

85. Jahrgang – Heft 3 – 2014

ZEITSCHRIFT FÜR VERKEHRSWISSENSCHAFT

INHALT DES HEFTES:

- Auswirkungen der deutschen Luftverkehrsteuer auf das Passagieraufkommen – Eine Zwischenbilanz Seite 167
Von Frank Fichert, Worms, Peter Forsyth, Victoria/Australien, Hans-Martin Niemeier, Bremen
- Eisenbahninfrastruktur ökonomisch planen Seite 194
Von Nils Nießen, Bastian Kogel, Aachen
- Kosten-Nutzen-Untersuchungen kooperativer Verkehrstelematik Seite 214
Von Wolfgang Niebel, Berlin, Judith Geßenhardt, München

Manuskripte sind zu senden an die Herausgeber:

Prof. Dr. Bernhard Wieland
Institut für Wirtschaft und Verkehr,
Fakultät Verkehrswissenschaften an der Technischen Universität Dresden
01062 Dresden
Prof. Dr. Thorsten Beckers
Fachgebiet Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik (WIP)
an der Technischen Universität Berlin
Straße des 17. Juni 135
10623 Berlin

Verlag – Herstellung – Vertrieb – Anzeigen:
Verkehrs-Verlag J. Fischer, Corneliusstraße 49, 40215 Düsseldorf
Telefon: (0211) 9 91 93-0, Telefax (0211) 6 80 15 44
www.verkehrsverlag-fischer.de
Einzelheft EUR 25,50 – Jahresabonnement EUR 70,50
zuzüglich MwSt und Versandkosten
Für Anzeigen gilt Preisliste Nr. 25 vom 1.1.2009
Erscheinungsweise: drei Hefte pro Jahr

Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages nicht gestattet, photographische Vervielfältigungen, Mikrofilme, Mikrophotos u.ä. von den Zeitschriftenheften, von einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen.

Herausgeber

Prof. Dr. Bernhard Wieland (Technische Universität Dresden, federführender Herausgeber)
Prof. Dr. Thorsten Beckers (Technische Universität Berlin, federführender Herausgeber)
Prof. Dr. Herbert Baum (Universität zu Köln)
Prof. Dr. Karl-Hans Hartwig (Universität Münster)
Prof. Dr. Kay Mitusch (Karlsruher Institut für Technologie - KIT)
Prof. Dr. Kai Nagel (Technische Universität Berlin)

Schriftleitung

Prof. Dr. Bernhard Wieland (Technische Universität Dresden)
Prof. Dr. Thorsten Beckers (Technische Universität Berlin)
Dr. Christos Evangelinos (IUBH Internationale Fachhochschule Bad Honnef · Bonn)
Dr. Martin Winter (Technische Universität Berlin)

Herausgeberbeirat

Prof. Dr. Gerd Aberle (Universität Gießen)
Prof. Dr. Kay W. Axhausen (Eidgenössische Technische Hochschule - ETH, Zürich)
Prof. Dr. Johannes Bröcker (Universität zu Kiel)
Dr. Astrid Gühnemann (Institut for Transport Studies - ITS, Universität Leeds)
Dr. Hendrik Haßheider (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin)
Prof. Dr. Georg Hauger (Technische Universität Wien)
Prof. Dr. Christian von Hirschhausen (Technische Universität Berlin)
Prof. Dr. Christian Kirchner † (Humboldt-Universität zu Berlin)
Prof. Dr. Günter Knieps (Universität Freiburg)
Prof. Dr. Jürgen Kühling (Universität Regensburg)
Prof. Dr. Gernot Liedtke (Technische Universität Berlin/ DLR Berlin)
Dr. Heike Link (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung - DIW, Berlin)
Dr. Robert Malina (Universität Münster)
Prof. Dr. Hans-Martin Niemeier (Hochschule Bremen)
Prof. Dr. Werner Rothengatter (Karlsruher Institut für Technologie - KIT)
Prof. Dr. Bernhard Schlag (Technische Universität Dresden)

Auswirkungen der deutschen Luftverkehrsteuer auf das Passagieraufkommen – Eine Zwischenbilanz

VON FRANK FICHERT, WORMS, PETER FORSYTH, VICTORIA/AUSTRALIEN,
HANS-MARTIN NIEMEIER, BREMEN

1. Einleitung

Zahlreiche europäische Staaten, darunter Großbritannien und Frankreich, erheben spezifische Verbrauchsteuern auf den Passagierluftverkehr. Zum 1. Januar 2011 wurde in Deutschland die Luftverkehrsteuer eingeführt. Bereits unmittelbar nach Bekanntwerden der Pläne der Bundesregierung begann eine kontroverse und bis heute anhaltende Diskussion über die Auswirkungen dieser Abgabe. Vorliegende Studien kommen zu unterschiedlichen, teils widersprüchlichen Aussagen hinsichtlich des durch die Luftverkehrsteuer verursachten Passagierrückgangs und der damit verbundenen wirtschaftlichen Effekte.

Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden in einem ersten Schritt mögliche Rechtfertigungen einer spezifischen Luftverkehrsbesteuerung diskutiert. Darauf aufbauend ist die Ausgestaltung der deutschen Luftverkehrsteuer kritisch gewürdigt und es sind die bisherigen Auswirkungen auf das Passagieraufkommen analysiert. Diese Bestimmung des „Mengeneffekts“ der Steuereinführung bildet den Hauptteil des vorliegenden Beitrages. Abschließend werden ausgewählte, in der Literatur häufig genutzte Möglichkeiten zur Bestimmung gesamtwirtschaftlicher Effekte einer Luftverkehrsbesteuerung skizziert, die an den berechneten Passagieraufkommenseffekten ansetzen.

2. Mögliche Rechtfertigung einer spezifischen Besteuerung des Luftverkehrs

Die steuerlichen Regelungen für den Luftverkehr weisen im intermodalen Vergleich einige Besonderheiten auf. In Deutschland unterliegt lediglich der Inlandsluftverkehr der Umsatzsteuer (Normalsatz), die grenzüberschreitende Beförderung ist gemäß § 26 (3) UStG ausgenommen. Auf der Inputseite ist die Steuerbefreiung des im gewerblichen Verkehr genutzten Flugzeugtreibstoffs als Spezifikum hervorzuheben. Diese Regelungen sind seit vielen Jah-

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Frank Fichert
Hochschule Worms
Erenburger Straße 19
67549 Worms
fichert@hs-worms.de

Prof. Dr. Peter Forsyth
Monash University
Clayton
Vic, 3800, Australia
peter.forsyth@buseco.monash.edu.au

Prof. Dr. Hans-Martin Niemeier
Hochschule Bremen
Werderstr. 73
28199 Bremen
Hans-Martin.Niemeier@hs-bremen.de

ren Gegenstand einer intensiven Kritik, unter anderem von Umweltschutzorganisationen sowie von Seiten der DB AG als intermodalem Wettbewerber.

Während die Umsatzsteuerbefreiung des Luftverkehrs bei isolierter Betrachtung eindeutig eine Verzerrung des intermodalen Wettbewerbs im grenzüberschreitenden Verkehr darstellt (im Schienenverkehr muss das Eisenbahnverkehrsunternehmen für den inländischen Streckenabschnitt Umsatzsteuer abführen),¹ ist zur Beurteilung der Steuerbefreiung von Kerosin eine differenziertere Argumentation erforderlich. Nicht zuletzt angesichts der grundsätzlichen gesetzlichen Zweckbindung von Teilen des Aufkommens aus der Energiesteuer auf Mineralöl zur Finanzierung der Bundesfernstraßen (die jedoch regelmäßig durch die Haushaltsgesetze aufgeweicht wird), lässt sich diese Steuer zumindest teilweise als Nutzerabgabe der Straßenverkehrsteilnehmer ansehen. Dennoch verbleibt im steuerlichen Bereich eine Begünstigung des Luftverkehrs. Bei einem umfassenden Vergleich der Rahmenbedingungen für den intermodalen Wettbewerb wären jedoch weitere Aspekte zu berücksichtigen. So wird die Luftverkehrsinfrastruktur fast vollständig durch spezifische Nutzerentgelte finanziert (eine Ausnahme sind lediglich die zumeist hoch defizitären Regionalflughäfen), während jedes Jahr mehrere Milliarden aus dem Staatshaushalt in Erhalt und Ausbau des Schienennetzes fließen.²

Die steuerliche Bevorzugung des Luftverkehrs geht zum Teil auf das Ziel der Förderung des (grenzüberschreitenden) Luftverkehrs zurück, wie es etwa im Chicagoer Abkommen an mehreren Stellen formuliert ist. Auch wenn dieses Ziel angesichts der fortgeschrittenen Entwicklung der Luftverkehrsmärkte zumindest in den Industriestaaten in den Hintergrund getreten ist, sind bei Änderungen des steuerrechtlichen Regelwerks zum einen multilaterale sowie bilaterale Abkommen, zum anderen spezifische administrative Aspekte zu berücksichtigen (siehe auch Kapitel 3).

