S. 22] wird von diesem Ansatz abgewichen und alternativ für die Berechnungen das über Zahlungsbereitschaften zur Vermeidung von Unfallfolgen ermittelte „Risk Value“ herangezogen. Dabei werden nur die immateriellen Kosten der Opfer, nicht aber die der Angehörigen betrachtet, da angenommen wird, dass die Befragten diese bereits in ihren Angaben mitberücksichtigt haben. Doppelzahlungen werden somit ausgeschlossen. [Becker et al. 2002, S. 22f] Das „Risk Value“ wird in Europa für einen Todesfall durchschnittlich auf 1.670.000 € geschätzt [CE Delft et al. 2011, S. 32]. Für Schwerverletzte werden davon 13,3% (217.100 €) und Leichtverletzte 1% (16.700 €) angesetzt. Die aufgezeigten immateriellen Kosten werden ausschließlich bei Nichtun-

⁶ In Bezug auf die Kosten der Rechtsprechung und Polizei ist anzumerken, dass diese in einigen Fällen durch den Unfallverursacher bzw. dessen Haftpflichtversicherung dem Nichtunfallverursacher zurückerstattet werden. Der Rückerstattungsanteil wird auf etwa 10% geschätzt. [Becker et al. 2001, S. 19]

⁷ Genauer erläutert wird das Verfahren zur Abschätzung des volkswirtschaftlichen Potentialverlustes durch Unfallopfer mittels Produktionsfunktion in [Baum et al. 2010, S. 50ff].

⁸ Eine ausführliche Diskussion von Brutto- und Nettokonzept einschließlich Begründung zur Wahl des Nettokonzeptes ist in [Becker et al. 2001, S. 20f] aufgeführt.

fallverursachern veranschlagt. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass Unfallverursacher die von ihnen verursachten humanitären Kosten selbst tragen, weshalb sie als intern anzusehen sind. [Becker et al. 2002, S. 23]

Außermarktliche Kosten

Unter außermarktlichen Kosten werden generell Ausfälle und damit verbundene Wertschöpfungsverluste in Haushalts-, Selbstversorgungs-, Schatten- sowie Untergrundwirtschaft verstanden.⁹ Durch die Erfassung dieser Kosten werden ebenfalls marktferne Leistungen und Güterproduktionen mit betrachtet, welche nicht Gegenstand des offiziellen Sozialproduktes und demzufolge auch nicht Teil der Ressourcenausfallkosten sind. [Baum et al. 2010, S. 55ff]

Wichtig für die Betrachtung der externen verkehrsbedingten Unfallkosten ist die Einbeziehung der Haftungspflicht des Unfallverursachers gegenüber dem Nichtunfallverursacher. Grundsätzlich kann dieser seiner Verpflichtung über Direktzahlungen¹⁰ oder Inanspruchnahme seiner Haftpflichtversicherung nachkommen. Da die Zahlungen der *Haftpflichtversicherungen*¹¹ von den entsprechenden Risikogruppen selbst getragen werden, sind die erstatteten Kosten seitens der Nichtunfallverursacher als intern zu bezeichnen und müssen demnach von den gesamten Unfallkosten abgezogen werden. [Becker et al. 2002, S. 25f]

Die Versicherungszahlungen¹² und die einzelnen Kostensätze der zuvor aufgeführten Kostenkomponenten, welche sich aus dem Verfahren der *BASt* ergeben, sind in Tabelle 1 getrennt nach Verletzungsschwere und Unfallverschulden aufgeführt.

⁹ Die Berechnung der außermarktlichen Kosten erfolgt nach der in [Baum et al. 2010, S. 56ff] beschriebenen Vorgehensweise.

¹⁰ Direktzahlungen werden zumeist bei Unfällen mit geringfügigen Sachschäden ohne einhergehende Personenschäden geleistet, um die Schadenfreiheitsklasse der Haftpflichtversicherung beizubehalten.

¹¹ Die Gesamtleistungen der KFZ-Haftpflichtversicherungen belaufen sich für Deutschland im Jahr 2012 auf 12.586.200.000 €. [GDV 2013, S. 72] Der Leistungsanteil für Personenschäden wird mit 30% veranschlagt. [Becker et al. 2001, S. 23] Die erforderlichen Versicherungszahlungen für Sachsen ergeben sich letztendlich aus dem Einwohnerverhältnis Sachsen/Deutschland.

¹² Die Aufteilung der Transferzahlungen erfolgte nach dem Verhältnis 92,3% (Getötete), 5,8% (Schwerverletzte) und 1,9% (Leichtverletzte) [Becker et al. 2001, S. 24]. Die Ergebnisse wurden anschließend über die Zahl der jeweiligen verunglückten Nichtunfallverursacher gemittelt, um die durchschnittlichen Versicherungsleistungen pro Verunglückten einer Unfallschwerekategorie zu generieren.

3 Berechnung der externen Kosten

Tabelle 1: Kostensätze für Verunglückte bei Verkehrsunfällen nach Verletzungsschwere und Unfallverschulden; Quelle: Eigene Berechnung nach [Baum et al. 2010; Becker et al. 2002; CE Delft et al. 2011]

€/Verunglückter]	Getötete		Schwer verletzte		Leicht verletzte	
	Verursacher	Nichtverursacher	Verursacher	Nichtverursacher	Verursacher	Nichtverursacher
Reproduktionskosten						
Direkt	4.711	4.711	14.246	14.246	282	282
Indirekt	11.553	11.293	6.205	5.953	755	721
Summe	16.264	16.004	20.450	20.198	1.038	1.003
Außermärkliche Kosten						
Schattenwirtschaft	131.697	131.697	8.121	8.121	123	123
Hausarbeit	299.351	299.351	19.178	19.178	305	305
Summe	431.048	431.048	27.300	27.300	427	427
Ressourcenausfallkosten	105.846	105.846	52.735	52.735	798	798
Imaterielle Kosten	-	1.670.000	-	217.100	-	16.700
Minderung um Zahlungen der Haftpflicht	-	354.086	-	22.201	-	7.326
Insgesamt	553.157	1.868.811	100.486	295.132	2.263	11.602

Ungeachtet der Tatsache, dass sich das Verfahren der *BAST* auf den Straßenverkehr bezieht, ist eine Übertragung der Kostensätze auf andere Verkehrsarten aus methodischen Gesichtspunkten unbedenklich, da die Unfallfolgen einzig von dem Verletzungsschweregrad abhängig sind und somit nicht im Zusammenhang mit den beteiligten Verkehrsmitteln stehen.

3.2.2 Eingangsdaten

Straßenverkehr

Die benötigten Unfalldaten des sächsischen Straßenverkehrs wurden für das Jahr 2012 differenziert nach Schwereкатегorie, Verkehrsbeteiligung und Hauptunfallverursacher durch das *Statistische Landesamt Sachsen* bereitgestellt. Auf Basis dieser Angaben war es möglich die sachsenweit Verunglückten nach Fahrzeugkategorie und Unfallverschuldung¹³, wie in Tabelle 2 veranschaulicht, aufzuteilen.

Tabelle 2: Verunglückte bei Straßenverkehrsunfällen im Freistaat Sachsen nach Unfallverschulden und Verletzungsschwere ohne Einbeziehung einer Dunkelziffer für das Jahr 2012; Quelle: Eigene Berechnung nach [Statistisches Landesamt Sachsen/Recknagel, Renate 2013]

	PKW	GKfz	Motorrad	Mofa	Bus	Andere Fahrzeuge	Fahrrad	Fuß	Andere Personen	Unfall mit Personenschaden
Opfer Gesamt										
getötet	108	6	31	7	1	0	27	28	1	209
schwerverletzt	1771	110	471	151	21	15	910	534	4	3981
leichtverletzt	7012	379	659	424	271	143	2903	1063	26	12916
Verursacher										
getötet	49	1	2	0	0	0	2	1	0	55
schwerverletzt	699	7	36	4	0	0	144	34	0	924
leichtverletzt	3261	26	21	8	0	1	366	34	0	3718
Nichtverursacher										
getötet	59	5	29	7	1	0	25	27	1	154
schwerverletzt	1072	103	435	147	21	15	766	500	4	3063
leichtverletzt	3751	353	674	416	271	142	2537	1029	26	9198
Anteil Verursacher pro Fahrzeugkategorie und Verletzungsschwere										
getötet	23,5%	0,3%	1,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%	0,5%	0,0%	26,3%
schwerverletzt	17,5%	0,2%	0,9%	0,1%	0,0%	0,0%	3,6%	0,8%	0,0%	23,2%
leichtverletzt	25,2%	0,2%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%	2,8%	0,3%	0,0%	28,8%
Anteil Nichtverursacher pro Fahrzeugkategorie und Verletzungsschwere										
getötet	28,2%	2,6%	13,9%	3,3%	0,5%	0,0%	11,8%	12,9%	0,5%	73,7%
schwerverletzt	26,9%	2,6%	10,9%	3,7%	0,5%	0,4%	19,2%	12,6%	0,1%	76,8%
leichtverletzt	29,0%	2,7%	5,2%	3,2%	2,1%	1,1%	19,6%	8,0%	0,2%	71,2%

Die Unfallzahlen auf Gemeindeebene sind über das *Gemeinsame neue statistische Informations-System (GENESIS)* des Bundes und der Länder abrufbar. An dieser Stelle konnte jedoch keine Trennung mehr nach Fahrzeugklasse oder Verursacher bzw. Nichtverursacher vorgenommen werden. Demzufolge war eine

¹³ Es wird unterstellt, dass Verursacher allein die Fahrer von Fahrzeugen sein können. Die Anzahl der davon schuldhaften Fahrzeugführer ergibt sich aus dem durchschnittlichen Besetzungsgrad sowie dem Anteil der verursachten Unfälle nach Verkehrsbeteiligung und Unfallschwere.

Berechnung der gemeindefeinen Unfallkosten auch nur annäherungsweise mit Hilfe von Durchschnittswerten möglich.

Ein nicht zu vernachlässigender Aspekt im Zusammenhang mit der Ermittlung von Verunglückten im Verkehr ist das Auftreten von *Dunkelziffern*. Diese ergeben sich aufgrund der Tatsache, dass nicht sämtliche Verkehrsunfälle gemeldet und dementsprechend polizeilich erfasst werden. Die daraus hervorgehenden verletzten Personen werden somit auch nicht in einer offiziellen Verkehrsunfallstatistik mitgeführt. In der unterstehenden Tabelle 3 sind deshalb Korrekturfaktoren ausgewiesen, mit denen die Dunkelziffern in dieser Arbeit berücksichtigt wurden.¹⁴ Erkennbar ist, dass der Faktor insbesondere von der Verletzungsschwere aber auch vom Verkehrsmittel abhängig ist.

*Tabelle 3: Korrekturfaktoren für die Berücksichtigung von Dunkelziffern bei Verkehrsunfällen;
Quelle: [Becker et al. 2002, S. 27]*

	Korrekturfaktor
Getötet	1,00
Schwerverletzte Motorisiert	1,82
Schwerverletzte Fahrrad	3,33
Schwerverletzte Fuß	2,00
Leichtverletzte Motorisiert	2,00
Leichtverletzte Mofa	2,50
Leichtverletzte Fahrrad	5,00
Leichtverletzte Fuß	2,86

Die dargestellten Korrekturfaktoren beziehen sich ausnahmslos auf den Straßenverkehr. In Bezug auf die anderen Verkehrsträger wird keine Anpassung der Unfallzahlen vorgenommen. Zum einen ist dies damit zu begründen, dass allein die Gesamtzahl an Unfällen gegenüber dem Straßenverkehr sehr gering ist und zum anderen die Anzahl der nichtgemeldeten Unfälle angesichts der Systemeigenschaften vernachlässigbar erscheint. [Becker et al. 2002, S. 27]

Schienenverkehr

Für den Schienenverkehr konnten lediglich aussagefähige Unfalldaten getrennt nach Verletzungsschwere auf Bundesebene über das *Statistische Bundesamt* ausfindig gemacht werden. Aufgrund des niedrigen Unfallgeschehens im Eisenbahnsegment wurde ein bundesweiter Mittelwert aus den Jahren 2008 bis 2011 gebildet. Die Unfallzahlen für Sachen wurden schlussendlich über den sächsischen Anteil an der gesamtdeutschen Schienenbeförderungsleistung im Personen- und Güterverkehr, welcher sich in etwa auf 5% beläuft, abgeschätzt.

¹⁴ Für nicht gemeldete Unfälle werden keine Polizeikosten angesetzt.

Tabelle 4: Verunglückte bei Schienenverkehrsunfällen in Deutschland und Sachsen nach Verletzungsschwere; Quelle: Eigene Berechnung nach [Destatis 2014b]

Art der Verkehrsbeteiligung	Verunglückte					
	Deutschland					Sachsen
	2008	2009	2010	2011	Ø	Ø
Unfälle mit Personenschaden	540	524	566	474	526	25
Verunglückte	782	780	821	664	762	37
danunter: Fahrgäste	159	200	162	147	167	8
Bahnbedienstete	199	161	225	154	185	9
Sonstige Personen	424	419	434	363	410	20
Getötete	182	185	155	152	169	8
danunter: Fahrgäste	1	3	–	9	3	0
Bahnbedienstete	9	5	10	10	9	0
Sonstige Personen	172	177	145	133	157	8
Schwerverletzte	177	138	139	171	156	8
danunter: Fahrgäste	29	20	8	35	23	1
Bahnbedienstete	37	22	21	34	29	1
Sonstige Personen	111	96	110	102	105	5
Leichtverletzte	423	457	527	341	437	21
danunter: Fahrgäste	129	177	154	103	141	7
Bahnbedienstete	153	134	194	110	148	7
Sonstige Fahrgäste	141	146	179	128	149	7

Da die Statistik ferner keine Rückschlüsse auf das Unfallverschulden zulässt, war es zudem notwendig die Kostensätze (Verursacher/Nichtverursacher) der jeweiligen Unfallkategorien zu mitteln.

Luftverkehr

Im Flugverkehr fallen die absoluten Unfallzahlen nochmals geringer aus als im Schienenverkehr. In der Tabelle 5 sind die deutschlandweiten Unfälle mit Luftfahrzeugen der Jahre 2007 und 2008 beispielhaft aufgezeigt.

Tabelle 5: Luftverkehrsunfälle in Deutschland für das Jahr 2007 und 2008 nach Verletzungsschwere; Quelle: [BFU 2010, S. 8]

Zeitraum: 01.01.2008 – 31.12.2008

	Schwere Störungen (gesamt)	Unfälle (gesamt)	Unfälle mit schwer Verletzten	Anzahl der schwer Verletzten	Unfälle mit tödlich Verletzten	Anzahl der tödlich Verletzten
Luftfahrzeug-Art und Massenkategorie	Spalte S0	Spalte S1	S2 aus S1	S3 aus S2 u. S4	S4 aus S1	S5 aus S4
Flugzeuge > 5,7 t	33 (45)	12 (3)	5 (0)	5 (3)	1 (1)	7 (1)
Flugzeuge 2,0 – 5,7 t	1 (5)	7 (7)	0 (0)	0 (0)	0 (2)	0 (6)
Flugzeuge bis 2,0 t	2 (4)	88 (109)	5 (12)	14 (22)	12 (15)	23 (28)
Hubschrauber	2 (2)	8 (16)	1 (2)	3 (3)	3 (4)	4 (12)
Reisemotorsegler	0 (1)	10 (18)	0 (1)	0 (1)	1 (4)	2 (5)
Segelflugzeuge*	0 (0)	72 (92)	12 (14)	12 (16)	10 (18)	10 (23)
Freiballone	0 (1)	10 (9)	5 (6)	8 (6)	1 (0)	1 (0)
Sonstige LFZ-Arten	0 (0)	26 (0)	4 (0)	6 (0)	16 (0)	26 (0)
Summe	38 (58)	233 (254)	32 (35)	48 (51)	44 (44)	73 (75)

*Segelflugzeuge mit Hilfsantrieb eingeschlossen

(Vorjahreszahlen in Klammern)

Als Grundlage für eine gesicherte statistische Auswertung können diese Werte allerdings nicht genutzt werden. Deshalb wurde ersatzweise das durchschnittliche verkehrsleistungsbezogene Risiko mit einem Flugzeug tödlich zu verunglücken bzw. verletzt zu werden als Beurteilungsgröße herangezogen.¹⁵ Die Ermittlung der Verkehrsleistung des sächsischen Luftverkehrs (Datenstand 2012) sowie die Festlegung des Risikowertes erfolgten auf Basis von Angaben durch das *statistische Bundesamt*. Darüber hinaus wurde unterstellt, dass die Opfer von Flugunfällen diese nicht selbst verursacht haben, weshalb allein die Kostensätze der Nichtunfallverursacher für die Berechnungen in Betracht gezogen wurden.

¹⁵ Im Durchschnitt verunglücken 32 bzw. sterben 0,3 Menschen je Mrd. Flug-km [Vorndran 2011, S. 1087].

3.2.3 Teilergebnisse

Die externen Gesamtunfallkosten für Sachsen, die sich aus den Berechnungen ergeben, sind in Tabelle 6 aufgelistet. Erwartungsgemäß sticht hier der Straßenverkehr hinsichtlich der Unfallfolgen gegenüber den anderen Verkehrsträgern hervor.

Tabelle 6: Externe Verkehrsunfallkosten für den Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Berechnung

	Absolute Kosten [Mio. €]	Anteil der Verkehrsträger
Straßenverkehr	2.854,02	99,59%
Schienenverkehr	11,50	0,40%
Flugverkehr	0,30	0,01%
Insgesamt	2.865,82	100%

Betrachtet man die Verkehrsbeteiligung im Straßenverkehr genauer, so ist auffällig, dass der Unfallkostenanteil des Radverkehrs selbst den des PKW übersteigt. Dies ist vorwiegend auf die hohen Dunkelziffern zurück zu führen, die im Zusammenhang mit den Verkehrsunfällen bei Fahrradfahren vermutet werden. Außerdem gelten Radfahrer selbst häufig nicht als Unfallverursacher, weshalb indirekt die Dominanz der immateriellen Kosten bei den externen Kostenkomponenten zum Tragen kommt.

