



Übersetzung der Zusammenfassung (Original englisch)

E x t e r n e K o s t e n d e s V e r k e h r s

Unfall-, Umwelt- und Staukosten in Westeuropa

Projektleitung:

Markus Maibach, INFRAS

Verfasser:

Silvia Banfi, INFRAS

Claus Doll, IWW

Markus Maibach, INFRAS

Prof. W. Rothengatter, IWW

Philippe Schenkel, INFRAS

Niklas Sieber, IWW

Jean Zuber, INFRAS

Zürich/Karlsruhe, März 2000

INFRAS, Consulting Group for Policy Analysis and Implementation

Gerechtigkeitsgasse 20, Postfach, CH-8039 Zürich, Tel. +41 1 205 95 95, Fax +41 1 205 95 99, www.infras.ch

IWW, Universitaet Karlsruhe

University of Karlsruhe, Kollegium am Schloss, D-76128 Karlsruhe, Tel. +49 721 608 43 45, Fax +49 721 60 73 76, www.iww.uni-karlsruhe.de

1 Ziel und Methodologie

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine Aktualisierung und Ausweitung der früheren UIC-Studie über externe Effekte (1995), mit der man die empirische Ermittlung der externen Verkehrskosten durch Anwendung der derzeit fortschrittlichsten Kostenschätzungsmethoden verbessern will. Dabei werden nachstehende Faktoren betrachtet:

- **Kostenkategorien:** Unfälle, Lärm, Luftverschmutzung (Gesundheits-, Sach-, Biosphäreschäden), Klimaveränderung, sonstige Umwelt- und umweltfremde Auswirkungen sowie Staus.
- **Länder:** EUR 17 (EU-Mitgliedsstaaten, Schweiz, Norwegen).
- **Bezugsjahr:** Umfassende Ergebnisse für 1995, grobe Schätzwerte für 2010 (tendenzielle Entwicklung, hauptsächlich basierend auf Emissionsentwicklungsprognosen des EUROSTAT-Projekts TRENDS).
- **Differenzierung der Verkehrsträger:**
 - Straße: Pkws, Motorräder, Bus, Kleintransporter, Schwerlasten,
 - Schiene: Personen- und Güterbeförderung,
 - Luft: Personen- und Güterbeförderung,
 - Wasser: Binnenschifffahrt (Güterbeförderung).
- **Funktionale und regionale Differenzierung:**
 - Personennah- und -fernverkehr,
 - Güternah- und -fernverkehr,
 - Anwendung auf zwei Punkt-Punkt-Verbindungen (zwei Personen- und zwei Güterverkehrskorridore).

Es lassen sich zwei Studienergebnisse unterscheiden:

- **Gesamt- und Durchschnittskosten pro Land und Verkehrsträger:** Nationale Kostenrechnungen für das Bezugsjahr zeigen die Bedeutung der einzelnen Kostenkomponenten. Die Ergebnisse sind vor allem statistisch wertvoll. Nationale Durchschnittswerte können - zumindest in einigen Fällen - als Grundlage für Preisstrategien und sozioökonomische Bewertungen von Infrastrukturinvestitionen dienen.
- **Die Grenzkosten pro Verkehrsträger und Verkehrssituation** spiegeln die von jeder zusätzlichen Transporteinheit verursachten zusätzlichen Kosten wider. Sie bilden einen europäischen Durchschnittswert, der als Bemessungsgrundlage für Preisinstrumente nach dem im EU-Weißbuch "Faire Preise für die Infrastrukturbenutzung" vertretenen Ansatzes der volkswirtschaftlichen Grenzkostenpreisbildung verwendet werden kann.

Die Staukosten werden im Bericht durchgehend getrennt behandelt, da sie sich ihrer Bedeutung nach von anderen Kostenkategorien, insbesondere den Umweltkosten, unterscheiden und auch anders gemessen werden. Zur Berechnung der Staukosten wurden drei verschiedene Ansätze gewählt, die zu verschiedenen Ergebnissen (von 0,5% bis 3,7% des BIP) führen.

Nachstehende Tabelle zeigt die untersuchten Kostenkategorien und die dabei zugrundegelegten Methoden.