Neben der Schaffung diskriminierungsfreier Rahmenbedingungen im intermodalen Wettbewerb wird eine spezifische Steuer auf Luftverkehrsleistungen von den politischen Entscheidungsträgern insbesondere durch die folgenden Argumente gerechtfertigt:

- Fiskalische Zielsetzungen

Die Einnahmen aus einer Luftverkehrsbesteuerung können als allgemeine Haushaltsmittel dienen oder für bestimmte Verwendungen zweckgebunden werden. Die Einführung der deutschen Luftverkehrsteuer zielte in erster Linie auf die Generierung zusätzlicher Mittel für den Bundshaushalt ab, für die keine Zweckbindung vorgesehen ist. Die Steuersätze wurden in der Höhe festgelegt, die zur Erreichung des Einnahmeziels von einer Milliarde Euro erforderlich waren. In Frankreich ist das Aufkommen der Solidaritätsabgabe („Taxe

¹ Aufgrund der Möglichkeit zum Vorsteuerabzug besteht eine Wettbewerbsverzerrung nur für Privatreisende sowie für Geschäftsreisende, die keinen Vorsteuerabzug in Anspruch nehmen können.

² Siehe hierzu ausführlich Fichert (2011).

de solidarité sur les billets d'avion“) für Zwecke der Entwicklungshilfe zweckgebunden. In den USA dienen die Einnahmen aus der Luftverkehrsbesteuerung zur Finanzierung der Infrastruktur und stellen somit ein Substitut für spezifische Nutzerabgaben dar.³

- Internalisierung externer Effekte

Zum Ausgleich der durch den Luftverkehr hervorgerufenen Umweltbelastungen können Internalisierungsabgaben genutzt werden. Um ursachenadäquat zu wirken, müssten diese jedoch an den Lärm-, Schadstoff- oder Klimagasemissionen ansetzen. Eine Besteuerung auf der Basis der Passagierzahl oder der Umsätze beeinflusst zwar ceteris paribus den modal split zu Lasten des Luftverkehrs, wirkt jedoch mit Blick auf die ökologischen Zielsetzungen relativ unscharf.⁴

Aus Gründen der Vollständigkeit sei darauf hingewiesen, dass auch Argumente gegen eine Luftverkehrsbesteuerung oder sogar zugunsten einer Subventionierung dieses Verkehrsträgers in der Literatur bzw. der verkehrspolitischen Diskussion vorgebracht werden. Wenn eine Begünstigung konkurrierender Verkehrsträger gegeben ist (z. B. durch eine Finanzierung der Schienenverkehrsinfrastruktur aus Steuermitteln), so wirkt der Verzicht auf eine Besteuerung des Luftverkehrs der intermodalen Wettbewerbsverzerrung entgegen. Allerdings werden Verkehrsdienstleistungen dann insgesamt zu nicht kostendeckenden Preisen angeboten, woraus sich eine gesamtwirtschaftliche Verzerrung ergeben kann.

Für alle Linienverkehre lässt sich mithilfe des Mohring-Effekts theoretisch zeigen, dass positive Externalitäten existieren, wenn die Angebotsfrequenz zunimmt. Theoretisch ließe sich hierdurch unter bestimmten Voraussetzungen eine Subvention zur Internalisierung dieser externen Effekte rechtfertigen. Allerdings dürfte der Mohring-Effekt im Nahverkehr, insbesondere im ÖPNV, eine wesentlich größere Rolle als im Luftverkehr spielen.⁵

Schließlich wird seit einigen Jahren vermehrt auf die „wider economic benefits“ des Luftverkehrs hingewiesen. Unter der Voraussetzung, dass sich eine verbesserte Luftverkehrsanbindung vorteilhaft auf die wirtschaftliche Entwicklung einer Region oder gar eines Landes auswirkt – und diese positiven Effekte zumindest teilweise nicht in den Preisen internalisiert sind – ließe sich eine Subventionierung des Luftverkehrs begründen. Allerdings wird die Existenz eines externen Nutzens des Luftverkehrs außerordentlich kontrovers diskutiert.

³ Ein Überblick über diese Abgaben findet sich in USGAO (2010), S. 8f. Zu einer kritischen Auseinandersetzung mit den steuerlichen Regelungen in den USA siehe Button (2005).

⁴ Vgl. zu einer ähnlichen Kritik an der britischen APD Truby (2010). Im Wahlkampf zum britischen Unterhaus forderten die Konservativen und die Liberalen eine Reform der Bemessungsgrundlage um emissionsärmere Flugzeuge zu fördern. Der Vorschlag, die Flugbewegungen nach Emissionen und Höchstabfluggewicht zu besteuern, wurde jedoch nach der Wahl aus rechtlichen Gründen nicht umgesetzt (vgl. Seely, 2013).

⁵ Keen und Strand (2007), S. 27, äußern sich ebenfalls eher zurückhaltend zur Bedeutung des Mohring-Effekts im Luftverkehr.

Selbst wenn dieser existierte, so wäre keine generelle Begünstigung dieses Verkehrsträgers, sondern allenfalls eine gezielte Förderung einzelner Angebote, etwa im Rahmen von Public Service Obligations, gerechtfertigt.

3. Ausgestaltungsoptionen einer Luftverkehrsteuer

Für eine spezifische Luftverkehrsteuer existieren mehrere Ausgestaltungsoptionen, wobei sich die folgenden Ausführungen auf den Passagierverkehr beschränken.⁶ Naheliegend – und im deutschen Inlandsverkehr durch die Umsatzsteuer verwirklicht – ist eine Wertsteuer auf den Ticketpreis. Bei grenzüberschreitenden Flügen bestehen jedoch unter anderem administrative Probleme. So wäre bei einem Return-Flug über die Aufteilung des Gesamtpreises auf Hin- und Rückflug zu entscheiden und auch bei Flügen im Rahmen von Pauschalreisen ergibt sich ein Aufteilungsproblem. Die Besteuerung des grenzüberschreitenden Passagierluftverkehrs erfolgt daher in der Praxis üblicherweise als Mengensteuer mit unterschiedlichen Bemessungsgrundlagen.

Während beispielsweise in Australien lediglich der internationale Luftverkehr mit der Steuer belegt ist, wird in den europäischen Staaten mit Luftverkehrsbesteuerung sowohl der inländische als auch der grenzüberschreitende Luftverkehr in die Besteuerung einbezogen. Dabei können in der Praxis drei Ausgestaltungsoptionen unterschieden werden. Im einfachsten Fall erfolgt keine Differenzierung, beispielsweise betrug der Steuersatz in Irland 3 EUR für alle Passagiere. Die zweite Variante ist eine Steuersatzspreizung gemäß der Reiselänge, wobei bei Umsteigeverbindungen das auf dem Flugticket ausgewiesene Endziel der Reise maßgeblich ist. Konkret unterschied die vorübergehend erhobene niederländische ticket tax zwischen Zielen mit einer Entfernung unterhalb oder oberhalb von 2.500 km. Die Air Passenger Duty (APD) in Großbritannien ist gemäß vier Entfernungsklassen (bis 2000, von 2000 bis 4000, von 4000 bis 6000 und über 6000 Meilen) gestaffelt.⁷ In Deutschland und Österreich wird zwischen drei Entfernungsklassen differenziert. Schließlich wird in einigen Staaten zusätzlich zur Entfernung noch zwischen (zwei) Beförderungsklassen unterschieden, d. h. ein geringerer Satz für Economy Class Passagiere und ein höherer Satz für Business oder First Class Passagiere. Beispiele für eine solche Ausgestaltung finden sich etwa in Großbritannien⁸ und Frankreich.