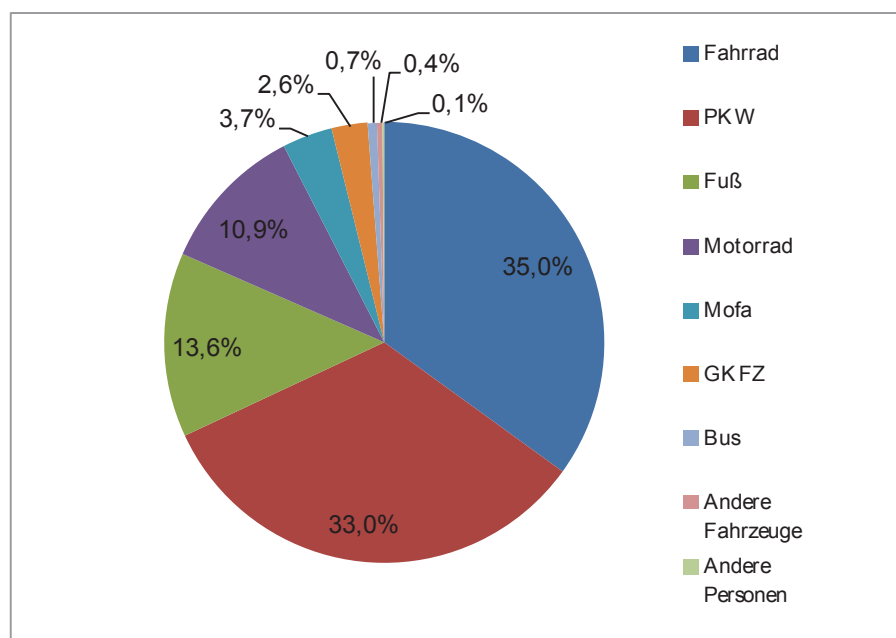


Abbildung 5: Anteil der verschiedenen Verkehrsteilnehmer an den externen Unfallkosten des Straßenverkehrs im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung

3.3 Lärmkosten

3.3.1 Berechnungsmethodik und Kostensätze

Als Lärm werden durch die Europäische Kommission „*unerwünschte oder gesundheitsschädliche Geräusche im Freien*“ bezeichnet, die unter anderem von Straßen-, Eisenbahn- und Flugverkehr ausgehen [Europäische Kommission 2002, S. 2]. Aus einer repräsentativen Umfrage des *Umweltbundesamtes (UBA)* geht hervor, dass sich die Einwohner in Deutschland insbesondere durch den Straßenverkehrslärm gestört fühlen (siehe Abbildung 7).

Tabelle 7: *Beurteilung der Wohnsituation nach Lärmbelastigung [in % der Befragten]; Quelle: [BMU und UBA 2013, S. 52]*

„Ich persönlich fühle mich durch ...gestört oder belastigt.“	Äußerst	Stark	Mittelmäßig	Etwas	Überhaupt nicht
Schienenverkehrslärm	0	3	12	19	66
Straßenverkehrslärm	0	6	20	28	46
Industrie- und Gewerbelärm	0	2	11	19	68
Flugverkehrslärm	0	1	5	17	77
Lärm von Nachbarn	0	3	14	25	58

Je nach Dauer und Intensität kann der Verkehrslärm zu diversen sozialen, physischen und psychischen Beeinträchtigungen beim Menschen führen [Staubil 2006, S. 28ff]. Generell werden die einzelnen negativen Auswirkungen in zwei Kategorien unterteilt:

Belästigungskosten

Die Belästigung durch unerwünschte Geräusche äußert sich überwiegend in einer Störung von Kommunikation und Konzentration, Einschränkungen von Freizeitaktivitäten sowie die Verminderung des allgemeinen Wohlbefindens, was insgesamt einen nachteiligen Effekt auf die Leistungsfähigkeit der Betroffenen hat [CE Delft et al. 2011, S. 61; Staubil 2006, S. 29f].

Gesundheitskosten

Die gesundheitlichen Folgen beim Menschen, die durch eine langzeitige Lärmexposition (>55 dB(A)) ausgelöst werden, können sich von Schlafstörungen über die Veränderungen vegetativer Funktionen bis hin zu schwerwiegenden Herz-Kreislauf-Erkrankungen erstrecken [Becker et al. 2012, S. 21]. Ab Pegeln von mehr als 85 dB(A) erhöht sich zudem das Risiko einer direkten Schädigung des Hörorgans [CE Delft et al. 2008, S. 61]. Die genannten Wirkungen stehen dabei

im unmittelbaren Zusammenhang mit Kosten für die medizinische Versorgung, Produktivitätsverlusten und einer erhöhten Mortalität [Becker et al. 2012, S. 21].

Für die unterschiedlichen Verkehrsträger werden in der Studie [CE Delft et al. 2011], basierend auf den Forschungen von HEATCO, die in Tabelle 8 zusammengetragenen Kostensätze je Pegelklasse¹⁶ angeführt, welche sowohl die Kosten der Belästigung als auch die der Gesundheit berücksichtigen [CE Delft et al. 2011, S. 52]. Im Schienenverkehr wurden diese an das Jahr 2007 und im Straßen- und Luftverkehr an das Jahr 2012 über die pro-Kopf-BIP-Entwicklung in Deutschland angepasst.

Tabelle 8: Kostensätze für Lärmbetroffene des Verkehrs in Deutschland nach Pegelklasse (im Schienenverkehr für das Jahr 2007 sowie im Straßen- und Luftverkehr für das Jahr 2012); Quelle: Eigene Berechnung nach [CE Delft et al. 2011, S. 147]

	Kostensatz je Pegelklasse – L_{DEN} [€/Person]				
	55–60 dB (A)	60–65 dB (A)	65–70 dB (A)	70–75 dB (A)	> 75 dB (A)
Straßenverkehr	77	131	185	294	392
Schienenverkehr	20	70	119	217	315
Luftverkehr	119	203	287	426	554

Die Vorgehensweise zur Berechnung der Lärmkosten orientiert sich grundlegend an den Vorgaben von [CE Delft et al. 2011] und wird in der Abbildung 6 zusammengefasst.

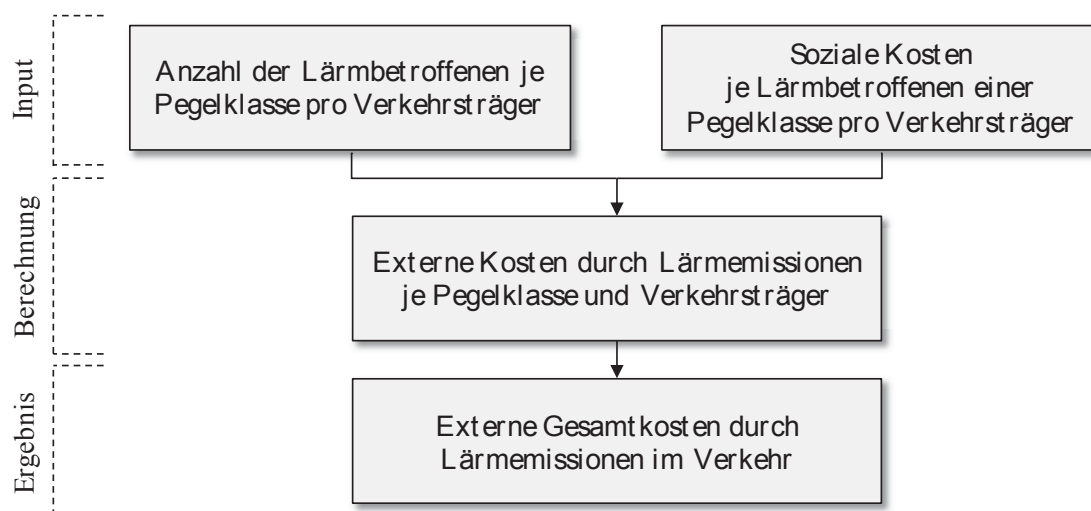


Abbildung 6: Methodik zur Berechnung der externen Lärmkosten im Verkehr; Quelle: Eigene Darstellung

¹⁶ Die Kostensätze je Pegelklasse des Schienenverkehrs sind im mittleren Lärmbereich (55–69 dB(A)) zum Straßenverkehr um eine Stufe (5 dB(A)) nach unten versetzt. Der Grund dafür ist, dass der Schienenverkehrslärm bei gleichem Geräuschpegel als weniger belästigend empfunden wird („Schienenbonus“). Ab 70 dB(A) greifen jedoch vor allem die Gesundheitskosten, bei denen insgesamt geringfügige Unterschiede zwischen den Verkehrsträgern festzustellen sind.

3.3.2 Eingangsdaten

Für die sächsischen Gemeinden konnten die Lärmbetroffenen aus den Ergebnissen der Lärmkartierung für den Straßen- und Luftverkehr von 2012 und den Schienenverkehr von 2007 entnommen werden, die durch das *Sächsische Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)* bereitgestellt wurden. Zusammengefasst ergibt sich daraus die unterstehende Anzahl Belasteter getrennt nach Pegelklassen und Verkehrsträger.

Tabelle 9: Anzahl der durch Verkehrslärm betroffenen Personen in Sachsen nach Pegelklassen (Datenstand: Straßen- und Luftverkehr – 2012; Schienenverkehr – 2007); Quelle: [LfULG/Rink 2014]

	Belastete Menschen je Pegelklassen – L_{DEN}				
	55-60 dB (A)	60-65 dB (A)	65-70 dB (A)	70-75 dB (A)	> 75 dB (A)
Straßenverkehr	114.220	86.576	63.666	17.799	1.184
Schienenverkehr	67.992	29.424	21.925	4.661	804
Luftverkehr	17.114	3.678	43	0	0
Sum m e	199.326	119.678	85.634	22.460	1.988

Bei der alleinigen Betrachtung der offiziellen Kartierungsergebnisse besteht jedoch das Risiko einer Unterbewertung der realen Betroffenenzahlen. Dies ist damit zu begründen, dass durch die *Richtlinie 2002/49/EG über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm [Europäische Kommission 2002]* für die Lärmkartierung die in Tabelle 10 aufgeführten Schwellenwerte vorgegeben wurden.

Tabelle 10: Schwellenwerte für die Lärmkartierung der Stufe 1 und 2; Quelle: [LfULG 2012]

	Vorgaben zur Erstellung von Lärmkarten	
	Stufe 1 (LK 2007)	Stufe 2 (LK 2012)
Ballungsräume	> 250.000 Einwohner	> 100.000 Einwohner
Hauptverkehrsstraßen	> 6 Mio. Kfz/Jahr	> 3 Mio. Kfz/Jahr
Hauptbahnstrecken	> 60.000 Züge/Jahr	> 30.000 Züge/Jahr
Großflughäfen	> 50.000 Bewegungen/Jahr	> 50.000 Bewegungen/Jahr

Infolge der Vorgaben bleibt ein überwiegender Teil der Verkehrswege von Sachsen unkartiert und somit ohne eine Angabe zur Lärmbelastung.¹⁷ Vom sächsischen Straßennetz wurden beispielsweise lediglich 1.450 km (exkl. Ballungsräume) von insgesamt 13.595 km in der Lärmkartierung 2012 erfasst [LfULG 2012]. Die aktuell

¹⁷ Für den Luftverkehr wird unterstellt, dass die tatsächlich Betroffenen durch die Lärmkartierung ausreichend genau erfasst werden.

kartierten Bereiche des Schienenverkehrs erstrecken sich auf die in Abbildung 7 dargestellten Flächen.

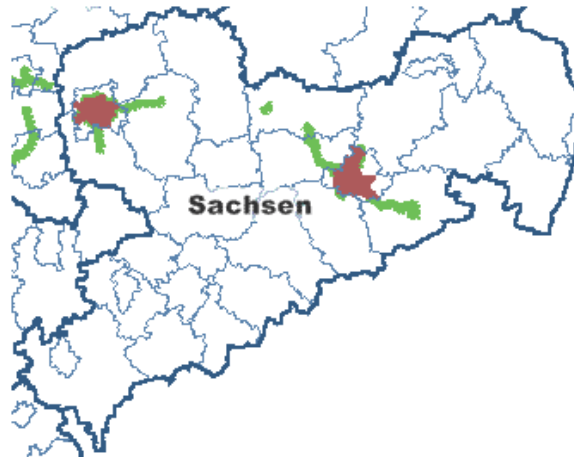


Abbildung 7: Kartierte Schienentrassen nach Lärmkartierungsstufe 1 in Sachsen; Quelle: [EBA 2007]

Mit dieser Problematik hat sich Herr Dr. Jäschke in seiner Dissertation zum Thema „Lärmkartierung und Ruhige Gebiete“ [Jäschke 2014] am Beispiel von Hessen auseinandergesetzt. Dabei kam heraus, dass etwa 75% der lärmbelasteten Menschen in Hessen von der Lärmkartierung¹⁸ unentdeckt blieben [Jäschke 2014, S. 368]. Aufbauend auf den Ergebnissen von Herrn Dr. Jäschke wurden deshalb für Sachsen folgende Anpassungsfaktoren¹⁹ bestimmt, mit denen eine Abschätzung der tatsächlichen Betroffenenzahlen je Pegelklasse vorgenommen werden konnte.

Tabelle 11: Anpassungsfaktoren für Pegelklassen und real durch Verkehrslärm betroffene Personen in Sachsen; Quelle: Eigene Berechnung nach [Jäschke 2014]

	Anpassungsfaktoren je Pegelklassen – L_{DEN}				
	55-60 dB (A)	60-65 dB (A)	65-70 dB (A)	70-75 dB (A)	> 75 dB (A)
Straßenverkehr	4,04	3,27	1,87	1,80	2,18
Schienenverkehr	1,12	1,06	1,11	1,43	1,07
	Realbelastete Menschen je Pegelklassen – L_{DEN}				
	55-60 dB (A)	60-65 dB (A)	65-70 dB (A)	70-75 dB (A)	> 75 dB (A)
Straßenverkehr	461.558	283.071	118.925	32.018	2.579
Schienenverkehr	76.322	31.265	24.381	6.671	804

¹⁸ Hier bezogen auf die Ergebnisse der Lärmkartierung der Stufe 1 (2007) [Jäschke 2014, S. 368].

¹⁹ Die Anpassungsfaktoren für Sachsen ergeben sich jeweils aus dem Verhältnis der „realen“ durch Jäschke ermittelten Betroffenenzahlen und den durch die Lärmkartierung erfassten Betroffenen in Hessen multipliziert mit einem Korrekturfaktor. Der Korrekturfaktor wird seinerseits wiederum über die Relation zwischen den bundeslandspezifischen Einwohnern und Verkehrsleistungen, normiert auf die unterschiedlichen Verkehrsflächen, bestimmt (siehe dazu beiliegenden Datenträger).

3.3.3 Teilergebnisse

Die externen verkehrsbezogenen Lärmkosten für Belästigungen und gesundheitliche Auswirkungen belaufen sich in Sachsen auf insgesamt 104,82 Mio. €. Dem Straßenverkehr kommt dabei mit 90,5% der größte Kostenanteil zu, gefolgt vom Schienenverkehr mit reichlich 7%.

Tabelle 12: Externe Kosten durch Verkehrslärm im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Berechnung

	Absolute Kosten [Mio. €]	Anteil der Verkehrsträger
Straßenverkehr	104,82	90,46%
Schienenverkehr	8,26	7,13%
Flugverkehr	2,79	2,41%
Insgesamt	115,87	100%

Bezüglich der Pegelklassen verteilen sich etwa 68% der Gesamtkosten auf den Bereich zwischen 55 dB(A) und 64 dB(A). Besonders hohe Lärmintensität (≥ 70 dB(A)) verursacht dagegen nur etwa 9,5% der sächsischen Lärmkosten.

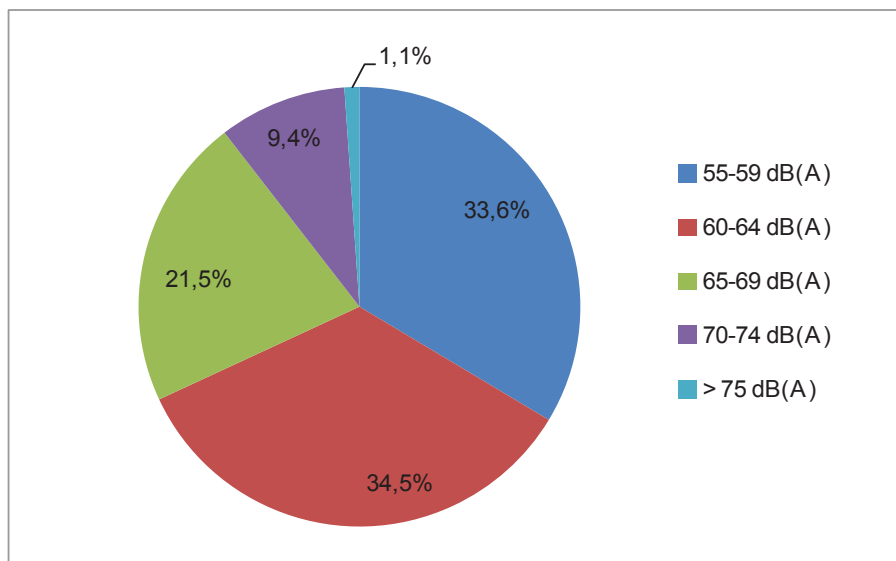


Abbildung 8: Anteil der verschiedenen Pegelklassen an den externen Kosten durch Verkehrslärm im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung

3.4 Kosten der Luftverschmutzung

3.4.1 Berechnungsmethodik und Kostensätze

Die Luftschadstoffe, die durch den Verkehr emittiert werden, sind ebenso vielfältig, wie die dadurch verursachten Schäden. Angesichts der Tragweite ist die Betrachtung der ausgestoßenen verkehrsgebundenen

- Feinstaubpartikel (PM_{10} , $PM_{2,5}$),
- Stickoxide (NO_x),
- Schwefeldioxide (SO_2) und
- flüchtigen organischen Verbindungen (VOC),

deren Reaktionen untereinander noch zusätzlich zur Bildung von bodennahem Ozon (O_3)²⁰ führt, von besonderer Bedeutung. Insgesamt stehen diese Schadstoffe in unmittelbarem Zusammenhang mit den nachstehend ausgewiesenen Negativwirkungen.