Effekte	Gesamtkostenanteil (EUR 17 1995 in %)	Kostenkomponenten	Wichtigste Annahmen
Unfälle	29%	Zusatzkosten durch <ul style="list-style-type: none"> - medizinische Versorgung - gesellschaftliche Opportunitätskosten - Kummer und Leid. 	<ul style="list-style-type: none"> - Der Wert eines Menschenlebens wird mit 1,5 Mio € veranschlagt - Durchschnittskosten entsprechen Grenzkosten. Es wird keine spezifische Beziehung zwischen Fahrzeugkilometer und Unfallraten angenommen. - Zahlungen von Versicherungen werden für die Ermittlung der externen Kostenkomponenten berücksichtigt.
Lärm	7%	Schäden (Opportunitätskosten) am Grundstückswert und an der menschlichen Gesundheit	<ul style="list-style-type: none"> - Der Wertansatz geht von einer Zahlungsbereitschaft für weniger Lärm über 55 dB(A) aus. - Durchschnittskosten werden durch einen Top-down-Ansatz aufgrund von CEMT-Daten geschätzt. - Grenzkosten werden mit einem Modellansatz geschätzt.
Luftverschmutzung	25%	Schäden (Opportunitätskosten) an <ul style="list-style-type: none"> - der menschlichen Gesundheit - Material - der Biosphäre 	<ul style="list-style-type: none"> - Die Ergebnisse basieren auf einer neuen, kohärenten Emissionsdatenbank für alle Länder (TRENDS/Eurostat) - Die Gesundheitskosten basieren auf einer WHO-Studie mit Schätzwerten für Frankreich, Österreich und der Schweiz. - Gebäudeschäden, Ernteverluste und Waldschäden basieren auf den Ergebnissen von Schweizerischen Expertenstudien. - Die Grenzkosten werden mit dem ExternE-Modell berechnet. Um mit dem Top-down-Ansatz für Gesamt- und Durchschnittskosten kompatibel zu sein, wurden die Gebäudeschäden angepasst.
Klimaänderung	23%	Schäden (Opportunitätskosten) des Treibhauseffektes	<ul style="list-style-type: none"> - Datenbank: TRENDS - Zugrundegelegt wird ein Kostenwert von 135 Euro pro Tonne CO₂ - Grenzkosten entsprechen den variablen Durchschnittskosten - Die Kostensätze des Luftverkehrs werden verdoppelt, um das besondere Risiko von Emissionen in größeren Höhen zu berücksichtigen
Natur & Landschaft	3%	Zusatzkosten zur Schadensbehebung, Entschädigungen	<ul style="list-style-type: none"> - Schadensbehebungskosten werden angesetzt, unter Schätzung der Versiegelungskosten für verschiedene Infrastrukturarten. - Als Bezugsniveau (unverdorrene Landschaft) wird das Jahr 1950 zugrundegelegt. - Die Effekte sind für die volkswirtschaftlichen Grenzkosten nicht relevant, da diese Kosten infrastrukturbezogen sind.
Zerschneidung städtischer Gebiete	1%	Zeitverluste für Fußgänger	Nach der in Deutschland verwendeten Methode (EWS) werden Zeitverluste anhand von Zufallsstichproben aus verschiedenen Städten geschätzt.
Raumknappheit in städtischen Gebieten	1%	Raumausgleich für Fahrräder	<ul style="list-style-type: none"> - Nach der in Deutschland verwendeten Methode (EWS) werden Zeitverluste anhand von Zufallsstichproben aus verschiedenen Städten geschätzt. - Die Effekte sind für die volkswirtschaftlichen Grenzkosten nicht relevant, da diese Kosten infrastrukturbezogen sind.
Zusätzliche Kosten durch Up- und Downstream-Prozesse	11%	Zusätzliche Umweltkosten (Luftverschmutzung, Klimaveränderung, Risiken)	<ul style="list-style-type: none"> - Auf der Grundlage des Energieverbrauchs werden die zusätzlichen Kosten für Energieproduktion, Produktion und Unterhaltung der Fahrzeuge und der Infrastruktur geschätzt. - Für nukleare Risiken wird ein Schattenpreis von 0,035 Euro pro kWh veranschlagt, der auf den Studien der Zahlungsbereitschaft zur Gefahrenverhütung beruht.
Stau	% nicht berücksichtigt	Externe Zusatzzeit und Betriebskosten	<ul style="list-style-type: none"> - Verwendung eines Verkehrsmodells zur Berechnung der Grenz- und Durchschnittskosten. - Zeitwerte wurden aus EU-Forschungsprojekten (PETS) abgeleitet. Drei Ansätze: - Nettowohlfahrtsverlust für den Straßenverkehr angesichts einer optimalen Stausteuer - Einnahmen aus optimaler Besteuerung - Zeitverluste im Vergleich zu einem besseren Verkehrsleistungsniveau

Tabelle S-1: Überblick über die untersuchten externen Kosten und die wichtigsten methodischen Annahmen.

2 Gesamt- und Durchschnittskosten

Unfall- und Umweltkosten 1995

Die nachstehende Abbildung enthält die Gesamt- und Durchschnittskostenergebnisse für 1995. Die externen Kosten (ohne Staukosten) belaufen sich 1995 auf insgesamt 530 Milliarden Euro, also 7,8% des BIP von EUR 17. Mit 29% der Gesamtkosten schlagen die Unfälle dabei am stärksten zu Buch. Luftverschmutzung und Klimaveränderung machen 48% aus, während die Kosten für Natur und Landschaft sowie die städtischen Effekte von geringerer Bedeutung sind. Die Upstream-Effekte (11%) sind recht erheblich, was vor allem darauf zurückzuführen ist, dass sie eng mit Luftverschmutzung und Klimaveränderung in Zusammenhang stehen. Der am stärksten belastende Verkehrsträger ist die Straße mit 92% der Gesamtkosten, gefolgt von der Luftfahrt mit 6% der gesamten externen Kosten. Schiene (2%) und Wasserstraßen (0,5%) verursachen die geringsten Kosten. Zwei Drittel der Kosten entfallen auf den Personenverkehr, ein Drittel auf den Güterverkehr.

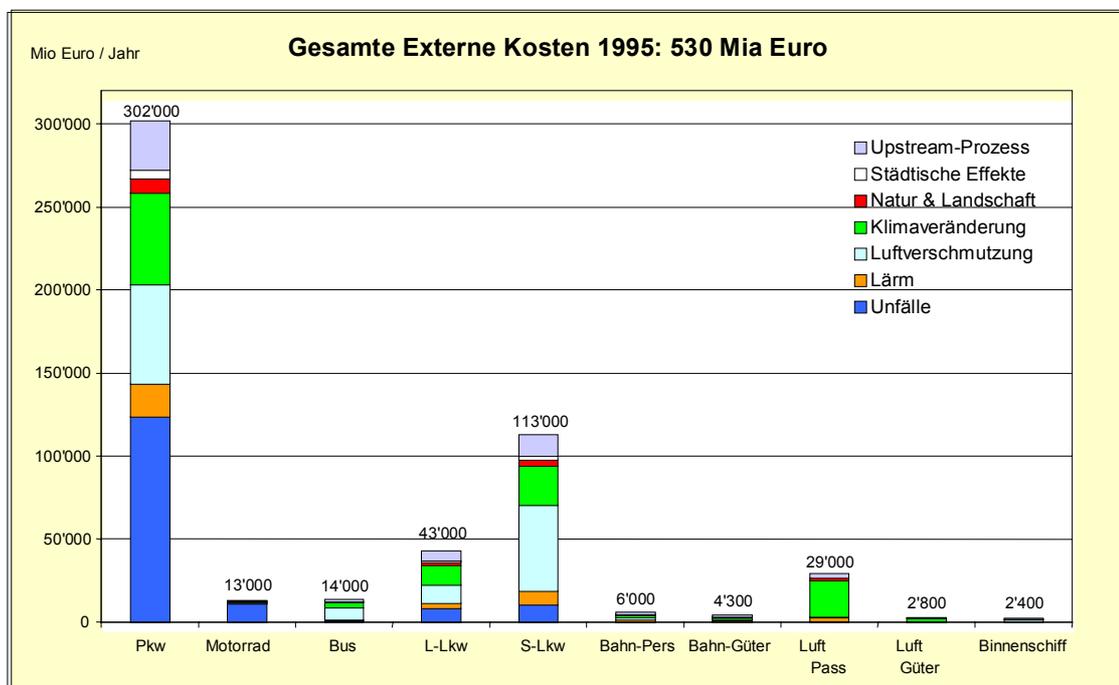


Abbildung S-1: Gesamte externe Verkehrskosten 1995 (EUR 17) nach Verkehrsmittel und Kostenkategorie. Der Straßenverkehr verursacht 92% der gesamten externen Kosten..