⁶ Ein Überblick auf weltweiter Basis findet sich in Keen und Strand (2007). Eine aktuelle Darstellung der spezifischen Luftverkehrsbesteuerung in Europa liefern Lehmann/Sterner/Wölfel (2014). Zum Vorschlag auch die Luftfracht in die britische Luftverkehrsbesteuerung einzubeziehen vgl. Seely (2013).

⁷ Vgl. Seely (2013). Die Vorschläge, nur zwei bzw. drei Klassen zu definieren, wurden verworfen.

⁸ In Großbritannien wird zusätzlich ein erhöhter Satz für größere Flugzeuge (über 20 Tonnen maximales Startgewicht) mit einer Sitzplatzkapazität unter 19 Passagieren erhoben.

4. Grundlagen einer Inzidenzanalyse

Zur Abschätzung von Mengen- und Preiseffekten der Besteuerung lässt sich die mikroökonomische Inzidenzanalyse nutzen.⁹ Die Auswirkungen einer Steuer sind demnach von der Elastizität der Angebots- und der Nachfragefunktion abhängig. Konkret wird für den Luftverkehr hierbei insbesondere auf unterschiedliche Nachfrageelastizitäten bei Privat- und Geschäftsreisen sowie bei Kurz-, Mittel- und Langstreckenflügen hingewiesen. Des Weiteren ist für einen „nationalen Alleingang“ bedeutsam, dass Nachfrager in grenznahen Gebieten auf ausländische Flughäfen ausweichen können (hohe Nachfrageelastizität).

Auf der Angebotsseite ist zu berücksichtigen, dass speziell Low Cost Carrier ihre Angebote leicht in andere Länder verlagern können. Hier ist – im Unterschied insbesondere zu Netzwerkgesellschaften an ihren jeweiligen Hub-Flughäfen – eine hohe Angebotselastizität gegeben. Die Marktstruktur ist eine weitere Determinante für das Ausmaß der Überwälzung. Ceteris paribus ist etwa nach einer Steuererhöhung im Monopol die prozentuale Preiserhöhung größer und der prozentuale Mengeneffekt kleiner als im Polypol.

Auch die im Luftverkehr weit verbreitete Preisdifferenzierung beeinflusst die Mengen- und Preiseffekte der Besteuerung. Im theoretischen Grenzfall einer vollständigen monopolistischen Preisdifferenzierung würde die Einführung einer Luftverkehrsteuer dazu führen, dass diejenigen Tickets nicht mehr angeboten werden, bei denen die gestiegenen Grenzkosten oberhalb der Zahlungsbereitschaft der Nachfrager liegen. Für alle anderen Passagiere würde sich hingegen keine Veränderung ergeben, die Steuerlast würde in diesen Fällen komplett von der Fluggesellschaft getragen.

Schließlich können auf Luftverkehrsmärkten Kapazitätsgrenzen, insbesondere aufgrund einer limitierten Flughafeninfrastruktur, bedeutsam sein. Beispiele sind die beiden Londoner Flughäfen Heathrow und Gatwick sowie in Deutschland insbesondere Düsseldorf. Angenommen sei hierbei, dass die Kapazitätsgrenze kleiner ist als die Monopolmenge, die bei ausreichender Kapazität verwirklicht würde. Wenn in der Ausgangslage die Luftverkehrsgesellschaft die Knappheitsrenten vereinnahmt, so führt die Luftverkehrsbesteuerung lediglich zu einer Umwandlung eines Teils dieser Knappheitsrente in Steuereinnahmen; Absatzmengen und Preise blieben unverändert.

5. Bisherige Erfahrungen mit der deutschen Luftverkehrsteuer

5.1 Ausgestaltung

Die deutsche Luftverkehrsteuer ist, wie bereits oben erwähnt, ausschließlich entfernungsabhängig. Es existieren drei Steuersätze, die in Abhängigkeit des Ziellandes festgelegt sind,

⁹ Siehe hierzu ausführlich Wojahn (2010).

wobei die Einstufung auf der Basis der Distanz zwischen Frankfurt und dem bedeutendsten Flughafen des Ziellandes erfolgt. Konkret enthält das Luftverkehrsteuergesetz Anhänge in Listenform, in denen die einzelnen Länder den jeweiligen Distanzklassen zugeordnet sind. Zur Distanzklasse 1 zählen dabei Inlandsflüge, Flüge in andere europäische Staaten, in die Türkei, nach Russland, Moldawien, Weißrussland und die Ukraine sowie in einige nordafrikanische Länder (Algerien, Marokko, Libyen und Tunesien). Die Distanzklasse 2 umfasst weitere afrikanische Länder (insbesondere Ägypten, jedoch nicht beispielsweise Kenia, Namibia und Südafrika) sowie asiatische Staaten (etwa Iran, Kasachstan, Pakistan). Alle anderen Langstreckenziele sind der Distanzklasse 3 zugeordnet (über 6.000 km Entfernung).

Bei Ländern mit großer geografischer Ausdehnung, insbesondere Russland, entstehen durch das Einordnungssystem Inkonsistenzen, da etwa Flüge nach Wladiwostok trotz der größeren Entfernung mit einem geringeren Steuersatz belastet werden als beispielsweise Flüge in das näher gelegene Ägypten. Generell lässt sich die mittlere Distanzklasse, die im ersten Entwurf des Gesetzes nicht vorgesehen war, als eine Begünstigung dieser Zielländer (und der Fluggesellschaften mit relativ hohem Anteil an Flügen zu diesen Destinationen) ansehen. Innerhalb der Distanzklasse 2 ist Ägypten das mit Abstand aufkommensstärkste Ziel, gefolgt von den Vereinigten Arabischen Emiraten. Insgesamt entfielen im Jahr 2013 weniger als vier Prozent der steuerpflichtigen Reisen und etwas mehr als sieben Prozent des Steueraufkommens auf die mittlere Distanzklasse.

Das deutsche Luftverkehrsteuergesetz enthält zudem eine Reihe von Befreiungen sowie einen reduzierten Steuersatz in der Distanzklasse 1. Befreit sind unter anderem Besatzungsmitglieder der Fluggesellschaften sowie Fluggäste im Alter unter zwei Jahren. Für bestimmte Flüge zu Nordseeinseln gilt teilweise eine Steuerbefreiung, teilweise ein um 80% reduzierter Steuersatz von derzeit 1,50 EUR.

Die für das Jahr 2011 festgelegten Steuersätze wurden ab dem Jahr 2012 jeweils um rund 6,25% abgesenkt, um die zusätzlichen Belastungen der deutschen Fluggesellschaften durch die Einbeziehung des Luftverkehrs in den europäischen CO₂-Emissionsrechtehandel zu kompensieren.¹⁰ Seitdem betragen die Steuersätze 7,50 EUR, 23,43 EUR und 42,18 EUR. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Zahl der steuerpflichtigen Passagiere sowie das Aufkommen in den einzelnen Distanzklassen. Die mit der Steuereinführung angestrebten Zusatzeinnahmen konnten fast vollständig generiert werden.

¹⁰ Vgl. Deutscher Bundestag (2012), S. 7.

Tabelle 1: Aufkommen der deutschen Luftverkehrsteuer nach Distanzklassen (2011-2013)

	Distanzklasse 1*		Distanzklasse 2		Distanzklasse 3		Aufkommen, gesamt (Mio. EUR)
	PAX (Mio.)	Aufkommen (Mio. EUR)	PAX (Mio.)	Aufkommen (Mio. EUR)	PAX (Mio.)	Aufkommen (Mio. EUR)	
2011	63,2	504,9	2,7	68,1	8,7	392,4	965,4
2012	63,1	472,6	3,1	71,5	9,4	397,4	941,5
2013	63,4	474,9	2,9	67,8	9,6	406,9	949,6

*Die Werte enthalten jeweils rund 100.000 Passagiere für die der ermäßigte Steuersatz galt. Datenquelle: Statistisches Bundesamt (2014a).

5.2 Auswirkungen in einzelnen Marktsegmenten

Die einzelnen Marktsegmente im Luftverkehr sind in höchst unterschiedlichem Maße von der Luftverkehrsteuer betroffen. Wesentliche Entwicklungen sind im Folgenden zunächst isoliert von der Veränderung weiterer Determinanten erläutert.

