



# Internalisierungsmaßnahmen für externe Kosten im Güterverkehr: Welche Chancen und Risiken könnten sich aus welchen Marktreaktionen ergeben?

Bearbeiter Dipl.-Ing. Leander Flamm

## **Verkehrsökologische Schriftenreihe**

Heft 7 /2016

Herausgeber



TU Dresden  
Professur für Verkehrsökologie  
Prof. Dr.-Ing. Udo J. Becker  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Julia Gerlach

ISSN 2367-315X

Stand

Dresden, den 19.12.2016



**Autor:**

**Dipl.-Ing. Leander Flamm**

**Herausgeber:**

**Prof. Dr.-Ing. Udo J. Becker**

**Dipl.-Wirtsch.-Ing. Julia Gerlach**

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

Telefon: (0351) 463-36566

Telefax: (0351) 463-37718

E-Mail: [verkehrsoekologie@tu-dresden.de](mailto:verkehrsoekologie@tu-dresden.de)

[www.verkehrsoekologie.de](http://www.verkehrsoekologie.de)

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

Diplomarbeit eingereicht: 2016

Veröffentlicht: 2016

Bevorzugte Zitierweise: Flamm, Leander (2016): Internalisierungsmaßnahmen für externe Kosten im Güterverkehr: Welche Chancen und Risiken könnten sich aus welchen Marktreaktionen ergeben? Diplomarbeit an der Professur für Verkehrsökologie, TU Dresden (2016). In: Verkehrsökologische Schriftenreihe (7/2016). ISSN 2367-315X. Online im Internet: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-201073>

## **Vorwort**

Verkehrsaktivitäten stehen in vielfältigen Wechselwirkungen mit ihrem wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Umfeld. Die Professur für Verkehrsökologie beschäftigt sich 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 es, entsprechend der offiziellen Widmung „zur Verringerung der Umweltbelastungen aus dem Verkehr beizutragen“. Schwerpunkte sind dabei Arbeiten zur Umsetzung einer nachhaltigeren Verkehrsentwicklung, die in folgenden Themenfeldern konkretisiert werden:

- a) Nachhaltige Verkehrsentwicklung: Auswirkungen, Verfahren, Konsequenzen
- b) Klimaschutz, Energie und CO<sub>2</sub> im Verkehr
- c) Luftreinhaltung & Lärm, Emissionsfaktoren und reale Fahrmuster
- d) Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs, Kostenwahrheit und Internalisierung
- e) Rad- und Fußverkehr
- f) Umweltbildung, Monitoring und Evaluation
- g) Soziale Exklusion und Umweltgerechtigkeit im Verkehrsbereich

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 in dieser Ausgabe vorgestellte Diplomarbeit von Herrn Leander Flamm beschäftigt sich mit den Auswirkungen verschiedener Internalisierungsstrategien im Güterverkehr. Konkret hat Herr Flamm transportgut- und verkehrsmodispezifische Verlagerungspotentiale abgeschätzt und ein Rechenmodell zur Analyse der Auswirkungen verschiedener Internalisierungsszenarien erstellt.

Insgesamt konnte Herr Flamm überzeugend nachweisen, dass eine Abschätzung der Auswirkungen von Internalisierungsmaßnahmen im Güterverkehr stets die Spezifik der verschiedenen transportierten Güter berücksichtigen muss. Auch eine fehlende Berücksichtigung typischer Transportweiten und der sich daraus ergebenden sinnvollen Verkehrsmittelooptionen kann zu größeren Fehleinschätzungen führen. Wir danken Herrn Flamm für die Entwicklung seines innovativen Modellansatzes und insgesamt für die sehr selbständige und überaus engagierte Bearbeitung des Themas.

Dresden, 19.12.2016

Udo Becker, Julia Gerlach

## Executive Summary

Die vorliegende Arbeit untersucht die Auswirkungen von Internalisierungsmaßnahmen externer Kosten des Güterverkehrs auf den Verkehrsmarkt in Deutschland.

Externe Kosten entstehen, wenn externe Effekte einer Verkehrsleistung sich nicht in den für diese Leistung vom Verkehrsnutzer erhobenen Kosten widerspiegeln. Da die Verkehrsnutzer ohne Berücksichtigung der externen Kosten nicht über alle Auswirkungen ihrer Handlungen informiert sind, treffen sie wirtschaftlich ineffiziente Entscheidungen. Es entstehen gesamtwirtschaftliche Schäden durch eine ungerechte Ressourcenverteilung.

Die Internalisierung externer Kosten ist daher ein vordringliches Ziel der Europäischen Union (EU). Für eine erfolgreiche Umsetzung der Internalisierung ist es essenziell, ein genaues Kenntnis über die gesellschaftliche Kostenbilanz der einzelnen Verkehrsmittel zu besitzen, um Internalisierungsmaßnahmen korrekt dimensionieren zu können. Ebenso eignen sich unterschiedliche Instrumente dafür, den verschiedenen externen Effekten Anreize zur Verhaltensänderung und zu technischer Innovation entgegenzusetzen.

Diese Arbeit analysiert daher zunächst die Einnahmen und Ausgaben der Gesellschaft durch den Güterverkehr unter Beachtung der externen Kosten, um die Höhe der Internalisierungsmaßnahmen an der gesamtheitlichen Kostendeckung der Verkehrsmittel festzumachen. Daraufhin werden unterschiedliche Ansätze für Internalisierungsmaßnahmen untersucht und systematisch bewertet. Es folgt eine Abschätzung der Marktreaktionen im Falle einer hypothetischen Umsetzung der aussichtsreichsten Maßnahmen.

Die hierfür erstellte Modellrechnung wird ausführlich erläutert und mit bekannten Studienergebnissen verglichen. Die Ergebnisse erlauben eine detaillierte Auswertung der Auswirkungen auf die Verkehrsleistung der Verkehrsträger für die unterschiedlichen, nach NST2007 klassifizierten Transportgüter. Außerdem werden die resultierenden Einnahmen aus den Internalisierungsmaßnahmen mit den nach Verkehrsverlagerung, -vermeidung und Effizienzgewinnen verbleibenden externen Kosten verrechnet, um eine resultierende Kostenbilanz zu erhalten.

Auf Grundlage der Ergebnisse der Abschätzung von Marktreaktionen werden Chancen und Risiken für die verladende Wirtschaft und die gesamte Volkswirtschaft identifiziert und besprochen. Aus ihnen gehen Empfehlungen an Politik und Forschung hervor, um Chancen zu nutzen und Risiken abzumildern.

In einer abschließenden SWOT-Analyse werden Stärken und Schwächen der Arbeit aufgezeigt und daraus folgend Ansätze zur Verbesserung der Methodik und Aufgabenstellungen für weitere Untersuchungen abgeleitet.

Die wichtigsten Ergebnisse sind in Schlussfolgerungen am Ende der Arbeit zusammengefasst.

---

## Abstract

External costs are defined as the difference between the private costs – those that are paid for by the traffic user – and the social costs – those that arise because of the realised ride. They have to be burdened by the society and cause wrong decisions of traffic users as they don't know about the real cost of their ride. Thus, the internalisation of external costs is a prioritised task of the European Union, aiming for an implementation until 2020.

This study wants to provide a knowledgeable estimate of the ensuing reactions of the freight traffic market in Germany. For this purpose, the earnings from and expenses for the traffic system in Germany including external costs are analysed to obtain a valid financial balance for each means of transport. In case of missing cost coverage, adequate internalisation measures are defined to counteract the different causes of external costs.

With this data, a computational model is created to assess the resulting effects on modal shift, traffic avoidance and efficiency gains in the transport market. Using prices of transport services, average transport distances and attributes of the means of transport and the transported goods, a detailed estimation of the expected behaviour is given.

The results are then evaluated considering both risks and chances for the transport market as well as the national economy. Consequently, advice for politics and research is couched to facilitate the execution of the chosen internalisation measures.

Eventually, a SWOT analysis is conducted to judge the validity of the found results.

## Begriffsdefinitionen

**Absolute Kosten:** Gesamte, je Jahr anfallende Kosten. In [EUR/a].

**Durchschnittliche Kosten:** Quotient aus den absoluten Kosten und der Verkehrsleistung. Gibt die über ein Jahr gemittelten Kosten je Verkehrsleistung an, unabhängig von Zeit und Ort. In [EUR/tkm].

**Externe Effekte,** auch: Externalitäten. Wirkungen eines Verhaltens (z.B. einer Verkehrsleistung), die nicht im Markt berücksichtigt werden und keine direkten Auswirkungen auf den Verursacher haben. Ein Verkehrsteilnehmer bezieht externe Effekte daher nicht in seine Entscheidungen ein.

**Externe Kosten:** Monetarisierete externe Effekte. Externe Effekte werden mit einem theoretischen Geldwert verknüpft, der ihre Wirkungen am Markt abbildet.

**Fahrleistung:** Summe der von allen Fahrzeugen zurückgelegten Wegstrecke. In [Fzgmt].

**Fight market:** Entfernungsbereich, in dem verschiedene Verkehrsmittel um den Transport eines Gutes besonders stark konkurrieren, da sich ihre Eigenschaften und Preis einander annähern.

**Gebühr:** Meist zweckgebundene Abgabe zur Finanzierung einer bestimmten Gegenleistung.

**Induzierter Verkehr:** Durch eine veränderte Marktsituation zusätzlich entstandener Verkehr.

**Internalisierung:** Belastung der Verkehrsteilnehmer mit den durch sie verursachten externen Kosten.

**Interne Kosten,** auch: private Kosten. Kosten einer Verkehrsleistung, die vom Verkehrsteilnehmer gezahlt werden.

**Isoelastizität,** auch: isoelastische Nachfrage: Funktion des Verhältnisses zwischen Preis und Nachfrage, bei dem die Preiselastizität an jedem Punkt gleich groß ist.

**Kreuzpreiselastizität:** Veränderung der Nachfrage nach einem Gut bei einer bestimmten Preisänderung eines anderen Guts.

**NST 2007:** Einheitliches Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik.

**Marginale Kosten,** auch: Grenzkosten. Kosten, die für die Erbringung einer zusätzlichen Verkehrsleistung anfallen. Variieren je nach Zeit, Ort und Umgebungssituation einer Fahrt.

**Markt:** Die Gesamtheit aller Produzenten und Abnehmer, in der durch Angebot, Nachfrage und Preis rationale Entscheidungen getroffen werden.

**Mobilität:** Befriedigung der Bedürfnisse nach Ortsveränderung. Kann mit viel oder wenig Verkehr realisiert werden.

**Mobilitätskosteneffizienz:** Der Gesellschaft bei der – für eine Wirtschaftsleistung nötigen – Befriedigung eines Mobilitätsbedürfnisses entstehende Kosten. In [EUR/EUR BIP] bzw. [1].

**Modal Split:** Verteilung der Gesamtverkehrsleistung auf die einzelnen Verkehrsmittel.

**Monetarisierung:** Zuweisung eines Geldwertes zu einer nicht durch einen Marktpreis bestimmten Größe.

**Pareto-Optimum:** Zustand, in dem alle zur Verfügung stehenden Ressourcen eines Marktes bei minimalen gesellschaftlichen Kosten genutzt werden. Führt zu einer maximalen Gesamtwohlfahrt.

**Pigou-Steuer:** Steuer auf den vorhandenen Marktpreis, die bei der optimalen Nachfrage (↗ Pareto-Optimum) die privaten Grenzkosten auf die sozialen Grenzkosten erhöht.

**Preiselastizität:** Veränderung der Nachfrage nach einem Gut bei einer bestimmten Preisänderung desselben Guts.

**Soziale Kosten**, auch: gesellschaftliche Kosten. Tatsächlich anfallende Kosten einer Verkehrsleistung unter Berücksichtigung aller externen Effekte.

**Steuer:** Im Allgemeinen nicht zweckgebundene Abgabe ohne Anspruch auf eine konkrete Gegenleistung. Dient der Finanzierung allgemeinen staatlichen Handelns.

**Verkehr:** Konkrete Umsetzung von Mobilitätsbedürfnissen durch Verkehrsmittel und -wege.

**Verkehrsintensität:** Verkehrsleistung je erzeugter Wirtschaftsleistung. In [tkm/EUR BIP].

**Verkehrsleistung**, auch: Transportleistung. Produkt aus der Masse aller transportierten Güter und der zurückgelegten Entfernung. In [tkm].

**Verkehrsmittel:** Klassifizierung von Untergruppen der Verkehrsträger, die sich in wichtigen Eigenschaften unterscheiden.

**Verkehrsträger:** Klassifizierung der Verkehrsmittel nach der von ihnen genutzten Infrastruktur, üblicherweise in die Verkehrsträger Straßen-, Schienen- und Luftverkehr sowie die Schifffahrt.

**Verkehrsmenge**, auch: Transportmenge. Gesamtmasse der transportierten Güter.

---

# Inhaltsverzeichnis

Executive Summary .....	I
Abstract.....	II
Begriffsdefinitionen .....	III
Inhaltsverzeichnis .....	V
<b>1 Ziel der Arbeit.....</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation .....	1
1.2 Aufgabenstellung.....	2
1.3 Methodik .....	2
1.4 Abgrenzungen .....	3
1.4.1 Untersuchungsraum.....	3
1.4.2 Internalisierungsrelevante externe Effekte .....	3
<b>2 Beschreibung der Ausgangslage .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Externe Kosten des Güterverkehrs in Deutschland .....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Untersuchte Quellen und Methodik.....	7
2.1.2 Gesamtbelastung der Gesellschaft.....	12
2.1.3 Externe Kosten des Straßenverkehrs.....	13
2.1.4 Externe Kosten des Schienenverkehrs .....	14
2.1.5 Externe Kosten der Binnenschifffahrt .....	14
2.1.6 Marginale externe Kosten.....	16
2.1.7 Bewertung der Ergebnisse .....	17
2.1.8 Prognostizierte Entwicklung der externen Kosten .....	17
<b>2.2 Vorhandene Instrumente zur Steuerung der Kostenbilanz des Verkehrs</b>	<b>17</b>
2.2.1 Steuern und Abgaben .....	18
2.2.2 Infrastrukturbenutzungsgebühren .....	22
<b>2.3 Modal Split des Güterverkehrs in Deutschland .....</b>	<b>28</b>
2.3.1 Modal Split insgesamt .....	29
2.3.2 Modal Split nach Güterabteilung .....	30
<b>3 Auswahl von Internalisierungsmaßnahmen .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Definition einer Zielstellung .....</b>	<b>31</b>
3.1.1 Reduktion der externen Kosten .....	31
3.1.2 Sicherstellung gleichbleibender Mobilität .....	32



3.1.3	Erhöhung der Verkehrsqualität .....	32
3.1.4	Gesellschaftliche Kostenminimierung .....	33
3.1.5	Zielstellung der weiteren Untersuchung .....	34
<b>3.2</b>	<b>Erläuterung von Grundlagen .....</b>	<b>34</b>
3.2.1	Notwendigkeit weiterer Internalisierungsmaßnahmen .....	34
3.2.2	Nachfrageorientierte und angebotsorientierte Maßnahmen .....	35
3.2.3	Theoretische Maßnahmenmodelle .....	36
3.2.4	Ansätze zur Ermittlung der optimalen Gebührenhöhe.....	38
3.2.5	Verschiedene externe Effekte erfordern unterschiedliche Maßnahmen .....	39
<b>3.3</b>	<b>Überblick möglicher Internalisierungsinstrumente .....</b>	<b>39</b>
3.3.1	Ergebnisse relevanter Studien.....	40
3.3.2	Weitere Internalisierungsinstrumente.....	42
<b>3.4</b>	<b>Auswahl der betrachteten Internalisierungsmaßnahmen .....</b>	<b>43</b>
3.4.1	Bewertungskriterien.....	43
3.4.2	Ergebnisse der Bewertung .....	44
3.4.3	Untersuchung möglicher Ausgleichsmaßnahmen.....	47
<b>4</b>	<b>Abschätzung der Marktreaktionen .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1</b>	<b>Erläuterung von Grundlagen .....</b>	<b>49</b>
<b>4.2</b>	<b>Analyse der Preiselastizitäten im Güterverkehr .....</b>	<b>50</b>
4.2.1	Literaturschau.....	50
4.2.2	Ermittlung einer Preiselastizität aufgrund von Verlagerungspotenzialen .....	54
<b>4.3</b>	<b>Ansatz zur Abschätzung der resultierenden Verkehrsverlagerung .....</b>	<b>55</b>
4.3.1	Verwendete Programme.....	55
4.3.2	Eingangsgroßen .....	56
4.3.3	Modell.....	58
4.3.4	Mathematische Näherung der Transportmenge nach der Transportentfernung .....	58
4.3.5	Kalibrierung und weitere Überprüfung des Modells .....	68
<b>4.4</b>	<b>Zusammenfassung möglicher Marktreaktionen .....</b>	<b>73</b>
4.4.1	Entwicklung des Modal Split .....	74
4.4.2	Entwicklung der externen Kosten .....	74
4.4.3	Marktreaktionen der einzelnen Transportgüter .....	75

---

5	Chancen und Risiken .....	78
5.1	Abzusehende Risiken .....	78
5.1.1	Für die verladende Wirtschaft.....	78
5.1.2	Für die Volkswirtschaft.....	80
5.2	Mögliche Chancen.....	83
5.2.1	Für die verladende Wirtschaft.....	83
5.2.2	Für die Volkswirtschaft.....	84
6	Abzuleitende Empfehlungen.....	86
6.1	Empfehlungen an die Gesetzgebung .....	86
6.1.1	Empfehlungen zur Umsetzung einer Internalisierung .....	86
6.1.2	Empfehlungen zur Erreichung der Zielstellung .....	89
6.2	Empfehlungen an die Forschung .....	90
7	SWOT-Analyse der Arbeit .....	92
7.1	Stärken.....	92
7.2	Schwächen.....	93
7.3	Interview mit einem Spediteur .....	94
7.4	Chancen.....	95
7.5	Gefahren .....	95
8	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	96
	Abkürzungsverzeichnis.....	99
	Abbildungsverzeichnis.....	102
	Tabellenverzeichnis .....	103
	Literaturverzeichnis.....	105
	Erklärung.....	114
	Anhang A: Bewertung von Preis und Eignung	
	Anhang B: Rechnung zur Kostenbilanz des Güterverkehrs	
	Anhang C: Übersicht zur Bewertung der Internalisierungsmaßnahmen	
	Anhang D: Diagramm zur Vorgehensweise bei der Berechnung der Marktreaktionen	
	Anhang E: Berechnung der Eigenschaftsfaktoren	
	Anhang F: Beispielkurven aus der Modellrechnung	
	Anhang G: Auswertung der Modellrechnung	
	Anhang H: Weitere Diagramme und Tabellen	



# 1 Ziel der Arbeit

## 1.1 Ausgangssituation

Deckt der Verkehr seine Kosten? Werden die Verkehrsträger finanziell gerecht belastet, oder muss der Straßenverkehr durch Kfz- und Mineralölsteuer den Bahnverkehr und die Binnenschifffahrt mitfinanzieren? Ist im Gegenteil die staatliche Unterstützung für Schiene und Schiff noch viel zu gering? Weshalb nimmt der Lkw-Verkehr so rasant zu, obwohl die Straßen überlastet sind und er durch Abgase die Lebensqualität in Städten verringert? Warum fahren immer noch so viele laute Güterzüge mitten durch Wohngebiete?

In der seit Jahren geführten und teilweise stark polarisierenden Debatte, ob und in welchem Ausmaß die Verkehrsträger ihre eigenen Kosten decken, spielt der Begriff der *externen Kosten* eine zentrale Rolle. Während in einer oberflächlichen Untersuchung meist nur die staatlichen Einnahmen und Ausgaben durch den Verkehr gegeneinander aufgerechnet werden, blieben die zuletzt erwähnten negativen Effekte des Verkehrs meist unbeachtet. Auch frische Luft und Stille sind aber Ressourcen, die durch den Verkehr verbraucht werden und die danach den Anwohnern nicht mehr zur Verfügung stehen. Diese Ressourcen mit einem Preisschild zu versehen und somit in die Kalkulation der Verkehrsverursacher miteinzubeziehen ist Zweck des theoretischen Konstrukts externe Kosten.

Solange der Verkehr für seine *externen Effekte* nicht bezahlen muss, entstehen falsche Entscheidungen, sowohl bei der einzelnen Entscheidung für oder gegen eine Fahrt, für oder gegen eine bestimmte Route, als auch in der Politik. Ein gesellschaftlicher Wohlfahrtsverlust entsteht.

Hinzu kommt die anhaltend starke Steigerung der Verkehrsleistung in Deutschland sowohl in der Vergangenheit als auch in der prognostizierten Zukunft. Tatsächlich entsteht neuer Verkehr momentan schneller als die Wirtschaftsleistung des Landes steigt<sup>1</sup>. Es wird also mit mehr Verkehr die gleiche Wirtschaftskraft erzeugt; die *Verkehrsdichte* nimmt zu. Es ist daher gerade jetzt essentiell, korrekte politische Entscheidungen zu treffen, um die Belastung der Gesellschaft durch den Verkehr so gering wie möglich zu halten.

Ziel der EU-Kommission ist es, bis 2020 den Verkehrsträgern Straße und Schiene die durch sie verursachten externen Kosten vollständig anzulasten. Zudem soll die Erhebung von Internalisierungsgebühren in der Binnenschifffahrt geprüft werden. (EU-Kommission, 2011 S. 34)

Diese Arbeit soll ergründen, wie der Güterverkehrsmarkt auf eine Umsetzung dieser Internalisierung reagieren würde, welche Probleme zu erwarten sind und welche Chancen sich ergeben.

---

<sup>1</sup> Zwischen 1999 und 2011 stieg die Gesamtverkehrsleistung in Deutschland um 32 %, während das Bruttoinlandsprodukt nur um 117 % wuchs (Statistisches Bundesamt, 2013 S. 13).

## 1.2 Aufgabenstellung

Die Umsetzung einer nahezu vollständigen Internalisierung externer Kosten des Verkehrs zur Herstellung der angenäherten Kostenwahrheit im Verkehrswesen ist aufgrund ihrer gesellschaftlichen Vorteile ein langfristiges politisches Ziel. In der Diplomarbeit ist zu untersuchen, welche externen Kosten im Güterverkehr in Deutschland momentan anfallen und mit welchen Maßnahmen die externen Kosten des Güterverkehrs bisher reduziert werden können. Darauf aufbauend sind mögliche Internalisierungsmaßnahmen aus bekannten Studien in ihrer Wirksamkeit und Umsetzbarkeit zu vergleichen und zielführende Maßnahmen zur weiteren Betrachtung auszuwählen.

Unter Annahme der Umsetzung dieser Maßnahmen sind sodann angelehnt an bekannte Schätzungen und Preiselastizitäten im Güterverkehr, mögliche Marktreaktionen zusammenzustellen. Gegebenenfalls sind hierzu Aussagen von Praktikern bzw. Unternehmen beizuholen. Aus diesen Marktreaktionen sind sodann zum ersten Chancen und Risiken für die Privatwirtschaft abzuleiten und zum zweiten eventuelle Auswirkungen durch diese auf die Volkswirtschaft zu betrachten. Schlussendlich sind begleitende Empfehlungen an die Gesetzgebung und für weitere Forschungsbemühungen zu formulieren, die helfen sollen, Risiken abzdämpfen und Chancen zu nutzen. Wie immer ist eine SWOT-Analyse durchzuführen und zusammenfassende Schlussfolgerungen sind zu formulieren.

## 1.3 Methodik

Die Arbeit basiert auf einer umfangreichen Literaturschau zu den Themengebieten:

- Ausgangslage: Darstellung der aktuellen Marktsituation im Güterverkehr
- Externe Kosten: Erhebung quantifizierter Kosten von Externalitäten
- Interne Kosten: Bestehende Kostenfaktoren der Verkehrsträger
- Internalisierungsmaßnahmen: Auswahl geeigneter Internalisierungsinstrumente
- Verkehrsprognose: Betrachtung bekannter Studien zur Erstellung einer Verkehrsprognose

Ausgehend von der Literaturliste in einer vorangegangenen wissenschaftlichen Arbeit (Flamm, 2013) wurde eine größtenteils digitale Recherche anhand der Verweise in der bereits gefundenen Literatur betrieben, die im Falle fehlender digitaler Quellen durch den Bestand der *Sächsischen Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden* ergänzt wurde.

---

Aufgrund der gefundenen Erkenntnisse wird das weitere Vorgehen wie folgt festgelegt:

- Ergänzung der externen Kosten aus Studien um eine gesamtheitliche Einnahmen-Ausgaben-Rechnung des Verkehrs in Deutschland
- Systematische Bewertung und Auswahl der gefundenen Internalisierungsmaßnahmen
- Untersuchung verschiedener Güter auf ihre spezifische Marktreaktion
- Einteilung der Güterarten nach NST2007 (Statistisches Bundesamt, 2008)
- Unterscheidung der Güter nach ihren Eigenschaften, ihrer Wertigkeit und ihrer mittleren Transportweite
- Erstellung eines Berechnungsmodells zur Abschätzung der resultierenden Marktreaktionen anhand von allgemeinen wirtschaftlichen Zusammenhängen (insbesondere Preiselastizitäten)
- Auswertung der Ergebnisse sowohl wirtschaftlich als auch gesellschaftlich

Abschließend sind die Erkenntnisse dieser Arbeit in Schlussfolgerungen zusammengefasst.

## 1.4 Abgrenzungen

### 1.4.1 Untersuchungsraum

Der Untersuchungsraum dieser Arbeit ist eingeschränkt auf:

- den Landgüterverkehr (Straße, Schiene, Binnenschifffahrt),
- in der Bundesrepublik Deutschland,
- mit statistischen Daten aus den Jahren 2010 bis 2016 sowie Studien zu externen Kosten aus den Jahren 2004 bis 2011.

### 1.4.2 Internalisierungsrelevante externe Effekte

Es werden externe Effekte der Kategorien:

- Unfälle (Reproduktionskosten und Arbeitskraftausfälle)
- Lärm
- Luftverschmutzung (Abgase und Feinstaub)
- Klimakosten (durch Emissionen klimawirksamer Gase)
- Natur und Landschaft (Zerschneidung natürlicher Lebensräume)
- Vor- und Nachgelagerte Prozesse (Produktion und Entsorgung)
- Zusatzkosten in städtischen Räumen (Zerschneidung sozialer Lebensräume)
- Biodiversität
- Erd- und Wasserverschmutzung

betrachtet.

Externe Effekte aus Stauungen werden zwar auch diskutiert, aber nicht in die Berechnung externer Kosten aufgenommen, da sie größtenteils von den Nutzern eines Verkehrsmittels durch Zeitverluste selbst getragen werden. Sie können aber eine wirtschaftlich relevante Größe erreichen, weshalb sie im Rahmen von Infrastrukturgebühren zur Auslastungssteuerung getrennt untersucht werden sollten.

Es werden sowohl durchschnittliche als auch marginale externe Kosten betrachtet. Für die Modellrechnung werden aber ausschließlich durchschnittliche Werte angenommen, da eine ausreichend detailreiche Modellierung der nach Zeit und Ort (und weiteren Faktoren) variablen marginalen Kosten den Umfang dieser Arbeit bei weitem übersteigen würde. Qualitative Empfehlungen zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Auswirkungen von externen Effekten werden gegeben.

## 2 Beschreibung der Ausgangslage

### 2.1 Externe Kosten des Güterverkehrs in Deutschland

Im folgenden Kapitel werden ein Überblick über die Fragestellungen der Ermittlung externer Kosten gegeben sowie die Ergebnisse mehrerer Studien als Grundlage für die weitere Diskussion zusammengefasst und bewertet.

Externe Kosten sind keine messbare oder zweifelsfrei quantifizierbare Größe, sondern „*in Geld bewertete externe Effekte, welche eine ineffiziente Allokation der gesellschaftlichen Produktionsfaktoren zur Folge haben. Unter dem Begriff externe Effekte versteht man wiederum die Auswirkungen wirtschaftlicher Aktivitäten (Produktion, Konsum) auf Andere, ohne dass sich diese Folgen in Preisen der Aktivitäten niederschlagen. Es handelt sich also um Nutzenverluste bei Anderen, die vom Verursacher nicht in seiner Kostenkalkulation berücksichtigt werden*“ (Puls, 2008).

Ungedekte externe Effekte führen also zu einer suboptimalen Entscheidungsfindung und damit zu einem Ressourcenverbrauch – auch Verkehr ist eine knappe Ressource –, der bei wahren Preisen nicht auftreten würde. Es entsteht gesellschaftlicher Schaden. Ziel der marktwirtschaftlichen Theorie ist daher ein Gleichgewicht, in dem keine Person „seine Bedürfnisbefriedigung verbessern kann, ohne die Wohlfahrt einer anderen zu gefährden“ (LMU München, 2006), das sogenannte *Pareto-Optimum* (siehe Abb. 2.1). Es wird definiert als Schnittpunkt der sozialen Grenzkosten- und der Nachfragekurve und stellt eine maximale Gesamtwohlfahrt her<sup>2</sup>.

Grenzkosten oder *marginale Kosten* bezeichnen in der Wirtschaftslehre jene Kosten, die durch die Produktion einer zusätzlichen Mengeneinheit eines Produktes entstehen. Auf den Verkehr übertragen, sind dies die Kosten, die durch die Erbringung einer zusätzlichen Verkehrsleistung entstehen. Unterschieden wird hierbei zwischen den Kosten, die der Gesellschaft anfallen, den sozialen Grenzkosten des Verkehrs, und den Kosten, die der Verkehrsverursacher zahlt, den privaten Grenzkosten.

Sobald sich die privaten Grenzkosten von den sozialen Grenzkosten unterscheiden, ist der optimale Zustand nicht zu erreichen. Der Unterschied zwischen sozialen und privaten Grenzkosten wird hierbei als *externe Grenzkosten* definiert (Maibach, et al., 2008 S. 11). Aus diesen theoretischen Überlegungen leitet sich das praktische Ziel ab, durch Anlastung der externen Grenzkosten dem *Pareto-Optimum* zumindest nahe zu kommen.

---

<sup>2</sup> Die Definition des Pareto-Optimums im Verkehrswesen weicht insofern von der reinen Wirtschaftstheorie ab, als dass dort jeder Zustand, in dem alle verfügbaren Ressourcen genutzt werden, ein Pareto-Optimum darstellt. Im Verkehrswesen ist dagegen nur jenes dieser Optima gemeint, dass bei minimalen gesellschaftlichen Kosten eine maximale Gesamtwohlfahrt herstellt.



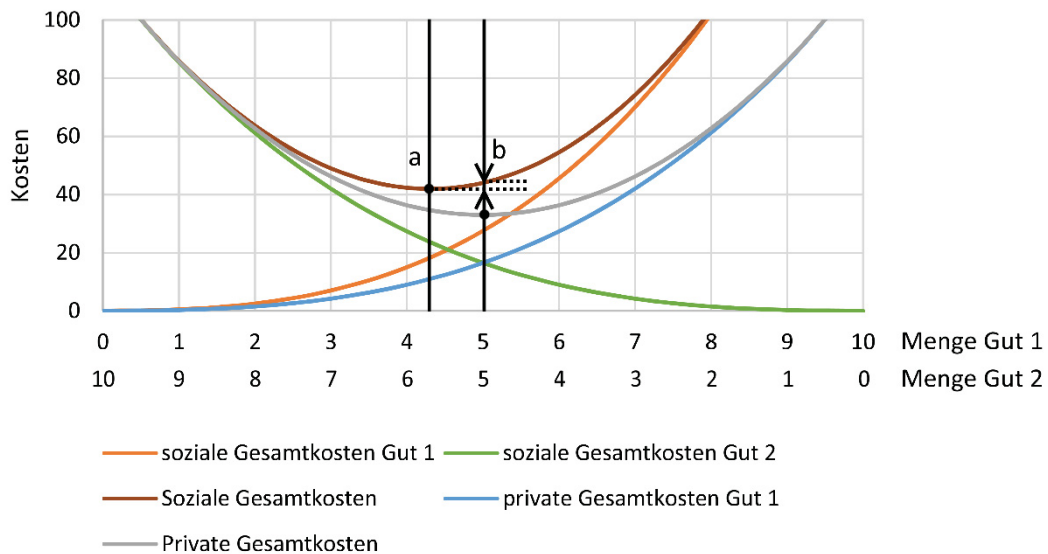


Abb. 2.1: Das Pareto-Optimum

Annahmen: maximal produzierbare Menge der Güter 1 und 2 summiert 10 Einheiten, soziale Grenzkosten von Gut 1 höher als jene von Gut 2, private Grenzkosten von Gut 1 niedriger als die sozialen, private Grenzkosten von Gut 2 gleich den sozialen.

(a) stellt das soziale Optimum dar, (b) das private. Allerdings verursacht der im freien Markt eingestellte Zustand (b) höhere soziale Gesamtkosten bei gleicher produzierter Gesamtmenge.

Während externe Effekte qualitativ bereits vielfach beschrieben wurden und ein wissenschaftlicher Konsens über ihre Existenz besteht, ist die quantitative Bestimmung der Höhe der aus ihnen abgeleiteten externen Kosten allerdings einer starken Diskussion unterworfen. Hierbei geht es sowohl um die Frage, welchen Geldwert Nutzenverluste wie beispielsweise eine gesenkte Lebensqualität durch Lärm oder durch Verkehrsinfrastruktur zerschnittene Stadtviertel haben, als auch darum, welche der bestehenden Abgaben zur Erbringung einer Transportleistung bereits als Internalisierung externer Effekte angesehen werden und welche lediglich den Marktpreis einer für den Transport nötigen Ressource widerspiegeln. Da in der Realität nur die Auswirkungen der momentan realisierten Verkehrsmenge beobachtet werden können, ist eine Bestimmung der tatsächlichen Grenzkostenhöhe bei der Verkehrsmenge im *Pareto-Optimum* nicht exakt möglich. Zahlreiche Studien haben sich aber bereits mit einer fundierten Abschätzung beschäftigt.

Auf der Grundlage mehrerer bekannter Studien und eigener Überlegungen sollen daher in dieser Arbeit angenäherte, aber keineswegs als Fakt anzusehende Werte erarbeitet werden, die als Grundlage der Untersuchung möglicher Marktauswirkungen einer vollständigen Internalisierung dienen können.

### 2.1.1 Untersuchte Quellen und Methodik

Die detaillierte Methodik zur Berechnung externer Kosten wird in (Maibach, et al., 2008) beziehungsweise, mit aktuelleren Zahlenwerten, in (Ricardo AEA, 2014) beschrieben und ist nicht Thema dieser Arbeit. Stattdessen werden Studien renommierter Forschungsinstitute miteinander verglichen und mit den verfügbaren Zahlen zu Einnahmen durch und Ausgaben für das Verkehrswesen in Deutschland in Verbindung gebracht.

Zur Ermittlung der als Datenbasis genutzten Zahlen wird in drei Schritten vorgegangen:

- Zusammenstellung und Vergleich der Angaben aus (Schreyer, et al., 2004), (Schreyer, et al., 2007) und (van Essen, et al., 2011), welche externe Kosten der Jahre 2000, 2005 und 2008 erfasst haben. Berechnung angepasster Mittelwerte.
- Ansatzweise Aufstellung der Einnahmen und Ausgaben von Bund, Ländern und Kommunen in Deutschland bezüglich des Verkehrswesens und Bildung einer Kostenbilanz je Verkehrsträger.
- Anpassung der berechneten Mittelwerte auf eine der fehlenden Kostendeckung entsprechende Gesamtsumme.

Ein Überblick über die Randbedingungen der drei Ausgangsstudien ist in Tabelle 1 gegeben.

Tabelle 1: Rahmenbedingungen der untersuchten Studien zu externen Kosten

Studie	(Schreyer, et al., 2004)	(Schreyer, et al., 2007)	(van Essen, et al., 2011)
Auftraggeber	Union internationale des chemins de fer, UIC	Allianz pro Schiene	Union internationale des chemins de fer, UIC
Bearbeiter	INFRAS/IWW	INFRAS	CE Delft
Betrachtungsbereich	EU-17 + Norwegen, Schweiz	Deutschland	EU-27 + Norwegen, Schweiz – Malta, Zypern
Bezugsjahr	2000	2005	2008

Da die Quellen unterschiedliche Bezugsjahre betrachten, werden alle Werte inflationsbereinigt auf das Jahr 2014 umgerechnet<sup>3</sup>. Angaben stammen aus dem allgemeinen Verbraucherpreisindex (Statistisches Bundesamt, 2016e), da sich externe Kosten keiner Kostenkategorie eindeutig zuordnen lassen.

<sup>3</sup> Alle weiteren Berechnungen erfolgen mit Statistikdaten aus dem Jahr 2014 und Haushaltsdaten des Jahres 2015. Eine Normierung auf das Jahr 2014 erscheint daher sinnvoll, auch wenn keine genauen Daten zur weiteren Entwicklung der externen Kosten vorliegen.

Die Werte je Kostenkategorie aus (Schreyer, et al., 2004) und (van Essen, et al., 2011) werden entsprechend der jeweils genannten Daten zu den gesamten externen Kosten im Betrachtungsraum und in Deutschland auf nationale Werte umgerechnet.

Die Angaben der Studien sind jeweils in vier bzw. fünf Verkehrsmittel unterteilt:

- Lieferwagen bzw. *Light-duty vehicles* (LDV), Gesamtmasse bis 3,855 t
- Lastkraftwagen (Lkw) bzw. *Heavy-duty vehicles* (HDV)
- Schienengüterverkehr
- Luftfrachtverkehr (nicht in (van Essen, et al., 2011))
- Binnenschifffahrt

In (van Essen, et al., 2011) werden jeweils zwei Werte in der Kategorie Klimakosten angegeben: Zum einen ein anhand einer hohen Schätzung der Vermeidungskosten einer Tonne CO<sub>2</sub> berechneter und einer anhand einer niedrigen Schätzung. Schadenskosten können im Falle der Klimakosten kaum ermittelt werden, da langfristige katastrophale Auswirkungen ebenso möglich sind wie sehr geringe. Daher wird auf Vermeidungskosten zurückgegriffen, welche wiederum sehr von aktuellen Marktbedingungen, insbesondere dem Ölpreis, abhängen, und daher stark schwanken (van Essen, et al., 2011 S. 48). In dieser Arbeit wird ein in derselben Studie genannter mittlerer Wert genutzt, um vermutlich annähernd realistische mittlere Klimakosten zu erhalten.

Tabelle 2: Vermeidungskosten je Tonne CO<sub>2</sub> nach unterschiedlichen Berechnungen, genannt in (van Essen, et al., 2011)  
EU GHG: EU greenhouse gas reduction target for 2020.

Annahme	Vermeidungskosten	Quelle
Hoch	146 EUR/t CO <sub>2</sub>	(Kuik, et al., 2009)
Mittel	78 EUR/t CO <sub>2</sub>	(Kuik, et al., 2009)
Niedrig	25 EUR/t CO <sub>2</sub>	EU GHG

Wie in Tabelle 2 dargestellt, ergeben sich sehr große Differenzen zwischen hohen und niedrigen Schätzungen.

Zunächst werden sowohl die summierten als auch die durchschnittlichen erhobenen externen Kosten verglichen und anhand der Median- und Mittelwerte stark abweichende Werte identifiziert. Ein beispielhafter Ausschnitt der Tabelle ist in Tabelle 3 zu sehen, wobei die abweichenden Werte kursiv markiert sind. Sie resultieren aus unterschiedlichen Annahmen und Methoden zur Berechnung der externen Kosten und sollen im Folgenden rechnerisch abgemildert werden.

Tabelle 3: Ausgangswerte (inflationsbereinigt auf 2014) der untersuchten Studien für durchschnittliche externe Kosten  
 Stark abweichende Werte sind kursiv markiert; die Spalte „Aggregiert“ gibt die Referenzwerte an. Werte in [EUR/1000 tkm].

Kostenkategorie	(Schreyer, et al., 2004)	(Schreyer, et al., 2007)	(van Essen, et al., 2011)	Aggregiert
Unfälle	7,5	6,0	12,4	8,1
Lärm	8,2	8,9	1,9	7,3
Luftverschmutzung	44,6	7,6	6,6	13,6
Klimakosten	11,2	6,6	7,9	8,2
Natur und Landschaft	3,0	1,8	0,6	1,8
Vor- und nachgelagerte Prozesse	9,3	3,5	3,2	4,4
Zusatzkosten in städtischen Räumen	1,5	0,7	0,6	0,8
Biodiversität	-	-	0,4	0,4
Erd- und Wasserverschmutzung	-	-	0,7	0,7
Summe	85,3	35,0	34,4	45,4

Es fällt insbesondere der sehr hohe Wert für die externen Kosten aus der Luftverschmutzung in (Schreyer, et al., 2004) auf, der mehr als die Hälfte der gesamten externen Kosten ausmacht. Dies liegt in der abweichenden Methodik begründet: Im Gegensatz zu den beiden anderen Studien werden *top-down* alle im Betrachtungsraum entstandenen Schäden (z.B. Atemwegserkrankungen) erfasst und dem Verkehr anteilig seiner Emissionen zugeschrieben. Es wird nicht untersucht, welcher Anteil der Schäden überhaupt durch menschgemachte Emissionen verursacht wird und auch keine Differenzierung in die Auswirkungen der spezifischen Emissionsgruppen vorgenommen. Dagegen wenden die beiden jüngeren Studien den *bottom-up*-Ansatz an, der die Auswirkungen je Schadstoffausstoß quantifiziert und in konkrete verursachte Schadenskosten umrechnet. Die hierfür notwendigen Daten lagen 2004 noch nicht vor.

Als resultierende Referenzgröße wird daher der Mittelwert aus Median und Mittelwert der externen Kosten gewählt, wodurch der Einfluss der abseits liegenden Werte verringert wird, ohne Werte komplett von der Untersuchung auszunehmen. Alle Einzelwerte der drei Studien werden entsprechend angehoben/abgesenkt, um je Kategorie in der Summe den Referenzwert zu erreichen, und schließlich der Mittelwert aus den resultierenden drei Werten gebildet. Somit bleiben die Relationen zwischen den Werten der einzelnen Verkehrsmittel erhalten.

Das Vorgehen ist in Formel 1 dargestellt:

$$K_{\text{ext,ref}} = \frac{\text{Md}(K_{\text{ext}}) + \overline{K_{\text{ext}}}}{2} \text{ in [EUR]} \quad \text{Formel 1}$$

mit  $K_{\text{ext}}$  = externe Kosten,  $Md$  = Median,  $\overline{K}$  = Mittelwert.

Nachdem somit eine vergleichbare Datengrundlage der monetär quantifizierten externen Effekte vorliegt, ist eine Gegenrechnung mit den Einnahmen aus dem Verkehr unumgänglich, um eine belastbare Diskussion über die gerechte Belastung der Verkehrsträger zu ermöglichen.

Hierzu werden aus den öffentlich verfügbaren Haushaltszahlen des Bundes (Bundesministerium der Finanzen, 2016a) sowie aus Zahlen des Statistischen Bundesamts (Statistisches Bundesamt, 2015a S. 259) Ausgaben für den Verkehr erfasst und anteilig dem Güterverkehr angerechnet. Ebenso werden Einnahmen aus Steuern und Infrastrukturabgaben erfasst. Hierbei ist explizit zwischen Steuern und Gebühren zu unterscheiden: Während Gebühren nur gegen eine erbrachte Leistung erhoben werden (*Äquivalenzprinzip*) und somit vollständig gegen externe Kosten aufgerechnet werden können, sind Steuern generell nicht zweckgebunden. Es gilt daher im Allgemeinen das *Non-Affektationsprinzip*, nach dem „alle Einnahmen [...] als Deckungsmittel für alle Ausgaben [dienen]“ (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2015a S. 2, §8) und somit durch eine Steuerzahlung kein individueller Anspruch auf eine konkrete Gegenleistung entsteht (Hirte, 2008 S. 8). Eine Zweckbindung ist nur in begründeten Ausnahmefällen möglich.

Insbesondere im Fall der Besteuerung von Kraftstoffen (Mineralöl- und Ökosteuer) kann aber ein klarer Zusammenhang zwischen der Steuer und dem staatlichen Wunsch, externe Kosten abzufangen, hergestellt werden. Somit sind diese Steuern zumindest teilweise auf die externen Kosten anrechenbar. (Hirte, 2008) liefert hierzu Werte für die Anrechenbarkeit von Einnahmen im Straßenverkehr als Internalisierungskosten. Im Schienenverkehr wird die Bilanz der *DB Netz AG* als Ansatz genommen, um nur tatsächliche Überschüsse aus dem Infrastrukturbetrieb zu berücksichtigen, die in Form einer Dividendenzahlung wieder in den Staatshaushalt fließen. Weitere Werte werden erneut aus dem öffentlichen Haushalt (Bundesministerium der Finanzen, 2016a) bezogen.

Zur Berechnung des Anteils des Güterverkehrs an den Einnahmen und Ausgaben werden zunächst die Fahrzeug- bzw. Trassenkilometer aus (van Essen, et al., 2011) und (DB Netz AG, 2015b) ermittelt und deren Anteil an der Gesamtfahrleistung zur Berechnung der Einnahmeverteilung herangezogen. Bei den Ausgaben wird im Straßenverkehr zwischen Straßenbau und sonstigen Ausgaben unterschieden, da die Abnutzung der Straßeninfrastruktur exponentiell mit der Achslast der Fahrzeuge steigt. Die resultierenden Kostenanteile sind in Abb. B2 in Anhang B zu finden.

Die Formeln zur Berechnung des Kostenanteils am Straßenbau sind:

$$Fzgkm_{vm}^* = Fzgkm_{vm} * \left( \frac{m_{A,vm}^4}{m_{A,max}^4} + 0,5 \right) \text{ in [Fzgkm]} \quad \text{Formel 2}$$

$$k_{\text{Straßenbau}} = \frac{Fzgkm_{vm}^*}{\sum Fzgkm^*} \quad \text{Formel 3}$$

mit  $Fzgkm^*$  = Fzgkm modifiziert,  $m_{A,vm}$  = Achslast des Verkehrsmittels,  $m_{A,max}$  = maximale Achslast,  $k_{\text{Straßenbau}}$  = Faktor für Ausgaben für den Straßenbau (dimensionslos).

Zusätzlich zu den hierdurch ermittelten Werten zur staatlichen Kostenbilanz der Verkehrsträger werden die, wie oben erläutert, auf einen Referenzwert gemittelten externen Kosten einberechnet. Es ergibt sich eine gesamtheitliche Kostenbilanz je Verkehrsträger. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Kostenbilanzen der Verkehrsträger nach gesamtheitlicher Einnahmen/Ausgaben-Rechnung

Verkehrsträger	LDV	HDV	Güterzug	Binnenschiff
Einnahmen [Mrd. EUR/a]	3,79	6,32	0,09	0,08
Ausgaben [Mrd. EUR/a]	1,49	2,18	0,94	1,14
Externe Kosten [Mrd. EUR/a]	7,44	21,00	1,44	0,94
<b>Kostenbilanz [Mrd. EUR/a]</b>	<b>-5,13</b>	<b>-16,86</b>	<b>-2,29</b>	<b>-2,00</b>
Verkehrsleistung [Mrd. tkm/a]	57,7	404,8	112,6	59,1
<b>Kostenbilanz [EUR/1000 tkm]</b>	<b>-89,0</b>	<b>-41,6</b>	<b>-20,3</b>	<b>-33,8</b>

In Anhang B ist die vollständige Rechnung dokumentiert. Die berechneten Werte stimmen, unter Berücksichtigung der höheren angenommenen externen Kosten, einigermaßen mit Zahlen des Umweltbundesamts aus dem Jahr 2012 überein (Umweltbundesamt, 2012 S. 64). Es ist festzuhalten, dass keiner der Verkehrsträger seine Kosten vollständig trägt.