Gesundheitsschäden

Mit der Aspiration von Luftschadstoffen, vorrangig feinen Partikeln (PM_{10} , $PM_{2,5}$), erhöht sich das Risiko einer Erkrankung der Atemwege oder des Herzkreislaufsystems, wodurch zumeist ein Anstieg in den Gesundheitskosten feststellbar ist. [CE Delft et al. 2008, S. 46ff]

Gebäude- und Sachschäden

Bei den Auswirkungen auf Gebäude und Materialien sind insbesondere zwei Effekte hervorzuheben. Zum einen die Verunreinigung von Oberflächen durch Staub bzw. Partikel und zum anderen die durch das Einwirken von säurehaltigen Schadgasen (NO_x , SO_2) bedingte Materialkorrosion [CE Delft et al. 2008, S. 46]. Beide treten oftmals wegen eines erhöhten Reinigungs- und Sanierungsbedarfs zu Tage [Becker et al. 2002, S. 37ff].

Ernteverluste

Aufgrund der Emission säurehaltiger Substanzen (NO_x , SO_2) und der Bildung des Sekundärschadstoffes Ozon ergibt sich eine Schädigung von Nutzpflanzen, die indirekt zu einer Abnahme des Erntevolumens führt [CE Delft et al. 2008, S. 46]. Unter den gegebenen Bedingungen sind häufig gesteigerte Aufwendungen für den landwirtschaftlichen Anbau notwendig [Becker et al. 2002, S. 41].

²⁰ Ozon bildet sich in Folge einer Emission von VOC und NO_x [Becker et al. 2002, S. 35].

Biodiversitätsverluste

Biodiversitätsverluste ergeben sich in erster Linie durch die Eutrophierung (NO_x) und Versauerung (NO_x , SO_2) des Bodens, welche erfahrungsgemäß einen Verlust der biologischen Vielfalt nach sich ziehen [CE Delft et al. 2011, S. 39]. Somit gehen Genressourcen verloren und der ideelle Wert eines Ökosystems sinkt [Becker et al. 2002, S. 42].

Die infolge der Schädigungen verursachten Kosten pro ausgestoßene Menge eines Luftschadstoffes wurden [CE Delft et al. 2011]²¹ entnommen. Diese sind beispielhaft für das Jahr 2011 und für alle Schadenskomponenten in der Tabelle 13 zusammengefasst. Eine erforderliche Aufdatierung der einzelnen Werte wurde über die bundesweite pro-Kopf-BIP-Entwicklung vorgenommen.

Tabelle 13: Kostensätze für Luftschadstoffemissionen im Verkehr in Deutschland (für das Jahre 2011); Quelle: Eigene Berechnung nach [CE Delft et al. 2011, S. 38ff]

		Kostensätze [€/t]
PM _{2,5}	Ballungsraum	455.869
	Urban	147.048
	Nicht-Urban	88.885
PM ₁₀	Ballungsraum	182.326
	Urban	58.798
	Nicht-Urban	35.597
NO _x		15.145
VOC		1.483
SO ₂		11.859

Hinsichtlich der Methodik zur Berechnung der Schadstoffkosten des Verkehrs wurde analog zu [CE Delft et al. 2011] ein Bottom-up-Ansatz gewählt. Da die verkehrlichen Gesamtemissionen²² bereits anderweitig zur Verfügung standen, mussten selbe nicht wie vorgegeben über die Verkehrsleistung und die spezifischen Emissionsfaktoren der Verkehrsmittel bestimmt werden. [CE Delft et al. 2011, S. 34f] Das eigentliche Vorgehen ergibt sich somit aus der Abbildung 9.

²¹ Die ermittelten Kostenfaktoren für Feinstaubpartikel (PM₁₀, PM_{2,5}) beruhen ursprünglich auf den Resultaten des Forschungsprojektes HEATCO und die der Schadstoffe VOC, NO_x und SO₂ auf den Ergebnissen von NEEDS [CE Delft et al. 2011, S. 36ff].

²² Siehe Kapitel 3.4.2

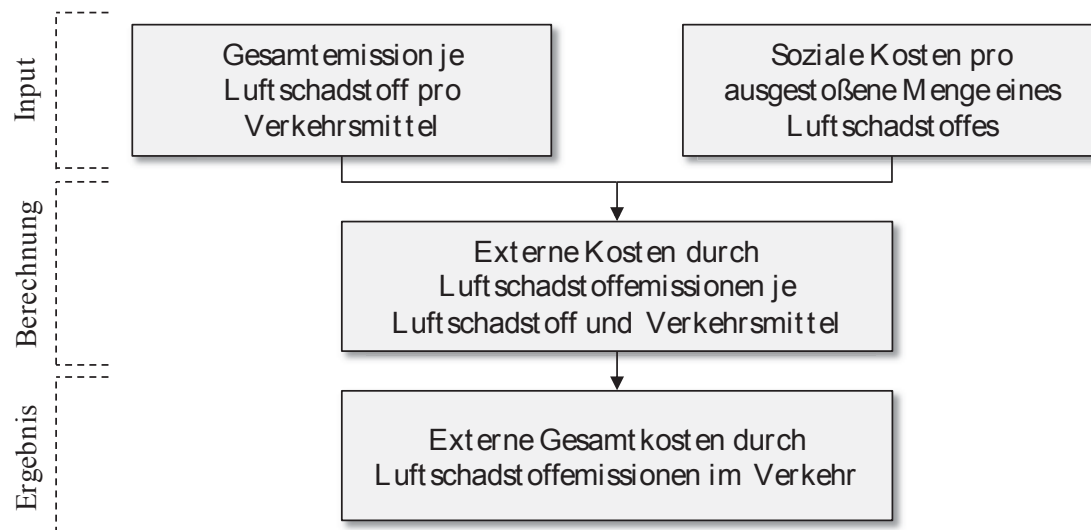


Abbildung 9: Methodik zur Berechnung der externen Kosten durch Luftschadstoffemissionen im Verkehr; Quelle: Eigene Darstellung

3.4.2 Eingangsdaten

Die im Freistaat Sachsen durch den Verkehr hervortretenden Schadstoffausstöße werden gemeindefein im sächsischen Emissionskataster durch das *LfULG* erfasst. Enthalten sind hierbei alle direkten Auspuff- bzw. Motoremissionen sowie der aufgrund von Aufwirbelungen und Abrieb zusätzlich anfallende Feinstaub, nicht aber das sich durch die Schadstoffreaktionen ergebende Ozon. Aus der unterstehenden Tabelle 14 gehen die gegenwärtig im Emissionskataster hinterlegten Luftverunreinigungen unterteilt nach Verkehrsmittel für Sachsen hervor.²³

Tabelle 14: Luftschadstoffemissionen des Verkehrs im Freistaat Sachsen nach Verkehrsmitteln (Datenstand: Straßenverkehr - 2010; Schienenverkehr - 2011; Luftverkehr - 2012); Quelle: [LfULG/Schreiber 2013]

Verkehrsmittel	PM _{2,5} Auspuff/ Motor [t]	PM _{2,5} Aufwirbelung/ Abrieb [t]	PM ₁₀ Aufwirbelung/ Abrieb [t]	VOC [t]	NO _x [t]	SO ₂ [t]
PKW	427,48	464,13	1.220,44	4.341,03	12.339,24	28,76
Mofa	0,00	0,00	8,20	562,29	13,60	0,06
Motorrad	0,00	0,00	17,12	566,71	69,05	0,27
Bus	29,50	9,43	105,68	67,40	1.766,97	1,03
LKW	51,69	65,01	327,10	109,20	2.805,36	2,33
LNfz	271,55	66,99	126,13	284,10	3.165,90	3,57
LSZ	97,56	112,76	475,26	160,72	7.004,95	7,92
Zug	60,16	106,00	239,67	201,30	2.702,32	52,72
Flugzeug	1,88	-	22,64	226,01	508,70	37,63
Summe	939,84	824,32	2.542,24	6.518,76	30.376,10	134,28

²³ Zusätzlich zu den Emissionen der Verkehrsmittel werden im Bereich des Straßenverkehrs ebenfalls Tankstellenemissionen erfasst.

3.4.3 Teilergebnisse

Die Berechnung externer Luftverschmutzungskosten verlief zunächst getrennt nach den einzelnen Verkehrsträgern auf Gemeindeebene, bevor sie wie in Tabelle 15 veranschaulicht, für Gesamtsachsen zusammengefasst wurden.

*Tabelle 15: Externe Kosten durch Luftschadstoffemissionen des Verkehrs im Freistaat Sachsen;
Quelle: Eigene Berechnung*

	Absolute Kosten [Mio. €]	Anteil der Verkehrsträger
Straßenverkehr	907,27	90,88%
Schienenverkehr	79,88	8,00%
Flugverkehr	11,19	1,12%
Insgesamt	998,34	100%

Die Kostenverteilung auf die einzelnen Verkehrsmittel zeigt Abbildung 10. Daraus geht hervor, dass der PKW mit 46% der größte Kostenverursacher bei den verkehrsbezogenen Luftschadstoffemittenten ist.

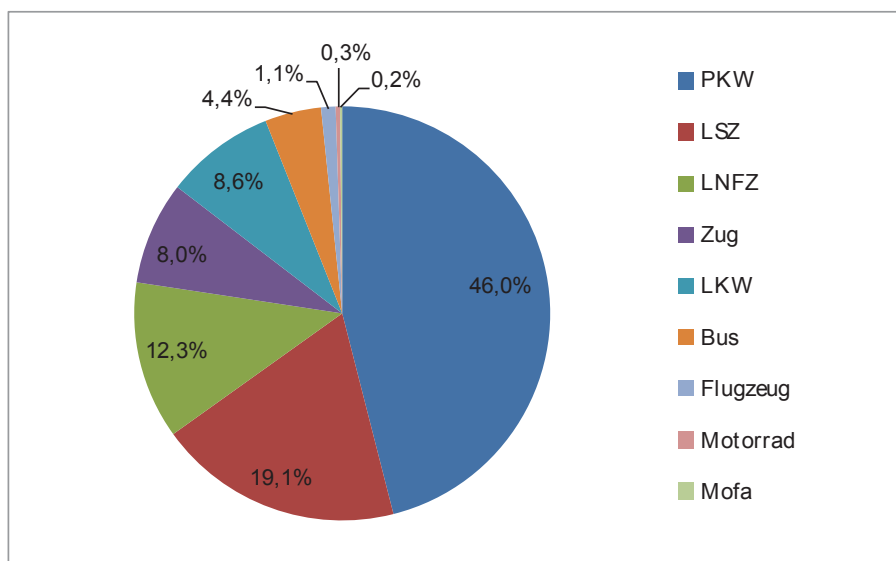


Abbildung 10: Anteil der verschiedenen Verkehrsmittel an den externen Kosten durch Luftschadstoffemissionen des Verkehrs im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung 11 wird der Anteil der einzelnen Schadstoffe an den Gesamtkosten ausgewiesen. Bestimmend sind hierbei insbesondere die NO_x- und Feinstaubemissionen.

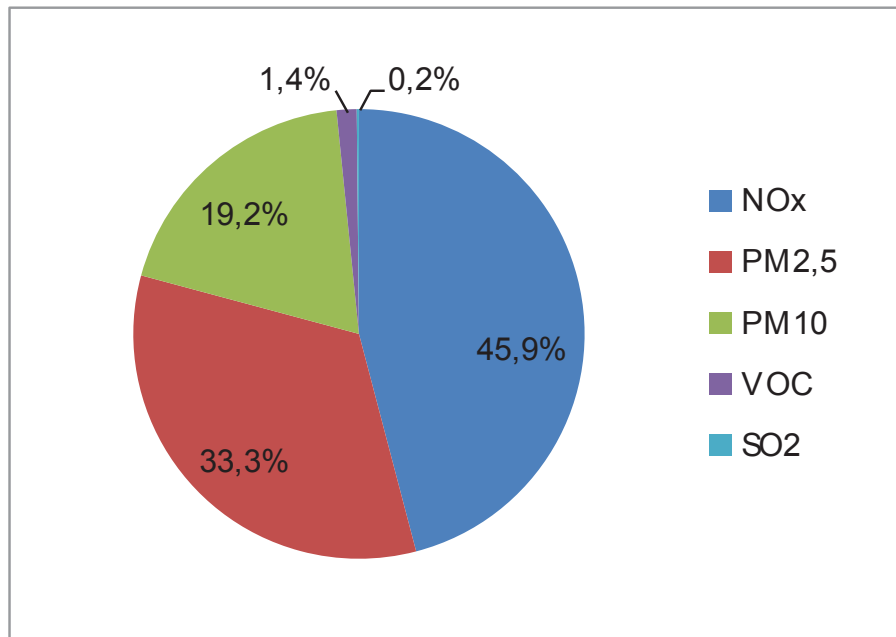


Abbildung 11: Anteil der verschiedenen Luftschadstoffe an den externen Kosten durch Luftschadstoffemissionen des Verkehrs im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung

3.5 Klimakosten

3.5.1 Berechnungsmethodik und Kostensätze

Im Jahr 2009 hatten allein 20% der gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland ihren Ursprung im Verkehr. Mit 26,5% lag dieser Wert im europaweiten Durchschnitt sogar noch höher. [Europäische Kommission 2012, S. 120f] Dementsprechend kann davon ausgegangen werden, dass dem Verkehrssektor hinsichtlich der globalen Erwärmung eine nicht zu vernachlässigende Treiberwirkung zukommt. Er trägt somit unter anderem zur Verstärkung extremer Wettereffekte, Biodiversitätsverluste, negativen landwirtschaftlichen und gesundheitlichen Auswirkungen sowie dem Anstieg des Meeresspiegels bei [CE Delft et al. 2011, S. 41].

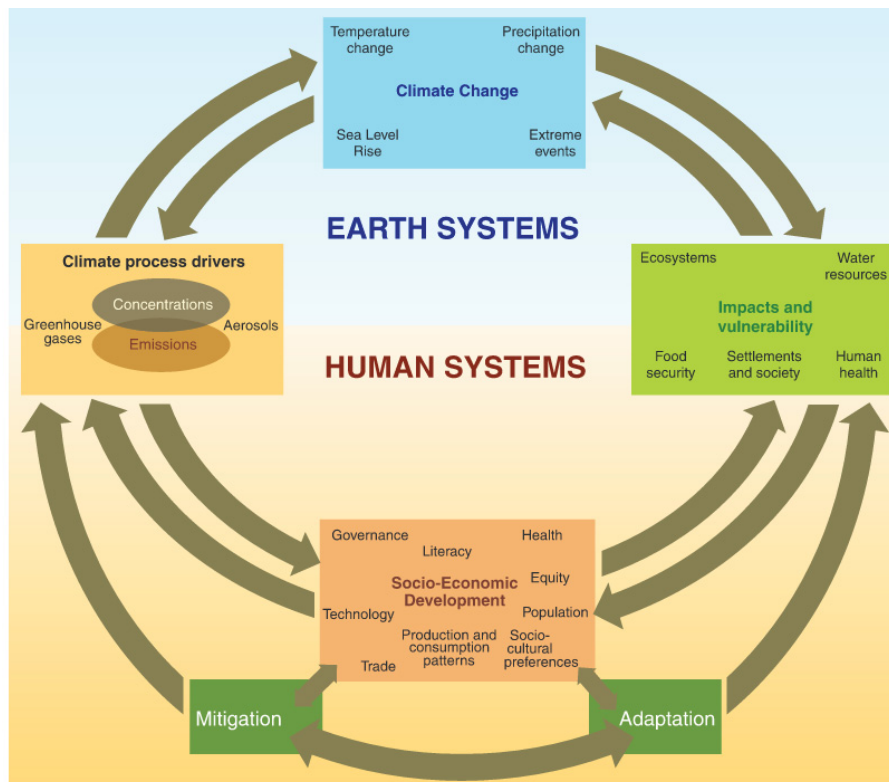


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Treiber, Auswirkungen und Reaktionen des anthropogenen Klimawandels; Quelle: [IPCC 2007, S. 26]

Die im Verkehrsbereich relevanten Treibhausgase sind Kohlenstoffdioxid (CO_2), Distickstoffoxid (N_2O) und Methan (CH_4) [CE Delft et al. 2011, S. 41]. In der Klimaforschung dient das Kohlenstoffdioxid als „Leitgas“ und wird deshalb als Bezugsgröße für den Wirkungsvergleich verschiedener Treibhausgase verwendet [Atmosfair 2008, S. 2]. Gemessen an CO_2 wird das Treibhausgaspotenzial von CH_4 und N_2O durch das *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) um das 25- bzw. 298-fache höher eingestuft [IPCC 2006].