Ein besonders starker Effekt ist im innerdeutschen Quelle-Ziel-Verkehr zu verzeichnen. Insbesondere fällt hier angesichts der üblicherweise paarigen Verkehrsströme die Luftverkehrsteuer zweimal an, d. h. auf dem Hinflug und dem Rückflug. Hinzu kommt die Umsatzsteuer, die – ebenso wie bei den anderen speziellen Verbrauchsteuern – auch auf die Luftverkehrsteuer erhoben wird.¹¹ Für Passagiere, bei denen kein Vorsteuerabzug möglich ist (dies sind alle Privatreisenden aber auch zahlreiche Geschäftsreisende), beträgt die zusätzliche Steuerbelastung seit dem Jahr 2012 17,85 EUR. Des Weiteren sind angesichts des dichten Netzes für den Hochgeschwindigkeitsschieneverkehr die Substitutionsmöglichkeiten der Nachfrager tendenziell besonders gut.

Die Zahl der inländischen Quelle-Ziel-Passagiere wird in der Luftverkehrsstatistik nicht ausgewiesen und muss daher über Hilfsrechnungen abgeschätzt werden.¹² Das Statistische Bundesamt veröffentlicht die Gesamtzahl der Passagiere auf Inlandsflügen sowie die Zahl der Passagiere auf Inlandsflügen mit letztbekanntem Ziel im Inland. Die Differenz zwischen diesen beiden Werten erklärt sich primär durch inländische Umsteigepassagiere mit Ziel im Ausland (Inland-Ausland-Umsteiger). Dieser Wert entspricht im Grundsatz der Zahl der aus dem Ausland kommenden Umsteigepassagiere mit Ziel im Inland (Ausland-Inland-Umsteiger). Ungenauigkeiten treten bei dieser Abschätzung zum einen durch Inland-Inland-Umsteiger auf, die jedoch relativ selten sein dürften. Zum anderen wird implizit eine Symmetrieannahme getroffen, wobei in der Praxis durchaus Flugreisen vorkommen, bei denen nur einer der beiden Wege als Umsteigeverbindung, der andere hingegen direkt oder mit anderen Verkehrsträgern absolviert wird.

¹¹ In Österreich gilt für Inlandsflüge ein reduzierter Steuersatz, der die zusätzliche Belastung durch die Umsatzsteuer ausgleicht. Vgl. zu den Effekten der Luftverkehrsbesteuerung in Österreich Schönplugg, K. et al. (2012).

¹² Zur Interpretation der deutschen Luftverkehrsstatistik vgl. auch Conrady/Fichert/Sterzenbach (2013), S. 7f.

Die Zahl der gemäß der zuvor skizzierten Methode berechneten innerdeutschen Quelle-Ziel-Passagiere erreichte ihr bisheriges Maximum im Jahr 2008 mit rund 18,3 Mio.¹³ Dabei handelt es sich um die Zahl der Einsteiger, d. h. bei unterstellter Paarigkeit betrug die Zahl der innerdeutschen Reisen (als Kombination aus Hin- und Rückflug) in diesem Jahr rund 9,15 Mio. Seitdem ist im Trend ein Rückgang der Nachfrage zu beobachten. Im Jahr 2011 sank die Passagierzahl gegenüber dem Vorjahr leicht (17,5 Mio. im Vergleich zu 17,7 Mio.), die Rückgänge in den folgenden Jahren waren sogar noch deutlicher ausgeprägt. Die Zahl der Quelle-Ziel-Passagiere im Jahr 2013 betrug nur noch 15,5 Mio. und lag damit auf dem Niveau des Jahres 2005.

Die Zahl der inländischen Quelle-Ziel-Passagiere lässt sich seit der Einführung der Luftverkehrssteuer noch auf einem anderen Weg abschätzen. Das Statistische Bundesamt weist ab dem Jahr 2010 die Zahl der Originäreinsteiger in das Ausland aus, differenziert nach den jeweiligen Zielländern. Unter Vernachlässigung von Steuerbefreiungen müsste dieser Wert der Zahl der steuerpflichtigen Passagiere auf Flügen in das Ausland entsprechen. Die Differenz aus der Gesamtzahl der steuerpflichtigen Passagiere und der Zahl der Originäreinsteiger in das Ausland ergibt rechnerisch die Zahl der inländischen Quelle-Ziel-Passagiere.¹⁴ Demnach gab es in den Jahren 2011 bis 2013 16,9 Mio., 15,7 Mio. bzw. 15,4 Mio. innerdeutsche Quelle-Ziel-Passagiere. Verglichen mit der oben vorgenommenen Abschätzung auf der Basis der Passagierstatistik ist der Rückgang im Jahr 2012 deutlich größer, der Rückgang im Jahr 2013 hingegen kleiner (der Gesamtrückgang in diesen drei Jahren beträgt rund 1,5 Mio. Passagiere gegenüber rund 2 Mio. Passagieren gemäß der obigen Abschätzung). Für eine Bestimmung des steuerbedingten Nachfragerückgangs lässt sich diese Berechnungsweise jedoch nicht nutzen, da im Jahr 2010 noch keine Steuer erhoben wurde.

Im Low Cost Segment sprechen gleich mehrere Argumente für einen relativ starken Effekt der Besteuerung. Erstens führt die als Mengensteuer ausgestaltete Luftverkehrssteuer zu einem prozentual überdurchschnittlichen Preisanstieg. Zweitens ist mit einer besonders elastischen Nachfrage zu rechnen (hoher Anteil Privatreisender, hoher Anteil an Nachfragegenerierung durch Niedrigpreisangebote). Drittens sind Low Cost Gesellschaften oftmals kaum an bestimmte Flughäfen oder gar Länder gebunden, sodass sie leicht Angebote auf andere Märkte verlagern können, auf denen höhere Deckungsbeiträge zu erzielen sind.

Der deutsche Low Cost Markt ist gemäß den Angaben des DLR Low Cost Monitors im Sommer 2011 deutlich gegenüber dem Vorjahreszeitraum geschrumpft (5% weniger be-

¹³ Eigene Berechnungen auf der Basis von Statistisches Bundesamt (verschiedene Jahrgänge).

¹⁴ Die Zahl der steuerpflichtigen Inlandspassagiere wird in der Steuerstatistik nicht separat ausgewiesen, sodass diese Hilfsrechnung erforderlich ist. Generell ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei der vom Statistischen Bundesamt ausgewiesenen Zahl der Originäreinsteiger um eine Modellrechnung handelt. Eine Berechnung auf der Basis der Distanzklassen der Luftverkehrssteuer zeigt kleinere Differenzen zwischen der Steuerstatistik und der Modellrechnung des Statistischen Bundesamtes.

diente Strecken, 11% weniger Flüge).¹⁵ Während im Januar 2011 die Zahl der bedienten Strecken leicht über dem Vorjahresniveau lag, wurde im Januar 2012 ein deutlicher Rückgang gegenüber dem gleichen Monat des Vorjahres konstatiert. Hierbei könnten Anpassungsverzögerungen eine Rolle gespielt haben, da die Einführung der Luftverkehrsteuer vergleichsweise kurzfristig angekündigt wurde (erster Grundsatzbeschluss des Bundeskabinetts im Juni 2010). Insgesamt ging die Zahl der Low Cost Passagiere im Jahr 2011 um 1,7% gegenüber dem Vorjahr zurück. Dabei stand einem Anstieg von 3,5% im Bereich der grenzüberschreitenden Reisen ein Rückgang bei der Zahl der Inlandspassagiere von 11% gegenüber. In den Jahren 2012 und 2013 ist die Zahl der Low Cost Passagiere auf Inlandstrecken weiter leicht gesunken, während im grenzüberschreitenden Verkehr ein Marktwachstum zu beobachten war.

Bereits oben wurde darauf hingewiesen, dass bei grenznahen Flughäfen für die Nachfrager besondere Ausweichoptionen bestehen können. Dabei spielt neben der räumlichen Nähe auch die Besiedlungsstruktur (Zahl der potenziellen Passagiere in den überlappenden Catchment Areas) und das Verkehrsangebot auf dem jeweiligen Konkurrenzflughafen im Ausland eine Rolle. Zwei deutsche Flughäfen liegen weniger als 100 km (kürzeste Fahrtstrecke mit dem Pkw) von einem ausländischen Flughafen entfernt: Niederrhein/Weeze (Nachbarflughafen Eindhoven) und Karlsruhe/Baden-Baden (Nachbarflughafen Straßburg).¹⁶ Darüber hinaus beträgt für zahlreiche deutsche Flughäfen die Entfernung zu einem oder mehreren ausländischen Flughäfen weniger als 200 km. Hierzu zählen neben Niederrhein/Weeze weitere Flughäfen in Nordrhein-Westfalen (Köln-Bonn, Düsseldorf und Dortmund) sowie die Flughäfen Saarbrücken und Zweibrücken mit den nahegelegenen Flughäfen in Straßburg und in Luxemburg.

