

# Quantifizierung der sozialen Grenzkosten des Straßenverkehrs: Welches sind die wichtigsten Komponenten?\*

von Chris Nash, Jeremy Shires und Heike Link

**Zusammenfassung:** Die Diskussion um eine nachhaltige Entwicklung stellt auch die Verantwortlichen im Verkehrssektor vor die Aufgabe, Nachhaltigkeitsaspekte, insbesondere den Beitrag des Verkehrs zum Ausstoß von Klimagasen, bei ihren Entscheidungen zu berücksichtigen. Die Spezifik des Verkehrssektors besteht jedoch darin, dass die Kosten des Klimawandels nur einen Teil der durch den Verkehr verursachten externen Kosten ausmachen. Deshalb können Entscheidungen zur Gestaltung der Verkehrssysteme nicht allein im Rahmen von klimapolitischen Strategien getroffen werden. Davon ausgehend diskutiert dieser Beitrag den Stand der Forschung zur Quantifizierung der sozialen Grenzkosten des Verkehrs und stellt die Ergebnisse zweier Fallstudien vor. Diese zeigen, dass insbesondere in den Spitzenzeiten die Staugrenzkosten die quantitativ dominante Kategorie der externen Kosten des Straßenverkehrs werden, und dass auch die durch Unfälle, Infrastrukturabnutzung und Lärm verursachten Grenzkosten quantitativ bedeutsamer als die mit Klimaveränderungen einhergehenden Grenzkosten sind. Dies verdeutlicht, dass Maßnahmen zur Verminderung der Kosten des Klimawandels, so unbestreitbar wichtig sie auch sind, nicht die alleinige Priorität für eine nachhaltige Verkehrspolitik haben sollten. Vielmehr erfordert die Bedeutung der anderen Kostenkategorien wie Stau, Unfälle und Lärm eine adäquate Berücksichtigung in preis- und investitionspolitischen Entscheidungen der Verkehrspolitik.

**Summary:** The current concern with sustainability rightly requires those involved with transport to consider carefully the sustainability of the transport sector, and in particular its contribution to greenhouse gas emissions. However, it is important to remember that greenhouse gases are just one of the costs of transport systems, and it makes no sense therefore to take decisions about transport systems based on the impact on greenhouse gas emissions alone. Against this background, the paper discusses the state of research in estimating marginal external costs of road transport and presents the results of two case studies. These suggest that under peak traffic conditions congestion costs are by far the most important externalities of road use. Accidents, wear and tear and noise costs all appear to be more important than global warming. These results stress that reducing global warming costs, important though they are, should not be the sole priority of transport decisions. Our results suggest that other costs are also very important and need to be taken into account in pricing and investment decisions.

\* Die in diesem Beitrag vorgestellten Ergebnisse basieren in hohem Maße auf Forschungsergebnissen des Projekts GRACE (Generalization of Research on Accounts and Cost Estimation, Vertrag: FP6-006222 innerhalb des 6. Rahmenprogramms, Priorität nachhaltiger Verkehr, Call Identifier: FP6-2003-TREN-2). Wir bedanken uns bei der Europäischen Kommission für die Finanzierung des Projekts und bei unseren Projektpartnern für ihre Beiträge im Projekt. Unser besonderer Dank gilt ISIS (Rom), wo das in diesem Beitrag vorgestellte Softwaretool entwickelt wurde. Selbstverständlich tragen wir allein die Verantwortung für den Inhalt dieses Beitrags.

JEL Classifications: H23, Q51, R41

Keywords: Environmental taxes and subsidies, safety and accidents, transportation noise

## 1 Einleitung

Die Diskussion um eine nachhaltige Entwicklung stellt auch die Verantwortlichen im Verkehrssektor vor die Aufgabe, Nachhaltigkeitsaspekte, insbesondere den Beitrag des Verkehrs zum Ausstoß von Klimagasen, in ihren Entscheidungen zu berücksichtigen. Die Notwendigkeit zur Reduktion von Klimagasen in allen Wirtschaftsbereichen wird durch zahlreiche Studien belegt (vergleiche zum Beispiel Stern 2006). Die Spezifik des Verkehrssektors besteht jedoch darin, dass die Kosten des Klimawandels nur einen Teil der durch den Verkehr verursachten externen Kosten ausmachen. Deshalb können Entscheidungen zur Gestaltung der Verkehrssysteme nicht allein im Rahmen von klimapolitischen Strategien getroffen werden. Eine ökonomisch effiziente Strategie zur Emissionsreduktion im Verkehrssektor besteht vielmehr darin, basierend auf den Grenzkosten zur Erreichung des gewünschten Reduktionsziels einen angemessenen Schattenpreis für die Emission von Klimagasen zu ermitteln und diesen Preis gemeinsam mit den anderen Kostenkategorien des Verkehrs im Entscheidungsprozess zu berücksichtigen.

Die Entwicklung und Erprobung methodischer Ansätze zur Quantifizierung und Bewertung der sozialen Kosten des Verkehrs war Gegenstand zahlreicher, von der Europäischen Kommission geförderter Forschungsprojekte. Dabei wurde die Problematik sowohl im Kontext von Kosten-Nutzen-Analysen für Verkehrsinvestitionen (HEATCO-Projekt) als auch im Kontext der Erhebung von Infrastrukturbenutzungsgebühren (zum Beispiel RECORDIT, ExternE, MC-ICAM, UNITE, GRACE, CATRIN)<sup>1</sup> untersucht. Insbesondere die Ergebnisse des GRACE-Projekts mündeten in ein Softwaretool, das zur Berechnung der kurzfristigen sozialen Grenzkosten des Verkehrs für verschiedene Verkehrsträger, Fahrzeugkategorien und verschiedene räumliche Einheiten, insbesondere zur Bestimmung von Infrastrukturbenutzungsgebühren angewendet werden kann.

Der vorliegende Beitrag gibt zunächst einen Überblick über die methodischen Ansätze zur Quantifizierung der sozialen Grenzkosten des Straßenverkehrs und stellt aktuelle quantitative Ergebnisse für die Kategorien Betrieb und Unterhaltung der Verkehrsinfrastruktur, Stau, Lärm, Luftverschmutzung und Klimaschäden vor. Es folgt eine Demonstration des Softwaretools zur Schätzung dieser Kosten für verschiedene Fahrzeugkategorien des Straßenverkehrs im Stadtgebiet von London und für den Fernverkehrskorridor Rotterdam–Mailand. Der Beitrag schließt mit einer Diskussion der Relationen zwischen den einzelnen Kostenarten und leitet daraus Prioritäten für politische Maßnahmen zur Reform des Steuer- und Gebührensystems im Straßenverkehr ab.

## 2 Methodische Ansätze zur Quantifizierung der sozialen Kosten der Infrastrukturbenutzung im Straßenverkehr

Seit den 90er Jahren haben sich zahlreiche Studien (zum Beispiel Infrast und IWW 1999 und 2000, Planco 1990, Huckestein und Verron 1996) mit der Quantifizierung der externen Kosten des Verkehrs sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene beschäftigt. Diesen frühen Studien ist gemeinsam, dass die Berechnung der externen Kosten auf Vollkostenbasis erfolgt (Durchschnittskostenprinzip). Ihr verkehrspolitischer Wert besteht

<sup>1</sup> Siehe hierzu: <http://recordit.org>; <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de>; [www.externe.info](http://www.externe.info); [www.its.leeds.ac.uk/projects/mcicam/index.html](http://www.its.leeds.ac.uk/projects/mcicam/index.html); [www.its.leeds.ac.uk/projects/unite](http://www.its.leeds.ac.uk/projects/unite); [www.grace-eu.int](http://www.grace-eu.int); [www.catrinn-eu.org](http://www.catrinn-eu.org)

darin, Informationen zur Höhe der externen Kosten eines gegebenen Jahres bereitzustellen beziehungsweise ein Monitoring ihrer Entwicklung über eine bestimmte Zeitperiode hinweg zu ermöglichen. Als Durchschnittskostenstudien können sie jedoch keine ausreichenden Grundlagen für preispolitische Strategien liefern, da die ökonomisch effiziente Preisbildung für die Benutzung der Verkehrsinfrastruktur und die Inanspruchnahme von Verkehrsdienstleistungen auf den kurzfristigen sozialen Grenzkosten basiert. Eine Reform der bestehenden Preis- und Steuersysteme im Verkehr erfordert daher quantitative Grundlagen zu den externen Grenzkosten des Verkehrs.

Da in der Vergangenheit „echte“ Grenzkostenschätzungen nicht verfügbar waren, wurden die vorhandenen Vollkostenschätzungen durch die Verkehrsmengen dividiert und die sich daraus ergebenden Durchschnittskosten als Näherungswerte für die Grenzkosten verwendet. In den letzten Jahren haben jedoch zahlreiche, durch die EU-Kommission finanzierte Forschungsprojekte wie zum Beispiel UNITE, HEATCO, GRACE und CATRIN methodische Ansätze zur Schätzung der sozialen Grenzkosten erarbeitet.

## 2.1 Grenzkosten für Betrieb, Unterhaltung und Erneuerung der Infrastruktur

Der für die Ableitung optimaler Preise relevante Ansatz der kurzfristigen Grenzkosten umfasst in Bezug auf die Infrastruktur die Kosten der Unterhaltung, Erneuerung und des Betriebs der Verkehrsinfrastruktur. Hingegen werden die Kosten für den Bau und die Erweiterung der Infrastruktur nicht berücksichtigt.

Traditionell wurden Infrastrukturgrenzkosten im Rahmen von Kostenallokationsverfahren geschätzt, die in vielen Fällen auf ingenieurwissenschaftlichen Zusammenhängen basieren. So wurden beispielsweise die Kosten für die Unterhaltung und Erneuerung von Straßen quantifiziert, indem für jede Kostenkategorie (zum Beispiel die Erneuerung von Straßendecken) zunächst die relevanten Indikatoren (zum Beispiel Fahrzeugkilometer, Standardachskilometer<sup>2</sup>) aufgrund von Experteneinschätzungen definiert wurden. Die einzelnen Kostenkategorien wurden im Anschluss daran den Fahrzeugkategorien auf der Basis dieser Indikatoren zugeordnet. Dieses Herangehen beruht jedoch in hohem Maße auf Experteneinschätzungen und hat zudem den Nachteil, dass die Existenz von Economies oder Diseconomies of Scale in den entsprechenden Aktivitäten nicht berücksichtigt werden kann.