Zuletzt werden die im ersten Schritt erhaltenen durchschnittlichen externen Kosten so modifiziert, dass sie in Summe der berechneten Kostenbilanz der Verkehrsträger entsprechen. Das Resultat sind Werte, die die Ergebnisse der untersuchten Studien hinsichtlich der Relation der verschiedenen externen Kostenpunkte beinhalten und gleichzeitig eine Überbelastung der Verkehrsteilnehmer verhindern, da, rechnerisch angenähert, die tatsächliche Einnahmen- und Ausgabenbilanz berücksichtigt wird. Eine Übersicht der resultierenden externen Kosten ist in Tabelle H2 in Anhang H zu finden.

Angegeben sind in den folgenden Kapiteln jeweils die aus den zugrundeliegenden Studien aggregierten Werte für absolute (nur Gesamtbelastung) und durchschnittliche externe Kosten so-

wie die, wie in diesem Kapitel erläutert, durch Berücksichtigung der gesellschaftlichen Kostenbilanz erhaltenen Zahlen für einen vollständigen Ausgleich der Kostenunterdeckung der Verkehrsträger.

## 2.1.2 Gesamtbelastung der Gesellschaft

Tabelle 5 stellt die Ergebnisse der untersuchten Studien inflationsbereinigt auf Stand 2014 sowie die Berechnungsergebnisse der summierten externen Kosten der Verkehrsträger in Deutschland dar.

Tabelle 5: Gesamte externe Kosten des Güterverkehrs in Deutschland  
Angaben in [Mio. EUR/a].

Verkehrsträger	LDV	HDV	Güterzug	Binnenschiff	Gesamt
(Schreyer, et al., 2004)	7 226	54 019	1 556	1592	64 394
(Schreyer, et al., 2007)	4 696	13 459	1 042	507	19 704
(van Essen, et al., 2011)	9 433	12 877	1 156	711	24 177
Aggregiert	7 437	21 000	1 436	942	30 816
Resultierend	5 133	16 860	2 286	1 999	26 277

Die berechnete resultierende Gesamtsumme entspricht bei einem Bruttoinlandsprodukt von 3032,8 Mrd. EUR (Statistisches Bundesamt, 2016d) etwa 0,9 % der deutschen Wirtschaftsleistung, sowie bei einer Einwohnerzahl von 81,413,145 (Weltbank, 2016) einer Belastung von 323 EUR pro Jahr und Kopf.

Die Zahlen für die durchschnittlichen externen Kosten, ebenfalls inflationsbereinigt, je Verkehrsleistung sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6: Durchschnittliche externe Kosten des Güterverkehrs in Deutschland  
Angaben in [EUR / 1000 tkm].

Verkehrsträger	LDV	HDV	Güterzug	Binnenschiff	Durchschnitt
(Schreyer, et al., 2004)	307,5	90,7	22,9	21,2	85,3
(Schreyer, et al., 2007)	367,0	34,3	10,9	8,1	35,0
(van Essen, et al., 2011)	160,2	31,7	9,4	9,0	34,4
Aggregiert	281,5	44,5	14,2	12,3	45,4
Resultierend	89,0	41,7	20,3	33,8	-

### 2.1.3 Externe Kosten des Straßenverkehrs

Als Straßenverkehrsmittel werden in der dieser Arbeit Kleinlastler (LDV), Lkw (HDV) sowie Gigaliner (gleiche Werte wie HDV) geführt.

Die Ergebnisse der Berechnung der externen Kosten sind in Tabelle 7 und Tabelle 8 aufgeführt. Die Werte sind inflationsbereinigt auf Stand 2014.

Tabelle 7: Durchschnittliche externe Kosten von Kleinlastern (LDV) in Deutschland  
Angaben in [EUR / 1000 tkm].

Datengrundlage	(Schreyer, et al., 2004)	(Schreyer, et al., 2007)	(van Essen, et al., 2011)	Aggregiert	Resultierend
Unfälle	47,7	112,4	69,5	82,7	26,2
Lärm	44,2	83,6	7,8	45,6	14,4
Luftverschmutzung	118,4	58,3	22,1	62,0	19,6
Klimakosten	44,7	57,2	38,8	48,4	15,3
Natur und Landschaft	14,9	18,1	1,1	10,2	3,2
Vor- und Nachgelagerte Prozesse	30,5	27,1	14,0	22,7	7,2
Zusatzkosten in städtischen Räumen	7,1	10,5	3,8	7,0	2,2
Biodiversität	-	-	0,7	0,7	0,2
Erd- und Wasserverschmutzung	-	-	2,2	2,2	0,7
<b>SUMME</b>	<b>307,5</b>	<b>367,0</b>	<b>160,2</b>	<b>281,5</b>	<b>89,0</b>

Es ist zu erkennen, dass die resultierenden externen Kosten weit unter den Werten der Studien liegen. Der Verkehr mit Lieferwagen deckt also einen höheren Anteil seiner Kosten als es in der getrennten Betrachtung der externen Kosten angenommen wird.

In (Schreyer, et al., 2007) wird, da die Studie explizit auf Deutschland bezogen ist, nicht die internationale Einteilung in LDV und HDV vorgenommen, sondern zwischen Lieferwagen (Gesamtmasse bis 3,5 t) und Lkw unterschieden. Durch die geringere durchschnittliche Zuladung ergeben sich höhere Werte je Tonnenkilometer.

Auch der HDV deckt seine monetarisierbaren Kosten selbst, so dass ein leicht verringerter Wert für die resultierenden externen Kosten bestimmt wird.



Tabelle 8: Durchschnittliche externe Kosten von Lkw (HDV) in Deutschland  
Angaben in [EUR / 1000 tkm].

Datengrundlage	(Schreyer, et al., 2004)	(Schreyer, et al., 2007)	(van Essen, et al., 2011)	Aggregiert	Resultierend
Unfälle	6,6	5,0	10,6	6,9	6,5
Lärm	6,8	9,1	1,9	6,8	6,4
Luftverschmutzung	52,8	7,8	7,0	14,8	13,9
Klimakosten	10,1	7,1	7,2	8,0	7,5
Natur und Landschaft	2,8	1,8	0,7	2,0	1,8
Vor- und Nachgelagerte Prozesse	10,2	3,1	2,4	4,0	3,8
Zusatzkosten in städtischen Räumen	1,5	0,3	0,5	0,6	0,6
Biodiversität	-	-	0,5	0,5	0,5
Erd- und Wasserver- schmutzung	-	-	0,8	0,8	0,8
<b>SUMME</b>	<b>90,7</b>	<b>34,3</b>	<b>31,7</b>	<b>44,5</b>	<b>41,7</b>

#### 2.1.4 Externe Kosten des Schienenverkehrs

Als Schienenverkehrsmittel werden in dieser Arbeit Güterzüge (Einzelwagenverkehr oder Ganzzüge), begleiteter kombinierter Verkehr („Rollende Landstraße“) sowie unbegleiteter kombinierter Verkehr (KV) geführt. Mangels genauerer Angaben werden für alle drei Verkehrsmittel dieselben externen Kosten angenommen.

Die betrachteten Zahlen sind in Tabelle 9 auf der folgenden Seite aufgelistet. Die Werte sind inflationsbereinigt auf Stand 2014.

Der Schienengüterverkehr deckt im Unterschied zum Straßenverkehr seine direkt monetarisierbaren Kosten nicht, weshalb die Gesamtsumme der externen Kosten über den Werten der aus den externen Effekten resultierenden Kosten liegt.

#### 2.1.5 Externe Kosten der Binnenschifffahrt

Als Binnenschifffahrt werden in dieser Arbeit Binnenschiffe (Massengutverkehr) sowie Containerschiffe (KV-Schiff) geführt. Mangels genauerer Angaben werden für beide Verkehrsmittel dieselben externen Kosten angenommen.

Tabelle 10 stellt die erhaltenen Werte für die weitere Untersuchung dar. Die Werte sind inflationsbereinigt auf Stand 2014.

Tabelle 9: Durchschnittliche externe Kosten des Schienengüterverkehrs in Deutschland  
Angaben in [EUR / 1000 tkm].

Datengrundlage	(Schreyer, et al., 2004)	(Schreyer, et al., 2007)	(van Essen, et al., 2011)	Aggregiert	Resultierend
Unfälle	0,0	0,1	0,3	0,1	0,2
Lärm	4,4	3,8	1,4	4,1	5,9
Luftverschmutzung	11,5	2,2	1,5	3,5	5,1
Klimakosten	2,6	0,5	0,9	1,1	1,6
Natur und Landschaft	0,4	0,1	0,0	0,1	0,2
Vor- und Nachgelagerte Prozesse	3,3	3,5	4,6	4,1	5,9
Zusatzkosten in städtischen Räumen	0,7	0,8	0,1	0,5	0,7
Biodiversität	-	-	0,0	-	-
Erd- und Wasserverschmutzung	-	-	0,6	0,6	0,8
SUMME	22,9	10,9	9,4	14,2	20,3

Tabelle 10: Durchschnittliche externe Kosten der Güterbinnenschifffahrt in Deutschland  
Angaben in [EUR / 1000 tkm].

Datengrundlage	(Schreyer, et al., 2004)	(Schreyer, et al., 2007)	(van Essen, et al., 2011)	Aggregiert	Resultierend
Unfälle	0,0	-	0,0	-	-
Lärm	0,0	0,0	0,0	-	-
Luftverschmutzung	14,5	4,3	4,9	7,4	20,3
Klimakosten	2,5	2,5	2,3	2,5	6,8
Natur und Landschaft	0,8	0,7	0,4	0,8	2,2
Vor- und Nachgelagerte Prozesse	3,4	0,6	1,0	1,2	3,3
Zusatzkosten in städtischen Räumen	0,0	0,0	0,0	-	-
Biodiversität	-	-	0,5	0,5	1,3
Erd- und Wasserverschmutzung	-	-	0,0	-	-
SUMME	21,2	8,1	9,0	12,3	33,8

Für die Binnenschifffahrt gilt in hohem Maße, was bereits für den Schienengüterverkehr angemerkt wurde: Auch sie deckt ihre quantifizierten Kosten momentan nicht, weshalb die gesamten externen Kosten mit knapp dem dreifachen Wert der aus den drei Studien gewonnenen Kosten angesetzt werden.

### 2.1.6 Marginale externe Kosten

Während die bisher genannten externen Kosten Durchschnittswerte sind, bei denen jeder Tonnenkilometer eines Verkehrsmittels gleich belastet wird, werden als Grenz- bzw. marginale externe Kosten die Kosten bezeichnet, die ein Verkehrsmittel im Moment der Fahrt erzeugt (siehe auch Kapitel 2.1). Diese hängen jedoch immer von den aktuellen Umständen der Fahrt ab, so beispielsweise von:

- Siedlungsnähe der Fahrt
- Tageszeit
- Auslastung der Infrastruktur
- Umgebender Lärmpegel
- Zustand des Verkehrswegs

Eine exakte Bestimmung müsste daher immer je Fahrt erfolgen, weshalb auch hier nur Durchschnittswerte genannt werden können. (van Essen, et al., 2011) nennt z.B. nach der Siedlungsnähe der Fahrten gestaffelte Werte. Sie sind in Tabelle 11 zu finden. Die Zahlen sind durchschnittlich für den gesamten Betrachtungsraum der Studie ermittelt worden und dienen daher nur als grobe Einschätzung der Höhe externer Grenzkosten. Daten für Deutschland liegen nicht vor.

Tabelle 11: Marginale externe Kosten am Tag nach (van Essen, et al., 2011 S. 101) in [EUR/1000 tkm]

Verkehrsmittel	Großstädtisch/ Innenstadt	Städtisch	Ländlich	Ländlich, Schnellstraße
LDV	297	247	111	81
HDV	71	67	29	20
Schienengüterverkehr	9,5 <sup>4</sup>	7,5 <sup>4</sup>	6	-
Binnenschifffahrt	-	-	10	-

Während die Kenntnis der marginalen externen Kosten für verkehrspolitische Entscheidungen sehr wichtig ist, soll in dieser Arbeit auf die zuvor genannten durchschnittlichen externen Kosten als Datengrundlage zurückgegriffen werden. Dies liegt sowohl an der weitaus detaillierteren Datenlage als auch an der angestrebten Betrachtungsgenauigkeit der Arbeit, die eine Unterscheidung nach den Faktoren marginaler externer Kosten nicht erlaubt. Eine Umsetzung der in

<sup>4</sup> Eigene Berechnung analog zu den Werten des Schienenpersonenverkehrs aus der Quelle.

den folgenden Kapiteln genannten Internalisierungsmaßnahmen mit Grenzkosten entsprechender Höhe statt mit festen Gebühren wird uneingeschränkt empfohlen.

### 2.1.7 Bewertung der Ergebnisse

Durch die durchgeführte Berechnung der gesamtgesellschaftlichen externen Kosten und Dank der Berücksichtigung von Zahlen aus drei Studien mit unterschiedlichen Erhebungsmethoden der externen Kosten steht eine begründete Datengrundlage zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung.

### 2.1.8 Prognostizierte Entwicklung der externen Kosten

Die zukünftige Entwicklung der externen Kosten wird sowohl durch das allgemeine Verkehrswachstum als auch durch steigende Auswirkungen externer Effekte<sup>5</sup> beeinflusst. Andererseits ergeben sich auch Verbesserungen durch die Entwicklung neuer, emissionsärmerer Technologien im Verkehrssektor. Beispielhaft seien hier effizientere und schadstoffärmere Verbrennungsmotoren und elektrische Antriebe im Straßenverkehr sowie lärmindernde Bremsbeläge im Schienenverkehr (Deutsche Bahn AG, 2016b) zu nennen.

Eine exakte Berechnung der Entwicklung der externen Kosten ist daher kaum möglich. Abgesehen von der Feststellung, dass durch die prognostizierte starke Steigerung der Güterverkehrsleistung in Deutschland (+38 % bis 2030, (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015b S. 30)) die absoluten externen Kosten weiter zunehmen, obwohl die durchschnittlichen externen Kosten je tkm sinken (z.B. Emissionswerte um 5 bis 18 % bis 2030, (den Boer, et al., 2011 S. 19)). Eine Besserung der Situation ohne äußeren Eingriff ist somit nicht zu erwarten.

In dieser Arbeit wird angesichts der großen Ungenauigkeiten der vorliegenden Prognosen ausschließlich mit den aktuellen Werten der externen Kosten gerechnet.

## 2.2 Vorhandene Instrumente zur Steuerung der Kostenbilanz des Verkehrs

Zur späteren Auswahl geeigneter Internalisierungsmaßnahmen ist es notwendig, bereits bestehende Instrumente zur Steuerung der Kostenbilanz zu benennen und analysieren.

Generell lassen sich diese Kostenfaktoren in zwei Kategorien einteilen: Steuern und Abgaben beziehungsweise Infrastrukturbenutzungsgebühren. Sie unterscheiden sich vor allem in der

---

<sup>5</sup> Sowohl Vermeidungs- als auch Schadenskosten für die Effekte von Treibhausgasemissionen steigen durch die bereits erzeugte Klimaerwärmung stetig an (van Essen, et al., 2011 S. 46/48). Durch die Konzentration der Bevölkerung in Städten (Statista GmbH, 2016c) und den dadurch in der Nähe von Wohngebieten konzentrierten Verkehr steigen die Auswirkungen externer Kosten des Verkehrs auf die Bevölkerung.

Verwendung der generierten Einnahmen, da Infrastrukturbenutzungsgebühren im Gegensatz zu Steuern zweckgebunden eingesetzt werden. Siehe hierzu auch Kapitel 2.1.1.

Die in Deutschland bereits jetzt vorhandenen Steuergrößen für die Kostenbilanz sollen in diesem Kapitel vorgestellt werden.

## 2.2.1 Steuern und Abgaben

### 2.2.1.1 Energiesteuer

Das Energiesteuergesetz regelt, seit es 2006 das Mineralölsteuergesetz abgelöst hat, die Besteuerung u.a. der für das Verkehrswesen relevanten Kraftstoffe Benzin, Diesel, Flüssiggas, Erdgas sowie Heizöl. Durch die EU-Energiesteuerrichtlinie (Der Rat der Europäischen Union, 2003) wird eine europaweit einheitliche Mindesthöhe vorgegeben, über die hinaus nationale Werte bestimmt werden können. Im Rahmen der ökologischen Steuerreform wird seit 1999 das Ziel verfolgt, die Mineralöl- bzw. Energiesteuer nach ökologischen Gesichtspunkten auszurichten und die Einnahmen zur Förderung umweltpolitischer Vorhaben zu nutzen, um eine allmähliche Abkehr von der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zu ermöglichen. Auch wenn sie nicht von Beginn an explizit so genannt wurde, stellt sie doch durch die erreichte Kompensation für durch den Kraftstoffverbrauch verursachte Umweltschäden zumindest teilweise eine Internalisierungsmaßnahme externer Kosten dar. Eine Zweckbindung besteht indes nicht.

Die Energiesteuer beträgt aktuell für Kraftstoffe (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2006):

- Benzin: 64,45 ct/Liter bzw. 7,3 ct/kWh
- Diesel: 47,04 ct/Liter bzw. 4,7 ct/kWh
- Flüssiggas (LPG): 16,60 ct/kg bzw. 1,29 ct/kWh
- Erdgas (CNG): 18,03 ct/kg bzw. 1,39 ct/kWh
- Schweres Heizöl: 13,00 ct/kg bzw. 1,19 ct/kWh

In der Energie- oder Wärmegewinnung genutzte Energieträger werden nach einem anderen Schlüssel besteuert.

Die offensichtliche Subvention von Dieselmotoren relativ zu Benzin ist mit der ehemaligen Aussicht verbunden, Dieselmotoren effizienter und emissionsärmer als Benzinmotoren herstellen zu können. Nachdem kürzlich bekannt wurde, dass ein Großteil der von den Herstellern versprochenen Werte im realen Fahrbetrieb nicht erreicht werden kann (Wittich, 2016), könnte sich bald die Frage stellen, ob diese Förderung noch zeitgemäß ist. Eine Veränderung müsste aber auch hier im europäischen Kontext abgestimmt werden, da insbesondere der Straßengüterverkehr durch seine im Vergleich zum MIV längeren Transportwege gut auf grenznahe Tankstellen im Ausland ausweichen kann, um Preissteigerungen zu umgehen.

Sowohl der Luft- als auch der Schifffahrtsverkehr sind im gewerblichen Bereich komplett von der Energiesteuer befreit. Für die Binnenschifffahrt ist angesichts der in Kapitel 2.1.5 ermittelten Werte zu prüfen, ob diese Subvention tatsächlich einem volkswirtschaftlichen Wunsch entspricht. Falls nicht, so ist sie klar umweltpolitisch zu begründen und in ihren Auswirkungen zu beschreiben.

In ihrer aktuellen Form ergibt sich für die Nutzung der Energiesteuer als Internalisierungsmaßnahme ein langfristiges Problem: Je weiter die erwünschte Umstellung auf alternative Antriebsformen voranschreitet, desto geringer fallen die Einnahmen aus der Energiesteuer aus. Mangels ausreichender weiterer Kostenfaktoren zur Anlastung externer Kosten würde eine mögliche komplette Umstellung des Straßenverkehrs auf elektrische Antriebe eine nahezu vollständige Entlastung von internalisierten Kosten bedeuten, obwohl lediglich die einen Teil der gesamten externen Kosten des Straßenverkehrs ausmachenden Klima- und Luftverschmutzungskosten gesenkt wurden. Eine exakte definitorische Zuordnung der Energiesteuer zu den direkt aus dem Kraftstoffverbrauch resultierenden externen Kosten ist daher notwendig, um eine fehlgeleitete Anreizsetzung zu vermeiden.

### 2.2.1.2 Kfz-Steuer

Bereits seit 1935 existiert die Kraftfahrzeugsteuer zur Besteuerung des Besitzes von nicht schienegebundenen Landfahrzeugen. Sie wird damit begründet, dass auch für ein ruhendes Fahrzeug öffentlicher Raum beansprucht wird und somit gesellschaftliche Kosten entstehen. Seit 2009 wird die Kfz-Steuer vom Bund eingenommen und über den vertikalen Finanzausgleich an Länder und Kommunen verteilt.

Für Lkw ist die Steuerhöhe vorrangig abhängig von der zulässigen Gesamtmasse des Fahrzeugs und in geringerem Maß von der Schadstoff- und Geräuschklasse. Der zweite Faktor fällt allerdings nur bei sehr alten Fahrzeugen ins Gewicht, während auch Fahrzeuge mit durchschnittlichen Abgaswerten noch nahe dem Minimalbetrag liegen. Die Abgabenhöhe schwankt zwischen 170 EUR/Jahr für einen Kleinlaster mit 5 t Maximalgewicht, 550 EUR/Jahr für einen Lkw zwischen 12,5 und 40 t, sowie für einen Laster der Abgasnorm Euro S1, wie sie 2014 noch 0,3 % der Fahrleistung in Deutschland erbrachten (Statista GmbH, 2015 S. 10), 1700 EUR/Jahr (Bundesministerium der Finanzen, 2016b).

Die Kfz-Steuer macht somit im Straßengüterverkehr nur einen vergleichsweise kleinen Teil der Ausgaben aus und dürfte nur eine geringe Lenkungswirkung entfalten. Trotzdem kann sie als klar straßenverkehrsbezogene Abgabe teilweise auf die externen Kosten des Straßenverkehrs angerechnet werden.

Eine stärkere Staffelung nach umweltrelevanten Eigenschaften der Fahrzeuge, wie sie für Pkw bereits praktiziert wird, ist als sinnvoll anzusehen und vergleichsweise einfach umzusetzen.

### 2.2.1.3 Stromsteuer und EEG-Umlage

Auf die Nutzung elektrischer Energie wird seit 1. April 1999 eine Steuer erhoben. Wie die Mineralölsteuer im Rahmen der ökologischen Steuerreform eingeführt, soll die Steuer verbrauchsmindernd wirken und durch ihre Einnahmen gezielte Subventionen umweltfreundlicher Möglichkeiten der Stromgewinnung ermöglichen. Sie beträgt aktuell regulär 2,05 ct/kWh bzw. ermäßigt 1,142 ct/kWh für Bahnstrom und Oberleitungsbusse (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2015b S. 4, §9 Abs. 2). Dies stellt die im europäischen Vergleich mit Abstand höchste Belastung des Schienenverkehrs dar (siehe Abb. H1 in Anhang H). Von der Steuer befreit ist außerdem Strom, welcher aus einem ausschließlich aus erneuerbaren Energieträgern gespeisten Netz entnommen wird (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2015b S. 3, §9 Abs. 1). Bis auf weiteres betrifft dies lediglich die Eigenerzeugung von Strom aus Photovoltaik in Privathaushalten sowie von erneuerbarem Strom auf dem Gelände von Industriebetrieben.

Auf Strom aus dem allgemeinen Stromnetz, der aus erneuerbaren Energien erzeugt wird, wird somit die volle Abgabenlast erhoben. Dies wird zwar im allgemeinen Strommarkt mit den durch die Einnahmen ermöglichten Subventionen für erneuerbare Energieträger überkompensiert, führt aber im intermodalen Wettbewerb im Verkehr zu einer Verschlechterung der Marktsituation elektrischer Verkehrsmittel gegenüber solchen mit vorwiegendem Antrieb durch fossile Brennstoffe und somit zu langfristig erhöhten externen Kosten. Im Sinne einer beschleunigten Umstellung von Verbrennungsmotoren auf elektrische Antriebssysteme wäre es geboten, die Abgabenlast auf Strom aus erneuerbaren Energieträgern im speziellen Fall des Verkehrssektors stark zu reduzieren.

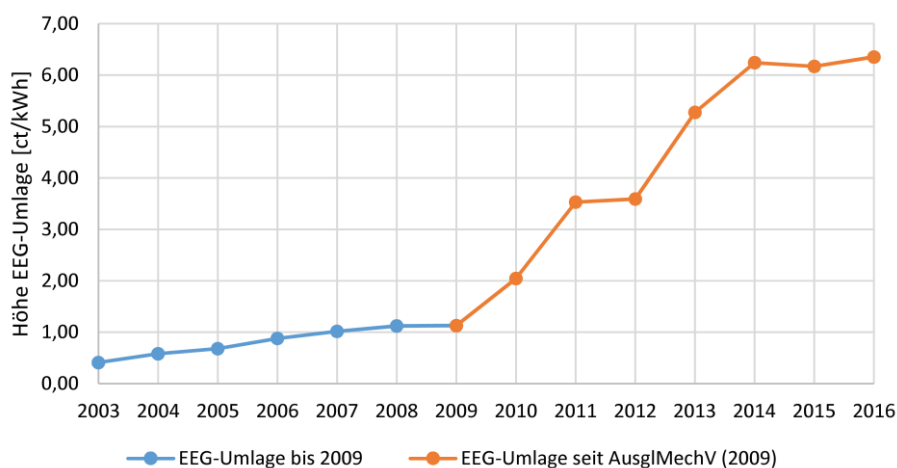


Abb. 2.2: Entwicklung der Höhe der EEG-Umlage von 2003 bis 2016

Gleiches gilt für die EEG-Umlage aus dem Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 1. April 2000, wobei die Situation noch dadurch verschärft wird, dass sich die Höhe der Abgabe seit 2009 mehr als verfünffacht hat, seitdem der Preis aufgrund der *Verordnung zur Weiterentwicklung*

des bundesweiten Ausgleichsmechanismus (AusglMechV) an einer Strombörse ausgehandelt wird. Die Entwicklung in den Jahren 2003 bis 2016 ist in Abb. 2.2 dargestellt.

Zwar wird für Eisenbahnen erneut nur ein reduzierter Betrag für die EEG-Umlage fällig; dessen Berechnungsgrundlage wurde aber 2015 so verändert, dass kleine Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) mit geringem Stromverbrauch minimal entlastet werden, große Unternehmen wie die DB Energie GmbH als größter Einzelverbraucher (auch in der Funktion als Stromlieferant vieler Privat-EVU) dagegen aber einer massiven Mehrbelastung ausgesetzt sind<sup>6</sup>.

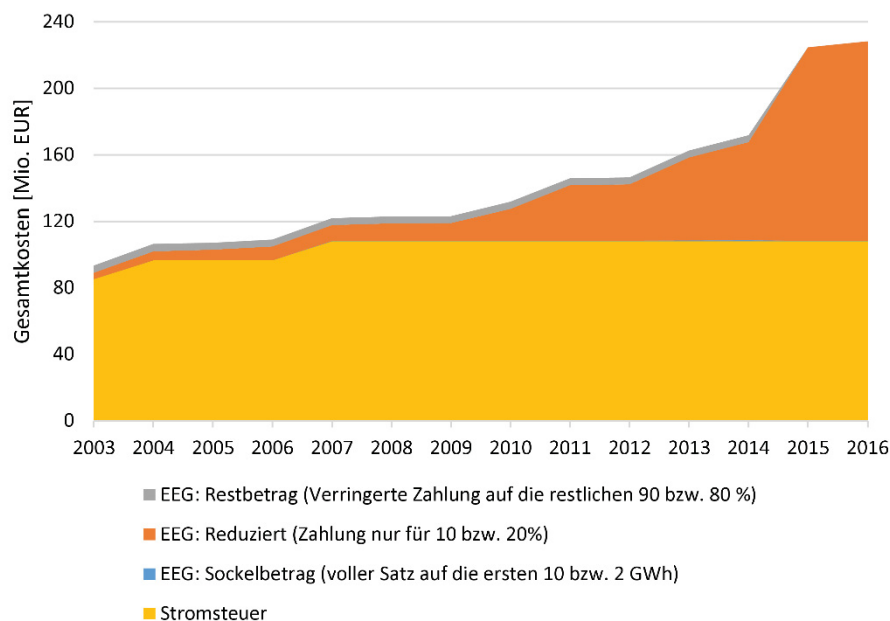


Abb. 2.3: Kosten durch Stromsteuer und EEG-Umlage für DB Energie  
Eigene Berechnung.

Abb. 2.3 wurde aufgrund der Angaben in (DB Energie GmbH, 2014), (Heinrici, 2013) und der Höhe von Stromsteuer und EEG-Umlage berechnet. Gerechnet wurde mit einem konstanten Stromverbrauch von DB Energie von 9455 GWh im Jahr 2013 und wechselnden Berechnungsmethoden der Abgabenlast für den Schienenverkehr.

<sup>6</sup> Seit 2015 zahlen Schienenbahnen für die ersten 2 GWh Stromverbrauch den vollen Satz, danach 20% der EEG-Umlage, statt wie davor (im Rahmen der Härtefallregelung) die ersten 10 GWh Verbrauch regulär und auf den Rest nur 10% (+0,05 ct/kWh für die restlichen 90%). Zwar sind 2 GWh schneller erreicht als 10 GWh; dieser Vorteil wird aber durch die Verdopplung der Belastung auf jede weitere GWh bereits bei mittelgroßen Unternehmen wieder aufgezehrt (z.B. Albtal-Verkehrs-Gesellschaft mbH: 58 GWh/a (tenders electronic daily, 2015), Abgabenbelastung quasi gleichbleibend)



Diese Erhöhung der Kosten trotz einer starken Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger am Stromverbrauch von DB Energie auf 42 % Stand 2015 (Deutsche Bahn AG, 2016a) ist insbesondere vor dem Hintergrund der aktuell niedrigen Erdölpreise zu sehen, die Verbrennungsantriebe zusätzlich vergünstigen.

## 2.2.2 Infrastrukturbenutzungsgebühren

### 2.2.2.1 Straßenmaut

Seit Beginn 2005 wird in Deutschland eine streckenbezogene Straßenbenutzungsgebühr für Lastkraftwagen mit einer zulässigen Gesamtmasse (zGG) über 12 t erhoben. Sie wird von der privaten Toll Collect GmbH über ortsfeste *Mautstellen-Terminals* oder über Bordcomputer, die Daten der Satellitennavigation GPS empfangen, erfasst und abgerechnet. Eine Kontrolle erfolgt unter anderem über fest installierte Kontrollbrücken an den mautpflichtigen Straßen. Die Erhebung beschränkte sich zunächst auf Autobahnen und stark frequentierte Bundesstraßen, wurde aber in mehreren Schritten bis zuletzt 01.07.2015 auf mittlerweile knapp 15 000 km gut ausgebaute Straßen des Bundes ausgeweitet. Zum 01.10.2015 wurde zudem die Gewichtsgrenze auf Fahrzeuge ab 7,5 t zGG abgesenkt. Lediglich Kleintransporter zwischen 3,5 und 7,5 t sollen auch langfristig von der Maut befreit bleiben, da die geringen Mauteinnahmen in keinem Verhältnis zu den, bedingt durch die große Anzahl Fahrzeuge dieser Kategorie, hohen Erhebungskosten stehen würden. Dies stellt eine nationale Ausnahme der Wegekostenrichtlinie der Europäischen Union (EU, 2006) dar, die ab 2012 eine Berücksichtigung aller Lastfahrzeuge über 3,5 t fordert (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2009).

Die anfallenden Gebühren sind nach der Emissionsklasse und der Anzahl Achsen des Lkw gestaffelt. Aufgrund der aktuell niedrigen Zinssätze und der dadurch gesunkenen Straßenbau- und -erhaltungskosten wurden die Sätze zum 01.01.2015 um 12 bis 26 % (je nach Emissionsklasse) gesenkt. Die aktuellen Mautsätze sind in Tabelle 12 aufgeführt.

Tabelle 12: Mautsätze seit 01.01.2015 laut (Toll Collect GmbH, 2014)  
Angaben für Lkw bis 3 Achsen/ab 4 Achsen in ct/Fzgkm.

Mautkategorie	A	B	C	D	E	F
Emissionsklasse	Euro 0, Euro 1	Euro 2	Euro 3, Euro 2 mit PMK <sup>7</sup>	Euro 4, Euro 3 mit PMK	Euro 5, EEV 1	Euro 6
Anteil Infrastruktur	12,5 (bis 3 Achsen) / 13,1 (ab 4 Achsen)					
Anteil Luftverschmutzung	8,3	7,3	6,3	3,2	2,1	0,0
Mautgebühr gesamt	20,8/21,4	19,8/20,4	18,8/19,4	15,7/16,3	14,6/15,2	12,5/13,1

<sup>7</sup> Partikelminderungsklasse

Ab 01.10.2015 werden die Infrastrukturgebühren noch weiter differenziert: zwischen 2, 3, 4 und ab 5 Achsen gelten jeweils eigene Sätze. Die durchschnittliche Belastung wird außerdem erneut um ca. 1 ct/Fzghm gesenkt. (Toll Collect GmbH, 2016)

Anhand der Tatsache, dass ein Großteil der mautpflichtigen Verkehrsleistung in Deutschland mittlerweile mit Lkw guter Emissionsklassen erbracht wird<sup>8</sup>, lässt sich sowohl ablesen, dass die gewünschte Lenkungswirkung der Maut hinsichtlich der Schadstoffemissionen eingetreten ist, als auch, dass die niedrigeren Mautsätze für einen Kostenvergleich ausschlaggebend sind.

Eine europaweit einheitliche Lösung zur Erhebung der Lkw-Maut, wie sie von der Richtlinie zur Interoperabilität europäischer Mautsysteme (*EETS*, (EU, 2004)) seit 2004 vorgesehen ist, ist noch nicht umgesetzt.

Neben den im Widerspruch zu den Erkenntnissen der externen Kosten (aber gemäß den geltenden Verträgen) sinkenden Gebühren wird vor allem die fehlende Flexibilität der Maut kritisiert.

Sie ist nicht veränderlich nach:

- Lärmemissionen,
- Tageszeit,
- Siedlungsdichte, oder
- Auslastung.

Vielmehr wird sie ausgerechnet auf Landes- und Kommunalstraßen nicht erhoben, wo die externen Effekte des Straßengüterverkehrs weitaus höher sind als auf siedlungsfernen Schnellstraßen.

Die Einnahmen aus der Straßenmaut werden größtenteils zweckgebunden in den Straßenbau reinvestiert, ein Teil dient auch zum Ausgleich der Belastungen aus der Maut für die Logistikbranche durch die Senkung der Kfz-Steuer. Siehe hierzu auch Kapitel 2.1.1.

Eine Erweiterung der Straßenmaut durch ein genaueres satellitengestütztes Erfassungssystem – idealerweise europaweit einheitlich –, das eine Erfassung auf allen Straßen erlaubt, würde die korrekte Internalisierung externer Kosten erlauben. Ein geeignetes, nicht militärisch kontrolliertes Satellitensystem steht mit dem europäischen Projekt Galileo bis voraussichtlich 2019 zur Verfügung (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2016).

#### 2.2.2.2 Parkplatzgebühren

Kommunen erheben für die Nutzung der von ihnen bereitgestellten Parkplatzflächen meist politisch festgesetzte Gebühren. Sowohl kostenfreie Parkmöglichkeiten zur Ankurbelung des

---

<sup>8</sup> Im Jahr 2015 wurden 91,5 % der mautpflichtigen Fahrleistungen von Lkw der Emissionsklassen Euro 5, Euro 6 und EEV 1 erbracht (Statista GmbH, 2015 S. 20).

Handels als auch künstlich verteuerte Preise zur Verringerung des MIV in Innenstädten sind zu beobachten. Bei der Berechnung von Parkplatzgebühren sollten aufgrund des offensichtlichen Nutzenkonflikts zwischen den Verkehrsteilnehmern und Bewohnern in einer Stadt Verdrängungseffekte zusätzlich zu den reinen Baukosten einkalkuliert werden.

Auch private Investoren bauen und bewirtschaften Parkplätze, sind aber, falls kein spezielles Abkommen mit der beteiligten Kommune vorliegt, bei der Bestimmung der Höhe dieser Abgaben nur an wirtschaftliche Beschränkungen gebunden. Eine Steuerung kann hier am ehesten über die gezielte (Nicht-)Zuteilung von Bauplätzen in dichten Siedlungsgebieten erfolgen.

Zwar keine Infrastrukturbenutzungsgebühr, aber in diesem Zusammenhang trotzdem zu nennen, sind kommunale Vorschriften, die Bauherren verpflichten, eine gewisse Anzahl an Parkmöglichkeiten auf ihrem Grundstück bereitzustellen. So soll vor allem die Nutzung des Straßenrands als Parkplatz verringert und die oft knappe Verkehrsfläche in Innenstädten zumindest teilweise auf private Grundstücke ausgedehnt werden. Die beim Bau und durch den Flächenverbrauch entstehenden Kosten lassen sich nicht exakt beziffern. Eine auf dieser Arbeit aufbauende Studie könnte eine Schätzung dieser Kosten berücksichtigen. Da der Güterverkehr von diesen Regelungen aber nur in kleinerem Maße profitiert (z.B. durch freiwerdenden Parkraum am Straßenrand), wird von einer weiteren Betrachtung abgesehen.

Kosten für die Bereitstellung von Parkflächen an Autobahnraststätten sind in den Bundesausgaben für Straßenbau enthalten.

Eine Berücksichtigung externer Kosten auf Parkflächen ist über den Flächenverbrauch hinaus kaum sinnvoll und möglich.

### 2.2.2.3 Trassengebühren

Die DB Netz AG erhebt für die Nutzung ihrer Schieneninfrastruktur eine nach Strecke und Zugeigenschaften differenzierte Infrastrukturgebühr, die sogenannten Trassenpreise. Die Preise werden rein privatwirtschaftlich aus der Gewinnerzielungsabsicht der DB Netz AG festgesetzt.

Die Gebühr fällt hierbei generell je Trassenkilometer an, unterscheidet also nicht direkt zwischen langen und kurzen, schweren und leichten Zügen. Mehr als durch Länge und Gewicht wird der Kapazitätsverbrauch einer Zugfahrt durch ihre Geschwindigkeit im Vergleich zu den Geschwindigkeiten der voraus- und nachfahrenden Züge beeinflusst. Durch die preisliche Gleichstellung werden allerdings auch zunächst geringer ausgelastete Neuverkehre verteuert und möglicherweise am Markteintritt gehindert. Auch wird der Schienenverschleiß – ein nicht unerheblicher Kostenpunkt für die Bereitstellung der Infrastruktur – durchaus maßgeblich vom Zuggewicht beeinflusst und bisher nicht in entsprechendem Maß eingepreist. Weitere Kritik

ruft die ungenügende Auslastungssteuerung hervor, die durch das starre System der Trassenpreise erzeugt wird und sowohl auf Nebenstrecken Neuverkehre verhindert als auch zu Überlastungen in Knotenpunkten führt<sup>9</sup>.

In Konkurrenzsituationen, in denen zwei Eisenbahnverkehrsunternehmen dieselbe Trasse für sich beanspruchen, werden diese nach dem Höchstpreisverfahren versteigert.

Trotz der Schwächen des bestehenden Systems steht mit ihm bereits heute ein sehr genaues Instrument zur Steuerung der Kostenbilanz des Schienengüterverkehrs zur Verfügung, das durch eine Ergänzung um Kostenfaktoren zum Ausgleich externer Effekte verwendet werden kann.

Ab dem Fahrplanjahr 2018 soll ein neues Preissystem umgesetzt werden, das das Prinzip von Grenzkosten plus situationsabhängigen Zuschlägen umsetzt und hierdurch den genannten Kritikpunkten entgegenwirken soll. Daher werden im Folgenden sowohl das bestehende als auch das geplante Trassenpreissystem der DB Netz AG vorgestellt.

Unabhängig von den Trassengebühren werden für die Nutzung sonstiger Serviceeinrichtungen im Schienennetz zusätzliche Gebühren erhoben, z.B. Stationsgebühren für Halte an Verkehrsstationen.

### **Bisheriges Trassenpreissystem der DB Netz AG (TPS 2001)**

Das bestehende Trassenpreissystem besteht aus rein wirtschaftlich festgelegten Grundpreisen, die nach 12 Streckenkategorien differenziert sind, und Faktoren, die nach bestimmten Qualitätskriterien der bestellten Trasse variieren. Besonders stark heben sich die Trassenpreise für Hochgeschwindigkeitsstrecken (Kategorie Fplus) ab, was zwar wirtschaftlich durch die Abschreibungen aus den Baukosten begründet ist, aber auch dazu führt, dass insbesondere Güterverkehre von den neuen, siedlungsfernen Strecken fernbleiben und eher über günstigere Altstrecken durch Siedlungsgebiete geleitet werden.

Ein beispielhafter Auszug der unterschiedlichen Trassenpreiskombinationen ist in Tabelle 13 gegeben.

---

<sup>9</sup> Überlastungszuschläge sind nach aktueller Gesetzeslage unzulässig, falls ein Ausbau der Strecke durch Verschulden des Infrastrukturunternehmens unterbleibt. Liegen die Gründe jedoch außerhalb des Einflussbereichs des Unternehmens, oder sind „die verfügbaren Optionen wirtschaftlich oder finanziell nicht tragbar“ (EU, 2001 S. 12, Art. 26 Abs. 3), dürfen auslastungsabhängige Zuschläge erhoben werden.

Tabelle 13: Auszug möglicher Trassenpreise der DB Netz AG

Angaben in EUR/Trkm aus dem Jahr 2015. Daten aus (DB Netz AG, 2015a S. 5ff.).

Streckenategorie	SPV <sup>10</sup> , Express	SPNV, Takt	SGV, Standard	SGV, Zubringer
Stadtschnellverkehr S1	-	3,25	-	-
Zulaufstrecke Z1	5,45	5,00	3,03	1,52
Fernstrecke F6	5,29	4,85	2,94	1,47
Fernstrecke F2	6,19	5,68	3,44	1,72
Fernstrecke F1	8,95	8,20	4,97	2,49
Fernstrecke Fplus	17,53	16,07	9,74	-

Die Infrastrukturnutzungsentgelte insgesamt machten 2015 ca. 18 % des Umsatzes der Eisenbahnverkehrsunternehmen im Güterverkehr aus (Bundesnetzagentur, 2014 S. 55), die reinen Trassengebühren beliefen sich auf ca. 14 % (Theis, 2015 S. 16).

Es ist außerdem anzumerken, dass die Preise in den letzten Jahren stärker gestiegen sind als der allgemeine Verbraucherpreisindex. Laut (Bundesnetzagentur, 2014 S. 44) betrug die Steigerung zwischen 2009 und 2014 gut 11 %, während die Verbraucherpreise nur um knapp 8 % gestiegen sind. Dies ist insbesondere im Zusammenhang mit aktuell gleichbleibenden bzw. sogar sinkenden Kosten für den Straßengüterverkehr aufgrund fallender Rohölpreise zu sehen. Ein Vergleich mit der Entwicklung im Straßengüterverkehr ist in Abb. 2.4 zu sehen.

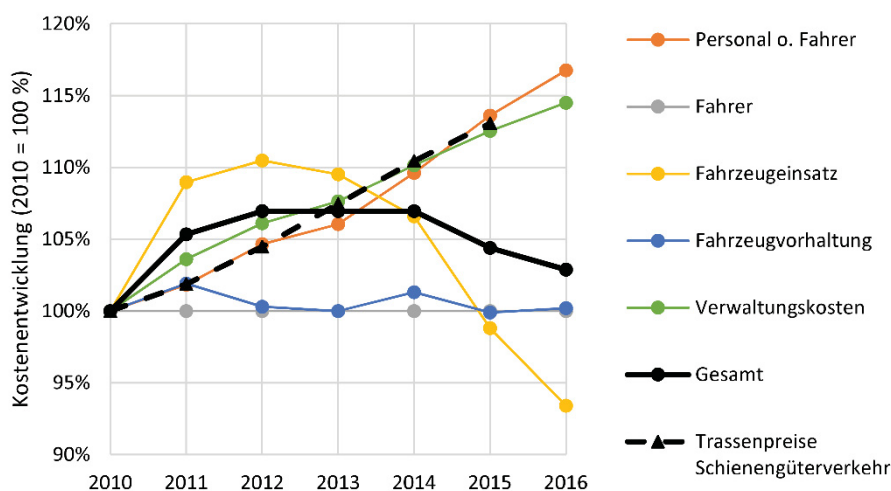


Abb. 2.4: Vergleich der Kostenentwicklung im Straßen- und Schienengüterverkehr 2010 bis 2016  
 Daten für den Straßenverkehr aus (Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung e.V., 2016), Trassenpreise aus (DB Netz AG, 2015a).

<sup>10</sup> SPV = Schienenpersonenverkehr, SPNV = Schienenpersonennahverkehr, SGV = Schienengüterverkehr

## Trassenpreissystem 2017 (TPS 17)

Um die Schwächen des bisherigen Trassenpreissystems zu beheben und die erhobenen Gebühren besser an die tatsächlichen Marktkosten der angebotenen Leistung anzupassen, hat die DB Netz AG in den letzten Jahren ein neues Trassenpreissystem entworfen. Es orientiert sich an einer Kombination aus der Erhebung von Grenzkosten einer Zugfahrt, wie sie in vielen anderen europäischen Ländern angewendet wird<sup>11</sup>, und einem Markttragfähigkeitszuschlag, der die absolute Kostendeckung für die DB Netz AG herstellt. Zusätzlich sind politische Aufschläge oder Subventionen möglich, z.B. zur Internalisierung externer Kosten (Theis, 2015). Hiervon wird bereits im ersten Entwurf durch einen Lärmzuschlag je nach Bauart des Zuges Gebrauch gemacht.

Grundsatz der Berechnung der Markttragfähigkeitszuschläge ist die Erzeugung maximaler Einnahmen für den Infrastrukturbetreiber im wirtschaftlichen Umfeld. Dies kann durch gezielte Preissenkungen ebenso geschehen wie durch Verteuerungen auf stark nachgefragten Strecken.

Die Differenzierung der Gebühren erfolgt künftig über eine Vielzahl von Faktoren:

- Durchschnittsgeschwindigkeit (nur Personenverkehr)
- Tageszeit (Tag/Nacht)
- Räumliche Lage (Fahrt durch stark belastete Knotenpunkte)
- Leerfahrt (ja/nein)
- Zuggewicht
- Ladungsart mit speziellen Anforderungen
- Zeitliche Flexibilität
- Betriebliche Flexibilität
- Einbindung in den Netzfahrplan/Gelegenheitsverkehr
- Lärmemissionen
- Geschwindigkeitsdifferenz zur Streckendurchschnittsgeschwindigkeit
- Spitzenzeitenzuschlag

(Berschlin, 2015 S. 7f.)