Für das Jahr 2011 ist bei der Analyse von räumlichen Ausweicheffekten zu berücksichtigen, dass im Nachbarland Österreich ebenfalls eine Luftverkehrsteuer eingeführt wurde, wenn auch mit leicht niedrigeren Sätzen, sodass sich die Preisunterschiede zwischen den beiden Ländern kaum verändert haben dürften. Für das Nachbarland Schweiz ist im relevanten Zeitraum eine deutliche Aufwertung des Schweizer Franken gegenüber dem Euro festzustellen, die einer Abwanderung von Nachfragern entgegengewirkt haben dürfte.

¹⁵ Die folgenden Daten sind unterschiedlichen Ausgaben des DLR Low Cost Monitors entnommen und um eigene Berechnungen ergänzt.

¹⁶ Diese und die folgenden Entfernungsangaben wurden von den Autoren mit einer Routenplanungssoftware ermittelt.

Tabelle 2: Strukturmerkmale deutscher Flughäfen in den Jahren 2010 und 2011

	Wachstums- rate Passagiere 2011/2010 (in %)	Passagier- zahl 2010 (in Mio. ohne Tran- sit)	Anteil Inlandspassagiere 2010 (in %) (Quelle-Ziel und Umsteiger)	Anteil Low Cost Verkehr 2010 (in %)
TXL	12,7	15,0	44,9	47,0
SXF	-2,3	7,3	19,8	84,0
BRE	-4,2	2,7	33,5	61,2
DTM	4,2	1,7	10,9	95,2
DRS	5,5	1,8	64,6	43,8
DUS	7,2	18,9	23,2	37,9
ERF	-12,7	0,3	13,8	53,2
FRA	6,8	52,7	11,9	3,6
FDH	-2,3	0,6	45,1	76,2
HHN	-18,2	3,5	7,4	99,8
HAM	4,8	12,9	43,3	40,0
HAJ	5,8	5,0	23,3	43,6
FKB	-5,2	1,2	25,4	94,1
CGN	-2,1	9,8	35,9	72,3
LEJ	-0,7	1,8	37,0	34,8
LBC	-37,8	0,5	1,7	98,9
MUC	8,8	34,6	27,0	17,6
FMO	-0,1	1,3	37,2	62,8
NUE	-2,3	4,0	37,8	53,6
PAD	-4,4	1,0	15,7	62,9
SCN	-1,8	0,4	46,1	39,1
STR	4,1	9,2	31,7	46,9
NRN	-16,3	2,9	5,7	97,4
FMM	-16,4	0,9	27,0	95,2
RLG	1,4	0,2	48,3	79,3
ZQW	-15,1	0,2	44,7	53,5
Summe bzw. gew. Durchschnitt	4,8	190,5	25,3	34,2

Quelle: ADV (Passagierzahlen), Statistisches Bundesamt (Passagierzahlen LBC, FMM, RLG, ZQW), DLR (Low Cost Anteil), eigene Berechnungen. Differenzen durch Rundungen.

Auf deutschen Flughäfen mit hohem Umsteigeranteil (Frankfurt, München und – mit einigem Abstand – Düsseldorf) können Rückgänge bei den Originärein- und -aussteigern

grundsätzlich durch eine höhere Zahl an Umsteigepassagieren ausgeglichen werden.¹⁷ Konkret ist der Anstieg der Passagierzahl am Frankfurter Flughafen zwischen 2011 und 2010 (Zuwachs rund 3,4 Mio. Passagiere) fast ausschließlich durch die höhere Zahl an Umsteigepassagieren (Zuwachs rund 3,3 Mio. Passagiere) zu erklären.¹⁸ Auch in München ist der Passagieranstieg im Jahr 2011 zu rund zwei Dritteln auf einen Zuwachs bei den Umsteigern zurückzuführen.¹⁹

Eine Analyse der Passagierentwicklung auf den einzelnen Flughäfen zeigt die besonders hohe Betroffenheit grenznaher Flughäfen und solcher mit einem hohen Anteil an Low Cost und/oder innerdeutschen Verkehren. Während die Gesamtzahl der Passagiere in Berlin-Tegel, Dresden, Düsseldorf, Frankfurt, Hamburg, Hannover und München im Jahr 2011 stärker als im deutschen Durchschnitt anstieg, waren in Erfurt, Hahn, Lübeck, Niederrhein/Weeze, Memmingen und Zweibrücken Passagierrückgänge um mehr als 10% zu verzeichnen. Allerdings handelt es sich dabei zumindest teilweise um die Fortsetzung einer bereits im Vorjahr aufgetretenen Entwicklung, insbesondere gilt dies für die Flughäfen Hahn, Lübeck und Zweibrücken, die bereits im Jahr 2010 erhebliche Passagierverluste aufwiesen. Tabelle 2 zeigt ausgewählte Strukturdaten deutscher Verkehrsflughäfen für die Jahre 2010 und 2011.

Die von Low Cost Gesellschaften dominierten Flughäfen in Hahn, Memmingen, Weeze und Zweibrücken verloren im Jahr 2011 fast ihren gesamten innerdeutschen Low Cost Verkehr. Auch Berlin-Schönefeld hatte in diesem Bereich starke Rückgänge zu verkraften, die jedoch vom zunehmenden internationalen Verkehr teilweise ausgeglichen wurden.²⁰

5.3 Entwicklung des Gesamtmarktes

5.3.1 Überblick über die Ergebnisse vorliegender Studien

Im Jahr 2012 wurden zwei Studien veröffentlicht, in denen die Auswirkungen der Luftverkehrsteuer analysiert sind. Dabei handelt es sich zum einen um das Gutachten von INTRA-PLAN (2012), das im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Luftverkehrswirtschaft (BDL) entstand, zum anderen um die Studie von INFRAS (2012), die vom Bundesfinanzministerium im Rahmen der Evaluierung des Luftverkehrsteuergesetzes in Auftrag gegeben

¹⁷ Eine ähnliche Strukturveränderung war in Amsterdam während der Erhebung der niederländischen Luftverkehrsteuer zu beobachten. Siehe Gordijn und Kolkman (2011), S. 34f.

¹⁸ Quelle: Fraport, Visual Fact Book, verschiedene Jahrgänge. Eigene Berechnungen.

¹⁹ Quelle: Flughafen München, Luftverkehrsstatistik, verschiedene Jahrgänge. Eigene Berechnungen.

²⁰ Für die einzelnen Flughäfen ist auf der Basis der Daten des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2011 keine Berechnung der innerdeutschen Quelle-Ziel- bzw. Umsteigepassagiere möglich. Bei den Low Cost Flughäfen ist davon auszugehen, dass Umsteigeverkehren keine Bedeutung zukam. Der Flughafen Dresden, der im Jahr 2011 den höchsten Anteil innerdeutscher Passagiere aufwies, hat im Jahr 2011 sogar mehr Inlandspassagiere als im Vorjahr abgefertigt, diese flogen jedoch mehrheitlich zu einem der deutschen Hub-Flughäfen, sodass es sich zu einem großen Teil um Umsteiger gehandelt haben dürfte.

wurde.²¹ Die Methodik und die Kernaussagen dieser beiden Studien sind im Folgenden zusammengefasst. In den weiteren Unterkapiteln ist eine eigene Wirkungsabschätzung vorgenommen, bei der teilweise eine vertiefte Auseinandersetzung mit einzelnen Annahmen der beiden vorliegenden Studien erfolgt, soweit diese für die eigene Berechnung relevant sind.

INTRAPLAN betrachtet alle auf deutschen Flughäfen ein-, aus- und umsteigenden Passagiere. Dabei handelt es sich um 191,6 Mio. im Jahr 2010 und 200,3 Mio. im Jahr 2011 (Wachstumsrate rund 4,6%). Die grenznahen Flughäfen weisen eine leicht negative Wachstumsrate auf (-0,4%).²² Aufgrund von Sonderfaktoren des Jahres 2010 (Aschewolke, witterungsbedingte Flugausfälle im Winter, Pilotenstreik) wird davon ausgegangen, dass die Passagierzahl (alle Flughäfen) im Jahr 2010 ohne diese Sondereffekte um 2,5 Prozentpunkte höher gelegen hätte. Gegenüber diesem korrigierten Wert beträgt das Wachstum der Passagierzahl im Jahr 2011 dann nur noch 2,1%.