Die in jüngster Zeit angewendeten ökonometrischen Methoden zur Schätzung des Zusammenhangs zwischen den Ausgaben für die Unterhaltung, Erneuerung und den Betrieb von Verkehrsinfrastruktur einerseits und der Verkehrsbelastung andererseits ermöglichen eine Objektivierung der Schätzung. Ökonometrische Ansätze sind jedoch nicht in der Lage, die Wirkungen einzelner Fahrzeugkategorien auf die Kosten der Verkehrsinfrastruktur abzubilden, und müssen daher um ingenieurwissenschaftliche Ansätze ergänzt werden. Es ist außerdem zu beachten, dass ökonometrische Studien auf den beobachteten Ausgaben basieren, das heißt Zyklen von vernachlässigter Unterhaltung ebenso wie Perioden eines zu hohen beziehungsweise ineffizienten Mitteleinsatzes reflektieren und von daher zu unter- oder auch überschätzten Grenzkosten führen können. Neben den auf der neoklas-

<sup>2</sup> Standardachskilometer stellen ein Maß für die Beanspruchung der Infrastruktur dar, das die Anzahl und das Gewicht der Achsen kombiniert.

Tabelle 1

## Überblick über Grenzkostenstudien für die Straßeninfrastruktur – Schätzergebnisse für die Kostenelastizität

Studie	Land	Straßenkategorie	Art der Studie	Kostenelastizität <sup>1</sup>
<b>Ausgaben für die Erneuerung</b>				
Lindberg 2002	Schweden	Alle Straßen	Duration-Ansatz	0,1...0,8
Link 2006	Deutschland	Autobahnen	Ökonometrische Schätzung	0,87
Bak 2006	Polen	Nationale Straßen	Ökonometrische Schätzung	0,57
Haraldsson 2006	Schweden	Befestigte Straßen	Ökonometrische Schätzung	0,72
		Schotterstraßen	Ökonometrische Schätzung	0,68
<b>Ausgaben für die Erneuerung und laufende Unterhaltung</b>				
Schreyer et al. 2002	Schweiz	Autobahnen und Hauptstraßen	Ökonometrische Schätzung	0,71
Sedlacek et al. 2002	Österreich	Autobahnen	Ökonometrische Schätzung	1,05
Haraldsson 2006	Schweden	Befestigte Straßen	Ökonometrische Schätzung	0,58
Bak et al. 2006	Polen	Nationale Straßen	Ökonometrische Schätzung	0,48
<b>Ausgaben für die laufende Unterhaltung</b>				
Schreyer et al. 2002	Schweiz	Autobahnen and Hauptstraßen	Ökonometrische Schätzung	0,69
Bak et al. 2006	Polen	Nationale Straßen	Ökonometrische Schätzung	0,12
Jonsson und Haraldsson 2008	Schweden	Alle Straßen	Ökonometrische Schätzung	0,39
Link 2009	Deutschland	Autobahnen	Ökonometrische Schätzung	0,47
<b>Ausgaben für den Betrieb</b>				
Haraldsson 2006	Schweden	Befestigte Straßen	Ökonometrische Schätzung	0,03
Haraldsson 2006	Schweden	Schotterstraßen	Ökonometrische Schätzung	-0,09

<sup>1</sup> Die Kostenelastizität ist der Quotient aus Grenz- und Durchschnittskosten.

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

sischen Produktions- und Kostentheorie basierenden ökonometrischen Ansätzen wurde in einigen Studien der sogenannte Duration Approach entwickelt und getestet. Dieser Ansatz beschäftigt sich ausschließlich mit den Erneuerungskosten für Straßendecken und basiert auf der Annahme, dass die Länge des Intervalls zwischen zwei Erneuerungen der Straßendecke von der Anzahl der Achsübergänge, die den betreffenden Straßenabschnitt belastet haben, abhängt. Die Veränderung der Lebensdauer der Straßendecke im Verhältnis zu den Veränderungen der Verkehrsbelastung ist die Basis für die Berechnung der Grenzkosten der Straßenerneuerung. Dem Duration Ansatz liegt die Annahme zugrunde, dass eine

bedarfsgerechte Erneuerung der Infrastruktur stattfindet. In Zyklen vernachlässigter Erneuerungen führt der Ansatz zu überhöhten Grenzkosten.

Im Rahmen der EU-Projekte GRACE und CATRIN wurden sowohl ökonometrische Studien als auch Studien auf Basis des Duration-Approachs für die Straßen- und Schieneninfrastruktur erstellt und die Elastizität der einzelnen Kostenelemente im Verhältnis zu verschiedenen Indikatoren der Verkehrsbelastung geschätzt. Die so ermittelte Kostenelastizität als das Verhältnis von Grenzkosten zu Durchschnittskosten hat den Vorteil, dass bei bekannter Höhe der Durchschnittskosten die Grenzkosten ermittelt werden können.

Die meisten Studien für den Straßenverkehr kommen zum Ergebnis, dass die Höhe der Elastizität sinkt, wenn sich die betrachtete Maßnahme von Erneuerungsaktivitäten hin zur laufenden Unterhaltung beziehungsweise zum laufenden Betrieb verändert und damit der Fixkostenanteil steigt (Tabelle 1). Im Durchschnitt beträgt die Kostenelastizität für die Erneuerungskosten 0,5 bis 0,8 beziehungsweise für die laufende Unterhaltung 0,4 bis 0,7, während die Kostenelastizität für die laufenden Betriebsausgaben bei 0 liegt. Dies bedeutet, dass ökonomisch effiziente Preise für den Straßenverkehr ohne die Berücksichtigung von Externalitäten unter den Durchschnittskosten liegen würden.

## 2.2 Staugrenzkosten

Die relevante Ausgangsgröße für die Ableitung preispolitischer Maßnahmen zur effizienten Kapazitätsauslastung und Staureduzierung sind die externen Staugrenzkosten, das heißt die Differenz zwischen sozialen und privaten Grenzkosten. Der bei weitem größte Block der Staugrenzkosten sind die Zeitkosten. Darüber hinaus umfassen die Staugrenzkosten andere externe Kosten wie zum Beispiel den zusätzlichen Kraftstoffverbrauch und die daraus resultierenden Umweltkosten. Die externen Zeitgrenzkosten sind die durch ein zusätzliches Fahrzeug verursachten zusätzlichen Reisezeiten, multipliziert mit dem ökonomischen Wert, den die betroffenen Straßennutzer der Reisezeit beimessen (sogenannter Value of Time – VOT).

Zur Bestimmung der Zeitwertsätze (VOT) existiert inzwischen eine Vielzahl theoretischer und empirischer Studien. Der interessierte Leser sei beispielhaft auf das HEATCO-Projekt hingewiesen, in dem VOT-Schätzungen für alle europäischen Länder durchgeführt wurden. Für die Schätzung der angesprochenen Veränderungen der Reisezeiten durch ein zusätzliches Fahrzeug existieren verschiedene methodische Ansätze. Sie reichen von Geschwindigkeits-Fluss-Diagrammen, aggregierten Approximationen wie Geschwindigkeits-Fluss-Diagrammen für eine größere räumliche Einheit über Warteschlangenmodelle bis hin zu Simulationsmodellen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine optimale Stauggebühr für die optimale Verkehrsmenge zu bestimmen ist und diese Gebühr von daher aufgrund von Anpassungen der Verkehrsnachfrage unter den gegenwärtigen externen Staugrenzkosten liegen wird. Dies impliziert die Notwendigkeit, die Nachfrageelastizität des Straßenverkehrs zu bestimmen.

Für preispolitische Maßnahmen sind ausschließlich die Kosten relevant, die ein zusätzlicher Straßennutzer bei anderen Nutzern ebenso wie in Bereichen außerhalb des Systems Straße verursacht. Hingegen ist der Umfang des selbst erlittenen Zeitverlusts im Stau bereits im Entscheidungsprozess des Verkehrsteilnehmers internalisiert. Für die Quantifizie-

Tabelle 2

## Schätzungen für die externen Staugrenzkosten auf Innerorts-Straßen (in Euro je Fahrzeugkilometer, zu Preisen von 2005)

Studie	Gebiet	Straßenarten/Stadtgebiete	Art der geschätzten Kosten <sup>1</sup>	Minimum bzw. Durchschnittswerte	Maximum
GRACE 2007	Modellstadt	Alle Straßen	SGKP	0,11	0,35
UNITE 2002	Brüssel	Alle Straßen/Stadtgebiete Zentrum	SGKP	0,11	0,39
	Edinburgh	Durchschnitt	SGKP	0,14	0,53
	Salzburg	Stadtzentrum	SGKP	0,12	
		Durchschnitt	SGKP	0,49	
		Stadtzentrum	SGKP	0,16	
	Helsinki	Durchschnitt	SGKP	0,08	
		Stadtzentrum	SGKP	0,05	
		Durchschnitt	SGKP	0,02	
Proost und van Dender 1999	Brüssel	Alle Straßen, während der Spitzenzeiten	SGKP	0,55	0,78
		Alle Straßen, außerhalb der Spitzenzeiten	SGKP <sup>2</sup>	0,42	
Sansom et al. 2001	Städte in Großbritannien	Hauptverkehrsstraßen im Zentrum, während der Spitzenzeiten	EKG	1,44	1,44
		Hauptverkehrsstraßen im Zentrum, außerhalb der Spitzenzeiten	EKG	0,78	0,79
		Hauptverkehrsstraßen außerhalb des Zentrums, während der Spitzenzeiten	EKG	0,38	0,41
		Hauptverkehrsstraßen außerhalb des Zentrums, außerhalb der Spitzenzeiten	EKG	0,19	0,23
		Andere Innerorts-Straßen, während der Spitzenzeiten	EKG	0,08	0,14
		Andere Innerorts-Straßen, außerhalb der Spitzenzeiten	EKG	0,01	0,08