Die Durchschnittskosten werden in Euro pro 1.000 Pkm bzw. tkm dargestellt. Im **Personenverkehr** erreicht der Pkw 87 Euro. Mit rund 20 Euro liegt die Schiene 4,4 mal niedriger als die Straße. Im Bahnsektor schlagen Klimaveränderung, Lärm und Luftverschmutzung am stärksten zu Buch, in der Luftfahrt dagegen die Klimaveränderung.

Im **Güterverkehr** hat die Luftfahrt wesentlich höhere Durchschnittskosten als die anderen Verkehrsmittel. Das ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass die Sendungen im Güterverkehr (in Tonnen) verkehrsträgerspezifisch sind. So befördern Flugzeuge qualitativ hochwertige Güter mit geringerem spezifischen Gewicht. Die Kosten für Schwerlasten belaufen sich auf 72 Euro pro 1.000 km, 3,8 mal mehr als bei der Schiene.

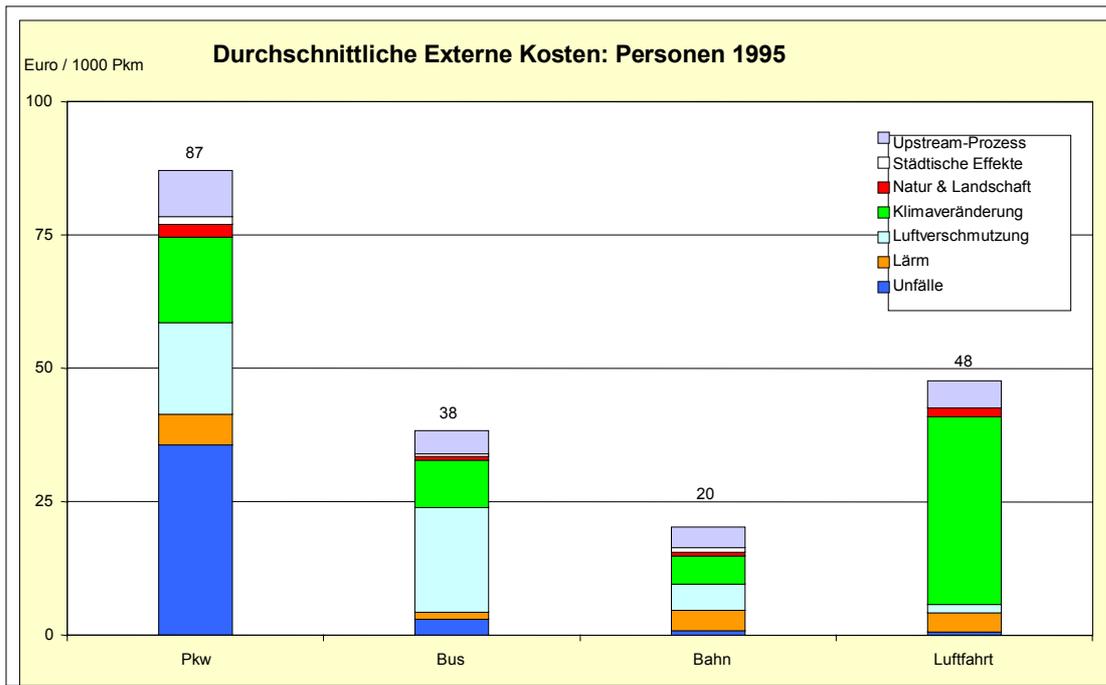


Abbildung S-2: Externe Durchschnittskosten 1995 (EUR 17) nach Verkehrsträger und Kostenkategorie: Personenverkehr (ohne Staukosten).

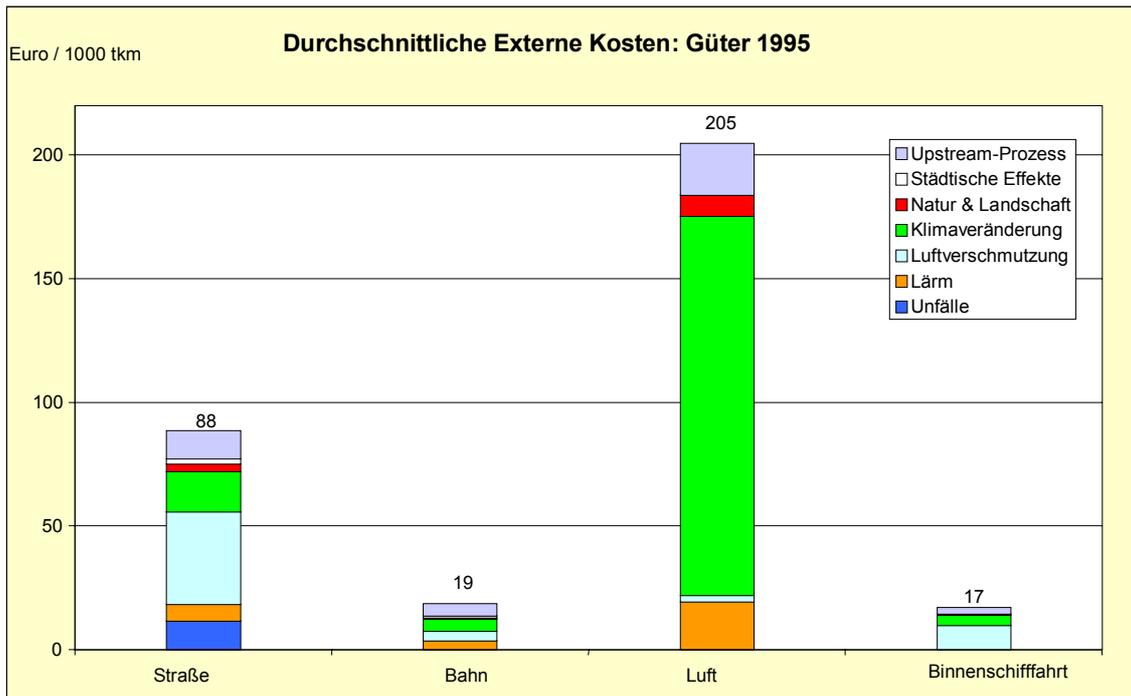


Abbildung S-3: Durchschnittliche externe Kosten 1995 (EUR 17) nach Verkehrsträger und Kostenkategorie: Güterverkehr (ohne Staukosten)

Die neuen Werte sind wesentlich höher als die Schätzwerte für 1991 (IWW/INFRAS 1995). Ein detaillierter Vergleich ist zunächst vor allem deshalb schwierig, weil eine neue, kohärentere Datenbank verwendet wurde. Zweitens wurden zusätzliche Kostenkategorien bewertet, die sich auf insgesamt 15% der Gesamtkosten belaufen. Drittens erhöhten sich mit den neuen Ansätzen die Werte für Luftverschmutzungs- (vor allem gesundheitliche Auswirkungen) und für Klimaveränderungsrisiken.