Für Nordwesteuropa wird von INTRAPLAN für den Zeitraum 1995 bis 2010 eine durchschnittliche Einkommenselastizität (reales BIP) der Luftverkehrsnachfrage von 1,9 berechnet. Bei einem Wirtschaftswachstum in Deutschland von 3,0% im Jahr 2011 ergibt sich hieraus bei isolierter Betrachtung ein potenzielles Wachstum von 5,7%. Die im Jahr 2011 gestiegenen Kerosinkosten werden von INTRAPLAN durch einen Wachstumsabschlag von einem Prozentpunkt berücksichtigt.²³ Der Vergleich der so berechneten „Soll-Wachstumsrate“ von 4,7% mit dem bereinigten Ist-Wachstum in Höhe von 2,1% ergibt einen steuerbedingten Nachfragerückgang von 2,6%. Bezogen auf den Ausgangswert von 191,6 Mio. Passagieren sind dies 5,0 Mio. Aufgrund der Doppelerfassungen bei Hin- und Rückflügen sowie von Umsteigern entspricht dies einem Rückgang der Zahl der Flugreisen von 1,8 Mio. Dabei wurden gemäß INTRAPLAN rund zwei Drittel dieser Reisen unterlassen, das andere Drittel entfällt auf Abwanderungen zu ausländischen Flughäfen.

Die INFRAS-Studie kombiniert mehrere methodische Ansätze und nutzt dabei unterschiedliche Datengrundlagen. Die Ausgangsbasis für die Faktoranalyse zur Berechnung des Gesamteffekts der Luftverkehrsteuer bildet die Zahl der Einsteiger auf deutschen Flughäfen, wobei um die Doppelerfassung von Inlandspassagieren korrigiert wird. Basierend auf der Passagierzahl des Jahres 2010 (166,0 Mio.) beträgt das Wachstum des Luftverkehrsmarktes

²¹ Des Weiteren liegt ein Gutachten von Thießen et al. (2012) vor, dessen Auftraggeber mehrere Umweltschutzorganisationen waren und das insbesondere eine kritische Auseinandersetzung mit der INTRAPLAN-Studie darstellt.

²² Grenznahe Flughäfen gemäß INTRAPLAN sind Köln/Bonn, Dresden, Düsseldorf, Friedrichshafen, Karlsruhe/Baden-Baden, Memmingen, Hahn, Weeze und Saarbrücken.

²³ Dieser Wert berechnet sich als Obergrenze bei einem kerosinpreisbedingten realen Kostenanstieg von 1,5 bis 2%, vollständiger Überwälzung und einer Preiselastizität der Nachfrage von 0,5. Kritisch ist anzumerken, dass diese Preiselastizität deutlich unter den üblicherweise in der Literatur genannten Werten liegt.

im Jahr 2011 rund 5,3% (auf 174,8 Mio.).²⁴ Das potenzielle Passagierwachstum, das sich aufgrund der Zunahme des Bruttoinlandsprodukts (positiver Effekt) und der gestiegenen Kerosinpreise (negativer Effekt) ergibt, wird in einer Bandbreite von 8,5 bis 9,3 Mio. angegeben, wobei die Aufteilung dieses Gesamteffekts auf die beiden Bestimmungsfaktoren nicht erläutert ist. Bezogen auf den von INFRAS genutzten Ausgangswert von 166 Mio. Passagieren sind die Wachstumsraten (5,1% bzw. 5,6%) selbst im unteren Szenario höher als in der Studie von INTRAPLAN (4,7%).²⁵

Auch INFRAS korrigiert die Passagierdaten des Jahres 2010 um den Sondereffekt Vulkanschewolke, setzt dessen Auswirkungen mit 2,4 Mio. jedoch deutlich niedriger als INTRAPLAN an. Zudem erhöht INFRAS den Ist-Passagierwert des Jahres 2011 um 1,1 Mio., um den Nachfragerückgang infolge des „arabischen Frühlings“ auszugleichen. Damit ergibt sich eine berechnete Zunahme der Passagierzahl ohne Luftverkehrsteuer zwischen 9,8 und 10,6 Mio. Passagieren. Dies entspricht gegenüber den Ist-Werten einem steuerinduzierten Nachfragerückgang von 1,0 bis 1,8 Mio. (-0,6% bis -1,0%).

INFRAS führt auch Wirkungsabschätzungen mithilfe von Preiselastizitäten durch. Dabei werden Annahmen über die durchschnittlichen Flugpreise in der Business und der Economy Class, den Anteil der Geschäftsreisenden in diesen Klassen und die Preiselastizität der Nachfrage in den einzelnen Marktsegmenten getroffen. Bei einer unterstellten Überwälzung von 80% der Steuer (wobei eine höhere Überwälzung bei Business Class und Langstreckenpassagieren unterstellt wird) berechnet sich auf der Basis der Annahmen von INFRAS ein Passagierrückgang von rund 2,2 Mio. und damit ein höherer Wert als bei der zuvor skizzierten Faktoranalyse.

5.3.2 Entwicklung der Passagierzahlen seit 2010

Für eine quantitative Analyse der Auswirkungen der deutschen Luftverkehrsbesteuerung auf den gesamten Luftverkehrsmarkt sind in einem ersten Schritt die Besonderheiten der Luftverkehrsstatistik zu berücksichtigen, die grundsätzlich alle Einsteiger und Aussteiger auf einem Flughafen erfasst. Werden diese addiert, so ergibt sich beispielsweise für die 26 Flughäfen, die in Tabelle 2 aufgeführt sind, im Jahr 2010 eine Gesamtzahl von 190,5 Mio. Passagieren. Allerdings enthalten diese Daten zahlreiche Doppelzählungen. Ein Inlandspassagier wird sowohl auf dem Ausgangs- als auch auf dem Zielflughafen gezählt und somit generell doppelt erfasst, so dass er bei einer Hin- und Rückreise insgesamt viermal in der Passagierstatistik erscheint. Bei einer Umsteigeverbindung über einen inländischen Flughafen

²⁴ In den deskriptiven Teilen zu Beginn der INFRAS-Studie wird auf andere Passagierdaten Bezug genommen. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die Angaben in Unterkapitel 5.3.3 der INFRAS-Studie. Die Skalierung des Balkendiagramms (Grafik 28) stimmt dabei nicht mit den berechneten Werten überein.

²⁵ Dies ist etwas überraschend, da INFRAS an anderer Stelle des Gutachtens für die Jahre 2005 bis 2011 einen Quotienten aus dem nominalen BIP und der Passagierzahl berechnet, der zwischen 0,6 und 1,4 liegt, woraus sich bei einem nominalen BIP-Wachstum im Jahr 2011 von 3,9% eine Wachstumsrate der Passagierzahl zwischen 2,3% und 5,5% ergibt.

fen mit Hin- und Rückflug werden insgesamt sogar sechs Passagiere statistisch ausgewiesen. Ein Ausland-Ausland-Umsteiger (z. B. von Moskau nach New York mit Umsteigen in Frankfurt), wird auf dem Hin- und dem Rückweg jeweils zweimal als Passagiere gezählt.

Um die primären Verhaltensänderungen infolge der Einführung der Luftverkehrsteuer zu erfassen, erscheinen die in den Studien von INTRAPLAN und INFRAS betrachteten Größen nur bedingt aussagekräftig. Erstens sind in den Daten zahlreiche Passagiere enthalten, die von der Luftverkehrsteuer befreit sind, insbesondere die Ausland-Ausland-Umsteiger sowie die Transitpassagiere.²⁶ Zweitens führt der Verzicht eines Nachfragers auf eine Flugreise zu unterschiedlichen Auswirkungen auf die statistisch ausgewiesene Passagierzahl, je nachdem, ob es sich um einen Inlandsflug, einen Direktflug in das Ausland oder eine Umsteiger Verbindung in das Ausland handelt.

Tabelle 3: Gesamtzahl der Originäreinsteiger sowie der steuerpflichtigen Passagiere in Deutschland in den Jahren 2010-2013 (Angaben in Mio.)