Studie	Gebiet	Straßenarten/ Stadtgebiete	Art der geschätzten Kosten <sup>1</sup>	Minimum bzw. Durchschnittswerte	Maximum
Newbery und Santos 2002	Northampton	Alle Straßen	EGK	4,92	7,73
		Alle Straßen	SGKP	2,20	3,48
	Kingston	Alle Straßen	EGK	2,59	3,26
		Alle Straßen	SGKP	1,31	1,92
	Cambridge	Alle Straßen	EGK	1,11	1,25
		Alle Straßen	SGKP	0,65	0,86
	Norwich	Alle Straßen	EGK	0,22	0,25
		Alle Straßen	SGKP	0,17	0,23
	Lincoln	Alle Straßen	EGK	1,05	1,22
		Alle Straßen	SGKP	0,65	0,89
York	Alle Straßen	EGK	0,69	0,94	
Bedford	Alle Straßen	SGKP	0,51	0,72	
	Alle Straßen	EGK	0,17	0,19	
	Alle Straßen	SGKP	0,14	0,17	
	Alle Straßen	EGK	0,89	1,12	
Durchschnitt	Alle Straßen	SGKP	0,61	0,84	
	Alle Straßen	EGK	2,00	1,45	
	Alle Straßen	SGKP	0,78	1,14	
	Alle Straßen	EGK	2,53	2,13	
Prudhom und Kopp 2006	Stockholm	Alle Straßen	SGKP <sup>3</sup>	1,70	2,13
		Alle Straßen, Zentrum	SGKP	0,38	
MC-ICAM 2004	Paris	Alle Straßen, Zentrum	SGKP	0,47	
		Alle Straßen, Zentrum	SGKP	0,10	
	Brüssel	Alle Straßen, Zentrum	SGKP	0,03	
		Alle Straßen, Zentrum	SGKP	1,00	
Helsinki	Oslo u. Akershus county	Alle Straßen in der Agglomeration	SGKP		
		Alle Straßen	SGKP		

<sup>1</sup> SGKP: Soziale Grenzkostenpreise, d. h. optimale Stauegebühr ermittelt auf Basis sozialer Grenzkosten. Ausschl. Zeitkosten berücksichtigt bzw. keine Aussage über Berücksichtigung anderer Kosten verfügbar. EGK: Externe Grenzkosten, d. h. neben Zeitkosten auch andere externe Kosten enthalten. <sup>2</sup> Alle externen Kosten berücksichtigt. 3 Euro/Fahrt. – Quelle: IMPACT Annex Report (2007: 152).

Die Staugrenzkosten müssen deshalb mit dem Anstieg der Staukosten bei zunehmender Verkehrsbelastung bekannt sein. Für einzelne Fernverkehrsstraßen ohne Alternativrouten kann dies aus einer vereinfachten Beziehung zwischen Geschwindigkeit und Verkehrsvolumen geschätzt werden. Wenn jedoch, wie zum Beispiel in Ballungsräumen, Alternativrouten vorhanden sind, würde ein solches Herangehen die Kosten ignorieren, die aus Ausweichreaktionen der Verkehrsnutzer resultieren. Für diese Fälle ist ein Netzmodell erforderlich, wie beispielsweise das im GRACE-Projekt genutzte SATURN-Modell. Ein Netzmodell ist nicht zuletzt auch deshalb notwendig, um wie oben erwähnt die externen Staugrenzkosten bei optimalem Verkehrsniveau, das heißt unter Berücksichtigung sowohl von Ausweich- als auch Anpassungsreaktionen (Reduktion der Straßennutzung) der Verkehrsnutzer bei Einführung einer Staugebühr zu bestimmen.

Die meisten der verfügbaren Schätzungen für Staugrenzkosten wurden im Rahmen europäischer Forschungsprojekte oder im Rahmen von Studien in Großbritannien erarbeitet (Tabelle 2). Die Bandbreite der Schätzungen ist beträchtlich und auf Unterschiede bei den untersuchten Straßennetzen in den einzelnen Ballungsräumen, Unterschiede in der Verkehrsdichte und in der Verfügbarkeit von alternativen Verkehrsmitteln sowie die unterschiedlichen Zeitwertsätze zurückzuführen, aber auch durch Unterschiede in der Definition der Staukosten und bei den angewendeten Modellierungstechniken bedingt. Bonsall et al. 2006 haben diese Unterschiede systematisch analysiert und gezeigt, dass die verfügbaren Schätzungen nicht nur durch den Typ des Straßennetzes und die Verkehrsdichte beeinflusst sind, sondern in hohem Maße auch durch die zu Grunde gelegte Modellierungstechnik.

### 2.3 Grenzkosten von Verkehrsunfällen

Unfallkosten umfassen folgende Elemente:

- **Direkte ökonomische Kosten.** Sie können als laufende oder zukünftige Ausgaben beobachtet werden und beinhalten die Kosten der medizinischen Behandlung und Rehabilitation, Verwaltungskosten, die Kosten von Notdiensten sowie die Kosten materieller Schäden.
- **Indirekte Kosten.** Sie umfassen den Verlust an Produktionspotenzial für die Wirtschaft aufgrund des vorzeitigen Unfallstodes beziehungsweise aufgrund der durch den Unfall verursachten reduzierten Arbeitsfähigkeit des Beschäftigten.
- **Wert der Sicherheit per se.** Dieser in der Literatur auch als Risk Value beziehungsweise Value of Statistical Life (VSL) bezeichnete Wert spiegelt die Zahlungsbereitschaft der Verkehrsteilnehmer wider, die Wahrscheinlichkeit, bei einem Unfall ums Leben zu kommen, zu reduzieren. Dieser Wert wird in der einschlägigen Literatur gemeinhin als Näherungswert für Schmerz, Kummer und Trauer aufgrund eines Unfalls angesehen.

Zur Schätzung der externen Grenzkosten von Verkehrsunfällen existieren drei verschiedene Ansätze:

- Der sogenannte UNITE-Ansatz, der auf der separaten Schätzung jedes einzelnen oben genannten Kostenelements basiert. Die sensitiven Parameter dieses Ansatzes sind der



VSL, der Anteil der internalisierten Unfallkosten und die sogenannte Risk Elasticity (zur Diskussion siehe unten).

- Der sogenannte „Insurance Externality“-Ansatz. Hier wird unter der Annahme, dass alle Kosten durch eine entsprechende Versicherung gedeckt werden, die Beziehung zwischen Verkehrsmenge und Versicherungsprämie in unterschiedlichen räumlichen Einheiten (zum Beispiel US-Bundesstaaten) geschätzt. Dieser Ansatz eignet sich insbesondere für Unfälle mit Schwer- und Leichtverletzten, wo der VSL eine weniger dominante Rolle als bei Unfällen mit Todesfolge spielt.
- Modellierungsansätze wie zum Beispiel allgemeine Gleichgewichtsmodelle. Sie haben den Vorteil, dass auch die Effekte von risikoaverm Verhalten sowie sekundäre Einkommenseffekte aufgrund der durch Unfälle ausgelösten wirtschaftlichen Verluste berücksichtigt werden können.

Die Höhe der externen Unfallgrenzkosten hängt neben dem Unfallrisiko von der Risikoelastizität (Risk Elasticity), von den zu Grunde gelegten Annahmen hinsichtlich des nicht durch Versicherungen oder privat getragenen Elements der sozialen Unfallgrenzkosten sowie von den verwendeten Monetarisierungsmethoden, insbesondere zur Schätzung des VSL, ab.

Bei der Unterscheidung zwischen externen und internen Elementen der Unfallkosten sind insbesondere zwei methodische Aspekte zu berücksichtigen. Der erste Aspekt betrifft die Risikoantizipation. Unter der Annahme rationalen Verhaltens und vollständiger Information werden die Straßenverkehrsteilnehmer das Risiko eines Unfalls und die damit zusammenhängenden Kosten in ihren Entscheidungen berücksichtigen. Dies würde auch den eigenen Schmerz und Kummer, Schäden am persönlichen Eigentum und den Einkommensverlust aufgrund des Fernbleibens von der Arbeit umfassen. Ein zweiter Aspekt betrifft die Allokation der Versicherungsprämien. Unter der Annahme, dass bei der Festlegung der Versicherungsprämien das Unfallrisiko adäquat berücksichtigt wird, umfassen die internen Unfallgrenzkosten auch ebendiese, durch die Versicherung gedeckten Kosten. Als externe Kosten wären dann die Bestandteile einzuordnen, die durch die Gesellschaft getragen werden wie die Kosten der medizinischen Versorgung, Verwaltungs- und Polizeikosten und die Sozialversicherungsprämien für den Einkommensverlust. Gleiches gilt für die Kosten, die im Falle eines erhöhten Unfallrisikos (das heißt bei einer Risikoelastizität  $> 1$ ) bei anderen Straßennutzer und ihren Versicherern verursacht werden.

Obwohl es inzwischen zahlreiche Studien zur Schätzung der VSL gibt, sind die Schätzansätze (üblicherweise Contingent Valuation Methods) noch immer mit großen Unsicherheiten behaftet. Die weltweit vorliegenden Schätzwerte variieren innerhalb einer Bandbreite von 0,2 bis 30 Millionen US\$ (vergleiche hierzu D. Blaug 2003). Tabelle 3 zeigt Werte sowohl für den VSL als auch für die direkten und indirekten ökonomischen Kosten, die im Rahmen von HEATCO 2006 erarbeitet wurden.