Tendenzen bis 2010

Die Gesamtkosten werden zwischen 1995 und 2010 um 42% steigen. Kernfaktoren sind Verkehrswachstum und wachsendes Umweltbewusstsein¹. Die höchsten Wachstumsraten sind in der Luftfahrt und im Straßenverkehr zu erwarten.

Auch die Durchschnittskosten werden erheblich steigen. Die zu erwartenden technologischen Verbesserungen werden das Verkehrswachstum nicht aufwiegen können:

¹ Es wurden folgende Wachstumsraten in Pkm/ tkm zugrundegelegt:

Straße	+ 26% (Pkw)	+ 30% (Schwerlastverkehr)
Schiene	+ 26% (Personen)	+ 0% (Güter)
Luft	+ 108% (Personen und Güter)	
Binnenschifffahrt	keine Veränderung	

BIP (zugrundegelegt für die Anpassung der Kostensätze zur Bewertung des Wertzuwachses): + 39%

Die Emissionsentwicklungen für den Straßenverkehr basieren auf TRENDS.

- Im Straßenpersonenverkehr ist mit einem Kostenanstieg von 8% zu rechnen. Die Luftverschmutzungskosten sinken. Im Straßengüterverkehr steigen die Kosten um 15%. Daneben nehmen vor allem die Klimaveränderungskosten beträchtlich zu, da die Energieeinsparungen mit dem Verkehrsanstieg nicht Schritt halten werden.
- Die Kosten im Schienenpersonenverkehr nehmen um 2% ab. Schienengüterverkehrskosten steigen voraussichtlich um 14%, was in erster Linie auf die steigenden Klimaveränderungskosten zurückzuführen ist.

Im Luftverkehr steigen die Durchschnittskosten um 16% (Passagierverkehr) und 18% (Fracht). Dagegen sinken die externen Kosten der Binnenschifffahrt um 34%.

3 Grenzkosten im Vergleich zu Durchschnittskosten

Nachstehende Tabelle zeigt die Werte (bzw. deren Streubereich) der einzelnen Kostenkategorien und Verkehrsträger im Vergleich zu den Durchschnittswerten. Die Spannen sind recht groß, da unterschiedliche Fahrzeugkategorien und Verkehrssituationen erfasst wurden.

Grenzkosten (Durchschnittskosten) [Euro pro 1000 Pkm/ Tkm]	Straße					Schiene		Luft		Binnen- schiff- fahrt
	Pkw	Motor- rad	Bus	Klein- Lkw	Schwer- Lkw	Pers.	Güter	Pers.	Güter	Güter
Unfälle 1)	11-54 (36)	79-360 (250)	1-5 (3.1)	44-163 (100)	2.3-11 (6.8)	0-1 (0.9)	0 (0)	0-1 (0.6)	0 (0)	0 (0)
Lärm	0.2-21 (5.7)	0.6-53 (17)	0.1-7.5 (1.3)	5.3-496 (36)	0.6-52 (5.1)	0.2-23 (3.9)	0.1-1.6 (3.5)	2.3-17 (3.6)	17-87 (19)	0 (0)
Luftverschmutzung 2)	5-17 (17)	14 (7.9)	4-25 (20)	28-118 (131)	14-50 (32)	2-24 (4.9)	1-6.8 (4)	0.8-2 (1.6)	0.8 (2.6)	4.5 (9.7)
Klimaveränderung	12-25 (16)	9.6 (14)	5.5-11 (8.9)	125-134 (134)	15-18 (15)	4.2-8.9 (5.3)	4.2-5.3 (4.7)	36-42 (35)	117 (154)	4.7 (4.2)
Natur & Landschaft	0-1.8 (2.5)	0-1.8 (2)	0-1.3 (0.8)	0-23 (23)	0-8.9 (2.2)	0-0.8 (0.7)	0-0.3 (0.5)	0-2.9 (1.7)	0-8.5 (8.5)	0-0.5 (0.5)
Städtische Effekte	10.7-11.7 (1.5)	6.7-7.4 (1.1)	3-3.2 (0.5)	75-83 (12)	8-9 (1.3)	0 (0.9)	0 (0.9)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Upstream- Prozess	3.3-6.7 (8.6)	2.7-5.4 (6.0)	2.8-6.5 (4.3)	40-72 (69)	4.2-8.8 (8.7)	1.1-9.8 (3.8)	0.4-3.4 (5)	4.1-4.6 (5)	18-23 (21)	0.6-1.4 (2.6)

1) Durchschnittswerte der untersuchten Länder

2) Werte für besondere Verkehrssituationen in Deutschland, an den europäischen Durchschnittswert angepasst.

Tabelle S-2: Grenzkosten nach Kostenkategorie und Verkehrsmittel (die Streubreiten beziehen sich auf unterschiedliche Fahrzeugkategorien (Benzin, Diesel, Elektro) und Verkehrssituationen (Stadt- / Fernverkehr). Bei den Klammerwerten handelt es sich um Durchschnittswerte wie in den Abbildungen S-2 und S-3.

Die Grenzkosten spannen gelten für unterschiedliche Verkehrssituationen. So sind die Grenzkosten im Stadtverkehr z.B. wesentlich höher als im Fernverkehr. Die Straßenpersonenverkehrskosten belaufen sich pro 1'000 Pkm auf 113 Euro gegenüber

34 Euro im Fernverkehr. Für Schwerlasten belaufen sich die Kosten pro 1'000 tkm auf 91.5 Euro (Stadtverkehr) bzw. 40 Euro (Fernverkehr).