	Inländische Quelle-Ziel Passagiere (1)	Originäreinsteiger in das Ausland (2)	Summe Quelle- Ziel- Passagiere (3)=(1)+(2)	Steuerpflichtige Passagiere gemäß Steuer- statistik (4)	Differenz (3)-(4)
2010	17,74	56,19	73,93		
2011	17,47	58,03	75,50	74,64	0,86
2012	16,67	59,95	76,62	75,57	1,05
2013	15,52	60,36	75,88	75,96	-0,08

Quelle: Statistisches Bundesamt sowie eigene Berechnungen.

Da nur die in Deutschland einsteigenden Quelle-Ziel-Passagiere von der Luftverkehrsteuer betroffen sind, stellen sie die adäquate Grundlage für eine Analyse der Auswirkungen der Steuererhebung dar. Für die Jahre 2011 bis 2013 liegen exakte Daten über die Zahl der steuerpflichtigen Flugreisen in der Steuerstatistik vor (vgl. Tabelle 1). Für die Vorjahre kann auf die Modellrechnungen im Rahmen der Passagierstatistik zurückgegriffen werden. Allerdings unterscheidet sich die vom Statistischen Bundesamt ab dem Berichtsjahr 2010 verwendete Methodik von derjenigen, mit der die Daten bis einschließlich des Jahres 2008 berechnet wurden. Für das Jahr 2009 besteht sogar eine Datenlücke. Die Daten in Tabelle 3 zeigen darüber hinaus, dass in den Jahren 2011 und 2012 die Summe der auf der Basis der Passagierstatistik berechneten Quelle-Ziel-Passagiere um jeweils rund eine Million Passa-

²⁶ Die Transitpassagiere, d. h. Passagiere, die auf einem Flughafen landen und diesen mit derselben Maschine wieder verlassen, werden nur von INTRAPLAN berücksichtigt. Insgesamt betrug die Zahl der Transitpassagiere im Jahr 2010 rund 1,5 Mio. Davon entfielen rund 0,5 Mio. auf den Flughafen Leipzig/Halle, der von amerikanischen Militärmaschinen für Zwischenlandungen genutzt wird, insbesondere auf Flügen in den Nahen Osten.

giere höher war als die Zahl der Passagiere, für die Luftverkehrsteuer entrichtet wurde. Im Jahr 2013 sind die beiden Werte hingegen fast identisch.²⁷

5.3.3 Berücksichtigung von Sondereffekten

Im Vergleich der Jahre 2010 und 2011 fällt auf, dass die Passagierzahl trotz der Einführung der Luftverkehrsteuer insgesamt angestiegen ist (siehe die Tabellen 2, 3 und 4). Dabei ist jedoch darauf hinzuweisen, dass - wie bereits erwähnt - in beiden Jahren außerordentliche Umstände vorgelegen haben, die eine Datenkorrektur rechtfertigen können. Zu den Sondereffekten des Jahres 2010 gehörte insbesondere der Ausbruch des isländischen Vulkans Eyjafjallajökull, der in Westeuropa zu einem mehrtägigen Flugverbot geführt hat. Darüber hinaus kam es zu diversen Flugausfällen aufgrund von Streiks. Für das Jahr 2011 waren für die Luftverkehrsentwicklung insbesondere die politischen Auseinandersetzungen in zahlreichen Staaten Nordafrikas und des Nahen Ostens relevant („Arabischer Frühling“).

Tabelle 4: Entwicklung der Passagierzahlen in Deutschland in den Jahren 2010 und 2011 gemäß unterschiedlicher Abgrenzungen und Korrekturen von Sondereffekten

	PAX 2010	PAX 2011	Veränderung in %	PAX 2010 (korrigiert)	PAX 2011 (teilweise korrigiert)	Veränderung in %
INTRAPLAN	191,6	200,3	4,5	196,2	200,3	2,1
INFRAS	168,8	177,0	4,9	171,2	178,1	4,0
Originär- einsteiger*	73,9	75,5	2,2	75,7	75,5	-0,3
				75,1	76,1	1,3

* Korrektur in erster Zeile analog zu INTRAPLAN, Korrektur in zweiter Zeile analog zu INFRAS. Die für die weiteren Berechnungen genutzten Werte sind fett gesetzt.

Quellen: INTRAPLAN (2012) und INFRAS (2012), S. 41, jeweils ergänzt um die in den Studien nicht berücksichtigten Flughäfen.²⁸ Eigene Berechnungen.

In den vorliegenden Studien werden die genannten Sondereffekte in unterschiedlicher Weise als Rechtfertigung für eine Datenkorrektur genutzt. INTRAPLAN bereinigt lediglich die Daten des Jahres 2010, wobei ein pauschaler Zuschlag auf der Basis von Expertenurteilen vorgenommen wird.²⁹ INFRAS berücksichtigt ebenfalls die Flugausfälle des Jahres 2010, setzt den quantitativen Effekt jedoch deutlich geringer an.³⁰ Darüber hinaus wird auch die

²⁷ Ein Teil des Unterschieds lässt sich durch die steuerbefreiten Passagiere erklären, deren Zahl von rund 1,24 Mio. im Jahr 2011 auf rund 1,0 Mio. im Jahr 2013 gesunken ist.

²⁸ Rostock-Laage, Zweibrücken und Memmingen (INFRAS).

²⁹ Vgl. INTRAPLAN (2012), S. 5.

³⁰ 2,4 Mio. zusätzliche Passagiere. Vgl. INFRAS (2012), S. 39.

Passagierzahl des Jahres 2011 korrigiert, um die Passagierrückgänge infolge des „arabischen Frühlings“ nicht in die Berechnung einfließen zu lassen.³¹ Werden die in den beiden genannten Studien genutzten Korrekturansätze in analoger Weise auf die Zahl der Quelle-Ziel-Passagiere bezogen, so ergeben sich die in Tabelle 4 (letzte Zeile) aufgeführten Werte.

Thießen et al. weisen darauf hin, dass im Grundsatz jede Korrektur von Passagierzahlen um Sondereffekte methodisch angreifbar ist.³² So wird der Luftverkehr in kaum einem Jahr „normal“ verlaufen, da stets Besonderheiten wie Streiks, Naturkatastrophen oder politische Unruhen die Luftverkehrsnachfrage beeinflussen. Allerdings kommt dem mehrtägigen Flugverbot infolge der Aschewolke im Jahr 2010 eine Ausnahmestellung zu, da hierdurch der gesamte Luftverkehr betroffen war.

Des Weiteren lässt sich einwenden, dass unterschiedliche Anpassungsreaktionen vorstellbar und in der Realität zu beobachten sind. Neben dem Verzicht auf eine Reise oder dem Umstieg auf andere Verkehrsmittel sind auch zeitliche und räumliche Ausweichreaktionen zu erwarten, etwa bei streikbedingt ausgefallenen Flügen. Auch kann ein (potenzieller) Passagier bei Unruhen in Land A seinen Urlaub stattdessen in Land B verbringen.

Vor diesem Hintergrund erscheint insgesamt für das Jahr 2010 die „vorsichtigere“ Korrektur der Passagierzahlen durch INFRAS eher angemessen als der von INTRAPLAN gewählte Ansatz. Dem gegenüber vermag die von INFRAS aufgrund des „arabischen Frühlings“ vorgenommene Anpassung der Passagierzahlen im Jahr 2011 nur bedingt zu überzeugen, da bei Urlaubsreisenden eher von räumlichen Ausweichreaktionen als von einem Verzicht auf Flugreisen auszugehen ist. Den folgenden Berechnungen wird daher eine Korrektur zugrundegelegt, die sich für das Jahr 2010 an der Methodik von INFRAS orientiert, die Passagierwerte des Jahres 2011 hingegen unverändert lässt. Demnach wäre die (korrigierte) Zahl der Quelle-Ziel-Passagiere von 75,1 Mio. im Jahr 2010 um 0,5% auf 75,5 Mio. im Jahr 2011 gestiegen. Dieser Wert liegt deutlich unterhalb der in den beiden anderen Studien berechneten korrigierten Wachstumsraten. Ursächlich hierfür ist zum einen, dass die gestiegene Zahl der Ausland-Ausland-Umsteiger keine Rolle spielt, zum anderen, dass keine Doppelerfassung von Nachfragerückgängen bei Inlandsflügen bzw. Inland-Ausland-Umsteigerverbindungen vorliegt.