Hinsichtlich der Risikoelastizität gibt es in der Forschung derzeit noch keinen Konsens. So würde die Tatsache, dass ein Anstieg der Anzahl der Fahrzeuge die Anzahl der möglichen Interaktionen zwischen den Fahrzeugen mit dem Quadrat des Verkehrsvolumens erhöht, erwarten lassen, dass das Unfallrisiko mit steigendem Verkehrsvolumen steigt. Zahlreiche Studien haben jedoch ergeben, dass das Unfallrisiko mit steigendem Verkehrsvolumen

Tabelle 3

### HEATCO-Empfehlungen für die Bewertung der Kosten von Straßenverkehrsunfällen (in 1 000 Euro, Preisbasis 2002, zu Faktorpreisen<sup>1)</sup>)

Land	Wert für Sicherheit per se (Value of safety per se*) für Unfälle mit			Direkte und indirekte ökonomische Kosten für Unfälle mit		
	Todesfolge	Schwer-verletzten	Leicht-verletzten	Todesfolge	Schwer-verletzten	Leicht-verletzten
Österreich	1600	208	16,0	160	32,3	3,0
Belgien	1490	194	14,9	149	55,0	1,1
Zypern	640	83	6,4	64	9,9	0,4
Tschechien	450	59	4,5	45	8,1	0,3
Dänemark	2000	260	20,0	200	12,3	1,3
Estland	320	41	3,2	32	5,5	0,2
Finnland	1580	205	15,8	158	25,6	1,5
Frankreich	1470	191	14,7	147	34,8	2,3
Deutschland	1510	196	15,1	151	33,4	3,5
Griechenland	760	99	7,6	76	10,5	0,8
Ungarn	400	52	4,0	40	7,0	0,3
Irland	1940	252	19,4	194	18,1	1,3
Italien	1300	169	13,0	130	14,7	1,1
Lettland	250	32	2,5	25	4,7	0,2
Litauen	250	33	2,5	25	5,0	0,2
Luxemburg	2120	276	21,2	212	87,7	0,7
Malta	910	119	9,1	91	8,8	0,4
Niederlande	1620	211	16,2	162	25,6	2,8
Norwegen	2630	342	26,3	263	64,0	2,8
Polen	310	41	3,1	31	5,5	0,2
Portugal	730	95	7,3	73	12,4	0,1
Slowakei	280	36	2,8	28	6,1	0,2
Slowenien	690	90	6,9	69	9,0	0,4
Spanien	1020	132	10,2	102	6,9	0,3
Schweden	1700	220	17,0	170	53,3	2,7
Schweiz	2340	305	23,4	234	48,8	3,7
Großbritannien	1650	215	16,5	165	20,1	2,1

1 Ohne indirekte Steuern und Subventionen. Errechnet aus den EUROSTAT/OECD Statistiken „Taxes linked to production and imports minus subsidies“ sowie „Actual individual consumption“, vergleiche OECD: National Accounts of OECD countries, sowie EUROSTAT: Basic Statistics.

\* Value of safety per se basiert auf Ergebnissen des UNITE-Projektes (Nelthorp et al. 2001) wie folgt: Unfälle mit Todesfolge 1,5 Millionen Euro (zu Marktpreisen von 1998 – 1,25 Millionen Euro zu Faktorkosten 2002); Schwer-/Leichtverletzte 0,13/0,01 des Wertes für Unfälle mit Todesfolge; direkte und indirekte ökonomische Kosten; Unfälle mit Todesfolge 0,1 des Value of safety per se; Werte für Schwer-/Leichtverletzte basieren auf European Commission 1994. \*\* Benefit-Transfer für den EU-Wert von 1,25 Millionen Euro basiert auf BIP pro Einwohner (bei einer unterstellten Einkommenselastizität von 1,0).

Quelle: HEATCO Deliverable 5 (2006).

sinkt – ein Ergebnis, das entweder auf Verhaltenseffekte oder aber auf methodische Probleme der betreffenden Studien zurückzuführen ist. So werden beispielsweise Straßen mit einem höheren erwarteten Verkehrsvolumen bereits mit einem höheren Verkehrssicherheitsstandard gebaut. Zudem reagieren Straßennutzer auf ein empfundenes erhöhtes Unfallrisiko mit einer vorsichtigeren und langsameren Fahrweise. Dies entspräche einer nicht quantifizierten Kostenkomponente, die die externen Kosten erhöhen würde.

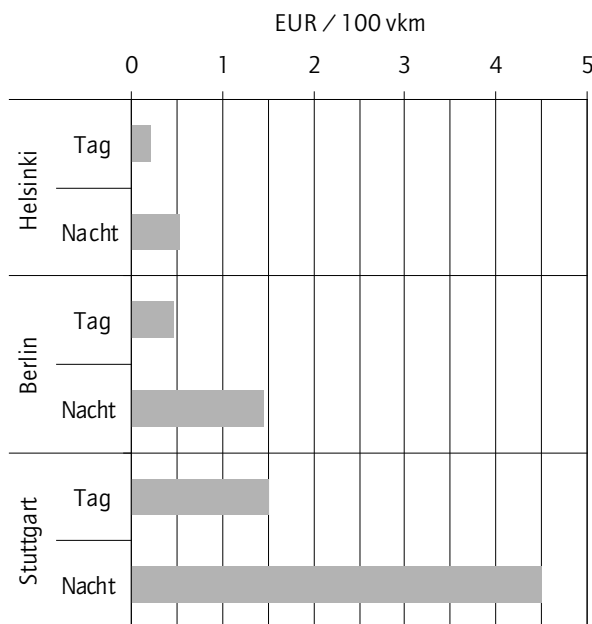
Eine ausführliche Diskussion dieser Probleme findet sich in Lindberg (2006). Ohne empirische Evidenz zu diesen Effekten liefern zu können, scheint der gegenwärtige Stand der Forschung auf relativ niedrige externe Unfallkosten hinzuweisen.

## 2.4 Grenzkosten von Verkehrslärm

Lärmkosten bestehen aus zwei Komponenten: Zum einen verursachen Störungen durch Verkehrslärm Kosten in Form von Beeinträchtigungen der Lebens- und Wohnqualität, dem Wertverlust von Immobilien etc. Zum anderen führt die langfristige Einwirkung von Verkehrslärm auf den menschlichen Organismus zu stressbezogenen gesundheitlichen Schäden wie Bluthochdruck und Herzinfarkt. Die übliche Annahme ist, dass diese beiden Effekte voneinander unabhängig sind.

Abbildung 1

### Lärmgrenzkosten für Pkws in Helsinki, Berlin und Stuttgart (Euro/Fahrzeugkilometer)



Quelle: Bickel et al. (2003).

Aufgrund verschiedener Besonderheiten ist die Quantifizierung von Lärmkosten, insbesondere die Schätzung von Grenzkosten, eine komplizierte Aufgabe. So folgt die Perzeption von Lärm einer logarithmischen Skala mit der Konsequenz von Nichtlinearitäten in den Wirkungen und den korrespondierenden Kosten. Darüber hinaus ist bei einer Grenzkostenbetrachtung das Niveau des Hintergrundlärms entscheidend. So führt eine Erhöhung des Verkehrslärms in einer ruhigen Nachbarschaft zu höheren Grenzkosten als in einer bereits lauten Umgebung.

Der am weitesten verbreitete Ansatz zur Quantifizierung der ersten Kostenkomponente (Störungen aufgrund von Verkehrslärm) ist der Zahlungsbereitschaftsansatz. Hierbei werden im Rahmen von Stated-Preference- oder Revealed-Preference-Befragungen die Zahlungsbereitschaft zur Reduktion von Lärm oder die Bereitschaft, eine Kompensation für Störungen durch Lärm zu akzeptieren, ermittelt. Die verfügbare Literatur ist durch hedonische Preisstudien dominiert, die empirische Beobachtungen zum Zusammenhang zwischen Lärmniveaus und Immobilienpreisen nutzen. Dies ist darin begründet, dass im Gegensatz zu den Kosten der Luftverschmutzung die Belästigung durch Lärm als eine unmittelbar empfundene Kostenkategorie im Hinblick auf Immobilienpreise betrachtet werden kann. Die zweite Kostenkategorie (Gesundheitsschäden aufgrund von Lärm) kann analog zu den im Folgenden beschriebenen Kostenschätzungen für gesundheitliche Schäden aufgrund von Luftverschmutzung quantifiziert werden (Abschnitt 2.5).

## 2.5 Grenzkosten der Luftverschmutzung

Die Kosten der Luftverschmutzung werden durch die Emission von Luftschadstoffen wie Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$ ), Schwefeldioxyden ( $\text{SO}_2$ ), Ozon ( $\text{O}_3$ ), Feinstaub ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ) sowie flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) verursacht und umfassen Gesundheitskosten, Material- und Gebäudeschäden, Ernteverluste sowie Schäden am Ökosystem (Boden- und Wasserverschmutzung, Biosphäre). Die bei weitem wichtigste Kostenkategorie sind die Gesundheitsschäden.

Der Standardansatz zur Quantifizierung der Luftverschmutzungskosten ist der so genannte Impact Pathway Approach (für eine detaillierte Beschreibung siehe die EU-Projekte ExternE und UNITE). Im Rahmen des Impact Pathway Approachs werden zunächst die emittierten Luftschadstoffe quantifiziert, daran anschließend die Verteilung der Schadstoffe in der Atmosphäre und ihre Ablagerung (zum Beispiel auf Pflanzen, Gebäuden und in der Lunge des menschlichen Körpers) modelliert und der dadurch verursachte physische Schaden quantifiziert. Die Monetarisierung dieser Schäden erfolgt bei Pflanzen und Gebäuden zu Marktpreisen, während Gesundheitsschäden ähnlich wie Unfallschäden über Willingness to Pay-Studien zur Vermeidung des Risikos einer Erkrankung oder eines Todesfalls bewertet werden. Die zentralen Parameter und Annahmen im Quantifizierungsprozess sind die Emissionsfaktoren (differenziert nach Technologie) für alle Fahrzeugarten, die Dosis-Wirkungs-Beziehungen (Dose Response Functions) zur Quantifizierung der physischen Schäden und der Value of Statistical Life (VSL) zur Bewertung des Risikos eines Todesfalls oder einer Erkrankung aufgrund von Luftverschmutzung. Tabelle 4 zeigt exemplarisch Ergebnisse des UNITE-Projektes zu den Grenzkostenschätzungen für Pkws.

Tabelle 4

### Ausgewählte Schätzungen für die durch den Pkw-Verkehr verursachten Grenzkosten der Luftverschmutzung (in Euro/Fahrzeugkilometer, Preisbasis 1998)

Straßenkategorie	Fahrzeugkategorie/ Emissionsklasse	Stadt/Region	Grenzkostenschätzungen aus:	
			UNITE	anderen Studien
Innerstädtisch	Pkw Benzin Euro 2	Helsinki	0,0012	0,0004–0,0148**
		Stuttgart	0,0025	
		Berlin	0,0015	
	Pkw Diesel Euro 2	Stuttgart	0,0145	0,0036–0,0604***
		Berlin	0,0073	
		Florenz	0,0026	
Außerorts	Pkw Benzin Euro 2		0,0011–0,0037*	0,001–0,0021**

\* Schätzungen für die Korridore Basel-Karlsruhe, Mailand-Chiasso, Bologna-Brennero, Strasbourg-Neu-Brandenburg. Impact-Pathway-Methode.

