

# Ein Überblick zu methodischen Fragen der Wegekostenrechnung

VON HEIKE LINK, BERLIN

## 1. Einleitung

Seit nunmehr fast einem halben Jahrhundert beschäftigen sich sowohl die verkehrspolitische als auch die verkehrswissenschaftliche Diskussion mit der Wegekostenproblematik. So wurden bereits in den sechziger Jahren erste methodische und empirische Studien auf europäischer und nationaler Ebene erarbeitet (z. B. Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 1969; AG Wegekosten, 1969; Eidgenössisches Statistisches Amt, 1968). Seitdem sind in Deutschland und in anderen europäischen Ländern, in den USA und in Australien Wegekosten- bzw. Wegeausgabenrechnungen in zum Teil regelmäßigen Abständen erstellt worden. Auf europäischer Ebene hat die Wegekosten-Thematik mit der Vorlage der EU-Weißbücher zu Infrastrukturbenutzungsgebühren und zur europäischen Verkehrspolitik (Europäische Kommission, 1998, 2001) und der EU-Richtlinie zur Erhebung von Autobahnbenutzungsgebühren für Lkw seit dem Ende der Neunziger Jahre zu verschiedenen europäischen Forschungsprojekte geführt. Auf nationaler Ebene erforderte die Einführung von entfernungsabhängigen Straßennutzungsgebühren für schwere Nutzfahrzeuge insbesondere in der Schweiz, Österreich und Deutschland neue nationale Wegekostenstudien. In Deutschland existieren mittlerweile drei verschiedene Wegekostenstudien, die auf unterschiedlichen methodischen und empirischen Grundlagen basieren und eine beträchtliche Bandbreite an quantitativen Ergebnissen aufweisen.

Der folgende Beitrag nimmt diese Situation zum Anlass, zunächst die quantitativen Ergebnisse der vorliegenden deutschen Wegekostenstudien (Link et al., 2009, Protrans und IWW, 2007 und Alfen et al., 2014) darzustellen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die für einen systematischen Vergleich erforderliche Analyse der verwendeten empirischen Basis nicht möglich ist. Von daher muss offen bleiben, in welchem Umfang die jeweilige empirische Basis einerseits und Unterschiede in der verwendeten Methodik andererseits für die unterschiedlichen Ergebnisse verantwortlich sind. Aufbauend auf dem quantitativen Vergleich der existierenden Wegekostenstudien analysiert der Beitrag für ausgewählte methodische Aspekte die in den Studien

---

*Anschrift der Verfasserin:*

Dr. Heike Link  
DIW Berlin  
Energie, Verkehr, Umwelt  
Mohrenstraße 58  
10117 Berlin  
hlink@diw.de

verwendeten methodischen Ansätze und ordnet diese in den Kontext der internationalen Forschung ein. Der Beitrag konzentriert sich dabei auf die Kapitalstockberechnung, die Kapitalverzinsung und die Kostenallokation.

## 2. Methodische und quantitative Einordnung der deutschen Wegekostenstudien

Dem folgenden Überblick und den anschließenden methodischen Kapiteln sei an dieser Stelle vorausgeschickt, dass es die „richtige“ Methodik für Wegerechnungen nicht gibt. Ob eine Berechnungsmethode sinnvoll und adäquat ist, kann vielmehr nur anhand des Erkenntnisziels bzw. den Vorgaben eines Regelwerkes wie beispielsweise der EU-Wegekostenrichtlinie bewertet werden.<sup>1</sup> Mit diesen Zielen korrespondiert die Wahl der verwendeten Rechengrößen und die Akzeptanz oder Nicht-Akzeptanz einer Betriebsfiktion bzw. Art der Betriebsfiktion, aus der sich die Bewertungsmaßstäbe für den Kapitalstock und die Verzinsung des Kapitals sowie die Strategien der Einnahmengenerierung (Steuern, Gebühren, Preise und Preisdifferenzierung) ergeben. Bei den verwendeten Rechengrößen finden sich in der Wegekostenliteratur die Begriffspaare Kosten versus Ausgaben und Vollkosten versus Grenzkosten<sup>2</sup>, die sich hinsichtlich der Verteilung der monetären Größen auf Rechnungsperioden sowie der Variabilität der Kosten unterscheiden. Alle drei Rechnungsgrößen (Ausgaben, Vollkosten, Grenzkosten) können sowohl als vergangenheitsbezogene Größen für ein gewähltes Basisjahr als auch als Plan-/Prognosegrößen erstellt werden, wobei für Letztere die Erstellung von Prognosepfaden zur Verkehrsentwicklung und zur Quantität und Qualität der Infrastruktur erforderlich ist.

Alle drei für Deutschland vorliegenden Studien sind Vollkostenrechnungen. Während sich Link et al. (2009) auf ein in der Vergangenheit liegendes Berichtsjahr bezieht, sind sowohl Protrans und IWW (2007) und Alfen et al. (2014) Plankostenrechnungen, in denen zunächst eine Ist-Analyse für ein Berichtsjahr durchgeführt und anschließend die für dieses Berichtsjahr (2007 bzw. 2013) ermittelten Wegekosten für eine fünfjährige Mautperiode (2008-2012 bzw. 2013-2017) prognostiziert werden. Die drei deutschen Wegekostenstudien unterscheiden sich außerdem im Hinblick auf die gewählte Betriebsfiktion. Sowohl Link et al. (2009) als auch Alfen et al. (2014) unterstellen die Betriebsfiktion einer öffentlichen Verwaltung und begründen dies damit, dass das Straßennetz in Deutschland vom Staat bereit gestellt, unterhalten und betrieben wird und auch in absehbarer Zeit keine substantielle Veränderung dieses Status zu erwarten ist. Hingegen gehen Protrans und

---

<sup>1</sup> Zu den am häufigsten verfolgten Zielen von Wegerechnungen gehören die Analyse der Kostendeckung und Eigenwirtschaftlichkeit bzw. Subventionierung von Verkehrswegen, die Analyse von intermodalen Wettbewerbsverzerrungen aufgrund unterschiedlicher Wegekostenanlastung bei den Verkehrsträgern, haushaltswirtschaftliche/fiskalpolitische Analysen (Deckung der Wegeausgaben durch Wegeabgaben) und, seit Einführung von entfernungsabhängigen Autobahngebühren, die Ermittlung von Preisen für die Infrastrukturmutzung ( Link et al., 2009).

<sup>2</sup> Eine Erläuterung und ausführliche Diskussion der Eignung dieser Größen für die jeweiligen Erkenntnisziele findet sich ebenfalls in Link et al. (2009).

IWW (2007) davon aus, dass die Bereitstellung, Unterhaltung und Betrieb des Straßennetzes in der betrachteten Mautperiode (2007-2012) unternehmerisch erfolgt und unterstellen ein öffentliches Unternehmen. Auf eine Erläuterung und Diskussion möglicher Betriebsfiktionen wird in diesem Aufsatz verzichtet; der interessierte Leser sei auf Link et al. (2009) und Prognos und IWW (2002) verwiesen.

Die in Tab. 1 zusammengestellten Ergebnisse der drei deutschen Wegekostenstudien sind aufgrund ihres unterschiedlichen Erstellungszeitraums und der unterschiedlichen Zielstellung nicht direkt vergleichbar. So beziehen sich die Werte aus Protrans und IWW (2007) auf das letzte Prognose-Jahr der Studie und basieren auf der Ist-Analyse des Basisjahres 2007. Die Werte aus Alfen et al. (2014) beziehen sich auf das Jahr 2013, für das als Basisjahr die entsprechenden Daten und Analysen durchgeführt worden. Die Werte aus Link et al. (2009) liegen zeitlich am weitesten zurück und beziehen sich auf das Basisjahr 2007.

Die aktuelle Wegekostenstudie Alfen et al. (2014) errechnet für die mautpflichtigen Fahrzeuge (Nutzfahrzeuge des Güterverkehrs über 12 t zulässigem Gesamtgewicht) bei den Autobahnen mit 0,12 € die niedrigsten Wegekosten je Fahrzeugkilometer, liegt bei den Bundesstraßen aber mit 0,27 € je Fahrzeugkilometer zwischen denen der beiden anderen Studien. Der Schwerverkehrsanteil liegt bei den Autobahnen mit 50% zwischen den beiden anderen Studien, bei den Bundesstraßen gibt es hingegen kaum Unterschiede zwischen den Studien, so dass die Wahl der Allokationsmethodik lediglich eine (Teil) Erklärung bietet. Eine weitere Ursache liegt in der Ermittlung der Kapitalkosten und führt damit zur Problematik der Kapitalstockermittlung und Kapitalverzinsung. So weisen Alfen et al. (2014) für die Autobahnen die niedrigsten Werte für Brutto- und Nettoanlagevermögen, bezogen auf den Netzkilometer, aus. Diese Relation gilt allerdings nicht für die Bundesstraßen. Hier liegen die Ergebnisse von Alfen et al. (2014) für Brutto- und Nettoanlagevermögen generell über denen aus Link et al. (2009), im Vergleich zu Protrans und IWW (2007) ergeben sich niedrigere Werte für das Nettoanlagevermögen und höhere Werte für das Bruttoanlagevermögen.

Abschließend sei angemerkt, dass die zum Teil beträchtliche Bandbreite der Ergebnisse auch durch Unterschiede in den verwendeten empirischen Grundlagen sowie durch reale Entwicklungen (z. B. Veränderungen in der Struktur der Fahrleistungen) bedingt sein können, die in diesem Beitrag nicht analysiert werden können. Dennoch deuten die in Tab. 1 dargestellten Größen auf den starken Einfluss unterschiedlicher methodischer Ansätze bei den einzelnen Schritten der Wegekostenrechnung hin, insbesondere bei der Ermittlung des Kapitalstocks, der Kapitalverzinsung und der Allokation der Wegekosten. Aus diesem Grunde sollen diese drei Schritte in den folgenden Abschnitten ausführlicher diskutiert werden.

**Tabelle 1: Ausgewählte Ergebnisse der deutschen Wegekostenstudien**

	Jahr	Prograns und IWW (2007)	Alfen et al. (2014)	Link et al. (2009)*	Prograns und IWW (2007)	Alfen et al. (2014)	Link et al. (2009)*
		2012	2013	2007	2012	2013	2007
		Bundesautobahnen			Bundesstraßen		
Bruttoanlagevermögen je Netz-km	Mill. €	14.17	13.11	10.84	5.32	5.06	2.44
Nettoanlagevermögen je Netz-km	Mill. €	9.23	8.41	7.74	2.86	3.23	1.72
Wegekosten je Netz-km	Mill. €	0.99	0.47	0.49	0.29	0.18	0.11
Wegekosten je Fz-km mautpflichtiger Fahrzeuge	€/Fz-km	0.18	0.12	0.13	0.32	0.27	0.21
Anteil mautpflichtiger Fahrzeuge an den Wegekosten	%	44	50	57	28	28	31
Anteil Kapitalkosten an Wegekosten	%	78	60	69	81	58	67
Anteil Zinskosten an Kapitalkosten	%	66	50	54	67	51	53
Quellen: Eigene Zusammenstellung und Berechnungen.							

### 3. Bewertung des Kapitalstocks und Ermittlung der Abschreibungen

Die Bereitstellung von Verkehrsinfrastruktur verursacht beim Staat Kapitalkosten in Form von Abschreibungen und Zinsen. Um diese Kosten zu quantifizieren, ist zunächst der Vermögensbestand zu ermitteln und in monetären Größen auszudrücken, um daraus die Abschreibungen abzuleiten und den nicht abgeschriebenen Bestand zu verzinsen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass aufgrund der staatlichen Bereitstellung keine Gewinnerzielung beabsichtigt ist und folglich das Prinzip der Erfolgsneutralität gilt: Damit muss der Barwert der Einzahlungen dem Barwert der Auszahlungen entsprechen, d.h. die Summe aus dem Barwert der Abschreibungen und dem Barwert der Zinsen auf das nicht abgeschriebene Kapital muss den Anschaffungskosten entsprechen (vergleiche hierzu Knieps et al., 2001).

Grundsätzlich existieren zwei Methoden zur Bestimmung des Anlagevermögens für die Verkehrsinfrastruktur: Die Methode der direkten Bestandsbewertung (synthetische Methode) und der makroökonomische Ansatz des Perpetual-Inventory Konzepts.