Aufgrund der komplexen und langfristigen globalen Wirkungsmechanismen ist allerdings die genaue Festlegung einer Dosis-Wirkungsbeziehung für die einzelnen anthropogenen Schadstoffe auf Basis von Schadenskosten derzeit kaum möglich. Deshalb gründen Berechnungen von externen Klimakosten auch vorwiegend auf Schätzungen von Vermeidungskosten²⁴. Dies gilt ebenso für die vorliegende Arbeit, in der in Anlehnung an [Becker et al. 2012], die folgenden über Vermeidungskosten ermittelte Kostensätze²⁵ für Kohlendioxidemissionen zur Anwendung kamen. [Becker et al. 2012, S. 25ff]

²⁴ Einen aktuellen Überblick über verschiedene Studien in diesem Bereich gibt [Becker et al. 2012, S. 25ff].

²⁵ Die Kostensätze beruhen ursprünglich auf [Kuik et al. 2009]. [Becker et al. 2012, S. 32]

*Tabelle 16: Kostensätze für Kohlenstoffdioxidemissionen im Verkehr (für das Jahr 2011);
Quelle: Eigene Berechnung nach [Becker et al. 2012, S. 33]*

	Kostensatz [€/t]	
	N iedrig	H och
CO ₂ (Ä quivalent)	76	267

Die Anpassung der Werte erfolgte hier exemplarisch für das Jahr 2011 mittels der Entwicklung des BIP je Einwohner. Da angesichts der hohen Unsicherheiten bei der Klimakostenschätzung die Wahl eines einzigen Kostensatzes unzulänglich gewesen wäre, wurde eine Spannbreite durch die Angabe eines unteren und oberen Wertes festgelegt. Die Kostensätze beruhen zum einen auf dem Langzeitziel des Weißbuches Verkehr die verkehrsbedingten Emissionen bis 2050 um 80-95% zu senken und zum anderen auf dem übergeordneten Bestreben bis 2050 die globale Erwärmung auf 2°C (gegenüber dem vorindustriellen Zustand) zu begrenzen. [Becker et al. 2012, S. 31ff]

Der Berechnungsansatz für die Klimakosten ergibt sich analog zu dem der Luftverschmutzungskosten aus der Studie [CE Delft et al. 2011]. Auf die Ermittlung der erforderlichen Gesamtemissionen über spezifische Fahrleistungsangaben und Emissionsfaktoren konnte erneut verzichtet werden. Dagegen wurden die unterschiedlichen Klimagase gemäß ihres Treibhausgaspotentials zu einem CO₂-Äquivalent zusammengefasst und daraus wie in Abbildung 13 beschrieben die Gesamtklimakosten bestimmt.

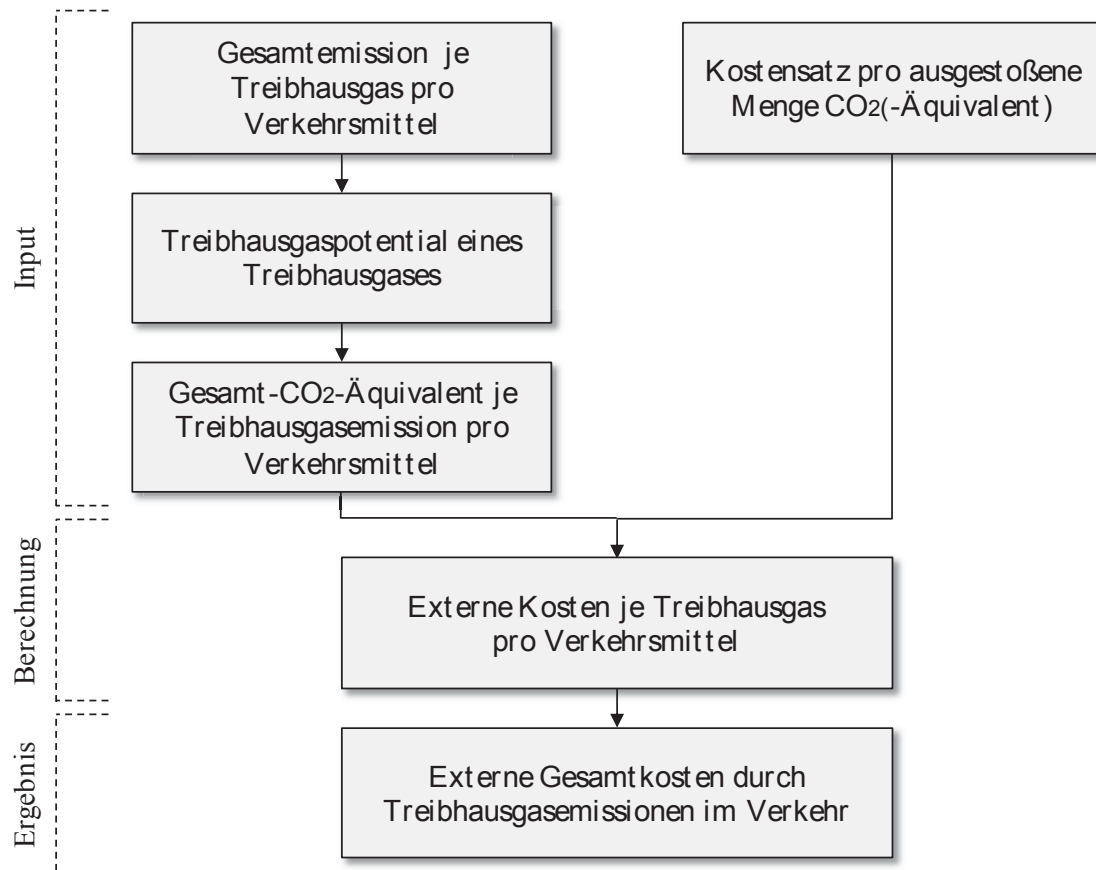


Abbildung 13: Methodik zur Berechnung der externen Kosten durch Treibhausgasemissionen im Verkehr; Quelle: Eigene Darstellung

3.5.2 Eingangsdaten

Aus dem eben dargelegten Berechnungsverfahren geht hervor, dass neben den Kostensätzen für die Berechnungen insbesondere die Klimagasemissionen der einzelnen Verkehrsmittel von Belangen sind, welche ebenso wie die luftverunreinigenden Schadstoffe im *Emissionskataster Sachsen* aufgegliedert nach Gemeinden vorliegen. Die Tabelle 17 weist diese für den Freistaat zusammengefasst aus.

Tabelle 17: Treibhausgasemissionen des Verkehrs im Freistaat Sachsen nach Verkehrsmitteln
(Datenstand: Straßenverkehr - 2010; Schienenverkehr - 2011; Luftverkehr - 2012);
Quelle: [LfULG/Schreiber 2013]

V erkehrsm ittel	CH ₄ [t]	N ₂ O [t]	CO ₂ [t]	CO ₂ -Ä quivalent [t]
PKW	245,57	120,57	5.350.346,16	5.391.329,94
M ofa	66,82	0,21	11.433,77	13.164,31
M otorrad	28,68	0,89	49.617,68	50.590,66
Bus	1,66	1,17	188.747,32	189.128,27
LKW	2,69	13,30	426.039,79	429.951,45
LN FZ	10,21	17,22	655.417,76	660.650,66
LSZ	3,95	75,25	1.450.266,77	1.472.114,03
Zug	4,95	0,28	143.170,56	143.375,23
Flugzeug	1,30	-	118.729,92	118.762,51
Sum me	365,83	228,90	8.393.769,72	8.469.067,05

Im Hinblick auf den Luftverkehr ist anzumerken, dass im Emissionskataster ausschließlich Treibhausgasemissionen des *LTO-Zyklus* an sächsischen Flughäfen und Flugplätzen, also für die Flugphasen Start und Landung bis 915 m Höhe, einschließlich der Rollbewegungen am Boden, betrachtet werden. Dementsprechend wurde von einer Einbeziehung des „Radiative Forcing Index“ (RFI)²⁶ in die Emissionsberechnungen abgesehen.

3.5.3 Teilergebnisse

Aus den zuvor beschriebenen Kostensätzen und Emissionsdaten gehen die in Tabelle 18 aufgelisteten absoluten Kosten durch Treibhausgasemissionen des sächsischen Verkehrs hervor.

Tabelle 18: Externe Kosten durch Treibhausgasemissionen des Verkehrs im Freistaat Sachsen;
Quelle: Eigene Berechnung

	Absolute Kosten [M io.€] - niedrige Schätzung	Absolute Kosten [M io.€] - hohe Schätzung	A nteil der V erkehrsträger
Straßenverkehr	626,17	2.191,59	96,95%
Schienenverkehr	10,46	36,60	1,62%
Flugverkehr	9,24	32,34	1,43%
Insgesam t	645,87	2.260,53	100%

Der anteilmäßige Hauptverursacher von Klimakosten ist nach Abbildung 14 der PKW gefolgt von diversen straßenbezogenen Nutzfahrzeugklassen. Der Zug und das Flugzeug sind dagegen zusammen für gerade einmal 3% der Gesamtkosten verantwortlich.

²⁶ Der RFI ist ein geschätzter Faktor, mit dem die erhöhte Klimawirksamkeit verschiedener Treibhausgase in großen Flughöhen (>9000 m) auf diejenige des Kohlendioxids umgerechnet werden kann [Atmosfair 2008, S. 3].

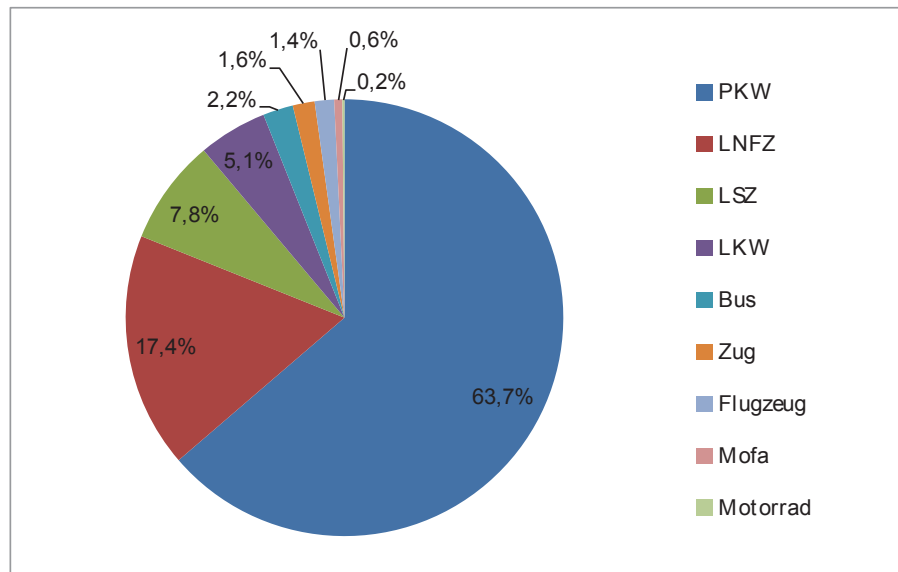


Abbildung 14: Anteil der verschiedenen Verkehrsmittel an den externen Kosten durch Treibhausgasemissionen des Verkehrs im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung

3.6 Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse

3.6.1 Berechnungsmethodik und Kostensätze

Der Transport von Personen und Gütern geht nicht allein mit direkten sondern auch mit indirekten negativen Auswirkungen einher, den sogenannten „Up- and Downstream-Effekten“. Hervorgerufen werden diese vor allem durch die nachstehenden Prozesse. [CE Delft et al. 2011, S. 64]

Energieproduktion und -verteilung

Die Kraftstoff- und Stromproduktion verursacht Schadstoffemissionen infolge der Rohstoffgewinnung, dem Transport von Brennstoffen und der Übertragung von Strom. Diese werden auch als „Well-to-Tank“-Emissionen bezeichnet und wirken sich vorrangig auf Luft und Klima aus. Zudem gehen mit der Energiegewinnung oftmals Risiken einher, wie beispielsweise das eines nuklearen Unfalls, bedingt durch die Nutzung von Kernenergie oder das einer Ölpest durch Tiefseebohrungen. [CE Delft et al. 2011, S. 64]

Fahrzeugproduktion, -wartung und -entsorgung

Die Herstellung, Wartung und Entsorgung eines Verkehrsmittels ist sehr energie- und materialintensiv, weshalb bei diesen Vorgängen ebenfalls eine große Menge an schädlichen Luft- und Treibhausgasemissionen hervortreten [CE Delft et al. 2011, S. 64].

Infrastrukturproduktion, -wartung und -entsorgung

Ähnlich wie bei den Fahrzeugen, steht auch die Herstellung, Wartung und Entsorgung von Verkehrsinfrastruktur im Zusammenhang mit den bereits genannten negativen Externalitäten [CE Delft et al. 2011, S. 64].

Obwohl die dargelegten externen Effekte und die damit verbundenen Kosten (insb. Luftverschmutzungs- und Klimakosten) bereits in vorangegangenen Kapiteln dieser Arbeit behandelt wurden, ist es sinnvoll, die der vor- und nachgelagerten Prozesse getrennt davon zu betrachten, um die Transparenz im Umgang mit den verkehrsbedingten Folgewirkungen zu erhöhen. Die fahrzeug- und infrastrukturbezogenen Wirkungen sowie die mit der Energieherstellung verbundenen Risiken konnten jedoch angesichts fehlender Eingangsdaten nicht in den Berechnungen mitberücksichtigt werden [CE Delft et al. 2011, S. 64ff]. Dementsprechend wurden ausschließlich die Luftverschmutzungs- und Klimakosten durch „Well-to-Tank“-Emissionen ermittelt. Die verschiedenen zugrunde liegenden Schadstoffe, Kostensätze²⁷ und Berechnungsmethoden sind denen der Kapitel 3.4 und 3.5 gleichgesetzt. Einzig der Kostenfaktor für Feinstaubpartikel musste angepasst werden, da sich der gewählte Wert in der Kalkulation der Luftschadstoffkosten aus Kapitel 3.4 speziell auf Verkehrsemissionen bezieht. Deshalb wurde an dieser Stelle ein allgemeinerer Durchschnittswert aus den durch das Umweltbundesamt angegebenen Kostensätzen für Kraftwerke, Industrie- und Befeuerungsanlagen gebildet, der sich schlussendlich auf 31.160 €/t-PM beläuft [UBA 2007, S. 61].

3.6.2 Eingangsdaten

Die notwendigen verkehrsmittelbezogenen „Well-to-Tank“-Emissionen, die mit den Kostensätzen verrechnet werden, stammen für Deutschland (Basisjahr 2010) aus der *TREMOVE-Datenbank* [TREMOVE 2010]. Um die einzelnen sächsischen Anteile an den vor- und nachgelagerten Schadstoffausstößen zu ermitteln, wurde unterstellt, dass diese mit den Anteilswerten Sachsens an den direkten bundesweiten Verkehrsmittlemissionen²⁸ gleichgesetzt werden können. Daraus resultieren letztendlich die in Tabelle 19 aufgeführten Emissionsmengen.

²⁷ Die Kostensätze wurden über die Entwicklung des BIP je Einwohner in Deutschland an den Stand des Jahres 2010 angeglichen.

²⁸ Falls dieser Anteilswert nicht verfügbar war, wurde ersatzweise das Verhältnis aus Fahrleistung für die Abschätzung herangezogen.

Tabelle 19: Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen bei vor- und nachgelagerten Prozessen des Verkehrs im Freistaat Sachsen nach Verkehrsmittel (für das Jahr 2010); Quelle: Eigene Berechnung nach [REMOVE 2010]

	Treibhausgase [t]				Luftschadstoffe [t]			
	CO ₂ -Äquivalent	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	PM	VOC	NO _x	SO ₂
Bus	26.922	24.967	25	4	22	106	161	216
PKW	859.566	814.609	264	129	1.256	3.182	6.896	8.545
LKW	58.241	55.292	14	9	45	172	412	502
LSZ	223.429	191.039	40	105	127	592	830	1.717
Mofa	1.748	1.651	2	0	1	2	5	19
Motorrad	6.894	6.601	2	1	5	26	22	76
Zug	456.056	422.413	1.337	1	47	147	1.253	219
Flugzeug	183.555	175.680	315	0	54	213	753	754
Summe	1.816.412	1.692.253	1.998	249	1.556	4.441	10.333	12.049

3.6.3 Teilergebnisse

Die externen Kosten²⁹ durch die vor- und nachgelagerten Prozesse des Verkehrs in Sachsen sind in der Tabelle 20 dokumentiert.

Tabelle 20: Externe Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse des Verkehrs im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Berechnung

	Absolute Kosten [Mio.€] – niedrige Schätzung	Anteil der Verkehrsträger – niedrige Schätzung	Absolute Kosten [Mio.€] – hohe Schätzung	Anteil der Verkehrsträger – hohe Schätzung
Straßenverkehr	384,40	81,24%	598,99	74,46%
Schieneverkehr	54,13	11,44%	137,30	17,07%
Flugverkehr	34,65	7,32%	68,12	8,47%
Insgesamt	473,18	100%	804,41	100%

In den beiden Abbildungen 15 und 16 zeigt sich, dass der PKW je nach angewandtem Kostensatz allein über die Hälfte der Gesamtkosten durch Up- und Downstream-Effekte hervorruft. Bei einer Anhebung des Kostensatzes für Treibhausgase steigt der Anteil des Zuges um beachtliche 6%, was auf den hohen prozessbedingten Ausstoß an CO₂ und CH₄ sowie die gegenüber den anderen Verkehrsmitteln (insb. PKW) verhältnismäßig geringen Luftschadstoffemissionen zurückzuführen ist.

²⁹ Die niedrige bzw. hohe Kostenschätzung bezieht sich auf die unterschiedlichen Kostensätze des Kapitels 3.5.1, die für eine ausgestoßene Menge an CO₂-Äquivalent) angesetzt wurden.