\*\* Schätzungen des ExternE-Projektes (Brüssel, Helsinki, Stuttgart, Athen, Groningen, Amsterdam, London). Impact-Pathway-Methode.

\*\*\* Florenz, nur lokale Luftverschmutzung berücksichtigt (CO, Benzol, PM10). Impact-Pathway-Methode, kombiniert mit Regressionsanalysen anstatt Dispersionsmodellierung.

Quelle: UNITE, Deliverable 11 (2003).

## 2.6 Grenzkosten des Klimawandels

Die Quantifizierung der Kosten des Klimawandels ist aufgrund des globalen und langfristigen Charakters und der vielfältigen Ursache-Wirkungs-Beziehungen eine komplexe Aufgabe. Die für den Klimawandel ursächlichen Treibhausgase sind insbesondere Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O) und Methan (CH<sub>4</sub>). Die Auswirkungen des Klimawandels umfassen den Anstieg des Meeresspiegels, Auswirkungen auf den Energieverbrauch, die Landwirtschaft, die Wasserversorgung, gesundheitliche Auswirkungen, Auswirkungen auf das Ökosystem und die Biodiversität, extreme Wetterereignisse und Wetterkatastrophen beziehungsweise Klima-Instabilitäten.

Der derzeit übliche Ansatz zur Quantifizierung der Kosten des Klimawandels besteht darin, die Menge der emittierten CO<sub>2</sub>-Äquivalente mit einem Kostenfaktor zu multiplizieren, wobei das CO<sub>2</sub>-Äquivalent eines Klimagases durch Multiplikation der emittierten Menge mit dem korrespondierenden Erderwärmungspotenzial (Global Warming Potential – GWP) ermittelt wird.<sup>3</sup> Im Rahmen verbindlicher Reduktionsziele für die Emission von Treibhausgasen bedeuten zusätzliche Emissionen von Treibhausgasen im Verkehrssektor, dass in anderen Sektoren Emissionen eingespart werden müssen. Deshalb werden für den Kostenfaktor zur Bewertung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente Vermeidungskosten verwendet. In den meisten europäischen Studien wird ein Vermeidungskostenansatz von 20 Euro je Tonne CO<sub>2</sub> verwendet. Dies entspricht dem Mittelwert der in Capros und Mantzos 2000 geschätzten Vermeidungskosten zur Erreichung der Kyoto-Ziele in der EU bis zum Jahre 2010. So schätzen Capros und Mantzos 2000 unter der Annahme eines umfassenden, fle-

<sup>3</sup> Der GWP-Faktor für Methan ist 23, für Distickstoffoxid 296 und für CO<sub>2</sub> 1.

xiblen und weltweiten Emissionshandels einen Wert von 5 Euro je eingesparter Tonne CO<sub>2</sub> in der EU zur Erreichung der Kyoto-Ziele sowie für den Fall, dass kein Handel mit CO<sub>2</sub>-Zertifikaten mit Ländern außerhalb der EU stattfindet, einen Wert von 38 Euro je Tonne eingesparter CO<sub>2</sub>-Emissionen. Diesen Berechnungen liegt die Annahme zu Grunde, dass Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion auf effiziente Weise umgesetzt werden. Dies impliziert, dass die Reduktionsziele nicht pro Wirtschaftsbereich vorgegeben werden, sondern dass die Maßnahmen mit den niedrigsten Kosten unabhängig vom Wirtschaftsbereich implementiert werden. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass Emissionen in der Zukunft einen größeren Einfluss als Emissionen der Gegenwart haben werden – eine Annahme, die durch aktuelle Studien bestätigt wird.

Die Ergebnisse der im Folgenden präsentierten Fallstudien basieren auf den im GRACE-Projekt verwendeten Vermeidungskosten. Diese wurden aus Watkiss et al. 2005 abgeleitet und auf Eurobasis 2002 zu Faktorpreisen konvertiert. Sie liegen für den Zeitraum von 2000 bis 2009 zwischen 14 und 51 Euro mit einem mittleren Wert von 22 Euro je Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent.

Die Europäische Kommission hat kürzlich akzeptiert, dass zur Begrenzung der Klimagasemissionen wesentlich strengere Emissionsziele erforderlich sind. So wird in CEC 2007 eine 20prozentige Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahre 2020 im Vergleich gegenüber dem Jahre 1990 vorgeschlagen. Zudem ist für den Fall, dass andere Länder folgen, die Option vorgesehen, dieses Ziel auf 30 Prozent zu setzen. Die Europäische Kommission hat zudem akzeptiert, dass für die Industrieländer eine 60- bis 80-prozentige Reduktion zwischen 1990 und 2050 nötig wäre. Diese Reduktionsziele würden höhere Schattenpreise für Klimagas in der Gegenwart sowie einen starken Anstieg der Schattenpreise in der Zukunft implizieren. Aus diesem Grunde werden die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse und Schlussfolgerungen hinsichtlich ihrer Sensitivität auf zwei- bis viermal höhere Schattenpreise für CO<sub>2</sub>-Emissionen getestet.

### 3 Lassen sich Grenzkostenschätzungen verallgemeinern?

Grenzkosten haben die Eigenschaft, dass sie sich stets auf eine bestimmte Verkehrssituation, ein spezifisches Verkehrsnetz und eine bestimmte räumliche Einheit beziehen. Eine theoretisch adäquate Preissetzung nach Grenzkosten würde deshalb erfordern, Grenzkostenschätzungen für alle denkbaren Kombinationen von Netzen, Verkehrssituationen und Siedlungstypen zu erstellen. In Anbetracht des enormen Aufwands für eine solch umfassende Berechnung dürften die politisch Verantwortlichen dazu neigen, eine Preissetzung auf Basis der sozialen Grenzkosten als nicht praktikabel zu verwerfen. Eine realistische und politisch praktikable Herangehensweise besteht hingegen darin, möglichst umfassend fallspezifische Grenzkostenstudien zu erstellen und daraus ein generelles Verständnis für die Variationen von Grenzkosten bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen (unterschiedliche Netze, Tageszeiten, Verkehrsbelastungen etc.) zu entwickeln. Mit den so gewonnenen Erkenntnissen könnten dann Werte für die sozialen Grenzkosten in Situationen, für die keine spezifischen Studien zur Verfügung stehen, approximiert werden.

Das GRACE-Projekt hat für eine solche Approximation ein Softwaretool entwickelt, das dem Anwender die Schätzung der sozialen Grenzkosten für bestimmte Abschnitte und

Tabelle 5

Disaggregationsgrad der Ergebnisse des GRACE Software Tools –  
Soziale Grenzkosten des Straßenverkehrs (Euro je Fahrzeugkilometer)

Kostenkategorie						
	Stau	Unfälle	Lärm	Luftverschmutzung	Klimawandel	Infrastrukturaubnutzung
<b>Pkw</b>						
Disaggregation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tag, Spitzenzeiten</li> <li>• Tag, außerhalb der Spitzenzeiten</li> <li>• Nacht</li> </ul>	Einheitlicher Wert	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tag, Spitzenzeiten</li> <li>• Tag, außerhalb der Spitzenzeiten</li> <li>• Nacht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Euro2 – Benzin &amp; Diesel</li> <li>• Euro4 – Benzin &amp; Diesel</li> <li>• Euro5 – Benzin &amp; Diesel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Euro2 – Benzin &amp; Diesel</li> <li>• Euro4 – Benzin &amp; Diesel</li> <li>• Euro5 – Benzin &amp; Diesel</li> </ul>	Einheitlicher Wert
<b>Güterverkehr</b>						
Disaggregation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tag, Spitzenzeiten</li> <li>• Tag, außerhalb der Spitzenzeiten</li> <li>• Nacht</li> </ul>	Einheitlicher Wert	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tag, Spitzenzeiten – Leichter &amp; schwerer Güterverkehr</li> <li>• Tag, außerhalb der Spitzenzeiten – Leichter &amp; schwerer Güterverkehr</li> <li>• Nacht – Leichter &amp; schwerer Güterverkehr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Euro2 – Leichter &amp; schwerer Güterverkehr</li> <li>• Euro4 – Leichter &amp; schwerer Güterverkehr</li> <li>• Euro5 – Leichter &amp; schwerer Güterverkehr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Euro2 – Leichter &amp; schwerer Güterverkehr</li> <li>• Euro4 – Leichter &amp; schwerer Güterverkehr</li> <li>• Euro5 – Leichter &amp; schwerer Güterverkehr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwerer Güterverkehr</li> <li>• Leichter Güterverkehr</li> </ul>

Tabelle 6

### Annahmen zur Berechnung der derzeitigen Abgabenbelastung der Straßenbenutzer in den Fallstudien (Euro/Fahrzeugkilometer)

	Fallstudie Central London			Fallstudie Fernverkehrskorridor Mailand–Rotterdam		
	Pkw–Benzin	Pkw–Diesel	Güterverkehr	Pkw–Benzin	Pkw–Diesel	Güterverkehr
Maut- und andere Gebühren	2,24*	2,24*	2,24*	0,061 **	0,061 **	0,122 **
Kraftfahrzeugsteuer	0,0109	0,0080	0,0812	0,069**	0,076**	0,274**
Mineralölsteuer	0,0707	0,0563	0,2850			

\* Staubegebühr für Central London – 8 Pfund ([www.tfl.gov.uk](http://www.tfl.gov.uk)) = 11,2 Euro pro Tag unter der Annahme einer durchschnittlichen täglichen Wegelänge von fünf Kilometern innerhalb des Gebühregebietes, resultierend in einer durchschnittlichen Gebühr von 2,24 Euro/Fahrzeugkilometer.

\*\* Mineralöl- und Kraftfahrzeugsteuer, berechnet als Durchschnitt für den gesamten Korridor.