Bei der direkten Bestandsbewertung wird disaggregiert für jeden Netzabschnitt der physische Bestand (Länge und Anzahl der Fahrstreifen, Alter, Charakteristika des

Abschnittes wie Anzahl der Spuren, Existenz eines Randstreifens, Bauweise etc.) inventarisiert und anschließend mit geeigneten Einheitskostensätzen monetär bewertet. Dabei werden in den auf der direkten Bestandsbewertung basierenden Studien (Prograns und IWW, 2007, Alfen et al., 2014) folgende Vermögensaggregate unterschieden: Grundstücke<sup>4</sup>, Erdbau, Frostschutzschicht, Tragschicht, Binder-/Deckschicht, Ausstattung, Brücken, Tunnel, Knoten, Meistereien, Rastanlagen. Um dem Kriterium der Erfolgsneutralität zu genügen, wird die Tagesgebrauchtwertabschreibung  $a_t$  verwendet (vgl. Schweitzer und Küpper, 2011), die sich aus der Differenz der Tagesgebrauchtwerte zu Beginn und Ende einer Periode ergibt. Die Tagesgebrauchtwerte werden durch Multiplikation der Tagesneupreise  $A_t$  (d.h. der Wiederbeschaffungswerte, die über geeignete Einheitskostensätze ausgedrückt werden), mit dem Verhältnis aus Rest- und Gesamtnutzungsdauer  $T$  ermittelt. Unter Annahme eines linearen Verschleißes ergibt sich die Tagesgebrauchtwertabschreibung aus

$$a_t = A_{t-1} \frac{T-t+1}{T} - A_t \frac{T-t}{T}. \quad (1)$$

Prograns und IWW (2007) und Alfen et al. (2014) interpretieren die Tagesneupreise als Bruttoanlagevermögen (BV) und die Tagesgebrauchtwerte als Nettoanlagevermögen (NV), so dass sich nach entsprechendem Umstellen von Gleichung (1) folgende Beziehungen ergeben (vgl. Alfen et al., 2014):

<sup>4</sup> Die Ermittlung von Vermögenswerten für Grundstücke ist in der Wegekostenrechnung erforderlich, um die auf die Grundstücke entfallenden Zinskosten quantifizieren zu können. Das Grundvermögen wird jedoch nicht abgeschrieben.

$$NV_t = BV_t \frac{T-1}{T} \quad (2)$$

$$NV_{t-1} = BV_{t-1} \frac{T-t+1}{T} \quad (3)$$

Daraus folgt, dass bei der Tagesgebrauchtwertabschreibung in jeder Periode  $1/T$  Anteile der Tagesneupreise abgeschrieben werden. Während Alfen et al. (2014) die oben skizzierte lineare Abschreibung verwenden, nutzen Prograns und IWW (2007) außerdem für einige Anlagenteile eine stochastische Abschreibung in Form einer Weibull-Verteilung, wobei allerdings die empirische und ökonometrische Spezifikation nicht dokumentiert ist.

Das Brutto-Anlagevermögen des Bundesfernstraßennetzes ergibt sich bei der direkten Bestandsbewertung als Summe der Tagesneuwerte aller Netzabschnitte und entspricht dem Betrag, der im jeweiligen Rechnungsjahr für eine vergleichbare, auf neuestem Stand der Technik gebaute Neubaustrecke aufgewendet werden würde (Prognos und IWW, 2002, S. 43). Die den Wegennutzern angelasteten Abschreibungen beziehen sich folglich auf ein solches neuwertiges Netz. Im Ergebnis dieser Bewertung liegt das Anlagevermögen zwangsläufig am oberen Rand möglicher Bewertungen, da mit diesem Vorgehen auch Anlagenteile, die zwar noch existent, aber technisch und wirtschaftlich obsolet sind, mit Wiederbeschaffungspreisen bewertet werden, selbst wenn eine solche Wiederbeschaffung ökonomisch nicht sinnvoll ist.

Beim Perpetual-Invenotory Konzept werden für homogene Klassen von Anlagegütern, ausgehend von einem Ausgangsbestand des Anlagevermögens (der z. B. im Rahmen einer direkten Bestandsbewertung ermittelt wurde), die jährlichen Investitionen als Vermögenszugänge kumuliert und mittels einer geeigneten Abgangs- und Abschreibungsrechnung die Vermögensabgänge  $A_t$  bzw. Abschreibungen  $D_t$  subtrahiert:

$$BV_{t+1} = BV_t + I_t - A_t \quad (4)$$

$$NV_{t+1} = NV_t + I_t - D_t \quad (5)$$

Für die Bestimmung der Vermögensabgänge wird eine stochastische Abgangsfunktion verwendet, die die Wahrscheinlichkeitsverteilung für das Ausscheiden einzelner Anlagen eines Investitionsaggregates innerhalb des Nutzungsdauerintervalls angibt. Als Funktionstyp verwenden Link et al. (2009) ein Polynom dritten Grades, das auch der jährlichen Anlagevermögensrechnung in "Verkehr in Zahlen" (BMVI, 2013) zugrunde liegt. Der unter Berücksichtigung der so ermittelten physischen Vermögensabgänge vorhandene Vermögensbestand (Bruttoanlagevermögen) wird linear abgeschrieben. Durch die Kombination der rechts-steilen Abgangsfunktion in Form eines Polynom dritten Grades und der linearen Abschreibungsrechnung ergibt sich ein degressiver Verlauf der kumulierten Abschreibungsbeträge. Die Bewertung der Investitionen und damit des Anlagevermögens erfolgt im Perpetual-Invenotory-Konzept typischerweise zu konstanten Preisen eines Stichjahres, um Preisentwicklungen sektor- bzw. anlagenspezifisch zu

berücksichtigen. Das in Link et al. (2009) verwendete, mit der jährlichen Anlagevermögensrechnung aus BMVI (2013) korrespondierende Modell unterscheidet vier Vermögensaggregate: Erdbau, Kunstbauten (Brücken, Tunnel), Fahrbahnen und Ausrüstungen.

Der entscheidende Unterschied zwischen den beiden Verfahren liegt darin, dass die direkte Bestandsbewertung zunächst von physischen Größen ausgeht und diese mit Einheitskostensätzen bewertet, während das Perpetual-Inventory-Konzept von Anfang an mit monetären Größen arbeitet. Die direkte Bestandsbewertung scheint aufgrund des disaggregierten Vorgehens das präzisere Verfahren zu sein, wenn es gelingt, die korrekten Einheitskostensätze hinreichend differenziert für die verschiedenen Charakteristika der Netzabschnitte zu ermitteln. In dieser Voraussetzung liegt jedoch auch die Schwäche des Verfahrens begründet, da sich bereits geringfügige Fehler in den Einheitskostensätzen über die hohe Zahl der Netzabschnitte zu großen Differenzen im Vermögensbestand summieren können. Das Perpetual-Inventory-Modell hingegen erscheint zunächst als das gröbere Verfahren. Die entscheidenden Parameter und potentiellen Fehlerquellen liegen in der Güte der Investitionsdaten sowie in der korrekten Abbildung des Abgangs- und Abschreibungsgeschehens. Letzteres gilt allerdings auch für das Verfahren der direkten Bestandsbewertung. Der Vorteil des Perpetual-Inventory-Konzepts liegt im wesentlichen

geringeren Datenbedarf, der einfachen Fortschreibung von Vermögensbeständen, der Anwendbarkeit auf andere Verkehrsträger, und insbesondere in der Robustheit und geringeren Fehleranfälligkeit, da sich im aggregierten Ansatz Fehler ausgleichen können. Zudem ist es mit den Vermögenswerten der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung kompatibel. In nahezu allen europäischen Ländern volkswirtschaftliche Infrastrukturkostenrechnungen auf diesem Konzept basieren<sup>5</sup>.

Abbildung 1 vergleicht die in den deutschen Wegekostenstudien ermittelten Vermögenswerte für die Bundesfernstraßen, wobei für eine bessere Vergleichbarkeit anstelle der Vermögenswerte für 2007 aus Link et al. (2009) die ebenfalls auf dem Perpetual-Inventory-Konzept basierenden offiziellen Vermögenswerte für 2012 aus BMVI (2013) verwendet und auf die Preisbasis 2012 umbasiert wurden. Auch wenn die Basisjahre der Studien nicht unmittelbar vergleichbar sind (das Jahr 2013 in Alfen et al., 2014, das Jahr 2012 in Prograns und IWW, 2007 und das Jahr 2012 aus BMVI, 2013), lassen sich dennoch einige interessante Aussagen ableiten. Erwartungsgemäß liegen die Vermögenswerte aus der direkten Bestandsbewertung über denen des Perpetual-Inventory-Konzepts. Neben dem grundsätzlich anderen Vorgehen dürften die in den Einheitskostensätzen enthaltenen Planungskosten eine Ursache für die höheren Werte aus der direkten Bestandsbewertung sein. So folgen Link et al. (2009) und die Anlagevermögensrechnung in BMVI (2013) der VGR-Konvention und berücksichtigen

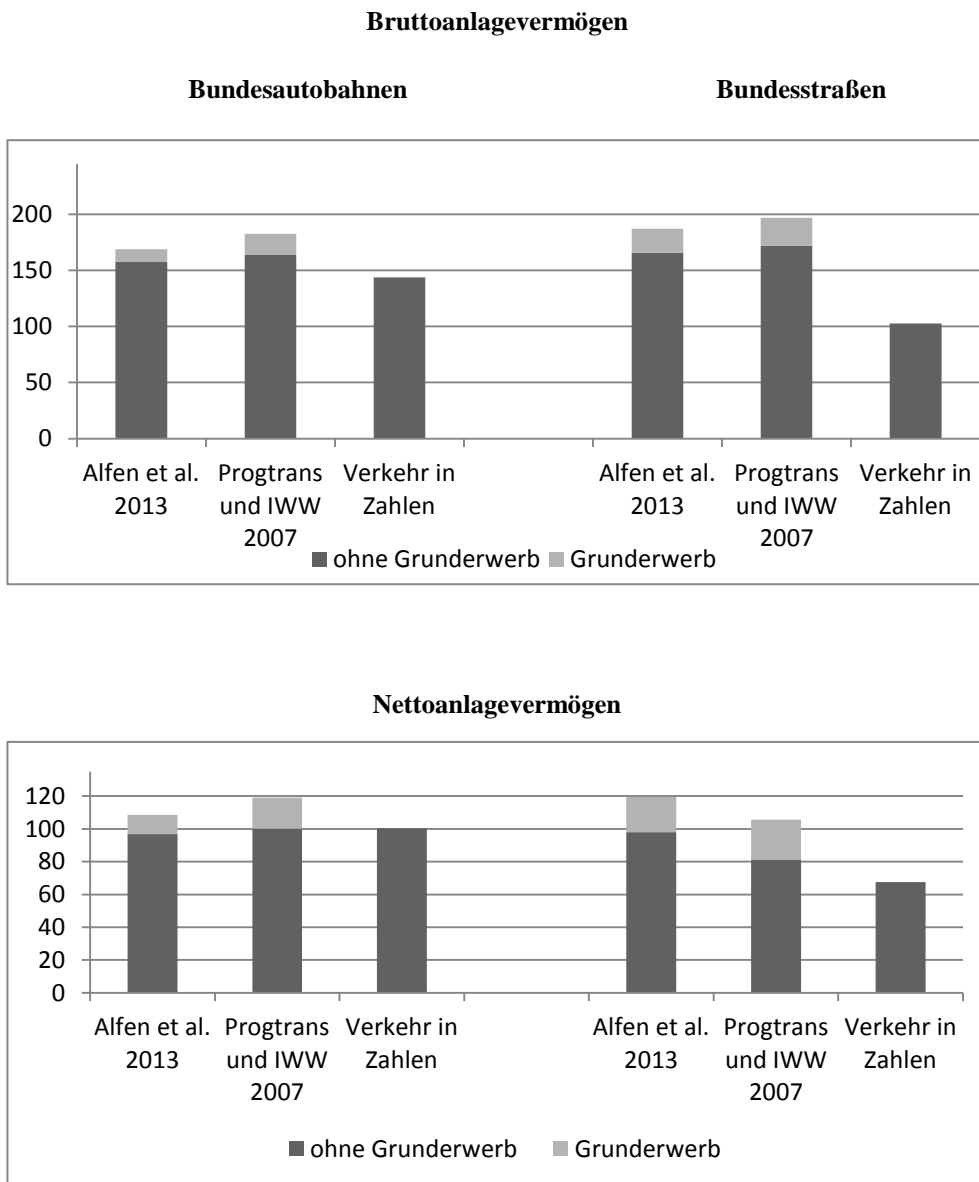
---

<sup>5</sup> Allerdings unterscheiden sich die Berechnungen hinsichtlich der Kompliziertheit der Abschreibungsfunktionen sowie hinsichtlich der Anzahl der betrachteten Vermögensaggregate. Eine methodische Ausnahme bildet die österreichische Wegekostenrechnung, die auf der direkten Bestandsbewertung basiert.

lediglich die vom Bund an die Länder gezahlte Planungskosten-Pauschale von 3 % der Investitionssumme. Im Vergleich dazu berücksichtigen Prograns und IWW (2007) pauschal 17 % Planungskosten, und Alfen et al. (2014) setzen jeweils 18 % bzw. 10% Planungskosten für Erst- bzw. Ersatzmaßnahmen an. Auffällig ist allerdings die starke Diskrepanz des mit dem Perpetual-Inventory-Konzepts ermittelten Vermögenswertes für die Bundesstraßen, der lediglich der Hälfte des im Rahmen der direkten Bestandsbewertung ermittelten Wertes entspricht.