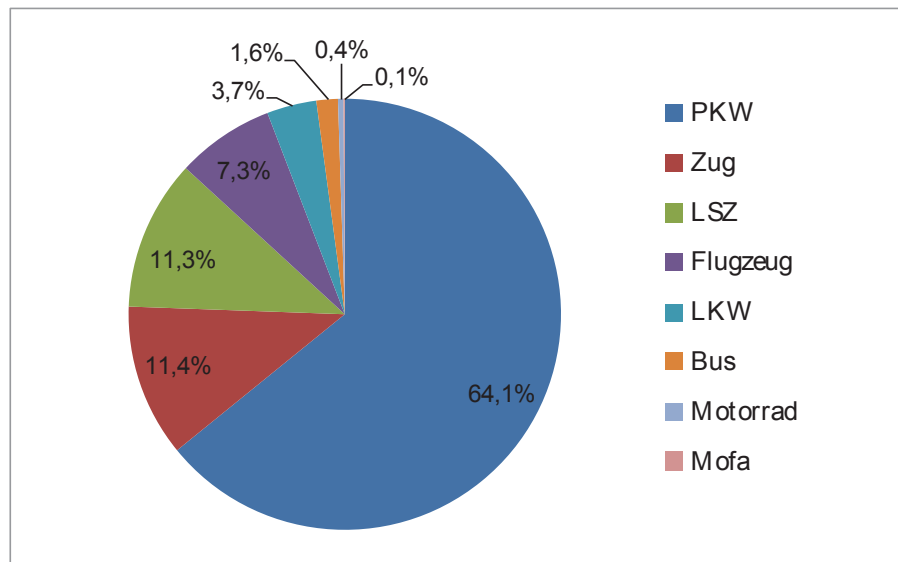


Abbildung 15: Anteil der verschiedenen Verkehrsmittel an den externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse des Verkehrs (niedrige Schätzung) im Freistaat Sachsen;
Quelle: Eigene Darstellung

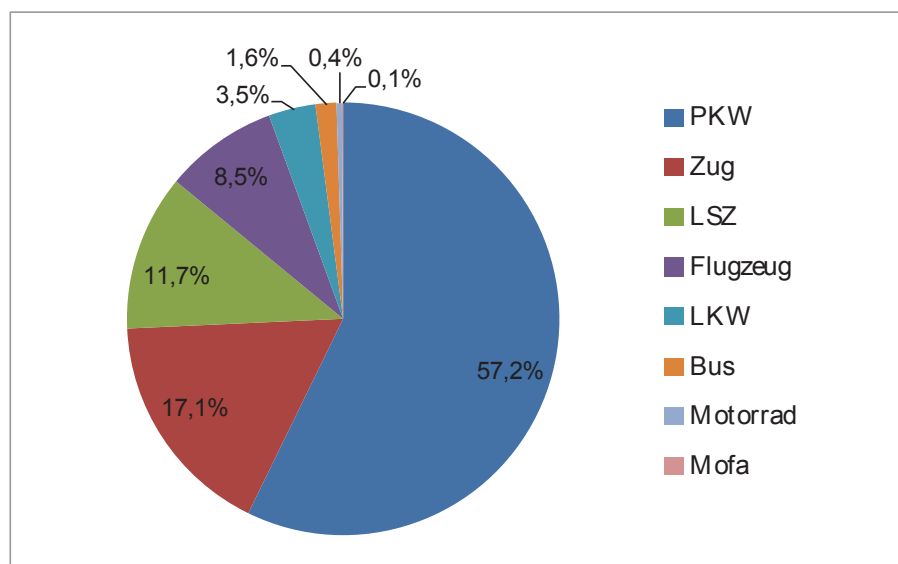


Abbildung 16: Anteil der verschiedenen Verkehrsmittel an den externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse des Verkehrs (hohe Schätzung) im Freistaat Sachsen;
Quelle: Eigene Darstellung

Die anteilmäßig größten Kostenverursacher sind, wie aus den Abbildungen 17 und 18 hervorgeht, das Treibhausgas CO₂ sowie die Luftschadstoffe SO₂ und NO_x. Naturgemäß verändern sich diese Anteilswerte infolge einer höheren kostenorientierten Wichtung der Klimagase. Die genannten Schadstoffe bleiben allerdings bestimmend. Interessant ist dagegen, dass im Vergleich zu den direkten Luftschadstoffemissionen aus Kapitel 3.4.3 bei den vor- und nachgelagerten Prozessen verstärkt die SO₂- und weniger die CO₂- sowie NO_x-Emissionen negativ in Erscheinung treten.

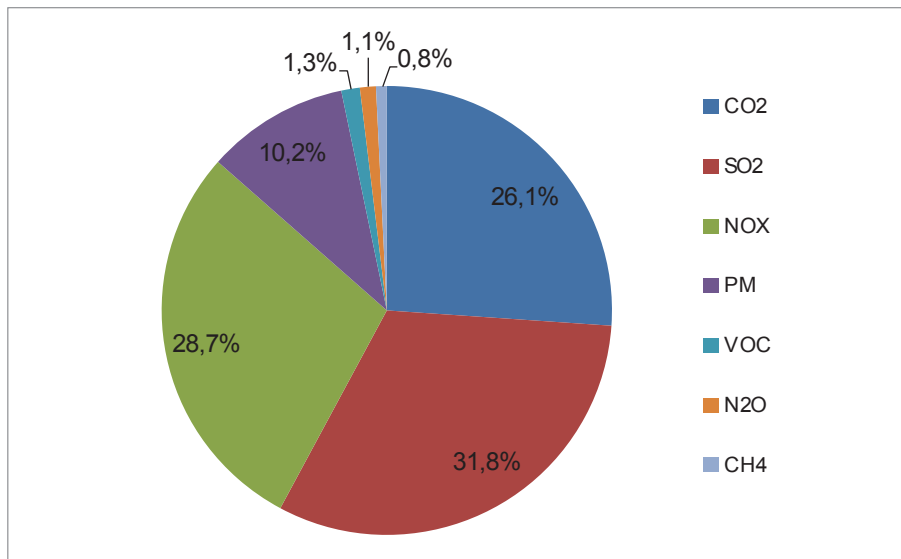


Abbildung 17: Anteil der verschiedenen Treibhausgase und Luftschadstoffe an den externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse des Verkehrs (niedrige Schätzung) im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung

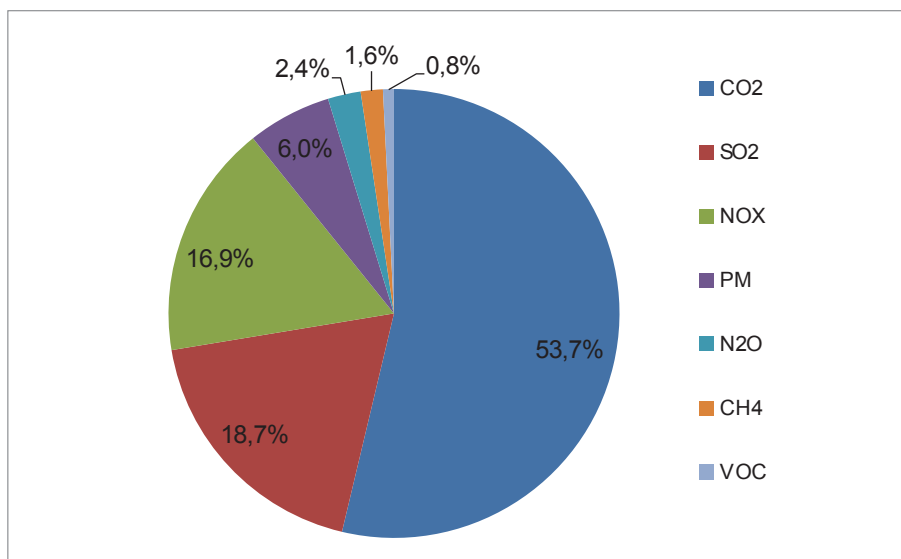


Abbildung 18: Anteil der verschiedenen Treibhausgase und Luftschadstoffe an den externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse des Verkehrs (hohe Schätzung) im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung

3.7 Kosten für Natur und Landschaft

3.7.1 Berechnungsmethodik und Kostensätze

Im Hinblick auf Natur und Landschaft ist der Verkehrssektor Ausgangspunkt für eine Reihe von negativen Auswirkungen. Die durch die Infrastruktur versiegelten Flächen führen allgemein hin zum *Verlust und Zerschneidung natürlicher Ökosysteme*, was wiederum eine *Verminderung der Artenvielfalt* nach sich zieht. Weiterhin kann es bedingt durch die Emission von Schwermetallen und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) zur *Verunreinigung von Boden und Wasser* kommen. [CE Delft et al. 2011, S. 66,69] Da es derzeit keine vorherrschende Methode zur Monetarisierung dieser Schäden gibt, wurden die ökologischen Verluste für Natur- und Landschaft kongruent zur Studie [CE Delft et al. 2011] über Reparaturkosten abgeschätzt. Hierbei galt es vorab einen umweltverträglichen Belastungszustand zu definieren, um danach zu bestimmen inwieweit dieser durch das heutige Verkehrssystem überschritten wird und wie hoch die Aufwendungen für die Anpassung an das gewählte Zielniveau wären. Als Ausgangspunkt und dementsprechend lohnenswert wird diesbezüglich der infrastrukturelle Zustand des Jahres 1950 angesehen. Die Bewertungsfaktoren, welche im Zusammenhang mit einer möglichen Renaturierung stehen und für die Abschätzung der natur- und landschaftsbezogenen Kosten infrage kommen, werden nachfolgend ausgewiesen. [CE Delft et al. 2011, S. 66f, 69f]

Entsiegelungskosten

Um die entstandenen Schäden durch die versiegelte Verkehrsinfrastruktur zu kompensieren und zu reparieren, müssen die betroffenen Flächen³⁰ entsiegelt werden. Die Entsiegelung von Verkehrsflächen wird in Deutschland mit 28,82 €/m² veranschlagt. [CE Delft et al. 2011, S. 66f]

Wiederherstellungskosten von Zielbiotopen

Nach der Entsiegelung muss das Ökosystem in seiner natürlichen Form wiederhergestellt werden. Im europäischen Durchschnitt belaufen sich die Wiederherstellungskosten auf etwa 1,61 €/m². Diese wurden sowohl für die Verkehrswege als auch für die daran entlang laufenden zusätzlich belasteten Flächen³¹ verwendet. [CE Delft et al. 2011, S. 67]

³⁰ Für die Straßeninfrastruktur wird ein Versiegelungsgrad von 100% angesetzt. Im Schienen- und Luftverkehr wird dagegen von einer um 50% verminderten Versiegelungsrate ausgegangen. [Becker et al. 2002, S. 63]

³¹ Die zusätzlich belasteten Flächen entlang einer Verkehrsinfrastruktur wurden wie folgt veranschlagt: Autobahn 15m, Bundesstraße: 8m, Staats- und sonstige Straßen 5m, Schienentrasse: 5m, Flughafen 37,5m [CE Delft et al. 2011, S. 67].

Dekontaminierung von Boden und Wasser

Der Anteil der Infrastrukturnutzung an der Verschmutzung von Boden und Wasser ist aufgrund komplexer Wirkmechanismen nur sehr schwer zu ermitteln, weshalb auch eine Monetarisierung der Dekontaminierung nicht leicht fällt. Für die Schweiz wird die Anwendung eines Kostenwertes von 60 €/m³ empfohlen. Dieser Wert wurde für Deutschland über das Verhältnis der länderspezifischen pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukte angepasst. Daraus resultierte ein bundesweiter Kostensatz von 54,48 €/m³. Der zu dekontaminierende Bereich, für den dieser Kostensatz angewandt wird, erstreckt sich auf die eigentliche Verkehrsfläche sowie einen darum liegenden 5 m breiten Korridor. Die Tiefe der Verunreinigung wird auf 20 cm geschätzt. [CE Delft et al. 2011, S. 69f]

Andere Effekte

Neben den bereits genannten gibt es noch weitere Wirkungen des Verkehrs auf die Natur und Landschaft, wie beispielsweise Barriereeffekte für Tiere oder auch visuelle Effekte, deren Einflüsse nicht zu vernachlässigen sind. Für alle nichtberücksichtigten Effekte wurde deshalb für die Verkehrsflächen ein pauschaler Wert von 12,81 €/m² angesetzt. [Becker et al. 2002, S. 61]

Die einzelnen angeführten Kostensätze wurden, mit Ausnahme der Aufwendung für „andere Effekte“ die von [Becker et al. 2002] stammt, aus [CE Delft et al. 2011] entnommen. Über die Entwicklung des BIP je Einwohner in Deutschland erfolgte eine entsprechende Aufdatierung auf das Jahr 2011. Um für dieses Bezugsjahr die jährlichen Kosten ermitteln zu können, mussten die Kostensätze noch durch die Anzahl der Jahre seit 1950 (=61) geteilt werden. Darauf basierend konnten die Gesamtkosten mit folgender Methodik berechnet werden.

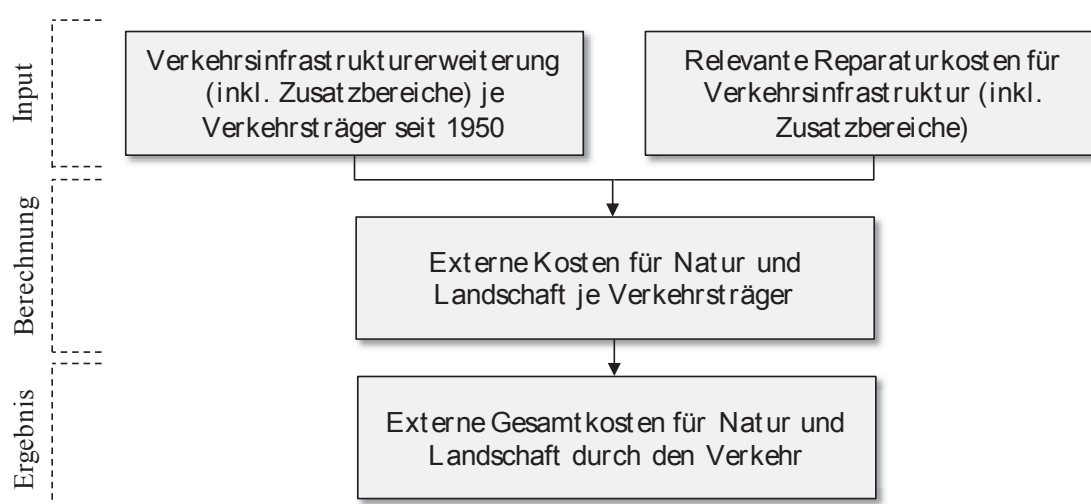


Abbildung 19: Methodik zur Berechnung der externen Kosten für Natur und Landschaft im Verkehr;
Quelle: Eigene Darstellung

3.7.2 Eingangsdaten

Die gemeindefeinen Schienen- und Straßenverkehrsflächen in Sachsen des Jahres 2011 wurden der *GENESIS-Datenbank* entnommen. Bei den Luftverkehrsflächen konnte auf Angaben der Großflughäfen zurückgegriffen werden. Die Berechnung der zusätzlich belasteten Flächen und kontaminierten Böden gründete auf Auskünften des *Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft Arbeit und Verkehr (SMWA)* zu den verkehrsträgerbezogenen Netzlängen. Insgesamt ergaben sich daraus die in Tabelle 21 zusammengefassten Werte.

Tabelle 21: Durch Verkehr belastete Flächen, Böden und Wasser im Freistaat Sachsen (für das Jahr 2011); Quelle: Eigene Berechnung nach [Destatis 2014a; Dresden International Airport 2014; Seiter 2013]

	Verkehrsfläche [m ²]	Zusätzlich belastete Fläche entlang einer Verkehrsinfrastruktur [m ²]	Durch Verkehr belasteter Boden und Wasser [m ³]
Straße	625.290.000	161.810.000	15.224.800
Schiene	161.810.000	26.000.000	3.055.200
Luft	2.719.000	812.247	444.300

Nach der Festlegung der derzeitigen verkehrsinfrastrukturellen Flächeninanspruchnahme bestand die weitere Aufgabe darin, deren Zunahme seit 1950 zu bestimmen. Aufgrund der Tatsachen, dass so weit zurückliegende Daten kaum verfügbar sind und der Freistaat in seiner jetzigen Form und Größe nicht über den gesamten Zeitraum hinweg existierte, musste in Anlehnung an *[CE Delft et al. 2011]* mit folgenden Annahmen gearbeitet werden - seit 1950 wurden:

- 32% der heutigen Straßen³²,
- 10% der derzeitigen Schienentrassen und
- 30% der gegenwärtigen Flugflächen erbaut *[CE Delft et al. 2011, S. 67]*.

3.7.3 Teilergebnisse

Tabelle 22 weist die Ergebnisse der Kostenberechnung für Natur und Landschaft in Sachsen aus. Daraus ergibt sich, dass der Straßenverkehr mit 94,35% den Großteil der negativen externen Einflüsse hervorruft.

³² Die Verkehrsflächen(-zunahme) des sächsischen Straßennetzes zwischen 1996 und 2011 liegen in der GENESIS-Datenbank vor. Das anteilmäßige Wachstum zwischen 1950 und 1995 wurde versucht über zwei unterschiedliche Verfahren abzuschätzen. Zum einen wurde innerhalb dieses Zeitraums für Gesamtdeutschland der Längenzuwachs des Straßennetzes und zum anderen der Anstieg der normierten Straßenflächen bestimmt (siehe dazu beiliegenden Datenträger). Beide Varianten ergaben insgesamt ähnliche Zuwachsraten von 34% bzw. 32%, welche ebenfalls der Schätzung von *[CE Delft et al. 2011]* mit 30% sehr nahe kommen *[CE Delft et al. 2011, S. 67]*.