Im Schienengüterverkehr ergeben sich Preise zwischen 1,20 und 6,60 EUR/Trkm, wobei das Minimum von 1,20 EUR/Trkm in etwa den unmittelbar durch die Zugfahrt erzeugten Grenzkosten entspricht. Eine Erweiterung der hiermit vorliegenden Gebührenstruktur um die Kosten weiterer externer Effekte neben Lärm scheint angesichts der detaillierten Berechnung je Zugfahrt problemlos umsetzbar.

---

<sup>11</sup> Z.B. Dänemark, Niederlande, Österreich, Schweden, Schweiz, Tschechische Republik

Die ursprünglich für Ende 2016 geplante Einführung des neuen Trassenpreissystems wurde auf das Fahrplanjahr 2018 verschoben.

#### 2.2.2.4 Kanalgebühren

Die Binnenfrachtschifffahrt ist in Europa auf ihren natürlichen Hauptverkehrsadern, den Flüssen Donau, Elbe, Rhein und einigen weiteren, auf Grundlage internationaler Verträge (z.B. *Mannheimer Akte*, (Zentralkommision für die Rheinschifffahrt, 2016)) von Infrastrukturgebühren befreit. Auf Kanälen und für die Benutzung von Schleusenanlagen werden jedoch oft Gebühren erhoben, die nach den Güterklassen der transportierten Güter oder nach der Einteilung der Schiffe in die Wasserstraßenklassen entsprechend ihrer Größe und ihres Gewichts (Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, 2012) berechnet werden. Eine Staffelung nach für externe Effekte relevanten Kriterien wie der erfüllten Abgasnorm oder der installierten Motorleistung der Binnenschiffe ist damit nicht gegeben.

Als Beispiel für die Größenordnung solcher Gebühren wird der Norddeutsche Tarif der Wasser- und Schifffahrtsdirektion West herangezogen (Wasser- und Schifffahrtsdirektion West, 2001 S. 14). Die allgemeinen Regelsätze belaufen sich auf:

- Für Güter der Güterklassen I und II: 0,910 ct/tkm
- Für Güter der Güterklassen III und IV: 0,844 ct/tkm
- Für Güter der Güterklasse V: 0,777 ct/tkm
- Für Güter der Güterklasse VI: 0,708 ct/tkm

Die Güterklassen sind hierbei individuell im vorliegenden Tarif bestimmt und haben keine einheitliche Bedeutung.

Weitere Gebühren können für die Befahrung von Brücken und die Nutzung von Anlegestellen entstehen. Da diese jedoch je nach Örtlichkeit stark schwanken, wird hier auf eine genauere Darstellung verzichtet.

Aufgrund der ungleichen Belastung auf Flüssen und Kanälen ist eine einheitliche Internalisierung externer Kosten mit dem vorhandenen Gebührenmodell in der Binnenschifffahrt nicht möglich. Daher muss die Erhebung für den Kostenfaktor externe Effekte entweder auf alle Wasserstraßen ausgeweitet werden, oder es ist eine einseitige Belastung von Fahrten auf künstlichen Wasserstraßen in Kauf zu nehmen.

### 2.3 Modal Split des Güterverkehrs in Deutschland

Die Aufteilung der Transportleistung zwischen den Verkehrsträgern wird üblicherweise als Modal Split bezeichnet. Er kann direkt aus den Zahlen für die Transportleistungen der einzelnen

Verkehrsträger berechnet werden. Eine Ermittlung dieser Werte kann nur aufgrund von Stichproben erfolgen, die auf eine Gesamtverkehrsleistung in Deutschland hochgerechnet werden. Ein Vergleich der Ergebnisse mehrerer Quellen ist daher sinnvoll, um Abweichungen der Systematik zu erkennen und berücksichtigen.

Zahlen für die Transportleistung je Verkehrsträger über alle Transportgüter insgesamt stehen aus vielen verschiedenen Quellen zur Verfügung, da sie für politische Entscheidungen und Auswertungen des Zustands des Verkehrswesens eine wichtige Grundlage bilden. Sie werden in Kapitel 2.3.1 betrachtet. Schwieriger gestaltet sich die Datenlage für eine Aufteilung der Transportleistungen nach Güterabteilungen, die nötig ist, um entsprechend der Zielsetzung dieser Arbeit eine Aussage für unterschiedliche Transportgüter treffen zu können. Werte hierzu werden in Kapitel 2.3.2 vorgestellt.

### 2.3.1 Modal Split insgesamt

Zur Verfügung standen Studien des Umweltbundesamts (UBA), des Statistischen Bundesamts (Destatis) sowie des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) mit Zahlen aus den Jahren 2010 bis 2015. Ein Vergleich der Quellen (Abb. 2.5) hat gezeigt, dass die erfassten Verkehrsleistungen nur sehr kleine Abweichungen voneinander aufweisen, so dass die zugrundeliegende Stichprobenerfassung als ausreichend genau angesehen werden kann.

Folgende Quellen wurden betrachtet: (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015a), (Statistisches Bundesamt, 2016b), (Statistisches Bundesamt, 2016f), (Statistisches Bundesamt, 2013), (Umweltbundesamt, 2012), (Umweltbundesamt, 2015).

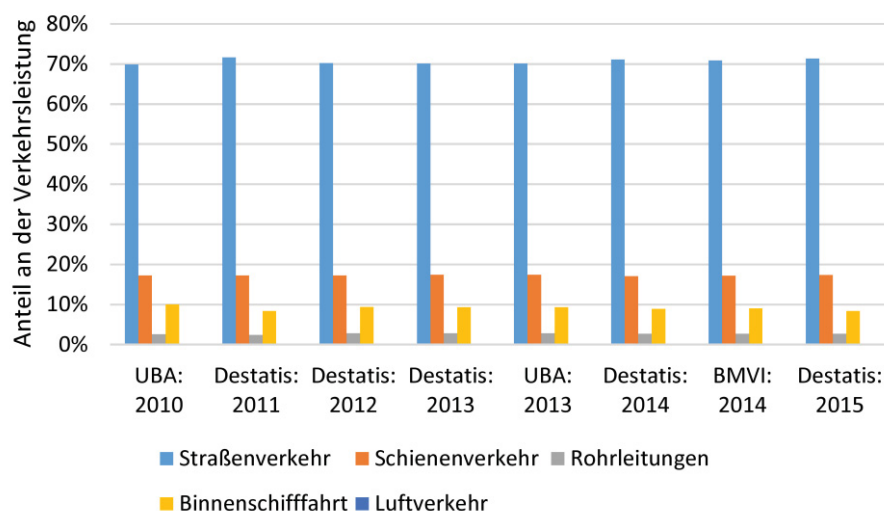


Abb. 2.5: Vergleich der Erhebungen zum Verkehrsträgeranteil an der Verkehrsleistung im Güterverkehr in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2015



Da die Daten für den Modal Split, aufgeteilt nach Güterabteilungen (siehe folgendes Kapitel), für das Jahr 2014 am vollständigsten vorliegen, werden auch hier die Daten aus dem Jahr 2014 gewählt. In Tabelle 14 sind die als Grundlage für diese Arbeit verwendeten Zahlen aus (Statistisches Bundesamt, 2016b) gelistet.

In einigen Studien gesondert betrachtet wird die Verkehrsleistung von in Deutschland zugelassenen Straßenfahrzeugen. Diese Unterscheidung hat sowohl systematische Hintergründe (über deutsche Lkw liegen dem Kraftfahrt-Bundesamt genauere Daten vor) als auch rechtliche (ausländische Lkw sind nur teilweise durch die nationale Politik beeinflussbar). Es werden die Werte für deutsche und ausländische Lkw kombiniert verwendet.

Tabelle 14: Modal Split laut (Statistisches Bundesamt, 2016b)

	Verkehrsleistung in [Mrd. tkm]	Anteil an der Verkehrsleistung
Straßenverkehr	462 500	70,80 %
darunter deutsche Lkw	310 142	47,48 %
Schienenverkehr	112 629	17,24 %
Binnenschifffahrt	59 093	9,05 %
Rohrleitungen	17 541	2,69 %
Luftverkehr	1 441	0,22 %
Gesamt	651 763	100,00 %

### 2.3.2 Modal Split nach Güterabteilung

Sowohl das Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur (BMVI) als auch das Statistische Bundesamt führen Statistiken zur Aufteilung der Verkehrsträger auf die Verkehrsleistung in den einzelnen Güterabteilungen. Es werden im Straßenverkehr jeweils nur die Leistungen in Deutschland zugelassener Lkw erfasst. Da das BMVI für das Jahr 2014 bisher nur die in die zehn Güterabteilungen des NST10 zusammengefassten Zahlen veröffentlicht hat und die nächstaktuellen, vollständig aufgeschlüsselten Zahlen aus dem Jahr 2010 stammen, werden in dieser Arbeit die erfassten Verkehrsleistungen aus (Statistisches Bundesamt, 2016a) verwendet.

Um aus diesen Zahlen eine Abschätzung der gesamten in Deutschland erbrachten Straßengüterverkehrsleistung zu gewinnen, werden mangels genauerer Daten die Werte der deutschen Lkw gemäß dem Dreisatz auf die in Kapitel 2.3.1 präsentierte Verkehrsleistung für alle Lkw hochgerechnet.

Die Ergebnisse sind in Tabelle H3 in Anhang H zu sehen.

## 3 Auswahl von Internalisierungsmaßnahmen

In diesem Kapitel sollen aus eigenen Vorschlägen und bereits in anderen Studien untersuchten Maßnahmen zur Internalisierung externer Kosten in einem einheitlichen Bewertungsverfahren die aussichtsreichsten Möglichkeiten ausgewählt und zur weiteren Untersuchung näher beschrieben werden.

### 3.1 Definition einer Zielstellung

Um eine sinnvolle Auswahl der Internalisierungsmaßnahmen zu ermöglichen, ist zunächst eine klare Zielstellung zu formulieren, nach deren Erfüllung der Nutzen der Maßnahmen bewertet werden kann. Diese Zielstellung kann sowohl Einzelziele wie die Verringerung eines bestimmten externen Effekts beinhalten als auch gesamtwirtschaftliche Optimierungsziele.

#### 3.1.1 Reduktion der externen Kosten

Ein naheliegender Ansatz vor dem Hintergrund der Aufgabenstellung dieser Arbeit ist die Reduktion der externen Kosten des Verkehrs, sei es durch Anlastung der Kosten auf die einzelne Verkehrsleistung oder durch die Minimierung der Entstehung externer Effekte durch Verkehrsverlagerung oder Vermeidung. Es ist nicht zwangsläufig möglich, externe Effekte durch Kostenmaßnahmen ohne Wohlfahrtseinbußen zu minimieren, da hier technologische Grenzen gesetzt sind. Der Fokus kann in dieser Arbeit daher nur darauf liegen, keine unnötigen externen Effekte durch falsche Anreizsetzung entstehen zu lassen, indem externe Kosten vollständig internalisiert werden. Die sich durch Marktreaktionen ergebenden Reduktionen externer Effekte sollten nichtsdestotrotz ausgewertet werden.

Eine hohe politische Priorität besitzen in diesem Zusammenhang die direkt durch Anwohner spürbaren Auswirkungen der externen Effekte *Lärm*, *Luftverschmutzung* und die in den *Zusatzkosten in städtischen Räumen* zusammengefassten Auswirkungen auf die Lebensqualität in Städten.

Eine wiederholt genannte Zielstellung innerhalb der externen Kosten ist die Begrenzung der Auswirkungen des Klimawandels. Die EU-Kommission hat in ihrem Weißbuch Verkehr (EU-Kommission, 2011 S. 3f.), aufbauend auf der international unterstützten Forderung, den Temperaturanstieg durch den Klimawandel auf unter 2°C zu begrenzen, eine Verringerung des Treibhausgasausstoßes im Verkehrssektor bis 2050 um mindestens 60 % gegenüber dem Stand von 1990 als zwingend notwendig ausgemacht. Bis 2030 soll zumindest eine Begrenzung der Zunahme auf 8 % erreicht werden, was relativ zum heutigen Treibhausgasausstoß bereits einer Verringerung um über 20 % entspricht. Bis 2050 ist für die gesamte EU eine Verringerung von 80 bis 95 % veranschlagt, da in anderen Wirtschaftssektoren bessere Chancen für eine Treibhausgasvermeidung gesehen werden. In der Ermittlung der externen Kosten wurden bereits

Vermeidungskosten für die Kosten des Klimawandels berechnet, weshalb diese Zielstellung in dieser Arbeit berücksichtigt werden kann.

### 3.1.2 Sicherstellung gleichbleibender Mobilität

Weiter definiert die EU-Kommission, dass „die Einschränkung von Mobilität [...] keine Option [ist]“ (EU-Kommission, 2011 S. 6). In der weiteren Untersuchung werden mithilfe der im Folgenden ausgewählten Maßnahmen Marktreaktionen berechnet, die sich je nach Umsetzung durchaus auch in einer Verminderung der gesamten Verkehrsleistung niederschlagen können. Es ist daher zu diskutieren, in welchem Ausmaß ein solcher Rückgang des Verkehrs die Erfüllung von Mobilitätsbedürfnissen gefährdet und welche Gegenmaßnahmen gegebenenfalls getroffen werden könnten. Noch einmal betont werden soll in diesem Zusammenhang der Definitionsunterschied zwischen Verkehr und Mobilität, der politisch oft verwässert wird<sup>12</sup>:

*„Potentielle Mobilität ist die Beweglichkeit von Personen, allgemein und als Möglichkeit. Realisierte Mobilität ist realisierte Beweglichkeit, ist die Befriedigung von Bedürfnissen durch Raumveränderung (kurz: Mobilität). Verkehr ist das Instrument, das man dann für die konkrete Umsetzung der Mobilität benötigt. Verkehr umfasst Fahrzeuge, Infrastrukturen und die Verkehrsregeln und ist auch sehr gut messbar“* (Becker, et al., 1999 S. 71).

Es ist demnach möglich, durch räumliche Veränderungen von Nachfrage und Angebot bei gleichbleibender Mobilität die zu ihrer Erbringung notwendige Verkehrsleistung zu verringern. Auch diese Möglichkeit muss betrachtet werden.

### 3.1.3 Erhöhung der Verkehrsqualität

Verkehrspolitisch wünschenswert ist die Herstellung einer der Verkehrsnachfrage angemessenen Verkehrsqualität. Die Verkehrsqualität ist eine Größe aus dem Straßenverkehr, kann aber sinngemäß auch auf andere Verkehrsträger ausgeweitet werden. „Die Verkehrsqualität im Sinne des HBS<sup>13</sup> ist die zusammenfassende Gütebeschreibung des Verkehrsflusses aus Sicht der Verkehrsteilnehmer“ (Gerike, 2015 S. 5) und wird charakterisiert durch „den Grad der gegenseitigen Behinderung verschiedener Nutzer untereinander“.

Durch eine Anlastung externer Kosten in Abhängigkeit der Auslastung kann die Ressource Verkehrsinfrastruktur besser auf die tatsächlichen Mobilitätsbedürfnisse der Verkehrsteilnehmer aufgeteilt werden. Staukosten unterscheiden sich von den anderen externen Kosten dadurch, „dass der wesentliche Teil der Externalität innerhalb der Grenzen des Verkehrssystems bleibt, also die nicht vom Stau betroffene Öffentlichkeit [...] nicht geschädigt [wird]“

---

<sup>12</sup> Selbst im zitierten Weißbuch der EU-Kommission: Kapitel 2.1. „Verkehrswachstum gewährleisten und Mobilität unterstützen“ (EU-Kommission, 2011 S. 5).

<sup>13</sup> Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen

(Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2009 S. 84), weshalb bei der Ermittlung externer Kosten jene durch Stauungen oft gesondert betrachtet werden. Eine Untersuchung solcher Preismaßnahmen zur Ermittlung von Marktreaktionen zwischen den Verkehrsträgern ist nicht zielführend und sollte separat im Kontext einer dynamischen Auslastungssteuerung betrachtet werden.

### 3.1.4 Gesellschaftliche Kostenminimierung

Eine weitere Zielstellung ist durch den Wunsch nach einer Minimierung der gesellschaftlichen Kosten zur Erbringung der für die Wirtschaftsleistung nötigen Mobilität gegeben. Wie bereits in Kapitel 1.1 erwähnt, wächst die Verkehrsleistung in Deutschland derzeit schneller als das Bruttoinlandsprodukt.

Die *Verkehrsintensität* steigt also an, wenn diese definiert wird als:

$$\xi_{\text{Verkehr}} = \frac{\text{Verkehrsleistung}}{\text{realisiertes Mobilitätsbedürfnis}} \quad \text{Formel 4}$$

Für den Güterverkehr ist somit gleichbedeutend<sup>14</sup>:

$$\xi_{\text{Verkehr}} = \frac{P_{\text{Verkehr}}}{\text{BIP}} \text{ in } \left[ \frac{\text{tkm}}{\text{EUR}} \right] \quad \text{Formel 5}$$

mit:  $\xi_{\text{Verkehr}}$  = Verkehrsintensität,  $\text{BIP}$  = Bruttoinlandsprodukt,  $P_{\text{Verkehr}}$  = Verkehrsleistung.

Es wäre aber theoretisch möglich, dass sich eine große Verkehrsleistung nicht in höheren gesellschaftlichen Kosten niederschlägt, da sie durch einen Verkehrsträger mit einer hohen Kosteneffizienz erbracht wird. In diesem Fall wäre der Wechsel zu einem Verkehrsträger, der dieselbe Wirtschaftsleistung mit einer geringeren Verkehrsleistung erbringen kann, diese Verkehrsleistung aber mit einer niedrigeren *Kosteneffizienz* realisiert, mit höheren gesellschaftlichen Kosten verbunden. Daher wird definiert:

$$\eta_{\text{Kosten,Verkehr}} = \frac{P_{\text{Verkehr}}}{K_{\text{sozial,Verkehr}}} \text{ in } \left[ \frac{\text{tkm}}{\text{EUR}} \right] \quad \text{Formel 6}$$

mit:  $\eta_{\text{Kosten,Verkehr}}$  = Kosteneffizienz des Verkehrs,  $K_{\text{sozial,Verkehr}}$  = soziale Kosten zur Erbringung der Verkehrsleistung (siehe Kapitel 2.1).

<sup>14</sup> Siehe auch (Peters, 2008 S. 7ff.) für eine Einordnung der Einheiten in den Zusammenhang.

Als Kenngröße der Minimierung der gesellschaftlichen Kosten zur Erbringung der für die Wirtschaftsleistung nötigen Mobilität kann demnach der Quotient aus Kosteneffizienz und Verkehrsintensität dienen, die sogenannte *Mobilitätskosteneffizienz*:

$$\eta_{\text{Kosten,Mobilität}} = \frac{\eta_{\text{Kosten,Verkehr}}}{\xi_{\text{Verkehr}}} = \frac{\text{BIP}}{K_{\text{sozial,Verkehr}}} \quad \text{Formel 7}$$

mit:  $\eta_{\text{Kosten,Mobilität}}$  = Mobilitätskosteneffizienz (dimensionslos).

Diese Zielstellung der gesellschaftlichen Kostenminimierung kann somit durch eine Maximierung der Mobilitätskosteneffizienz beschrieben werden, mit der Randbedingung, dass sich die Wirtschaftsleistung des Landes nicht verringert, um negative Wohlfahrtseffekte zu vermeiden.

### 3.1.5 Zielstellung der weiteren Untersuchung

Als optimaler theoretischer Lösungsansatz wird die gesellschaftliche Kostenminimierung angesehen. Aufgrund einer mangelnden Datengrundlage ist es aber in dieser Arbeit nicht möglich, eine quantifizierte Verringerung der Verkehrsintensität zu untersuchen. Daher soll auf diese lediglich qualitativ eingegangen werden, während die Mobilitätskosteneffizienz unter der Annahme einer konstanten Verkehrsintensität, effektiv also die Kosteneffizienz des Verkehrs alleine, untersucht wird.

Als Zielstellung werden folgende Punkte definiert:

- Erhöhung der Kosteneffizienz des Verkehrs
- Verringerung der externen Kosten des Verkehrs auf 0 durch vollständige Internalisierung
- Beibehaltung der Erfüllungsqualität von Mobilitätsbedürfnissen

Außerdem als wünschenswert angesehen, aber nicht Teil der konkreten Zielstellung sind:

- Verringerung externer Effekte durch Verkehrsverlagerung und Vermeidung
- Verringerung der Verkehrsintensität

Ausdrücklich nicht betrachtet wird:

- Erhöhung der Verkehrsqualität bzw. der Kapazität von Verkehrsinfrastruktur durch eine Auslastungssteuerung über die Anrechnung externer Stauungskosten

## 3.2 Erläuterung von Grundlagen

### 3.2.1 Notwendigkeit weiterer Internalisierungsmaßnahmen

In Kapitel 2.2 wurden bereits existierende Kostenfaktoren zur Steuerung der Kostenbilanz des Güterverkehrs beschrieben. Angesichts der in Kapitel 2.1.2 aufgezeigten finanziellen Belastung der Gesellschaft muss davon ausgegangen werden, dass diese Steuermöglichkeiten entweder

noch nicht zu ihrem vollen Potenzial genutzt werden oder methodisch noch nicht voll ausgereift sind. Wie sich zeigt, ist beides der Fall.

Zum einen bleibt momentan eine nicht unerhebliche Finanzierungslücke zwischen den Ausgaben der Verkehrsteilnehmer und den durch sie verursachten sozialen Kosten, was auf eine zu geringe Höhe der Kostenfaktoren hinweist. Die Internalisierungsmaßnahmen sollten sich in ihrer Summe im Sinne einer Wirtschaftsbereiche übergreifenden Gerechtigkeit auf einen Betrag belaufen, der die sozialen Kosten vollständig auf die Gesamtheit der Verkehrsteilnehmer überträgt. Dies führt zu einer gerechten Ressourcenaufteilung und verhindert Ressourcenverschwendung durch Verkehre, die volkswirtschaftlich nicht sinnvoll sind.

Eine reine Erhöhung der existierenden Faktoren würde zum anderen allerdings einige wichtige Möglichkeiten für eine optimale Entscheidungsfindung durch die Verkehrsteilnehmer ungenutzt lassen und eine ungerechte Kostenanlastung verursachen. Da die Auswirkungen externer Effekte je nach Tageszeit, Siedlungsdichte, etc. stark schwanken, sollten auch die internalisierten externen Kosten situationsabhängig angepasst werden. Insbesondere bei den Kosten der Luftverschmutzung wie auch bei den Lärmkosten erscheint eine solche Differenzierung grundsätzlich sinnvoll (Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2009 S. 92). Zumindest im Güterverkehr, in dem Datenschutzgrundsätze eine geringere Rolle spielen, ist eine streckengenaue Abrechnung mittelfristig vorstellbar und sollte daher auch vorrangig verfolgt werden.

Zu diesen beiden Punkten hinzu kommen bisher falsch gesetzte Anreize durch bestehende Steuern und Abgaben. Wie in Kapitel 2.2.1.3 beschrieben, führt die aktuelle Ausgestaltung von Stromsteuer und EEG-Umlage zu einer Wettbewerbsverzerrung zugunsten von Verbrennungsmotoren und somit zu langfristig erhöhten externen Kosten. Entsprechend sollte die Abgabenerhebung angepasst werden.

### 3.2.2 Nachfrageorientierte und angebotsorientierte Maßnahmen

Um die in Kapitel 3.1.5 definierten Ziele einer erfolgreichen Internalisierung zu erreichen, muss das Verhalten der Verkehrsteilnehmer verändert werden. Zur Beeinflussung der Entscheidungen von Marktteilnehmern stehen grundsätzlich zwei Kategorien von Maßnahmen zur Verfügung: nachfrage- und angebotsorientierte Maßnahmen.

Angebotsorientierte Maßnahmen fokussieren sich auf eine Änderung des Angebots, im Verkehrswesen also der bereitgestellten Infrastruktur, um eine Nutzerreaktion hervorzurufen. So sorgen besser ausgebaute Verkehrswege durch höhere Durchschnittsgeschwindigkeiten oder höhere Kapazitäten für eine indirekte Verringerung der Kosten, die für eine Fahrt anfallen. Es wird sowohl eine Verkehrsverlagerung auf den ausgebauten Verkehrsträger erzeugt als auch neuer, vor dem Ausbau nicht wirtschaftlich durchführbarer Verkehr erzeugt. Es entsteht eine

durch den Ausbau hervorgerufene, *induzierte* Verkehrsleistung. Zwar können durch angebotsorientierte Maßnahmen auch externe Effekte verringert werden, indem Verkehre auf siedlungsferne Verkehrswege umgeleitet werden oder ein Ausbau nach aktuellen Sicherheitsstandards Unfälle verhindert und Unfallfolgen abmildert. Durch den induzierten Verkehr können diese Verbesserungen aber aufgewogen werden, so dass in Summe die externen Effekte des Verkehrs steigen. Es ist im Einzelfall zu untersuchen, in welchem Maß durch angebotsorientierte Maßnahmen Mobilitätsbedürfnisse befriedigt werden und inwieweit bereits vorher abgedeckte Bedürfnisse durch zusätzlichen Verkehr erbracht werden. Ein Rückbau von Verkehrsinfrastruktur ist politisch insbesondere im Straßenverkehr schwierig durchzusetzen, da ein Rückbau selten ohne die Einschränkung der Mobilität einzelner möglich ist, selbst wenn der gesellschaftliche Nutzen eines Rückbaus überwiegt.

Nachfrageorientierte Maßnahmen versuchen, die Verkehrsnachfrage durch preisliche Anreize zu steuern und so beispielsweise die Auslastung der Infrastruktur zu optimieren oder negative Effekte des Verkehrs zu minimieren. Der Markt reagiert auf Preisveränderungen entsprechend einer empirisch ermittelbaren Preiselastizität, die ein direktes Verhältnis zwischen Nachfrage und Preis herstellt. Preismaßnahmen werden daher vor allem wirtschaftstheoretisch bewertet.

Angesichts der nicht zu verallgemeinernden Auswirkungen von angebotsorientierten Maßnahmen liegt der Fokus dieser Arbeit auf nachfrageorientierten Maßnahmen. Im folgenden Kapitel werden einige Ansätze zur genaueren Bestimmung einer gesellschaftlich optimalen Gebührenehöhe vorgestellt.

### 3.2.3 Theoretische Maßnahmenmodelle

#### Pigou-Steuer

Die *Pigou-Steuer* bezeichnet eine auf den englischen Ökonom Arthur Cecil Pigou zurückgehende Wirtschaftstheorie, die eine Abgabenhöhe zur Erzeugung einer gesellschaftlich optimalen Nachfragemenge formuliert. Grundlage der Theorie ist die Feststellung, dass „der private Entscheidungsträger die Wirkungen seines Handelns auf unbeteiligte Dritte nicht einplant. Der Staat kann diese Externalität beseitigen, indem er dem Verursacher der Externalität die Differenz zwischen sozialen und privaten Grenzkosten anlastet“ (Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2009 S. 79). Eine grafische Darstellung des Zusammenhangs ist in Abb. 3.1 zu sehen.

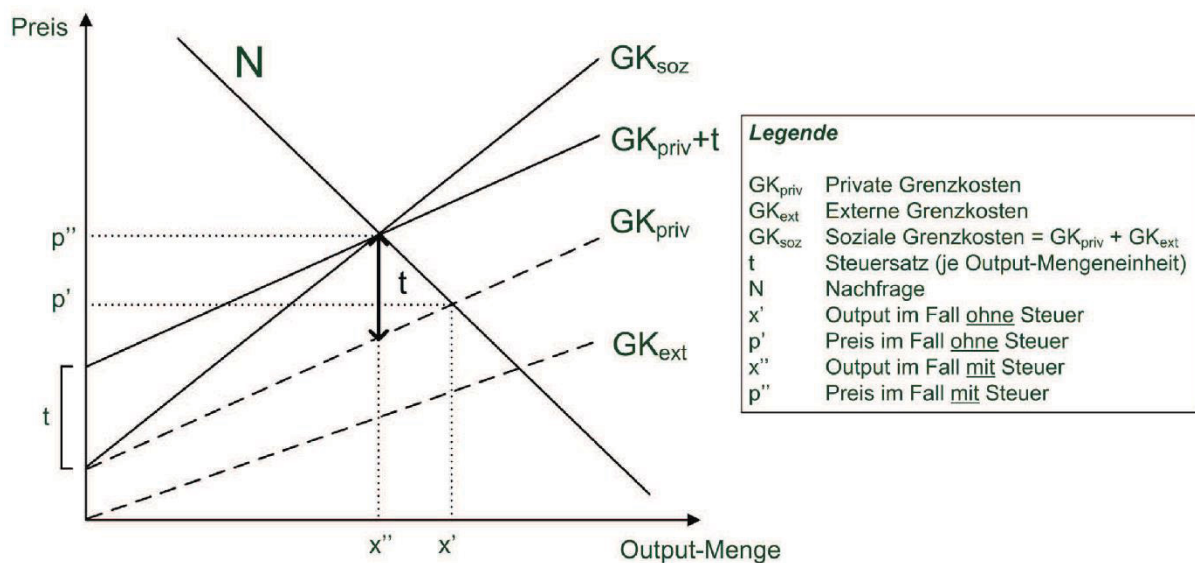


Abb. 3.1: Prinzip der Pigou-Steuer

Darstellung aus (Institut für Logistik und Materialflusstechnik, Universität Magdeburg, 2011 S. 61).

Die Schwierigkeit der Ermittlung einer exakten Pigou-Steuer besteht nun darin, die exakten Verläufe der Grenzkosten- und Nachfragekurven für unterschiedliche Preise und Nachfragemengen zu kennen. Diese Daten liegen im Allgemeinen und insbesondere im Verkehrsmarkt nicht vor, so dass eine Pigou-Steuer nur theoretisch angenähert werden kann. Wie in (Institut für Logistik und Materialflusstechnik, Universität Magdeburg, 2011 S. 61) bemerkt, basieren daher „in der praxisorientierten Umwelt- und Klimapolitik alle Formen einer Emissionssteuer auf dem praktikableren Preis-Standard-Ansatz“.

### Preis-Standard-Ansatz

Der *Preis-Standard-Ansatz* beruht auf der Definition einer gewünschten Zielstellung und einer aus der dafür nötigen relativen Veränderung des Ist-Zustands festgesetzten Gebührenhöhe. Der tatsächliche neue Zustand stellt sich danach durch die Reaktionen des freien Marktes automatisch ein, kann aber von dem gewünschten Zielzustand abweichen.

Entgegengesetzt dazu ist der *Standard-Preis-Ansatz* definiert, bei dem ein Zielzustand politisch erzwungen wird. Durch die Einführung eines Handels mit Emissionszertifikaten, die den Ausstoß einer bestimmten Menge Schadstoffe erlauben, lässt sich mittels der Anzahl solcher Zertifikate eine Maximalmenge Emissionen vorschreiben. Der Preis, der für ein Zertifikat zu zahlen ist, stellt sich danach im Handel der Zertifikate erneut durch die Marktkräfte automatisch ein.

Zusammen mit Ordnungsmaßnahmen, die durch Mindeststandards (Euro-Abgasnorm) und Grenzwerte (z.B. für Schadstoffe, Lärm) die Möglichkeiten der Marktreaktionen auf einen (um-



welt-)politisch gewünschten Bereich eingrenzen, sind dies die drei grundlegenden Maßnahmenkategorien (Institut für Logistik und Materialflusstechnik, Universität Magdeburg, 2011 S. 59).

### 3.2.4 Ansätze zur Ermittlung der optimalen Gebührenhöhe

Da die Ermittlung der optimalen Pigou-Steuer mit den momentan vorliegenden Werkzeugen nicht möglich ist, wird zur Berechnung der Gebührenhöhe im Preis-Standard-Ansatz generell auf vier Ansätze zurückgegriffen:

- **Marktpreisansatz:** Es wird ein Referenzwert aus dem Preis von Zertifikaten herangezogen, der sich im Zertifikathandel eingestellt hat. Dieser Ansatz ist nur gangbar, wenn bereits ein auf den betrachteten externen Effekt bezogener Zertifikathandel existiert.
- **Schadenskostenansatz:** Quantifizierung der Kosten, die zur Beseitigung der durch den externen Effekt verursachten Schäden aufzuwenden ist (Institut für Logistik und Materialflusstechnik, Universität Magdeburg, 2011 S. 151). Dieser Ansatz ist vergleichsweise gut quantifizierbar.
- **Vermeidungskostenansatz:** „Quantifizierung der Kosten, die zur Vermeidung einer bestimmten Menge an negativer Emissionswirkung notwendig ist“ (Institut für Logistik und Materialflusstechnik, Universität Magdeburg, 2011 S. 151). Auf die Gesamtwirtschaft ausgeweitet sind auch mögliche Vermeidungspotenziale in anderen Wirtschaftszweigen zu bewerten und der insgesamt günstigste zu wählen. Diese Optimierung der Vermeidungspotenziale stellt sich in einem Zertifikatehandel automatisch ein.
- **Steueransatz:** Soll durch die neu eingeführten Gebühren eine bestehende Steuer, die auf denselben externen Effekt abzielt, ersetzt werden, kann die Höhe der bisherigen Steuer als Anhaltspunkt für die durchschnittliche Höhe der Gebühr herangezogen werden.

Ist aus diesen Ansätzen ein durchschnittlicher Preis für eine Gebühr ermittelt, stellt sich aber in der Folge die Frage, ob eine gleichmäßige Belastung jeder Verkehrsleistung gerechtfertigt ist. Hier sei erneut darauf hingewiesen, dass externe Effekte je nach den Umgebungsbedingungen einer Fahrt unterschiedlich schwerwiegende Auswirkungen nach sich ziehen, die mit den *Grenzkosten* einer Fahrt beschrieben werden (siehe Kapitel 2.1.6). Es wird daher empfohlen, nach den entsprechenden Faktoren differenzierte Gebühren je Kilometer zu erheben (beispielsweise in (van Essen, et al., 2008 S. 2)).

Eine exakte Berechnung der Abgabenhöhe im Voraus ist somit nicht möglich. Trotzdem ist eine allmähliche Annäherung an das gesellschaftliche Optimum sowohl möglich als auch wünschenswert. „Unter praxisgerechten Bedingungen ist es völlig ausreichend, einen Prozess der ständigen Überprüfung und Bewertung der externen Effekte einzurichten, um diese jederzeit

„so gut wie möglich“ schätzen zu können – und die Preissignale für den Nutzer entsprechend anzupassen“ (Becker, et al., 2012 S. 6).

### 3.2.5 Verschiedene externe Effekte erfordern unterschiedliche Maßnahmen

Wie nun bereits mehrfach erwähnt, ist die Umsetzung einer Internalisierung externer Kosten durch eine einzelne Maßnahme nicht sinnvoll umsetzbar. Vielmehr besteht eine allgemeine wirtschaftspolitische Regel, nach der „unterschiedliche Ziele mit jeweils spezifischen Instrumenten zu erreichen sind. Diese Regel bedingt eine Trennung von Gebühren für die Inanspruchnahme der Infrastruktur einerseits und die Internalisierung externer Effekte andererseits. Ziele für die Bemessung der Infrastrukturgebühren sollten die effiziente Auslastung und die Finanzierung der Infrastrukturokapazitäten sein (optimale Staugebühr). Gebühren für Externalitäten haben dagegen eine Lenkungsfunktion.“ (Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2009 S. 78)

Zusätzlich entscheiden sich die Anforderungen an eine erfolgreiche Internalisierung je externem Effekt sehr unterschiedlich. Während für Maßnahmen gegen die Emission von klimawirksamen Gasen eine konstante Gebühr angesetzt werden kann, da sich die Auswirkungen nicht großartig unterscheiden, gleich, wo die Emission stattfindet, entstehen Zusatzkosten in städtischen Räumen ausschließlich in Siedlungsgebieten. Zur langfristigen Reduktion des Kraftstoffverbrauchs eignet sich eine direkte Steuer auf den Kauf von Kraftstoffen, während Lärm durch Mindeststandards und schallemissionsabhängige Infrastrukturnutzungsgebühren gesteuert werden kann.

Im folgenden Kapitel sollen Vorschläge bekannter Studien ausgewertet werden, wie den einzelnen externen Effekten am besten begegnet werden kann.

## 3.3 Überblick möglicher Internalisierungsinstrumente

Internalisierungsinstrumente lassen sich in vier grundsätzliche Kategorien einteilen:

- Aufklärung und Information
- Auflagen, Ge- und Verbote
- Preispolitik in Form von Abgaben
- Zertifikate

(Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2009 S. 82)

Ausgehend von dieser Einteilung sollen in diesem Kapitel Internalisierungsinstrumente benannt und beschrieben werden. Hierzu wird zunächst eine Literaturrecherche durchgeführt, woraufhin im Anschluss weitere eigene Ideen formuliert werden.

### 3.3.1 Ergebnisse relevanter Studien

Im Rahmen einer Literaturschau wurden bereits untersuchte Internalisierungsmaßnahmen zusammengetragen. Sie sind in Tabelle 15 zusammengefasst.

Tabelle 15: Zusammenstellung möglicher Internalisierungsmaßnahmen

\*Beirat BMVBS = (Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2009)

Externe Effekte	Internalisierungsmaßnahmen	Quellen
Unfälle	Anpassung des Versicherungssystems Geschwindigkeitsbeschränkungen	Beirat BMVBS*, (Tiedtke, 2013) (Schreyer, et al., 2004)
Lärm	Finanzielle Anlastung situationsabhängig differenziert  Gebühr für laute Güterwagen	Beirat BMVBS*, (Tiedtke, 2013), (Schreyer, et al., 2004)  Beirat BMVBS*, (EU-Kommision, 2011)
Luftverschmutzung	Handel mit Emissionszertifikaten  Infrastrukturnutzungsgebühr  Geschwindigkeitsbeschränkungen	Beirat BMVBS*, (Institut für Logistik und Materialflusstechnik, Universität Magdeburg, 2011)  (EU-Kommision, 2011), (Schreyer, et al., 2004) (Schreyer, et al., 2004)
Klimakosten	Handel mit Emissionszertifikaten  Energiesteuer/ökologische Steuerreform  Besteuerungsmodelle Geschwindigkeitsbeschränkungen	Beirat BMVBS*, (Institut für Logistik und Materialflusstechnik, Universität Magdeburg, 2011), (Bühler, et al., 2009) (Tiedtke, 2013), (Centrum für Europäische Politik, 2008) (EU-Kommision, 2011) (Schreyer, et al., 2004)
Natur und Landschaft	Anlastung bei Bau der Infrastruktur	Beirat BMVBS*
Vor- und nachgelagerte Prozesse	Anlastung am Entstehungsort (Fahrzeug-/Kraftstoffproduktion) Energiesteuer/ökologische Steuerreform	Beirat BMVBS*  (Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft, 2006)
Zusatzkosten in städtischen Räumen	Anlastung bei Bau der Infrastruktur	Beirat BMVBS*
Biodiversität	Anlastung bei Bau der Infrastruktur	Beirat BMVBS*
Erd- und Wasserverschmutzung	Anlastung bei Bau der Infrastruktur	Beirat BMVBS*

Es folgt eine kurze Beschreibung der einzelnen Maßnahmen:

- **Anpassung des Versicherungssystems:** Während die Reproduktionskosten (Rehabilitation von Verletzten) durch Unfälle bereits größtenteils von Versicherungen gedeckt sind, werden die resultierenden Arbeitsausfallkosten meist noch zu gering angesetzt (Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2009). Eine stärkere Differenzierung der Versicherungstarife nach dem Fahrverhalten wäre zudem im Güterverkehr ohne Berücksichtigung des Datenschutzes möglich, indem Fahrtdaten ausgewertet werden. Zusätzlich sind Anreizmodelle für den Besuch von Fahrtrainings auszuweiten.
- **Geschwindigkeitsbeschränkungen:** Durch die Verringerung der Maximalgeschwindigkeit (und damit einhergehend einer Harmonisierung der gefahrenen Geschwindigkeiten) reduzieren sich die je Kilometer anfallenden Emissionen. Insbesondere in Siedlungsgebieten, aber auch generell (Klimakosten) ist eine Nutzung von Geschwindigkeitsbeschränkungen zur Emissionsminderung denkbar. Dies stellt eine angebotsorientierte Maßnahme dar.
- **Finanzelle Anlastung situationsabhängig differenziert:** Eine räumlich und zeitlich variierende Infrastrukturnutzungsgebühr entsprechend der Grenzkosten einer Fahrt<sup>15</sup>
- **Gebühr für laute Güterwagen:** Erhöhung der Trassengebühren des Schienengüterverkehrs abhängig von der Ausrüstung der Güterwagen mit lärmindernden Bauteilen
- **Handel mit Emissionszertifikaten:** Einführung eines Handels mit Emissionszertifikaten. Zertifikate erlauben eine bestimmte Menge Emissionen. Durch die Konkurrenz um die in begrenzter Zahl vorhandenen Zertifikate entsteht ein Marktpreis, der dazu führt, dass Emissionen dort eingespart werden, wo es am günstigsten möglich ist (Wirtschaftsbereiche übergreifend).
- **Infrastrukturnutzungsgebühr:** Eine zeitlich konstante, nach Merkmalen des Fahrzeugs differenzierte Infrastrukturnutzungsgebühr
- **Energiesteuer/ökologische Steuerreform:** Nutzung der vorhandenen Mittel der Besteuerung von Strom und Kraftstoffen, um externe Kosten an ihrer Quelle, der Strom- oder Kraftstoffproduktion, zu minimieren

---

<sup>15</sup> Es ist anzumerken, dass diese Idee starken technischen Beschränkungen unterworfen ist. Sowohl die Ausrüstung der Fahrzeuge mit einer ausreichend genauen Erhebungstechnik als auch die Bereitstellung der für eine Entscheidung entsprechend der aktuell vorliegenden Kosten notwendigen Informationen sind bisher ungelöste Probleme. Datenschutzrichtlinien, die eine exakte Erfassung der gefahrenen Strecke im Individualverkehr verbieten, sind im Güterverkehr allerdings nicht zu beachten.

- **Besteuerungsmodelle:** Ausweitung der Differenzierung bestehender Steuern (z.B. Kfz-Steuer) um weitere für die externen Effekte relevanten Fahrzeugmerkmale
- **Anlastung beim Bau der Infrastruktur:** Anlastung der externen Kosten nicht bei der Erbringung einer Verkehrsleistung, sondern beim Bau der Verkehrswege, wo die entsprechenden externen Kosten anfallen. Eine Umlegung auf den Verkehr erfolgt später über die zur Finanzierung der Infrastruktur nötigen Gebühren.

Weitere, in den vorliegenden Studien noch nicht genannte Internalisierungsinstrumente werden im folgenden Kapitel aufgeführt.

### 3.3.2 Weitere Internalisierungsinstrumente

Unter dem Grundsatz, dass Internalisierungsmaßnahmen in sich korrekte Anreize bieten sollen, werden einige weitere Internalisierungsinstrumente definiert und qualitativ beschrieben. Beispielsweise sind Maßnahmen, die unabhängig von der Fahrleistung erhoben werden, abzulehnen, da nach einer einmaligen Zahlung der Anreiz für den Verkehrsteilnehmer besteht, diese Kosten durch eine maximale Fahrleistung zu rechtfertigen.

- **Innenstadtmaut:** Stellt eine einfache Form einer räumlich differenzierten Infrastrukturbenutzungsgebühr dar. Da die Auswirkungen externer Effekte in Städten am größten sind, wird nur dort eine Abgabe erhoben. Eine fahrleistungsabhängige Erhebung wäre wünschenswert, ist aber bei aktuellen Systemen nicht umgesetzt und wird daher nicht angenommen. Stattdessen wird ein fester Preis je Fahrt durch die Innenstadt angenommen.
- **Parkplatzpreise:** Ermittlung von Parkplatzpreisen anhand von Auslastungsdaten der angrenzenden Straßen<sup>16</sup>
- **Antizyklische Mineralölsteuer:** Erhöhung der Kraftstoffsteuer bei fallenden Rohölpreisen, um die Auswirkungen der aus politischen Gründen stark schwankenden Ölpreise auf den Verkehrsmarkt zu begrenzen. (Schieritz, 2016)
- **EEG-Umlage anpassen:** Entsprechend der Ausführungen in Kapitel 2.2.1.3 zur EEG-Umlage soll untersucht werden, wie sich eine Reduktion der Steuerbelastung auf Strom aus erneuerbaren Energiequellen auf die Internalisierungsziele auswirkt.
- **Zentralisiertes KV-System:** Angebot eines zentralen Systems für den Kombinierten Verkehr auf der Schiene mit einheitlichen Standards und Tarifen und Verbesserungen gegenüber den bestehenden Kombinierten Verkehren in den Bereichen: Transportfrequenz,

---

<sup>16</sup> Parkplatzpreise werden zwar in die Bewertung der möglichen Internalisierungsmaßnahmen aufgenommen, können aber in dieser Arbeit nicht detaillierter untersucht werden, da die entstehenden Preisveränderungen stark situationsabhängig und ohne eine Detailuntersuchung nicht abschätzbar sind.

Pünktlichkeit, Netzdichte und Vorlaufzeit zwischen Buchung und Transport. Dies stellt eine angebotsorientierte Maßnahme dar.

Im Folgenden sollen aus den genannten Internalisierungsinstrumenten die am besten geeigneten ausgewählt und für die weitere Untersuchung genauer beschrieben werden.

### 3.4 Auswahl der betrachteten Internalisierungsmaßnahmen

Aus den im vorigen Kapitel vorgestellten Internalisierungsmaßnahmen sollen die geeignetsten zur weiteren Untersuchung ausgewählt werden. Hierzu sollen die Maßnahmen systematisch bewertet werden, ein Abgleich mit bereits umgesetzten Maßnahmen durchgeführt werden und zuletzt die ausgewählten Maßnahmen detaillierter beschrieben und quantifiziert werden.

#### 3.4.1 Bewertungskriterien

Die Bewertung erfolgt anhand von gewichteten Kriterien, die sowohl die Effektivität der Maßnahmen als auch ihre Umsetzbarkeit bewerten. Auch bei der Internalisierung soll nach dem Grundsatz vorgegangen werden, mit möglichst geringem Aufwand eine maximale Lenkungswirkung zu erreichen.

(Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2009 S. 83) nennt drei Kriterien zur Beurteilung der Effizienz von Internalisierungsmaßnahmen:

- **Statische Effizienz:** Eignung der Maßnahme, langfristig zu einem statischen Wohlfahrtsoptimum zu führen.
- **Dynamische Effizienz:** Eignung der Maßnahme, Anreize zur Vermeidung negativer externer Effekte hervorzurufen.
- **Ökologische Treffsicherheit:** Freiheit der Maßnahme von Auswirkungen auf nicht betrachtete externe Effekte und Genauigkeit in der Umsetzung der Zielstellung.

Da das statische Wohlfahrtsoptimum, wie in Kapitel 3.2.4 beschrieben, nicht exakt bestimmt werden kann, nimmt die dynamische Effizienz einen hohen Stellenwert in der Bewertung der Maßnahmen ein.