Die im Rahmen der direkten Bestandsbewertung in Alfen et al. (2014) ermittelten Werte für das Bruttoanlagevermögen der Bundesautobahnen sind knapp 10 % niedriger als in Prograns und IWW (2007). Innerhalb der Vermögensaggregate besteht die größte Diskrepanz beim Grundstückswert, der in Prograns und IWW (2007) um ein Drittel höher als der Wert aus Alfen et al. (2014) ist. Bei den Bundesstraßen hingegen liegt der Wert des Bruttoanlagevermögens aus Alfen et al. (2007) lediglich um 5 % unter dem entsprechenden Wert aus Prograns und IWW (2007), der Wert des Nettoanlagevermögens jedoch um mehr als 10 % über dem Wert aus Prograns und IWW (2007).



**Abbildung 1: Anlagevermögen der Bundesfernstraßen in Mrd. Euro<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> Die Angaben beziehen sich auf 2013 in Alfen et al. (2014), 2012 in Prograns und IWW(2007) sowie 2012 in BMVI (2013), letzteres umbasiert auf Preisbasis 2012.

## 4. Verzinsung des eingesetzten Kapitals

Mehr als die Hälfte der gesamten Kapitalkosten entfallen auf die Zinsen. Ihr Anteil schwankt zudem in den deutschen Wegekostenstudien in einer Bandbreite von 50 % bis 67 % (Tab. 1). Die Vorgehensweise zur Verzinsung des Kapitals ist deshalb einer der zentralen methodischen Punkte einer Wegekostenrechnung.

In der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur zur Verzinsung öffentlicher Investitionen existieren zwei grundsätzliche Herangehensweisen. Zum einen die Quantifizierung der sozialen Opportunitätskostenrate  $r$ , und zum anderen das Konzept der sozialen Zeitpräferenzrate  $s$ . Beide Ansätze leiten sich aus volkswirtschaftlichen Erklärungsmodellen her, die die Entscheidung der Wirtschaftsakteure zwischen Konsumieren und Investieren intertemporal abbilden. Die soziale Opportunitätskostenrate ergibt sich aus der Investitionsseite des Modells und drückt aus, welche Rate of Return erzielt werden könnte, würde „heute“ auf eine Einheit Konsum verzichtet werden. Die soziale Zeitpräferenzrate hingegen spiegelt die Konsumseite des Modells wider und ist die Rate, mit der die Konsumenten den heutigen Konsum gegen den zukünftigen Konsum abwägen. Beide Größen sind quantitativ nur im Optimum der Volkswirtschaft identisch, wenn die Allokation der Konsummenge optimal zwischen „heute“ und „morgen“ erfolgt (für eine ausführlichere Darstellung vgl. Pearce und Nash, 1981). In der Realität ist jedoch typischerweise die Allokation zwischen heutigem und zukünftigem Konsum und damit zwischen Konsum und Investition aufgrund der Existenz von Steuern, externen Effekten, unvollständiger Information, Risikoprämien bei privaten Investitionen etc. nicht optimal (vgl. Baumol, 1969), so dass die Annahme  $r = s$  nicht erfüllt ist. Damit stellt sich das Problem, mit welcher Größe bei der Verzinsung öffentlicher Investitionen gearbeitet werden sollte - ein Problem nicht nur in Wegekostenrechnungen, sondern insbesondere auch in Kosten-Nutzen-Analysen. Im folgenden werden die methodischen und empirischen Grundlagen beider Ansätze diskutiert.

### 4.1 Opportunitätskostenansatz

Der Opportunitätskostenansatz geht davon aus, dass bei konstantem öffentlichen Konsum die Generierung von Ressourcen für die Realisierung eines öffentlichen Projektes den privaten Konsum und/oder private Investitionen verdrängen. Die Ableitung eines Zinssatzes zur Diskontierung öffentlicher Investitionen mittels des Opportunitätskostenansatzes ist daher von Art und Verhältnis der angenommenen Verdrängung (private Konsum oder private Investitionen) abhängig. Neben der Annahme zur Art der Verdrängung basiert der Opportunitätskostenansatz auf der Annahme idealer Märkte mit vollkommener Konkurrenz, in denen keine externen Effekte oder Unsicherheit vorliegen und keinerlei verzerrende Steuern und Abgaben erhoben werden.

Unter der Annahme, dass eine öffentliche Investition den privaten Konsum verdrängt, würden die Opportunitätskosten eines öffentlichen Projektes dem Wert des verdrängten

Sparens entsprechen. Dabei würde man den Zins zugrunde legen, den die privaten Haushalte für ihre Ersparnisse erhalten, vorzugsweise den Zinssatz von risikolosen Wertpapieren wie beispielsweise festverzinsliche Wertpapiere des Bundes. Und der Annahme, dass eine öffentliche Investition ein privates Investitionsprojekt verdrängt, würden die Opportunitätskosten des öffentlichen Projektes dem Wert der marginalen privaten Investitionen entsprechen. Für die Verzinsung eines öffentlichen Projektes müsste in diesem Fall die risikofreie Markttrendite der marginalen privaten Investition herangezogen werden, die allerdings nicht aus Aktienmarktrenditen abgeleitet werden sollte.<sup>6</sup>

Theoretisch würde sich unter den restriktiven Annahmen der Wohlfahrtsökonomie aus der Quantifizierung der verdrängten privaten Investitionen und des verdrängten privaten Sparens der gleiche Zinssatz ergeben. Aufgrund staatlicher Eingriffe (Erhebung von Steuern sowohl auf individueller als auch auf Unternehmensebene) existiert jedoch eine Differenz zwischen den Diskontierungssätzen. Beckers et al. (2009) schlagen deshalb vor, für die Ermittlung des Diskontierungssatzes von einer gemischten Verdrängung auszugehen und eine gewichtete Summe der beiden Diskontierungsraten zu verwenden. Unter der Annahme fehlender Investitionsrisiken und Unsicherheit leiten Beckers et al. (2009) aus der Gleichung

$$i(1 - t_s) = r(1 - t_u)i(1 - t_d) \quad (6)$$

unter Verwendung eines Gewichtungsfaktors  $\lambda$  für den verdrängten Konsum den gesuchten Diskontierungssatz wie folgt her

$$d = \left( \frac{\lambda(1-t_u)(1-t_d)+1-\lambda}{(1-t_u)(1-t_d)} \right) i(1 - t_s), \quad (7)$$

wobei  $i$  der Zins für risikolose Anlagen und  $r$  die Rendite der marginalen Privatinvestition sind, und  $t_s$ ,  $t_d$  und  $t_u$  für die Besteuerung des Zinseinkommens, der Dividenden und des Unternehmensgewinns stehen.

#### 4.2 Quantifizierung der sozialen Zeitpräferenzrate

Das Konzept der sozialen Zeitpräferenzrate basiert auf einer utilitaristischen sozialen Wohlfahrtsfunktion und bildet die gesellschaftlichen Präferenzen mittels der Substitutionsrate zwischen heutigen und zukünftigen Konsum ab. Unter den Annahmen einer streng konkaven und iso-elastischen<sup>7</sup> Nutzenfunktion, einer konstanten

<sup>6</sup> Aktienrenditen spiegeln nicht die marginalen, sondern die durchschnittlichen Investitionserträge wider. Zudem führt die Informationsasymmetrie zwischen Investoren und Managements börsennotierter Unternehmen zu beträchtlichen Transaktionskosten und zu Risikoprämien. Darüber hinaus können Aktienmarktrenditen aufgrund von möglichen oligopolistischen Marktstrukturen einen Gewinnaufschlag enthalten, dem keine Opportunitätskosten gegenüberstehen (vergleiche hierzu ausführlicher Beckers et al., 2009).

<sup>7</sup> Bei einer iso-elastischen Nutzenfunktion variiert die Elastizität des Grenznutzens nicht mit dem Konsumniveau.

Wachstumsrate des Konsums und der kardinalen Messbarkeit des Nutzens ist die soziale Zeitpräferenzrate definiert durch die so genannte Ramsey-Formel (Ramsey, 1928) als

$$s = p + \mu g \quad (8)$$

wobei  $p$  die „pure“ Zeitpräferenzrate,  $\mu$  die Elastizität des Grenznutzens des Einkommens (bzw. des Konsums) und  $g$  das Pro-Kopf Wachstum des Konsums darstellen. Für die Bestimmung eines Wertes für die soziale Zeitpräferenzrate ist die Quantifizierung der in Gleichung (3) enthaltenen Parameter  $p$ ,  $\mu$  und  $g$  erforderlich.

#### 4.2.1 Quantifizierung der reinen Zeitpräferenzrate

Die Quantifizierung der reinen Zeitpräferenzrate  $p$  kann entweder empirisch aus Sterbetafeln oder über normative Setzungen erfolgen. Die Schätzung aus Sterbetafeln basiert auf der Annahme, dass die Individuen die nächste Zeitperiode mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit nicht erleben werden und deshalb eine bestimmte Menge Konsum heute derselben Menge an Konsum in einem Jahr vorziehen. Damit kann die jährliche Sterblichkeitsrate als Approximation der reinen Zeitpräferenzrate dienen. Hierbei stellen sich allerdings zahlreiche praktische und ethische Fragen. So wird beispielsweise diskutiert, ob mit diesem Vorgehen ein zu niedriger Wert ermittelt wird, da das aus Sterbetafeln abgeleitete Todesrisiko andere Risiken wie Naturkatastrophen, Kriege oder Seuchen nicht enthält. Ebenso ist an der Ableitung der Zeitpräferenzrate aus Sterbetafeln zu kritisieren, dass altruistisches Verhalten (z. B. die Sorge der Individuen für ihre Nachkommen und für nahe stehende Personen, aber auch für die Gesellschaft insgesamt) nicht berücksichtigt wird.

Die normative Festsetzung eines Wertes für die reine Zeitpräferenzrate erfordert ein Werturteil über die angemessene Gewichtung des Wohlergehens der verschiedenen Generationen und stellt eine schwierige ethische Frage dar. Der Wissenschaftler Frank Ramsey, auf den die so genannte Ramsey-Gleichung zurückgeht, argumentierte seinerzeit, dass alle Generationen identisch gewichtet werden sollten. Eine Begründung für die geringere Gewichtung des Nutzens künftiger Generationen ist die Unsicherheit hinsichtlich ihrer weiteren Existenz (Untergangsrisiko). Im Rahmen der klimapolitischen Debatte wurde deshalb im so genannten Stern-Bericht (Stern, 2006) ein Wert von 0,1 für die jährliche reine Zeitpräferenz gewählt und damit implizit angenommen, dass die Menschheit innerhalb der nächsten 100 Jahre mit einer Wahrscheinlichkeit von 10% nicht mehr existieren wird.

#### 4.2.2 Quantifizierung der zukünftigen Wachstumsrate des Konsums

Zur Quantifizierung des Parameters  $g$  ist eine Prognose der langfristigen Wachstumsrate des realen Pro-Kopf-Konsums erforderlich, die aus historischen Daten über die durchschnittliche reale Konsumententwicklung aus den volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR) abgeleitet werden kann. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen,

dass das Konsumwachstum in der Ramsey-Gleichung auch Veränderungen in der Freizeit sowie bei öffentlichen Gütern wie der Umweltqualität und der persönlichen Sicherheit beinhaltet und somit der Konsum in einem breiteren Sinne als in der VGR berücksichtigt werden müsste. Anzumerken ist außerdem, dass Forschungsinstitute zwar regelmäßig kurzfristige Wachstumsprognosen erstellen, zur Langfristprognose der Wachstumsrate des Konsums jedoch verlässliche Instrumente fehlen.