Knoten der TEN-T-Netze<sup>4</sup> ermöglicht. Basierend auf den Ergebnissen der EU-Projekte UNITE, RECORDIT, HEATCO und GRACE beinhaltet das Tool Methoden, die den Transfer und die Verallgemeinerung von Grenzkostenschätzungen ermöglichen, indem beispielsweise für jede Kostenkategorie die wesentlichen Variablen (Kostenfaktoren) und Parameter bestimmt werden, die bei der Übertragung existierender Grenzkostenschätzungen auf andere Anwendungsfälle beziehungsweise bei der Erstellung neuer Grenzkostenschätzungen hilfreich sind. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass diese Methoden nicht mit dem gleichen Grad an Genauigkeit für jede Kostenkategorie implementiert werden können. Abgesehen von der generellen Datenverfügbarkeit variieren zudem die Schwierigkeiten bei der Übertragung von existierenden Grenzkostenschätzungen auf einen anderen Kontext zwischen den Kostenkategorien.

Das Tool ermöglicht die Schätzung der sozialen Grenzkosten für Innerorts- und Außerortsverkehr für die Verkehrsträger Straße, Schiene und Binnenwasserstraße, für Seehäfen und Flughäfen. Die sozialen Grenzkosten umfassen die Kategorien Infrastrukturabnutzung, Stau, Unfälle, Lärm, Luftverschmutzung und Klimawandel, ausgedrückt als Kosten in Euro je Fahrzeugkilometer für verschiedene Fahrzeugtypen (vergleiche Tabelle 5 für den Straßenverkehr). Eine ausführliche Beschreibung des Tools findet sich in Ricci et al. 2008.

Im Folgenden werden Grenzkostenschätzungen für zwei Fallstudien präsentiert, zum einen für das Stadtgebiet von London und zum anderen für den Fernverkehrskorridor Mailand–Rotterdam (vergleiche Ricci et al. 2008). Dabei werden die mit Hilfe des Tools berechneten sozialen Grenzkosten den derzeit durch die Straßenbenutzer gezahlten Steuern und Gebühren gegenübergestellt. Diese beinhalten die Straßenbenutzungsgebühren, die Mineralölsteuer und die Kraftfahrzeugsteuer und werden als durchschnittliche Abgabenbelastung pro Fahrzeugkilometer berechnet. Die wichtigsten Annahmen zur Berechnung

<sup>4</sup> Einen Überblick über die transeuropäischen Netze (TEN) für den Verkehrssektor bietet [http://ec.europa.eu/transport/infrastructure/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/infrastructure/index_en.htm).



der aktuellen Abgaben der Straßennutzer in beiden Fallstudien sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

### 3.1 Fallstudie London

Die im Folgenden beschriebene Fallstudie bezieht sich auf den Teil des Londoner Stadtgebiets, in dem die London Congestion Charge zu entrichten ist. Für die Studie wurde eine tägliche Staugebühr von acht Pfund sowohl für Pkws als auch für schwere Lkws über 18 Tonnen unterstellt. Außerdem wurde angenommen, dass die durchschnittliche tägliche Wegelänge sowohl von Pkws als auch Lkws innerhalb des Gebührengiets fünf Kilometer beträgt (vergleiche hierzu Santos und Bhakar 2006).

Mit 95 beziehungsweise 93 Prozent der gesamten sozialen Grenzkosten schwerer Lkws beziehungsweise Pkws stellen die Staugrenzkosten zumindest in den Spitzenzeiten die quantitativ wichtigste Kostenkategorie dar, gefolgt von den Unfallkosten. Die anteilig geringsten Kostenblöcke entfallen auf die Grenzkosten der Luftverschmutzung und der Klimaerwärmung. Wie in Abschnitt 2.6 ausgeführt, wurde den hier vorgestellten Berechnungen ein im Vergleich zu den neuesten EU-Zielen niedrigerer CO<sub>2</sub>-Schattenpreis zu Grunde gelegt. Allerdings müsste dieser Schattenpreis vervierfacht werden, um zu Grenzkosten des Klimawandels in Höhe der Unfallgrenzkosten bei den schweren Lkws zu führen; bei den Pkws würde ein solcher Effekt nur bei einem um ein Vielfaches höheren CO<sub>2</sub>-Schattenpreis eintreten. Erwartungsgemäß sind die Grenzkosten für Umweltbelastungen bei Fahrzeugen in den höheren Klassen der Euronorm niedriger. Die in Tabelle 7 dargestellten höheren Lärmgrenzkosten während der Nacht sind unter anderem auf den im Vergleich zum Tag niedrigeren Hintergrundlärm zurückzuführen.

Tabelle 8 zeigt, dass gegenwärtig die privaten Pkw-Fahrer beim Befahren des Gebührengiets im Stadtgebiet von London weniger Steuern und Gebühren zahlen als die von ihnen verursachten sozialen Grenzkosten. So belaufen sich in Spitzenzeiten die Abgaben auf etwas mehr als drei Viertel der mit dem GRACE-Tool berechneten sozialen Grenzkosten. Außerhalb der Spitzenzeiten decken die Abgaben bei Benzin-Pkws 39 Prozent der berechneten sozialen Grenzkosten, bei Diesel-Pkws je nach Fahrzeugtyp zwischen 28 Prozent und 31 Prozent. Die für den Nachtzeitraum berechneten sozialen Grenzkosten werden bei den Benzin-Pkws zu 37 Prozent und bei den Diesel-Pkws zu 27 Prozent bis 29 Prozent über Abgaben gedeckt. Für den Güterverkehr ergibt sich ein ähnliches Bild. Eine Ausnahme bildet hier der Zeitraum außerhalb der Spitzenzeiten, in dem sich Steuern und Gebühren und soziale Grenzkosten ausgleichen (bei geringer Überdeckung der Kosten für die Euro4- und Euro5-Fahrzeuge). Unterschiede zwischen Pkws und schweren Lkws in der Deckung der sozialen Grenzkosten ergeben sich hinsichtlich der Tageszeiten. So decken schwere Lkws während den Spitzenzeiten mit 44 Prozent einen geringeren Teil der sozialen Grenzkosten als die Pkws. Hingegen belaufen sich außerhalb der Spitzenzeiten die Abgaben der Euro2-Fahrzeuge auf 96 Prozent, die der Euro-4- und Euro-5-Fahrzeuge auf 112 Prozent der berechneten sozialen Grenzkosten. Nachts betragen die gezahlten Gebühren und Steuern jedoch nur zwischen 67 Prozent und 75 Prozent der berechneten Kosten.

Tabelle 7

### Grenzkosten des Straßenverkehrs im Londoner Stadtgebiet (Euro je Fahrzeugkilometer)

	Schwere Nutzfahrzeuge des Güterverkehrs- Diesel Euro 2			Pkw–Diesel Euro 2			Pkw–Benzin Euro 2		
	Tag, Spitzen- zeiten	Tag, außer- halb der Spitzen- zeiten	Nacht	Tag, Spitzen- zeiten	Tag, außer- halb der Spitzen- zeiten	Nacht	Tag, Spitzen- zeiten	Tag, außer- halb der Spitzen- zeiten	Nacht
Lärm	0,062	0,082	0,214	0,007	0,009	0,024	0,007	0,009	0,024
Stau	5,511	0,000	0,000	2,756	0,000	0,000	2,756	0,000	0,000
Unfälle	0,081	0,081	0,081	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178
Luftver- schmutzung	0,064	0,064	0,064	0,018	0,018	0,018	0,003	0,003	0,003
Klimaver- änderungen	0,016	0,016	0,016	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004
Infrastruktur- abnutzung	0,060	0,060	0,060	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Insgesamt	5,794	0,303	0,435	2,977	0,223	0,238	2,963	0,209	0,224

Anmerkungen: Spitzenzeiten tagsüber von 7.00 bis 18.00, Zeitraum außerhalb der Spitzenzeiten von 18.00 bis 00.00, Nacht von 00.00 bis 07.00.

Quelle: GRACE-Fallstudie, Ricci et al. (2008).

### 3.2 Fernverkehrskorridor Mailand–Rotterdam

Mit 1 000 Kilometern Länge und einer Nonstop-Fahrzeit von ungefähr 11 Stunden ist die Relation Mailand (Italien) – Rotterdam (Niederlande) einer der wichtigsten europäischen Fernverkehrskorridore. Für die mit dem GRACE-Tool durchgeführten Berechnungen wurde dieser Korridor in vier verschiedene Teilabschnitte zerlegt: 1. Mailand–Chiasso, 2. Chiasso–Basel, 3. Basel–Duisburg, 4. Duisburg–Rotterdam.

Wie in der Fallstudie für das Londoner Stadtzentrum sind auch hier während der Spitzenzeiten die Staukosten sowohl für Pkws als auch für Lkws die quantitativ dominante Kostenkategorie (Tabellen 9 und 10). Allerdings liegt das Niveau der Staugrenzkosten erheblich unter dem für London und spiegelt damit den Außerorts-Charakter des Korridors im Vergleich zu London wider. Die Höhe der Staugrenzkosten variiert zudem zwischen den vier Abschnitten und reflektiert damit die unterschiedlichen Stauzustände innerhalb der verschiedenen Länder und Straßenabschnitte. Der zweit- und drittgrößte Anteil an den gesamten sozialen Grenzkosten entfällt auf die Unfallgrenzkosten und die Kosten der Infrastrukturabnutzung, wobei letztere Kategorie insbesondere für den schweren Güterverkehr von Bedeutung ist. Ebenso wie in der Londoner Fallstudie machen die Umweltgrenzkosten nur einen geringen Teil der gesamten Grenzkosten aus, während die Lärmkosten während der Nacht höher als ursprünglich erwartet sind.