Nicht beurteilt wird durch diese drei Kriterien die Umsetzbarkeit der Maßnahmen, sowohl auf politischer, finanzieller wie auch auf technischer Ebene. Hierzu werden die Kriterien:

- politische Umsetzbarkeit,
- technische Umsetzbarkeit und
- Kosten der Umsetzung

definiert. Zusätzlich soll berücksichtigt werden, ob eine Maßnahme für den Verkehrsteilnehmer verständlich ist. Die Nutzertransparenz ist entscheidend für den Erfolg der Maßnahme, da nur ein über die Hintergründe der vorliegenden Preise informierter Nutzer eine rationale Entscheidung im Sinne der Internalisierungsmaßnahme treffen kann.

Zuletzt sollen die Transaktionskosten der vorgeschlagenen Maßnahmen untersucht werden, die entscheidend für ihre wirtschaftliche Effizienz ist. Transaktionskosten bezeichnen, im Gegensatz zu den einmalig anfallenden Kosten der Umsetzung, die Kosten, die bei der Erhebung und Abrechnung von Gebühren oder bei der Durchsetzung von Ordnungsmaßnahmen wiederkehrend anfallen<sup>17</sup>. Es ergeben sich die in Tabelle 16 dargestellten Bewertungskriterien samt ihrer Wichtungsfaktoren.

Tabelle 16: Gewählte Kriterien zur Bewertung von Internalisierungsmaßnahmen

Kriterium	Wichtungsfaktor	Anmerkungen
Statische Effizienz	1	Schwer zu bestimmen
Dynamische Effizienz	4	Entscheidende Anreizsetzung für die weitere Entwicklung des Verkehrsmarktes
Ökologische Treffsicherheit	2	Gezielte Ausführung der Internalisierung
Nutzertransparenz	2	Nachvollziehbarkeit der Maßnahme für den Verkehrsteilnehmer
Politische Umsetzbarkeit	1	Stellt eine kurzfristige Hürde dar, langfristig lassen sich auch unpopuläre Maßnahmen umsetzen
Technische Umsetzbarkeit	2	Falls noch nicht technisch umsetzbar, wäre bei guter Eignung der weitere Forschungsbedarf abzuschätzen
Kosten der Umsetzung	1	Einmalig anfallend
Transaktionskosten	2	Beeinflussen die Effizienz der Maßnahme langfristig

Die Bewertung anhand der ausgewählten Kriterien erfolgt auf einer Skala von 2 (sehr positiv) über 0 (neutral) bis -2 (sehr negativ). Die Summe aus den Einzelbewertungen multipliziert mit den Wichtungsfaktoren ergibt die Gesamtbewertung der Maßnahmen.

### 3.4.2 Ergebnisse der Bewertung

Die Ergebnisse der Bewertung sind in Anhang C zu finden. Es werden zunächst alle bereits umgesetzten Maßnahmen identifiziert und von der Auswahl ausgeschlossen. Diejenigen Internalisierungsmaßnahmen, die unter den verbleibenden Maßnahmen eine Bewertung größer

<sup>17</sup> Die Systemkosten für den Einzug der deutschen Lkw-Maut betragen beispielsweise 536 Mio. EUR pro Jahr, was etwa 12 % der durch die Maut generierten Einnahmen entspricht.

oder gleich des Medians der Bewertungen besitzen, sollen in der weiteren Untersuchung betrachtet werden. Die ausgewählten Maßnahmen werden im Folgenden detaillierter beschrieben.

#### **Umlage der Unfallkosten auf Versicherungsbeiträge: Straßenverkehr**

Die in der Kategorie Unfälle ermittelten Kosten werden auf die Versicherungen und durch diese auf die Versicherungsbeiträge übertragen. Gleichzeitig erfolgt eine stärkere Differenzierung der Beiträge im Güterverkehr nach dem Fahrverhalten. Da keine Datenschutzgründe gegen die Aufzeichnung des Fahrverhaltens sprechen, werden die so gewonnenen Daten statistisch ausgewertet und eine Risikobewertung des individuellen Fahrverhaltens durchgeführt. Zusammen mit den bereits jetzt erhobenen Daten zu Unfallbeteiligungen werden Beiträge erhöht oder gesenkt.

In dieser Arbeit wird nur die durchschnittliche Mehrbelastung der Verkehrsteilnehmer als Festpreis je Fahrzeugkilometer (Fzgkm) angenommen.

#### **Innenstadtmaut nach Abgasnorm: Straßenverkehr**

Die externen Kosten durch Luftverschmutzung werden in einer Innenstadtmaut zusammengefasst. Um die Transaktionskosten zu minimieren, wird ein fester Betrag je Fahrt in den Innenstadtzonen erhoben. Eine Staffelung nach Abgasnorm des Fahrzeugs ist vorzusehen. Die Maßnahme verliert ihre Auswirkungen auf den Verkehrsmarkt mit der Einführung schadstoffärmerer Antriebssysteme.

In dieser Arbeit wird ein Festpreis für die ersten und letzten 15 km einer Fahrt angenommen.

#### **Innenstadtmaut für Effekte in Siedlungsgebieten: Straßenverkehr**

Die externen Zusatzkosten in städtischen Räumen werden je Fahrt in der Innenstadt erhoben.

In dieser Arbeit wird ein Festpreis für die ersten und letzten 15 km einer Fahrt angenommen.

#### **Geschwindigkeitsbegrenzung zur Abgasverringering: Straßenverkehr**

Es wird eine Geschwindigkeitsbegrenzung für Lastwagen mit einem hohen Schadstoffausstoß eingeführt. Die Maßnahme verliert ihre Auswirkungen auf den Verkehrsmarkt mit der Einführung schadstoffärmerer Antriebsformen.

In dieser Arbeit wird diese Maßnahme durch die Verschlechterung der Eigenschaftswerte der Geschwindigkeit für den Straßenverkehr modelliert.



### **Antizyklische Mineralölsteuer: Straßenverkehr und Binnenschifffahrt**

Die externen Kosten des Klimawandels werden in Form einer antizyklischen Steuer auf den Kraftstoffpreis aufgeschlagen. Sie halten den Kraftstoffpreis demnach bei schwankenden Rohölpreisen stabil und internalisieren zugleich den bisher nicht gedeckten Teil der Klimakosten.

In dieser Arbeit wird eine Preissteigerung je Tonnenkilometer (tkm) angesetzt, da der Verbrauch entscheidend von der Beladung abhängt.

### **Anpassung von Stromsteuer und EEG-Umlage: Schienenverkehr**

Die Belastung des elektrischen Schienenverkehrs durch Stromsteuer und EEG-Umlage wird um den Anteil erneuerbarer Energieträger am Stromverbrauch des Bahnverkehrs gesenkt. Für konventionell erzeugten Strom wird keine Veränderung vorgesehen.

In dieser Arbeit wird eine Preisreduktion je tkm angesetzt, da der Stromverbrauch von der Beladung abhängt.

### **Straßenmaut nach Bevölkerungsdichte: Straßenverkehr**

Abhängig von der umliegenden Bevölkerungsdichte werden die externen Kosten aus Effekten in Siedlungsgebieten und durch Lärm auf eine Infrastrukturbenutzungsgebühr übertragen. Sollte gleichzeitig eine Innenstadtmaut für Effekte in Siedlungsgebieten eingeführt werden, so werden die externen Kosten hälftig auf beide Maßnahmen aufgeteilt.

In dieser Arbeit wird eine nach der Entfernung degressive Kostenfunktion je Fzgkm angenommen, da der Anteil der in städtischen Gebieten zurückgelegten Fahrtstrecke mit der Transportentfernung abnimmt.

### **Anhebung der Trassenpreise: Schienenverkehr**

Die Trassenpreise stellen ein nutzbares Instrument zur Internalisierung externer Kosten dar. Sie sollen um Berechnungsfaktoren entsprechend der Ursachen externer Effekte (z.B. eine Staffelung der Gebühren nach Lärmemissionen, wie bereits vorhanden) erweitert werden und um die Summe der externen Kosten des Schienengüterverkehrs angehoben werden.

In dieser Arbeit wird eine Preissteigerung je tkm angenommen, da die Zuladung von Zügen zu sehr schwankt, um sinnvolle Ergebnisse mit einer Gebühr je Fzgkm zu erzielen.

### **Anhebung der Schleusen- und Kanalgebühren: Binnenschifffahrt**

Die bestehenden Schifffahrtsgebühren werden um die Summe der externen Kosten, abzüglich der bereits in der Erhöhung der Mineralölsteuer berücksichtigten Anteile, erhöht. Eine Auswei-

tung der Gebührenerhebung auf natürliche Wasserstraßen sollte überprüft werden, um die Auslastung von Kanälen nicht einseitig zu verringern. Die bisherigen Schifffahrtsabkommen betrachten nur Gebühren zur Nutzung von Infrastruktur und stehen daher nicht im Widerspruch zur Erhebung von Internalisierungsgebühren.

In dieser Arbeit wird eine Preissteigerung je tkm angenommen, da die Zuladung von Schiffen zu sehr schwankt, um sinnvolle Ergebnisse mit einer Gebühr je Fzgmtkm zu erzielen.

### Zentralisiertes KV-System: Schienenverkehr

Einführung eines neuen Kombinierten Schienenverkehrssystems. Es werden Preise des bestehenden Kombinierten Verkehrs angenommen, aber Verbesserungen in den Bereichen: Transportfrequenz, Pünktlichkeit, Netzdichte und Vorlaufzeit zwischen Buchung und Transport angenommen.

#### 3.4.3 Untersuchung möglicher Ausgleichsmaßnahmen

Die exakten Reaktionen des Verkehrsmarktes auf die untersuchten Internalisierungsmaßnahmen werden im weiteren Verlauf der Arbeit abgeschätzt. Bereits vor der Aufstellung des Modells sind jedoch zwei grundsätzliche Herangehensweisen denkbar:

- Nutzung der Internalisierungsmaßnahmen zur Herstellung einer angenäherten Kostenvahrheit: Der Verkehr wird mit seinen vollen Kosten belastet, wodurch eine gesamtwirtschaftlich gerechte Ressourcennutzung ermöglicht wird. Durch stark steigende Preise des Verkehrs ist allerdings mit einer verminderten Verkehrsleistung zu rechnen, die kurzfristig starke wirtschaftliche Schäden verursachen könnte.
- Nutzung der Internalisierungsmaßnahmen zur Anreizsetzung zur Vermeidung externer Effekte mit der Zielstellung insgesamt gleichbleibender Kosten des Verkehrs und einer dadurch gleichbleibenden Verkehrsleistung.

Im ersten Fall sind sowohl Auswirkungen auf die Preise von Konsumgütern durch eine Verteuerung des Transports als auch auf die wirtschaftliche Entwicklung des Standorts Deutschland zu beachten. So wird in (Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2009 S. 101) ausgeführt, dass angesichts des geringen Anteils der Transportkosten an den Produktpreisen von Konsumgütern<sup>18</sup> keine schwerwiegenden Reaktionen zu erwarten sind. Auch können Produktionsketten langfristig an eine geänderte wirtschaftliche Umgebung angepasst werden und beispielsweise Standorte zusammengelegt, lokale Zulieferer

<sup>18</sup> (Statista GmbH, 2016a) weist für 2008 einen Anteil von 15,9 % an den Gesamtkosten des Handels bzw. 7 % der Gesamtkosten der Industrie aus.

beauftragt oder regional verfügbare Alternativprodukte genutzt werden, um steigenden Transportkosten entgegenzuwirken.

Kurzfristig aber würden stark steigende Transportkosten durch Internalisierungsmaßnahmen, die nur in Europa oder gar nur in Deutschland eingeführt würden, eine erhebliche Mehrbelastung von Unternehmen im internationalen Wettbewerb bedeuten. Eine Verlagerung von Produktionsstandorten ins Ausland würde Arbeitsplätze in Deutschland vernichten und das Steuervolumen senken. Zudem würden die erhofften Effekte der Internalisierung durch eine Verlagerung des Verkehrs in Länder mit geringeren Umweltstandards konterkariert.

Es soll daher in dieser Arbeit versucht werden, sowohl eine mittelfristig umsetzbare Variante, die eine Verminderung der externen Kosten ohne Verringerung der Gesamtverkehrsleistung erzeugt, als auch eine langfristig anzustrebende Internalisierung aller externen Kosten zu simulieren.

Zur Einhaltung insgesamt gleichbleibender Kosten sind neben neuen Internalisierungsgebühren auch gezielte Subventionen für Verkehrsträger mit geringen externen Kosten notwendig. Eine exakte Berechnung der Höhe der hierfür nötigen Preisänderungen ist allerdings nur auf Grundlage der aktuellen Verkehrssituation möglich, nicht jedoch für einen hypothetischen zukünftigen Modal Split. Es wird daher in diesem Fall der *kostenneutralen Internalisierung* angenommen, dass die externen Kosten je Kategorie um den gewichteten Mittelwert der Verkehrsträger reduziert wird. Der gewichtete Mittelwert wird berechnet nach der Formel:

$$\overline{K_{ext}} = \frac{\sum K_{ext,n} * P_{Verkehr,n}}{P_{Verkehr}} \text{ in [EUR]} \quad \text{Formel 8}$$

mit:  $\overline{K_{ext}}$  = gewichteter Mittelwert der externen Kosten,  $K_{ext,n}$  = externe Kosten des Verkehrsträgers n,  $P_{Verkehr,n}$  = Verkehrsleistung des Verkehrsträgers n,  $P_{Verkehr}$  = Gesamtverkehrsleistung.

Im Verlauf der Arbeit sollen immer beide Möglichkeiten der Internalisierung betrachtet werden.

## 4 Abschätzung der Marktreaktionen

In diesem Kapitel sollen die Auswirkungen der gewählten Internalisierungsmaßnahmen auf den Güterverkehrsmarkt theoretisch hergeleitet, durch ein mathematisches Modell beschrieben und schließlich ausgewertet werden.

### 4.1 Erläuterung von Grundlagen

Bezüglich der realisierten Transportleistung gibt es hierbei zwei grundsätzliche Reaktionsmöglichkeiten auf steigende Preise eines Verkehrsmittels:

- Verkehrsvermeidung: Die Gesamttransportleistung geht zurück, da der Transport mit dem geeigneten Verkehrsmittel zu teuer wird und keine geeignete Alternative zum Transport mit anderen Verkehrsmitteln besteht.
- Verkehrsverlagerung: Es besteht eine nutzbare alternative Transportmöglichkeit, wodurch sich die Transportleistung von einem Verkehrsmittel auf ein anderes verlagert. Die gesamte Transportleistung bleibt konstant.

Außerdem besteht die Möglichkeit, dass die Transportdienstleister eine Preissteigerung durch eigene Maßnahmen kompensieren, ohne, dass der Kunde zusätzlich belastet wird, z.B. durch:

- Effizienzsteigerungen: Optimierung der eigenen Abläufe, je nach Art der Preissteigerung Vermeidung der Ursache der zusätzlichen Belastung (beispielsweise bei steigenden Kraftstoffpreisen die Anschaffung sparsamer Fahrzeuge),
- Verringerung der Gewinnmarge: Beibehaltung des Kundenpreises bei steigenden Kosten durch Inkaufnahme eines geringeren Gewinns.

Für die Berechnung von Marktauswirkungen müssen diese drei Effekte in ihrer Summe betrachtet werden.

Eine Verkehrsvermeidung ist relativ einfach zu berechnen, sobald die *Preiselastizität* des betrachteten Marktes bekannt ist. Diese gibt an, wie die Nachfrage nach einem Gut bzw. einer Dienstleistung auf eine Preisveränderung reagiert und wird formuliert als:

$$\eta_P = \frac{\text{prozentuale Veränderung der Verkehrsleistung}}{\text{prozentuale Veränderung des Preises}}$$

$$= \frac{\Delta P_{\text{Verkehr}}/P_{\text{Verkehr}}}{\Delta \text{Preis}/\text{Preis}} \quad \text{Formel 9}$$

mit:  $\eta_P$  = Preiselastizität (dimensionslos),  $P_{\text{Verkehr}}$  = Transportleistung.

Weitaus komplexer gestaltet sich die Ermittlung einer Verkehrsverlagerung. Es stellt sich hier sowohl die Frage, inwieweit eine Verlagerung möglich ist, ohne dass eine Verkehrsvermeidung

eintritt, als auch jene, auf welche Verkehrsträger sich die entsprechende Transportmenge verlagert. Es wird davon ausgegangen, dass intramodale Verkehrsverlagerungen (zwischen Anbietern desselben Verkehrsmittels) im Rahmen der Ermittlung der Preiselastizitäten bereits berücksichtigt werden, so dass hier nur auf intermodale Beziehungen (zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln) eingegangen werden soll.

Hierbei wird die Verkehrsmittelwahl „neben dem Preis auch durch Qualitätskriterien bestimmt, da es sich um imperfekte Substitute handelt“ (Bühler, et al., 2009 S. IV). Die Verkehrsträger können also eine Verkehrsnachfrage unterschiedlich gut befriedigen und rechtfertigen damit unterschiedliche Preise. „Die Qualitätseigenschaften des angebotenen Verkehrsmittels werden anhand objektiver Kriterien wie Berechenbarkeit, Schnelligkeit, Bequemlichkeit, Taktung usw. bestimmt und ergeben eine gewisse Verkehrswertigkeit“ (Bühler, et al., 2009 S. IV). Auch dieser Zusammenhang lässt sich in Preiselastizitäten ausdrücken, den sogenannten *Kreuzpreiselastizitäten*. Sie werden für ein Paar aus zwei Verkehrsmitteln bestimmt und geben an, wie die Preisänderung des einen Verkehrsmittels auf die Nachfrage des anderen wirkt. Die Ermittlung dieser Elastizitäten ist aber mit sehr großen Unsicherheiten behaftet, weshalb die vorhandenen Literaturwerte nicht als Grundlage dieser Arbeit verwendet werden können. Die mathematische Nachbildung dieser Verkehrswertigkeiten zur Bestimmung geeigneter Verkehrsverlagerungen ist in Kapitel 4.3.4.1 beschrieben.

Die Möglichkeit innerbetrieblicher Kompensationen für steigende Preise kann angesichts der nicht abschließend betrachtbaren technischen und finanziellen Variablen nur pauschal berücksichtigt werden.

Alle drei Effekte können gleichzeitig wirken. Es ist daher über eine reine Berechnung der Verkehrsvermeidung, wie sie oft über die Preiselastizitäten geschieht, hinaus eine komplexe Analyse nötig, um eine realitätsnahe Abschätzung der Auswirkungen von preislichen und anderen Internalisierungsmaßnahmen zu ermöglichen. Diese Analyse ist Thema dieses Kapitels.

## 4.2 Analyse der Preiselastizitäten im Güterverkehr

### 4.2.1 Literaturschau

Preiselastizitäten im Verkehrswesen sind nur schwierig zu erheben. Da keine Möglichkeit besteht, Versuche in Form nationaler Preisänderungen durchzuführen, muss auf Daten aus verschiedenen Jahren oder unterschiedlichen Betrachtungsräumen zurückgegriffen werden, um die Auswirkungen von Preisänderungen auf die Nachfrage nach Transportleistungen zu erforschen. Dies ist immer auch damit verbunden, andere Einflüsse, die sich durch zeitliche oder räumliche

Veränderungen zwangsweise ergeben<sup>19</sup>, aus den ermittelten Werten herauszurechnen und mündet, zumindest in so komplexen Systemen wie einer Volkswirtschaft, zwangsläufig in einer Schätzung.

Dementsprechend existieren nur wenige Studien, die sich detailliert mit den Preiselastizitäten der einzelnen Güterabteilungen im Güterverkehr beschäftigen. Betrachtet werden im Folgenden die vier Quellen (Puwein, 2009), (de Jong, et al., 2010), (Bühler, et al., 2009) und (Transport & Environment, 2010). Da sie sehr unterschiedliche Ansätze zur Bestimmung der Preiselastizitäten verwenden und nur schwer miteinander zu vergleichen sind, werden sie jeweils samt ihren Ergebnissen einzeln kurz vorgestellt.

#### **Puwein: Preise und Preiselastizitäten im Verkehr (Puwein, 2009)**

In dieser Studie des *Österreichischen Institutes für Wirtschaftsforschung* werden verschiedene bekannte Studien zu einzelnen Preiselastizitäten gesammelt und verglichen. Als Grundlage dient vor allem eine Studie, die Schätzungen für den Güterverkehr in den USA, Kanada, Großbritannien und Australien liefert. Die Resultate sind daher nur mit Vorsicht auf Deutschland zu übertragen. Es wird als Ergebnis des Vergleichs jeweils ein wahrscheinlichster Bereich für die Preiselastizitäten angegeben. Die Ergebnisse werden zur besseren Einordnung in diese Arbeit nach NST 2007 (Statistisches Bundesamt, 2008) kategorisiert.

Wie bereits aus diesen Werten ersichtlich, aber auch explizit in der Studie erwähnt, bestehen für die meisten gefundenen Preiselastizitäten große Unsicherheiten.

Es werden auch Kreuzpreiselastizitäten zwischen den Verkehrsträgern genannt, die aber durch große Schwankungen der Ergebnisse (bis hin zu Vorzeichenwechseln) hier nicht verwendet werden können.

---

<sup>19</sup> Beispielsweise Schwankungen der Wirtschaftsleistung, Entwicklung neuer Technologien zur Erbringung von Transportleistungen, Veränderungen des politischen Umfelds, Investitionen in die Infrastruktur, um nur einige zu nennen.

Tabelle 17: Preiselastizitäten im Güterverkehr nach (Puwein, 2009 S. 787f.)

Kursive Werte sind nur durch einzelne Studien ermittelt und daher nicht weiter eingeschränkt.

NST-Code	Bezeichnung	Straße	Schiene	Schifffahrt
1	Erzeugnisse der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei	-0,7 bis -1,0	-0,5 bis -1,2	-0,6 bis -1,6
2	Kohle, rohes Erdöl und Erdgas	-0,5 bis -0,7	-0,1 bis -0,4 (Kohle) -0,5 bis -1,0 (Erdöl)	-0,28 (Kohle) -1,49 (Rohöl)
3	Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	-0,3 bis -1,1	-1,0 bis -2,2	-0,28
4	Nahrungs- und Genussmittel	-0,5 bis -1,3	-0,3 bis -1,0	-
5	Textilien, Bekleidung, Leder und Lederwaren	-0,4 bis -0,8	-	-
6	Holzwaren, Papier, Pappe, Druckerzeugnisse	-0,1 bis -0,6	-0,1 bis -0,7	-1,12 (Papier) -0,60 (Holz)
7	Kokerei- und Mineralölerzeugnisse	-1,1 bis -3,0	-0,2 bis -1,0	-
8	Chemische Erzeugnisse etc.	-1,0 bis -1,9	-0,4 bis -0,7	-0,75
9	Sonstige Mineralerzeugnisse (Glas, Zement, Gips etc.)	-1,0 bis -2,2	-0,8 bis -1,7	-1,22
10	Metalle und Metallerzeugnisse	-0,3 bis -1,1	-1,0 bis -2,2	-0,55
11	Maschinen und Ausrüstungen, Haushaltsgeräte etc.	-0,1 bis -1,2	-0,6 bis -2,3	-
12	Fahrzeuge	-0,5 bis -0,7	-0,7 bis -1,1	-
13-20	Keine Angaben	-	-	-
<b>Gesamt</b>	Transportierte Güter insgesamt	-0,7 bis -1,1	-0,4 bis -1,2	-0,74 bis -0,75

### Significance & CE Delft: Price sensitivity of road freight transport (de Jong, et al., 2010)

Mehr um die Theorie hinter Preiselastizitäten als um konkrete Berechnungen geht es in dieser Studie von *significance* und *CE Delft*. Trotzdem werden zum Schluss Rechenbeispiele gegeben, die empfohlene Werte für Preiselastizitäten des Straßengüterverkehrs enthalten. Es wird differenziert nach Preisänderungen auf Ebene der Fahrleistung und solchen auf Ebene der Transportleistung, sowie den entsprechenden Nachfrageänderungen.

Tabelle 18: Preiselastizitäten im Straßengüterverkehr nach (de Jong, et al., 2010 S. 26f.)

Die erstgenannten Werte entsprechen den Ergebnissen der in der Studie vorgenommenen Literaturschau, die Werte in Klammern den gewählten Werten für die Beispielrechnungen.

Preis-/Nachfrageänderung	Fahrleistung	Transportleistung
Fahrleistung (Fzgkm)	-0,1 bis -0,8 (-0,9)	-0,1 bis -0,5 (-0,6)
Transportleistung (tkm)		-0,6 bis -1,5 (-1,0)

Die Abweichungen der gewählten Preiselastizität der Fahrleistung liegen darin begründet, dass innerhalb der Studie eine einheitliche Systematik, ausgehend von der Berechnung der Werte für Preisänderungen der Transportleistung, verwendet wurde.

#### ZEW GmbH: Wettbewerb und Umweltregulierung im Verkehr (Bühler, et al., 2009)

Diese Studie im Auftrag der DB Energie GmbH beschäftigt sich mit der unterschiedlich weit fortgeschrittenen Einbindung der Verkehrsträger in den Emissionshandel und nennt hierbei in Fallbeispielen auch Preiselastizitäten.

Tabelle 19: Beispielhafte Preiselastizitäten nach (Bühler, et al., 2009 S. 63ff.)

Gutart	Entfernung	Straße	Schiene	Schifffahrt
Kaufmannsgut	Ca. 850 km (international)	-1,15	-0,89	
Kaufmannsgut	Ca. 1300 km (international)	-0,7	-0,73	
Kaufmannsgut	Ca. 800 km (national)	-0,89	-1,15	
Massengut	Ca. 600 km (international)		-0,79	-0,79
Massengut	Ca. 320 km (national)		-0,79	-0,79

Eine weitere wichtige Erkenntnis wird bezüglich der Veränderung der Preiselastizitäten in Abhängigkeit der Transportweite getroffen. Es wird festgestellt, dass im Wettbewerb zweier Verkehrsmittel ein Entfernungsbereich besteht, in dem sich die Vorteile einer zuverlässigen und günstigen Beförderung über weite Strecken (üblicherweise Schienenverkehr oder Schifffahrt) mit jenen einer schnellen und günstigen Beförderung über kurze Strecke (Straßenverkehr) aufwiegen. In diesem Bereich herrscht eine hohe Preiselastizität, da beide Verkehrsmittel ähnlich fähig sind, die Transportleistung zu erbringen. Bei kürzeren Entfernungen erhöht sich der Anteil des Vor- und Nachlaufs für Schienen- und Schiffsverkehr, so dass diese nicht konkurrenzfähig sind; auf längere Distanz sinkt dieser Anteil, wodurch der Straßenverkehr zu teuer und kaum noch schneller ist. Die gefundenen Preiselastizitäten sind in Abb. 4.1 dargestellt.



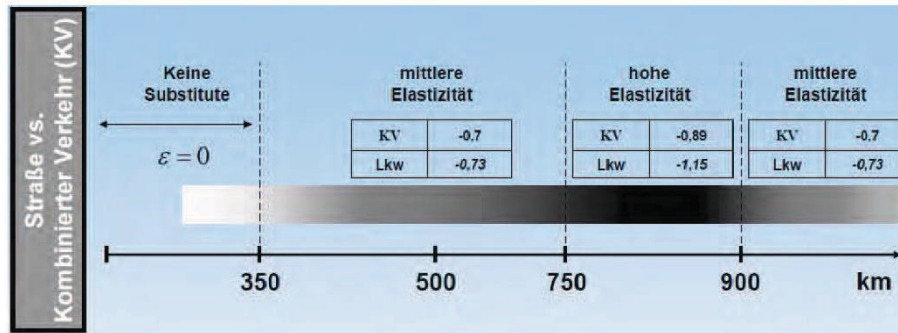


Abb. 4.1: Veränderung der Preiselastizitäten nach der Transportentfernung  
 Aus (Bühler, et al., 2009 S. 41).

Ähnlich wird diese Beobachtung in (den Boer, et al., 2011 S. 36) durch den sogenannten *fight market* über mittlere Distanzen beschrieben, in dem Veränderungen der Transportnachfrage durch Preismaßnahmen möglich sind. Darüber und darunter spielen andere Effekte eine größere Rolle.

Die Stärke dieses Effekts unterscheidet sich stark zwischen den Segmenten Kaufmannsgut und Massengut, da im Massenguttransport der Preis aufgrund der Masse und Wertigkeit des transportierten Gutes einen weitaus größeren Einfluss auf die Nachfrage besitzt als bei leichteren, teureren Gütern. Dadurch erstreckt sich der *fight market* über einen größeren Bereich, wirkt aber nur sehr schwach auf die (generell niedrigen) Preiselastizitäten (Bühler, et al., 2009 S. 40).

#### Transport & Environment: Über die Auswirkungen der Einführung der Lkw-Maut in Europa (Transport & Environment, 2010)

Diese kurze Zusammenfassung vorliegender Ergebnisse durch Transport & Environment nennt eine fahrzeugkilometerbezogene Preiselastizität von -0,9 in Anlehnung an die bereits beschriebene Studie (de Jong, et al., 2010). Darüber hinaus wird aber festgestellt, dass sich die aus dieser Preiselastizität entstehende Verringerung der Fahrzeugkilometer auf drei Effekte aufteilt:

- Ein Drittel resultiert aus einer sinkenden Transportnachfrage (Verkehrsvermeidung)
- Ein Drittel resultiert aus dem Verkehrsträgerwechsel (Verkehrsverlagerung)
- Ein Drittel resultiert aus einer Steigerung der Transporteffizienz bei gleichbleibender Transportleistung (Fahrleistung pro Transportleistung)

(Transport & Environment, 2010 S. 3)

#### 4.2.2 Ermittlung einer Preiselastizität aufgrund von Verlagerungspotenzialen

Die bestehende Datenlage erlaubt es nicht, für jede Kombination aus Transportgut und Verkehrsträger eine exakte Preiselastizität zu bestimmen. Zudem ist anzunehmen, dass, wie in

(Bühler, et al., 2009) gezeigt, die Elastizität mit der zurückgelegten Entfernung variiert, da unterschiedliche Verlagerungspotenziale zwischen den Verkehrsträgern bestehen.

Daher, und aufgrund der sehr großen Spielräume der in der Literatur bekannten Werte, wird für diese Arbeit beschlossen, für die Untersuchung der Marktreaktionen eine eigene Funktion der Preiselastizitäten zu entwickeln anhand der folgenden Parameter:

- aus den Eigenschaftsfaktoren ermittelte Eignung des Verkehrsträgers für das jeweilige Transportgut in Relation zu den Eignungen der anderen Verkehrsträger,
- dem Vergleich der Transportkosten mit dem Preisniveau der anderen Verkehrsträger je Entfernung und Transportgut und
- der Wertigkeit der Transportgüter auf einer Skala von 1 bis 3.

Die Formel zur Berechnung der Elastizitäten ist:

$$\eta_P = -k * 0,25 * W * (2 - \sqrt{|f(PxE) - 0,5|}) \quad \text{Formel 10}$$

mit:  $\eta_P$  = Preiselastizität (dimensionslos),  $k$  = Korrekturfaktor je Verkehrsträger,  $W$  = Wertigkeit je Transportgut,  $f(PxE)$  = Funktion aus Transportkosten („Preis“,  $P$ ) und Eignung ( $E$ ).

Die sich ergebenden Werte werden durch die Korrekturfaktoren je Verkehrsträger im Mittel den Literaturwerten aus (Puwein, 2009) angeglichen. Die Korrekturfaktoren belaufen sich hierbei auf 1,21 (Straße), 1,19 (Schiene) und 1,05 (Binnenschifffahrt), was auf eine angesichts der großen Schwankungen der Literaturwerte ausreichende Genauigkeit schließen lässt.

Es steht hiermit ein, mit den genannten Einschränkungen, nutzbares Modell zur Ermittlung transportgutspezifischer Elastizitäten zur Verfügung.

### 4.3 Ansatz zur Abschätzung der resultierenden Verkehrsverlagerung

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie auf Grundlage der berechneten Elastizitäten eine Marktreaktion aus den Effekten Verkehrsvermeidung, Verkehrsverlagerung und Effizienzsteigerungen ermittelt wird. Zunächst werden die gewählten Eingangsgrößen beschrieben, worauf die eigentliche Modellrechnung folgt. Zum Schluss wird erläutert, wie das Modell kalibriert werden kann, um eine möglichst realitätsnahe Abbildung zu ermöglichen.

#### 4.3.1 Verwendete Programme

Zur Berechnung der Marktreaktionen wird das Programm Excel verwendet. Während der Bearbeitung wurden die Grenzen der Anwendung sehr deutlich und haben an einigen Stellen eine exaktere Auswertung verhindert. Dies betrifft sowohl die schlichte Rechengeschwindigkeit als auch die Möglichkeit, kontinuierliche Funktionen anhand tausender Datenpunkte auszuwerten. Es ist daher an mehreren Stellen nötig, eine Einteilung der Ergebnisse in Bereiche um einzelne

berechnete Werte vorzunehmen, z.B. die Einteilung der Entfernung in Schritte von 50 bis 100 km. Für weitere Untersuchungen wird daher empfohlen, eine für diesen Zweck erstellte Programmierung zu verwenden, die eine genauere Auswertung der gewählten Funktionen über mehr Einzelwerte ermöglicht.

## 4.3.2 Eingangsgrößen

### 4.3.2.1 Datengrundlage

Als Datengrundlage für die Untersuchung werden folgende Informationen genutzt:

- Statistik zum Modal Split nach Transportleistung und Transportmenge im Güterverkehr in Deutschland 2014, getrennt nach Transportgütern gemäß NST 2007: (Statistisches Bundesamt, 2016c) sowie (Statistisches Bundesamt, 2015b S. 15ff.)
- Statistik zur durchschnittlichen Transportweite im Straßengüterverkehr 2014 (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015a S. 268ff.)
- Zusammenstellung der externen Kosten des Güterverkehrs aus eigener Berechnung (siehe Kapitel 2.1)

Genutzt werden außerdem Preisinformationen der Verkehrsträger aus folgenden Quellen:

- Preise und Konditionen der DB Schenker Rail AG (DB Schenker Rail AG, 2013 S. 10f.)
- Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Bahn und Wasserstraße, Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (PLANCO Consulting GmbH, Essen, 2007 S. 27, 33f.)
- Preistabellen der Rail Cargo Operator – Austria GmbH (Rail Cargo Operator - Austria GmbH, 2015)
- Preise der RAAlpin AG (RAAlpin AG, 2016)
- Studie zu Auswirkungen von Gigalinern auf den Kombinierten Verkehr und den Einzelwagen-Schienengüterverkehr, Fraunhofer ISI (Fraunhofer ISI, 2011)
- Urban Transport XVI: Internal costs per transport mode (Pratelli, et al., 2010 S. 28)

Angesichts des Anspruchs dieser Arbeit, eine nach Transportgut aufgeschlüsselte Abschätzung der Marktreaktionen zu ermöglichen, und der vorhandenen Einteilung der genutzten Verkehrstatistik, wird die Kategorisierung der Transportgüter nach NST 2007 (Statistisches Bundesamt, 2008) gewählt. Diese Einteilung stellt eine europaweit einheitliche Grundlage zur Erfassung von Transportgütern dar und bildet die vorhandenen Güter in 20 Kategorien sehr fein ab. Eine Vereinfachung auf 10 bzw. 7 Güterabteilungen ist verfügbar, wird aber hier nicht genutzt, da genügend Daten für eine detailgetreuere Untersuchung vorliegen.

### 4.3.2.2 Verkehrsmittel

Es werden folgende Verkehrsmittel zur Untersuchung ausgewählt:

Straßengüterverkehr:

- LDV (*Light-duty vehicles*, Kleinlaster/Lieferwagen bis 3,855t zGG)
- HDV (*Heavy-duty vehicles*, Lkw bis 40t zGG)
- GigaLiner (Lkw mit einer Länge bis 25,25 m und 44t zGG)

Schienengüterverkehr:

- Güterzug (Einzelwagenverkehr oder Ganzzug)
- unbegleiteter Kombiniertes Verkehr (Containerverkehr, KV-Zug)
- begleiteter Kombiniertes Verkehr („Rollende Landstraße“)
- zentralisiertes KV-System (im Rahmen einer Internalisierungsmaßnahme)

Binnenschifffahrt:

- Binnenschiff (Massengutverkehr)
- KV-Schiff (Containerverkehr)

In der Betrachtung der Ausgangssituation werden die Verkehrsmittel *GigaLiner* und *zentralisiertes KV-System* nicht berücksichtigt. *GigaLiner* sind aufgrund politischer Entscheidungen bisher nicht freizügig in Deutschland einsetzbar und daher nicht relevant am Verkehrsmarkt beteiligt. Das vorgeschlagene KV-System ist dagegen eine optionale Internalisierungsmaßnahme und daher erst in der späteren Auswertung einzuführen.

### 4.3.2.3 Eigenschaftsfaktoren

Um eine detaillierte Untersuchung der Auswirkungen von Internalisierungsmaßnahmen auf die verschiedenen Transportgüter zu ermöglichen, ist es nötig, eine Verbindung zwischen den Eigenschaften eines Verkehrsmittels und den Ansprüchen der Güterabteilung in Form einer Eignungskennzahl herzustellen. Hierfür werden sowohl Eigenschaften als auch Anforderungen nach den folgenden Kriterien auf einer Skala von 1 bis 5 bewertet:

- |                                   |                             |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| ▪ Transportgeschwindigkeit        | } Schnelligkeit             |
| ▪ Transportfrequenz               |                             |
| ▪ Pünktlichkeit                   |                             |
| ▪ Vorhandene Netzdichte           |                             |
| ▪ Beförderbare Masse pro Zeit     | } Massenleistungsfähigkeit  |
| ▪ Maximale Einzellast             |                             |
| ▪ Beförderbares Volumen pro Zeit  | } Volumenleistungsfähigkeit |
| ▪ Maximale Sperrigkeit            |                             |
| ▪ Vorlaufzeit Buchung - Transport |                             |

Um Zusammenhänge, die nicht alleine durch die oben genannten Faktoren ausgedrückt werden können, ebenfalls berücksichtigen zu können, werden außerdem drei *besondere Eignungen* definiert. So ist es z.B. nicht durch die oben genannten Eigenschaften der Binnenschifffahrt erklärbar, dass sie einen hohen Anteil an den Transporten der Fischerei hat, sondern alleine durch die geografische Eignung als Wasserverkehrsmittel. Besondere Beachtung finden daher:

- Affinität Verteilverkehr (für besonders kleinteilige Verkehre)
- Affinität KV-Verkehr (für Containerverkehre)
- Affinität Schifffahrt (beispielsweise Fischerei)

Eine besonders gute Eignung wird hierbei mit 1 bewertet, eine schlechte Eignung mit -1. Da diese besonderen Eignungen getrennt von den anderen Faktoren gewichtet werden, reicht diese einfachere Einteilung aus.

### 4.3.3 Modell

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte zur Erstellung der Modellrechnung genauer beschrieben. Zunächst wird die insgesamt zur Verfügung stehende Transportmenge je Transportgut für verschiedene Entfernungen ermittelt. Danach folgen die Untersuchung der Eignung der Verkehrsmittel für den Transport bestimmter Güterabteilungen sowie die Erstellung einer vollständigen Preismatrix je Verkehrsmittel und Entfernung. Aus diesen beiden Werten wird zuletzt ein Nachfragewert bestimmt, der sich in eine konkrete Transportmenge je Verkehrsmittel, Transportgut und -entfernung umrechnen lässt. Ein anschauliches Diagramm zur Vorgehensweise bei der Berechnung der Marktreaktionen ist in Anhang D zu finden.

### 4.3.4 Mathematische Näherung der Transportmenge nach der Transportentfernung

Für die Verteilung der transportierten Güter auf die Transportentfernung liegt nur eine generelle Erfassung aller Güterabteilungen im Straßenverkehr durch das BMVI aus dem Jahr 2014 vor (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015a). Sie gibt die gesamte Transportmenge in 16 Entfernungsbereiche unterteilt an. Zusammen mit den aus (Statistisches Bundesamt, 2015b S. 15ff.) ermittelten mittleren Transportentfernungen der einzelnen Güterabteilungen soll nun eine mathematische Beschreibung der individuellen Verteilung der Transportmenge für jedes Transportgut ermittelt werden.

Aufgrund ihrer großen Ähnlichkeit mit dem realen Verhalten wird die Erlang-Verteilung ausgewählt<sup>20</sup>. Sie ist eine stetige Wahrscheinlichkeitsverteilung und wird in Abhängigkeit der Transportentfernung  $d$  durch die Parameter  $\lambda$  und  $n$  wie folgt beschrieben:

---

<sup>20</sup> Es ist anzumerken, dass die Funktion entgegen ihrer eigentlichen Bedeutung als Wahrscheinlichkeitsverteilung verwendet wird, weshalb aus den hier ermittelten Ergebnissen keine weiteren Schlüsse gezogen werden dürfen, als die einer möglichst genauen Beschreibung der Mengenverteilung über die Entfernung.

$$f(d) = \begin{cases} \frac{\lambda^n d^{n-1}}{(n-1)!} e^{-\lambda d} & d \geq 0 \\ 0 & d < 0 \end{cases} \quad \text{Formel 11}$$

Da der Erwartungs- bzw. Mittelwert der Funktion mit  $E(d) = \frac{n}{\lambda}$  angegeben wird, ergibt sich für den Parameter  $n$ :

$$n = E(d) * \lambda = \bar{d} * \lambda \quad \text{in [km]} \quad \text{Formel 12}$$

mit:  $f(d)$  = Verteilungsfunktion (dimensionslos),  $d$  = Transportentfernung,  $\bar{d}$  = mittlere Transportentfernung je Güterabteilung und Verkehrsmittel,  $\lambda, n$  = Parameter.

Es wird experimentell ein Wert von 0,005 für den Parameter  $\lambda$  gewählt. Da die mittleren Transportentfernungen in einem Bereich zwischen 48 und 448 km liegen, entspricht dieser einem Parameter  $n$  zwischen 0,24 und 2,24. Die resultierende Verteilung ist in Abb. 4.2 zu sehen.

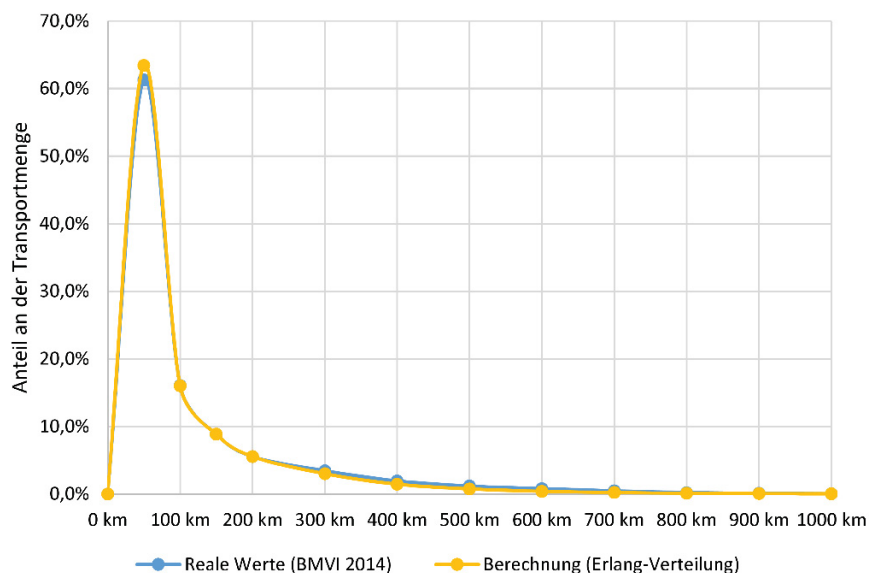


Abb. 4.2: Verteilung der Transportmenge nach der Entfernung  
Vergleich der Erhobenen Werte aus (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015a) mit den Ergebnissen der eigenen Berechnung.

Da das verwendete Programm Excel keine Möglichkeit einer kontinuierlichen Berechnung von Funktionswerten bietet, wird auf eine Näherung durch Einzelwerte zurückgegriffen. Um den großen Wertebereich von Entfernungen ab 1 km bis über 1000 km abzubilden, wird die Schrittgröße in Abhängigkeit von der Transportentfernung verändert. Ein Test der resultierenden Werte ergab eine gute Übereinstimmung mit den Werten aus der statistischen Erfassung des BMVI. Allerdings werden für sehr geringe mittlere Transportentfernungen (unter 100 km) tendenziell zu hohe Entfernungen berechnet. Um trotz dieser Abweichungen eine Über- oder Unterrepräsentierung einzelner Güterabteilungen zu vermeiden, werden die Transportmengen so angepasst, dass die jeweils korrekte Transportleistung berechnet wird.

Somit steht ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem die Verteilung des Transportaufkommens je Güterabteilung auf die Transportentfernung in Abhängigkeit der mittleren Transportweite modelliert werden kann.

#### 4.3.4.1 Ermittlung der Eignung je Verkehrsmittel und Transportgut

Zur Ermittlung einer Eignungskennzahl, welche die praktische Eignung der Verkehrsmittel zur Beförderung der unterschiedlichen Transportgüter angibt, werden sowohl die Eigenschaften der Verkehrsmittel als auch die Ansprüche der Transportgüter an die Transportleistung systematisch anhand von Eigenschaftsfaktoren bewertet. Die zugehörigen Faktoren sind in Kapitel 4.3.2.3 genannt. Die Bewertung der Verkehrsmittel erfolgte hierbei nach zwei Schemata:

- Bewertung der Eigenschaften auf einer Skala von 1 (sehr schlecht) bis 5 (sehr gut)
- Zuordnung eines Index zwischen -1 (nicht geeignet) bis +1 (besonders geeignet) zu den drei besonderen Eignungen<sup>21</sup>

Die Bewertung der Verkehrsmittel erfolgt hierbei in Anlehnung an (Bradel, 1995 S. 138ff.), wo einige Kriterien erläutert werden sowie eine quantifizierbare, grafische Übersicht gegeben wird. Weitere Kriterien werden in (Benkenstein, 2001 S. 204) sowie (Knapp, 1998 S. 158ff.) genannt. (Vastag, 2006 S. 8f.) listet qualitative Vor- und Nachteile des Schienengüterverkehrs und der Binnenschifffahrt auf, die ebenfalls in die Bewertung einfließen. Es ist festzuhalten, dass eine rein objektive Bewertung schwer möglich ist. Eine Korrektur der Eigenschaftskennwerte in weiteren Untersuchungen auf Grundlage neuer Erkenntnisse ist daher nicht auszuschließen. Die gewählten Werte sind in Abb. E1 in Anhang E zu finden.