#### 4.2.3 Elastizität des Grenznutzens des Konsums

Der am schwierigsten zu bestimmende Parameter der sozialen Zeitpräferenzrate ist die Elastizität des Grenznutzens des Konsums  $\mu$ . Zu den möglichen Ansätzen gehören (1) der Steuerprogressionsansatz, (2) der Ansatz der intertemporalen Konsumententscheidungen, und (3) der Lebenszufriedenheitsansatz.

##### **Steuerprogressionsansatz**

Der Steuerprogressionsansatz basiert auf der Überlegung, dass in demokratisch verfassten Staaten mit freien Wahlen das Einkommenssteuersystem die gesellschaftlichen Präferenzen hinsichtlich der Steuerbelastung und -gerechtigkeit widerspiegelt. So beruht das Einkommenssteuersystem in den meisten modernen Staaten auf dem Leistungsfähigkeitsprinzip, d.h. die zu zahlende Steuer soll für jedes Einkommen zum gleichen Nutzenverlust führen (sogenannter „equal sacrifice“-Ansatz). Das Prinzip des equal sacrifice impliziert, dass für jedes Einkommen  $Y$  die Gleichung

$$U(Y) - U(Y - T(Y)) = k \quad (9)$$

gilt, wobei  $U$  der Nutzen,  $T$  die Einkommenssteuerfunktion und  $k$  eine Konstante sind. Unter der Annahme einer iso-elastischen Nutzenfunktion  $U(Y) = (Y^{1-\mu} - 1)/(1 - \mu)$  ist die Elastizität des Grenznutzens des Konsums konstant und kann anhand des durchschnittlichen und des marginalen Steuersatzes für ein beliebiges Einkommen über die Gleichung

$$\mu = \frac{\ln\left(1 - \frac{\partial T(Y)}{\partial Y}\right)}{\ln\left(1 - \frac{\partial T(Y)}{Y}\right)} \quad (10)$$

bestimmt werden. Dies kann zum einen direkt durch das Einsetzen eines bestimmten Einkommensniveaus (meist des Durchschnittseinkommens) und der zugehörigen Steuersätze erfolgen, zum anderen kann aus Gleichung (10) eine lineare Regressionsgleichung abgeleitet und mittels der verschiedenen Steuersätze für verschiedene Einkommensniveaus geschätzt werden. Unterschiede in den vorliegenden Schätzungen ergeben sich aus der Berücksichtigung von Sozialversicherungsabgaben, der Bereinigung um Steuerfreibeträge und aus der Gewichtung der Schätzungen mit der Anzahl der

Steuerpflichtigen in der jeweiligen Steuerkategorie. Die meisten Studien nutzen als Datenbasis die Steuersätze nur eines Beobachtungsjahres. Eine Ausnahme ist Groom und Maddison (2013), die für den Regressionsansatz einen Beobachtungszeitraum von zehn Jahren und für den direkten Ansatz einen Zeitraum von fast 60 Jahren verwenden. Sie argumentieren, dass für die Analyse eines längeren Zeitraums zum einen die Veränderungen des Einkommenssteuersystems im Zeitverlauf sprechen, und zum anderen insbesondere für öffentliche Investitionen mit langer Lebensdauer ein langfristiger Ansatz zur Steuergerechtigkeit eher adäquat ist.

Die in Tabelle 2 zusammengefassten Studien des Steuerprogressionsansatzes zeigen eine relativ geringe Bandbreite für den gesuchten Parameter  $\mu$ , der zwischen 1,3 und 1,7 liegt. Interessant ist außerdem, dass Groom und Maddison (2013) einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Schätzungen für den gesuchten Parameter  $\mu$  bei einer Abweichung von  $\pm 20\%$  des Durchschnittseinkommens nachweisen und damit die dem Ansatz zu Grunde liegende Annahme der Unabhängigkeit der Elastizität des Grenznutzens des Konsums vom Einkommensniveau (iso-elastische Nutzenfunktion) in Frage stellen.

**Tabelle 2: Studien zur Elastizität des Grenznutzens des Konsums**

Studie	Land	Zeitraum	Ergebnis
<i>Steuerprogressionsansatz</i>			
Evans und Sezer (2004)	Australien	2001/02	1.72
	Frankreich		1.28
	Deutschland		1.42
	Japan		1.37
	UK		1.47
	USA		1.43
Cowell und Gardiner (1999)	UK	1998/9	1.43
		1999/0	1.41
Rapp Trans (2005)	Schweiz	2003	1.45
Evans (2008)	UK	2002/03	1.58*
Groom und Maddison (2013)	UK	1948-2010	1.57
<i>Ansatz intertemporalen Konsumententscheidungen</i>			
Kula (1987)	UK	1954-1976	0.70
	USA	1954-1976	1.89
	Kanada	1954-1976	1.56
Scott (1989)	UK	1951-1973	1.50
Selvanathan und Selvanathan (1993)	UK	1965-1981	2.58
	USA		2.53
	Kanada		1.80
	Schweiz		1.80
	Deutschland		1.62
	Frankreich Niederlande		1.89 1.21
Patterson und Pesaran (1992)	UK	1955-1989 (Quartalsdaten)	2,56
Blundell et al. (1994)	UK	1970 – 1986	0,90
Van Dahlen (1995)	UK	1830 – 1990	2,28
Berloffa (1997)	UK	1970 – 1986	2,76
Evans und Sezer (2002)	UK	1967-1997	1.64
Rapp Trans (2005)	Schweiz	1983-2003	1.50
Evans (2004)	UK	1965-2001	1.60
Groom und Maddison (2013)	UK	1975-2011 (Quartalsdaten)	1.52 – 1.57
		1964 - 2010 (Jahresdaten)	1.10 – 1.55
*Ungewichteter Wert, ohne National Insurance Contributions. Der Wert für einen Single-Vollzeitschäftigen mit durchschnittlichem Einkommen liegt lt. Evans (2008) bei 1.06. Quelle: Eigene Zusammenstellung.			

***Ansatz der intertemporalen Konsumententscheidungen***

Während der Steuerprogressionsansatz das Ziel verfolgt, gesellschaftliche Präferenzen und Entscheidungen über das Steuersystem zu quantifizieren, basiert der Ansatz der intertemporalen Konsumententscheidungen auf Beobachtungen zum Sparverhalten privater Haushalte. Im Rahmen eines Lebenszyklusmodells wird angenommen, dass ein

privater Haushalt seinen Nutzen aus Konsumieren und Sparen unter Berücksichtigung des Zinssatzes für private Spareinlagen über mehrere Perioden maximiert.

Die meisten Studien zu intertemporalen Konsumentscheidungen leiten den gesuchten Parameter  $\mu$  aus der so genannten Euler-Gleichung ab. Ausgangspunkt ist dabei die Annahme einer additiv-separablen intertemporalen Wohlfahrtsfunktion, die unter der Nebenbedingung einer intertemporalen Einkommensrestriktion maximiert wird und zu folgender ökonomischen Spezifikation führt:

$$\Delta \ln(C_t) = a + br_t + v_t \quad (11)$$

In Gleichung (11) repräsentieren  $a$  die intertemporale Substitutionselastizität (die der Inverse der gesuchten Elastizität des Grenznutzens des Konsums  $\mu$  entspricht),  $r$  den Zinssatz für Spareinlagen,  $C$  den Konsum und  $v$  den Stör-Term.

Die verfügbaren Schätzungen basieren entweder auf aggregierten Makrodaten zu Einkommen und Konsum aus der VGR oder auf Mikrodaten auf Haushaltsebene aus Zensus- oder Panel-Befragungen; die methodische Basis bilden Kointegrationsmodelle sowie Modelle mit Instrumentenvariablen. Die Unterschiede der aus den Euler-Gleichungen resultierenden Schätzungen für den Parameter  $\mu$  resultieren aus der Definition der Konsumvariable, die sich hinsichtlich der Berücksichtigung dauerhafter Güter, demographischer Veränderungen und sich im Zeitverlauf ändernder Konsumbedürfnisse der Haushalte unterscheiden. So berücksichtigen einige Studien neben den Konsumausgaben im engeren Sinne auch Freizeitausgaben, längerlebige Güter (semi-durable goods, z. B. in Groom und Maddison, 2013) oder neben dem privaten auch den öffentlichen Konsum (siehe hierzu z.B. Van Dahlen, 1995). Die als Referenzstudie geltende Arbeit von Blundell et al. (1994) zeigt, dass Analysen, die nur eine aggregierte Konsumvariable enthalten und demographische Variablen ignorieren, zu verzerrten Ergebnissen führen. Dementsprechend beziehen spätere Studien (beispielsweise Attanasio und Browning, 1995; Berloff, 1997) Haushaltscharakteristika und demographische Faktoren explizit in die Schätzung ein.

Groom und Maddison (2013) zeigen innerhalb eines Überblicks über Studien zur Euler-Gleichung für Großbritannien, dass die Verwendung von Mikro-Daten zu höheren Schätzungsergebnissen für die intertemporale Substitutionselastizität führen als die Nutzung von Makrodaten, wenngleich die Differenz nicht statistisch signifikant ist. Außerdem zeigen mit Ausnahme von Patterson und Pesaran (1992) alle Studien, dass die Euler-Gleichung strukturell instabil ist. Interessant ist außerdem das Ergebnis von Blundell et al. (1994), dass die Elastizität des Grenznutzens des Konsums nicht konstant ist, ein Ergebnis, das mit den aus dem Steuerprogressionsansatz resultierenden Schätzungen in Groom und Maddison (2013) korrespondiert.

Ein weiterer Ansatz, der ebenfalls auf der Annahme der additiven Separabilität der Nutzenfunktion beruht, ist die so genannte Frisch-Formel (Frisch, 1959)



$$\mu = \frac{K_i(1 - w_i)K_i}{\varepsilon_{ii}} \quad (12)$$

in der  $K_i$  die Einkommenselastizität und  $\varepsilon_{ii}$  die kompensierte Eigenelastizität der Nachfrage nach Gut  $i$  sowie  $w_i$  den entsprechenden Anteil der Ausgaben für Gut  $i$  am Einkommen des Haushalts repräsentieren. Die Frisch-Formel wird unter der Annahme, dass diese Gütergruppen additiv separabel sind, auf die Ausgaben der Haushalte für Nahrungsmittel und die restlichen Ausgaben angewendet. Es ist allerdings anzumerken, dass es für diese Annahme so gut wie keinen empirischen oder ökonometrischen Beleg gibt.

Die vorliegenden Studien zur Schätzung der Elastizität des Grenznutzens des Konsums mittels des Ansatzes der intertemporalen Konsumententscheidungen weisen im Vergleich zum Steuerprogressionsansatz eine höhere Bandbreite der Schätzergebnisse auf (Tab. 2).

#### ***Lebenszufriedenheitsansatz.***

Eine dritte Methode zur Ermittlung der Elastizität des Grenznutzens des Konsums basiert auf Befragungen von Individuen oder Haushalten zur subjektiven Lebenszufriedenheit. Mit diesem aus der sogenannten Happiness-Forschung stammenden Ansatz wird angenommen, dass die Lebenszufriedenheit mit dem Nutzen des Konsums korrespondiert und dass die Befragungsteilnehmer in der Lage sind, ihren Nutzen bzw. ihre subjektive Lebenszufriedenheit  $H_i$  auf einer diskreten Skala anzugeben:

$$H_i = g(U_i) \quad (13)$$

Dabei beschreibt die Funktion  $g$  die Transformation des Nutzens  $U_i$  von Individuum  $i$  in die angegebene Lebenszufriedenheit  $H_i$ . Unter der Annahme einer ordinalen Beziehung zwischen  $H$  und  $U$  kann für die Schätzung ein ordinales Regressionsmodell angewendet und der gesuchte Schätzwert für die Elastizität des Grenznutzens des Konsums abgeleitet werden. Layard et al. (2008) ist bislang die einzige Studie, die diesen Ansatz auf sechs internationale Haushaltsbefragungen zu Lebenszufriedenheit anwendet. Die Schätzergebnisse für die gesuchte Elastizität liegen für alle sechs Haushaltsbefragungen relativ nahe beieinander, sie variiert jedoch zwischen verschiedenen Untergruppen der Bevölkerung (Geschlecht, Alter, Bildungsstand oder Familienstand). Layard et al. (2008) schätzen, basierend auf Daten des sozio-ökonomischen Panel (SOEP) für Deutschland in Abhängigkeit vom verwendeten Modelltyp einen Wert für  $\mu$  von 1,15 bzw. 1,26.