Die dem Korridor Mailand–Rotterdam zuzuordnenden Steuern und Gebühren der Pkw-Fahrer in der Spitzenzeit belaufen sich auf 70 Prozent der berechneten sozialen Grenz-

Tabelle 8

## Grenzkosten versus Abgaben des Straßenverkehrs im Londoner Stadtgebiet

Kraftstoffart und Emissionsklasse	Grenzkosten (Euro je Fahrzeugkilometer)			Abgaben insgesamt (Mautgebühren und Steuern – in Euro je Fahrzeugkilometer)			Differenz (Euro je Fahrzeugkilometer)		
	Zeitraum			Zeitraum			Zeitraum		
	Tag, Spitzenzeiten	Tag, außerhalb der Spitzenzeiten	Nacht	Tag, Spitzenzeiten	Tag, außerhalb der Spitzenzeiten	Nacht	Tag, Spitzenzeiten	Tag, außerhalb der Spitzenzeiten	Nacht
<b>PKW</b>									
Euro2 Benzin	2,963	0,209	0,223	2,32162	0,08162	0,08162	0,64138	0,12738	0,14138
Euro4 Benzin	2,961	0,208	0,222	2,32162	0,08162	0,08162	0,63938	0,12638	0,14038
Euro5 Benzin	2,961	0,208	0,222	2,32162	0,08162	0,08162	0,63938	0,12638	0,14038
Euro2 Diesel	2,977	0,224	0,238	2,30426	0,06426	0,06426	0,67274	0,15974	0,17374
Euro4 Diesel	2,965	0,212	0,226	2,30426	0,06426	0,06426	0,66074	0,14774	0,16174
Euro5 Diesel	2,960	0,207	0,221	2,30426	0,06426	0,06426	0,65574	0,14274	0,15674
<b>Schwere Nutzfahrzeuge des Güterverkehrs (&gt; 18t)</b>									
Euro2 Diesel	5,794	0,303	0,435	2,53316	0,29316	0,29316	3,26084	0,00984	0,14184
Euro4 Diesel	5,753	0,262	0,394	2,53316	0,29316	0,29316	3,21984	-0,03116	0,10084
Euro5 Diesel	5,751	0,260	0,392	2,53316	0,29316	0,29316	3,21784	-0,03316	0,09884

Anmerkungen: Spitzenzeiten tagsüber von 07.00 bis 18.00, Zeitraum außerhalb der Spitzenzeiten von 18.00 bis 00.00, Nacht von 00.00 bis 07.00.

Quelle: GRACE-Fallstudie, Ricci et al. (2008).

Tabelle 9

**Grenzkosten des Straßenverkehrs auf dem Fernverkehrskorridor  
Mailand–Rotterdam – Pkw Benzin Euro 2  
(Euro je Fahrzeugkilometer)**

	Mailand–Chiasso			Chiasso–Basel		
	Tag, Spitzenzeiten	Tag, außerhalb der Spitzenzeiten	Nacht	Tag, Spitzenzeiten	Tag, außerhalb der Spitzenzeiten	Nacht
Lärm	0,007	0,011	0,035	0,004	0,007	0,021
Stau	0,147	0,002	0,001	0,194	0,003	0,001
Unfälle	0,015	0,015	0,015	0,008	0,008	0,008
Luftverschmutzung	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Klimaveränderung	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Infrastrukturabnutzung	0,016	0,016	0,016	0,032	0,032	0,032
Insgesamt	0,193	0,052	0,075	0,246	0,058	0,070
	Basel–Duisburg			Duisburg–Rotterdam		
	Tag, Spitzenzeiten	Tag, außerhalb der Spitzenzeiten	Nacht	Tag, Spitzenzeiten	Tag, außerhalb der Spitzenzeiten	Nacht
Lärm	0,005	0,009	0,027	0,009	0,014	0,043
Stau	0,123	0,002	0,001	0,122	0,002	0,001
Unfälle	0,008	0,008	0,008	0,006	0,006	0,006
Luftverschmutzung	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Klimaveränderung	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Infrastrukturabnutzung	0,019	0,019	0,019	0,020	0,020	0,020
Insgesamt	0,163	0,046	0,063	0,165	0,050	0,078

Anmerkungen: Spitzenzeiten tagsüber von 07.00 bis 18.00, Zeitraum außerhalb der Spitzenzeiten von 18.00 bis 00.00, Nacht von 00.00 bis 07.00.

Quelle: GRACE-Fallstudie, Ricci et al. (2008).

Tabelle 10

**Grenzkosten des Straßenverkehrs auf dem Fernverkehrskorridor  
Mailand–Rotterdam – Schwerer Güterverkehr Diesel Euro 2  
(Euro je Fahrzeugkilometer)**

	Mailand–Chiasso			Chiasso–Basel		
	Tag, Spitzenzeiten	Tag, außerhalb der Spitzenzeiten	Nacht	Tag, Spitzenzeiten	Tag, außerhalb der Spitzenzeiten	Nacht
Lärm	0,046	0,076	0,230	0,028	0,046	0,138
Stau	0,724	0,011	0,004	1,001	0,012	0,005
Unfälle	0,115	0,115	0,115	0,078	0,078	0,078
Luftverschmutzung	0,030	0,030	0,030	0,037	0,037	0,037
Klimaveränderung	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021
Infrastrukturabnutzung	0,132	0,132	0,132	0,256	0,256	0,256
Insgesamt	1,068	0,385	0,532	1,421	0,450	0,535
	Basel–Duisburg			Duisburg–Rotterdam		
	Tag, Spitzenzeiten	Tag, außerhalb der Spitzenzeiten	Nacht	Tag, Spitzenzeiten	Tag, außerhalb der Spitzenzeiten	Nacht
Lärm	0,036	0,059	0,178	0,058	0,095	0,287
Stau	0,657	0,009	0,004	0,660	0,009	0,004
Unfälle	0,050	0,050	0,050	0,028	0,028	0,028
Luftverschmutzung	0,031	0,031	0,031	0,032	0,032	0,032
Klimaveränderung	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021
Infrastrukturabnutzung	0,151	0,151	0,151	0,158	0,158	0,158
Insgesamt	0,946	0,321	0,435	0,957	0,343	0,530

Anmerkungen: Spitzenzeiten tagsüber von 07.00 bis 18.00, Zeitraum außerhalb der Spitzenzeiten von 18.00 bis 00.00, Nacht von 00.00 bis 07.00.

Quelle: GRACE-Fallstudie, Ricci et al. (2008).

Tabelle 11

**Grenzkosten versus Abgaben des Straßenverkehrs auf dem Fernverkehrskorridor Mailand–Rotterdam**

Kraftstoffart und Emissionsklasse	Grenzkosten (Euro je Fahrzeugkilometer)		Abgaben insgesamt (Mautgebühren und Steuern – in Euro je Fahrzeugkilometer)		Differenz (Euro je Fahrzeugkilometer)	
	Tag, Spitzenzeiten	Nacht	Tag, Spitzenzeiten	Nacht	Tag, Spitzenzeiten	Nacht
	<b>Pkw</b>					
	Zeitraum		Zeitraum		Zeitraum	
	Tag, außerhalb der Spitzenzeiten	Nacht	Tag, außerhalb der Spitzenzeiten	Nacht	Tag, außerhalb der Spitzenzeiten	Nacht
Euro2 Benzin	0,185	0,050	0,129837	0,129837	0,055	-0,080
Euro4 Benzin	0,183	0,048	0,129837	0,129837	0,053	-0,082
Euro5 Benzin	0,183	0,048	0,129837	0,129837	0,053	-0,082
Euro2 Diesel	0,185	0,050	0,136978	0,136978	0,048	-0,087
Euro4 Diesel	0,184	0,049	0,136978	0,136978	0,047	-0,088
Euro5 Diesel	0,182	0,047	0,136978	0,136978	0,045	-0,090
	<b>Schwere Nutzfahrzeuge des Güterverkehrs (&gt; 18t)</b>					
	Zeitraum		Zeitraum		Zeitraum	
	Tag, Spitzenzeiten	Nacht	Tag, Spitzenzeiten	Nacht	Tag, Spitzenzeiten	Nacht
Euro2 Diesel	1,070	0,359	0,396167	0,396167	0,674	-0,037
Euro4 Diesel	1,047	0,336	0,396167	0,396167	0,651	-0,060
Euro5 Diesel	1,045	0,334	0,396167	0,396167	0,649	-0,062

Anmerkungen: Spitzenzeiten tagsüber von 07.00 bis 18.00, Zeitraum außerhalb der Spitzenzeiten von 18.00 bis 00.00, Nacht von 00.00 bis 07.00.

Quelle: GRACE-Fallstudie, Ricci et al. (2008).

kosten (Tabelle 11). Für die Zeiträume außerhalb der Stoßzeiten sowie nachts ergibt sich jedoch ein anderes Bild. Hier sind die gezahlten Steuern und Gebühren höher als die berechneten sozialen Grenzkosten und betragen tagsüber außerhalb der Stoßzeit ungefähr das 2,5-fache sowie nachts ungefähr das Doppelte der sozialen Grenzkosten. Die von den Nutzfahrzeugen des Güterverkehrs gezahlten Abgaben liegen in den Spitzenzeiten bei 37 Prozent bis 38 Prozent sowie nachts zwischen 82 Prozent und 87 Prozent der berechneten sozialen Grenzkosten. Hingegen übersteigen tagsüber außerhalb der Stoßzeiten die gezahlten Abgaben die berechneten sozialen Grenzkosten um 10 Prozent bis 19 Prozent.

#### 4 **Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen für die Politik**

In diesem Beitrag wurde der Stand der Forschung zur Quantifizierung der sozialen Grenzkosten des Verkehrs diskutiert und mit entsprechenden Beispielen illustriert. Die zur Verfügung stehenden Methoden sind zwar noch immer mit Unsicherheiten behaftet; dennoch bieten sie inzwischen eine hinreichend breite Basis an Schätzergebnissen für verschiedene Verkehrsnetze und Verkehrssituationen, um als solide Grundlage für preispolitische Maßnahmen im Verkehr dienen zu können.

Die ebenfalls in diesem Beitrag vorgestellten Ergebnisse zweier Fallstudien des GRACE-Projekts für das Londoner Stadtgebiet und für den Fernverkehrskorridor Mailand–Rotterdam zeigen, dass insbesondere in den Spitzenzeiten die Staugrenzkosten als quantitativ bedeutsamste Kategorie der externen Kosten des Straßenverkehrs herausragen. Auch die durch Unfälle, Infrastrukturabnutzung und Lärm verursachten Grenzkosten wiegen quantitativ schwerer als die mit Klimaveränderungen einhergehenden Grenzkosten, selbst wenn man berücksichtigt, dass die in diesem Beitrag unterstellten Schattenpreise für CO<sub>2</sub> eher konservativ gewählt wurden. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Maßnahmen zur Verminderung der Kosten des Klimawandels, so unbestreitbar wichtig sie auch sind, nicht die alleinige Priorität für eine nachhaltige Verkehrspolitik haben sollten. Vielmehr erfordert die Bedeutung der anderen Kostenkategorien wie Stau, Unfälle und Lärm eine adäquate Berücksichtigung in preis- und investitionspolitischen Entscheidungen der Verkehrspolitik.