Aus dem Vergleich Grenzkosten und Durchschnittskosten lassen sich die folgenden allgemeinen Schlussfolgerungen ableiten:

- *Unfälle*: Die Zahlen basieren auf der Annahme, dass durchschnittliche Grenzkosten und Durchschnittskosten gleich hoch sind. Die Wertspanne ergibt sich aus den Unterschieden zwischen den einzelnen Ländern. Die Werte für einen Pkw im Stadtverkehr sind rund 4 bis 5 mal höher als auf der Autobahn und bis zu 1,5 mal höher als für Landstraßen.
- *Lärm*: Die Durchschnittskosten liegen weit über den Grenzkosten, da die Zusatzkosten bei Mehrverkehr sinken. Der hohe nächtliche Lärmpegel wurde allerdings nicht in die Grenzkosten einbezogen. Die nächtlichen Werte sind doppelt so hoch wie die Tageswerte.
- *Luftverschmutzung*: Die Durchschnittskosten entsprechen grundsätzlich den Grenzkosten. Es werden konstante Dosis-Wirkungs-Beziehungen zugrundegelegt. Allerdings wurden die Kosten nach unterschiedlichen Methoden bewertet. Ein vollständiger Vergleich ist daher unmöglich. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Fahrzeugkategorien sind außerdem sehr groß. So verursacht z.B. ein Euro-3-Wagen im Stadtverkehr ca. 4 mal weniger Kosten als ein heutiger Durchschnittswagen. Dieselloks verursachen 7 - 10 mal mehr Kosten als E-Loks.
- *Klimaveränderung*: Die Durchschnittskosten entsprechen den Grenzkosten. Die Wertspanne ergibt sich aus den unterschiedlichen Fahrzeugkategorien. Die Pkm-Grenzkosten von Benzinautos sind im Stadtverkehr z.B. rund 30% höher als im Fernverkehr. Dieselloks verursachen fast das Doppelte der Klimaveränderungskosten von E-Loks.
- *Natur und Landschaft*: Die Durchschnittskosten nähern sich (langfristig) den Grenzkosten. Kurzfristig fallen jedoch keine Grenzkosten an, da die Kosten infrastrukturbezogen und für den volkswirtschaftlichen Grenzkostenansatz damit unerheblich sind.
- *Städtische Effekte*: Hier sind nur die Zerschneidungs-Grenzkosten relevant, da sie mit dem Verkehrsaufkommen steigen und daher über dem Durchschnitt liegen. Außerdem handelt es sich bei den Durchschnittskosten in Tabelle S-2 um nationale Durchschnittswerte, während die Grenzkosten mit bestimmten städtischen Verkehrssituationen in Zusammenhang stehen.
- *Upstream-Effekte*: Die kurzfristige Grenzkosten ergeben sich nur aus der Energieproduktion, d.h. Treibstoffherstellung, Treibstofftransport und Treibstofflagerung². Sie liegen daher unter den Durchschnittskosten, die auch die fahrzeug- und infrastrukturbezogenen Prozesse einbeziehen.

Sämtliche Grenzkosten spiegeln reale Verkehrssituationen wider. Um daraus optimale Preise bzw. Transportentgelte abzuleiten, müssen auch die Reaktionen der Verkehrsnutzer auf Preisänderungen berücksichtigt werden. Dazu sollten allgemeine

² Die Emissionen der Elektrizitätserzeugung (hauptsächlich für die Bahnen) werden der Luftverschmutzung und Klimaveränderung zugeordnet

Optimierungsmodell Anwendungen verwendet werden. Damit liegen die optimalen Preise im allgemeinen etwas unter den hier dargestellten Werten.³

Durchschnittskosten können als ungefähre Grenzkostenwerte für durchschnittliche Verkehrssituationen verwendet werden.

4 Staukosten

Die **Gesamtstaukosten** werden nach der ökonomischen Wohlfahrtstheorie als Kosten definiert, die durch die ineffiziente Nutzung der vorhandenen Infrastruktur entstehen. Angesichts der Definition des Straßenverkehrsstaues und der drei unterschiedlichen Ansätze, die zugrundegelegt wurden, werden die Staukosten in dieser Studie getrennt behandelt.

Für die EUR-17 Länder wurden die Gesamt- und Durchschnittsstraßenstaukosten, die erwarteten Einnahmen aus ihrer Internalisierung über optimale Staupreise sowie eine "Engineering"-Messung der Zusatzzeitkosten anhand einer ausgedehnten Netzanalyse für 1995 geschätzt. Gemäss ökonomischer Wohlfahrtstheorie treten externe Staukosten per definitionem nur bei Verkehrsträgern auf, bei denen die einzelnen Verkehrsnutzer selbst über die Infrastrukturnutzung entscheiden. Schienen- und Luftverkehr sind daher von dieser Art Stau nicht betroffen.

In der folgenden Abbildung werden die drei staubezogenen Messungen verglichen.

³ Diese Anwendungen erfolgen zur Zeit im Rahmen laufender EU-Forschungsprojekte (z.B. TRENEN).

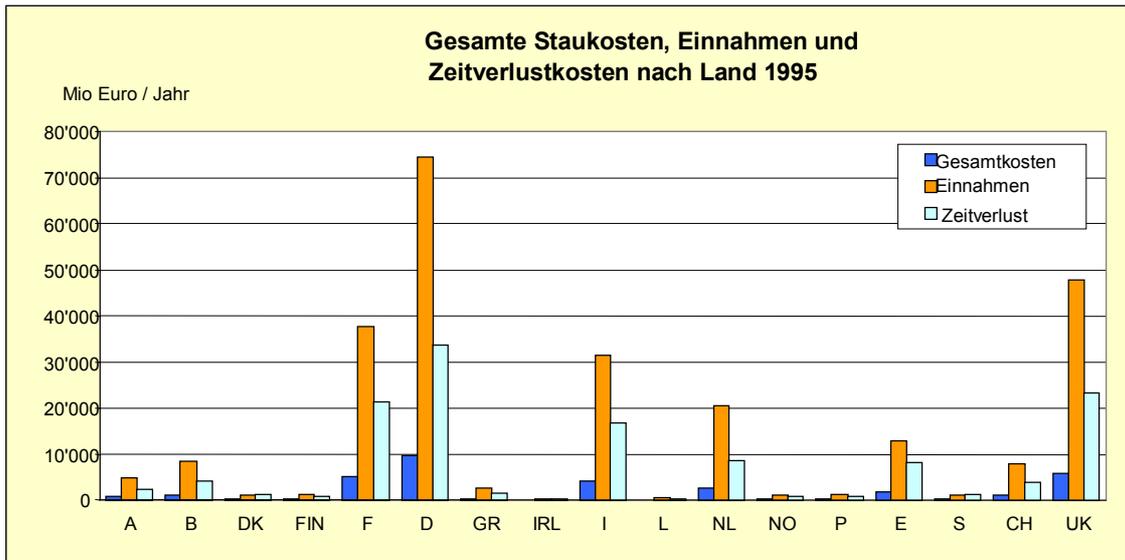


Abbildung S-4: Staukosten: Ergebnisse nach Land für 1995 (in Mia Euro 1995)

- Gesamtkosten: Nutzenverluste (Rückgang der Konsumentenrente) für Straßenbenutzer im Vergleich zu optimaler Staupreisbildung
- Einnahmen: Einnahmen aus optimalen Staupreisen,
- Zeitverlust- und Betriebskosten im Vergleich zu einer Verkehrssituation ohne Stau (besserer ‚Level of Service‘).