Die Einschätzung der Transportgutansprüche erfolgte danach als Wichtung der Faktoren zwischen 0 (nicht relevant) bis 2 (stark relevant). Eine weitere Wichtung wird für die Eigenschaften:

- |                                  |   |                           |
|----------------------------------|---|---------------------------|
| ▪ Transportgeschwindigkeit       | } | Schnelligkeit             |
| ▪ Transportfrequenz              |   |                           |
| ▪ Beförderbare Masse pro Zeit    | } | Massenleistungsfähigkeit  |
| ▪ Maximale Einzellast            |   |                           |
| ▪ Beförderbares Volumen pro Zeit | } | Volumenleistungsfähigkeit |
| ▪ Maximale Sperrigkeit           |   |                           |

vorgenommen, welche jeweils zu zweit einen Faktor ergeben und daher nur zur Hälfte gewichtet werden. Der Faktor *in Dtl. vorhandene Netzdichte* wird doppelt gewichtet, da eine fehlende Anbindung ein weitgehendes Ausschlusskriterium darstellt.

---

<sup>21</sup> Mit einer Ausnahme: die Vorteile von Lieferwagen für den Verteilverkehr wurde mit +2 bewertet.

Gesondert betrachtet werden die Wichtungen der besonderen Eignungen, da diese gemäß ihrer Definition eine stärkere Bedeutung für die Verkehrsträgerwahl haben als die restlichen Faktoren. Es werden daher Wichtungen bis zum Faktor 8 gewählt, was bei einem Wertebereich zwischen -1 und +1 einer maximalen Differenz von 16 Punkten entspricht. Im Vergleich dazu können die restlichen Eigenschaftsfaktoren mit Werten zwischen 1 und 5 und einer Wichtung von 0- bis 2-fach maximal 8 Punkte Differenz in der Eignung erzeugen. Die Tabelle der Wichtungsfaktoren ist in Abb. E2 in Anhang E abgebildet.

NST-Code	Kurz-Bezeichnung	Lieferwagen/LDV/ zGG ≤ 3,855t		Güterzug			Binnenschiff			
		LKW/HDV/ zGG > 3,855t		Unbegleiteter	Begleiteter	Kombinierter	KV-Schiff			
01	Erzeugnisse der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei	26	23	-	12	15	7	-	17	11
02	Kohle, rohes Erdöl und Erdgas	4	7	-	13	10	9	-	13	9
03	Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	22	24	-	24	22	18	-	20	17
04	Nahrungs- und Genussmittel	29	23	-	7	11	3	-	10	6
05	Textilien, Bekleidung, Leder und Lederwaren	30	27	-	17	21	13	-	10	11
06	Holzwaren, Papier, Pappe, Druckerzeugnisse	39	37	-	25	28	20	-	16	17
07	Kokerei- und Mineralölerzeugnisse	19	16	-	12	11	7	-	12	7
08	Chemische Erzeugnisse etc.	16	16	-	14	14	10	-	11	9
09	Sonstige Mineralerzeugnisse (Glas, Zement, Gips etc.)	33	30	-	18	21	13	-	12	13
10	Metalle und Metallerzeugnisse	24	21	-	12	13	8	-	9	8
11	Maschinen und Ausrüstungen, Haushaltsgeräte etc.	36	34	-	20	24	16	-	13	14
12	Fahrzeuge	23	21	-	15	16	12	-	10	9
13	Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte etc.	34	28	-	13	17	9	-	9	8
14	Sekundärrohstoffe, Abfälle	19	16	-	12	11	7	-	11	7
15	Post, Pakete	47	42	-	22	27	19	-	14	15
16	Geräte und Material für die Güterbeförderung	21	19	-	13	14	10	-	9	9
17	Umzugsgut und sonstige nichtmarktbestimmte Güter	37	32	-	16	20	13	-	10	9
18	Sammelgut	27	20	-	8	11	3	-	4	3
19	Gutart unbekannt	3	8	-	14	27	27	-	12	16
20	Sonstige Güter a.n.g.	23	25	-	23	22	18	-	18	16

Abb. 4.3: Eignungskennzahlen

Die Spalten ohne Werte stehen für die Verkehrsmittel *GigaLiner* und *zentralisiertes KV-System*, die in der Berechnung der Ausgangslage nicht berücksichtigt werden. Wie in Kapitel 4.3.3.4 näher erläutert, kommen für die Verlagerung von Transporten Verkehrsmittel mit einer geringen Eignung nur unterproportional infrage. Daher sind die Eignungskennzahlen entsprechend ihrem Verhältnis zur maximalen Eignung je Güterabteilung eingefärbt: orange steht für Werte größer der halben, gelbe Werte für solche größer  $\frac{3}{4}$  der maximalen Eignung und grüne für die je Zeile maximale Eignung selbst.

Um die resultierende Eignungskennzahl zu ermitteln, wird aus den beiden Matrizen das Summenprodukt in der folgenden Form gebildet:



$$k_{E,V-G} = \sum E_V * A_G * w_E \quad \text{Formel 13}$$

mit:  $k_{E,V-G}$  = Eignungskennzahl zu Verkehrsmittel  $V$  und Güterabteilung  $G$  (dimensionslos),  $E_V$  = Eigenschaft des Verkehrsmittels  $V$ ,  $A_G$  = Anspruch der Güterabteilung  $G$  und  $w_E$  = Wichtung der Eigenschaft  $E$ . Die resultierende Eignungstabelle ist in Abb. 4.3 gezeigt.

Die Eignungswerte sind hierbei vollkommen unabhängig von der finanziellen Sinnhaftigkeit einer Transportmöglichkeit. So mag es durchaus für die Abläufe in einer Raffinerie optimal sein, Mineralölerzeugnisse mit spezialisierten Kleinlastern mehrmals am Tag abzutransportieren, eine finanzielle Option ist es vermutlich nicht. Dieser Tatsache wird durch die im folgenden Kapitel ermittelten Preistabellen Rechnung getragen.

#### 4.3.4.2 Erstellung einer Preismatrix nach Verkehrsmittel, Transportgewicht und -entfernung

Die Ermittlung einer einheitlichen Datenbasis zum Preisniveau für eine Transportleistung für alle untersuchten Verkehrsmittel gestaltete sich schwierig. Auf eine getrennte Berechnung je Transportgut wird daher verzichtet, obwohl die speziellen Anforderungen der Transportgüter durchaus Preisunterschiede verursachen können. Dies wäre in einer auf dieser Arbeit aufbauenden Untersuchung nachzuholen, um die Ergebnisse zu präzisieren. Da Angaben zur Gewinnmarge generell nur schwer zu erhalten sind, erfolgten alle folgenden Rechnungen mit Angebotspreisen der Transportunternehmen.

Die einzelnen konkret ermittelbaren Preise werden zunächst nach der Transportweite systematisiert und miteinander verglichen. Zur Bestimmung einer durchgängigen Preisinformation in Abhängigkeit der Transportweite diente danach neben diesen Preisen eine Studie der *Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes*, die allgemeine Angaben zur Kostendegression im Verkehrswesen macht (PLANCO Consulting GmbH, Essen, 2007). Hieraus wird, getrennt nach den Verkehrsträgern Straße, Schiene und Binnenschifffahrt, eine Preisfunktion der Form:

$$P(x) = \frac{b}{x-a} + c \quad \text{Formel 14}$$

erstellt, mit  $x$  = Transportweite,  $a, b, c$  = Variablen<sup>22</sup>.

Mit jeweils drei Wertepaaren aus Transportweite und zugehörigem Preis werden die drei Variablen bestimmt, wodurch sich die Funktion dem unterschiedlich degressiven Kostenverhalten der drei Verkehrsträger anpassen kann. Die resultierenden Preisverläufe sind in Abb. 4.4 dargestellt.

<sup>22</sup> Die Variablen haben über die mathematische Beschreibung der Funktion hinaus keine weitere Bedeutung.

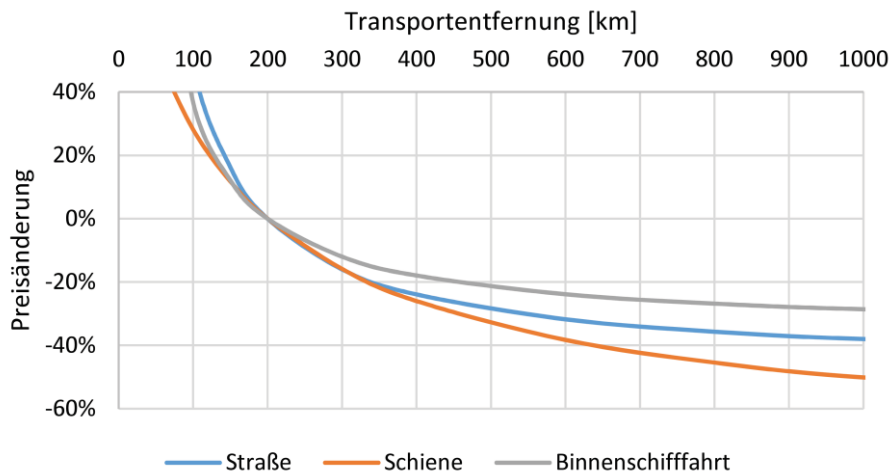


Abb. 4.4: Degressiver Preisverlauf der Verkehrsträger Straße, Schiene und Binnenschifffahrt, ausgehend von einem Grundpreis für eine Entfernung von 200 km

Falls vorhanden, werden die Preise für drei beispielhafte Transportgewichte 10, 30 und 60 t mittels dieser Funktion auf alle Entfernungsschritte übertragen. Falls der Transport einer Ladung eines hohen Gewichts nicht in einem Fahrzeug möglich ist und daher keine Preise ermittelt werden konnten, wird der Preis einer mehrfachen Fahrt mit niedrigerem Ladungsgewicht angenommen.

Für Lieferwagen wird das Ladungsgewicht außerdem so angepasst, dass eine Zuladung der niedrigsten Kategorie (10 t) möglich ist, was den realen Gegebenheiten kleiner Sendungen (ca. 1 t) entspricht. Hieraus ergeben sich, je nach Gewicht, drei Grundpreise für die Transportleistung je Verkehrsmittel und Transportentfernung. Die Transportgüter werden den drei Gewichtskategorien zugeordnet und greifen dementsprechend auf eine der drei Preistabellen zu.

Tabelle 20: Aufstellung der angenommenen Entfernungen für Vor- und Nachlauf

Verkehrsmittel	Zusätzliche Entfernung	Bemerkungen
LDV	0 km	-
HDV	0 km	-
GigaLiner	10 km	Mangelnde Eignung für den Stadtverkehr
Güterzug	25 km	Einseitiger Gleisanschluss angenommen
Unbegleiteter KV	50 km	Vor- und Nachlauf
Begleiteter KV	50 km	Vor- und Nachlauf
Zentralisiertes KV-System	33 km	Erhöhte Dichte ggü. bestehendem KV
Binnenschiff	40 km	Einseitiger Hafen angenommen
KV-Schiff	80 km	Vor- und Nachlauf

In allen Fällen, in denen ein Verkehrsmittel keinen direkten Anschluss zum Endkunden bieten kann, ist zudem ein Vor- und/oder Nachlauf erforderlich, welcher üblicherweise im Straßenverkehr erfolgt und zum Preis des Hauptlaufes der Transportleistung addiert werden muss. Hierfür wurden die Werte in Tabelle 20 angenommen. Für den *Begleiteten Kombinierten Verkehr* wird zudem ein Aufschlag von 1 ct/tkm für die mitfahrende Begleitperson berechnet.

Auf die resultierenden Preise werden nun noch eventuelle Kosten auf Internalisierungsmaßnahmen aufaddiert und so Endpreise zur Berechnung der Transportnachfrage ermittelt. Eine Auswahl der Internalisierungsmaßnahmen ist hierfür individuell im Blatt *Steuerung* möglich. Drei beispielhafte Kostenverläufe über die Transportentfernung sind in Abb. F1, F2 und F3 in Anhang F gegeben.

#### 4.3.4.3 Ermittlung des Funktionswertes aus Preis und Eignung

Der Zusammenhang zwischen der Transportnachfrage, Preis und Eignung kann, schon alleine aufgrund der dimensionslosen Natur der Eignungskennzahlen, nicht direkt linear dargestellt werden. Stattdessen hängen die Ergebnisse der einzelnen Verkehrsmittel vom allgemeinen Preisniveau und von der Eignung anderer Verkehrsmittel ab, in dem Sinne, dass stark überbeuerte Angebote kaum wahrgenommen werden, besonders günstige dagegen einen überproportional hohen Marktanteil erreichen. Ebenso wird angenommen, dass Eignungen kleiner der halben maximalen Eignungskennzahl für dieses Transportgut als ungeeignet angesehen werden und nicht genutzt werden, sowie auch hier hohe Eignungswerte eine überproportional hohe Nachfrage erzeugen.

Es werden zwei unterschiedliche Funktionen gewählt, die einen Indikator für die Preis- und Eignungsnachfrage liefern, und schließlich miteinander multipliziert, um eine Bewertung des jeweiligen Angebots zu ermitteln. Die Funktionen können Werte in ]0,1] annehmen. Es ist entscheidend, dass der Wert nicht gleich 0 wird, da beispielsweise ein zwar prinzipiell ungeeignetes, aber kostenloses Verkehrsangebot in einem so großen Betrachtungsraum wie einer ganzen Nation in Grenzfällen nutzbar ist und somit zumindest minimal angenommen wird.

Für die Bewertung des Preises gilt:

$$f(P) = \left(\frac{P_{min}}{P}\right)^3 \text{ [dimensionslos]} \quad \text{Formel 15}$$

mit:  $P_{min}$  = minimaler Preis je Transportgut und -entfernung,  $P$  = bewerteter Preis.

Für die Bewertung der Eignung wird verwendet:

$$f(E) = \max \left\{ \left( \frac{E}{E_{max}} \right)^4 ; 0 \right\} \text{ [dimensionslos]} \quad \text{Formel 16}$$

mit:  $E_{max}$  = maximale Einigung je Transportgewicht und -entfernung,  $E$  = bewertete Einigung. Die Kurvenverläufe der Funktionen sind in Anhang A zu finden.

Es ergibt sich eine Wertetabelle für jede Kombination aus Verkehrsmittel, Transportgut und -entfernung. Sie wird sowohl für den Zustand ohne Internalisierungsmaßnahmen als auch für jenen mit errechnet, um in der Auswertung einen Vergleich anstellen zu können. Aufgrund der Größe dieser und der folgenden Tabellen können nur beispielhafte Abbildungen im Anhang zur Verfügung gestellt werden. Ein beispielhafter Verlauf der Bewertungsfunktion für die verschiedenen Verkehrsmittel ist in Abb. F4 in Anhang F dargestellt.

#### 4.3.4.4 Berechnung einer Transportnachfrage

Je Transportgut und -entfernung wird anhand der Funktionswerte aus Preis und Eignung, der zugehörigen Preiselastizität (siehe Kapitel 4.2.2) sowie der berechneten Transportmenge (Kapitel 4.3.4) eine Nachfrage für jedes Verkehrsmittel berechnet.

Es wird angenommen, dass die Nachfragekurve nicht linear zum Preis verläuft, wie es für kleine Preisänderungen beobachtet wird, sondern bei steigendem Preis gegen Null konvergiert. Andernfalls würden starke Preissteigerungen bei einem linearen Verlauf zu einer negativen Nachfrage führen. Es wird daher eine *isoelastische* Elastizitätsfunktion gewählt, die von einer über die gesamte Nachfragekurve konstanten Preiselastizität ausgeht. „Sie beträgt null, wenn der Preis gleich null ist und erhöht sich großemäßig bis sie unendlich wird, wenn der Preis des Gutes so hoch ist, dass die nachgefragte Menge auf null fällt“ (Pindyck, et al., 2009 S. 180).

Es wird somit eine (dimensionslose) Funktion der Form:

$$f(x) = \frac{1}{x^a} \quad \text{Formel 17}$$

gewählt, die auf einem gewählten Intervall von 10 % Preisänderung die berechnete Preiselastizität abbildet. Das bedeutet, dass von jedem Punkt der Kurve 10 % Preissteigerung eine Nachfrageänderung von 10 % \* Preiselastizität erzeugen.

Aus den folgenden Bedingungen:

$$f_{iso}(P) = x^a = 1 + \eta_P * \frac{2}{3} * 0 = f_{lin}(P) \quad \text{Formel 18}$$

$$f_{iso}(P + I * P) = x^a = 1 + \eta_P * \frac{2}{3} * I = f_{lin}(P + I * P) \quad \text{Formel 19}$$

ergibt sich für den Parameter  $a$ :

$$a = \log_{1+I} \left( 1 + \frac{2}{3} * I * \eta_P \right) \quad \text{Formel 20}$$

Es folgt die gesamte Nachfragefunktion als:

$$f(P) = k * P^a \text{ mit } a = \log_{1+I} \left( 1 + \frac{2}{3} * I * \eta_P \right) \quad \text{Formel 21}$$

mit:  $f(P)$  = Nachfragefunktion (dimensionslos),  $k$  = Funktionswert aus Preis und Eignung,  $P$  = Preis,  $I$  = Intervall (10 %),  $\eta_P$  = Preiselastizität.

Die 2/3 ergeben sich aus der in (Transport & Environment, 2010) vorgestellten Beobachtung, dass jeweils 1/3 der realisierten Änderung der Fzggm je Preisänderung auf Effizienzsteigerungen, vermiedene Fahrten und verlagerte Fahrten zurückgehen. Da Effizienzsteigerungen (Fzggm je tkm) sich nicht in der Beförderungsleistung niederschlagen, bleiben 2/3 der Preiselastizität für eine Berechnung der Änderung der Beförderungsleistung übrig.

Entscheidend für die mathematische Korrektheit in Bezug zur Preiselastizität sowohl mit als auch ohne Internalisierungsmaßnahmen ist, dass außer dem Preis keine weitere Variable verändert wird. Daher beziehen sich beide Rechnungen (mit/ohne Internalisierung) auf den Funktionswert aus Preis und Eignung ohne Internalisierungsmaßnahmen.

Abb. 4.5 zeigt den Verlauf der linearen und isoelastischen Nachfragekurven für eine Preiselastizität von -0,6. Die isoelastische Funktion entspricht für eine Preisänderung von 100% auf 110% der linearen Nachfragekurve.

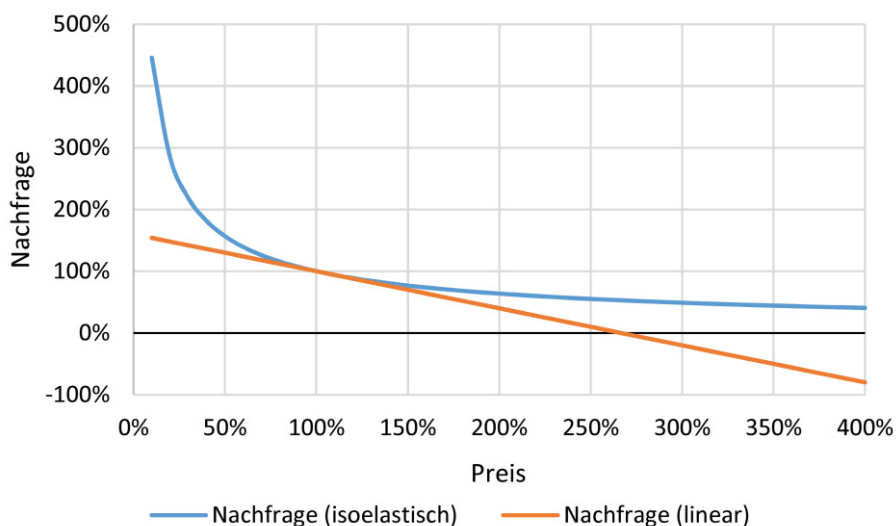


Abb. 4.5: Vergleich der Nachfragekurven bei linearer (in diesem Fall unelastischer) und isoelastischer Preiselastizität

Auch dieses Modell ist eine theoretische Konstruktion zur Beschreibung des realen Nachfrageverhaltens und nur in einem gewissen Wertebereich sinnvoll einsetzbar. Insbesondere bei sinkenden Preisen entstehen schnell unrealistisch hohe Nachfragen. Für steigende Preise bietet das Modell dagegen eine höhere Flexibilität bei der Wahl möglicher Eingangswerte. Da vornehmlich Preissteigerungen diskutiert werden, scheinen diese Einschränkungen vertretbar. Eine exakte wirtschaftliche Herleitung einer mathematischen Funktion wäre für weitere Untersuchungen wünschenswert. Dies würde allerdings die Kenntnis einer maximalen Nachfrage bei einer kostenlosen Erbringung von Transportleistungen sowie eines Maximalpreises, bei dem absolut keine Nachfrage mehr existiert, voraussetzen. Da diese Werte bisher nicht für einzelne Güterabteilungen im Verkehrswesen ermittelt wurden, muss hier auf eine genauere Beschreibung verzichtet werden.

Die Nachfrage in Tonnen je Transportgut und -entfernung ergibt sich nun aus dem Ergebnis der Nachfragefunktion geteilt durch die Summe der Werte der anderen Verkehrsmittel, multipliziert mit der zur Verfügung stehenden Transportmenge. Auch hier beziehen sich die Rechnungen mit und ohne Internalisierungsmaßnahmen auf die Summe der Werte ohne Internalisierung, um, relativ zueinander, korrekte Werte zu erhalten. Hierdurch wird es außerdem ermöglicht, einen Rückgang oder eine Steigerung der Transportleistung zu ermitteln, da sich die Summe mit Internalisierungsmaßnahmen von jener ohne unterscheiden kann.

Zusätzlich wird die jeweils verlagerte Transportmenge (nach (Transport & Environment, 2010) ein Drittel der Reaktion auf Preisänderungen bzw. die halbe errechnete Nachfrageänderung der Beförderungsleistung) entsprechend der Nachfragefunktionswerte aus Preis und Eignung auf die restlichen Verkehrsmittel verteilt. Hiermit werden Nachfragesteigerungen durch Verkehrsverlagerungen bei Verkehrsmitteln, deren Preise weniger stark steigen als der Durchschnitt, abgebildet.

Es ergibt sich eine Tabelle der beförderten Tonnen je Verkehrsmittel, Transportgut und -entfernung. Ein beispielhafter Verlauf des Modal Split nach der Transportentfernung ist in Abb. F5 in Anhang F gegeben. Zwei beispielhafte Verläufe der Verkehrsmenge nach der Transportentfernung mit und ohne Internalisierung sind in Abb. F6 und F7 in Anhang F dargestellt.

#### 4.3.4.5 Auswertung der Berechnung

Aus den im vorigen Kapitel ermittelten Transportmengen je Verkehrsmittel, Transportgut und -entfernung kann nun direkt die Transportleistung durch Summierung der Produkte aus Mengen und Entfernungen ermittelt werden. Diese Daten können mit der zugrundeliegenden Statistik abgeglichen und Veränderungen festgestellt werden. Die exakte Kalibrierung des Modells auf eine minimale Abweichung zu den Bestandsdaten wird im folgenden Kapitel beschrieben.

Durch die doppelte Rechnung mit und ohne Internalisierungsmaßnahmen lassen sich folgende Veränderungen gezielt und detailliert ablesen:

- die Entwicklung der Verkehrsleistung je Verkehrsträger
- die (theoretischen) verursachten externen Kosten
- die Einnahmen aus Internalisierungsmaßnahmen
- der Betrag der (tatsächlichen) ungedeckten externen Kosten durch den Güterverkehr

Außerdem denkbar wäre eine Auswertung der Werte für:

- erzeugte Emissionen des gesamten Güterverkehrs inklusive eventueller Reduktionen
- die mit dieser Verkehrsleistung ermöglichte Wirtschaftsleistung, abgeschätzt anhand von internationalen Vergleichswerten.

Dies würde den Umfang dieser Arbeit allerdings weit übersteigen und wird daher lediglich für folgende Untersuchungen vorgeschlagen.

#### 4.3.5 Kalibrierung und weitere Überprüfung des Modells

##### 4.3.5.1 Kalibrierung

Um das Modell zu kalibrieren wird zunächst der Fall ohne Internalisierungsmaßnahmen eingegeben und mit den Werten aus der zugrundeliegenden Statistik verglichen. Durch einzelne Anpassungen der Wichtungsfaktoren zur Bestimmung der Ansprüche der unterschiedlichen Güterabteilungen (siehe Kapitel 4.3.4.1) konnten die Ergebnisse so an die realen Werte angenähert werden, um eine nachvollziehbare Prognose zu erlauben.

Als Kriterien zur Abschätzung der erreichten Genauigkeit dienten zwei unterschiedliche Indikatoren:

- Die Anzahl der Einzelwerte, die innerhalb einer Abweichung von  $\pm 10\%$  bzw.  $\pm 20\%$  des realen Wertes liegen.
- Eine „Standardabweichung“ der berechneten von den realen Werten, also die Wurzel der Summe der Abweichungsquadrate. Eine statistische Bedeutung hat diese Größe in diesem Zusammenhang wohlgerne nicht.

Es konnten hierbei folgende Resultate erreicht werden:

- Anzahl Werte innerhalb  $\pm 20\%$  Genauigkeit: 48 von 60 (80 %)
- Anzahl Werte innerhalb  $\pm 10\%$  Genauigkeit: 45 von 60 (75 %)
- „Standardabweichung“: 8,46 Mrd. tkm (1,34 % der insgesamt 634 Mrd. tkm)

Da Excel für solch komplexe Formeln keine automatische Lösungsfindung zur Verfügung stellt, stellen diese Werte lediglich ein manuell erreichtes Optimum dar, welches vermutlich

rechnerisch noch verbessert werden könnte. Andererseits wurde bei der manuellen Kalibrierung stets darauf geachtet, nachvollziehbare Wichtungsfaktoren zu wählen, was bei einer rechnerischen Optimierung nicht garantiert wäre.

#### 4.3.5.2 Extremwertanalyse

Das Modell wird zur Überprüfung seiner Gültigkeit mit verschiedenen Preisen je Verkehrsmittel getestet. Hierbei wird vor allem der Bereich zwischen einem leicht verringerten Preis und starken Preiserhöhungen betrachtet, da dies dem Einsatzzweck des Modells entspricht.

Für eine Veränderung der Preise um einen gewählten Prozentsatz bei einzelnen Verkehrsträgern ergaben sich die folgenden Werte:

Tabelle 21: Ergebnisse der Extremwertbetrachtung

Veränderung		Resultierende Änderung der Verkehrsleistung		
für	um	Straße	Schiene	Binnenschifffahrt
Straße	-50 %	150,3 %	57,0 %	58,4 %
Schiene		97,2 %	139,8 %	93,1 %
Binnenschifffahrt		98,5 %	97,1 %	135,7 %
Straße	+50 %	81,3 %	116,4 %	115,8 %
Schiene		101,2 %	83,5 %	103,0 %
Binnenschifffahrt		100,7 %	101,3 %	84,1 %
Straße	Faktor 10	41,5 %	153,1 %	150,9 %
Schiene		104,1 %	42,6 %	110,7 %
Binnenschifffahrt		102,5 %	105,2 %	39,6 %

Die Ergebnisse erlauben Rückschlüsse darauf, inwieweit Verluste eines Verkehrsträgers durch andere aufgefangen und somit verlagert werden können, auf welche Verkehrsträger ausgewichen werden kann und in welchem Maß Verkehr – möglicherweise zum Schaden der Wirtschaftsleistung – komplett vermieden wird.

Wie aufgrund der gewählten Nachfragefunktion zu erwarten, werden für starke Preissteigerungen tendenziell zu geringe Verluste angegeben. Es entstehen aber logische Verlagerungsbeziehungen zwischen den Verkehrsträgern. So kann beispielsweise beobachtet werden, dass eine starke Verlagerung auf den flexiblen Straßenverkehr entsteht, wenn dessen Preis gesenkt wird. Dagegen profitieren Schienenverkehr und Binnenschifffahrt nur in geringem Maß von sinkenden Preisen, da eine Verlagerung nur für wenige Güter möglich ist.



### 4.3.5.3 Abgleich mit bekannten Studien

Dem Autor dieser Arbeit sind keine direkt vergleichbaren Studien bekannt. Es existieren allerdings in großer Zahl Untersuchungen, die entweder andere monetäre oder zeitliche Veränderungen annehmen, oder einen gänzlich anderen Ansatz zur Ermittlung der Verkehrsprognose – beispielsweise eine mikroskopische Untersuchung aller Landkreise – gewählt haben. Es sollen hier daher nur einzelne Ergebnisse anderer Studien genannt werden, die eine Abschätzung der Validität der berechneten Ergebnisse dieser Arbeit erlauben.

#### Significance & CE Delft: Price sensitivity of road freight transport (2010) (de Jong, et al., 2010)

In (de Jong, et al., 2010 S. 41ff.) werden drei Maßnahmen zur Beeinflussung der Kostenbilanz des Straßengüterverkehrs vorgeschlagen und auf ihre Auswirkungen hin untersucht:

- Eine Erhöhung der Steuer auf Diesel um 0,10 EUR/Liter
- Eine kilometerabhängige Infrastrukturbenutzungsgebühr von 0,15 EUR/km
- Eine Reduktion der Kosten je tkm um 20 %

Es wird mit europäischen Mittelwerten bezüglich der aktuellen Kosten des Verkehrs gerechnet, weshalb eine Nennung der prozentualen Veränderung zur Vergleichbarkeit nötig ist (die prozentualen Werte sind in der Quelle gegeben). Es ergeben sich die in Tabelle 22 dargestellten Effekte, verglichen mit den entsprechenden Berechnungsergebnissen dieser Arbeit.

Tabelle 22: Vergleich der in (de Jong, et al., 2010) berechneten Marktreaktionen des Straßengüterverkehrs mit den Ergebnissen dieser Arbeit

Effekte (prozentuale Änderung)	Fahrleistung		Transportleistung	
	(de Jong, et al., 2010)	Diese Arbeit	(de Jong, et al., 2010)	Diese Arbeit
Steigerung der Kosten je Fzgkm um 2 %	- 2 %	- 1,7 %	- 1 %	- 1,1 %
Steigerung der Kosten je Fzgkm um 17 %	- 15 %	- 12 %	- 9 %	- 8 %
Verringerung der Kosten je tkm um 20 %	+ 20 %	+ 13 %	+ 20 %	+ 13 %

Es ist zu sehen, dass die ermittelten Werte dieser Arbeit den in (de Jong, et al., 2010) präsentierten vom Grundsatz her entsprechen, aber stets eine geringere Marktreaktion bezüglich der Fahrleistung ausweisen. Die Transportleistung wird für steigende Preise stärker beeinflusst, bei sinkenden Preisen allerdings geringer. Dies ist zum einen dadurch zu erklären, dass (de Jong, et al., 2010) von einem Potenzial für Effizienzsteigerungen von 45 % ausgeht (im Vergleich zu 33 % in dieser Arbeit), so dass die Auswirkungen auf die Transportleistung bei steigenden Preisen nur etwa die Hälfte derer auf die Fahrleistung entsprechen. Zum anderen wird mit einer

linearen Nachfragekurve gerechnet, die für Preisveränderungen unter 10 % geringere, für solche über 10 % aber größere Nachfrageänderungen berechnet (siehe Kapitel 4.2.2). Die Ergebnisse sind somit erklärbar und bestätigen eine gute Eignung der restlichen verwendeten Methoden in dieser Arbeit.

#### CE Delft & TRT: Potential of modal shift to rail transport (2011) (den Boer, et al., 2011)

In (den Boer, et al., 2011 S. 38) werden verschiedene Szenarien betrachtet, die eine Verkehrsverlagerung von der Straße auf die Schiene bewirken könnten. Unter anderem wird die Möglichkeit einer Belastung von Straßen- und Schienenverkehr mit ihren marginalen externen Kosten sowie Infrastrukturabgaben geprüft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 23 dargestellt, zusammen mit den entsprechenden Werten aus dieser Arbeit.

Tabelle 23: Vergleich der in (den Boer, et al., 2011) berechneten Marktreaktionen des Straßen- und Schienengüterverkehrs mit den Ergebnissen dieser Arbeit

Effekte (prozentuale Änderung)	Transportleistung Straße		Transportleistung Schiene	
	(den Boer, et al., 2011)	Diese Arbeit	(den Boer, et al., 2011)	Diese Arbeit
Steigerung der Kosten des Straßengüterverkehrs um 8 % (untere Grenze)	- 2 %	- 4 %	+ 10 %	+ 3,5 %
Steigerung der Kosten des Straßengüterverkehrs um 25 % (obere Grenze)	- 8 %	- 11 %	+ 32 %	+ 9,7 %

Es ist zu beobachten, dass eine ähnliche Verlagerung von Straßentransporten zu einer weitaus geringeren Verkehrssteigerung des Schienengüterverkehrs führt. Dies wird zum einen dadurch verursacht, dass in der vorliegenden Arbeit die Transportleistung sowohl auf die Binnenschifffahrt als auch auf den Schienenverkehr verlagert wird. Außerdem wird hier offenbar von einer höheren Verkehrsvermeidung im Vergleich zu (den Boer, et al., 2011) ausgegangen. Die Möglichkeit einer größeren Verkehrsverlagerung sollte daher in der folgenden Auswertung der Marktreaktionen beachtet werden.

#### ZEW: CO2 Emission Reduction on Freight Transports (2008) (Bühler, et al., 2008)

In (Bühler, et al., 2008) werden speziell für Deutschland zwei Maßnahmen zur Verlagerung von Verkehren von der Straße auf die Schiene untersucht. Eine Erhöhung der Lkw-Maut von durchschnittlich 12,4 auf 15 ct/Fzgkm würde sich in einer Erhöhung der Verkehrsleistung der Eisenbahn um 14 % niederschlagen. Dies entspricht einer Verlagerung von ca. 2,5 % der Gesamtverkehrsleistung. Eine Erhöhung der durchschnittlichen Transportgeschwindigkeit im Bahnverkehr von aktuell 65 km/h auf 80 km/h würde eine Verlagerung von knapp 7 %, bzw. eine Erhöhung der Eisenbahnverkehrsleistung von 40 % erzeugen. Da es sich hier nur um Ein-

zelmaßnahmen handelt, kann keine abschließende Einschätzung des gesamten Verlagerungspotenzials abgegeben werden. Die Werte von kombiniert ca. 9 % der Gesamtverkehrsleistung geben jedoch einen Anhaltspunkt für die Möglichkeiten in Deutschland. Es wird außerdem angemerkt, dass die erreichten Verlagerungen eine CO<sub>2</sub>-Reduktion von lediglich 5 % mit sich bringen, da ein Teil der verlagerten Verkehre eine größere Transportentfernung besitzt als der vorherige direkte Straßentransport.

Eine Erhöhung der Kosten des Straßengüterverkehrs um 20,9 % (entsprechend der Mauterhöhung von 12,4 auf 15 ct/Fzgkm) würde eine Steigerung der Verkehrsleistung von Binnenschiff und Schiene um jeweils 8 % bewirken, was in Summe den in (Bühler, et al., 2008) genannten 14 % nahekommt.

Es kann festgehalten werden, dass die berechneten Marktreaktionen dieser Arbeit gut mit den Ergebnissen anderer Studien übereinstimmen. Abweichungen sind durch die Methodik erklärbar und innerhalb der Grenzen der getroffenen Annahmen korrekt.

#### 4.3.5.4 Maximal mögliche Verkehrsverlagerung

Angesichts der nicht unerheblichen Verkehrsverlagerungen, die im vorgestellten Modell berechnet werden, wird ein Vergleich der Ergebnisse mit Schätzungen zur maximal möglichen Verkehrsverlagerung aus anderen Studien angestellt.

In (den Boer, et al., 2011 S. 37) werden mit Verweis auf eine Studie des niederländischen Verkehrsministeriums aus dem Jahr 2006 (Jordans, et al., 2006) anhand von fünf Kriterien mögliche Verkehrsverlagerungen von Gütertransporten weg von der Straße untersucht. Die Kriterien sind:

- Anbindung
- Entfernung (Straße bis 200 km quasi konkurrenzlos)
- Gütereigenschaften (Kleinteiligkeit, Wertigkeit)
- Masse der Sendung (unter 1 Tonne Gewicht keine Verlagerung möglich)
- Geschwindigkeit (Zeiten unter 2 Tagen nur im Straßenverkehr erreichbar)

Es wird ein resultierendes Verlagerungspotenzial von 34 % des Transportvolumens des Straßenverkehrs ermittelt.

In derselben Studie wird ein Vergleich mit den Verhältnissen in den Vereinigten Staaten von Amerika (USA) gezogen, wo der Schienengüterverkehr über 40 % der Verkehrsleistung erbringt (Hofstra University). Dieser hohe Anteil ist allerdings unter anderem durch die Geographie der USA (geringe Konkurrenz durch die Schifffahrt), durch die schlichte Größe des Landes und die dadurch größeren Transportentfernungen sowie durch einen höheren Anteil von Mas-

sengütern an der Transportmenge verursacht. Es verbleibt ein nicht durch äußere Faktoren begründetes Verlagerungspotenzial entsprechend einer europaweiten Verdoppelung der Verkehrsleistung auf der Schiene (den Boer, et al., 2011 S. 30). Dieses Potenzial wäre durch preisliche und strukturelle Maßnahmen der Politik und der Eisenbahninfrastrukturunternehmen auszuschöpfen.

Die maximale Verkehrsverlagerung auf die Schiene findet im in dieser Arbeit erstellten Modell im Falle der kostenneutralen Internalisierung statt. Zusätzlich können die in der referenzierten Studie empfohlenen strukturellen Maßnahmen durch die Einführung des neuen zentralisierten KV-Systems simuliert werden. Es ergibt sich eine maximale Steigerung der Verkehrsleistung auf der Schiene von 81,9 %, die, da nur eine einzelne strukturelle Maßnahme zur Stärkung des Schienenverkehrs betrachtet wird, nicht im Widerspruch zur angedachten Verdoppelung des Verkehrsvolumens steht.

(Kirfel, 2012) vergleicht die Situation der Eisenbahnen in Deutschland und Österreich und untersucht Gründe für den höheren Anteil der Schiene am Güterverkehr in Österreich. Ein entscheidendes Potenzial wird in den Bereichen chemische Erzeugnisse, Eisen, Stahl und Metalle sowie Erze und Metallabfälle gesehen, in denen die Eisenbahn in Österreich eine starke Marktposition innehat, in Deutschland aber vergleichsweise unterrepräsentiert ist (Kirfel, 2012 S. 18).

Im Ergebnis dieser Arbeit kann der Schienengüterverkehr insbesondere in den Bereichen Holzwaren, chemische Erzeugnisse, Mineralerzeugnisse und Metalle sowohl prozentual stark zulegen als auch einen relevanten Marktanteil erreichen. Der Bereich Erze wird vermutlich von den ebenfalls in dieser Kategorie enthaltenen Steinen und Erden beeinflusst, die auf Baustellen vornehmlich mit dem Straßenverkehr angeliefert werden.

Es kann im Ergebnis festgehalten werden, dass die in dieser Arbeit gefundenen Marktreaktionen den Grenzen der maximal möglichen Verkehrsverlagerung folgen.

#### 4.4 Zusammenfassung möglicher Marktreaktionen

Diese Kapitel fasst die in der Modellrechnung entstehenden Marktreaktionen für die zwei gewählten Internalisierungsansätze zusammen:

**Kostenneutrale Internalisierung:** Angenäherte Kostenneutralität im Sinne von Entlastungen der Verkehrsträger geringer externer Kosten um eine der Belastung jener mit hohen externen Kosten entsprechende Summe.

**Vollständige Internalisierung:** Angenäherte Kostenwahrheit durch vollständige Belastung aller Verkehrsmittel mit den momentan nicht durch sie gedeckten externen Kosten.

Es werden jeweils alle Internalisierungsmaßnahmen zugleich betrachtet, abgesehen von der Maßnahme *zentralisiertes KV-System*, die gesondert betrachtet werden soll.

#### 4.4.1 Entwicklung des Modal Split

In beiden untersuchten Fällen ergibt sich eine Veränderung des Modal Split zugunsten der Verkehrsträger Schiene und Binnenschifffahrt. Dies ist zu erwarten, da die internalisierten externen Kosten im Straßenverkehr am höchsten sind und somit einen Rückgang der Verkehrsleistung hervorrufen. Die exakten Ergebnisse der beiden Internalisierungsansätze sind in Tabelle 24 gegenübergestellt.

Die vollständigen Ergebnistabellen sind in Anhang G zu finden.

Tabelle 24: Entwicklung des Modal Split durch die Umsetzung von Internalisierungsmaßnahmen

Verkehrsträger	Verkehrsleistung [Mrd. tkm]			Verkehrsleistung [%]		Modal Split [%]		
	Ist (2014)	kostenneutral	vollständig	kostenneutral	vollständig	Ist (2014)	kostenneutral	vollständig
Straße	463	443	375	97,0 %	82,0 %	72,5 %	70,0 %	66,9 %
Schiene	113	130	125	112,9 %	109,1 %	18,2 %	20,5 %	22,4 %
Binnenschiff	59	60	60	103,0 %	103,1 %	9,2 %	9,5 %	10,7 %
Gesamt	634	633	560	100,4 %	88,9 %	-	-	-

Es ist zu erkennen, dass die kostenneutrale Umsetzung der Internalisierungsmaßnahmen bereits etwa die Hälfte zum *Modal Shift*, der Veränderung des Modal Split, beiträgt. Entscheidend für das kostenneutrale Modell ist, dass tatsächlich eine gleichbleibende Gesamtverkehrsleistung erreicht wird.

Die vollständige Internalisierung erzeugt dagegen eine maximale Verkehrsverlagerung, wirkt sich aber auch in einer insgesamt sinkenden Transportleistung aus. Daraus folgt, dass das Transportvolumen des Schienengüterverkehrs aufgrund steigender Kosten sinkt, der Anteil des Bahnverkehrs am gesamten Verkehrsaufkommen aber steigt. Insgesamt relativ unbeeinflusst von den Maßnahmen ist die Binnenschifffahrt, die ihre Verkehrsleistung lediglich um 3 % steigert. Relativ zum schrumpfenden Markt gewinnt allerdings auch sie deutlich an Marktanteil.

Die sinkende Gesamtverkehrsleistung steht im Widerspruch mit der in der Zielstellung formulierten Randbedingung, eine Einschränkung der Mobilität streng zu vermeiden. Die berechneten Werte sind für eine abschließende Beurteilung aber mit der prognostizierten Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland zu vergleichen, die einen stetigen Anstieg der Verkehrsleistung voraussagt. Eine detaillierte Betrachtung findet in Kapitel 5.1.1 statt.

#### 4.4.2 Entwicklung der externen Kosten

Entscheidendes Zielkriterium der Internalisierungsmaßnahmen ist nicht eine möglichst große Verkehrsverlagerung, sondern die Minimierung der gesellschaftlichen Belastung durch den

Verkehr. Tabelle 25 zeigt daher die Entwicklung der externen Kosten sowie der kompensierenden Einnahmen durch Abgaben im Zuge der Umsetzung der gewählten Internalisierungsmaßnahmen.

Tabelle 25: Entwicklung der externen Kosten durch die Umsetzung von Internalisierungsmaßnahmen  
Kosten in [Mrd. EUR/a].

	Ist (2014)	kostenneutral	vollständig
Externe Kosten	26,2	24,9	22,1
Einnahmen durch Internalisierungsmaßnahmen	0,0	-0,5	22,1
Ungedeckte Kosten	26,2	25,4	0,0

Wie ersichtlich, wird in der kostenneutralen Variante kein exakter Ausgleich der Be- und Entlastungen durch internalisierte externe Kosten erreicht, so dass in Summe eine Subventionierung des Güterverkehrs von 0,5 Mrd. EUR/a verbleibt. In einer realen Umsetzung kann und sollte dies durch gezielte Anpassung der Einzelwerte vermieden werden, um keine falschen, kurzfristigen Anreize zu setzen.

Bereits durch die kostenneutrale Umsetzung der Maßnahmen kann eine Verringerung der nicht vom Verkehr gezahlten Kosten von 26,2 auf 25,4 Mrd. EUR pro Jahr gesenkt werden. Durch vollständige Internalisierung wird diese fehlende Kostendeckung allerdings komplett beseitigt, also ein Zustand der angenäherten Kostenwahrheit hergestellt. Auch die Belastung der gesamten Gesellschaft, inklusive der Verkehrsteilnehmer, wird von 26,2 auf 24,9 bzw. 22,1 Mrd. EUR pro Jahr gesenkt und trägt so zur Entlastung der Gesellschaft von Folgen des Verkehrs bei.

Die Mobilitätskosteneffizienz wird gesteigert, da die Kosten aus externen Effekten des Verkehrs um 5 % stärker abnehmen als die Verkehrsleistung insgesamt gesenkt wird.

#### 4.4.3 Marktreaktionen der einzelnen Transportgüter

Durch die Charakterisierung der nach (Statistisches Bundesamt, 2008) in 20 Güterabteilungen unterteilten Transportgüter nach ihren Anforderungen an einen Transport können detaillierte Beobachtungen der Reaktionen einzelner Güter auf die Internalisierungsmaßnahmen angestellt werden. Tabelle 26 zeigt die Veränderungen der Verkehrsleistung je Güterabteilung.

Wie anhand der Entwicklung der Gesamtverkehrsleistung zu erwarten ist, verändern sich die Einzelleistungen im Fall einer kostenneutralen Maßnahmenumsetzung nur minimal. Es sind allerdings vier Güter auszumachen, die bereits in diesem Szenario von starken Rückgängen der Verkehrsleistung betroffen sind: Textilien, Möbel und Schmuck, Post sowie Umzugsgut weisen ein um ca. 20 % reduziertes Verkehrsvolumen auf. Dies ist dadurch zu erklären, dass sie sehr

spezielle Anforderungen an den Transport stellen und daher auf den Straßengüterverkehr angewiesen sind. Mangels Verlagerungsmöglichkeit auf andere Verkehrsträger tritt eine reine Verkehrsvermeidung auf.

Dagegen sind im Szenario einer vollständigen Internalisierung fünf Güterabteilungen vorhanden, die bei einer stark verringerten Gesamtverkehrsleistung nur geringe Rückgänge aufweisen:

**Tabelle 26: Marktreaktionen der verschiedenen Transportgüter durch die Umsetzung von Internalisierungsmaßnahmen**  
Angabe der Verkehrsleistung aller Verkehrsträger in [Mrd. tkm/a]

NST-Code	Güterabteilung	Ist (2014)	kostenneutral	vollständig
1	Erzeugnisse der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei	40,4	40,4	36,0
2	Kohle, rohes Erdöl und Erdgas	16,4	16,9	15,6
3	Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	64,0	64,4	61,5
4	Nahrungs- und Genussmittel	81,8	81,0	68,1
5	Textilien, Bekleidung, Leder und Lederwaren	2,9	2,3	2,1
6	Holzwaren, Papier, Pappe, Druckerzeugnisse	37,1	37,1	33,2
7	Kokerei- und Mineralölerzeugnisse	33,6	34,9	29,3
8	Chemische Erzeugnisse etc.	53,2	53,6	48,2
9	Sonstige Mineralerzeugnisse (Glas, Zement, Gips etc.)	43,2	43,2	36,8
10	Metalle und Metallerzeugnisse	50,3	51,3	42,7
11	Maschinen und Ausrüstungen, Haushaltsgeräte etc.	14,2	14,2	12,0
12	Fahrzeuge	26,5	26,5	23,7
13	Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte etc.	5,2	4,1	3,8
14	Sekundärrohstoffe, Abfälle	34,5	34,4	32,5
15	Post, Pakete	11,8	9,4	8,6
16	Geräte und Material für die Güterbeförderung	14,9	14,9	14,1
17	Umzugsgut und sonstige nichtmarktbestimmte Güter	10,7	8,6	7,8
18	Sammelgut	49,3	48,8	43,6
19	Gutart unbekannt	43,4	46,5	40,0
20	Sonstige Güter a.n.g.	0,5	0,5	0,5

Kohle und Erdöl, Erze und Erden, Abfälle, Geräte und Material für die Güterbeförderung sowie der Containerverkehr (Gutart unbekannt) verzeichnen weniger als 10 % Verkehrsreduktion. Es handelt sich hier zum einen um Massengüter, die eine sehr geringe Preiselastizität aufweisen und daher nur in geringem Ausmaß auf Preisänderungen reagieren, und andererseits um Güter, die für den Transport mit Bahn und Binnenschiff speziell geeignet sind. Es bestehen daher gute Verlagerungsmöglichkeiten, die Preissteigerungen im Straßenverkehr auffangen können.