#### 4.2.4 Diskontierungssätze für Deutschland

Für Deutschland sind zur Ableitung des Diskontierungssatzes kaum originäre ökonometrische Studien verfügbar (Tabelle 3). Lediglich drei Studien (Evans und Sezer, 2004; Selvanathan und Selvanathan, 1993 und Layard et al., 2008) schätzen für deutsche Daten jeweils mit dem Steuerprogressionsansatz, dem Ansatz der intertemporalen Konsumententscheidungen und dem Lebenszufriedenheitsansatz Werte für die Elastizität das

Grenznutzens des Konsums, wobei die Schätzwerte von 1,26-1,62 reichen. Kotz et al. (1987) leiten unter der Annahme einer optimalen Allokation zwischen Investitionen und Konsum mittels eines intertemporalen Modells für  $r = s$  eine Größenordnung von 2 % bis 3 % ab. Der obere Schätzwert von 3 % aus Kotz et al. (1987) war bislang der maßgebliche Zinssatz für die Bewertungsmethodik der BVWP. Beckers et al. (2009) ermitteln durch Einsetzen plausibler Werte für die relevanten Parameter (Steuersätze, Wachstumsrate des Konsums, Elastizität des Grenznutzens des Konsums etc.) mit dem Opportunitätskostenansatz einen Wert von 2 % und mit dem Ansatz der sozialen Zeitpräferenzrate einen Wert von 1,97 %. Link et al. (2009) folgen der Konvention der deutschen Wegekosten-Enquete und legen, basierend auf dem Opportunitätskostenansatz einen realen Zinssatz von 2,5 % zugrunde. Dieser wurde aus dem langjährigen Durchschnitt der Renditen für Anleihen der öffentlichen Hand, vermindert um die durchschnittliche jährliche Preissteigerungsrate für Verkehrswegeinvestitionen, errechnet. Die Wegekostenstudie von Alfen et al. (2014) präferiert ebenfalls den Opportunitätskostenansatz und leitet aus einer Prognose der durchschnittlichen Umlaufrendite von Bundesanleihen mittlerer Laufzeit einen realen Zinssatz von 1,1 % ab.

**Tabelle 3: Diskontierungssätze für Deutschland**

Studie	Methode	Daten und Annahmen	Ergebnis
Evans und Sezer (2004)	Steuerprogression	OECD-Daten	$\mu = 1,4$
Selvanathan und Selvanathan (1993)	Intertemporale Konsumentscheidungen	OECD-Daten	$\mu = 1,62$
Layard et al. (2008)	Lebenszufriedenheitsansatz	SOEP-Daten	$\mu = 1,26$ (0,9 - 1,63)
Kotz et al. (1987)	Intertemporale Wohlfahrtsfunktion	Optimale Allokation zwischen Konsum und Investitionen	$2,0 < r < 3,0$ $r = p = 3,0$
Prograns und IWW (2007)	Opportunitätskostenansatz	Keine Angabe	$r = 5,5$ (nominal)
Beckers et al. (2009)	Opportunitätskostenansatz Einsetzen plausibler Werte	$t_s, t_d = 0;$ $0,25 < t_u < 0,35$ $1,3 < i < 3,5 ;$ $0,6 < \lambda < 0,8$	$1,4 < r < 3,0$ $r = 2,0$
Beckers et al. (2009)	Soziale Zeitpräferenzrate Einsetzen plausibler Werte	$1,0 < g < 2,0 ;$ $1,0 < \eta < 1,5$ $\delta = 0,1$	$1,1 < p < 3,1$ $p = 1,97$
Link et al. (2009)	Opportunitätskostenansatz	langjähriger historischer Durchschnitt der Renditen für Anleihen der öffentlichen Hand	$r = 2,5$
Alfen et al. (2014)	Opportunitätskostenansatz	Prognose der durchschnittlichen Umlaufrendite von Bundesanleihen mittlerer Laufzeit	$r = 1,1$
Quelle: Eigene Zusammenstellung.			

Grundsätzlich stellt sich insbesondere bei Nutzung des Opportunitätskostenansatzes die Frage, inwieweit der Altersaufbau der Verkehrsinfrastruktur bei der Bestimmung des

Zinssatzes zu berücksichtigen wäre<sup>8</sup>. So stammen z.B. rund 40% des Anlagevermögens der Bundesfernstraßen aus Investitionsentscheidungen, die vor 1982 getroffen wurden (vgl. BMVI, 2013), d.h. die zugehörigen Opportunitätskosten sind vor 30 Jahren angefallen. Ein adäquates Vorgehen wäre deshalb die Ableitung eines gewichteten Diskontierungssatz aus den zu den damaligen Investitionszeitpunkten geltenden Zinssätzen. Ein solches Vorgehen nutzt jedoch bislang keine der deutschen Wegekostenstudien.

## 5. Kostenallokation

Die Verkehrswege erfüllen sowohl verkehrliche als auch verkehrsfremde Funktionen und werden von verschiedenen Nutzergruppen mit unterschiedlichen Ansprüchen an die Wegequalität, mit unterschiedlich starker Nutzung und kostenwirksamen Verschleiß in Anspruch genommen. Die Zuordnung der Wegekosten zu den Nutzerkategorien ist aufgrund des hohen Fixkostenanteils, der Abhängigkeit des Verhältnisses zwischen fixen und variablen Kosten von der Länge der betrachteten Zeitperiode, sowie des hohen Gemeinkostenanteils sowohl bei den fixen als auch den variablen Kosten kompliziert. Deshalb stellt die Wahl geeigneter Kostenallokationsverfahren für Wegekostenrechnungen ein besonderes methodisches Problem mit beträchtlichen quantitativen Auswirkungen dar. So zeigen die in Link et al. (1999) durchgeführten Sensitivitätsanalysen, dass die verschiedenen international gebräuchlichen Allokationsverfahren zu großen Streuungen in den Anteilen einzelner Fahrzeugkategorien an den Gesamtkosten führen. Der verwendete Kostenschlüssel kann daher als einer der sensibelsten Parameter einer Wegekostenrechnung bezeichnet werden.

### 5.1 Konzepte zur Allokation von Wegekosten

Grundsätzlich lassen sich folgende Möglichkeiten der Kostenallokation unterscheiden, die auch in Mischformen angewendet werden:

#### ***Unterscheidung zwischen fixen und variablen Kosten.***

In der Wegekostenliteratur finden sich häufig die Begriffspaare Kapazitätskosten-Grenzkosten der Benutzung auf der einen Seite, und fixe und variable Kosten auf der anderen Seite. Sie sind dann identisch, wenn ein linearer Kostenverlauf vorliegt und die variablen Kosten den Grenzkosten entsprechen. Die Unterscheidung zwischen variablen und fixen Kosten basiert zumeist auf Expertenschätzungen, die für mehr oder weniger differenzierte Kosten- und Bauwerksarten vorgenommen werden. Die Unterscheidung zwischen Grenzkosten und Kapazitätskosten basiert auf Regressionsanalysen bzw. ökonomischen Kostenfunktionsstudien.

---

<sup>8</sup> Auch bei der Quantifizierung der Parameter der sozialen Zeitpräferenzrate stellt sich die Frage nach dem adäquaten Beobachtungszeitraum (vergleiche hierzu die Diskussion in Groom und Maddison, 2013).

### ***Incremental Cost Approach***

Der Begriff der incremental costs stammt aus der Regulierungspraxis und hat seine theoretische Fundierung in den Arbeiten von Faulhaber und Baumol/Willig (z.B. Faulhaber 1975, Baumol and Willig, 1982)<sup>9</sup>.

Das Gesamtkonzept ist aufgrund der anderen Motivation nicht direkt auf eine Wegekostenrechnung übertragbar, die Idee fand aber Eingang in die Arbeiten zum Konzept der "minimalen" Straße in der Schweiz. Hierbei werden zunächst die Kosten für den Bau einer Straße ausschließlich für Pkw berechnet und anschließend analysiert, welche gewichts-, dimensions- und kapazitätsbedingten Mehrkosten für größere und schwerere Fahrzeuge entstehen würden. Bei der in den USA verwendeten, stärker differenzierten Incremental-Costs-Methode werden die Kosten einer bestimmten Straße in einzelne Differenzbeträge (increments) zerlegt, die jeweils beim Übergang von den technischen Anforderungen einer Fahrzeugkategorie zu der nächst schwereren entstehen (FHCA, 1982).

Die Bestimmung der incremental costs ist ein Unterfangen, dessen empirische Kompliziertheit für die nur geringe Verbreitung ursächlich sein dürfte. Scazziga (1984) und INFRAS et al. (2013) werten hierzu für ausgewählte Strecken Projektabrechnungen aus, um die gewichtsbedingte Kostendifferenz zwischen aktuellen Straßenprojekten und fiktiven Projekten nur für Pkw zu bestimmen. Letztendlich kommt auch das Incremental-Costs-Verfahren nicht ohne Experteneinschätzungen aus, da die Kostendifferenz zwischen tatsächlichem und fiktivem Straßenprojekt mittels ingenieurwissenschaftlichen Know-Hows bestimmt werden muss. Problematisch ist zudem die fehlende statistische Repräsentativität und Verallgemeinerungsfähigkeit der Ergebnisse (vgl. hierzu auch TRL et al., 1996).

### ***Unterscheidung zwischen gewichtsabhängigen und nicht-gewichtsabhängigen Kosten.***

Bei dieser Unterscheidung wird zunächst ein Schwerverkehrsanteil bestimmt, der in den meisten Fällen auf Expertenschätzungen basiert, oder - wie in der Schweiz - dem Konzept der minimalen Straße folgend einen Incremental Cost Approach verwendet. Es ist zu berücksichtigen, dass sowohl die gewichtsabhängigen als auch die gewichtsunabhängigen Kosten jeweils sowohl fixe als auch variable Kosten enthalten können.

---

<sup>9</sup> In diesen Arbeiten wurden die incremental costs als untere und die stand-alone-costs als obere Grenze des wohlfahrtsoptimalen Preises festgelegt, den A an B zu zahlen hat, ohne dass es zur Quersubventionierung von A zu B oder umgekehrt kommt. Sowohl die stand alone costs als auch die incremental costs enthalten zudem einen marktüblichen Gewinn.

### *Spieltheoretische Ansätze*

Diese Ansätze lösen sich in gewisser Weise vom Prinzip der Kostenverursachung und berücksichtigen Fairness- und Gerechtigkeitsaspekte bei der Allokation von Ressourcen. Sie quantifizieren eine Verhandlungslösung der beteiligten Akteure (Fahrzeugarten) bei kooperativem Verhalten. Derartige Lösungen sind beispielsweise der Shapley-Wert oder der Mertens-Wert (vgl. hierzu Shapley, 1953 und Mertens, 1988). Spieltheoretische Lösungen werden in Wegekostenrechnungen selten angewendet, da der empirische und mathematische Aufwand für eine empirisch solide und theoretisch adäquate Umsetzung sehr hoch ist. Starke Vereinfachungen des Konzepts führen zum Incremental-Costs-Ansatz.

#### 5.2 Überblick über international verwendete Allokationsverfahren

Auf die Fülle der international verfügbaren Studien kann im Rahmen dieses Aufsatzes nur überblicksartig eingegangen werden. Ein umfassender Überblick über international gebräuchliche Allokationsverfahren und ihre quantitativen Implikationen findet sich in Link et al. (1999) sowie in Link et al. (2008). Zusammenfassend lassen sich für die in der EU und in der Schweiz gebräuchlichen Verfahren folgende Grundsätze ableiten:

- Nahezu alle in den EU-Ländern und in der Schweiz üblichen Allokationsverfahren unterscheiden zwischen fixen und variablen Kosten, deren Verhältnis mehr oder weniger pragmatisch auf der Grundlage von Expertenschätzungen bestimmt wurde<sup>10</sup>. Einige Studien differenzieren außerdem bzw. stattdessen nach gewichtsabhängigen Kosten.
- Die in der Schweiz und in zweien der drei deutschen Wegekostenstudien verwendeten Allokationsverfahren unterscheiden zwischen verursachten und veranlassten Kosten.
- Je nach Verfahren werden die fixen und variablen Kosten weiter differenziert und mittels verschiedener Allokationsfaktoren zugeordnet. Dabei ist insbesondere auf die Schwierigkeiten bei der Wahl geeigneter Faktoren zur Zuordnung der fixen Kosten hinzuweisen. Gebräuchliche Faktoren sind z.B. Fahrzeugkilometer sowie Äquivalenzfaktoren, die die Fahrzeugkilometer pro Fahrzeugkategorie mit der Fahrzeuglänge oder mit den Geschwindigkeitsunterschieden zwischen den Fahrzeugen gewichten.
- Zur Allokation der variablen Kosten wird typischerweise zunächst ein gewichtsabhängiger Teil (wiederum basierend auf Expertenschätzungen) bestimmt und mit Hilfe der AASHO-Faktoren, in einigen Ländern auch unter Verwendung

---

<sup>10</sup> Eine Ausnahme bildet Österreich, wo zur Bestimmung der Kostenanteile Regressionsanalysen durchgeführt wurden (Herry et al. 1993).