Basierend auf den Nutzenverlusten werden die externen Kosten des Straßenverkehrsstaus auf rund 33,3 Milliarden Euro für 1995 geschätzt. Das entspricht einem Anteil von 0,5% am europäischen BIP. Die Straßenstaukosten sind in Europa nicht gleichmäßig verteilt. Erwartungsgemäß entfällt der weitaus größte Anteil der Straßenstaukosten in den EUR-17-Ländern auf die großen Industrieländer entlang der „Blue Banana“ (UK, Frankreich, Deutschland und Norditalien).

Eine grobe Schätzung zeigt, dass im Personenverkehr 70% bis 80% der gesamten Staukosten und Einnahmen aus dem Nahverkehr, der Rest aus dem Fernverkehr resultieren. Im Güterverkehr ist der Anteil des Nahverkehrs in den EUR-17-Ländern mit ca. 25% und 45% wesentlich geringer.

Die Verkehrsprognosen bis 2010 deuten auf einen drastischen Anstieg der gesamten Staukosten hin: 142%, das sind 80,2 Milliarden Euro jährlich. Der Stau auf dem Straßenfernverkehrsnetz wird voraussichtlich um 124%, auf dem Straßennahverkehrsnetz um 188% steigen. Diese Schätzwerte gehen allerdings davon aus, dass sich die Straßeninfrastruktur nicht verändert, was für die meisten großen Engpässe des europäischen Straßennetzes jedoch sehr wahrscheinlich nicht zutrifft.

Die beiden anderen Ansätze zeigen folgende Ergebnisse für 1995:

- Die Einnahmen aus einer optimalen Staupreisbildung belaufen sich auf 254 Milliarden Euro (3,7% des BIP).
- Die Zeitverlustkosten belaufen sich auf 128 Milliarden Euro (1,9% des BIP).

Unter **Externen Staugrenzkosten** pro Fahrzeugkilometer ist der Unterschied zwischen den von einem Nutzer im Gesamtsystem verursachten volkswirtschaftlichen Grenzkosten und den von ihm individuell getragenen Kosten zu verstehen. Sie werden mit Hilfe von Geschwindigkeitsflussdiagrammen berechnet und nach Straßenkategorie in Abhängigkeit von der Fahrbahnbelegung dargestellt. Nachstehende Tabelle enthält die wichtigsten Werte.

Stau-Grenzkosten (Euro / 1000 km)	Grenzkosten pro Pkm			Grenzkosten pro Pkm		
	SRMC	Entgelt	Ø DWL	SRMC	Entgelt	Ø DWL
Pkw auf Autobahn						
- flüssiger Verkehr	11	11	0'	6	6	0
- dichter Verkehr	1'980	1'000	78	1'040	529	41
- Stau	2'030	1'480	195	1'070	778	102
Pkw auf Landstraße						
- flüssiger Verkehr	37	37	0	20	20	0
- dichter Verkehr	1'250	803	2	660	423	1
- Stau	1'950	1'690	28	1'030	888	15
Pkw im Stadtgebiet						
- flüssiger Verkehr	26	26	0	19	19	0
- dichter Verkehr	2'710	1'590	60	1'900	1'140	43
- Stau	3'100	2'210	179	2'210	1'580	128

Tabelle S-3: Kurzfristige externe Grenzkosten (SRMC = short-run marginal external costs), optimale Nutzerentgelte und durchschnittlicher Verlust an Konsumentenrente (DWL = dead weight loss) beim Straßenstau für Pkws.

5 Korridorschätzungen

Mit unseren Korridorschätzungen wollen wir anhand von Beispielen die Größenordnung der kurzfristigen Grenzkosten in besonderen Verkehrssituationen aufzeigen, um so verschiedene Personen- und Güterverkehrsalternativen miteinander zu vergleichen. Dafür wurden vier grenzüberschreitende europäische Korridore ausgewählt, zwei für den Personenverkehr (Große Entfernung: Paris-Wien, kleine Entfernung: Paris-Brüssel), zwei für den Güterverkehr (multimodaler Verkehr: Alpenkorridor Köln-Mailand, unimodaler Hafenhinterlandverkehr: Rotterdam-Basel). Für jeden Korridor wurden drei Verkehrsträger (Straße, Schiene und eine multimodale Alternative) mit korridorspezifischem Rollmaterial und Auslastungskoeffizienten ausgewählt. Für die intermodalen Verkehrsalternativen (Personenluftverkehr, kombinierter Schiene-/Straßenverkehr) wurden alle beteiligten Verkehrsträger berücksichtigt (z.B. auch Terminal- und Flughafenzubringerverkehre auf der Straße).

Auch hier werden die Unfall-, Umwelt- und sonstigen externen Verkehrskosten einerseits sowie die externen Staugrenzkosten und Straßennutzungsentgelte andererseits in den Kostenschätzungen getrennt dargestellt. Da nur kurzfristige Grenzkosten untersucht werden, wurden die infrastrukturbezogenen Kosten (wie z.B. Natur und Landschaft, ein Großteil der Upstream-Effekte) vernachlässigt. Die Grenzkostenberechnungen basieren auf einer differenzierten Erfassung der Straßen- und Bahnreiserouten und berücksichtigen lokale Merkmale wie Raumnutzungsart, Bevölkerungsdichte, Infrastrukturtyp und Verkehrsbedingungen. Die Ergebnisse der einzelnen Korridore werden in Euro pro Pkm/tkm dargestellt, um die unterschiedlichen Routenlängen und die unterschiedlichen Fahrzeuge der intermodalen Verkehrskette zu berücksichtigen (siehe Abb. S-5 für Unfall- und Umweltkosten).