## 5 Chancen und Risiken

Die im vorherigen Kapitel vorgestellten Marktreaktionen auf die Einführung der gewählten Internalisierungsmaßnahmen fallen teilweise sehr stark aus, so dass nicht von einer problemlosen Umsetzung ohne begleitende Maßnahmen ausgegangen werden kann. Daher sollen in diesem Kapitel mögliche Chancen und Risiken genauer betrachtet werden, um im darauffolgenden Kapitel Empfehlungen für politische und technische Maßnahmen formulieren zu können. So sollen Chancen bestmöglich genutzt und Risiken weitestgehend abgemildert werden.

Die identifizierten Chancen und Risiken sind jeweils in Unterüberschriften gegliedert und werden für die vollständige Internalisierung wie auch die kostenneutrale Umsetzung der Maßnahmen bewertet.

### 5.1 Abzusehende Risiken

#### 5.1.1 Für die verladende Wirtschaft

Als Teil des Verkehrsmarktes direkt von den Auswirkungen der Internalisierungsmaßnahmen betroffen ist die verladende Wirtschaft. Sie stellt in Deutschland einen nicht unbedeutenden Wirtschaftszweig dar<sup>23</sup>, weshalb negative Auswirkungen auf sie minimiert werden sollten.

#### Rückgang der Verkehrsleistung

Die zu erwartenden Veränderungen der Verkehrsleistung sind in Kapitel 4.4 ausführlich dargestellt. Es werden nur Rückgänge der Verkehrsleistung als Risiken für die verladende Wirtschaft angesehen. Sie bedeuten einen direkten Einnahmeverlust für Speditionen und Logistikkonzerne, die Transporte mit den betroffenen Verkehrsträgern durchführen.

Den Rückgängen steht die erwartete allgemeine Steigerung des Verkehrsaufkommens in den nächsten Jahren entgegen. Daher werden in Tabelle 27 sowohl die Rückgänge der Verkehrsleistung als auch die in der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 im Auftrag des BMVI (Intraplan Consult GmbH, 2014 S. 10) berechneten Verkehrssteigerungen aufgezeigt und miteinander verrechnet.

Es ist erkennbar, dass durch die Verkehrssteigerung bis 2030 auch bei einer vollständigen Internalisierung der externen Kosten kein Rückgang der Verkehrsleistung auftritt. Voraussetzung wäre demnach eine schrittweise Einführung der Internalisierungsmaßnahmen bis zum Jahr 2030, um die Risiken für die verladende Wirtschaft zu minimieren.

---

<sup>23</sup> Laut (Statistisches Bundesamt, 2013 S. 30ff.) erwirtschaftete der Verkehrsbereich im Jahr 2010 etwa 3,9 % der deutschen Bruttowertschöpfung. Knapp zwei Millionen Bürger bzw. 5 % aller Erwerbstätigen in Deutschland waren 2010 im Verkehrsbereich beschäftigt.

Tabelle 27: Resultierende Verkehrsentwicklung bis 2030 laut (Intraplan Consult GmbH, 2014 S. 10) und den Ergebnissen dieser Arbeit.

	Marktreaktionen auf Internalisierung (kostenneutral)	Marktreaktionen auf Internalisierung (vollständig)	Erwartete Verkehrsentwicklung 2014 bis 2030	Resultierende Verkehrsentwicklung 2014 bis 2030 (vollständig)
Straße	-3,0 %	-18,0 %	+31,3 %	+13,9 %
Schiene	+12,9 %	+9,1 %	+36,6 %	+55,9 %
Binnenschifffahrt	+3,0 %	+3,1 %	+29,4 %	+26,6 %
Gesamt	+0,4 %	-11,1 %	+32,1 %	+22,6 %

### Verringerung der Gewinnmarge

Steigende Kosten zur Produktion einer Verkehrsleistung müssen entweder von den am Transport Beteiligten getragen werden oder führen zu einer Aufgabe der Transportleistung, da sie nicht mehr wirtschaftlich realisierbar ist.

Ist ein Endkunde zwangsläufig auf den Transport einer Ware von A nach B angewiesen und werden alle infrage kommenden Unternehmen gleichmäßig durch Preisänderungen belastet, so kann eine Spedition die gesamte Preissteigerung an den Kunden weitergeben, da die Marktverhältnisse unverändert fortbestehen. Sobald es aber für einen Teil der Kunden Alternativen zum Transport gibt, beispielsweise die Verlagerung von Produktionsstandorten oder ein Ausweichen auf lokal erhältliche Alternativprodukte, muss sich die Spedition im Wettbewerb mit diesen Alternativen behaupten. Je nach Umsetzbarkeit der Alternativen muss ein mehr oder weniger großer Anteil der Preissteigerung durch das Speditionsunternehmen aufgefangen werden, da der Kunde keine beliebige Preissteigerung akzeptiert. Dadurch sinkt die Gewinnmarge zwischen Einnahmen und Ausgaben der Spedition und verschlechtert deren wirtschaftliche Lage.

Besonders drastisch tritt dies auf, wenn ausländische Unternehmen anders belastet werden als inländische, ohne die Möglichkeit einzuschränken, aus dem Ausland Geschäfte in Deutschland zu verrichten. Es entsteht ein Wettbewerbsnachteil für inländische Speditionen, den sie durch Gewinnverzicht auffangen müssen, um nicht vom Markt verdrängt zu werden<sup>24</sup>. Es ist daher unbedingt eine Belastung aller in Deutschland verkehrenden Fahrzeuge gleich ihrer Herkunft oder idealerweise ein europaweit einheitliches Vorgehen bei der Internalisierung externer Kosten zu beschließen.

<sup>24</sup> Bereits heute wird durch unterschiedliche Anstellungsverhältnisse von Berufskraftfahrern in verschiedenen europäischen Ländern ein Wettbewerbsvorteil für ausländische Speditionen erzeugt. 2012 wurden im Straßenverkehr zwischen Deutschland und Rumänien, Ungarn, der Tschechischen Republik, der Slowakei, Polen und Portugal weniger als 10 % der Verkehrsleistungen durch deutsche Lkw erbracht [BAG13, S. 17].

Gegen eine Verringerung der Gewinnmarge kann abseits davon nichts unternommen werden, ohne verfälschend in den freien Markt einzugreifen. Mögliche Verluste sollten aber durch einen – wie oben erläutert – weiteren Anstieg der Verkehrsleistung mindestens kompensiert werden.

### Umstellung eingespielter Logistiksysteme

Durch die Veränderung der Marktbedingungen müssen Speditionen im Falle der Umsetzung von Internalisierungsmaßnahmen Teile ihrer Transporte auf andere, nun günstigere Verkehrsmittel umstellen, um sich gegen Wettbewerber behaupten zu können. Dies erfordert eine möglicherweise kostspielige Umstellung vorhandener Abläufe und Logistikketten.

Durch eine langsame Einführung der Internalisierungsmaßnahmen über beispielsweise 10 Jahre könnten diese einmalig anfallenden Investitionen zeitlich gestreckt werden. Gezielte staatliche Förderungen können Unternehmen bei der Umstellung zusätzlich unterstützen.

### Wettbewerbsverzerrungen während der Umsetzung von Internalisierungsmaßnahmen

Sollten die Internalisierungsmaßnahmen der verschiedenen Verkehrsträger nicht gleichzeitig oder in ungleichmäßigen Sprüngen eingeführt, würden auch während einer über mehrere Jahre gestreckten Einführung der Maßnahmen Risiken für die verladende Wirtschaft entstehen. Durch eine zeitweise Mehrbelastung einzelner Verkehrsträger entstünden intermodale Wettbewerbsverzerrungen, auf die die im ständigen Wettbewerb stehenden Speditionen und Logistikkonzerne reagieren müssten. Dies könnte sich entweder in einem Gewinnverzicht über wenige Jahre oder in unnötigen Investitionen durch die kurzfristige Verlagerung von Verkehren ausdrücken und würde in jedem Fall der wirtschaftlichen Situation der Unternehmen schaden.

Es ist daher unbedingt auf eine proportional gleichmäßige Einführung von Gebühren über alle Verkehrsträger zu achten.

#### 5.1.2 Für die Volkswirtschaft

Indirekt ist auch die gesamte Volkswirtschaft von den Maßnahmen betroffen, da viele Wirtschaftsketten auf dem Verkehrssystem in seiner heutigen Ausprägung aufbauen. Zwar passt sich der Markt langfristig auch neuen Umständen an; er steht jedoch auch im internationalen Wettbewerb mit Ländern, die geringere oder keine Gebühren für den Warentransport erheben. Nicht zuletzt hängen auch die Preise von Konsumgütern von den Transportkosten ab, weshalb die Gesellschaft daran interessiert ist, eine starke Preissteigerung des Gesamtverkehrs zu vermeiden.

## Preissteigerungen für Konsumgüter

Wie bereits in Kapitel 5.1.1 erwähnt, werden Preissteigerungen zur Erbringung einer Transportleistung vorrangig dann an den Endkunden weitergegeben, wenn für den Transport keine gangbaren Alternativen zur Verfügung stehen. Dies ist insbesondere der Fall für Güterabteilungen mit Anforderungen, die momentan nur durch den Straßentransport erfüllt werden können. Es handelt sich hierbei um kleinteilige Güter, die in kurzer Zeit fein verteilt werden müssen. Neben direkten Preissteigerungen durch pekuniäre Effekte<sup>25</sup> kann es auch zu einer Verknappung des Angebots bestimmter Güter kommen, da eine Produktion bei gestiegenen Transportkosten nicht mehr wirtschaftlich durchführbar ist. Es ergeben sich im Falle der vollständigen Internalisierung Preissteigerungen von maximal 16 %<sup>26</sup>. Es sollen im Folgenden Auswirkungen und Gegenmaßnahmen betrachtet werden.

- Textilien, Bekleidung, Leder und Lederwaren: 18 % Rückgang der Transportleistung bei kostenneutraler Internalisierung, 25 % bei vollständiger Kostenwahrheit. Teilweise Luxusgüter, deren Mehrkosten vom Endkunden zu zahlen sind. Eine grundlegende Ausstattung der Bürger müsste notfalls durch Subventionen sichergestellt werden, scheint angesichts der niedrigen Preise für Textilien momentan aber nicht notwendig.
- Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte: 20 % bzw. 25 % Rückgang. Es gilt ähnliches wie für Textilien, da es sich vorrangig um Luxusgüter handelt.
- Post, Pakete: 19 % bzw. 26 % Rückgang. Der private Postverkehr ist bereits seit Jahren rückläufig, dieser Trend würde verstärkt. Geschäftliche Post wird einen höheren Preis in Kauf nehmen, solange keine geeigneten digitalen Alternativen verfügbar sind. Eine Reduzierung des Versandhandels mit Paketen könnte sowohl negative Auswirkungen auf die Versorgung der Bevölkerung wie auch positive Effekte auf die Situation des Einzelhandels haben, die zur politisch gewünschten Attraktivität der Innenstädte beitragen könnten.
- Umzugsgut und sonstige nichtmarktbestimmte Güter: 19 % bzw. 26 % Rückgang. Eine Verteuerung von Umzügen würde eine indirekte Einschränkung der Arbeitnehmerfreizügigkeit für untere Einkommensgruppen darstellen. Um zu verhindern, dass Arbeitsplätze unbesetzt bleiben, obwohl an anderen Orten Arbeitnehmer zur Verfügung stehen, könnte über ausgleichende staatliche Umzugsbeihilfen nachgedacht werden.

<sup>25</sup> Bei pekuniären Effekten handelt es sich um normale Zusammenhänge der Preisentstehung zwischen unterschiedlichen Wirtschaftszweigen. Wird eine Ressource knapper, so steigt der Preis der Produkte, die auf diese Ressource zugreifen. Wird also die Ressource Verkehr verknappt bzw. verteuert, so steigt auch der Preis der transportierten Güter anteilig. Der Anteil der Transportkosten an den Gesamtkosten eines Produkts beträgt im Handel ca. 16 % (Statista GmbH, 2016a), schwankt jedoch je nach Wertigkeit des betrachteten Produkts zwischen 5 und 30 % (Jung, 2013 S. 21).

<sup>26</sup> Ausgehend von einer annähernden Verdoppelung der Kosten des Straßentransports für die genannten Güterabteilungen in der Modellrechnung und den Zahlen aus (Statista GmbH, 2016a) sowie unter Annahme einer vollständigen Umlage der Mehrkosten auf den Endkunden.

## Kostensteigerungen in der Industrie

Ebenso wie für Konsumgüter steigen auch für Transportketten in der Industrie die Transportkosten durch eine Internalisierung externer Kosten. Dieser Effekt ist grundsätzlich erwünscht, da er eine gerechtere Ressourcenverteilung erzeugt, muss jedoch auf ungewollte Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der Industrie untersucht werden.

Abgesehen davon, dass für alle Transportgüter außer den vier hiervoor genannten nutzbare Alternativen anderer Verkehrsträger bestehen<sup>27</sup>, beträgt der Anteil der Logistikkosten an den Gesamtkosten der Industrie nur ca. 7 % (Statista GmbH, 2016a). Somit sind die Auswirkungen einer vollständigen Internalisierung von maximal 3 % Preissteigerung<sup>28</sup> als beherrschbar einzustufen.

## Verringerung der wirtschaftlichen Effizienz

Eine Verkehrsverlagerung aus finanziellen Gründen kann mit der Inkaufnahme einer geringeren Eignung des Verkehrsmittels für den Transport einhergehen. So wird in (Bühler, et al., 2008 S. 15) bemerkt, dass eine Verlagerung auf den Schienenverkehr und die Binnenschifffahrt zu Umwegfahrten führen kann. Dies führt zum einen zu größeren externen Effekten, andererseits aber auch zu einer Verringerung der wirtschaftlichen Produktionseffizienz durch verlängerte Transportzeiten in der Logistikkette.

Durch das prognostizierte verlangsamte Wachstum des Straßengüterverkehrs kann es aber auch zu gegenteiligen Effekten kommen, da Stauungen vermieden werden können. Insbesondere das Schienennetz bedarf aber eines deutlichen Ausbaus, um die zu erwartenden Mehrverkehre mit einer angemessenen Qualität bezüglich Transportzeiten und Zuverlässigkeit durchführen zu können.

## Verlagerung von Verkehren und Wirtschaftszweigen ins Ausland

Eine Steigerung der Transportkosten in Deutschland und daraus folgend der Produktionskosten könnte eine Verlagerung von Wirtschaftsleistung in das benachbarte Ausland nach sich ziehen. Eine weltweite Verlagerung wäre für Transportgüter denkbar, die effizient mit Hochseeschiffen transportiert werden können.

---

<sup>27</sup> Die kurzfristigen Auswirkungen durch die Umsetzung der Internalisierung bei insgesamt gleichbleibenden Kosten belaufen sich abgesehen von den vier genannten Transportgütern auf unter 2 % der Verkehrsleistung. Eine langfristige Umstellung von Produktionsprozessen an den Zustand der Kostenwahrheit im Verkehr wird als möglich und sinnvoll angesehen,

<sup>28</sup> Ausgehend von einer maximalen Preissteigerung durch Internalisierungsmaßnahmen über alle Güter gemittelt von ca. 40 %, den Zahlen aus (Statista GmbH, 2016a) und unter Annahme einer vollen Umlage der Mehrkosten auf den Kunden.

Es sollte daher auf eine europaweite Lösung Wert gelegt werden, um eine gleichmäßige Umstellung ohne Wettbewerbsverzerrungen zu erreichen. Insbesondere Transitverkehr würde andernfalls auch Umwege nutzen, um die nationalen Regelungen zu umgehen, und durch die mit der längeren Wegstrecke verbundene Steigerung der externen Effekte entgegen der definierten Zielstellung wirken<sup>29</sup>. Der Transitverkehr machte 2014 etwa 17 % der in Deutschland erbrachten Verkehrsleistung aus (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015a S. 209) und sollte daher in einer Gesamtbetrachtung nicht vernachlässigt werden.

## 5.2 Mögliche Chancen

### 5.2.1 Für die verladende Wirtschaft

Durch die Herstellung eines gesellschaftlich angenähert optimalen Zustands im Verkehrswesen sind auch langfristige positive Auswirkungen auf die verladende Wirtschaft möglich.

#### Langfristige Planungssicherheit

Planungssicherheit ist eine sehr wichtige Größe für die Wirtschaft allgemein, da sie gezielte Investitionen erlaubt und Unsicherheiten des Marktes minimiert. Zumindest in den vergangenen Jahrzehnten drängten die politischen Kräfte in Europa stetig auf eine Annäherung der Kostenwahrheit im Verkehr. Sollte dieser Zustand einmal erreicht sein, ist nur noch von kleinen, gezielten weiteren Eingriffen der Politik in den Verkehrsmarkt auszugehen.

Die so gewonnene Planungssicherheit kann z.B. für die Entwicklung neuer Transporttechnologien genutzt werden, da die Rahmenbedingungen langfristig feststehen. Dies würde durch eine gesteigerte Effizienz direkt der verladenden Wirtschaft zugutekommen.

#### Verbesserung der Konkurrenzsituation zu ausländischen Wettbewerbern durch finanzielle Gleichbehandlung

Im Unterschied zur bisherigen Erhebung von Gebühren zum Ausgleich externer Kosten (beispielsweise durch die Mineralölsteuer, die durch ausländische Unternehmen mit einer vollen Tankfüllung umgangen werden kann) würden die vorgeschlagenen Internalisierungsmaßnahmen (bis auf die antizyklische Mineralölsteuer) auf alle in Deutschland verkehrenden Fahrzeuge gleichmäßig angewendet. Hierdurch würde die Wettbewerbssituation der verladenden Wirtschaft in Deutschland nachhaltig gestärkt.

---

<sup>29</sup> Für ein isoliertes Deutschland wäre es potenziell vorteilhaft, Transitverkehre ins Ausland zu verlagern, sofern dadurch die externen Kosten stärker sinken als die Einnahmen durch Mineralölsteuer und Maut. Allerdings muss im heutigen Kontext immer auch die restliche EU in die Untersuchungen einbezogen werden, so dass die Gesamtauswirkungen auf die EU die Optimierungsgröße darstellen.

An dieser Stelle ist außerdem zu bemerken, dass die Transportkosten im Schienenverkehr bei der Einführung der gesamtkostenneutralen Internalisierungsmaßnahmen zunächst sogar sinken würden, was eine kurzfristige Erhöhung der Gewinnmarge von Eisenbahnverkehrsunternehmen erlaubt. Diese indirekte Finanzhilfe kann als Subvention zur weiteren Umstellung der Verkehre angesehen werden.

### Erhöhung der Verlässlichkeit von Transporten

Durch die Verringerung bzw. Verlangsamung des Wachstums des Straßenverkehrs können Kapazitätsengpässe im Straßennetz umgangen werden, wodurch die Verlässlichkeit des Straßenverkehrs steigt. Weitere positive Effekte würden durch eine Auslastungssteuerung durch dynamische Infrastrukturgebühren entstehen.

Im Rahmen des zur Aufnahme der steigenden Schienenverkehrsleistung nötigen Ausbaus können im Gegensatz zur Verkehrspolitik der vergangenen Jahrzehnte fokussiert Maßnahmen zur Steigerung der Kapazität und Zuverlässigkeit im Güterverkehr umgesetzt werden.

Zuverlässigkeit ist nicht nur eine Rechtfertigung für höhere Preise zur Erbringung einer Transportleistung, sondern auch ein wichtiger Parameter in der Einsatzplanung von Speditionen und Logistikkonzernen.

### 5.2.2 Für die Volkswirtschaft

Abgesehen von den in der Zielstellung der Arbeit begründeten Verbesserungen für die Gesellschaft durch verringerte externe Effekte sind weitere Chancen durch die Definition eines langfristigen Zielzustands erkennbar.

#### Verbesserte gesellschaftliche Kostenbilanz

Wichtigstes Ergebnis der Kosteninternalisierung ist die finanzielle Entlastung der Gesellschaft. Zum einen tragen die Verkehrsteilnehmer die von ihnen verursachten Kosten selbst, statt sie der Allgemeinheit aufzubürden. Vor allem aber entsteht durch die korrekte Kostenallokation eine Verkehrsverlagerung hin zu den für eine Verkehrsleistung am besten geeigneten Verkehrsmitteln. Hierdurch wird eine Entlastung der Gesellschaft, einschließlich der Verkehrsteilnehmer, erreicht:

- Reduktion der zu tragenden (externen) Kosten um 1,3 Mrd. EUR bei einer Internalisierung mit gleichbleibender Verkehrsleistung,
- Reduktion der zu tragenden (externen) Kosten um 4,1 Mrd. EUR bei einer vollständigen Internalisierung der externen Kosten.

Zusätzlich setzen die gewählten Internalisierungsmaßnahmen Anreize zur weiteren Senkung von Ressourcenverbrauch und Emissionen des Verkehrs, wodurch die positiven Effekte langfristig sogar noch verstärkt werden.

---

## Erhöhte Lebensqualität

Auch wenn in dieser Arbeit nicht vom Grenzkostenansatz des Verkehrs ausgegangen wird, wird eine Variation der erhobenen Gebühren nach einigen Faktoren, beispielsweise der Siedlungsdichte, angedacht. Hierdurch würden die Kosten für eine Transportleistung in ländlichen Regionen möglicherweise sogar sinken, in städtischen Gebieten aber stark steigen. In der Folge würden die auch durch konstante Gebührenmodelle erreichten Verbesserungen der Lebensqualität von Anwohnern noch verstärkt.

Anwohner profitieren hierbei vor allem von der Reduktion der externen Effekte Lärm, Luftverschmutzung und Zusatzkosten in städtischen Räumen. Angesichts des hohen Urbanisierungsgrades in Deutschland (Statista GmbH, 2016c) besitzt die Verbesserung der Lebensbedingungen von Stadteinwohnern eine hohe politische Priorität. Die vorgeschlagenen Maßnahmen können angesichts der zu erwartenden Marktreaktionen einen Beitrag zu diesen Anstrengungen leisten.

## Langfristige Planungssicherheit

Auch für den Wirtschaftsstandort Deutschland ist eine langfristige Planungssicherheit essenziell. Einige positive Effekte sind im Folgenden aufgeführt:

- Durch gezielte Investitionen kann die Produktivität und damit die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen gesteigert werden.
- Staatliche Investitionen in die Infrastruktur können der Nachfrage bei Kostenwahrheit angenähert werden. Hierdurch werden unnötige Ausbauten, die zusätzlich falsche Anreize setzen, vermieden und dadurch Gelder frei, die z.B. zur weiteren Reduktion externer Effekte eingesetzt werden können. Dies betrifft beispielsweise den weiteren Ausbau der Seehafenhinterlandverbindungen: Durch den erwarteten starken Anstieg des in den Hochseehäfen umgeschlagenen Gütervolumens (Steigerung der Transportmenge um 63 % zwischen 2010 und 2030 laut (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015b S. 29)) wird in den nächsten Jahren ein umfassender Ausbau der Verkehrsinfrastruktur nötig. Jetzt falsch gesetzte Prioritäten wirken sich über Jahrzehnte aus, wenn sie erst einmal in Infrastruktur zementiert sind. Daher ist eine schnellstmögliche Formulierung einer langfristigen Verkehrsstrategie mit quantifizierbaren Maßnahmen dringend nötig.
- Forschungsaufträge können langfristig ausgerichtet werden, um eine weitere Verbesserung der Situation in gerechten wirtschaftlichen Randbedingungen zu ermöglichen. Forschungsergebnisse können häufiger nutzbringend eingesetzt werden, wenn sich die politischen Umstände nicht mehr so häufig verändern und Erkenntnisse daher ihre Relevanz verlieren. Die Effizienz der verwendeten Forschungsgelder steigt hierdurch deutlich.



## 6 Abzuleitende Empfehlungen

Die im vorangegangenen Kapitel aufgezeigten Chancen und Risiken durch die Umsetzung ausgewählter Internalisierungsmaßnahmen stellen die Grundlage für die folgenden Empfehlungen an die Gesetzgebung und Forschung dar. Sie sollen helfen, Chancen zu nutzen und Risiken zu minimieren.

Die Empfehlungen werden durch die durchgeführte Analyse der Marktreaktionen in ihrer Aussagekraft untermauert.

### 6.1 Empfehlungen an die Gesetzgebung

Für korrekte politische Entscheidungen ist es unerlässlich, eine korrekte Zielstellung zu formulieren, um ein gesellschaftlich optimales Verkehrssystem annähern zu können. Viel zu oft wird bis heute eine Erhöhung der Verkehrsleistung mit einer verbesserten Mobilität gleichgesetzt, obwohl nachhaltig belegt ist, dass die beiden Kenngrößen nur bedingt miteinander verknüpft sind. Vielmehr entsteht durch falsch priorisierte Infrastrukturausbauten eine höhere Verkehrsleistung, obwohl die Anzahl befriedigter Mobilitätsbedürfnisse konstant bleibt. (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015b S. 20) stellt diesen Zusammenhang, möglicherweise unbeabsichtigt, anschaulich dar: Ein gleichbleibendes Personenverkehrsaufkommen wird 2014 mit einer 9 % höheren Verkehrsleistung abgedeckt.

Es ist daher zwingend nötig, eine andere Kenngröße als das Verkehrswachstum als Indikator guter Verkehrspolitik einzuführen. Eine solche Größe wurde in Kapitel 3.1.4 mit der Mobilitätskosteneffizienz definiert. Sie belohnt ressourcenschonendes Verhalten und die Steigerung der Landeswirtschaftsleistung gleichermaßen und kann so helfen, sinnvolle politische Zielstellungen zu formulieren.

Für die folgenden Empfehlungen wird die in Kapitel 3.1.5 formulierte Zielstellung als Maßgabe angenommen. Es wird von der Umsetzung aller in Kapitel 3.4.2 ausgewählten Internalisierungsmaßnahmen in der Form entsprechend ihrer Auswirkungen auf ihre Umgebung variierender Gebühren (Annäherung des Grenzkostenansatzes). Zunächst werden begleitende Maßnahmen zur Umsetzung der vorgeschlagenen Internalisierung angedacht, darauf folgend sollen weitere Empfehlungen zur Erreichung der Zielstellung dargestellt werden.

#### 6.1.1 Empfehlungen zur Umsetzung einer Internalisierung

Die in Kapitel 4.4 beschriebenen Marktreaktionen erlauben eine Einschätzung der Auswirkungen der gewählten Internalisierungsmaßnahmen. Angesichts der in Kapitel 5 formulierten Chancen und Risiken wird folgende Vorgehensweise zur Einführung der Maßnahmen vorgeschlagen:

## Anfängliche Umsetzung bei gleichbleibenden Gesamtkosten

Zunächst Umsetzung der Maßnahmen für eine gleichbleibende Gesamtbelastung des Güterverkehrs. Diese erzeugen:

- Eine Mehrbelastung des Straßenverkehrs, insbesondere in städtischen Gebieten,
- Eine vorübergehende Subventionierung des Schienenverkehrs,
- Geringe Auswirkungen auf die Binnenschifffahrt.

Während die gesamte Güterverkehrsleistung in der Folge um 0,4 % abnimmt (im Rahmen der Ungenauigkeit dieser Abschätzung also unverändert bleibt), was durch das allgemeine Verkehrswachstum mindestens kompensiert wird, ergibt sich bereits durch diese Maßnahmen eine Veränderung des Modal Split:

- Straße: von 72,9 % auf 70,0 % Anteil an der Verkehrsleistung
- Schiene: von 17,8 % auf 20,5 %
- Binnenschiff: von 9,3 % auf 9,5 %

Diese initiale Verkehrsverlagerung entspricht bereits im Ansatz dem Zustand, der sich bei vollständiger Kostenwahrheit einstellt und sorgt somit für eine vorausschauende Planbarkeit der notwendigen Investitionen in das Verkehrssystem.

Voraussetzung für die Umsetzung der Internalisierungsmaßnahmen sind entsprechende gesetzliche und technische Möglichkeiten. So ist es notwendig, das System der Straßenmauterfassung um eine genaue Positionsbestimmung auch auf Nebenstraßen zu erweitern, um eine Erfassung aller erbrachten Fahrleistungen zu ermöglichen. Um eine Lenkungswirkung durch die Anpassung der Gebühren an äußere Umstände zu bewirken, ist außerdem eine geeignete Informationsvermittlung vorzusehen, die den Verkehrsteilnehmern rationale Entscheidungen ermöglicht. Aus Gründen der Ökonomie sollten diese Punkte durch eine europaweit einheitliche technische Lösung erfüllt werden (EU-Kommision, 2011 S. 11).

Ebenso ist die gesetzliche Umgebung für eine gleichmäßige Belastung von Schifffahrten auf Kanälen und Flüssen einzurichten, um eine korrekte Internalisierung zu ermöglichen. Die Alternative, eine besondere Besteuerung von Schiffkraftstoffen, würde zu falschen Anreizen führen und könnte im Sinne der Diskriminierungsfreiheit weitere rechtliche Probleme verursachen. Es ist daher eindeutig die erstgenannte Möglichkeit zu bevorzugen.

Begleitend sind einzelne, gezielte Ausbaumaßnahmen insbesondere des Schienennetzes notwendig, um die zusätzliche Verkehrsleistung erbringen zu können. Entscheidende Ansatzpunkte für einen auf den Güterverkehr abgestimmten Ausbau liefert hierzu die Studie „Schienennetz 2025/2030“ des Umweltbundesamts aus dem Jahr 2010 (kcw GmbH, 2010), die Maßnahmen in Summe von 11 Mrd. EUR vorschlägt, um das Schienennetz für eine Verdoppelung

des Güterverkehrsaufkommens bis 2025 vorzubereiten. Im Vergleich dazu stellt die aus Internalisierungsmaßnahmen und allgemeiner Verkehrsprognose entstehende Erhöhung der Schienengüterverkehrsleistung um 55,9 % bis 2030 (siehe Kapitel 5.1.1) keine unüberwindbare Herausforderung dar.

### Langsame Erhöhung der Internalisierungsgebühren

Die in Kapitel 5.1.1 berechneten Entwicklungen der Verkehrsleistung in Deutschland bis 2030 belegen, dass durch eine bis 2030 gestreckte Erhöhung der Internalisierungsgebühren auf das Niveau der vollen Kostenwahrheit keine Verkehrsrückgänge erzeugen würde. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass lediglich die weiteren Entwicklungen des Verkehrsmarktes im Sinne einer gerechten Ressourcenverteilung beeinflusst werden, ohne Einbrüche der Wirtschaft befürchten zu müssen.

Es wird vorgeschlagen, nach einer schnellstmöglichen Einführung der kostenneutralen Maßnahmen einen Zeitraum von mindestens einem Jahrzehnt für die Erreichung des vollen Internalisierungsziels einzuplanen. Die Preise sollten während dieser Zeitspanne jährlich linear zum Ziel der vollständigen Umsetzung angepasst werden. Dieses Vorgehen stellt eine verständliche und gut planbare Situation für die betroffenen Verkehrsverursacher dar und sorgt für die Möglichkeit, Verkehrsströme nach und nach an die neuen Gegebenheiten anzupassen. Innerhalb eines Jahrzehnts stehen auch Möglichkeiten zur Verfügung, die Verkehrsinfrastruktur entsprechend der neuen Marktsituation anzupassen. Die politisch gescheute Notwendigkeit, (Straßen-)Verkehrsinfrastruktur zurückzubauen, entsteht durch diese Maßnahmen nicht, da eine weitere Steigerung des Verkehrsvolumens erwartet wird.

Die Anpassung der Gebühren sollte unter ständiger Beobachtung der sich verändernden Marktsituation stehen, um Abweichungen der berechneten Werte von der sich einstellenden Realität zu erkennen und in die Preisfestsetzung einzubeziehen. Sie entsteht die in (Becker, et al., 2012 S. 6) geforderte iterative Annäherung an den Zustand minimaler gesellschaftlicher Kosten durch den Verkehr anhand bestmöglicher Schätzungen.

Sollten Schwierigkeiten der Wirtschaft erkannt werden, sich auf die neue Marktsituation einzustellen, können finanzielle Anreize zur vorausschauenden Umstellung von Logistikabläufen den Prozess vereinfachen. Die begleitende Forschung und Entwicklung neuer Technologien hat über den empfohlenen Zeitraum von einem Jahrzehnt die Möglichkeit, erste Ergebnisse zu produzieren.

## Vollständige Umsetzung der Kosteninternalisierung nach einem Jahrzehnt

Am Ende der Einführungsphase steht die Festsetzung der Gebühren anhand der Höhe der tatsächlich verursachten Kosten. Durch die fortlaufende Korrektur der angenommenen Werte kann eine angenäherte Kostenwahrheit hergestellt werden.

Es ist, bei einer Reduktion der Gesamtverkehrsleistung im Vergleich zur allgemeinen Verkehrsprognose um 10,2 %, von folgenden Änderungen im Modal Split auszugehen:

- Straße: von 72,9 % auf 66,9 % Anteil an der Verkehrsleistung
- Schiene: von 17,8 % auf 22,4 %
- Binnenschiff: von 9,3 % auf 10,7 %

### 6.1.2 Empfehlungen zur Erreichung der Zielstellung

Begleitend zur Umsetzung der Internalisierungsmaßnahmen stehen der Politik weitere Instrumente zur Verringerung der externen Effekte des Güterverkehrs zur Verfügung:

- Raumplanerische Maßnahmen, die die zur Erbringung einer Wirtschaftsleistung notwendigen Wege minimieren. So kann bei gleichbleibender Verkehrsmenge eine Reduktion der Verkehrsleistung durch eine Verkürzung der durchschnittlichen Transportentfernung erreicht werden.
- Einführung einer dynamischen infrastrukturbenutzungsgebühr zur Auslastungssteuerung. Durch eine effizientere Nutzung der vorhandenen Verkehrsinfrastruktur können gesellschaftliche Kosten aus Stauungen sowie externe Effekte durch einen ungleichmäßigen Verkehrsfluss verringert werden.
- Durch Maßnahmen der Verkehrserziehung, der Förderung von Forschung im Bereich der Sicherheitswissenschaften und einer Verbesserung der Sicherheitsstandards der Verkehrsinfrastruktur können Unfallzahlen und die gesellschaftlichen Verluste durch Getötete und Verletzte weiterhin verringert werden. Perspektivisch kann auch die Erforschung automatischer Transportsysteme einen Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit im Verkehr in Deutschland beitragen.

Zur Erleichterung des Verkehrswachstums auf der Schiene sollten außerdem unterstützende Maßnahmen ergriffen werden:

- Schaffung von leistungsfähigen Güterverkehrskorridoren, die eine konkurrenzfähige Alternative zum Straßenverkehr bezüglich Transportgeschwindigkeit und Zuverlässigkeit bieten und neue Kapazitäten schaffen. Die bereits nach und nach umgesetzten Maßnahmen der Transeuropäischen Netze für den Transport (TEN-T) sollten beschleunigt und um

Anstrengungen zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit (Erhöhung der maximalen Zuglänge, Erweiterung des Lichtraumprofils) ergänzt werden<sup>30</sup>.

- Eine Förderung des Kombinierten Verkehrs bietet die größten Potenziale zum Ersatz von Straßenverkehrsleistungen durch den Schienenverkehr. Neben dem generellen Ausbau des KV-Terminal-Netzwerkes stehen auch innovative Lösungen zur Erhöhung der Attraktivität des KV-Verkehres zur Verfügung: Ab 2017 sollen Züge das Güterverkehrszentrum Chapelle International im Stadtgebiet von Paris anfahren, von wo aus die Feinverteilung der Waren ausschließlich mit Gas- und Elektrofahrzeugen stattfindet (Minirex AG, 2016 S. 358).
- Ein Abbau bürokratischer Hürden, die die Innovationskraft des Schienenverkehrs zurzeit stark schwächen, bei Zulassungsverfahren, Regelungen zur Sprachkenntnis des Personals international verkehrender Züge, der Vereinheitlichung des Zugsicherungssystems. All diese Maßnahmen sind grundsätzlich bekannt, müssen aber mit Nachdruck verfolgt werden.
- Eine Umfrage der Bundesnetzagentur zum Zugang zu Schienenwegen im Jahr 2014 hat einen Besonderen Mangel an Abstellgleisen und Zugbildungsanlagen zur Erbringung privater Eisenbahnverkehrsleistung erkannt (Bundesnetzagentur, 2014 S. 41). Entsprechend sollten hier Ausbaupotenziale untersucht werden.
- Ein Vergleich des Erfolges der Anschlussbahnförderung in Deutschland und Österreich lässt darauf schließen, dass die gesetzliche Umsetzung in Deutschland nicht geglückt ist. So erreichte das österreichische Modell eine Vermehrung der in Betrieb befindlichen Anschlussgleise um 10 % innerhalb von 6 Jahren, während in Deutschland innerhalb von 5 Jahren nur 2,8 % neue Anschlussbahnen entstanden (Kirfel, 2012 S. 17).

## 6.2 Empfehlungen an die Forschung

Der Fokus der Verkehrsforschung sollte darauf liegen, sowohl durch neue Transporttechnologien wie auch durch die bessere Verknüpfung bestehender Transportsysteme eine Verringerung der externen Effekte zu erreichen. Dies betrifft insbesondere innovative Ansätze zum Umschlag und zur Feinverteilung von mit Bahn und Schiff transportierten Gütern, um eine mit dem Straßenverkehr vergleichbare Erschließungswirkung zu erzielen. Die möglichen Potenziale lassen sich anhand der vorgeschlagenen Maßnahme *Zentralisiertes KV-System* abschätzen:

---

<sup>30</sup> Siehe auch die Vorschläge des Vereins FERRMED ([www.ferrmed.com](http://www.ferrmed.com)) zur Schaffung eines leistungsfähigen europaweiten Netzwerks von Schienengüterverkehrsstrecken. Einen Mangel an Überholgleisen und Weichenverbindungen sowie Serviceeinrichtungen und die damit verbundene Unmöglichkeit, Mehrverkehre abzuwickeln, beklagt auch das Netzwerk Europäischer Eisenbahnen e.V., in dem sich Wettbewerber der DB AG zusammenschlossen haben (Kirfel, 2012).

- Gleichbleibende Preise im Vergleich zum bestehenden Kombinierten Verkehr auf der Schiene
- Verbesserung der Eigenschaften in den Punkten *Transportfrequenz, Pünktlichkeit, Erschließungswirkung* und *Vorlaufzeit Buchung-Transport*
- Resultierender Modal Split: Straße 63 %, Schiene 28 %, Binnenschifffahrt: 8 %
- Reduktion der externen Kosten um 2,3 Mrd. EUR

Wie ersichtlich können bereits kleine Verbesserungen der erbrachten Leistung in Summe ein großes Potenzial für die Verbesserung des gesamten Transportsystems darstellen. Während diese Maßnahme die stärkste Wirkung einer Einzelmaßnahme aufweist, ist auch mit hohen Kosten für die Verbesserung der angesprochenen Qualitätsmerkmale zu rechnen.

Weitere Forschungsfelder sind:

- Emissionsärmere bzw. elektrische Antriebe insbesondere für die Straßengüterfeinverteilung, um innerhalb von Siedlungsgebieten externe Effekte zu minimieren
- Verringerung der Lärmemissionen des Schienenverkehrs, da eine Verlegung von Bahnstrecken aus Siedlungsgebieten heraus aufgrund der kombinierten Nutzung mit dem Personenverkehr häufig nicht realistisch umzusetzen ist.
- Möglichkeiten zur Erhöhung der Auslastung im Schienengüterverkehr<sup>31</sup>, z.B. durch die Ermöglichung längerer Zugverbände. Dies würde Effizienzsteigerungen sowohl für die Umweltauswirkungen als auch für die Wirtschaftlichkeit des Bahnverkehrs bewirken.
- Automatische Fahrzeuge, um die Effizienz der Transportsysteme zu erhöhen
- Erforschung neuer Energiespeichersysteme zur Erhöhung des (mit 42 % (Deutsche Bahn AG, 2016a) bereits überdurchschnittlich hohen) Anteils Erneuerbarer Energieträger am Stromverbrauch des Schienenverkehrs. Eine Erhöhung ist langfristig nur möglich, wenn es gelingt, verlässliche Grundlasten bereitzustellen.

---

<sup>31</sup> Deutschland liegt mit 497 t je Zug unter dem europäischen Durchschnitt von 527 t/Zug. Ein Spitzenwert wird in Lettland mit 1850 t/Zug erreicht. (van Essen, et al., 2011 S. 134)

## 7 SWOT-Analyse der Arbeit

In der SWOT-Analyse werden sowohl Stärken und Schwächen in der Ausführung der Arbeit identifiziert und bewertet als auch Chancen und Gefahren durch äußere Einflüsse betrachtet, die die Aussagekraft der Ergebnisse beeinflussen könnten. Die Analyse dient dazu, eine gesamtheitliche Bewertung der Relevanz der Arbeit treffen zu können.

### 7.1 Stärken

Die Stärken der Arbeit beziehen sich vor allem auf die genutzten neuen Ansätze zur Ermittlung einer gesamtwirtschaftlichen Kostenbilanz des Verkehrs sowie zur Abschätzung der Auswirkungen von Internalisierungsmaßnahmen auf den Güterverkehrsmarkt. Zudem ist die breite Datengrundlage zu nennen, auf der die Arbeit aufbaut, und durch die eine angemessene Belegbarkeit und Aussagekraft der Ergebnisse erreicht wird.

Größte Leistung der Arbeit ist sicherlich die Nutzung von Eigenschaftsfaktoren von Verkehrsmitteln und Anforderungen verschiedener Transportgüter zur Erzeugung einer detaillierten Schätzung der Auswirkungen von Preisänderungen. Nicht nur wird so die Verlässlichkeit der Gesamtrechnung erhöht, da statt einer einfachen Gesamtrechnung mit großen Unsicherheiten aus der Datenerhebung viele Einzelwerte kalibriert und damit an die Realität angenähert werden können, zusätzlich werden auch transportgutspezifische Potenziale zur Verlagerung von Verkehren aufgedeckt.

Anhand der Ergebnisse konnte ein Ansatz für eine Internalisierung ohne größere Auswirkungen auf die Erfüllung von Mobilitätsbedürfnissen formuliert und seine Gültigkeit rechnerisch untermauert werden.

Einen weiteren Unterschied zu bestehenden Studien stellt darüber hinaus die Erfassung einer gesamtwirtschaftlichen Kostenbilanz des Güterverkehrs dar, die eine tatsächliche Kostengerechtigkeit über verschiedene Wirtschaftsbereiche hinweg anstrebt. Die Arbeit kann einen sowohl Einnahmen als auch Ausgaben sowie externe Kosten berücksichtigenden Beitrag zur seit langem anhaltenden Diskussion liefern, welchen Anteil seiner Kosten der Verkehr tatsächlich trägt.

Ziel der Arbeit war eine möglichst umfassende Untersuchung der oben genannten Punkte, um eine politische Handlungsempfehlung geben zu können. Ein guter Gesamtüberblick über die aktuelle Situation im Güterverkehrsmarkt war daher genauso notwendig wie eine differenzierte Beurteilung von Internalisierungsmaßnahmen. Durch die Nutzung mehrerer Studien und Statistiken für eine vergleichende Auswertung der Ausgangssituation konnten fundierte Werte für externe Kosten, vorhandene Belastungen des Güterverkehrs und den Modal Split ermittelt wer-

den. Ebenso werden sowohl ordnungspolitische Internalisierungsmaßnahmen qualitativ beurteilt, Preismaßnahmen in einer komplexen Rechnung untersucht als auch die Betrachtung der Veränderung einzelner Qualitätseigenschaften der Verkehrsmittel ermöglicht. Durch diesen breiten Ansatz gewinnen die formulierten Empfehlungen bedeutend an Relevanz.

Durch die kombinierte Untersuchung von Chancen und Risiken durch Internalisierungsmaßnahmen für die verladende Wirtschaft und die Volkswirtschaft konnten einseitige Bewertungsergebnisse vermieden und ein Ausgleich der Interessen angestrebt werden.

## 7.2 Schwächen

Abgesehen von der im Rahmen einer Diplomarbeit eingeschränkten Betrachtungstiefe sind während der Bearbeitung einige weitere Schwächen zutage getreten:

Die Datengrundlage bietet zwar bereits eine gute Basis für die Untersuchung, weist aber noch entscheidende Lücken und Ungenauigkeiten auf. Folgende Vorschläge wären für eine bessere Aussagekraft der Ergebnisse zu berücksichtigen:

- Exaktere Ermittlung und Zuweisung von Einnahmen und Ausgaben des Staates durch bzw. für den Verkehr
- Die Erhebung externer Kosten findet fast ausschließlich in Studien statt, die von Eisenbahnverbänden finanziert wurden. Es kann daher nicht garantiert werden, dass ausschließlich objektive Ergebnisse vorliegen
- Erhebung genauer Transportkosten der verschiedenen Verkehrsmittel durch eine breitere Marktanalyse
- Genauere Beurteilung der vorhandenen Ergebnisse bzw. eigene Untersuchungen zur Gewinnmarge im Verkehrswesen, um von den Endkundenpreisen auf betriebswirtschaftliche Transportkosten schließen zu können
- Untermauerung der Eignungskennzahlen durch objektivere Daten.

Die fehlende Belegbarkeit der Eignungskennzahlen, die nur aus qualitativen Angaben anderer Studien und Erfahrungswerten ermittelt wurden, verbietet eine Anwendung der vorliegenden Modellrechnung zur Bestimmung quantitativer Verbesserungsaufträge für einzelne Eigenschaften der Verkehrsmittel, um deren Verkehrsanteil zu erhöhen.

Eine quantitative Abschätzung der vorliegenden Rechenunsicherheiten ist angesichts der komplexen Zusammenhänge des Rechenmodells nicht möglich.