- des maximal zulässigen bzw. des durchschnittlichen Gesamtgewichts oder der Bruttotonnenkilometer zugeordnet.
- Die nicht-gewichtsabhängigen variablen Kosten werden häufig über Fahrleistungen oder aber mittels der für die Fixkostenaufteilung benutzten Faktoren verteilt.

### ***Quantifizierung des Anteils variabler Kosten und der Grenzkosten***

Bereits der Schritt einer quantitativen Analyse der Anteile fixer und variabler Kosten (bzw. der Grenz- und Kapazitätskosten) an den Gesamtkosten ist empirisch ausgesprochen kompliziert. Eine theoretisch und empirisch befriedigende Lösung ist die ökonomische Schätzung von Kostenfunktionen, aus denen die variablen Kosten und die Grenzkosten mathematisch abgeleitet werden können. Da diese Ansätze jedoch methodisch sehr anspruchsvoll und insbesondere datenseitig sehr aufwendig sind, basiert der verwendete Anteil der variablen Kosten in den meisten international gebräuchlichen Verfahren mehr oder weniger pragmatisch auf Expertenschätzungen. Gleiches gilt für die in einigen Studien verwendeten Anteile der gewichtsabhängigen Kosten. Die sich aus den verschiedenen Allokationsverfahren ergebenden Anteile variabler bzw. gewichtsabhängiger Kosten variieren zwischen 15 % und 58 % (variable Kosten) bzw. zwischen 33 % und 46 % (gewichtsabhängige Kosten).

Während der letzten Jahre sind im Rahmen europäischer Forschungsprojekte Studien zur ökonomischen Schätzung des Zusammenhangs zwischen Infrastrukturkosten und Verkehrsbelastung entstanden. Sie lassen sich methodisch in zwei Ansätze einordnen:

- Analyse des funktionalen Zusammenhangs zwischen den getätigten Ausgaben für Unterhaltung, Erneuerung und Betrieb einerseits und der Verkehrsbelastung sowie anderen Faktoren (Klima, Bauweise, regionale Faktoren) andererseits.
- Duration Approach. Basierend auf Längsschnittdaten zum Straßenzustand wird der Zusammenhang zwischen Straßenzustand, Verkehrsbelastung sowie weiteren Einflüssen (Klima) analysiert und die aufgrund höherer Verkehrsbelastung eingetretene Lebensdauerverkürzung der Straßenoberfläche quantifiziert.

**Tabelle 4: Kostenelastizität (Anteil der Grenzkosten an den Durchschnittskosten in ökonometrischen Studien zu den Wegekosten des Straßenverkehrs)**

Studie	Land	Straßentyp	Datenbasis	Modell	Laufende Unterhaltung	Erneuerung	Betrieb
Schreyer et al. (2002)	Schweiz	Autobahnen u. Kantonstraßen	Querschnittsdaten für 4 Jahre, n = 316	Loglinear	0,45	0,71	
Link (2006)	Deutschland	Autobahnen	Querschnittsdaten für 20 Jahre, n = 221	Translog, Mehrgleichungsmodell		0,87	
Link (2009)	Deutschland	Autobahnen	Querschnittsdaten für 2 Jahre, n = 530	Box-Cox-Modell	GV 0,17 Pkw 0,67		
Link (2014)	Bundesland Hessen	Bundesstraßen	Querschnittsdaten für 3 Jahre, n = 362	Box-Cox-Mehrgleichungsmodell	GV 0,15 Pkw 0,25		
Haraldsson (2006)	Schweden	Alle Straßen	Panel für 5 Jahre mit 145 Abschnitten u. n = 725	Translog	GV* 0,58		0
Haraldsson (2007)	Schweden	Befestigte Straßen	Querschnittsdaten für 55 Jahre u. n = 142331	Duration Approach		0,04 -0,05	
Jonsson und Haraldsson (2008)	Schweden	Alle Straßen	Querschnittsdaten für 4 Jahre u. n = 429	Panel, loglinear	Alle Kfz 0,39 GV 0,27 Pkw 0,50		
Lindberg (2002)	Schweden	Alle Straßen	Querschnittsdaten für 639 Abschnitte u. 15 Jahre	Duration Approach		0,8	
Bak et al. (2006)	Polen	Nationalstraßen	Querschnittsdaten für 3 Jahre u. n = 792	Loglinear	0,12	0,57	
Bak et al. (2009)	Polen	Nationalstraßen	Querschnittsdaten für 6 Jahre u. n = 900	Loglinear	0,3		

GV = Güterverkehr.- \*) Studie basiert auf der Annahme, dass alle Kosten der Unterhaltung dem Schwerverkehr zugeordnet werden.  
Quelle: Eigene Zusammenstellung.



Die verfügbaren Studien beziehen sich auf verschiedene EU-Länder mit unterschiedlich gut ausgebauten und unterhaltenen Straßennetzen, unterschiedlicher Verkehrsbelastung und analysieren verschiedene Kategorien der Infrastrukturkosten mit z. T. verschiedenen Kostenfunktionstypen. Dennoch lassen sich folgende Grundaussagen ableiten (vgl. Tabelle 4):

- Alle Studien haben nichtlineare Grenzkostenkurven ermittelt. Angesichts von eher schwach ausgeprägten Nichtlinearitäten erscheint es aber vertretbar, die Begriffe Grenz- und variable Kosten gleich zu setzen.
- Die durchschnittliche Kostenelastizität, d.h. der Anteil der Grenz- bzw. variablen Kosten an den Durchschnittskosten nimmt mit der Lebensdauer der Maßnahmen ab. So ist der Grenzkostenanteil für die Erneuerung höher als für die laufende Unterhaltung, während die Ausgaben für den laufenden Betrieb nahezu vollständig den Charakter von Fixkosten tragen.
- Der Grenzkostenanteil für die Erneuerung variiert zwischen 30 % und 80 %.<sup>11</sup> Für die laufende Unterhaltung liegt die Bandbreite zwischen 27 % und 69 %, wenn man den Wert aus Bak et al. (2006) als Ausreißer ansieht (niedriges Ausgabeniveau aufgrund vernachlässigter Unterhaltung).

#### *Allokationsfaktoren für variable, gewichtsabhängige und Grenzkosten*

Die Verteilung dieser Kostenanteile auf die einzelnen Fahrzeugkategorien erfolgt durch Gewichtung der Fahrleistungen mit Äquivalenzziffern (vgl. Tabelle 5), unter denen die AASHO-Faktoren die wichtigsten und wohl am stärksten diskutierten sind. Sie basieren auf dem von 1958 bis 1960 im US-Bundesstaat Illinois durchgeführten AASHO-Road-Test<sup>12</sup>, in dem die Auswirkungen von Achslasten unterschiedlicher Höhe und Anordnung auf verschiedene Arten von Straßendecken und Tragschichten sowie auf Brücken bestimmt wurden. Anhand der gesammelten empirischen Daten wurden Äquivalenzziffern gebildet, die den Zusammenhang zwischen der tatsächlichen Achslast eines Kraftfahrzeuges und den Grenzkosten der Unterhaltung der Fahrbahnbefestigung und der Erneuerung der Fahrbahndecken quantifizieren. Der AASHO-Road-Test führte zu dem Ergebnis, dass die Straßenschäden durch Kraftfahrzeuge mit der vierten Potenz der tatsächlichen Achslast ansteigen.

---

<sup>11</sup> Der untere Wert von 30 % aus Bak et al. (2009) ist dadurch begründet, dass in dieser Studie die Summe aus Erneuerungs- und Unterhaltungsausgaben analysiert wurde, d.h. durch den Einschluss der laufenden Unterhaltung mit generell niedrigerem Grenzkostenanteil dürfte der Wert nach unten verzerrt sein.

<sup>12</sup> Zur Beschreibung des AASHO-Road-Tests vgl.: Highway Research Board (1961), Kucera (1964) und Smith et al. (2004).

Die Ergebnisse des AASHO-Road-Tests und ihre Übertragbarkeit auf deutsche Verhältnisse sind seit Publikation der Testergebnisse Gegenstand heftiger Kritik<sup>13</sup>, auf die in diesem Beitrag nicht eingegangen werden kann. Grundsätzlich wird jedoch in der Fachdiskussion die Abhängigkeit der Straßenschädigung von der effektiven Achslast akzeptiert. So zeigen ingenieurwissenschaftliche Untersuchungen in Deutschland, dass der Exponent je nach Straßentyp und Verkehrsbelastung/Fahrzeugmix zwischen 2,5 und 6 liegt, und bestätigen damit die Ergebnisse des AASHO-Road-Test im Durchschnitt (Vgl. hierzu Eisenmann, 1996 sowie Wechsler, 1998). Alle vorliegenden nationalen Wegekostenstudien wenden die Ergebnisse des AASHO-Road Test an, jedoch mit z. T. variierenden Exponenten. So wurde in der Schweiz beispielsweise bis zum Jahre 2000 ein Achslastfaktor mit dem Exponenten von 2,5 verwendet, in neueren Studien für die Schweiz wird nunmehr ein so genannter coefficient agressivite genutzt. In den Niederlanden wird für einen Teil der variablen Erhaltungs- und Betriebskosten ein Exponent von 2 angesetzt (vgl. Vermeulen, 2004).

Unbestritten ist, dass in Anbetracht der inzwischen eingetretenen technischen Veränderungen sowohl im Straßenbau als auch bei den Fahrzeugen (Verwendung von Einzelreifen bzw. breiten Reifen anstelle der Zwillingsbereifung, Luftfederungssysteme, lifted axles etc.) ein neuerlicher Feldversuch wie der AASHO-Road Test notwendig ist (vgl. Hofko et al. 2009).

### ***Kapazitätskostenallokation***

Da bei den Kapazitätskosten kein direkter Zusammenhang zu Art und Umfang des Verkehrs herstellbar ist, ist die Wahl des Kostenschlüssels schwierig und unsicher. Im allgemeinen versucht man, die Inanspruchnahme der Straßenkapazität durch die unterschiedlichen Fahrzeugkategorien zu messen und so geeignete Äquivalenzfaktoren (PCUs = Passenger car units) für die Gewichtung der Fahrleistungen zu bestimmen.

Gemessen am quantitativen Gewicht der Kapazitätskosten an den Gesamtkosten ist im Vergleich zur Diskussion um den AASHO-Road-Test relativ wenig Kritik an der Verteilung der Kapazitätskosten geübt worden. In Abhängigkeit vom zugrunde gelegten Konzept basieren die international üblichen PCUs auf Faktoren wie der durchschnittlichen Geschwindigkeit, der Verkehrsdichte und den durchschnittlichen Abständen zwischen den Fahrzeugen, sowie Verzögerungen, Kolonnenbildung und Fahrzeitbeeinflussung aufgrund der Fahrzeugcharakteristika. Der Einfluss schwererer Fahrzeuge auf den Verkehrsfluss wird über die Fahrzeuglänge, das Verhältnis zwischen Gewicht und Motorleistung, aber auch

---

<sup>13</sup> Kritikpunkte waren z.B. die Bauweise der Strecken (Unterdimensionierung), Zweifel an der Übertragbarkeit auf deutsche Straßenverhältnisse, die Anwendung der AASHO-Road-Faktoren sowohl auf die Unterhaltung der Fahrbahnbefestigung als auch auf die der Erneuerung der Fahrbahndecken, die Vernachlässigung neuer straßenschonender Fahrzeugkomponenten (Verbesserung bei Antrieb und Bremsen, Einzelradaufhängung, automatische Luftdrucküberwachung, verbesserte Dämpfung, Zwillingsbereifung), die Vernachlässigung der durch Pkw verursachten Straßenschäden, insbesondere im Innerortsbereich durch Anfahren und Bremsen an Kreuzungen.

infrastrukturseitig über die Existenz und die Länge von Steigungsstrecken und der Anzahl der Fahrspuren abgebildet (vgl. Al-Kaisy et al., 2002, Rodriguez und Benekohal, 2004).