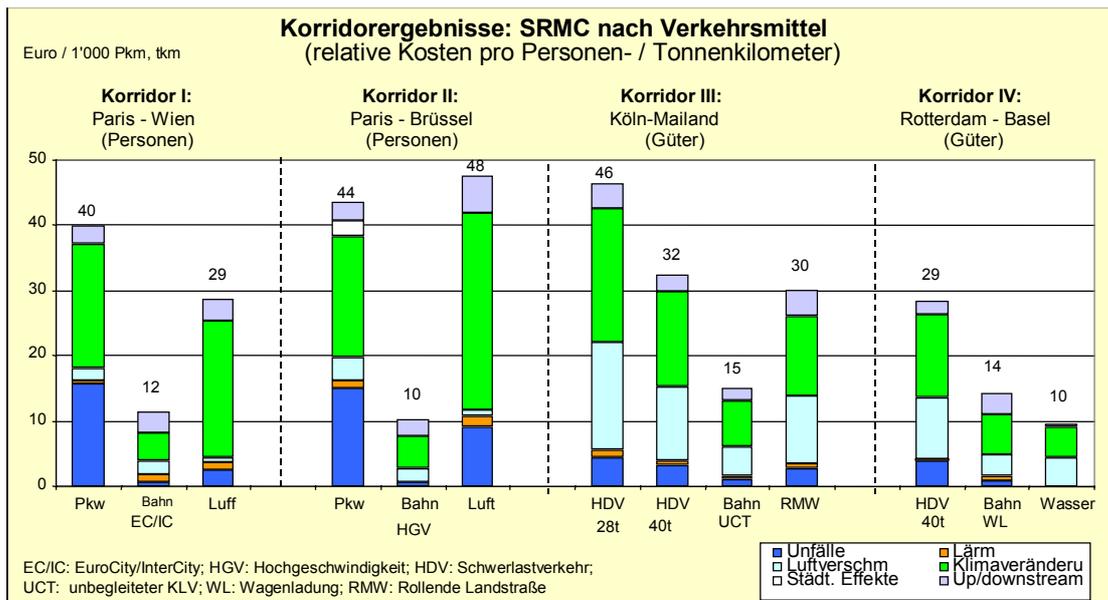


Abbildung S-5: Kostenergebnisse: Unfall- und Umweltkosten verschiedener Verkehrsmittel
(SRMC: Kurzfristige Grenzkosten)

Aus dem Vergleich der Korridorergebnisse mit den Durchschnittskosten im Personen- und Güterverkehr (Abb. S-2 und S-3) lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Für alle unimodalen Verkehrsalternativen (Personen- und Güterverkehr) liegen die kurzfristigen Grenzkosten um 40-60% unter den Durchschnittskosten. Das ist vor allem auf drei Faktoren zurückzuführen:
 - regressive Kostenfunktion der Lärmemissionen,
 - Vernachlässigung der langfristigen Kostenelemente
 - relativ hohe Straßenverkehrssicherheit in den untersuchten Ländern.
- Die CO₂-Grenzkosten nehmen allerdings mit zunehmender Verkehrsmenge nicht ab. Im Gegensatz zu den Durchschnittskosten dominieren sie alle anderen Kostenkomponenten, da die CO₂-Emissionen von der Fahrzeugtechnologie nicht beeinflusst werden und ihre Bewertung räumlich unabhängig ist.
- Aufgrund der vergleichsweise hohen externen Straßenverkehrskosten schneiden die intermodalen Beförderungs- bzw. Transportalternativen Flugzeug (Personen) und Rollende Landstraße im Vergleich zum reinen Schienenverkehr eher ungünstig ab. Ihre externen Kosten ähneln denen des reinen Straßenverkehrs.
- Im Güter- und im fahrplanmäßigen Personenverkehr können die Auslastungskoeffizienten sehr unterschiedlich sein, weshalb die durchschnittlichen Grenzkosten pro Personen- bzw. Tonnenkilometer mit einem großen Unsicherheitsgrad behaftet sind.

Die externen Staugrenzkosten im Straßenpersonen- und Passagierluftverkehr (vor allem bezogen auf die Spitzenstunden) dominieren eindeutig die Umweltexternalitäten in Abbildung S-5. Während die Staukosten auf dem Fernverkehrskorridor Paris-Wien rund zweimal höher sind, weist die Mittelstreckenroute Paris-Brüssel (Korridor II) mit ihrem hohen Anteil an Stadtstraßen ein Verhältnis von 6 für die Straße und 4,7 für den Luftverkehr auf.

6 Streubreiten der Ergebnisse

Die Ergebnisse reagieren auf einige Annahmen sehr sensitiv. Die wichtigsten Parameter sind hier die Bewertung von Menschenleben (relevant für die Unfall- und Gesundheitskosten), der Schwellenwert für Ruhe 55 dB(A), die Bewertungsverfahren für die Luftverschmutzungskosten (insbesondere Sach- und Biosphäreschäden) sowie die Kostensätze für die Klimaveränderung. Im Vergleich zur früheren Studie (IWW/INFRAS 1995) kann man aber davon ausgehen, dass diese Unsicherheitsspanne aufgrund zuverlässigerer Daten und eingehenderer Kenntnis der Kostenkomponenten abgenommen hat.

Allerdings darf man nicht vergessen, dass die Sensitivitätsspannen nach beiden Seiten schwanken, die Kosten also sowohl höher als auch niedriger sein können. Die Sensitivitäten können sich außerdem gegenseitig ausgleichen. Damit kann die Unsicherheitspanne in ihrer Gesamtheit sogar niedriger sein als die Unsicherheitspanne für die einzelnen Kostenkomponenten. Deshalb können wir davon ausgehen, dass die dieser Studie zugrundeliegenden Hypothesen einen ‚best guess‘ darstellen und die Ergebnisse weder systematisch unter- noch überschätzt wor.

7 Schlussbemerkungen

Europaweite externe Kostenschätzungen sind mit etlichen Schwierigkeiten verbunden. Zunächst einmal braucht man eine für alle Länder und Verkehrsträger vergleichbare, zuverlässige Datenbank. Zweitens sind aussagekräftige Dosis-Wirkungs-Funktionen und Bewertungsgrundsätze für unterschiedliche Kostenkategorien notwendig, um vertretbare Ergebnisse zu erzielen. Obwohl sich die Situation im Vergleich zu früheren Studien erheblich verbessert hat, ist es weiterhin wichtig, auf die richtige Interpretation der Ergebnisse zu achten.

Dominant sind die Beziehungen zwischen den verschiedenen Verkehrsträgern. Trotz mehrerer Unsicherheiten bleiben die Beziehungen stabil und geben den Grad der spezifischen externen Kosten an. Im Personenverkehr ist die Bahn weiterhin der Verkehrsträger mit den niedrigsten externen Kosten. Im Güterverkehr sind die Ergebnisse von Schienenverkehr und Binnenschifffahrt beinahe identisch.