Zudem wurden auch methodische Schwächen offenbar, die in einer möglichen Fortführung der Arbeit zu eliminieren sind:

- Nutzung kontinuierlicher Funktionen anstelle von Entfernungsschritten, der drei Gewichtskategorien sowie der durchschnittlichen Beladung der Fahrzeuge



- Nur ansatzweise Übereinstimmung der berechneten Preiselastizitäten mit den Ergebnissen aus empirischen Studien. Angesichts der großen Ungenauigkeit der Erhebungen erscheint eine bessere Annäherung aber nur schwer möglich
- Auswahl für die Nachfragekurve aus zwei theoretischen Modellen, die nicht komplett auf die Realität übertragbar sind. Es wurde sich für die vorsichtigeren Kurve entschieden, um drastischere Ergebnisse als sie tatsächlich zu erwarten sind zu vermeiden
- Mehrfachnennung gleicher Verkehrsmittel würde im Modell zu einem erhöhten Anteil am Modal Split führen
- Berechnung der Einnahmen durch Internalisierungsmaßnahmen über ein Integral des Preises über die Entfernung anstatt über Einzelwerte
- Daraus folgend eine exakte Ermittlung der für die vollständige Kostenwahrheit nötigen Gebühren
- Fehlende Überprüfung des Modells an tatsächlichen Daten anderer Länder oder aus anderen Jahren

Insbesondere der letzte Kritikpunkt schränkt die Relevanz der Ergebnisse stark ein. Eine Überprüfung der Modellergebnisse mit Vergleichsdaten würde eine universelle Anwendbarkeit bestätigen und somit ein Vertrauen in die gewählten Methoden herstellen. Mangels geeigneter Vergleichsdaten ähnlichen Detailgrades konnte diese Überprüfung in dieser Arbeit nicht durchgeführt werden. Der Vergleich mit den Ergebnissen anderer Studien kann nur bedingt Ersatz für einen Abgleich mit der Realität bieten.

Es wurde daher eine Expertenmeinung aus der verladenden Wirtschaft eingeholt.

### 7.3 Interview mit einem Spediteur

Um eine Abschätzung der Brauchbarkeit der angenommenen Preise für Transportleistungen zu ermöglichen und somit einen großen Schwachpunkt der Arbeit zu beseitigen wurde ein erfahrener Unternehmer einer auf Stahltransporte spezialisierten Spedition zu den Annahmen und Ergebnissen befragt<sup>32</sup>.

Die angenommenen Preise des Straßengüterverkehrs im entsprechenden Marktsegment (Metalle und Metallerzeugnisse) bewegen sich seiner Aussage nach im Rahmen der realen Werte, bzw. sind teilweise eher etwas zu hoch angesetzt. Eine detaillierte Aussage zu den Preisen von Schienenverkehr und Binnenschifffahrt ließe sich ohne Kenntnis des Einzelfalls nicht treffen. Da die Preise für den Schienenverkehr durch entsprechende Preistabellen gut belegt sind, können sie aber verwendet werden. Lediglich die Preise der Binnenschifffahrt bleiben somit mit einer größeren Ungenauigkeit behaftet, da sie nur aus einer einzigen Quelle stammen.

---

<sup>32</sup> Gespräch mit dem Geschäftsführer der Blin GmbH & Co KG, Salzgitter vom 13.10.2016.

Den Ergebnissen der Studie konnte der Spediteur am Beispiel seines Unternehmens nicht folgen, da für ihn eine Verlagerung von Verkehren nicht sinnvoll möglich sei. Dies könnte allerdings auch an der hohen Spezialisierung des Unternehmens liegen. Eine statistische Aussage ist aus dieser Einzelaussage nicht abzuleiten.

## 7.4 Chancen

Chancen bestehen vorrangig für die Relevanz der Studienergebnisse und nur bedingt für die Aussagekraft, die vornehmlich von der Datengrundlage und den in der Arbeit verwendeten Methoden abhängt.

In der bereits seit vielen Jahren laufenden Diskussion um die Internalisierung externer Kosten im Güterverkehr könnte die Arbeit von weiteren Fortschritten in der Definition und Umsetzung von Maßnahmen profitieren. Durch eine Spezifizierung der Internalisierungsmaßnahmen wäre eine Eingrenzung der zu erwartenden Auswirkungen möglich, was wiederum die Anwendbarkeit der Arbeit in der politischen Diskussion verbessern würde.

In den vorgehenden Kapiteln genannte Verbesserungen der Methodik vorausgesetzt, besteht mit dieser Arbeit zudem eine Möglichkeit zur experimentellen Abschätzung einer optimalen Gebührenhöhe. Voraussetzung wäre die politische Entscheidung für ein grundlegendes Gebührenmodell und eine einheitliche Zielstellung.

## 7.5 Gefahren

Gefahren drohen der Aussagekraft der Arbeit vor allem durch Änderungen der Datengrundlage oder durch politische Entscheidungen, die die Rahmenbedingungen der Studie stark verändern. Zu nennen wären hierzu:

- Eine unerwartet starke Veränderung der Höhe und des Verhältnisses der externen Kosten unter den Verkehrsträgern durch Innovationen oder verkehrspolitische Handlungen
- Gewinnung neuer Erkenntnisse zur tatsächlichen Höhe der externen Kosten des Güterverkehrs entgegen der Ergebnisse der bisher bekannten Studien
- Veränderung der infrastrukturellen Rahmenbedingungen durch Ausbau oder Rückbau von Verkehrsanlagen

Aus politischer Sicht kommen sowohl Ausbauprogramme für siedlungsferne Verkehrsinfrastruktur infrage als auch Verkehrsverbote zu bestimmten Zeiten, in bestimmten Gebieten oder für bestimmte Antriebsformen, um die Auswirkungen externer Effekte zu vermindern. Diese Effekte wurden angesichts der schwierigen Voraussage ihrer Auswirkungen in dieser Arbeit nicht betrachtet. Noch gravierender könnten sich verkehrspolitische Entscheidungen auswirken, die dem Ziel einer Reduzierung der externen Kosten entgegenstehen (z.B. ein Ausbau innerstädtischer Straßen) und die Ergebnisse dieser Studie konterkarieren.

## 8 Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit dieser Arbeit liegt eine umfassende Betrachtung der möglichen Auswirkungen einer Internalisierung externer Kosten im Güterverkehr in Deutschland vor. Sie bietet sowohl einen Beitrag zur Diskussion über die Kostendeckung des Verkehrs als auch eine wirtschaftstheoretische Plausibilitätsüberprüfung der von der EU angestrebten Kostenwahrheit im Verkehr. Empfehlungen wurden aus identifizierten Chancen und Risiken einer Internalisierung abgeleitet, die wiederum durch Zahlenwerte aus der Abschätzung von Marktreaktionen untermauert sind. Im Anschluss wurden Stärken und Schwächen der Vorgehensweise aufgezeigt, um zu einer Einschätzung der Aussagekraft der gefundenen Ergebnisse zu gelangen und Verbesserungsvorschläge für folgende Studien zu formulieren.

Im Folgenden sollen die wichtigsten Ergebnisse der Arbeit kurz dargestellt werden. Danach wird abschließend ein Ausblick auf den weiteren Forschungsbedarf gegeben.

- Der Güterverkehr in Deutschland deckt seine gesellschaftlichen Kosten nicht. Die Allgemeinheit trägt einen Betrag von 26,3 Mrd. EUR pro Jahr, der ungleichmäßig unter den Verkehrsträgern aufgeteilt wird und so zu einer Wettbewerbsverzerrung führt.
- Die vorhandenen Instrumente zur Steuerung der Kostenbilanz des Güterverkehrs sind in ihrer Systematik nicht dazu geeignet, die Internalisierung von externen Kosten mit einer zielgerichteten Anreizsetzung zu verbinden.
- Für eine erfolgreiche Internalisierung ist eine getrennte Berücksichtigung der einzelnen Ursachen externer Kosten notwendig, um kostensenkendes Handeln an der richtigen Stelle zu belohnen. Eine erfolgreiche Internalisierung kann daher nicht mit einer einzelnen Maßnahme durchgeführt werden, sondern erfordert immer eine Kombination mehrerer Internalisierungsinstrumente.
- Eine Abschätzung der Auswirkungen von Internalisierungsmaßnahmen auf den Verkehrsmarkt ist möglich, ist aber mit vielen Unsicherheiten behaftet. In dieser Arbeit wurde ein Modell konstruiert, das eine quantitative Einschätzung der Marktreaktionen erlaubt.
- Eine vollständige Kosteninternalisierung im Güterverkehr in Deutschland führt zu einem Rückgang der gesellschaftlichen Kosten um 4,1 Mrd. EUR pro Jahr. Sie werden außerdem komplett von den Verkehrsteilnehmern beglichen. Es entsteht eine Verkehrsverlagerung zu einem Modal Split von:

Straßengüterverkehr:	66,9 %
Schienengüterverkehr:	22,4 %
Binnenschifffahrt:	10,7 %

bei einem Rückgang der Gesamtverkehrsleistung entsprechend einer gerechten Ressourcenverteilung um 11,1 %.

- Die Marktreaktionen auf eine vollständige Internalisierung würden im Falle einer plötzlichen Umsetzung zu starken wirtschaftlichen Verwerfungen führen. Es ist daher eine stufenweise Einführung über mehrere Jahre zu prüfen.
- Eine kostenneutrale Internalisierung, wie sie in dieser Arbeit als Einstiegspunkt für eine stufenweise Internalisierung vorgeschlagen wird, sorgt im Rahmen der Rechengenauigkeit ohne zusätzliche Kosten für eine Reduktion der gesellschaftlichen Kosten um 1,3 Mrd. EUR pro Jahr. Es entsteht eine Verkehrsverlagerung zu einem Modal Split von:

Straßengüterverkehr:	70,0 %
Schienengüterverkehr:	20,5 %
Binnenschifffahrt:	9,5 %

bei einer Steigerung der Gesamtverkehrsleistung um 0,4 %.

- Die Einführung der kostenneutralen Internalisierung ist ohne Gefahr großer wirtschaftlicher Probleme realisierbar. Eine bis 2030 gestreckte Umsetzung der vollständigen Internalisierung würde Dank der allgemeinen Steigerung des Verkehrsaufkommens nicht zu Rückgängen der Verkehrsleistung einzelner Verkehrsträger führen und ist daher als möglich anzusehen.
- Risiken für die verladende Wirtschaft und die Volkswirtschaft in Deutschland können durch ein europaweit abgestimmtes Vorgehen minimiert werden.
- Externe Kosten lassen sich begleitend zu einer Internalisierung durch gezieltes politisches Handeln weiter senken. Hier sind sowohl raumplanerische Instrumente zur Senkung der durchschnittlichen Transportentfernung als auch Maßnahmen der Verkehrserziehung oder eine weitere Förderung des Schienenverkehrs zu nennen.
- Das in einer Maßnahme untersuchte *zentralisierte KV-System* spiegelt die Möglichkeiten eines verbesserten Schienennetzes wider. Es erreicht als Einzelmaßnahme eine Verlagerung von 12,6 % des Straßenverkehrs auf die Schiene bzw. eine Steigerung der Verkehrsleistung auf der Schiene um 55,1 %.

- Die begleitende Forschung kann im Umfeld einer langfristigen Verkehrsstrategie fokussierter arbeiten und eine weitere Verringerung externer Effekte mit der Entwicklung neuer Technologien unterstützen.

Angesichts der in Kapitel 7.2 genannten Schwächen dieser Arbeit ist eine weitere Untersuchung der Auswirkungen von Internalisierungsmaßnahmen dringend geboten. Es wurden methodische Verbesserungsansätze benannt, die eine detailliertere Analyse erlauben, den Umfang einer Diplomarbeit aber übersteigen. Zu nennen sind unter anderem:

- Genauere Datenerhebung in den Bereichen Preiselastizitäten, Transportkosten, Eigenschaften der Verkehrsmittel und Anforderungen der Transportgüter. Mangels detaillierter Literaturwerte sind hierfür eigene Marktbeobachtungen durchzuführen.
- Nutzung kontinuierlicher Funktionen anstelle von Entfernungsschritten, der drei Gewichtskategorien sowie der durchschnittlichen Beladung der Fahrzeuge
- Angesichts der guten Erfolgsaussichten der Maßnahme *zentralisiertes KV-System* ist die technische und finanzielle Machbarkeit eines verbesserten Kombinierten Verkehrs auf der Schiene zu untersuchen.
- Es fehlen bisher Untersuchungen zur Bestimmung einer minimalen Verkehrsintensität, also der minimalen, zur Erzeugung einer Wirtschaftsleistung nötigen Verkehrsleistung. Eine solche Studie würde weitere Auskünfte über das vorhandene Optimierungspotenzial geben und der Verkehrspolitik neue Ansätze eröffnen.

Die vorliegende Arbeit bietet somit umfangreiche Ausgangspunkte ebenso wie eine gesamtgesellschaftliche Motivation für die weitere verkehrswissenschaftliche Forschung.

Das Ziel einer vollkommenen Kostenwahrheit im Verkehr ist plausibel und daher mit Nachdruck politisch zu verfolgen, um eine gerechte Ressourcenaufteilung zwischen allen Einwohnern Deutschlands zu ermöglichen und Lasten nicht weiter auf kommende Generationen abzuwälzen.

---

## Abkürzungsverzeichnis

$\eta_{\text{Kosten,Mobilität}}$	Mobilitätskosteneffizienz
$\eta_{\text{Kosten,Verkehr}}$	Kosteneffizienz des Verkehrs
$\eta_P$	Preiselastizität
$\xi_{\text{Verkehr}}$	Verkehrsintensität
°C	Grad Celsius
a	Jahr
Abb.	Abbildung
AusglMechV	Ausgleichsmechanismusverordnung zur EEG-Umlage
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
CNG	Erdgas
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
ct	Euro-Cent, 100 ct = 1 EUR
DB AG	Deutsche Bahn Aktiengesellschaft
Destatis	Unternehmen des Statistischen Bundesamts
E	Eignung
EEG-Umlage	staatliche Abgabe im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes
EETS	Europäischer Elektronischer Mautdienst
et al.	lat. „und andere“, weitere Autoren
EU	Europäische Union
EU-17	Die 15 EU-Länder nach der vierten EU-Erweiterung 1995 + 2 weitere
EU-27	EU-Mitgliedsstaaten 2006 bis 2013
EUR	Euro, Währung der EU, Symbol €
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
FERRMED	Verein zur Förderung eines europäischen Schienennetzes

f.	folgende Seite
ff.	folgende Seiten
f(PxE)	Funktion von Preis und Eignung
Fzgkm	Fahrzeugkilometer
GPS	Global Positioning System, Satellitennavigation
GWh	Gigawattstunde
HBS	Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen
HDV	<i>Heavy-duty vehicle</i> , Lastkraftwagen
K <sub>ext</sub>	externe Kosten
Kfz	Kraftfahrzeug
kg	Kilogramm
km	Kilometer
K <sub>sozial,Verkehr</sub>	soziale Kosten des Verkehrs
KV	Kombinierter Verkehr
kWh	Kilowattstunde
LDV	<i>Light-duty vehicle</i> , Lieferwagen bis 3,855 t Gesamtmasse
Lkw	Lastkraftwagen
LPG	Flüssiggas
Md	Median
Mio.	Million
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Mrd.	Milliarde
NST-10	Einteilung des NST 2007 in 10 Güterabteilungen
NST 2007	Einheitliches Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik
P	Preis
Pkw	Personenkraftwagen
PMK	Partikelminderungsklasse
P <sub>Verkehr</sub>	Verkehrsleistung

---

S.	Seite
SGV	Schienengüterverkehr
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
SPV	Schienenpersonenverkehr
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats</i> , Stärken und Schwächen
t	Tonne
TEN-T	Transeuropäische Netze – Transport
tkm	Tonnenkilometer
TPS	Trassenpreissystem der DB Netz AG
Trkm	Trassenkilometer
UBA	Umweltbundesamt
UIC	<i>Union internationale des chemins de fer</i> , Internationaler Eisenbahnverband
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
$\bar{x}$	Mittelwert aller x
z.B.	zum Beispiel
zGG	zulässiges Gesamtgewicht



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1:	Das Pareto-Optimum.....	6
Abb. 2.2:	Entwicklung der Höhe der EEG-Umlage von 2003 bis 2016 .....	20
Abb. 2.3:	Kosten durch Stromsteuer und EEG-Umlage für DB Energie.....	21
Abb. 2.4:	Vergleich der Kostenentwicklung im Straßen- und Schienengüterverkehr 2010 bis 2016 .....	26
Abb. 2.5:	Vergleich der Erhebungen zum Verkehrsträgeranteil an der Verkehrs- leistung im Güterverkehr in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2015.....	29
Abb. 3.1:	Prinzip der Pigou-Steuer .....	37
Abb. 4.1:	Veränderung der Preiselastizitäten nach der Transportentfernung .....	54
Abb. 4.2:	Verteilung der Transportmenge nach der Entfernung.....	59
Abb. 4.3:	Eignungskennzahlen.....	61
Abb. 4.4:	Degressiver Preisverlauf der Verkehrsträger Straße, Schiene und Binnenschifffahrt, ausgehend von einem Grundpreis für eine Entfernung von 200 km.....	63
Abb. 4.5:	Vergleich der Nachfragekurven bei linearer (in diesem Fall unelastischer) und isoelastischer Preiselastizität .....	66

Abbildungen, die keine Quellenangabe besitzen, wurden vom Autor persönlich erstellt.

---

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1:	Rahmenbedingungen der untersuchten Studien zu externen Kosten .....	7
Tabelle 2:	Vermeidungskosten je Tonne CO <sub>2</sub> nach unterschiedlichen Berechnungen, genannt in (van Essen, et al., 2011) .....	8
Tabelle 3:	Ausgangswerte (inflationsbereinigt auf 2014) der untersuchten Studien für durchschnittliche externe Kosten .....	9
Tabelle 4:	Kostenbilanzen der Verkehrsträger nach gesamtheitlicher Einnahmen/ Ausgaben-Rechnung .....	11
Tabelle 5:	Gesamte externe Kosten des Güterverkehrs in Deutschland .....	12
Tabelle 6:	Durchschnittliche externe Kosten des Güterverkehrs in Deutschland.....	12
Tabelle 7:	Durchschnittliche externe Kosten von Kleinlastern (LDV) in Deutschland.....	13
Tabelle 8:	Durchschnittliche externe Kosten von Lkw (HDV) in Deutschland .....	14
Tabelle 9:	Durchschnittliche externe Kosten des Schienengüterverkehrs in Deutschland.....	15
Tabelle 10:	Durchschnittliche externe Kosten der Güterbinnenschifffahrt in Deutschland.....	15
Tabelle 11:	Marginale externe Kosten am Tag nach (van Essen, et al., 2011 S. 101) in [EUR/1000 tkm] .....	16
Tabelle 12:	Mautsätze seit 01.01.2015 laut (Toll Collect GmbH, 2014).....	22
Tabelle 13:	Auszug möglicher Trassenpreise der DB Netz AG .....	25
Tabelle 14:	Modal Split laut (Statistisches Bundesamt, 2016b) .....	30
Tabelle 15:	Zusammenstellung möglicher Internalisierungsmaßnahmen.....	40
Tabelle 16:	Gewählte Kriterien zur Bewertung von Internalisierungsmaßnahmen.....	44
Tabelle 17:	Preiselastizitäten im Güterverkehr nach (Puwein, 2009 S. 787f.) .....	52
Tabelle 18:	Preiselastizitäten im Straßengüterverkehr nach (de Jong, et al., 2010 S. 26f.).....	53
Tabelle 19:	Beispielhafte Preiselastizitäten nach (Bühler, et al., 2009 S. 63ff.).....	53

---

Tabelle 20: Aufstellung der angenommenen Entfernungen für Vor- und Nachlauf.....	63
Tabelle 21: Ergebnisse der Extremwertbetrachtung .....	69
Tabelle 22: Vergleich der in (de Jong, et al., 2010) berechneten Marktreaktionen des Straßengüterverkehrs mit den Ergebnissen dieser Arbeit.....	70
Tabelle 23: Vergleich der in (den Boer, et al., 2011) berechneten Marktreaktionen des Straßen- und Schienengüterverkehrs mit den Ergebnissen dieser Arbeit .....	71
Tabelle 24: Entwicklung des Modal Split durch die Umsetzung von Internalisierungsmaßnahmen .....	74
Tabelle 25: Entwicklung der externen Kosten durch die Umsetzung von Internalisierungsmaßnahmen .....	75
Tabelle 26: Marktreaktionen der verschiedenen Transportgüter durch die Umsetzung von Internalisierungsmaßnahmen .....	76
Tabelle 27: Resultierende Verkehrsentwicklung bis 2030 laut (Intraplan Consult GmbH, 2014 S. 10) und den Ergebnissen dieser Arbeit. ....	79

Tabellen, die keine Quellenangabe besitzen, wurden vom Autor persönlich erstellt.

---

## Literaturverzeichnis

**Becker, U., Gerike, R. und Völlings, A. 1999.** Gesellschaftliche Ziele von und für Verkehr. *Schriftenreihe des Instituts für Verkehr und Umwelt e.V. (DIVU), Dresden.* 1999, Heft 1.

**Becker, Udo, Becker, Thilo und Gerlach, Julia. 2012.** *Externe Autokosten in der EU-27 - Überblick über existierende Studien.* Brüssel : Die Grünen/EFA im Europäischen Parlament, 2012.

**Benkenstein, Martin. 2001.** *Entscheidungsorientiertes Marketing: Eine Einführung.* Wiesbaden : Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, 2001. ISBN-13: 978-3-409-12262-7.

**Berschin, Felix. 2015.** Das Trassenpreissystem 2017 – Eine Chance für mehr Bahn. *Bahn-Report.* 2015, 02/2015.

**Bradel, Alexander. 1995.** *Industriebetrieb und Verkehrsproblematik: Eindustrielle Maßnahmen zur Verringerung, Verlagerung und Verbesserung des Güter- und Personenverkehrs.* Würzburg : Deutscher Universitäts-Verlag, 1995. ISBN 978-3-8244-6223-0.

**Bühler, Georg und Jochem, Patrick. 2008.** CO2 Emission Reduction on Freight Transports - How to Stimulate Environmental Friendly Behaviour? [Online] 2008. [Zitat vom: 14. Oktober 2016.] <ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp08066.pdf>.

**Bühler, Georg, et al. 2009.** *Wettbewerb und Umweltregulierung im Verkehr.* Mannheim : ZEW GmbH, 2009.

**Bundesministerium der Finanzen. 2016a.** 2015-Soll-Einnahmen/Ausgaben. *Bundshaushalt-Info.de.* [Online] 2016a. [Zitat vom: 22. 09 2016.] <https://www.bundshaushalt-info.de/#/2015/soll/ausgaben/einzelplan/12.html>.

—. **2016b.** Kfz-Steuerrechner. [Online] 2016b. [Zitat vom: 21. 06 2016.] [http://www.bundesfinanzministerium.de/Web/DE/Service/Apps\\_Rechner/KfzRechner/KfzRechner.html](http://www.bundesfinanzministerium.de/Web/DE/Service/Apps_Rechner/KfzRechner/KfzRechner.html).

**Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. 2015a.** Bundshaushaltsordnung. *Gesetze im Internet.* [Online] 03. Dezember 2015a. [Zitat vom: 27. September 2016.] <https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bho/gesamt.pdf>.

—. **2006.** Energiesteuergesetz. *Gesetze im Internet.* [Online] 2006. [Zitat vom: 21. 06 2016.] <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/energiestg/gesamt.pdf>.

—. **2015b.** Stromsteuergesetz (StromStG). *Gesetze im Internet*. [Online] 3. Dezember 2015b. [Zitat vom: 30. September 2016.] <https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/stromstg/gesamt.pdf>. BGBl. I S. 378; 2000 I S. 147).

**Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. 2009.** Die Lkw-Maut. [Online] 01. 04 2009. [Zitat vom: 12. Oktober 2016.] <http://www.bmub.bund.de/themen/luft-laerm-verkehr/verkehr/gueterverkehr/lkw-maut/>.

**Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. 2016.** Galileo-Satellitenstarts und Zeitplan. *Satellitennavigation*. [Online] 2016. [Zitat vom: 27. September 2016.] <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/galileo-das-europaeische-satellitennavigationssystem.html?nn=134138#doc27202bodyText6>.

—. **2015a.** Verkehr in Zahlen 2015/2016. [Online] September 2015a. [Zitat vom: 16. Juni 2016.] [http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehr-in-zahlen-pdf-2015-2016.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehr-in-zahlen-pdf-2015-2016.pdf?__blob=publicationFile). ISBN 978-3-87154-493-4.

—. **2015b.** Verkehr und Mobilität in Deutschland. [Online] 2015b. [Zitat vom: 15. Juni 2016.] [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/K/verkehr-mobilitaet-daten-fakten-2015.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/K/verkehr-mobilitaet-daten-fakten-2015.pdf?__blob=publicationFile).

**Bundesnetzagentur. 2014.** *Marktuntersuchung Eisenbahnen 2014*. Bonn : Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 2014.

**Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung e.V. 2016.** Kostenentwicklung im Güterkraftverkehr. *Informationen*. [Online] August 2016. [Zitat vom: 30. August 2016.] [http://www.bgl-ev.de/web/der\\_bgl/informationen/branchenkostenentwicklung.htm](http://www.bgl-ev.de/web/der_bgl/informationen/branchenkostenentwicklung.htm).

**Centrum für Europäische Politik. 2008.** *EU-Mitteilung Internalisierung externer Kosten im Verkehrssektor*. Freiburg : cep, 2008. Zu Mitteilung KOM(2008) 435 vom 8. Juli 2008.

**DB Energie GmbH. 2014.** Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Schienenverkehr weiter reduziert. *Deutsche Bahn - Ökologie*. [Online] Deutsche Bahn AG, 27. März 2014. [Zitat vom: 1. September 2015.] [http://www1.deutschebahn.com/gb2013-de/klb\\_2013/oeko/Emissionsred/verbrauch.html](http://www1.deutschebahn.com/gb2013-de/klb_2013/oeko/Emissionsred/verbrauch.html).

**DB Netz AG. 2015a.** *Das Trassenpreissystem 2016 der DB Netz AG*. Frankfurt am Main : DB Netz AG Preise und Produkte, 2015a.

—. **2015b.** Geschäftsbericht 2014. [Online] 2015b. [Zitat vom: 22. September 2016.] [https://fahrweg.dbnetze.com/file/fahrweg-de/9150310/UK1\\_3PO9iDFZx-IEt0dRG9zb0no/2735096/data/geschaeftsbericht\\_2014\\_dbnetz.pdf](https://fahrweg.dbnetze.com/file/fahrweg-de/9150310/UK1_3PO9iDFZx-IEt0dRG9zb0no/2735096/data/geschaeftsbericht_2014_dbnetz.pdf).

- DB Schenker Rail AG. 2013.** Preise und Konditionen. *Allgemeine Bestimmungen für Gütertransportleistungen mit Allgemeiner Preisliste*. [Online] 01. Januar 2013. [Zitat vom: 02. Mai 2016.] [https://www.db-intermodal.com/file/intermodal-de/2299058/vPLI-MhNonyFOd00aBNZq1aCVOg/3055178/data/dbschenkerrail\\_preise\\_konditionen\\_2013.pdf](https://www.db-intermodal.com/file/intermodal-de/2299058/vPLI-MhNonyFOd00aBNZq1aCVOg/3055178/data/dbschenkerrail_preise_konditionen_2013.pdf).
- de Jong, Gerard, et al. 2010.** *Price sensitivity of European road freight transport*. Delft : Significance, CE Delft, 2010. Report 9012-1.
- den Boer, Eelco, et al. 2011.** *Potential of modal shift to rail transport*. Delft : CE Delft, 2011. Pub.-Nr.: 11.4255.15.
- Der Rat der Europäischen Union. 2003.** *Energiesteuerrichtlinie*. 2003. Richtlinie 2003/96/EG des Rates.
- Deutsche Bahn AG. 2016a.** Erneuerbare Energien. *Strategie und Nachhaltigkeit*. [Online] 2016a. [Zitat vom: 15. September 2016.] [http://www.deutschebahn.com/de/nachhaltigkeit/oekologie/klimaschutz\\_neu/11873952/erneuerbare\\_energien.html](http://www.deutschebahn.com/de/nachhaltigkeit/oekologie/klimaschutz_neu/11873952/erneuerbare_energien.html).
- , **2016b.** Flüsterbremsen machen Züge leiser. *Fahrzeuge*. [Online] 30. Mai 2016b. [Zitat vom: 17. Oktober 2016.] [http://www1.deutschebahn.com/laerm/laermreduktion\\_am\\_fahrzeug/fluesterbremsen.html](http://www1.deutschebahn.com/laerm/laermreduktion_am_fahrzeug/fluesterbremsen.html).
- EU. 2001.** Richtlinie 2001/14/EG Entgelte für Eisenbahninfrastruktur. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften*. [Online] 26. Februar 2001. [Zitat vom: 21. Juni 2016.] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001L0014&from=DE>.
- , **2004.** Richtlinie 2004/52/EG Interoperabilität elektronischer Mautsysteme. *Amtsblatt der Europäischen Union*. [Online] 29. April 2004. [Zitat vom: 12. Oktober 2016.] [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004L0052R\(01\)&from=DE](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004L0052R(01)&from=DE).
- , **2006.** Richtlinie 2006/38/EG Wegekostenrichtlinie. *Amtsblatt der Europäischen Union*. [Online] 17. Mai 2006. [Zitat vom: 12. Oktober 2016.] [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2006.157.01.0008.01.DEU](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=uriserv:OJ.L_.2006.157.01.0008.01.DEU).
- EU-Kommission. 2011.** *Weißbuch. Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum - Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem*. Brüssel : Europäische Kommission, 2011. KOM(2011) 144.
- Flamm, Leander. 2013.** *Projektarbeit Verkehrsökologie II - Wie hoch waren die externen Kosten des Güterverkehrs in der EU-27 im Jahr 2008 und was schlagen Sie zur Reduktion vor?* Dresden : TU Dresden, Institut für Verkehrsplanung und Straßenbau, Lehrstuhl für Verkehrsökologie, 2013.

**Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft. 2006.** Die Ökosteuer. *Ökologische Steuerreform*. [Online] 2006. [Zitat vom: 2. September 2016.] <http://www.foes.de/themen/oekologische-steuerreform-1999-2003/>.

**Fraunhofer ISI. 2011.** Studie zu Auswirkungen von GIGaliniern auf den Kombinierten Verkehr und den Einzelwagen-Schienengüterverkehr. [Online] 5. Oktober 2011. [Zitat vom: 02. September 2016.] [http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/n/de/publikationen/Megatrucks\\_Kurzfassung.pdf](http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/n/de/publikationen/Megatrucks_Kurzfassung.pdf).

**Gerike, Regine. 2015.** Einführung in die Straßenverkehrstechnik. *Verkehrsplanung*. [Online] 2015. [Zitat vom: 29. September 2016.] [https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/ressourcen/dateien/vip/lehre/ws/Verkehrspl\\_ws1516/BIW2\\_07\\_SVT.pdf?lang=de](https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/ressourcen/dateien/vip/lehre/ws/Verkehrspl_ws1516/BIW2_07_SVT.pdf?lang=de).

**Hagenlocher, Stefan und Wittenbrink, Paul. 2015.** Analyse staatlich induzierter Kostensteigerungen im Schienengüterverkehr am Beispiel von ausgewählten Relationen. *Interessensgemeinschaft der Bahnspediteure (IBS) e.V. und UIRR*. [Online] 17. April 2015. [Zitat vom: 10. Mai 2016.] [http://www.aprixon.de/wp-content/uploads/2015/08/IBS\\_Studie\\_Zum\\_G%C3%BCterverkehr.pdf](http://www.aprixon.de/wp-content/uploads/2015/08/IBS_Studie_Zum_G%C3%BCterverkehr.pdf).

**Heinrici, Timon. 2013.** Bahnen bangen um Stromrabatt. *DVZ Landverkehr*. [Online] 11. November 2013. [Zitat vom: 1. September 2016.] <http://www.dvz.de/rubriken/landverkehr/single-view/nachricht/bahnen-bangen-um-stromrabatt.html>.

**Hirte, Georg. 2008.** *Abgaben als Instrumente zur Kostenanlastung von externen Kosten und Wegekosten im Straßenverkehr*. Dresden : Allianz pro Schiene, 2008.

**Hofstra University.** Modal Share of Freight Transportation, Selected Countries, 2008. *The Geography of Transport Systems*. [Online] Dept. of Global Studies & Geography, New York. [Zitat vom: 14. Oktober 2016.] <https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch3en/conc3en/modalspliteusjapan.html>.

**Hoppe, Harald. 2004.** *Aktualisierung der Studie von INFAS und IWW aus dem Jahr 2000 – Fassung Oktober 2004 - Zusammenfassung*. Arbeitskreis Verkehr BUND Hessen : Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, 2004.

**Institut für Logistik und Materialflusstechnik, Universität Magdeburg. 2011.** *Logistics Emissions Trading System for Green Optimization*. Magdeburg : Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2011. IGF-Vorhaben-Nr. 16506 BR/1.

**Intraplan Consult GmbH. 2014.** *Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Los 3: Erstellung der Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen unter Berücksichtigung des*

- 
- Luftverkehrs*. München : BVU Beratergruppe Verkehr+Umwelt GmbH, 2014. FE-Nr.: 96.0981/2011.
- Jordans, M., et al. 2006.** *Het basispotentieel voor binnenvaart, spoor en kustvaart - een verkenning gezien door een logistieke bril*. Den Haag : TNO Mobiliteit en Logistiek, 2006. TNO 2006-D-R0839.
- Jung, Michael. 2013.** Kennzahlen schaffen Überblick. *LOG.Kompass*. [Online] August 2013. [Zitat vom: 06. Oktober 2016.] [http://www.roi.de/fileadmin/Presse/pdfs\\_ab\\_2014/Logistik-Kennzahlen\\_LOGkompass\\_2013\\_ROI.pdf](http://www.roi.de/fileadmin/Presse/pdfs_ab_2014/Logistik-Kennzahlen_LOGkompass_2013_ROI.pdf).
- kcw GmbH. 2010.** Schienennetz 2025/2030 - Ausbaukonzeption für einen leistungsfähigen Schienengüterverkehr in Deutschland. [Online] August 2010. [Zitat vom: 16. Oktober 2016.] <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4005.pdf>. ISSN 1862-4804.
- Kirfel, Alexander. 2012.** *Zur Wettbewerbssituation des Schienengüterverkehrsmarktes in Deutschland*. Berlin : Netzwerk Europäischer Eisenbahnen e.V., 2012.
- Knapp, Frank. 1998.** *Determinanten der Verkehrsmittelwahl*. Berlin : Duncker und Humblot, 1998. ISBN 3-428-09304-6.
- Kuik, O., Brander, L. und Tol, R.S.J. 2009.** Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions : A meta-analysis. *Energy Policy*. 2009, Bd. 37, 4.
- LMU München. 2006.** Pareto-Optimum. *wikiludia*. [Online] 25. Mai 2006. [Zitat vom: 27. September 2016.] <http://wikiludia.mathematik.uni-muenchen.de/wiki/index.php?title=Pareto-Optimum>.
- Maibach, M., et al. 2008.** *Handbook on estimation of external costs in the transport sector*. Delft : CE Delft, 2008. Publication number: 07.4288.52.
- Minirex AG. 2016.** Mit dem Güterzug direkt nach Paris. *Eisenbahn-Revue International*. 2016, 07, S. 358.
- Peters, Karsten. 2008.** Skript zur Vorlesung Verkehrslogistik. [Online] 7. Februar 2008. [Zitat vom: 02. Mai 2016.] <https://tu-dresden.de/Members/karsten.peters/Verkehrslogistik.pdf>.
- Pindyck, Robert und Rubinfeld, Daniel. 2009.** *Mikroökonomie*. München : Pearson Education Deutschland GmbH, 2009. ISBN 978-3-8273-7282-6.
- PLANCO Consulting GmbH, Essen. 2007.** Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Bahn und Wasserstraße. [Online] November 2007. [Zitat



vom: 02. Mai 2016.] <http://www.wsd->

[ost.wsv.de/service/Downloads/Verkehrstraegervergleich\\_Kurzfassung.pdf](http://www.wsd-ost.wsv.de/service/Downloads/Verkehrstraegervergleich_Kurzfassung.pdf).

**Pratelli, A. und Brebbia, C.A. 2010.** *Urban Transport XVI: Urban Transport and the Environment in the 21st Century*. Pisa : University of Pisa, 2010. ISBN: 978-1-84564-456-7 .

**Puls, Thomas. 2008.** Externe Kosten – Wahrheit und Legende. *Heinrich Böll Stiftung - Ökologie*. [Online] 08. September 2008. [Zitat vom: 23. September 2016.] <https://www.boell.de/de/navigation/oekologische-marktwirtschaft-4787.html>.

**Puwein, Wilfried. 2009.** Preise und Preiselastizitäten im Verkehr. [Online] 06. Oktober 2009. [Zitat vom: 17. Juni 2016.] [http://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person\\_dokument/person\\_dokument.jart?publikationsid=37126&mime\\_type=application/pdf](http://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person_dokument/person_dokument.jart?publikationsid=37126&mime_type=application/pdf).

**Rail Cargo Operator - Austria GmbH. 2015.** Fahrpläne und Preise. *The ROLA Experts*. [Online] 13. Dezember 2015. [Zitat vom: 02. September 2016.] <https://www.rola.at/>.

**RAIPIN AG. 2016.** Timetables and prices. *The Rolling Highway*. [Online] 2016. [Zitat vom: 02. September 2016.] <http://www.ralpin.com/solutions/timetablesandprices/>.

**Ricardo AEA. 2014.** *Update of the Handbook on External Costs of Transport*. London : Report for the European Commission, 2014. MOVE/D3/2011/571.

**Schieritz, Mark. 2016.** Nie wieder Billigsprit. *DIE ZEIT, Zeitverlag Gerd Bucerius GmbH & Co. KG, Hamburg*. Wirtschaft, 2016, N° 36.

**Schreyer, Christoph, et al. 2004.** External Costs of Transport - Update Study. *Biblioteca CF+S*. [Online] Oktober 2004. [Zitat vom: 30. August 2016.] <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n28/ncost.en.pdf>. ISBN 2-7461-0891-7.

**Schreyer, Christoph, et al. 2007.** *Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland - Aufdatierung 2005*. Zürich : INFRAS, 2007. Kontakt: [info@allianz-pro-schiene.de](mailto:info@allianz-pro-schiene.de).

**Statista GmbH. 2016a.** Anteil der Logistikkosten an den Gesamtkosten in Industrie und Handel von 1990 bis 2008. *statista.com*. [Online] 2016a. [Zitat vom: 06. Oktober 2016.] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/6346/umfrage/anteil-der-logistikkosten-an-den-gesamtkosten/>.

—. **2016c.** Europäische Union: Urbanisierungsgrad in den Mitgliedsstaaten im Jahr 2014. *statista.com*. [Online] 2016c. [Zitat vom: 30. Juli 2016.] <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/249029/umfrage/urbanisierung-in-den-eu-laendern/>.

- 
- . **2015.** Mautsysteme - Statista-Dossier. [Online] 2015. [Zitat vom: 10. Mai 2016.]  
<http://de.statista.com/statistik/studie/id/22699/dokument/mautsysteme-statista-dossier/>.
- Statistisches Bundesamt. 2016a.** Beförderungsleistung im Inland nach Verkehrsträgern und Güterabteilungen 2014 (NST-2007). *destatis.de*. [Online] 2016a. [Zitat vom: 02. Mai 2016.]  
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Gueterverkehr/Tabellen/VerkehrstraegerGueterabteilungB.html>.
- . **2016b.** Beförderungsleistung in Millionen Tonnenkilometer. *destatis.de*. [Online] 2016b. [Zitat vom: 8. Oktober 2016.]  
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Gueterverkehr/Tabellen/GueterbefoerderungLR.html>.
- . **2008.** Einheitliches Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik - 2007. [Online] 31. August 2008. [Zitat vom: 02. Mai 2016.]  
[https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Gueterverkehr/Tabellen/NST2007.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Gueterverkehr/Tabellen/NST2007.pdf?__blob=publicationFile).
- . **2016c.** Güterbeförderung. *destatis.de*. [Online] 2016c. [Zitat vom: 02. Mai 2016.]  
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Gueterverkehr/Tabellen/VerkehrstraegerGueterabteilungB.html>.
- . **2016d.** Inlandsproduktsberechnung. *destatis.de*. [Online] 24. August 2016d. [Zitat vom: 27. September 2016.]  
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/VGR/Inlandsprodukt/Tabellen/Gesamtwirtschaft.html>.
- . **2015a.** *Statistisches Jahrbuch 2015*. Wiesbaden : Statistisches Bundesamt, 2015a. 978-3-8246-1037-2.
- . **2016e.** Verbraucherpreise. *destatis.de*. [Online] 2016e. [Zitat vom: 27. September 2016.]  
[https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Preise/Verbraucherpreisindizes/Tabellen\\_/VerbraucherpreiseKategorien.html?cms\\_gtp=145112\\_list%253D2%2526145120\\_list%253D2%2526145110\\_slot%253D2%2526145116\\_list%253D2&https=1](https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Preise/Verbraucherpreisindizes/Tabellen_/VerbraucherpreiseKategorien.html?cms_gtp=145112_list%253D2%2526145120_list%253D2%2526145110_slot%253D2%2526145116_list%253D2&https=1).
- . **2016f.** Verkehr aktuell - Fachserie 8 Reihe 1.1. *destatis.de*. [Online] 27. Mai 2016f. [Zitat vom: 15. Juni 2016.]  
[https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Querschnitt/VerkehrAktuellPDF\\_2080110.pdf](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Querschnitt/VerkehrAktuellPDF_2080110.pdf).
- . **2013.** *Verkehr auf einen Blick*. Wiesbaden : s.n., 2013. Bestellnummer: 0080006-13900-1.
- . **2015b.** *Verkehr im Überblick 2014*. Wiesbaden : s.n., 2015b. Artikelnummer: 2080120147004.
-

**tenders electronic daily. 2015.** Lieferungen: Deutschland-Karlsruhe: Stromversorgung. *Supplement zum Amtsblatt der Europäischen Union*. [Online] 05. Mai 2015. [Zitat vom: 30. September 2016.] <http://ted.europa.eu/udl?uri=TED:NOTICE:156412-2015:TEXT:DE:HTML.2015/S.086-156412>.

**Theis, Mario. 2015.** Weiterentwicklung Trassenpreissystem im neuen Rechtsrahmen. [Online] 12. Juni 2015. [Zitat vom: 22. Juni 2016.] [http://www.verkehrskonferenz.de/fileadmin/archiv/konferenz\\_2015/Papers/Theis\\_Trassenpreissystem\\_im\\_neuen\\_Rechtsrahmen.pdf](http://www.verkehrskonferenz.de/fileadmin/archiv/konferenz_2015/Papers/Theis_Trassenpreissystem_im_neuen_Rechtsrahmen.pdf).

**Tiedtke, Benjamin. 2013.** *Externe Kosten des Verkehrs und soziale Gerechtigkeit*. Berlin : Technische Universität Berlin, 2013.

**Toll Collect GmbH. 2016.** Mauttarife. *Rund um Ihre Maut*. [Online] 2016. [Zitat vom: 12. Oktober 2016.] [https://www.toll-collect.de/de/toll\\_collect/rund\\_um\\_die\\_maut/maut\\_tarife/maut\\_tarife\\_2015.html](https://www.toll-collect.de/de/toll_collect/rund_um_die_maut/maut_tarife/maut_tarife_2015.html).

—. **2014.** Neue Tarife zum 1. Januar 2015. *Unternehmen*. [Online] 10. 11 2014. [Zitat vom: 12. Oktober 2016.] [https://www.toll-collect.de/de/toll\\_collect/unternehmen/meldungen/detailsseite\\_news\\_3520.html](https://www.toll-collect.de/de/toll_collect/unternehmen/meldungen/detailsseite_news_3520.html).

**Transport & Environment. 2010.** Über die Auswirkungen der Einführung der LKW-Maut in Europa. *transportenvironment.org*. [Online] Juli 2010. [Zitat vom: 22. Juni 2016.] [https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/media/2010\\_07\\_Briefing\\_Deutsch\\_Effects\\_of\\_lorry\\_charging.pdf](https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/media/2010_07_Briefing_Deutsch_Effects_of_lorry_charging.pdf).

**Umweltbundesamt. 2012.** *Daten zum Verkehr*. Dessau : s.n., 2012. <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/3880.html>.

—. **2015.** Modal Split des Personen- und Güterverkehrs. *umweltbundesamt.de*. [Online] 05. Oktober 2015. [Zitat vom: 27. August 2016.] <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/modal-split-des-personen-gueterverkehrs>.

**van Essen, H.P., et al. 2008.** Internalisation measures and policy for the external cost of transport. *IMPACT*. [Online] Juni 2008. [Zitat vom: 08. August 2016.] [http://www.cedelft.eu/publicatie/deliverables\\_of\\_impact\\_\(internalisation\\_measures\\_and\\_policies\\_for\\_all\\_external\\_cost\\_of\\_transport\)/702](http://www.cedelft.eu/publicatie/deliverables_of_impact_(internalisation_measures_and_policies_for_all_external_cost_of_transport)/702).

**van Essen, Huib, et al. 2011.** *External Costs of Transport in Europe*. Delft : CE Delft, Infrac, Fraunhofer ISI, 2011. Pub.-Nr.: 11.4215.50.

**Vastag, Prof. Dr. Alex. 2006.** *Straße, Schiene, Wasser: ein Dreierpack mit Zukunft?* [Präsentation] EuroCargo 2006, Köln : Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik, 2006.

---

**Wasser- und Schifffahrtsdirektion West. 2001.** Tarife für die Schifffahrtsabgaben auf den norddeutschen Wasserstraßen im Binnenbereich. Bonn : Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, 2001. LS 25/28.03.10-21.

**Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. 2012.** System der Klassifizierung der europäischen Binnenwasserstraßen. [Online] 2012. [Zitat vom: 09. Oktober 2016.] <https://www.elwis.de/Binnenwasserstrassen/Klassifizierung/System-Klassifizierung.pdf>.

**Weltbank. 2016.** Population, total. *worldbank.org*. [Online] The World Bank Group, 2016. [Zitat vom: 27. September 2016.] <http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=DE>.

**Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. 2009.** Internalisierung externer Kosten des Straßengüterverkehrs. *Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats vom Dezember 2009*. Berlin : s.n., 2009.

**Wittich, Holger. 2016.** Überhöhte NOx-Werte bei fast allen Herstellern. *auto-motor-und-sport.de*. [Online] Motor Presse Stuttgart GmbH & Co. KG, 22. April 2016. [Zitat vom: 17. Oktober 2016.] <http://www.auto-motor-und-sport.de/news/abgas-skandal-die-testergebnisse-des-kba-955715.html>.

**Zentralkommission für die Rheinschifffahrt. 2016.** Abgabenfreiheit der Schifffahrt. *Rechtsgrundlagen*. [Online] 2016. [Zitat vom: 22. 06 2016.] <http://www.ccr-zkr.org/11020100-de.html>.