Die international verwendeten Äquivalenzziffern für die Zuordnung der Kapazitätskosten liegen in einer Bandbreite von 2 bis 4 in Dänemark, von 2 bis 3,5 in Schweden, von 1,5-3,0 in Großbritannien und von 1,1 bis 1,4 in den Niederlanden (Vgl. hierzu Link et al., 2008).

### 5.3 Wegekostenallokation in den deutschen Wegekostenstudien

Link et al. (2009) nutzen das einfachste der in den deutschen Wegekostenstudien angewendeten Allokationsverfahren. Es basiert auf der Konvention der Wegekostenenquete (Arbeitsgruppe Wegekosten, 1969) und unterscheidet zwischen Kapazitätskosten und Grenzkosten. Die Anteile dieser beiden Kategorien an den Gesamtkosten wurden aus einer Analyse der verfügbaren ökonomischen Studien abgeleitet. Im Ergebnis liegt der Grenzkostenanteil bei 80 % der Erneuerungskosten und 50 % der Unterhaltungskosten, bezogen auf die gesamten Wegekosten liegt er bei 20%. Die übrigen 80% werden als Kapazitätskosten behandelt, bei den Bundesautobahnen sind es nach Abzug der Kosten für den Betrieb des Mautsystems 70 %. Die Kosten für den Betrieb des Mautsystems werden ausschließlich der Gruppe der mautpflichtigen Fahrzeuge zugeordnet und über die Fahrleistungen proportional auf die entsprechenden Fahrzeugkategorien verteilt. Die als Grenzkosten definierten Teile der Kosten für die laufende Unterhaltung und die Erneuerung werden durch Gewichtung der Fahrleistungen mit den Äquivalenzziffern des AASHO-Road-Tests zugeordnet. Zur Allokation der Kapazitätskosten werden Äquivalenzfaktoren verwendet, die im Rahmen von Basisstudien der Wegekostenenquete erarbeitet wurden und ausschließlich von der durchschnittlichen Fahrzeuggeschwindigkeit abhängen.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Dabei wurden die durchschnittlichen Geschwindigkeiten verschiedener Fahrzeugtypen an Strecken mit unterschiedlicher Steigung berücksichtigt und anschließend mit dem Anteil der Steigungsstrecken am deutschen Straßennetz insgesamt gewichtet. Die auf diese Weise bestimmten Äquivalenzziffern steigen mit sinkender Geschwindigkeit, d.h. die Kapazität der Straßen wird durch langsam fahrende Fahrzeuge beeinträchtigt.

**Tabelle 5: Kapazitätsäquivalenzziffern in den deutschen Wegekostenstudien**

Fahrzeugkategorie	Link et al. (2009)	Prograns und IWW (2007), Alfen et al. (2014)
Pkw	1,0	1,0
Busse	3,0	2,5
Motorräder	0,5	0,5
Nutzfahrzeuge des Güterverkehrs		
Unter 3,5 t	1,5	1,2
3,5 - 12 t	2,0 - 2,5	1,5
12 - 18 t	3,5	2,5
18 - 28 t	5,0	3,5
28 - 33 t	5,0	4,0
Mehr als 33 t	5,0	4,5
Sattelzüge	5,0	4,5
Übrige Fahrzeuge	5,0	2,0
<i>Quellen:</i> Link et al. (2009), Prograns und IWW (2007), Alfen et al. (2014).		

Die in den Wegekostenstudien von Prograns und IWW (2007) und von Alfen et al. (2014) verwendeten Allokationsverfahren folgen einer wesentlich stärker differenzierten Kategorisierung der Kosten. So werden 16 verschiedene Infrastrukturelemente unterschieden, die mit Ausnahme der Kosten für den Betrieb, die Polizei und das Mautsystem jeweils nach Neubau und Erhaltung differenziert werden. Die so differenzierten Kosten werden anteilig folgenden Allokationsprinzipien (vgl. Tab. 6) zugeordnet, wobei zwischen Verursachung und Veranlassung unterschieden wird:

- proportional über die Fahrleistungsanteile zu verteilende Kosten (Gemeinkosten),
- gewichtsabhängig verursachte Kosten (Verschleiß von Fahrbahnen),
- gewichtsabhängig veranlasste Kosten (z.B. gewichtsbedingte Dimensionierung der Dicke von Fahrbahnschichten),
- kapazitätsabhängig veranlasste Kosten (Breite und Geometrie von Straßen),
- emissionsabhängig veranlasste Kosten (z.B. Lärmschutz),
- systemspezifisch veranlasste Kosten (z.B. Mautsystem.)

Die Zuordnung der Kostenanteile eines jeden Infrastrukturelements, differenziert nach Neubau und Erhaltung, zu diesen Allokationsprinzipien basiert auf Expertenschätzungen bzw. ingenieurtechnischen Überlegungen (vgl. hierzu Alfen et al., 2014).

Für die hier genannten Kategorien gelten verschiedene Allokationsschlüssel. So werden die AASHO-Faktoren zur Allokation der Erhaltungskosten für die Trag-, Binder- und Deckschicht, für die Neubaukosten der Binderschicht und für 73 % der Neubaukosten der Tragschicht angewendet. Die gewichtsabhängig veranlassten Kosten werden über sogenannte Gewichts-Äquivalenzziffern ausschließlich den Fahrzeugen des Schwerverkehrs zugeordnet; die emissionsabhängig veranlassten Kosten werden über Lärm-Äquivalenzziffern verteilt. Die Bestimmung der Äquivalenzziffern zur Zuordnung der kapazitätsabhängig veranlassten Kosten (PCUs) basiert auf Überlegungen zum Raumbedarf der einzelnen Fahrzeuggruppen, insbesondere hinsichtlich der Fahrzeuglänge, der Beschleunigung, des notwendigen Sicherheitsabstands, der Geschwindigkeit und der Höhe und Breite des Fahrzeuges (Tab. 5).

Eine systematische konzeptionelle und quantitative Bewertung dieser in Deutschland verwendeten Allokationsverfahren kann im Rahmen dieses Beitrages nicht geleistet werden. Hinsichtlich des konzeptionellen Herangehens kann jedoch festgestellt werden, dass das in Link et al. (2009) angewendete Verfahren einerseits am stärksten auf wissenschaftlichen Grundlagenstudien basiert, andererseits aber auch am wenigsten differenziert vorgeht. Auch die Tatsache, dass die Grenzkosten, die 20 % der gesamten Wegekosten ausmachen, ausschließlich über die gewichtsabhängigen AASHO-Faktoren verteilt werden, ist kritisch zu hinterfragen. Das in Prograns und IWW (2007) und Alfen et al. (2014) genutzte Allokationsverfahren kann mit seiner Differenzierungstiefe stärker die Kostenverursachung und -veranlassung der Nutzergruppen abbilden. Allerdings kann die detaillierte Zuordnung der insgesamt fast 30 Kostenkategorien zu den Allokationsprinzipien nicht auf der Basis wissenschaftlicher Studien nachvollzogen werden, sondern wird lediglich argumentativ und teilweise auf Basis von Normenwerken des Straßenbaus diskutiert. Gleiches gilt für die Ableitung der Gewichts- und Kapazitäts-Äquivalenzziffern.

Aus Tab. 7 wird ersichtlich, dass das in Link et al. (2009) verwendete Allokationsverfahren 20 % der Gesamtkosten gewichtsabhängig über die AASHO-Faktoren zuordnet, während es in Prograns und IWW (2007) und Alfen et al. (2014) lediglich 3 % bzw. 16 % sind. Dies und die Anwendung höherer Äquivalenzziffern für die Allokation der Kapazitätskosten erklärt, dass der Kostenanteil des Schwerverkehrs in Link et al. (2009) am höchsten und in Prograns und IWW (2007) am niedrigsten ist. Auffällig und in diesem Beitrag nicht zu klären sind die großen Unterschiede in den Anteilen der systemspezifischen sowie der gewichtsabhängigen Kosten bei Prograns und IWW (2007) und Alfen et al. (2014) (17 % versus 2 % bzw. 3 % versus 16 %), die eigentlich die gleichen Allokationsprinzipien verwenden.

**Tabelle 7: Anteile der nach den verschiedenen Allokationsprinzipien zugeordneten Wegekosten in deutschen Wegekostenstudien (Autobahnen)**

	Link et al. (2009) <sup>1)</sup>	Prograns und IWW (2007) <sup>2)</sup>	Alfen et al. (2014) <sup>3)</sup>
Proportional zu verteilende Kosten	-	12 %	13 %
Systemspezifische Kosten	-	17 %	2 %
Kapazitätsabhängige Kosten	70 %	62 %	55 %
Gewichtsabhängige Kosten	20 %	3 %	16 %
Kosten des Mautsystems (proportional den Mautgebühren Fahrzeuge zugeordnet)	10 %	6 %	13 %
1) Berechnungen für die Bundesautobahnen 2007. -2) Berechnungen für die Bundesautobahnen 2012.- 3) Berechnungen für die Bundesautobahnen 2013. Quellen: eigene Berechnungen.			

## 6. Fazit

In Deutschland existieren mittlerweile drei verschiedenen Studien zu den Wegekosten des Straßenverkehrs, die zu beträchtlichen Unterschieden in den quantitativen Ergebnissen kommen. Im vorliegenden Beitrag wurde der Versuch unternommen, diese Unterschiede zu analysieren und durch einen Vergleich der verwendeten Berechnungsmethoden in den Teilbereichen Kapitalstockbewertung, Verzinsung und Wegekostenallokation zumindest teilweise zu erklären. Dabei wurden die in den jeweiligen Studien verwendeten methodischen Ansätze in den Kontext der internationalen Forschung und Praxis eingeordnet.

Generell ist festzustellen, dass es in Deutschland im Vergleich zu anderen Ländern wie beispielsweise der Schweiz nur wenige wissenschaftlich und empirisch fundierte Basisstudien zu wichtigen Variablen und Parametern der Wegekostenrechnung gibt, und dass solche wissenschaftlichen Grundlagenstudien auch nicht systematisch in Auftrag gegeben werden. Ein Lösungsansatz könnte darin bestehen, dem Vorbild der schweizerischen Wegekostenrechnung zu folgen und im Rahmen umfassender methodischer Grundlagenstudien eine Methodenkonvention für die Berechnung der Wegekosten zu erarbeiten, die empirischen Routinearbeiten auf der Basis dieser Methodenkonvention von einer offiziellen statistischen Institution (zum Beispiel dem

Statistischen Bundesamt) durchführen zu lassen, und die Methodenkonvention in regelmäßigen Abständen durch wissenschaftliche Einrichtungen zu prüfen und weiter zu entwickeln.

## Quellen

- Alfen, Aviso, IVM (2014), Berechnung der Wegekosten für das Bundesfernstraßennetz sowie der externen Kosten nach Maßgabe der Richtlinie 1999/62/EG für die Jahre 2013-2017, Gutachten im Auftrage des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, Weimar, Leipzig, Aachen, Münster.
- Al-Kaisy, A. F., Hall, F. L., Reisman, E. S. (2002), Developing passenger car equivalents for heavy vehicles on freeways during queue discharge flow, *Transportation Research Part A*, Vol. 36, 725-742.
- Arbeitsgruppe Wegekosten (1969), Bericht über die Kosten der Wege des Eisenbahn-, Straßen- und Binnenschiffsverkehrs in der Bundesrepublik Deutschland, *Schriftenreihe des Bundesministeriums für Verkehr*, Heft 34, Bad Godesberg.
- Attanasio, O., Browning, M. (1995), Consumption over the Life Cycle and over the Business Cycle, *American Economic Review*, 85(5), 1118-1137.
- Bak, M., Borkowski, P., Musiatowicz-Podbial, G., Link, H. (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.
- Bak, M., Borkowski, P. (2009), Marginal cost of Road Maintenance and Renewal in Poland. Annex 2 to CATRIN (Cost Allocation of Transport Infrastructure cost) Deliverable D6 Road Cost Allocation for Europe: Recommendations and open questions, funded by the Sixth Framework Programme, VTI, Stockholm.
- Baumol, W. J. (1969), On the social rate of discount. *American Economic Review*, 59 (5), 930.
- Baumol, W. J., Willig, R. D. (1982), *Contestable Markets and the Theory of Industry Structure*, New York, Harcourt Brace Jovanovic.
- Beckers, T., Klatt, J. P., Corneo, G., Mühlenkamp, H. (2009), Zeitliche Homogenisierung und Berücksichtigung von Risiko im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, Gutachten im Auftrage des Bundesrechnungshofes, Berlin, Speyer.