Tabelle 22: Externe Kosten für Natur und Landschaft durch den Verkehr im Freistaat Sachsen;
Quelle: Eigene Berechnung

	Absolute Kosten [Mio. €]	Anteil der Verkehrsträger
Straßenverkehr	147,55	94,35%
Schienenverkehr	6,33	4,05%
Flugverkehr	2,51	1,60%
Insgesamt	156,38	100%

Im Hinblick auf die Kostenkomponenten entfällt der Hauptteil der Gesamtkosten auf die Entsiegelung von Verkehrsflächen (siehe Abbildung 20). Einen weiteren beträchtlichen Anteil wird den „anderen Effekten“ zugesprochen.

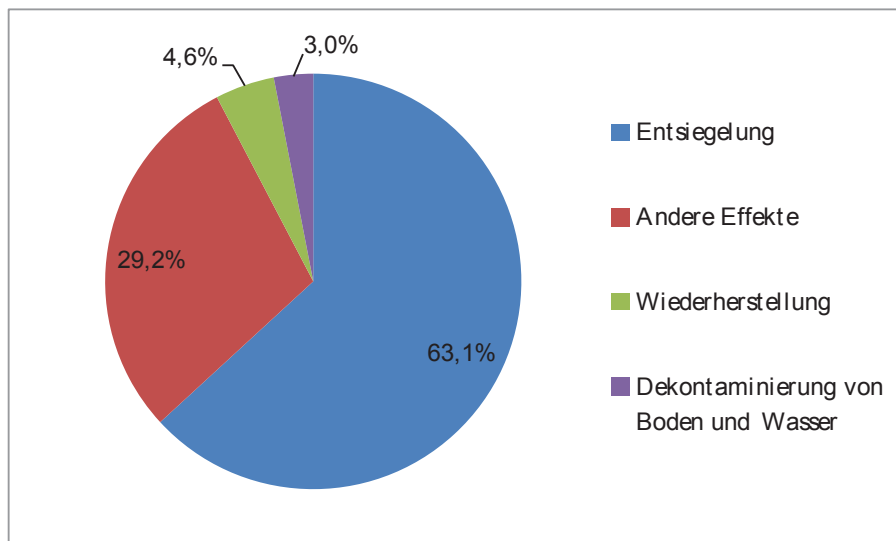


Abbildung 20: Anteil der verschiedenen Kostenkomponenten an den externen Kosten für Natur und Landschaft durch den Verkehr im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung

4 Auswertung der Berechnungsergebnisse

Dieses Kapitel dient der Zusammenführung, Analyse und Illustration der verschiedenen externen Kostenkomponenten im sächsischen Verkehr. Hierzu werden zunächst die vorab berechneten Teilergebnisse zu den Gesamtkosten³³ für Sachsen aufsummiert und veranschaulicht, um daran anknüpfend die Durchschnittskosten für die Nutzung eines Verkehrsmittels vorzustellen. Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse für einen Vergleich mit den Ergebnissen der Altstudie „*Ermittlung der Kosten und Nutzen von Verkehr in Sachsen*“ [Becker et al. 2002] herangezogen.

4.1 Gesamtkosten

Für den Freistaat Sachsen ergeben sich aus den vorangegangenen Berechnungen verkehrsbedingte externe Kosten in einer Gesamthöhe von *7.2 Mrd. € pro Jahr* (siehe Tabelle 23). Auf dessen Einwohner³⁴ verteilt, sind dies 1.773 €, die jährlich pro Person externalisiert werden. Die Tragweite der Externalitäten ist demnach beträchtlich. Sie beläuft sich auf insgesamt 7,4% des sächsischen Bruttoinlandsproduktes³⁵.

Tabelle 23: Externe Kosten des Verkehrs im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Berechnung

M io.€]	Straßenverkehr	Schienenverkehr	Flugverkehr	Insgesam t
Unfälle	2.854,02	11,50	0,30	2.865,82
Lärm	104,82	8,26	2,79	115,87
Luftverschmutzung	907,27	79,88	11,19	998,34
Klima (hoch)	2.191,59	36,60	32,34	2.260,53
Klima (niedrig)	626,17	10,46	9,24	645,87
Vor- und nachgelagerte Prozesse (hoch)	598,99	137,30	68,12	804,41
Vor- und nachgelagerte Prozesse (niedrig)	384,40	54,13	34,65	473,18
Natur und Landschaft	147,55	6,33	2,51	156,38
Insgesam t	6.804,23	279,87	117,25	7.201,35

Im Hinblick auf die einzelnen Verkehrsträger zeigt sich aus Abbildung 21, dass der Straßenverkehr mit etwa 94% den anteilmäßig größten Kostenverursacher darstellt. Dem Schienenverkehr kommen dagegen lediglich 4% und dem Luftverkehr 2% der Gesamtkosten zu.

³³ Bezüglich der Auswertungen wurde, wenn nicht anders ausgewiesen, jeweils das hohe Kostenszenario des Klimas sowie der vor- und nachgelagerten Prozesse zugrunde gelegt.

³⁴ Laut den Ergebnissen des Zensus 2011 leben in Sachsen 4,05 Mio. Menschen [Statistisches Landesamt Sachsen 2014].

³⁵ BIP Sachsen 2012: 97,23 Mrd. € [Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2014].

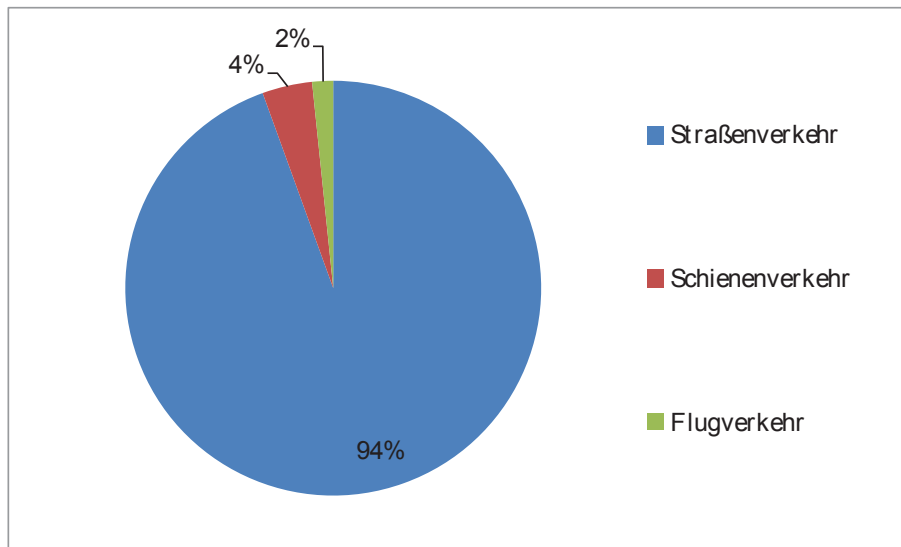


Abbildung 21: Anteil der verschiedenen Verkehrsträger an den externen Kosten des Verkehrs im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Gegenüberstellung der Kostenkategorien sind die Kosten für Unfälle und Klimawandel maßgebend (siehe Abbildung 22). Zusammen machen sie 71% des Gesamtbetrages aus. Dies resultiert vor allem aus der Einbeziehung des „Risk Values“ in die Bewertung der Unfallkosten und des hohen Kostensatzes für CO₂-Emissionen, der hier für den Vergleich herangezogen wurde. Mit knapp 14% bzw. 11% folgen darauf die Kosten der Luftverschmutzung sowie der vor- und nachgelagerten Prozesse. Der Anteil der weiteren externen Effekte fällt dagegen mit jeweils 2% sehr gering aus.

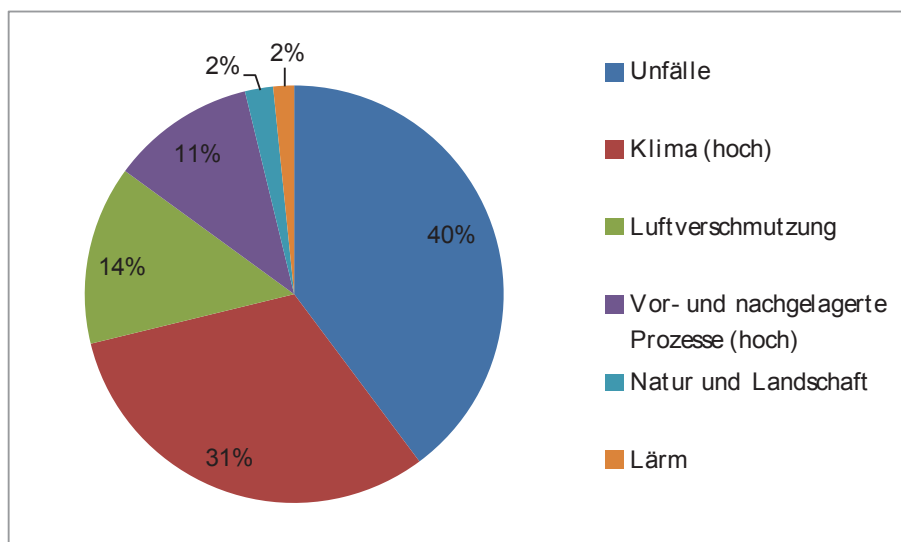


Abbildung 22: Anteil der verschiedenen Kostenkategorien an den externen Kosten des Verkehrs im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung

Die Abbildungen 23 und 24 verdeutlichen die Verteilung der absoluten Kosten auf die motorisierten Verkehrsmittel. Auch hier tritt ganzheitlich gesehen die Dominanz des

Straßenverkehrs in Form des PKW in den Vordergrund. Bei näherer Betrachtung der Kostenverteilung sind jedoch besonders die Krafträder auffällig, deren externe Gesamtkosten sich fast ausschließlich aus dem Segment der Unfälle ergeben. Im Zugverkehr werden dagegen die Kosten mehrheitlich durch die vor- und nachgelagerten Prozesse bestimmt, was sich auf die Energiebereitstellung für die Elektrotraktion zurückführen lässt. Die verhältnismäßig geringen direkten Klimakosten bei Flugzeugen lassen sich teils dadurch erklären, dass, wie in Kapitel 3.5.2 bereits erwähnt, durch das Emissionskataster Sachsen ausschließlich Emissionen des LTO-Zyklus ermittelt und somit sämtliche Schadstoffausstöße in größeren Flughöhen nicht mitberücksichtigt werden.

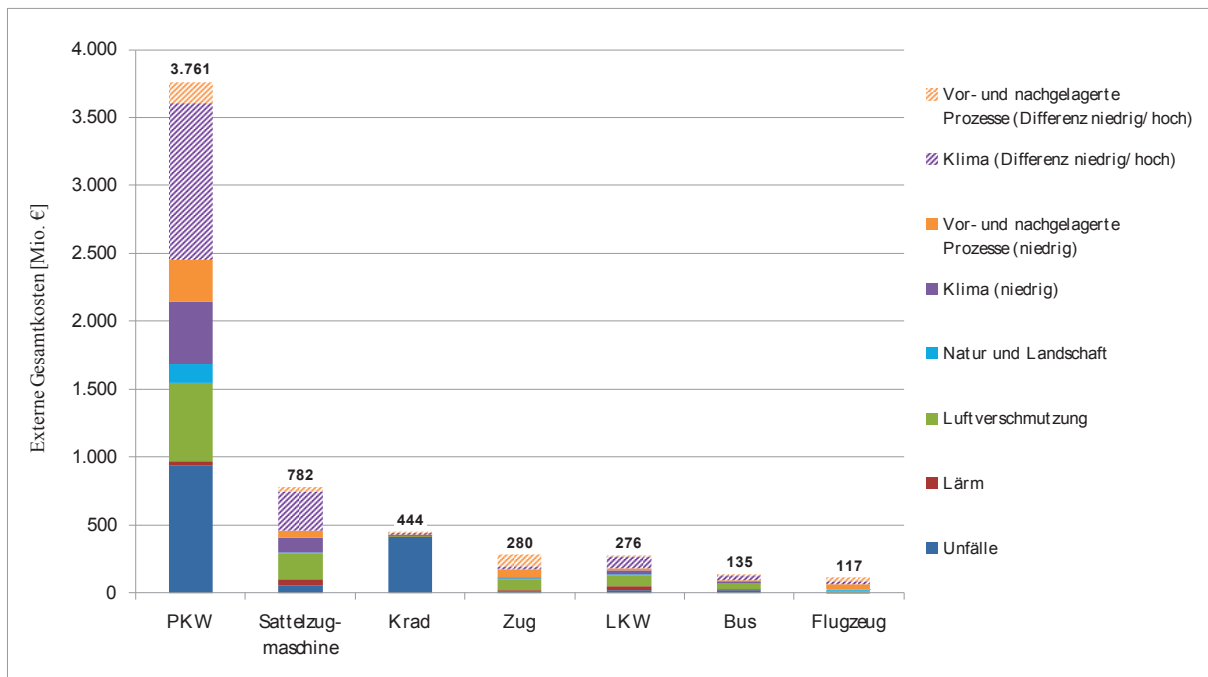


Abbildung 23: Verteilung der absoluten externen Kosten auf die motorisierten Verkehrsmittel nach Kostenkategorien im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung

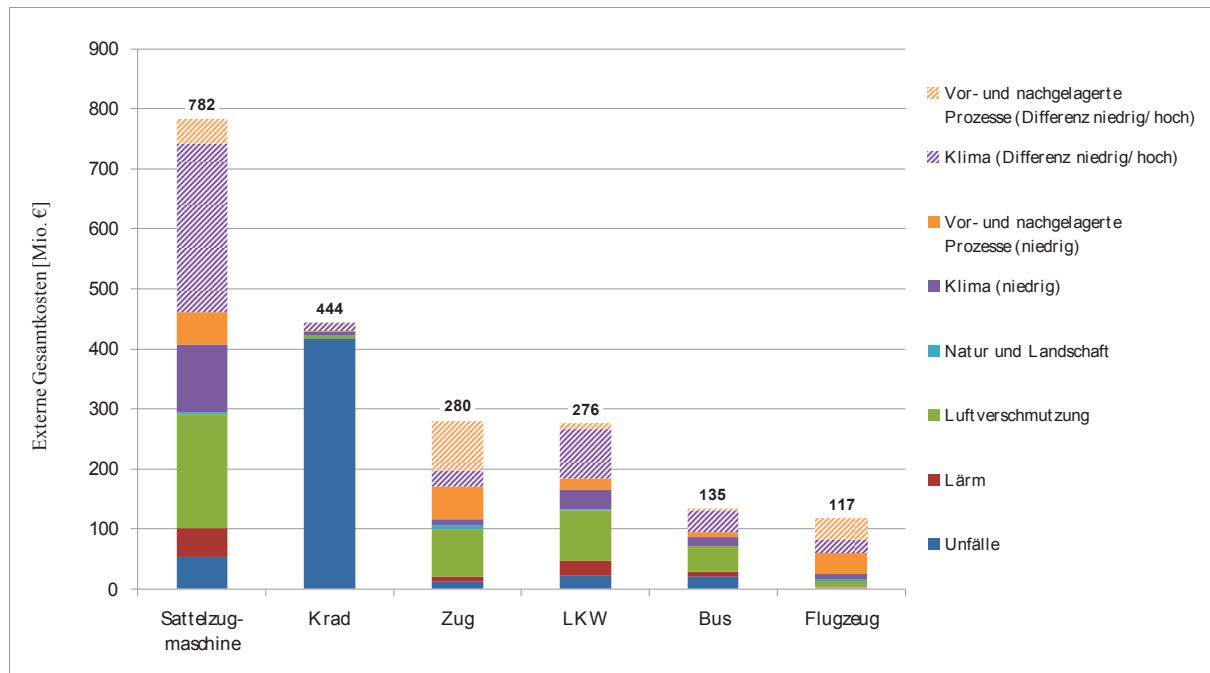


Abbildung 24: Absolute externe Kosten motorisierter Verkehrsmittel unterteilt nach Kostenkategorien im Freistaat Sachsen (ohne PKW); Quelle: Eigene Darstellung

4.2 Durchschnittskosten

Neben der Auswertung der absoluten Kosten ist ebenfalls die Betrachtung der Durchschnittskosten von Relevanz, welche einen intermodalen Vergleich ermöglichen. Als Bezugsgrößen wurden hierbei jeweils die in Tabelle 24 dargestellten Beförderungsleistungen der einzelnen Verkehrsmittel zugrunde gelegt.

Tabelle 24: Beförderungsleistungen verschiedener Verkehrsmittel des Freistaates Sachsen; Quelle: Eigene Berechnung nach [DIW 2011; Destatis 2013; Destatis 2012]

	Beförderungsleistung	
	Personenverkehr [P km]	Güterverkehr [tkm]
K rad	373.650.000	–
PKW	44.146.380.000	–
Bus	4.516.960.000	–
LKW	–	4.231.829.158
Sattelzugmaschine	–	10.258.081.912
SPFV	2.050.071.201	–
SPNV	2.857.000.000	–
SGV	–	4.384.470.930
Passagierflugzeug	717.000.000	–
Frachtflugzeug	–	19.618.000

Zusammen mit den Gesamtkosten ergeben sich hieraus die in der Tabelle 25 ausgewiesenen Beträge. Der Flugverkehr wird an dieser Stelle nur der Vollständigkeit halber mitgeführt, kann jedoch nicht direkt mit den anderen Verkehrsmitteln verglichen werden, da sich deren Beförderungsleistung sowohl aus nationalen als auch internationalen Flügen zusammensetzt, was insgesamt zu einer Verzerrung und Unterbewertung führt.