## Anhang A: Bewertung von Preis und Eignung

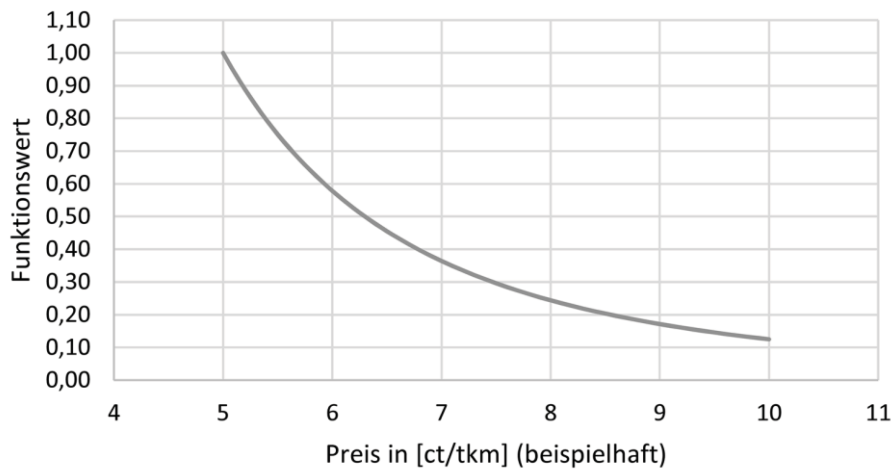


Abb. A1: Funktionswerte für die Bewertung des Preises. Beispielhaft gezeigt ist der Verlauf für einen minimalen Preis von 5 ct/tkm und einem maximalen von 10 ct/tkm.

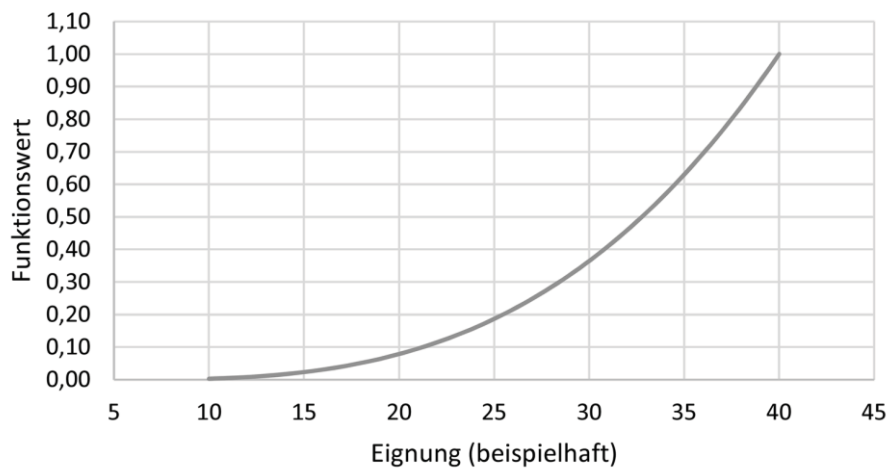


Abb. A2: Funktionswerte für die Bewertung der Eignung. Beispielhaft gezeigt ist der Verlauf für eine minimale Eignung von 10 Punkten und einer maximalen von 40 Punkten.



## Anhang B: Rechnung zur Kostenbilanz des Güterverkehrs

	Quelle	Straßenverkehr			
		Gesamt	HDV	LDV	Anrechenbar?
Einnahmen	Kfz-Steuer	8700,0	389,2	744,4	100%
	Mineralölsteuer	35600,0	1592,6	3046,0	100%
	Maut	4342,2	4342,2	0,0	100%
	Mehrwertsteuer		0,0	0,0	0%
	Parkgebühren	1600,0	71,6	136,9	0%
	Summe		6324,0	3790,4	
Ausgaben	Straßenbau (Ausbau)	-613,0	-75,3	-48,3	0%
	Sonstiges (Erhalt)	-2430,0	-298,7	-191,6	100%
	Straßenbau (Ausbau) (aus Maut)	-1091,0	-134,1	-86,0	0%
	Sonstiges (Erhalt) (aus Maut)	-3101,2	-381,2	-244,5	100%
	Bundesanstalt für Straßenwesen	-44,6	-2,0	-3,8	100%
	Kraftfahrt-Bundesamt	-87,1	-3,9	-6,9	100%
	Landesmittel	-3876,0	-476,4	-305,6	100%
	Verkehrspolizei	-1335,2	-59,7	-114,2	50%
	Kommunales Straßennetz	-7814,0	-960,4	-616,2	100%
	Sonstiges (laut Statistisches Jahrbuch S.259)	-703,1	-31,5	-60,2	100%
	Summe		-2183,9	-1485,9	
Externe Kosten (normalisiert)			-21000,4	-7437,3	100%
Kostenbilanz absolut			-16860,3	-5132,7	[Mio. EUR/a]
je Verkehrsleistung			-41,65	-89,03	[EUR/1000km]
Verkehrsleistung pro Jahr			404,8	57,7	[Mrd. tkm/a]
BLAU = Bund					
GRÜN = Länder					
ORANGE = Kommunen					
		Außerdem: Kosten für Parkplätze an Gebäuden			

Abb. B1: Kostenbilanz des Straßengüterverkehrs

	PV	HDV	LDV	
Anteil PV/GV: Mio. vkm 2008	617957	31787	60796	[Mio. Fzgkm]
Achlast	1 t	8 t	1,75 t	
Faktor (Schädigung =m^4)	1	4096	9	
Kostenanteil nach Fzgkm	<b>87,0%</b>	<b>4,5%</b>	<b>8,6%</b>	
vkm umgerechnet	309129	47600	30537	[Mio. Fzgkm]
Kostenanteil Straßenbaukosten	<b>79,8%</b>	<b>12,3%</b>	<b>7,9%</b>	Annahme: 2/3 masseabhängig

Abb. B2: Kostenanteile des Straßengüterverkehrs für Straßenbau und sonstige Ausgaben (Kostenanteil nach Fzgkm)

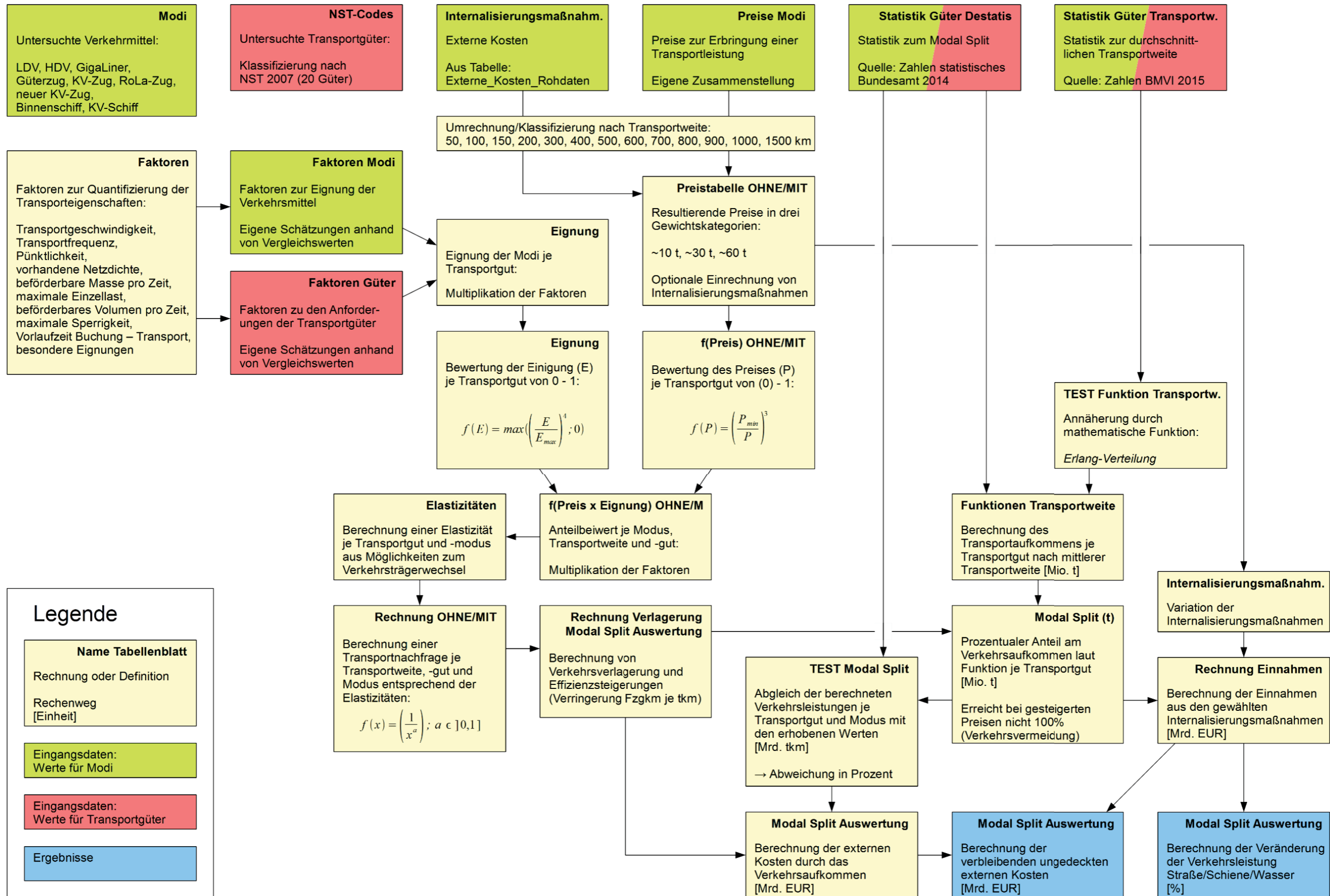




# Anhang C: Übersicht zur Bewertung der Internalisierungsmaßnahmen

Externer Effekt	Instrument	Maßnahme	Wichtigkeit	Bewertung:								Auswirkungen					Ergebnis	Ausgestaltung	
				2 (positiv/günstig) bis -2 (negativ/teuer)								Bewertung	tkm-Preisänderung	Fzkm-Preisänderung	Fixpreis	Nicht preislich			Bereits vorhanden
1	4	2	2	1	2	1	2	1	2	1	4						2	2	
Unfälle	Versicherungen	Bonus-Malus-System (nach Verhalten)		2	1	1	2	0	-1	-2	1	10		x			10	Näher betrachten	Kosten umgelegt auf Fzgkm
	Versicherungen	Verpflichtende Fahrtrainings		1	1	1	1	1	2	2	1	18	(x)	x	(x)			Näher betrachten	Verstärkung empfehlen
	Vorschrift	Geschwindigkeitsbegrenzung (für Unfälle)		1	2	0	2	0	2	2	2	19	(x)	x	x				
Lärm	Vorschrift	Geschwindigkeitsbegrenzung (für Lärm)		1	2	1	1	0	2	2	2	19	(x)	x	x			} Fehlende Maßnahme gegen Straßenlärm. Fahrverbote? Umlage auf GV-Maut allgemein (nach Bevölkerungsdichte)?	
	Infrastrukturgebühren	Innenstadtmaut (nach Motorschall)		2	1	1	1	-1	-1	-1	-1	4	x	(x)	(x)	4			
	Infrastrukturgebühren	Trassengebühren für laute Güterwagen		2	0	2	2	0	2	2	0	16	x	(x)	(x)				
Luftverschmutzung	Infrastrukturgebühren	GV-Maut allgemein (nach Motorschall)		2	0	1	1	1	-1	-2	0	3	x	(x)		3			
	Infrastrukturgebühren	Innenstadtmaut (nach Abgasnorm)		2	1	1	2	-1	-1	-1	-1	6	x	(x)	(x)	6	Näher betrachten	Fzkm-Preis für erste und letzte 15 km	
	Vorschrift	Abgasnormen		2	0	2	2	1	2	2	2	17	(x)	x	x				
Klimawandel	Infrastrukturgebühren	GV-Maut allgemein (nach Abgasnorm)		2	0	1	2	1	-1	-2	0	5	x	(x)	x				Höhe ausreichend? (Senkungen in den letzten Jahren)
	Kostenanlastung	Emissionshandel (für Luftverschmutzung)		2	0	1	-1	1	-1	-1	-1	-2	(x)	x		-2			Fzkm-Preis
	Vorschrift	Verpflichtende Fahrtrainings		1	0	1	1	1	2	2	2	12	(x)	x	(x)		2	Näher betrachten	Verstärkung empfehlen
Effekte in Siedlungsgebieten	Vorschrift	Geschwindigkeitsbegrenzung (für CO <sub>2</sub> -Ausstoß)		1	2	0	0	-1	2	2	2	14	(x)	x	x		14	Näher betrachten	Minimale Erhöhung Transportzeit
	Infrastrukturgebühren	GV-Maut allgemein (nach CO <sub>2</sub> -Ausstoß)		2	0	1	2	1	-1	-2	0	5	(x)	x	(x)	(x)			
	Ökologische Steuerreform	Mineralölsteuer (wie bisher)		1	1	-1	1	0	2	2	1	13	(x)	x	(x)	x			
Allgemein	Ökologische Steuerreform	Mineralölsteuer (Entgegengesetzt zum Ölpreis)		2	1	0	-1	-1	2	1	1	10	(x)	x	(x)		10	Näher betrachten	Kosten je Verbrauch = Kosten je tkm
	Ökologische Steuerreform	Stromsteuer (wie bisher)		0	-1	-2	-1	0	2	2	1	-2	(x)	x	(x)	x		Schädlich	Verbesserungsmöglichkeiten?
	Ökologische Steuerreform	EEG-Umlage anpassen		1	0	1	1	1	2	1	1	13	(x)	x		13	Näher betrachten	Keine Erhebung bei Strom aus EE = Kosten je tkm	
Sonstiges	Infrastrukturgebühren	Parkplatzpreise		2	1	-1	2	1	2	1	1	16	(x)	x	x				
	Infrastrukturgebühren	Innenstadtmaut (für Siedlungseffekte)		2	1	1	2	-1	-1	-1	-1	6	x	x	(x)	6	Näher betrachten	Fzkm-Preis für erste und letzte 15 km	
	Infrastrukturgebühren	GV-Maut allgemein (nach Bevölkerungsdichte)		2	1	1	1	1	-1	-2	0	7	x	x	(x)	7	Näher betrachten	Fzkm-Preis degressiv nach Weite -> <b>Ergänzt um Lärm</b>	
Allgemein	Infrastrukturgebühren	GV-Maut allgemein (zur Verkehrsverlagerung)		1	1	0	0	1	-1	-2	0	2	(x)	x		2			
	Technik	Angebot zentralisierter KV-Kette mit tkm-Preis		2	0	0	2	2	-1	-2	1	6	x			6	Näher betrachten	Technische Machbarkeit und sinnvoller tkm-Preis	
Sonstiges	Infrastrukturgebühren	Trassenpreise um externe Kosten anheben											(x)	x					Vollausgleich ext. Kosten; Anreizsystem nötig
	Infrastrukturgebühren	Schleusen-/Kanalgebühren anheben											(x)	x					Vollausgleich ext. Kosten; Anreizsystem nötig

# Anhang D: Diagramm zur Vorgehensweise bei der Berechnung der Marktreaktionen



## Anhang E: Berechnung der Eigenschaftsfaktoren

Die Kategorie *Erschließungsfähigkeit* wurde im Laufe der Arbeit durch *In Dtl. vorhandene Netzdichte* ersetzt. Eine Nutzung wäre im Kontext eines hypothetischen Ausbaus eines Verkehrsmittels denkbar, um Erschließungspotenziale abzuschätzen.

Modus	Verkehrsmittel	Transportgeschwindigkeit	Transportfrequenz	Termintreue/Pünktlichkeit	Erschließungsfähigkeit	In Dtl. vorhandene Netzdichte	Beförderbare Masse pro Zeit	Maximale Einzellast im Regelfall	Beförderbares Volumen pro Zeit	Maximale Sperrigkeit im Regelfall	Vorlaufzeit Buchung - Transport	Affinität Verteilverkehr	Affinität KV-Verkehr	Affinität Schifffahrt
Straße	Lieferwagen/LDV/ zGG ≤ 3,855t	3	5	2	5	5	1	1	1	1	5	2	-1	-1
Straße	LKW/HDV/ zGG > 3,855t	4	5	3	4	4	2	2	2	2	5	1	-1	-1
Straße	GigaLiner	4	5	3	4	2	2	2	3	3	4	-1	-1	-1
Schiene	Güterzug	2	3	4	2	2	5	5	4	4	3	-1	-1	-1
Schiene	Unbegleiteter Kombiniertes Verkehr	3	3	4	3	3	3	3	4	2	3	-1	1	-1
Schiene	Begleiteter Kombiniertes Verkehr	3	3	4	3	1	3	3	3	3	3	-1	1	-1
Schiene	Zentralisiertes KV-System	3	4	5	4	4	3	3	4	2	4	-1	1	-1
Wasser	Binnenschiff	1	2	3	1	1	4	5	5	5	2	-1	-1	1
Wasser	KV-Schiff	1	2	3	2	1	3	3	4	2	3	-1	0	0

Abb. E1: Eigenschaftsfaktoren der Verkehrsmittel. Die Werte für die Transportgeschwindigkeit der Straßenverkehrsmittel können durch Geschwindigkeitsbegrenzungen um 1 verringert werden.

NST-Code	Kurz-Bezeichnung	Transportgeschwindigkeit	Transportfrequenz	Termintreue/Pünktlichkeit	Erschließungsfähigkeit	In Dtl. vorhandene Netzdichte	Beförderbare Masse pro Zeit	Maximale Einzellast im Regelfall	Beförderbares Volumen pro Zeit	Maximale Sperrigkeit im Regelfall	Vorlaufzeit Buchung - Transport	Affinität Verteilverkehr	Affinität KV-Verkehr	Affinität Schifffahrt
01	Erzeugnisse der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei	1	2	0	2	2	0	1	0	0	1	0	0	1
02	Kohle, rohes Erdöl und Erdgas	1	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0
03	Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	0	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	0	0
04	Nahrungs- und Genussmittel	1	0	0	2	2	0	1	0	0	1	1	0	0,7
05	Textilien, Bekleidung, Leder und Lederwaren	0	1	1	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0
06	Holzwaren, Papier, Pappe, Druckerzeugnisse	1	2	1	2	2	0	1	0	0	2	0	0	0
07	Kokerei- und Mineralölerzeugnisse	0	0	0	1	1	0	2	2	1	0	1	0	0
08	Chemische Erzeugnisse etc.	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
09	Sonstige Mineralerzeugnisse (Glas, Zement, Gips etc.)	0	1	0	2	2	0	1	0	0	2	0	0	0
10	Metalle und Metallerzeugnisse	1	0	0	1	1	0	2	1	0	1	1	0	0
11	Maschinen und Ausrüstungen, Haushaltsgeräte etc.	2	1	0	2	2	0	1	0	0	2	0	0	0
12	Fahrzeuge	1	0	2	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0
13	Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte etc.	1	0	0	2	2	0	0	1	1	1	1	0	0
14	Sekundärrohstoffe, Abfälle	0	0	0	1	1	1	1	2	1	0	1	0	0
15	Post, Pakete	2	2	1	2	2	0	0	1	0	2	1	0	0
16	Geräte und Material für die Güterbeförderung	0	2	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
17	Umzugsgut und sonstige nichtmarktbestimmte Güter	2	0	1	2	2	0	0	0	1	1	1	0	0
18	Sammelgut	0	0	0	2	2	0	1	0	0	0	1	0	0
19	Gutart unbekannt	1	1	2	0	0	1	1	2	1	0	0	1	0
20	Sonstige Güter a.n.g.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0

Wichtung	0,5	0,5	1	0	2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	3	8	6
----------	-----	-----	---	---	---	-----	-----	-----	-----	-----	---	---	---	---

Abb. E2: Wichtungsfaktoren der Güterabteilungen.



## Anhang F: Beispielkurven aus der Modellrechnung

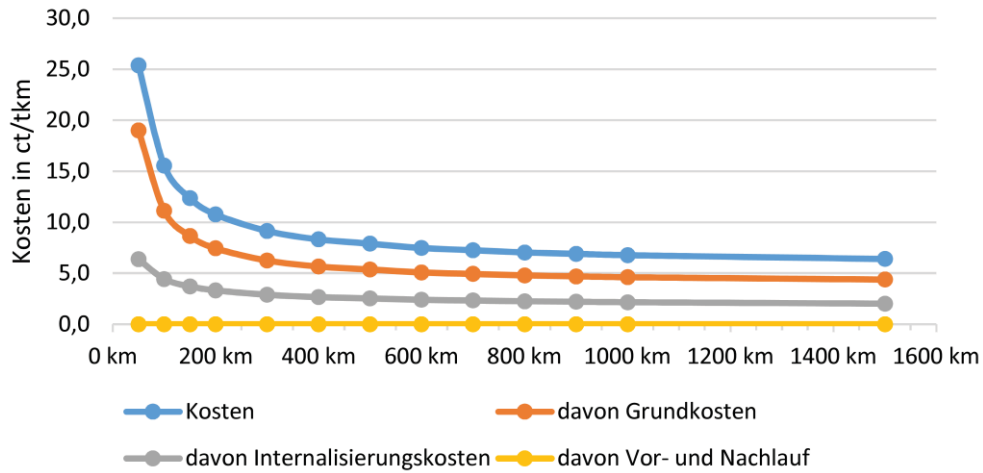


Abb. F1: Transportkosten LDV für chemische Erzeugnisse nach der Transportweite mit vollständiger Internalisierung

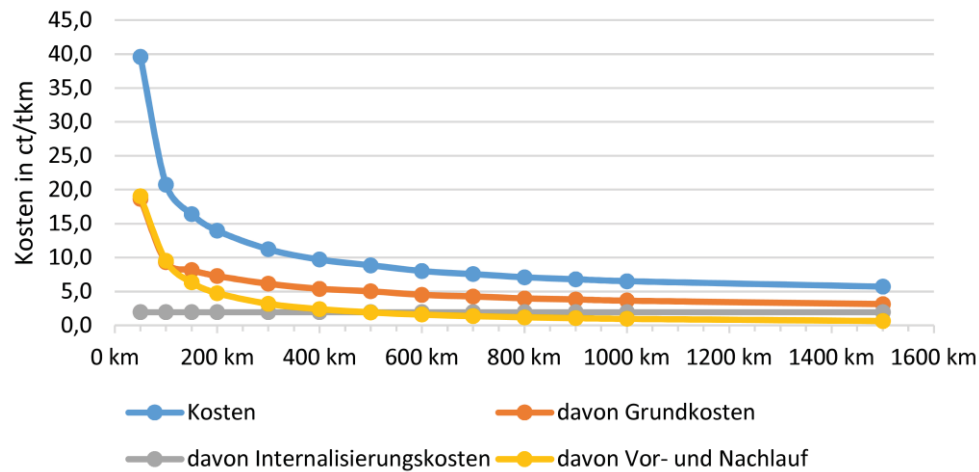


Abb. F2: Transportkosten unbegleiteter KV-Zug für chemische Erzeugnisse nach der Transportweite mit vollständiger Internalisierung

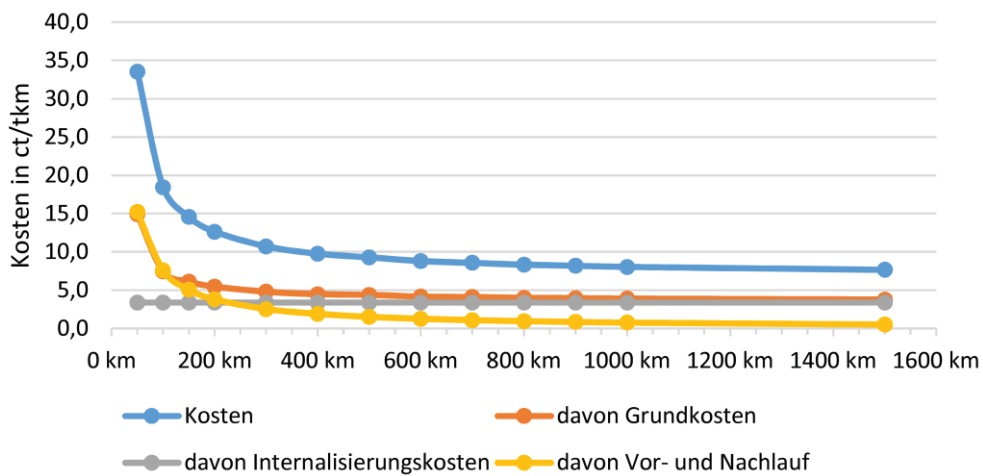


Abb. F3: Transportkosten Binnenschiff für chemische Erzeugnisse nach der Transportweite mit vollständiger Internalisierung

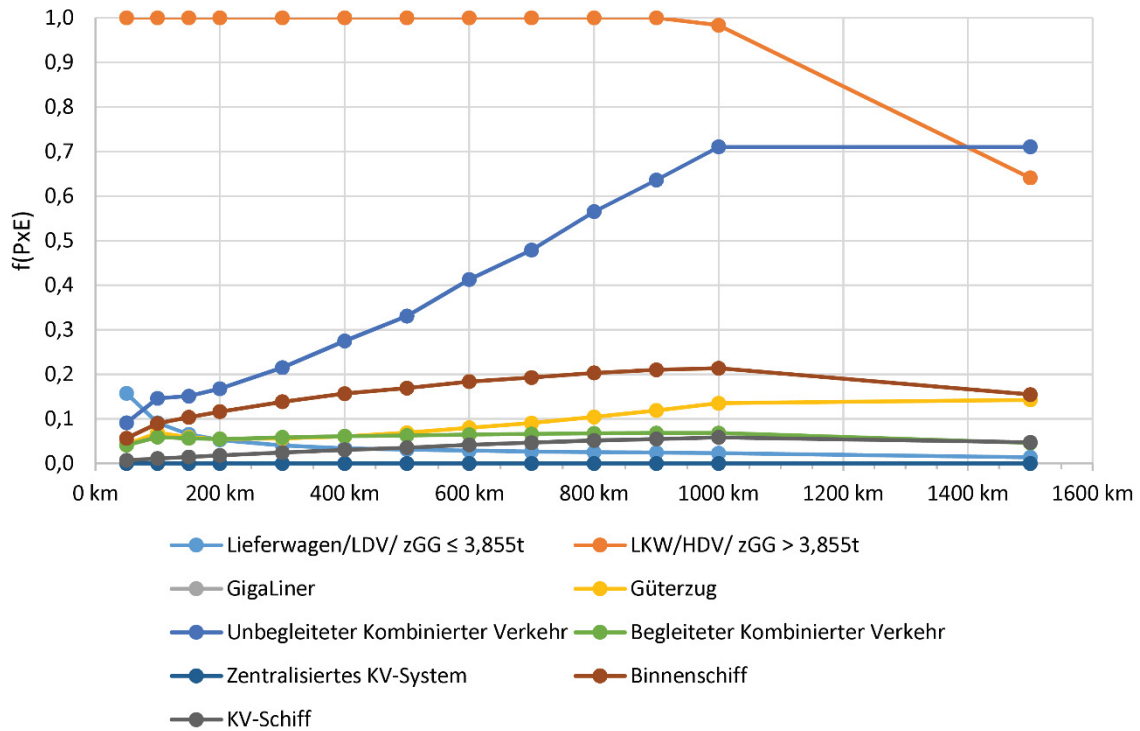


Abb. F4: Bewertung von Preis und Eignung nach der Transportweite für chemische Erzeugnisse mit vollständiger Internalisierung

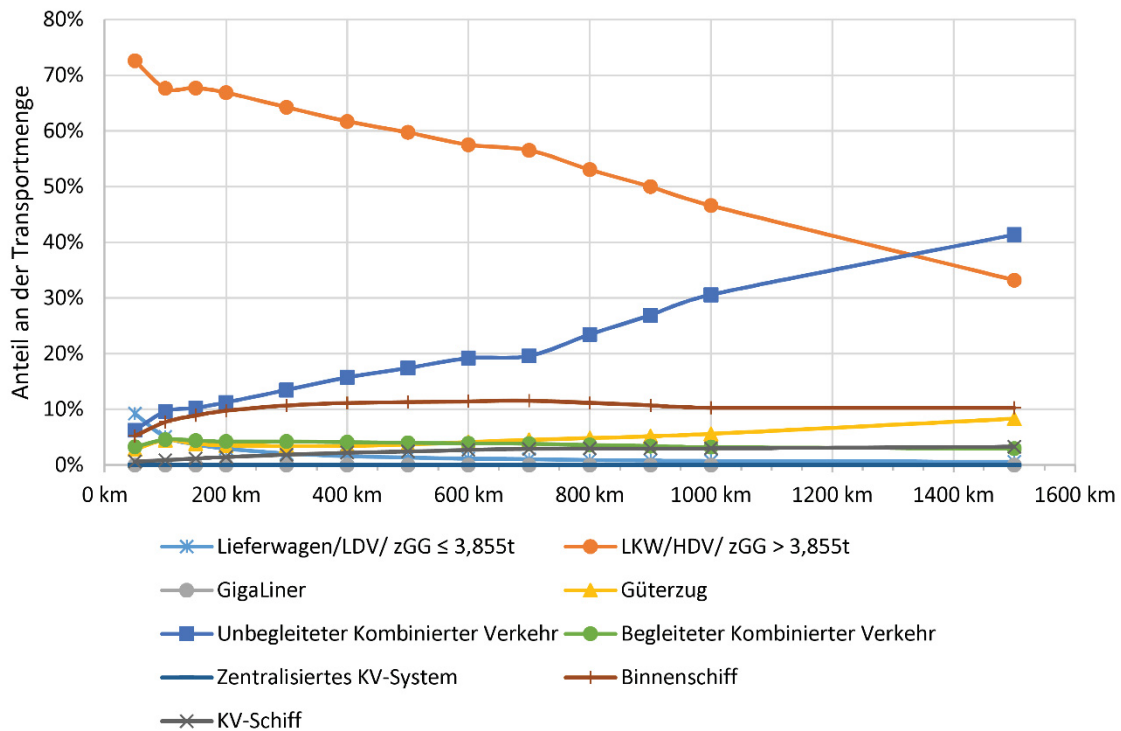


Abb. F5: Modal Split nach der Transportweite für chemische Erzeugnisse mit vollständiger Internalisierung

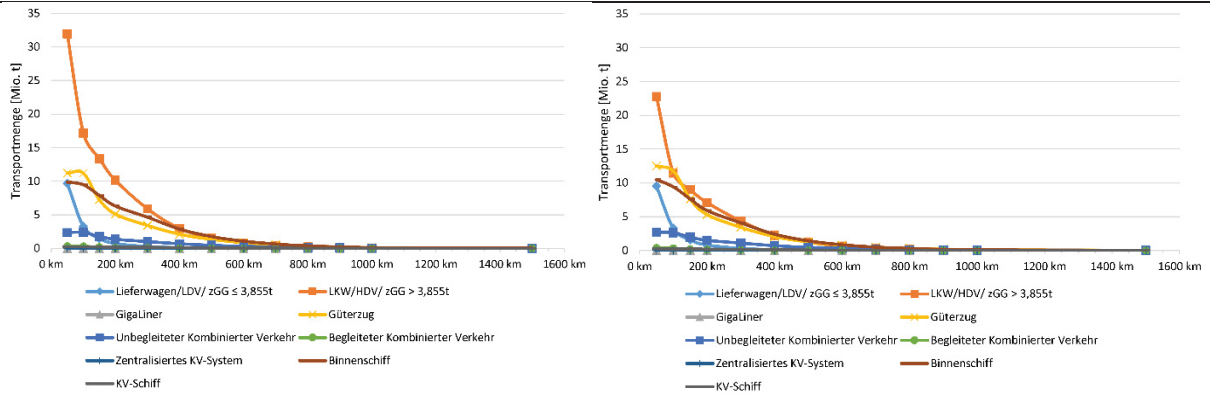


Abb. F6: Transportmenge nach der Transportweite für Kokerei- und Mineralölzeugnisse ohne (links) und mit vollständiger Internalisierung (rechts)

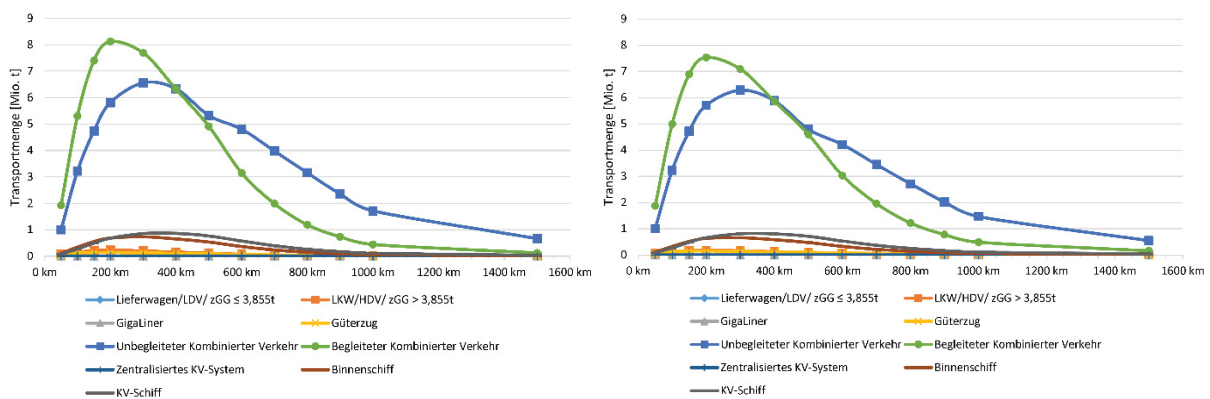


Abb. F7: Transportmenge nach der Transportweite für Gutart unbekannt (Container) ohne (links) und mit vollständiger Internalisierung (rechts)





# Anhang G: Auswertung der Modellrechnung

**Rot: > 10% Steigerung**

**Gelb: <= 10% Steigerung**

**Blau: +/- 1%**

**Grün: <= 10% Verringerung**

**Schwarz: > 10% Verringerung**

Erläuterung des Farbcodes

Tabelle G1: Auswertung der Modellrechnung für den Ist-Zustand. Transportleistungen in [Mrd. tkm/a]

NST-Code Kurz-Bezeichnung	Ist-Zustand			Modellrechnung			Summe
	Straße	Schiene	Wasser	Straße	Schiene	Wasser	
01 Erzeugnisse der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei	77%	6%	18%	30,8	2,2	7,1	40,1
02 Kohle, rohes Erdöl und Erdgas	3%	46%	51%	0,5	7,6	8,4	16,4
03 Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	66%	20%	14%	42,4	12,8	8,8	64,0
04 Nahrungs- und Genussmittel	94%	2%	4%	76,0	1,8	3,2	81,0
05 Textilien, Bekleidung, Leder und Lederwaren	99%	1%	0%	2,8	0,0	0,0	2,9
06 Holzwaren, Papier, Pappe, Druckerzeugnisse	84%	13%	3%	30,7	4,9	1,2	36,8
07 Kokerei- und Mineralölerzeugnisse	41%	31%	28%	13,7	10,4	9,5	33,5
08 Chemische Erzeugnisse etc.	72%	18%	10%	37,8	9,5	5,5	52,8
09 Sonstige Mineralerzeugnisse (Glas, Zement, Gips etc.)	89%	9%	2%	38,2	3,7	1,0	43,0
10 Metalle und Metallerzeugnisse	68%	24%	8%	33,8	12,2	4,0	50,0
11 Maschinen und Ausrüstungen, Haushaltsgeräte etc.	87%	11%	2%	12,2	1,5	0,3	14,1
12 Fahrzeuge	83%	13%	4%	21,9	3,5	1,0	26,3
13 Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte etc.	100%	0%	0%	5,1	0,0	0,0	5,1
14 Sekundärrohstoffe, Abfälle	82%	8%	10%	28,1	2,7	3,5	34,3
15 Post, Pakete	99%	0%	0%	11,6	0,1	0,0	11,7
16 Geräte und Material für die Güterbeförderung	88%	9%	3%	13,0	1,4	0,4	14,8
17 Umzugsgut und sonstige nichtmarktbestimmte Güter	100%	0%	0%	10,6	0,0	0,0	10,6
18 Sammelgut	97%	3%	0%	47,2	1,6	0,0	48,8
19 Gutart unbekannt	1%	90%	9%	0,4	39,0	4,1	43,4
20 Sonstige Güter a.n.g.	66%	20%	14%	0,3	0,1	0,1	0,5
				<b>Σ Transportleistung</b>	<b>457</b>	<b>115</b>	<b>58</b>
				Summe		<b>630</b>	
				Modal Split Gesamt	72,5%	18,2%	9,2%

Auswertung

**Tabelle G2: Auswertung der Modellrechnung für die kostenneutrale Internalisierung. Transportleistungen in [Mrd. tkm/a]**

NST-Code Kurz-Bezeichnung	Straße Schiene Wasser			Straße Schiene Wasser			Summe
01 Erzeugnisse der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei	75%	6%	19%	30,2	2,5	7,6	40,4
02 Kohle, rohes Erdöl und Erdgas	2%	49%	49%	0,4	8,3	8,3	16,9
03 Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	65%	21%	14%	42,1	13,3	8,9	64,4
04 Nahrungs- und Genussmittel	93%	3%	4%	75,3	2,2	3,5	81,0
05 Textilien, Bekleidung, Leder und Lederwaren	95%	4%	0%	2,2	0,1	0,0	2,3
06 Holzwaren, Papier, Pappe, Druckerzeugnisse	82%	15%	3%	30,3	5,6	1,2	37,1
07 Kokerei- und Mineralölerzeugnisse	37%	36%	28%	12,7	12,4	9,7	34,9
08 Chemische Erzeugnisse etc.	68%	21%	11%	36,7	11,0	5,9	53,6
09 Sonstige Mineralerzeugnisse (Glas, Zement, Gips etc.)	87%	10%	2%	37,8	4,4	1,0	43,2
10 Metalle und Metallerzeugnisse	62%	29%	8%	32,0	15,0	4,2	51,3
11 Maschinen und Ausrüstungen, Haushaltsgeräte etc.	84%	13%	2%	12,0	1,9	0,3	14,2
12 Fahrzeuge	81%	15%	4%	21,5	4,0	1,1	26,5
13 Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte etc.	98%	2%	0%	4,1	0,1	0,0	4,1
14 Sekundärrohstoffe, Abfälle	81%	8%	10%	28,0	2,8	3,6	34,4
15 Post, Pakete	98%	2%	0%	9,2	0,2	0,0	9,4
16 Geräte und Material für die Güterbeförderung	87%	10%	3%	13,0	1,5	0,4	14,9
17 Umzugsgut und sonstige nichtmarktbestimmte Güter	99%	1%	0%	8,5	0,1	0,0	8,6
18 Sammelgut	96%	4%	0%	46,9	1,8	0,0	48,8
19 Gutart unbekannt	1%	91%	8%	0,3	42,3	3,8	46,5
20 Sonstige Güter a.n.g.	63%	23%	14%	0,3	0,1	0,1	0,5
<b>Σ Transportleistung</b>				<b>443</b>	<b>130</b>	<b>60</b>	
<b>Summe</b>				<b>633</b>			
<b>Modal Split Gesamt</b>				<b>70,0%</b>	<b>20,5%</b>	<b>9,5%</b>	

Auswertung

**Tabelle G3: Auswertung der Modellrechnung für die vollständige Internalisierung. Transportleistungen in [Mrd. tkm/a]**

NST-Code Kurz-Bezeichnung	Straße Schiene Wasser			Straße Schiene Wasser			Summe
01 Erzeugnisse der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei	71%	8%	22%	25,4	2,7	7,9	36,0
02 Kohle, rohes Erdöl und Erdgas	2%	48%	50%	0,4	7,5	7,8	15,6
03 Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	64%	22%	14%	39,2	13,4	8,9	61,5
04 Nahrungs- und Genussmittel	89%	5%	7%	60,4	3,1	4,6	68,1
05 Textilien, Bekleidung, Leder und Lederwaren	94%	5%	0%	2,0	0,1	0,0	2,1
06 Holzwaren, Papier, Pappe, Druckerzeugnisse	77%	19%	4%	25,4	6,4	1,4	33,2
07 Kokerei- und Mineralölerzeugnisse	35%	36%	29%	10,3	10,5	8,4	29,3
08 Chemische Erzeugnisse etc.	65%	23%	12%	31,5	11,0	5,7	48,2
09 Sonstige Mineralerzeugnisse (Glas, Zement, Gips etc.)	81%	15%	3%	29,9	5,7	1,3	36,8
10 Metalle und Metallerzeugnisse	57%	33%	10%	24,3	14,2	4,2	42,7
11 Maschinen und Ausrüstungen, Haushaltsgeräte etc.	76%	20%	3%	9,2	2,4	0,4	12,0
12 Fahrzeuge	76%	19%	5%	18,0	4,6	1,2	23,7
13 Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte etc.	98%	2%	0%	3,7	0,1	0,0	3,8
14 Sekundärrohstoffe, Abfälle	79%	9%	12%	25,7	3,0	3,8	32,5
15 Post, Pakete	97%	3%	0%	8,3	0,2	0,0	8,6
16 Geräte und Material für die Güterbeförderung	85%	12%	3%	12,0	1,7	0,5	14,1
17 Umzugsgut und sonstige nichtmarktbestimmte Güter	98%	2%	0%	7,6	0,1	0,0	7,8
18 Sammelgut	94%	6%	0%	41,0	2,5	0,1	43,6
19 Gutart unbekannt	1%	90%	9%	0,3	35,9	3,8	40,0
20 Sonstige Güter a.n.g.	60%	25%	15%	0,3	0,1	0,1	0,5
<b>Σ Transportleistung</b>				<b>375</b>	<b>125</b>	<b>60</b>	
<b>Summe</b>				<b>560</b>			
<b>Modal Split Gesamt</b>				<b>66,9%</b>	<b>22,4%</b>	<b>10,7%</b>	

Auswertung

## Anhang H: Weitere Diagramme und Tabellen

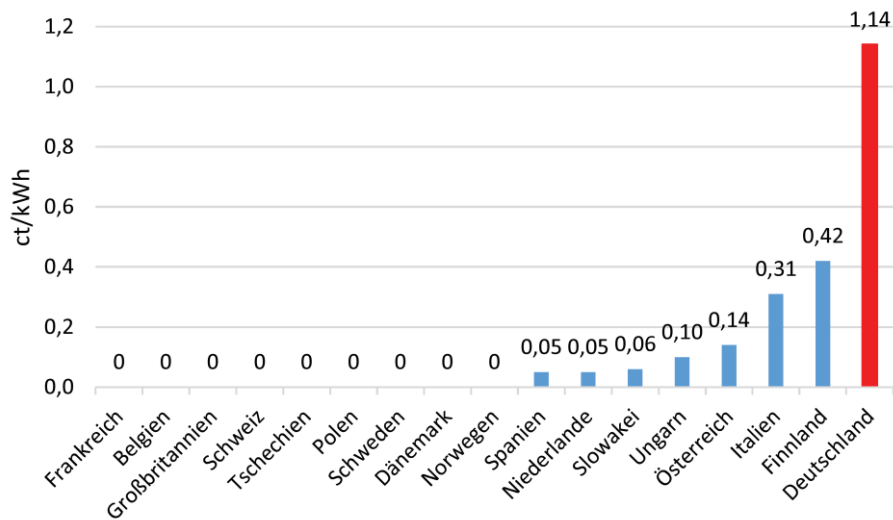


Abb. H1: Vergleich der Stromsteuern im Schienenverkehr in ausgewählten europäischen Ländern. Daten aus (Hagenlocher, et al., 2015 S. 49)

Tabelle H2: Aus Studien und Kostenbilanz berechnete verbleibende externe Kosten nach Verkehrsträger Werte in [EUR/1000 tkm].

Verkehrsträger	Straße LDV	Straße HDV	Schiene	Binnenschiff-fahrt
Unfälle	26,15	6,46	0,16	-
Lärm	14,42	6,38	5,87	-
Luftverschmutzung	19,61	13,88	5,07	20,27
Klimakosten	15,29	7,45	1,63	6,80
Natur und Landschaft	3,22	1,83	0,17	2,17
Vor- und nachgelagerte Prozesse	7,16	3,78	5,87	3,33
Zusatzkosten in städtischen Räumen	2,23	0,59	0,72	-
Biodiversität	0,23	0,49	-	1,25
Erd- und Wasserver-schmutzung	0,70	0,78	0,80	-
Summe	89,03	41,65	20,30	33,82

Die Gesamtkosten je Verkehrsträger stimmen mit den in der Kostenbilanz errechneten Werten überein.

**Tabelle H3: Modal Split nach Güterabteilung laut (Statistisches Bundesamt, 2016a)**

NST-Code	Güterabteilung	Straße (dt. Lkw)	Straße (ges.)	Schiene	Binnenschiff	Straße (ges.)	Schiene	Binnenschiff
1	Erzeugnisse der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei	21403	31917	1486	2985	78,94%	3,68%	17,39%
2	Kohle, rohes Erdöl und Erdgas	871	1299	7209	8	7,91%	43,88%	48,21%
3	Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	28048	41827	12447	836	65,33%	19,44%	15,23%
4	Nahrungs- und Genussmittel	52079	77663	1182	9755	94,91%	1,44%	3,65%
5	Textilien, Bekleidung, Leder und Lederwaren	1924	2869	11	6852	99,34%	0,38%	0,28%
6	Holzwaren, Papier, Pappe, Druck- erzeugnisse	21051	31392	4907	1046	84,53%	13,21%	2,25%
7	Kokerei- und Mineralölerzeugnisse	9011	13438	10443	3956	39,95%	31,05%	29,00%
8	Chemische Erzeugnisse etc.	24736	36888	9500	257	69,29%	17,84%	12,87%
9	Sonstige Mineralerzeugnisse (Glas, Zement, Gips etc.)	26598	39664	2479	385	91,84%	5,74%	2,42%
10	Metalle und Metallerzeugnisse	22836	34054	12311	144	67,67%	24,46%	7,86%
11	Maschinen und Ausrüstungen, Haushaltsgeräte etc.	9054	13502	447	3669	95,04%	3,15%	1,81%
12	Fahrzeuge	13787	20560	5592	0	77,48%	21,07%	1,45%
13	Möbel, Schmuck, Musikinstru- mente, Sportgeräte etc.	3353	5000	38	481	96,49%	0,73%	2,78%
14	Sekundärrohstoffe, Abfälle	18944	28250	2543	2	81,97%	7,38%	10,65%
15	Post, Pakete	7909	11794	0	0	100,00%	0,00%	0,00%
16	Geräte und Material für die Güter- beförderung	8582	12798	1644	4011	85,76%	11,02%	3,22%
17	Umzugsgut und sonstige nicht- marktbestimmte Güter	7158	10674	21	1	99,78%	0,20%	0,02%
18	Sammelgut	32212	48036	1310	59093	97,35%	2,65%	0,00%
19	Gutart unbekannt	586	874	38554	2985	2,01%	88,75%	9,23%
20	Sonstige Güter a.n.g.	0	0	504	8	0,00%	99,80%	0,20%
	Summe	310142	462500	112628	836	72,92%	17,76%	9,32%