Die verkehrspolitische Debatte konzentriert sich derzeit in vielen Ländern auf die Einführung von Straßenbenutzungsgebühren. Dies wird oft mit einer Vielzahl verschiedener, zum Teil zueinander im Widerspruch stehender Ziele begründet wie zum Beispiel der Erschließung neuer Einnahmequellen zur Finanzierung des Verkehrs, der Verminderung von Problemen der Umweltverschmutzung und des Klimawandels und der zeitlichen und räumlichen Lenkung des Verkehrs zur Verringerung von Staus. In Anbetracht dessen erscheint es umso wichtiger, sorgfältig für jedes dieser Ziele solche Instrumente auszuwählen, die eine effektive und effiziente Zielerreichung garantieren.

Der entscheidende Einflussfaktor auf die Grenzkosten des Klimawandels aufgrund von Verkehrsaktivitäten ist der Kraftstoffverbrauch und der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Kraftstoffe. Aus diesem Grunde stellt eine Mineralölsteuer, orientiert am CO<sub>2</sub>-Gehalt der Kraftstoffe, die am besten geeignete Maßnahme zur Internalisierung dieser Kosten dar. In vielen Fällen übersteigen die bereits existierenden Steuersätze auf Kraftstoffe die Grenzkosten des Klimawandels beträchtlich. Zudem sind die durch die EU-Direktive vorgegebenen Minimumsteuersätze für die Kraftstoffbesteuerung in allen EU-Ländern gesetzlich bindend.

Die Priorität bei der Internalisierung externer Kosten des Straßenverkehrs sollte daher nicht auf der Einbeziehung der Kosten des Klimawandels in Straßenbenutzungsgebühren, sondern auf der Berücksichtigung anderer Kostenkategorien, insbesondere der Staukosten liegen. Die Stauproblematik erfordert eine zusätzliche Gebühr für Straßennutzer während der Spitzenzeiten, die von einem einfachen Cordon Pricing über eine für ein bestimmtes Gebiet geltende Gebühr bis hin zu komplizierteren Systemen mit einer fahrleistungsabhängigen Gebühr reichen können. Die in diesem Beitrag dargestellten Ergebnisse zeigen, dass selbst in London, wo eine solche Staugebühr existiert, diese Gebühr noch nicht hinreichend ausgestaltet ist. Für die meisten Städte existiert zudem eine solche Gebühr noch gar nicht. Auch im Außerortsverkehr, für den die hier vorgestellten Ergebnisse weniger hohe Staugrenzkosten als für den Stadtverkehr ergeben, stellen die Staukosten dennoch ein beträchtliches Problem dar, so dass auch hier Maßnahmen zu ihrer Internalisierung in entsprechenden Gebührensystemen angezeigt sind.

## Literaturverzeichnis

- Bak, M. und P. Borkowski (2009): Marginal cost of Road Maintenance and Renewal in Poland. Annex 2 to Deliverable D6: Road Cost Allocation for Europe: Recommendations and open questions. CATRIN (Cost Allocation of Transport Infrastructure cost). Funded by the Sixth Framework Programme. VTI, Stockholm.
- Bak, M., P. Borkowski, G. Musiatowicz-Podbial und H. Link (2006): Road infrastructure cost in Poland. Annex 1.2c to Deliverable D3: Marginal cost case studies for road and rail transport. GRACE (Generalisation of Research on Accounts and Cost Estimation). EU-Project funded by Sixth Framework Programme. ITS, University of Leeds, Leeds.
- Bickel, P., S. Schmid, J. Tervonen, K. Hämeikoski, T. Otterström, P. Anton, R. Enei, G. Leone, P. van Donselaar und H. Carmigchel (2003): Environmental Marginal Cost Case Studies. Deliverable 11. UNITE (Unification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency). Stuttgart.
- Bonsall, P., C. Parathira, K. Woodham, J. Shires, P. Papaioannou und B. Matthews (2006): Understanding Variation in Estimation of Road Congestion Tolls. Annex 1.3b to Deliverable 3. GRACE (Generalisation of Research on Accounts and Cost Estimation). EU-Project funded by Sixth Framework Programme. ITS, University of Leeds, Leeds.
- Capros, P. und L. Mantzos (2000): Kyoto and technology at the European Union: costs of emission reduction under flexibility mechanisms and technology progress. *Int. J. Global Energy Issues*, 14, 169–183.
- Commission of the European Communities (2007): Communication on Limiting global climate change to 2 degrees celsius. COM(2007) 2 final. Brüssel.
- De Blaeij, Arianne, et al. (2003): The Value of Statistical Life: A Meta Analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 35 (6), 973–986.
- Haraldsson, M. (2006a): Marginal cost for road maintenance and operation – a cost function approach. Annex to Deliverable D3: Marginal cost case studies for road and rail transport. GRACE (Generalisation of Research on Accounts and Cost Estimation). Funded by Sixth Framework Programme. ITS, University of Leeds, Leeds.
- Haraldsson, M. (2006b): The marginal cost for structural repair of roads – a duration analysis approach. Annex to Deliverable D3: Marginal cost case studies for road and rail transport. GRACE (Generalisation of Research on Accounts and Cost Estimation). Funded by Sixth Framework Programme. ITS, University of Leeds, Leeds.
- HEATCO (2006): <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de>. 2006-10-25.



- Huckestein, B. und H. Verron (1996): Externe Effekte des Verkehrs in Deutschland. Umweltbundesamt: Mobilität um jeden Preis. *Workshop Proceedings. Texte des Umweltbundesamtes 66/96*. Berlin, 7–55.
- IMPACT (2007): Handbook on estimation of external cost in the transport sector. Produced within the study: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT). Delft.
- INFRAS und IWW (1995): External effects of transport. Study on behalf of UIC, Karlsruhe, Zürich und Paris.
- INFRAS und IWW (2000): External costs of transport: accident, environmental and congestion costs in Western Europe. Study on behalf of UIC, Karlsruhe, Zürich und Paris.
- Jonsson, L. und M. Haraldsson (2008): Marginal Costs of Road Maintenance in Sweden. Annex 1 to Deliverable D6: Road Cost Allocation for Europe: Recommendations and open questions. CATRIN (Cost Allocation of Transport Infrastructure cost). Funded by the Sixth Framework Programme. VTI, Stockholm.
- Lindberg, G. (2002a): Marginal Costs of road maintenance for heavy goods vehicles on Swedish roads. Annex A2 to Deliverable 10. UNITE (Unification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency). Funded by EU 5th Framework RTD Programme. ITS, University of Leeds, Leeds.
- Lindberg, G. (2002b): Marginal Costs of road maintenance for heavy goods vehicles on Swedish roads. Annex A2 to Deliverable 10: Infrastructure Cost Case Studies. UNITE (Unification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency). ITS, University of Leeds, Leeds.
- Lindberg, G. (2006): Marginal cost case studies for road and rail transport. Deliverable D3. GRACE (Generalisation of Research on Accounts and Cost Estimation). EU-Project funded by Sixth Framework Programme. ITS, University of Leeds, Leeds.
- Link, H. (2006): An econometric analysis of motorway renewal costs in Germany. *Transportation Research*. Part A. Vol. 40, 19–34.
- Link, H. (2009): Marginal costs of road maintenance in Germany. Annex 3 to Deliverable D6: Road Cost Allocation for Europe: Recommendations and open questions. CATRIN (Cost Allocation of Transport Infrastructure). EU-Project funded by Sixth Framework Programme. VTI, Stockholm.
- MC-ICAM (2004): Marginal cost pricing in transport – Integrated conceptual and applied model analysis. Deliverables 1-8. [www.its.leeds.ac.uk/projects/mcicam](http://www.its.leeds.ac.uk/projects/mcicam).
- Newbery, D.M. und G. Santos (2002): Estimating urban congestion costs. University of Cambridge, Department of Applied Economics, Cambridge.
- Planco (1990): Externe Kosten des Verkehrs: Schiene, Straße, Binnenschifffahrt. Studie im Auftrag der DB. Essen.
- Proost, S. und K. van Dender (1999): TRENEN II – STRAN – Final report for publication. Study funded by the 4<sup>th</sup> Framework Programme of the European Commission. Leuven.
- Prud'hom, R. und A. Kopp (2006): The Stockholm toll – an economic evaluation. University Paris XII und University Paris I (Sorbonne), Paris.
- Ricci, A., R. Enei, N. Piccioni, A. Vendetti und J. Shires (2008): Generalisation of Marginal Social Cost Estimates. Deliverable D7. GRACE (Generalisation of Research Accounts and Cost Estimation). Funded by Sixth Framework Programme. ITS, University of Leeds, Leeds.
- Sansom, T., C. Nash, P. Mackie, J. Shires und P. Watkiss (2001): Surface Transport Costs and Charges, Great Britain 1998. Report by ITS and AEA technology on behalf of the Department for Transport, Environment and the Regions.

- Santos, G. und J. Bhakar (2006): The Impact of the London Congestion Charging Scheme on the Generalised Cost of Car Commuters to the City of London from a Value of Travel Time Savings Perspective. *Transport Policy*, 13, 22–33.
- Schreyer, C., N. Schmidt und M. Maibach (2002): Road econometrics – Case study motorways Switzerland. Annex A1b to Deliverable 10. UNITE (Unification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency). Funded by EU 5th Framework RTD Programme. ITS, University of Leeds, Leeds.
- Sedlacek, N. und M. Herry (2002): Road econometrics – Case study motorways Austria. Annex A1c to Deliverable 10: Infrastructure Cost Case Studies. UNITE (Unification of accounts and marginal costs for Transportation Efficiency). ITS, University of Leeds, Leeds.
- Stern, N. (2006): The Economics of Climate Change. *The Stern Review*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Watkiss, P., D. Anthoff, T. Downing, C. Hepburn, C. Hope, A. Hunt und R. Tol (2005): The Social Cost of Carbon (SCC) Review - Methodological Approaches for Using SCC Estimates in Policy Assessment. Final Report November 2005. Research on behalf of UK Defra.