- Berloffo, G. (1997), Temporary and Permanent Changes in Consumption Growth, *The Economic Journal*, 107, 345-358.
- BMVI (2013). Verkehr in Zahlen, DVV Media Group, Hamburg.
- Blundell, R., Browning, M., Meghir, C. (1994), Consumer Demand and the Life-Cycle Allocation of Household Expenditures, *Review of Economic Studies*, 61 (1), 57–80.
- Bundesamt für Statistik (2009), Transportrechnung 2005, Bundesamt für Statistik (Hrsg.), Neuchâtel.
- Castiglia, C., Chiorino, M. A., Jürgensen, H., Vignoles, A. (o.J.), Technischer und ökonomischer Forschungsbeitrag zu dem Problem Straßenbau und Straßenverkehr - Analyse und Beurteilung des AASHO-Road-Tests, veröffentlicht durch *International Road Transport Union*, IRU Genf.
- Cowell, F. A., Gardiner, K. (1999), Welfare Weights, STICERD, London School of Economics.
- Eidgenössisches Statistisches Amt (Hrsg.) (1968), Schweizerische Straßenrechnung - Die Straßenkosten und ihre Deckung 1959 – 1965, *Statistische Quellenwerke der Schweiz*, Heft 424, Reihe Mm 2, Bern.
- Eisenmann, J. (1996), Auswirkungen einer zunehmenden Verkehrsbelastung durch Fahrzeuge des Schwerverkehrs auf die Straßenbeanspruchung, *Straße und Autobahn*, 2/1996.
- Europäische Kommission (1998), Faire Preise für die Infrastrukturbenutzung: Ein abgestuftes Konzept für einen Gemeinschaftsrahmen für Verkehrs-Infrastrukturgebühren in der EU, *Weißbuch*, KOM (1998) 466, Brüssel.
- Europäische Kommission (2001), Die europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellungen für die Zukunft, *Weißbuch*, KOM (2001) 370 endgültig, Brüssel.
- Europäische Union (2006), Richtlinie 2006/38/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 zur Änderung der Richtlinie 1999/62/EG über die Erhebung von Gebühren für die Benutzung bestimmter Verkehrswege durch schwere Nutzfahrzeuge, Brüssel.
- Evans, D. J. (2004), The Elevated Status of the Elasticity of Marginal Utility, *Applied Economics Letters*, 11, 443-447.



- Evans, D., Sezer, H. (2004), Social Discount Rates for Six Major Countries, *Applied Economics Letters*, 11, 557-560.
- Evans, D. J., Sezer, H. (2002), A Time Preference Measure of the Social Discount Rate for the UK, *Applied Economics*, 34, 1925-1934.
- Evans, D. J. (2008), The Marginal Social Valuation of Income for the UK, *Journal of Economic Studies*, 35(1), 26-43.
- Faulhaber, G. R. (1975), Cross-Subsidisation. Pricing in Public Enterprises. *American Economic Review*, 65, 966-977.
- FHCA (1982), Final Report on the Federal Highway Cost Allocation Study - Report on the Secretary of Transportation to the United States Congress, Washington D.C.
- Frisch, R. (1959), A complete scheme for computing all direct and cross demand elasticities in a model with many sectors, *Econometrica*, 27, 177-196.
- Groom, B., Madison, D. (2013), Non-identical Quadruplets: Four new estimates of the elasticity of marginal utility for the UK, *Centre for Climate Change Economics and Policy, Working Paper No. 141*.
- Haraldsson, M. (2006), Marginal cost for road maintenance and operation – a cost function approach, Annex 1.2BI to Deliverable D3, Marginal cost case studies, GRACE (Generalisation of Research on Accounts and Cost Estimation), EU-Project funded by Sixth Framework Programme, ITS, University of Leeds, Leeds.
- Haraldsson, M. (2006), The marginal cost for structural repair of roads - a duration analysis approach, Annex 1.2BII 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.
- Haraldsson, M. (2007), Essays on Transport Economics, Economic Studies 104, Department of Economics, Uppsala University.
- Herry, M., Faller, P., Metelka, M., van der Bellen, A. (1993), Wegekostenrechnung für die Verkehrsträger Strasse in Österreich, Wien.
- Highway Research Board (1961), The AASHO-Road-Test - History and Description of Project, Special Report 61 A, Washington D.C.
- Hofko, B., Blab, R., Karlsson, R. (2008), CATRIN (Cost Allocation of TRansport INfrastructure cost), Deliverable D7 Outline of a New Empirical Road Damage Experiment, funded by Sixth Framework Programme, VTI, Stockholm.

- INFRAS, SNZ, ECOPLAN (2013), Aktualisierte Schätzung zum schwerverkehrsbedingten Anteil an den Straßenkosten, Synthesebericht, Zürich, Bern.
- Jonsson, L., Haraldsson, M. (2008), Marginal Costs of Road Maintenance in Sweden, Annex 1 to CATRIN (Cost Allocation of Transport Infrastructure cost) Deliverable D6 Road Cost Allocation for Europe: Recommendations and open questions, funded by the Sixth Framework Programme, VTI, Stockholm.
- Knieps, G., Küpper, H. U., Langen, R. (2001), Abschreibungen bei Preisänderungen im stationären und nicht stationären Märkten, *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 53,759-776.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (1969), Bericht über die Musteruntersuchung gemäß Artikel 3 der Entscheidung des Rates Nr. 65/270 EWG vom 13. Mai 1965, SEK (69) 700 endg. Brüssel.
- Kotz, R., Müller, P., Rothengatter, W. (1987), Entwicklung eines Verfahrens für dynamische Investitionsplanung und Ermittlung des bei der Fortschreibung der BVWP anzuwendenden Zinssatzes, Gutachten im Auftrage des Bundesministeriums für Verkehr, Universität Ulm, Ulm.
- Kucera, K. (1964), Die theoretischen Grundlagen des AASHO-Road-Tests, *Straße und Autobahn*, Heft 7.
- Kula, E. (1987), Social Interest Rate for Public Sector Appraisal in the United Kingdom, the United States and Canada. *Project Appraisal*, 2 (3), 169-174.
- Layard, R., Nickell, S., Mayraz, G. (2008), The marginal utility of income, *Journal of Public Economics*, 92, 1846-1857.
- Lindberg, G. (2002), Infrastructure Cost Case Studies, Deliverable 10, Annex A2: Marginal cost of road maintenance for heavy goods vehicles on Swedish roads, UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency), IST, University of Leeds, Leeds.
- Link, H. (2006), An econometric analysis of motorway renewal costs in Germany, in: *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.

- Link, H., Kalinowska, K., Kunert, U., Radke, S. (2009), Wegekosten und Wegekostendeckung des Straßen- und Schienenverkehrs in Deutschland im Jahre 2007, *Politikberatung kompakt*, 53, DIW Berlin.
- Link, H., Dodgson, J. S., Maibach, M., Herry, M. (1999), The Costs of Road Infrastructure and Congestion in Europe, Heidelberg-New York.
- Link, H. (2014), A cost function approach for measuring the marginal cost of road maintenance, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 48(19), 15-33.
- Link, H., Stuhlemmer, A., Haraldsson, M., Abrantes, P., Wheat, P., Iwnicki, S., Nash, C., Smith, A. (2008), Cost allocation Practices in the European Transport Sector, Deliverable D1, CATRIN (Cost Allocation of TRansport INfrastructure cost), funded by Sixth Framework Programme, VTI, Stockholm, March 2008.
- Mertens, J. F. (1988), The Shapley Value in the non-differentiable Case, *International Journal of Game Theory*, n17, 1-65.
- Patterson, K. D., Pesaran, B. (1992), The Intertemporal Elasticity of Substitution of Consumption in the United States and United Kingdom, *Review of Economics and Statistics*, XXIV(4), 573-584.
- Pearce, D. W., Nash, C. A. (1981), The social appraisal of projects, A text in cost-benefit analysis, *Macmillian Press*, London - Basingstoke.
- Prognos und IWW (2002), Wegekostenrechnung für das Bundesfernstraßennetz unter Berücksichtigung der Vorbereitung einer streckenbezogenen Autobahnnutzungsgebühr, FE-Nr. 96.693/2001, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Berlin.
- Prograns und IWW (2007), Aktualisierung der Wegekostenrechnung für die Bundesfernstraßen in Deutschland, Gutachten im Auftrage des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin.
- Ramsey, F. P. (1928), A mathematical theory of saving, *Economic Journal*, 38, 548-559.
- Rapp Trans (2005), Diskontsatz in Kosten-Nutzen-Analysen im Verkehr, Forschungsprojekt VSS 2003/201 im Auftrag des schweizerischen Verbandes der Straßen- und Verkehrsfachleute (VSS) Zürich.
- Rodriguez-Seda, J. D., Benekohal, R. F. (2004), Development of delay based passenger car equivalencies methodology for urban buses, revised version of the original paper included in the proceedings of XIII PANAM conference, September 26-29.

- Scazziga, I. (1984), Ermittlung der gewichtsbedingten Mehrkosten in der Straßenrechnung, ISET-ETHZ.
- Scott, M. (1989), *A New View of Economic Growth*, Clarendon Press, Oxford, UK.
- Schweitzer, M., Küpper, H. U. (2011), *Systeme der Kosten- und Erlösrechnung*, München.
- Shapley, L. S. (1953), A value for n-person games, Contribution to the theory of games, Vol. II, 28 *Annals of Mathematical Studies*. H.W. Kahn, A. W. Tucker. Princeton, 307-317.
- Schreyer, C., Schmidt, N., Maibach, M. (2002), Deliverable 10: Infrastructure Cost Case Studies, Annex A1b: Road econometrics – Case study motorways Switzerland, UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency), ITS, University of Leeds, Leeds.
- Selvanathan, S., Selvanathan, E. A. (1993), A Cross-Country Analysis of Consumption Patterns, *Applied Economics*, 25, 1245-1259.
- Smith, K. D., Zimmermann, K. A., Finn, F. N. (2004), The AASHO Road Test: Living Legacy for Highway Pavements, in: *TR News*, No. 232, 14-24.
- Stern, N. (2006), The Economics of Climate Change: *The Stern Review*. Abgerufen im Internet am 14. 10. 2014 unter [http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.hm-treasury.gov.uk/independent\\_reviews/stern\\_review\\_economics\\_climate\\_change/stern\\_review\\_report.cfm](http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm).
- TRL/Sir Alexander Gib and Partners Ltd. (1996), Preliminary assessment of a revised methodology for the determination of road track costs, Crowthorne.
- Van Dalen, H. (1995), Intertemporal Substitution in War and Peace: Evidence from the United Kingdom, 1830-1990 *Journal of Macroeconomics*, 17(3), 447-469.
- Vermeulen, J. P. L., Boon, B. H., van Essen, H. P. et al. (2004), The price of transport – Overview of the social costs of transport, CE, Delft.
- Wechsler, M. (1998), Analyse des Schwerverkehr und Quantifizierung seiner Auswirkungen auf die Straßenbeanspruchung, *Straße und Autobahn*, 8/1998.

**Tab. 6: Zuordnung der Wegekosten zu den Allokationsschlüsseln in Prograss und IWW (2007) und Alfen et al. (2014)**

Infrastrukturelement	proportional	Kapazitäts- abhängig	gewicht- abhängig verursacht	gewicht- abhängig verursacht	gemächts- abhängig verursacht	10t- achlast- äquivalent	lärm- emissions- äquivalent	System Lkw		System Pkw	System leichte Lkw	Summe
								proportional	kapazitäts- abhängig			
Grunderwerb inkl. A+EMaßnahmen		100%							proportional		proportional	100%
Erbau					nach zZG							100%
Frostschuttschicht												100%
Tragschicht				100%		73%						100%
Binder Schicht				100%		100%						100%
Deckschicht				100%								100%
Tunnel	45% 80%	50%						5% 20%				100%
Brücken		85%			15% 15%							100%
Ausstattung	33% 33%	67%										100%
Lärmschutz							100% 100%					100%
Stützbauteile	33% 33%	67%										100%
Autobahnmeisterei	33%	67%										100%
Rasstärkung	33%	60%								15%	5%	100%
Rasstärkung	20%	20%								15%	5%	100%
Betrieb (anteilig)	45%	55%										100%
Polizei	33%	67%										100%
Mauterhebung									100%			100%