Tabelle 25: Externe Durchschnittskosten verschiedener Verkehrsmittel im Freistaat Sachsen;
Quelle: Eigene Berechnung

[€/ 1.000 Pkm bzw. tkm]	Krad	PKW	Sattelzugmaschine	LKW	Bus	SPFV	SPNV	SGV	Passagierflugzeug	Frachtflugzeug
Unfälle	1.113,08	21,35	5,19	5,19	4,30	0,66	3,08	0,30	0,04	0,05
Lärm	0,82	0,55	4,67	5,71	1,82	0,42	1,97	0,40	0,40	0,44
Luftverschmutzung	13,38	13,13	18,46	20,08	9,62	10,07	13,74	4,51	1,11	2,76
Klima (hoch)	45,56	36,61	38,33	27,13	11,18	4,28	6,70	1,96	3,20	8,03
Klima (niedrig)	13,02	10,46	10,95	7,75	3,19	1,22	1,91	0,56	0,91	2,29
Vor- und nachgelagerte Prozesse (hoch)	10,59	10,42	9,18	6,66	2,77	16,34	24,78	7,44	6,74	16,90
Vor- und nachgelagerte Prozesse (niedrig)	6,38	6,87	5,20	4,15	1,68	6,63	9,54	2,99	3,43	8,59
Natur und Landschaft	4,70	3,13	0,43	0,43	0,17	0,36	1,70	0,16	0,36	0,39
Insgesamt t	1.188,14	85,19	76,25	65,20	29,86	32,13	51,97	14,76	11,86	28,58

Mit deutlichem Abstand zu den anderen Verkehrsmitteln sind die Durchschnittskosten der Zweiräder am höchsten. Dies liegt in erster Linie an den hohen Unfallkosten, welche durch die Krafträder verursacht werden. Darauf folgen die der PKW, Sattelzugmaschinen und LKW, wie in Abbildung 25 veranschaulicht. Der Bus reiht sich noch knapp hinter dem Schienenpersonennah- und Schienenpersonenfernverkehr ein. Insgesamt am besten schneidet allerdings der Schienengüterverkehr ab.

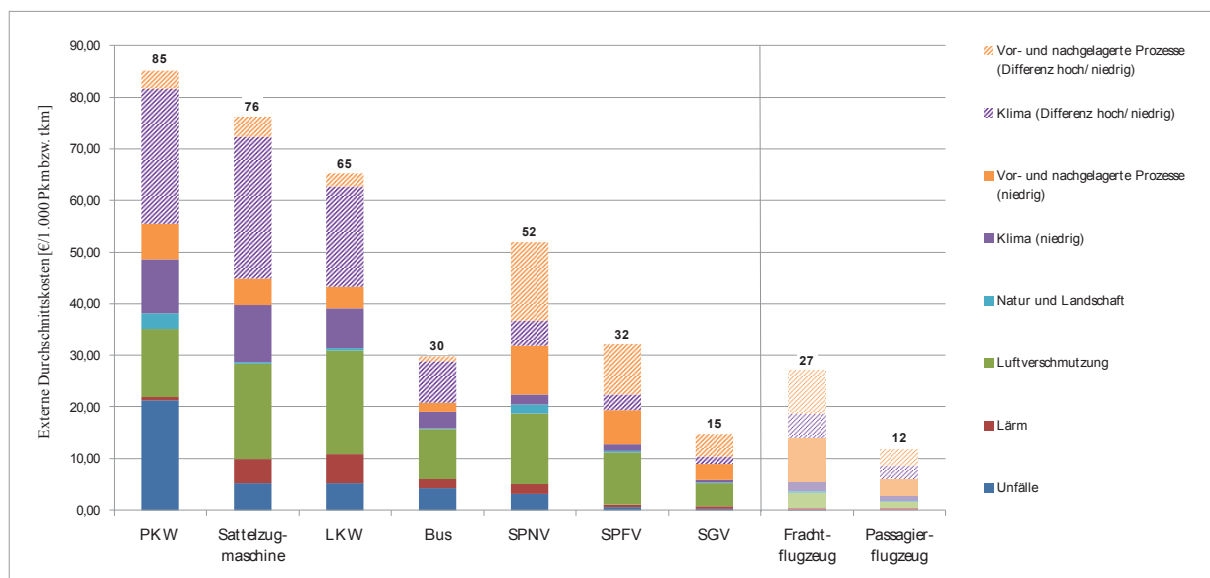


Abbildung 25: Externe Durchschnittskosten motorisierter Verkehrsmittel unterteilt nach Kostenkategorien im Freistaat Sachsen (ohne Krad); Quelle: Eigene Darstellung

Hinsichtlich der Verkehrsmittel im Personenverkehr wird aus Abbildung 26 deutlich, dass die Kosten hauptsächlich auf Klimaemissionen³⁶ und Luftverschmutzungen zurückzuführen sind. Letztere unterscheiden sich untereinander nur marginal. Beim PKW kommen zudem noch verhältnismäßig hohe Unfallkosten hinzu, was zu einem großen Teil die Spanne zum Schienenverkehr begründet.

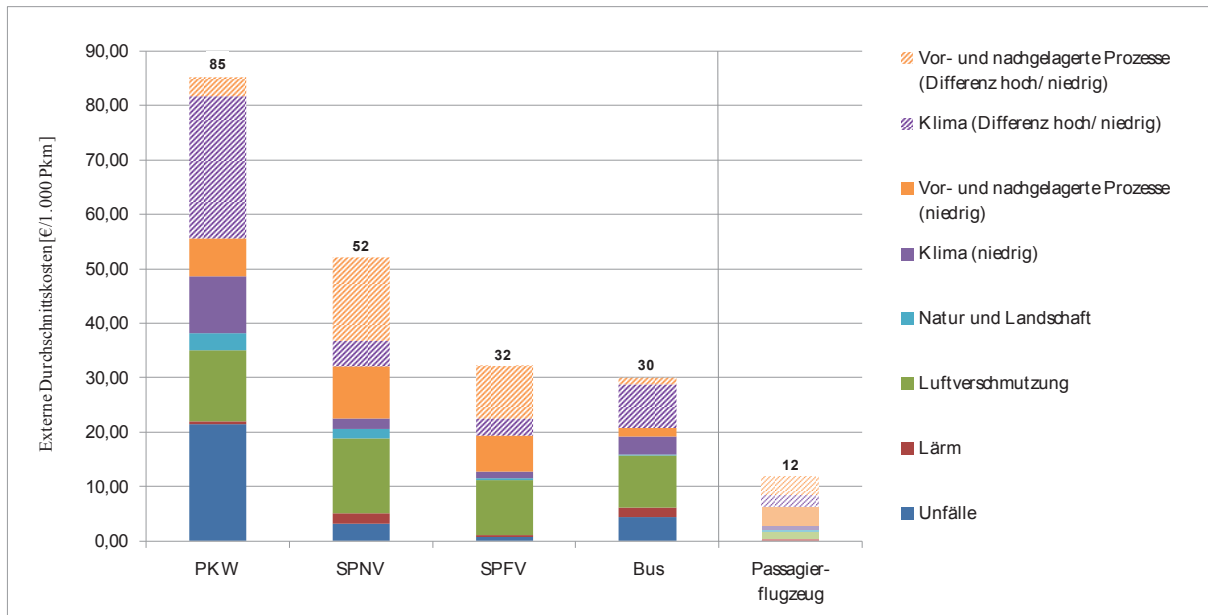


Abbildung 26: Externe Durchschnittskosten motorisierter Verkehrsmittel des Personenverkehrs unterteilt nach Kostenkategorien im Freistaat Sachsen (ohne Krad); Quelle: Eigene Darstellung

Im Hinblick auf den Frachtverkehr zeigt sich bezüglich der Kostenzusammensetzung ein ähnliches Bild wie im Personenverkehr. Wie bereits erwähnt, tritt hier der Schienengüterverkehr besonders positiv in Erscheinung. Seine externen Durchschnittskosten liegen um das Vier- bis Fünffache niedriger als die der Lkw bzw. Sattelzugmaschinen.

³⁶ Gemeint sind Klimaemissionen im Straßenverkehr als direkte Abgase und im Schienenverkehr als indirekte Emissionen durch vor- und nachgelagerte Prozesse.

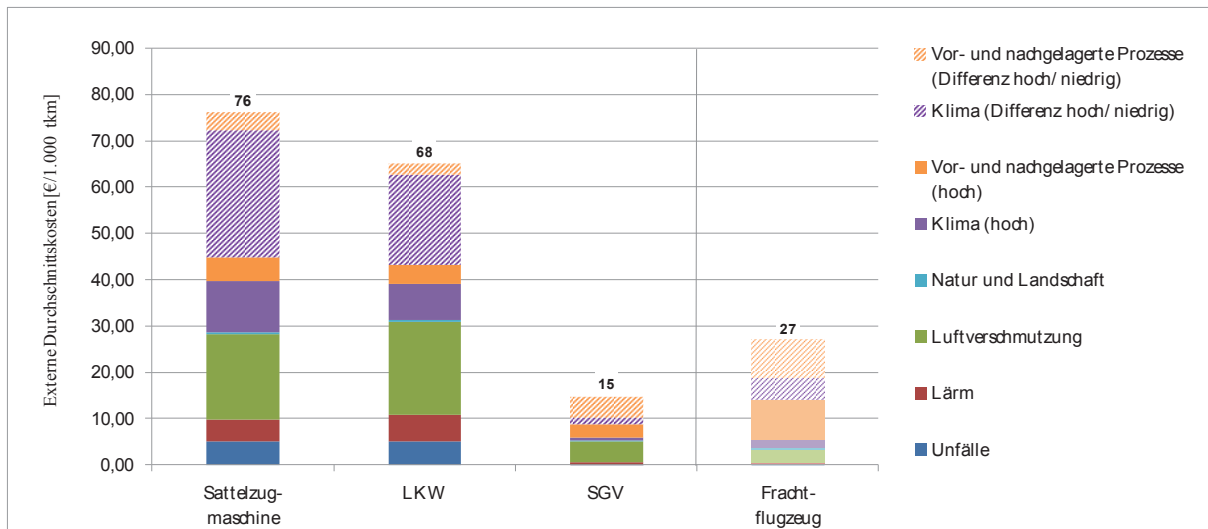


Abbildung 27: Externe Durchschnittskosten motorisierter Verkehrsmittel des Güterverkehrs unterteilt nach Kostenkategorien im Freistaat Sachsen; Quelle: Eigene Darstellung

4.3 Ergebnisvergleich mit [Becker et al. 2002]

Die aktuellen Berechnungsergebnisse sollen nun im Folgenden mit den Resultaten der damaligen Studie von [Becker et al. 2002] verglichen werden, um zum einen zwischenzeitliche Entwicklungen aufzuzeigen und zum anderen eine allgemeine Plausibilisierung der externen Kostenschätzung durchzuführen. Sowohl der vorliegenden Arbeit als auch der vorangegangenen Studie liegt dasselbe Untersuchungsgebiet zugrunde, weshalb prinzipiell davon ausgegangen werden kann, dass die jeweiligen Werte miteinander harmonisieren. Dagegen unterscheiden sich jedoch die Berechnungsverfahren, Kostensätze und Eingangsdaten zum Teil grundlegend.

Aus Abbildung 28 geht hervor, dass insgesamt ein Rückgang bei den gesamten externen Kosten seit 1999³⁷ zu verzeichnen ist, sich allerdings die Kostenverteilung zwischen den Verkehrsträgern kaum gewandelt hat. Der ersichtliche Kostenanstieg im Luftverkehr, lässt sich primär auf die Veränderung der absoluten Klima- und „Up- and Downstream“-Kosten zurückführen. Gründe dafür sind die Verdreifachung der aktuellen durch das Emissionskataster Sachsen ermittelten Treibhausgasemissionen der Flugzeuge und die annähernde Verdopplung des Kostensatzes für eine ausgestoßene Tonne CO₂.³⁸ Zudem wurden die Kosten der vor- und nachgelagerten Prozesse bei [Becker et al. 2002] pauschal prozentual abgeschätzt, in der hiesigen Arbeit hingegen aus TREMOVE-Daten errechnet.

³⁷ Das Jahr 1999 ist das Bezugsjahr für die Kostenrechnung von [Becker et al. 2002].

³⁸ Anstieg CO₂-Emission: 37.800t → 118.729t; Anstieg Kostensatz CO₂: 135€/t → 252€/t (hohe Kostenschätzung). [Becker et al. 2002, S. 55ff, 58ff]

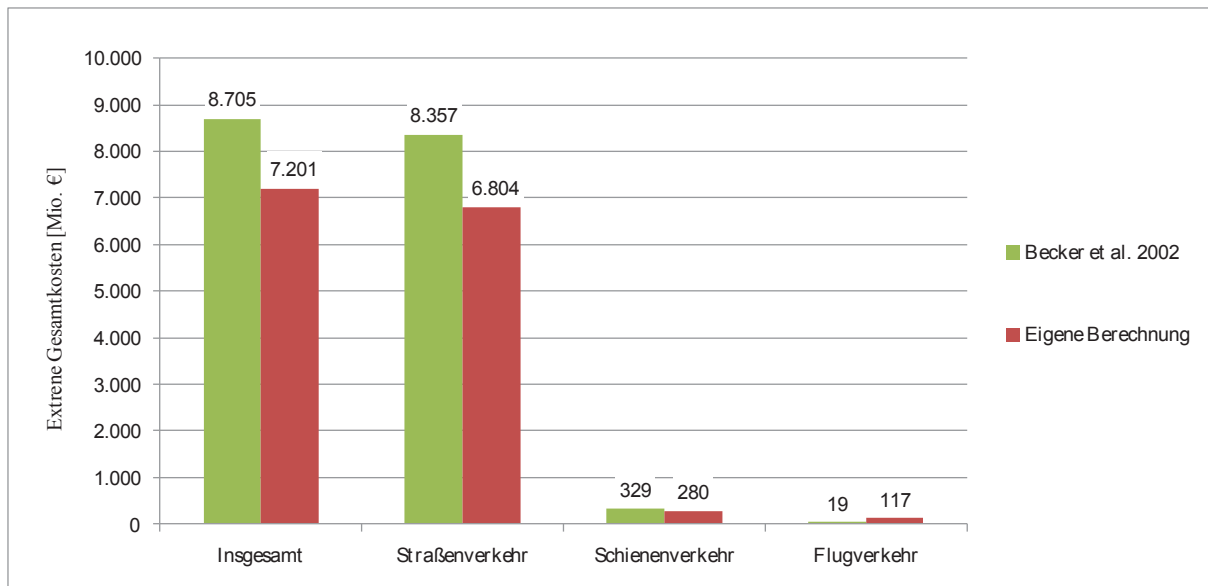


Abbildung 28: Vergleich der absoluten externen Kosten zu [Becker et al. 2002]; Quelle: Eigene Darstellung

Stellt man die Kosten der einzelnen Externalitäten wie in Abbildung 29 gegenüber, so fällt auf, dass sich die Gesamtunfallkosten trotz rückgängiger Unfallzahlen seit damals kaum verändert haben. Dies lässt sich einerseits durch die Erhöhung der Kostensätze vor allem im Hinblick auf Schwerverletzte und andererseits durch die Verteilung der Unfallopfer auf Verursacher bzw. Nichtverursacher erklären. Bei letzterem wurde durch [Becker et al. 2002] von einem weitaus höheren Anteil Unfallverursacher ausgegangen als in dieser Arbeit³⁹. Da die Kostensätze der Unfallverursacher nicht die bestimmenden immateriellen Kosten in Form des „Risk Values“ beinhalten, fielen die Gesamtunfallkosten auch entsprechend niedriger aus. Die Entwicklung der Klimakosten lässt sich im Gegensatz dazu allein aus dem höheren Kostensatz für Treibhausgasemissionen ableiten. Bei der Luftverschmutzung resultiert die Kostendifferenz zum einen aus dem allgemeinen Rückgang der Schadstoffausstöße im Verkehr und zum anderen aus einer grundlegend veränderten Berechnungsmethodik. Ähnliches gilt für Lärm, bei der die Betroffenenanzahlen und die sich daraus ergebenden Kosten nicht wie bei [Becker et al. 2002] über ein gemeindefeines Lärmkataster sondern durch die Ergebnisse der seit 2007 realisierten Lärmkartierung abgeschätzt wurden.