Der Vergleich zeigt auch die Bedeutung der verschiedenen Kostenkategorien. Dabei bleiben die besser bekannten Externalitäten (Unfälle, Lärm) relativ unverändert, was nicht weiter überraschend ist, während Risiken wie Luftverschmutzung und Klimaveränderung höhere Kosten verursachen. Die naturwissenschaftliche Erforschung der Emissionsdaten und die Kostenschätzungen haben sich in den letzten Jahren in diesen Bereichen erheblich verbessert. Das gilt insbesondere für die durch die Luftverschmutzung verursachten Gesundheitskosten und für die künftigen Klimaveränderungskosten, bei denen es sich um verhältnismäßig neue Forschungsfelder handelt.

Die Tendenz deutet darauf hin, dass die Gesamt- und die Durchschnittskosten trotz höherer Produktivität und besserer Technologie sehr wahrscheinlich steigen. Dies mag zwar auf den ersten Blick überraschen, hat jedoch drei Gründe: Erstens wird das Verkehrswachstum weiterhin zunehmen und damit in vielen Räumen die Umwelt stärker belasten. Zweitens wird die Zahlungsbereitschaft (für den Umweltschutz) mit zunehmendem Einkommen steigen und zu höheren Kostensätzen führen. Die Richtung ist klar, wenn es auch im einzelnen schwierig sein wird, das Ausmaß zu bestimmen. Drittens dürfen wir nicht vergessen, dass die Produktivität künftig bei allen Verkehrsträgern, wenn auch in unterschiedliche Richtungen, ansteigen wird. Dabei können einige spezifische Effekte die positiven Auswirkungen zunichte machen. So können z.B. zunehmende Motorisierung und neue (bzw. individuellere Freizeittransportmittel) im Personenverkehr einen Rückgang der Auslastungsgrade und damit höhere Durchschnittskosten zur Folge haben. Im Güterverkehr sind mit fortschreitender Globalisierung ähnliche Effekte ebenfalls nicht auszuschließen.

In diesem Bericht werden Durchschnitts- und Grenzkosten miteinander verglichen. Die Grenzkostendefinition spielt bei diesem Vergleich eine entscheidende Rolle. Während es auf der Hand liegt, dass Grenz- und Durchschnittskosten für Stau und Lärm unterschiedlich sind, weil Mengenreaktion und Kostenfunktionen nicht linear sind, lassen sich für die anderen Kostenkomponenten keine derartigen Schlussfolgerungen ziehen. Der Vergleich zwischen Grenz- und Durchschnittskosten hat aber auch zwei weitere Elemente sichtbar gemacht. Zunächst einmal lassen sich mit dem Grenzkostenansatz - der in erster Linie ein Bottom-up-Ansatz ist - differenzierte Ergebnisse für verschiedene Fahrzeugarten und verschiedene Verkehrssituationen erzielen, was die Kostenspanne verdeutlicht. Zweitens ermöglicht er eine Unterscheidung zwischen den kurzfristigen Auswirkungen (die direkt mit den Verkehrsmengen in Zusammenhang stehen) und den langfristigen Auswirkungen (bei denen auch Produktions- und Lebenszyklen berücksichtigt werden). Das trifft vor allem für Natur und Landschaft sowie die Up- und Downstream-Prozesse zu.

Die Ergebnisse sind unbedingt in ihrem Gesamtzusammenhang zu lesen, zu verstehen und zu interpretieren. Die hier gemachten allgemeinen Aussagen sind recht zuverlässig und dürften zu einer wichtigen Grundlage für künftige Kostenschätzungen und politische Maßnahmen (besonders im Bereich der Preisbildung) beitragen. Allerdings darf man dabei nicht vergessen, dass die aggregierten Ergebnisse sehr viel aussagekräftiger als die detaillierten Ergebnisse (z.B. für bestimmte Länder bzw. Verkehrssituationen) sind, da sich diese Werte aus konsolidierten Ergebnissen ableiten. Je detaillierter deshalb die Ergebnisse sind, umso mehr sollten sie als Beispiele betrachtet werden.

Die Studie hat die Stärken und Schwächen externer Kostenschätzungen aufgezeigt, was für künftige Studien sicher nützlich ist. Unserer Ansicht nach sollte man sich mit folgenden Kernfragen noch eingehender befassen:

- **Nationale Rechnungen und Grenzkosten für verschiedene Verkehrssituationen:** Diese beiden Resultate geben Aufschluß über den Zweck der Schätzung, während der Ansatz recht unterschiedlich ist. Während nämlich das erste national als statistische und strategische Information verwendet werden kann, ist das zweite direkt für Preisbildungsfragen relevant. Die Vergleichbarkeit der Ansätze müsste verbessert werden. Es bedarf weiterer Informationen über den Verlauf der Kostenkurven und ihrer Einflussfaktoren.
- **Risikowerte:** Da Risikowerte (z.B. Gesundheitsrisiken, Klimarisiken, Sicherheitsrisiken) die kritischsten Annahmen bei der externen Kostenschätzung sind,

braucht man für ihre Definition eine ganze Menge zuverlässiger Grundlagen, einschließlich politischer und gesellschaftlicher Risikodiskussionen.

- **Luftverschmutzungskosten:** Im Bereich der Partikel sind noch bessere Forschungsgrundlagen (Modellierung, Relevanz der einzelnen Partikel) erforderlich, um die Gesundheitskosten bewerten zu können. Die anderen Kostenelemente (insbesondere Gebäude-, Biosphäreschäden) müssen durch präzisere Dosis-Wirkungs-Beziehungen besser bestimmt werden.
- **Kosten des Klimaveränderungsrisikos:** Die Zielwertdiskussion muss sowohl wissenschaftlich als auch politisch interpretiert werden, da sie das Hauptelement für die Kostenunsicherheiten darstellt.
- **Stau:** Obwohl es genug Grundlagen gibt, um die Staugrenzkosten zu bewerten, ist die Relevanz der gesamten (externen) Staukosten im Vergleich zu den übrigen Kosten immer noch nicht endgültig bestimmt.
- **Sonstige externe Kosten:** Upstream-Effekte werden in einigen Fällen vor allem für die Treibstoffherzeugung sowie die Produktion der von E-Loks verbrauchten Energie betrachtet. Weitere Elemente (wie z.B. der Energieverbrauch bei der Fahrzeugherstellung) werden nicht berücksichtigt, da es an wissenschaftlich belegten Daten fehlt. Obwohl die Relevanz dieser Kosten im Vergleich zu den Hauptkostenkategorien relativ begrenzt ist, sollten sie in Zukunft trotzdem präziser bestimmt werden, um die Lebenszykluskosten besser abschätzen zu können.