³⁹ In Kapitel 3.2.2 wurde bereits angeführt, dass die hier verwendeten Daten zu den Hauptunfallverursachern vom Statistischen Landesamt Sachsen stammen und somit als valide angesehen werden können. [Statistisches Landesamt Sachsen/Recknagel, Renate 2013]

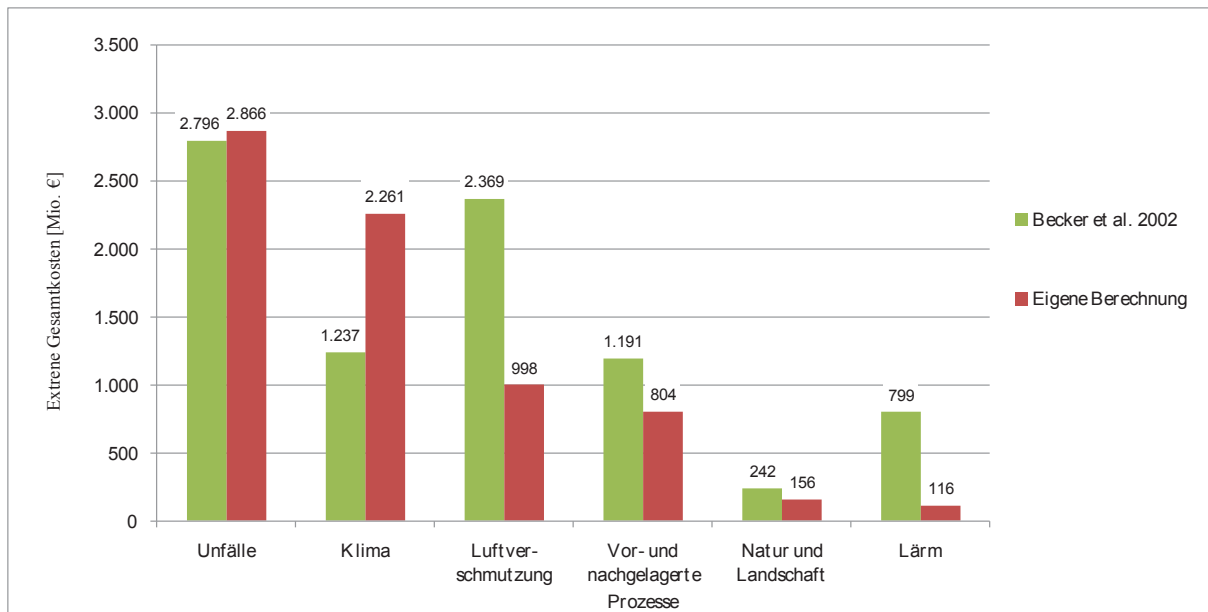


Abbildung 29: Vergleich der absoluten externen Kosten zu [Becker et al. 2002] nach Kostenkategorien; Quelle: Eigene Darstellung

In der unterstehenden Abbildung 30 werden die Durchschnittskosten der einzelnen Verkehrsmittel gegenübergestellt. Hervor sticht hier der Durchschnittskostenanstieg bei den Krafträdern, der sich hauptsächlich aus höheren Unfallkosten ergibt. Darüber hinaus ist in eine deutliche Diskrepanz im Straßengüterverkehr zu erkennen, welche sich insbesondere auf einen Rückgang der Luftschadstoffausstöße zurückführen lässt. Die Abweichung zwischen den durchschnittlichen Kosten des Schienenpersonenverkehrs begründet sich dagegen erneut durch den Einsatz eines höheren Kostensatzes für Klimagase im Bereich der vor- und nachgelagerten Prozesse.

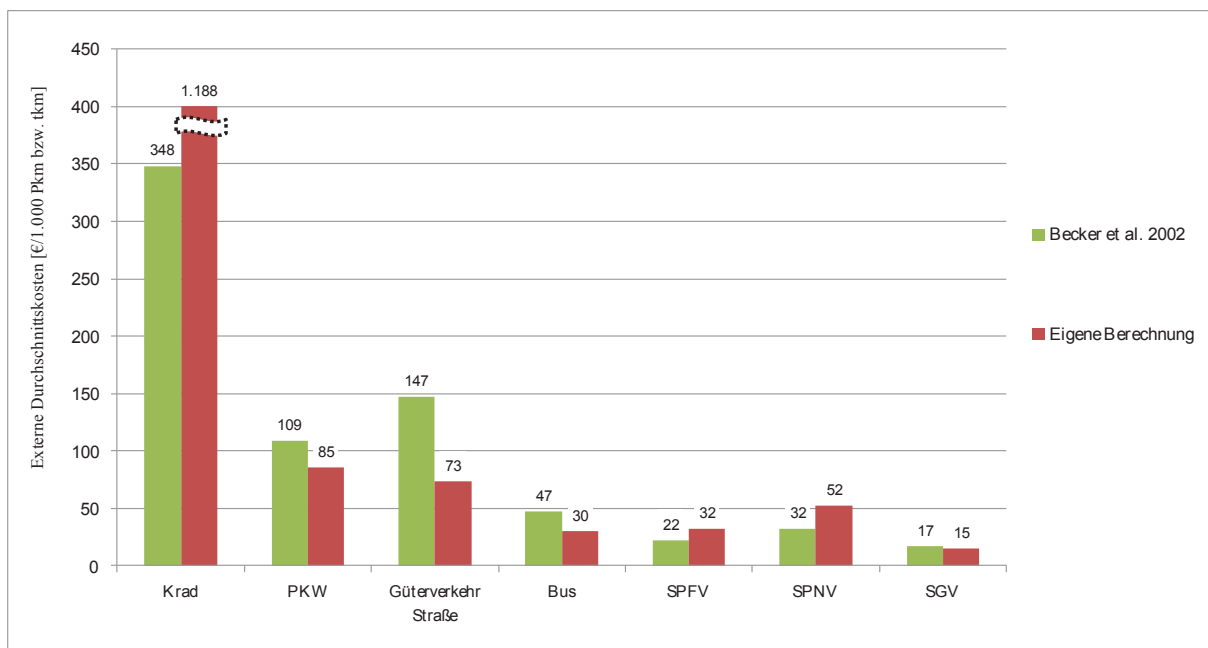


Abbildung 30: Vergleich der externen Durchschnittskosten zu [Becker et al. 2002] nach Verkehrsmitteln; Quelle: Eigene Darstellung

5 Fazit

Aus den Berechnungen in dieser Arbeit geht hervor, dass sich die externen Kosten durch den Verkehr in Sachsen, welche auf die gesamte Gesellschaft, andere Regionen oder künftige Generationen übertragen werden, auf insgesamt 7,2 Mrd. € pro Jahr (hohe Schätzung) belaufen. Darüber hinaus hat die Diskussion der Ergebnisse gezeigt, dass der Straßenverkehr mit einem Anteil von 94% den Hauptverursacher der negativen externen Folgewirkungen darstellt. Zudem wurden die Unfälle und Klimagasemissionen als die maßgebenden Kostentreiber ausfindig gemacht. Im weiteren Vergleich der Verkehrsmittel wurde bezüglich der Gesamtkosten die Dominanz des PKW deutlich. Bei der Betrachtung der Durchschnittskosten erwiesen sich allerdings die Krafträder aufgrund ihrer hohen Unfallkosten noch vor dem PKW als besonders nachteilig. Der Schienenverkehr ordnet sich hier jeweils hinter dem straßengebundenen Individual- bzw. Wirtschaftsverkehr ein. Aus der im Anschluss durchgeführten Gegenüberstellung zu [Becker et al. 2002] wurde ersichtlich, dass seit 1999 ein Rückgang der jährlichen externen Kosten um etwa 1,5 Mrd. € in Sachsen zu verzeichnen ist. Hierbei muss allerdings auch der Wandel von Berechnungsmethoden und Eingangsdaten mitberücksichtigt werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die verschiedenen verkehrsbezogenen Externalitäten beträchtliche volkswirtschaftliche Verluste verursachen, welche die Ineffizienz des Verkehrssystems widerspiegeln. Aus ökonomisch-gesellschaftlicher Sicht wäre es deshalb ratsam Internalisierungsmaßnahmen zu implementieren, um diesem Ungleichgewicht entsprechend entgegen zu wirken. Die hier gewonnenen Erkenntnisse können dafür als Orientierung dienen und die Basis für weiterführende Diskussionen bilden. Wichtig wäre es dabei einen möglichst behutsamen und transparenten Weg zu finden die externen Kosten in die Verkehrspreise einzubinden, damit dafür eine breite Akzeptanz in der Bevölkerung aufgebaut werden kann. Ferner wäre es erforderlich eine kontinuierliche Überprüfung und Aktualisierung der Kostenschätzung durchzuführen, die Entwicklungen aufzeigt und zukünftige Potentiale für politische Handlungen vorgibt.

Literaturverzeichnis

Atmosfair (2008): *Der Emissionsrechner*.

Online verfügbar unter

www.atmosfair.de/portal/documents/10184/20102/Documentation_Calculator_DE_2008.pdf/3b7c33dc-ed24-4f4b-9229-86f9d25eb5f9, zuletzt geprüft am 15.05.2015.

Baum, Herbert; Kranz, Thomas; Westerkamp, Ulrich (2010): *Volkswirtschaftliche Kosten durch Straßenverkehrsunfälle in Deutschland*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen/Heft M 208. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW. ISBN 386-9-180-382.

Beck, Bernhard (2011): *Mikroökonomie*. Stuttgart, Zürich: UTB, VDF. ISBN 978-3-8252-3503-1.

Becker, Udo; Becker, Thilo; Gerlach, Julia (2012): *Externe Autokosten in der EU-27. Überblick über existierende Studien*. Dresden: TU Dresden, Inst. für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, Lehrstuhl für Verkehrsökologie.

Becker, Udo; Gerike, Regine; Rau, Andreas (2001): *Ermittlung der Kosten und Nutzen von Verkehr in Sachsen - Hauptstudie*. Arbeitsstand 11/2001 - im Auftrag des Freistaates Sachsen vertreten durch das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG). Dresden: TU Inst. für Verkehrsplanung und Straßenverkehr Lehrstuhl für Verkehrsökologie.

Becker, Udo; Gerike, Regine; Rau, Andreas (2002): *Ermittlung der Kosten und Nutzen von Verkehr in Sachsen - Hauptstudie*. Abschlussbericht im Auftrag des Freistaates Sachsen vertreten durch das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG). Dresden: TU Dresden, Inst. für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, Lehrstuhl für Verkehrsökologie.

BFU (2010): *Unfälle und Störungen Unfälle beim Betrieb ziviler Luftfahrzeuge. Jahresbericht 2008*. Braunschweig: Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung.

BMU; UBA (2013): *Umweltbewusstsein in Deutschland 2012. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage*. Berlin Marburg: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Umweltbundesamt.

CE Delft; INFRAS; Fraunhofer ISI (2011): *External costs of transport in Europe. Update study for 2008*. Delft: CE Delft. ISBN 11-4215-50.

CE Delft; INFRAS; Fraunhofer ISI; University of Gdansk (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)*. Version 1.1. Delft: CE Delft.

Destatis (2012): *Luftverkehr auf allen Flugplätzen*. Fachserie 8 Reihe 6.2. Hg. v. Statistisches Bundesamt.

Online verfügbar unter

www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Luftverkehr/LuftverkehrAlleFlugplaetze2080620117004.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 15.05.2014.

Destatis (2013): *Eisenbahnverkehr*. Fachserie 8 Reihe 2. Hg. v. Statistisches Bundesamt.

Online verfügbar unter

www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/PersonenverkehrSchienenverkehr/EisenbahnverkehrJ2080200127004.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 15.05.2014.

Destatis (2014a): *Bodenfläche (tatsächliche Nutzung): Deutschland, Stichtag, Nutzungsarten*. Hg. v. Statistisches Bundesamt.

Online verfügbar unter

www.gensis.destatis.de/genesis/online/data.jsessionid=13BB5A1ED936A145106F7C6CF1E207B5.tomcat_GO_1_1?operation=abruftabelleAbrufen&selectionname=33111-0001&levelindex=1&levelid=1400143295817&index=1, zuletzt geprüft am 15.05.2014.

Destatis (2014b): *Unfälle und Verunglückte im Eisenbahnverkehr nach Personengruppen*. Hg. v. Statistisches Bundesamt.

Online verfügbar unter

www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/Tabellen/Eisenbahnunfaelle.html, zuletzt geprüft am 14.05.2014.

DIW (2011): *Verkehr in Zahlen 2011/2012*. 40. Auflage. Hamburg: DVV Media Group. ISBN 978-3-87514-456-9.

Dresden International Airport (2014): *FLUGPLAN Sommer 2014*. Hg. v. Mitteldeutsche Flughafen AG.

Online verfügbar unter

www.dresden-airport.de/tycon/file.php?id=3965, zuletzt geprüft am 15.05.2014.

EBA (2007): *Lärmkarten für Schienenwege von Eisenbahnen des Bundes*. Hg. v. Eisenbahn-Bundesamt.

Online verfügbar unter

www.laermkartierung.eisenbahnbundeamt.de/index.aspx?site=EBA&project=EBA_VIEWER&map=121&&ovopen=true&sid=039a3dec-4430-40a9-bdfc-e1d343ac2c6c, zuletzt geprüft am 14.05.2014.

Europäische Kommission (2002): *RICHTLINIE 2002/49/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES RICHTLINIE 2002/49/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm*. Brüssel: Europäische Kommission.

Europäische Kommission (2012): *EU transport in figures, statistical pocketbook 2012*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-79-21694-7.

Fritsch, Michael (2011): *Marktversagen und Wirtschaftspolitik. Mikroökonomische Grundlagen staatlichen Handelns*. 8. Auflage. München: Vahlen. ISBN 978-3-8006-3807-9.

GDV (2013): *Statistisches Taschenbuch der Versicherungswirtschaft 2013*. Berlin: Verlag Versicherungswirtschaft GmbH. ISBN 0936-1960.

Gerike, Regine (2009): *Externe Kosten von Verkehr. Status Quo und Perspektiven*. Technische Universität München. München, 2009.

Online verfügbar unter
www.unibw.de/ivr/aktuelles/ekv, zuletzt geprüft am 14.05.2014.

Hoelzer, Olaf (2004): *Internalisierung externer Effekte im Verkehr. Effizienz und Akzeptanz verkehrspolitischer Instrumente*. Dissertation Universität Heidelberg 2004. Berlin: Mensch und Buch. ISBN 3-89820-934-2.

IPCC (2006): *Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis. Direct Global Warming Potentials*.

Online verfügbar unter
www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html, zuletzt geprüft am 15.05.2014.

IPCC (2007): *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Valencia: Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jäschke, Martin (2014): *Dissertation: Lärmkartierung und Ruhige Gebiete*. Dresden, 25.02.2014. Email an Alexander Neumann.

Kuik, Onno; Brander, Luke; Tol, Richard S. J. (2009): *Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions. A metaanalysis*. In: *Energy policy* 37 (4), S. 1395–1403.

LfULG (2012): *Umgebungslärmrichtlinie*. Hg. v. LfULG.

Online verfügbar unter
www.umwelt.sachsen.de/umwelt/3509.htm, zuletzt geprüft am 14.05.2014.

LfULG/Rink, Andreas (2014): *Ergebnisse Lärmkartierung Sachsen 2007 und 2012*. Dresden, 08.01.2014. Email an Alexander Neumann.

LfULG/Schreiber, Ute (2013): *Verkehrsbedingten Emissionen in Sachsen aus dem Fachinformationssystem Umwelt und Verkehr (FIS UUV)*. Dresden, 14.01.2013. Email an Alexander Neumann.

Mankiw, Nicholas Gregory; Taylor, Mark P. (2008): *Grundzüge der Volkswirtschaftslehre*. 4., überarb. u. erw. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel. ISBN 978-3-7910-2787-6.

Seiter, Sarah (2013): *Leipzig/Halle Airport. Kompakt. Komfortabel. Klasse*. Flughafen Leipzig/Halle, 2013.

Online verfügbar unter
www.leipzig-halle-airport.de/mediapool/2013-07-01_imagebroschuere_lej.pdf, zuletzt geprüft am 15.05.2014.

SMWA (2014a): *Anlage 1 zum Umweltbericht zum Entwurf LVP 2025*. Hg. v. SMWA.

Online verfügbar unter

[www.verkehr.sachsen.de/download/verkehr/Anlage_1_Umweltbericht_\(1\).pdf](http://www.verkehr.sachsen.de/download/verkehr/Anlage_1_Umweltbericht_(1).pdf), zuletzt geprüft am 15.05.2014.

SMWA (2014b): *Landesverkehrsplan Sachsen 2025*. 2. Auflage. Hg. v. SMWA.

Online verfügbar unter

www.smwa.sachsen.de/download/LVP_2025_Web.pdf, zuletzt geprüft am 15.05.2014.

Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2014): *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen – Bruttoinlandsprodukt*. Hg. v. Statistische Ämter des Bundes und der Länder.

Online verfügbar unter

www.statistik-portal.de/statistik-portal/de_jb27_jahrtab65.asp, zuletzt geprüft am 15.05.2014.

Statistisches Landesamt Sachsen (2014): *Bevölkerungsbestand Sachsen*. Hg. v. Statistisches Landesamt Sachsen.

Online verfügbar unter

www.statistik.sachsen.de/html/369.htm, zuletzt geprüft am 15.04.2014.

Statistisches Landesamt Sachsen/Recknagel, Renate (2013): *Verunglückte bei Straßenverkehrsunfällen im Freistaat Sachsen nach Verkehrsbeteiligung im Jahr 2012*. Kamenz, 04.12.2013. Email an Alexander Neumann.

Staubil, Beat (2006): *Belästigender Lärm am Arbeitsplatz*. 5. Auflage. Luzern: Schweizerische Unfallversicherungsanstalt.

TREMOVE (2010): *TREMOVE economic transport and emissions model. Excel databases with all TREMOVE v3.3.2 baseline data*. Hg. v. TREMOVE.

Online verfügbar unter

www.tremove.org/model/v3.3.2_model_code.exe, zuletzt geprüft am 15.05.2014.

UBA (2007): *Praktische Anwendung der Methodenkonvention: Möglichkeiten der Berücksichtigung externer Umweltkosten bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen von öffentlichen Investitionen*. Zürich, Köln: Umweltbundesamt.

UBA (2012): *Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten. Ökonomische Bewertung von Umweltschäden*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Vorndran, Ingeborg (2011): *Unfallstatistik – Verkehrsmittel im Risikovergleich*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

Weinreich, Sigurd (2004): *Nachhaltige Entwicklung im Personenverkehr. Eine quantitative Analyse unter Einbezug externer Kosten*. Dissertation Universität Heidelberg 2004. Heidelberg: Physica. ISBN 978-3-7908-0150-7.

Willeke, Rainer (1996): *Mobilität, Verkehrsmarktordnung, externe Kosten und Nutzen des Verkehrs*. Frankfurt am Main: VDA. ISBN 0507-6692.