5.3.4 Nachfragewirkungen von Wirtschaftswachstum und Kostenerhöhungen

Generell ist die Luftverkehrsnachfrage sowohl im Privatreise- als auch im Geschäftsreisesegment positiv von der konjunkturellen Entwicklung abhängig. Dabei ist für Privatreisende insbesondere die Veränderung des verfügbaren realen Einkommens, für Geschäftsreisende das Wachstum der Produktion (und die geografische Struktur der Handelsbeziehungen) ausschlaggebend. Üblicherweise wird in der Literatur die Entwicklung des realen

³¹ 1,1 Mio. „fehlende“ Passagiere im Jahr 2011. Vgl. ebenda.

³² Vgl. Thießen et al. (2012), S. 43ff.

Bruttoinlandsprodukts (BIP) als unabhängige Variable für die Analyse der Luftverkehrsnachfrage genutzt.³³

Für eine kurzfristige Betrachtung, d. h. dem hier vorgenommenen Vergleich von zwei aufeinanderfolgenden Jahren, stellt sich zudem die Frage nach der Dauer von Anpassungsreaktionen. So ist nicht auszuschließen, dass die Luftverkehrsnachfrage verzögert auf wirtschaftliche Entwicklungen reagiert, unter anderem da die Festlegung von Reisebudgets in Unternehmen und die Planung von privaten Urlaubsreisen häufig für das jeweils nächste Jahr erfolgen. Dies ist besonders in Zeiten bedeutsam, in denen außergewöhnliche Entwicklungen vorliegen. Das reale Bruttoinlandsprodukt in Deutschland ist im Jahr 2011 deutlich gegenüber dem Vorjahr gestiegen, wobei - wie bereits im Jahr 2010 - Aufholeffekte nach dem wirtschaftlichen Einbruch des Jahres 2009 eine wichtige Rolle gespielt haben. Bei der Analyse ist zudem die zwischenzeitliche Korrektur der gesamtwirtschaftlichen Daten zu berücksichtigen. Das ursprünglich vom Statistischen Bundesamt ausgewiesene Wachstum betrug 3,0% (siehe oben), später wurde die Wachstumsrate auf 3,3% korrigiert³⁴ und nach der Revision 2014 gibt das Statistische Bundesamt eine Wachstumsrate von 3,6% an.³⁵ Für die folgenden Berechnungen wird eine Wachstumsrate von 3,3% genutzt.

Die Einkommenselastizität der Luftverkehrsnachfrage wird, wie bereits erwähnt, in den vorliegenden Studien auf unterschiedliche Weise berechnet. INTRAPLAN gibt für ausgewählte europäische Länder für den Zeitraum 1995 bis 2010 einen Durchschnittswert von 1,8 an, wobei für die Zeit ab 2008 ein leichter Rückgang beobachtet wird.³⁶ Dieser Wert liegt etwas oberhalb des Durchschnittswertes, der in der Literatur für entwickelte Volkswirtschaften genannt wird (1,3-1,5).³⁷ In der INFRAS-Studie wird der Quotient aus Passagier- und BIP-Wachstum, bezogen auf das nominale BIP, für Deutschland mit einer Bandbreite von 0,6 bis 1,4 in den Jahren 2005 bis 2011 angegeben.³⁸ Thießen et al. weisen auf starke Schwankungen im Zeitablauf sowie einen im Trend sinkenden Wert der Einkommenselastizität hin und geben für die Jahre 2006 bis 2011 einen Durchschnittswert von 1,34 an (bezogen auf das reale BIP).³⁹ In allen Studien wird jeweils allein die Luftverkehrsnachfrage (einschließlich der beschriebenen Doppelzählungen und Ausland-Ausland-Umsteiger) auf das BIP bezogen, d. h., es erfolgt keine integrierte Berücksichtigung anderer Determinanten. Speziell für die Jahre 2003 bis 2008, in denen der Low Cost Verkehr in Deutschland stark zugenommen hat,⁴⁰ erscheint diese Betrachtungsweise daher von begrenzter Aus-

³³ Vgl. beispielsweise IATA (2008), S. 29f., sowie speziell für Deutschland BVU et al. (2014), S. 95f.

³⁴ Vgl. Statistisches Bundesamt (2014b), Tabelle 2.1.

³⁵ Vgl. Räth et al. (2014), S. 507.

³⁶ Vgl. INTRAPLAN (2012), S. 26.

³⁷ Vgl. IATA (2008), S. 30. Der untere Wert bezieht sich auf Kurz-, der obere auf Langstrecken. Lediglich für sehr lange Relationen wird ein deutlich höherer Wert genannt (2,2).

³⁸ Vgl. INFRAS (2012), S. 46. Die Bezugnahme auf das nominale BIP wird mit einem engeren statistischen Zusammenhang begründet, ist jedoch aus theoretischer Sicht nicht überzeugend.

³⁹ Vgl. Thießen et al. (2012), S. 40.

⁴⁰ Vgl. DLR (2013), S. 16.

sagekraft. Für die Jahre 2012 und 2013 lässt sich die Entwicklung der Zahl der Originäreinsteiger gemäß der Steuerstatistik auf das BIP-Wachstum beziehen. Im Jahr 2012 betrug dieser Quotient 1,7, im Jahr 2013 1,2.

Wie bereits oben ausgeführt, sind auch die Kostensteigerungen im Jahr 2011, die durch den Anstieg des Ölpreises verursacht wurden, für die Nachfrageentwicklung bedeutsam. Weitere Kostenänderungen, z. B. Flughafenentgelte und Personalkosten, werden im Folgenden nicht vertieft betrachtet, da hier keine außerordentlichen Veränderungen zu beobachten waren. Dies gilt auch für Effizienzsteigerungen im Luftverkehr, die *ceteris paribus* einen kostensenkenden Effekt haben. Für den Kerosinpreis wird ein Anstieg im Durchschnitt des Jahres 2011 von rund 40% genannt.⁴¹ Allerdings war aufgrund des verbreiteten Fuel Hedging und der Wechselkurseffekte in diesem Jahr die Kostenbelastung für die Luftverkehrsgesellschaften geringer. Konkret ist beispielsweise bei der Deutschen Lufthansa ein Anstieg der Kerosinkosten von rund 20% im Jahr 2011 aufgetreten.⁴² Bei einem Anteil der Treibstoffkosten an den Gesamtkosten von rund 20% entspricht dies einer Kostensteigerung von rund 4%. Vor dem Hintergrund einer Inflationsrate von rund 2% im Jahr 2011 bedeutet dies einen realen Kostenanstieg von 2%.

Das Ausmaß des (isolierten) Rückgangs der Passagierzahl infolge dieser Kostensteigerung hängt von den Elastizitäten der Angebots- und der Nachfragefunktion ab (siehe hierzu die obigen Ausführungen zur Steuerinzidenz). Für die Preiselastizität der Luftverkehrsnachfrage werden in der Literatur zahlreiche unterschiedliche Werte genannt, die von -0,3 (Geschäftsreisende auf Langstrecken) bis zu -1,5 (Privatreisende auf Kurzstrecken) reichen.⁴³ Angesichts der Dominanz der Kurzstreckenverkehre auf dem deutschen Luftverkehrsmarkt (siehe Tabelle 1) wird im Folgenden eine Elastizität von -1 zugrundegelegt. Darüber hinaus wird unterstellt, dass die Kostensteigerung von 2% nur zu 75% überwältzt werden kann, sodass sich ein Passagierzahlrückgang von 1,5% aufgrund der Kerosinpreisssteigerung im Jahr 2011 ergibt.

5.3.5 Abschätzung der Steuerwirkungen

Ausgehend von der um Sondereffekte korrigierten Zahl der Quelle-Ziel-Passagiere des Jahres 2010 (75,1 Mio.) lässt sich in teilweiser Analogie zum Vorgehen in den Studien von INTRAPLAN und INFRAS die Zahl der ohne Luftverkehrsteuer zu erwartenden Quelle-Ziel-Passagiere im Jahr 2011 abschätzen und mit der tatsächlichen Passagierzahl vergleichen. Für die Einkommenselastizität wird dabei auf der Basis der obigen Ausführungen ein unterer Wert von 1,0 und ein oberer Wert von 1,5 angenommen, sodass sich bei einem

⁴¹ Vgl. Bundestags-Drucksache 17/10225, S. 39f.

⁴² Die Kosten für Kerosin sind um 26,4% gestiegen, davon entfallen 6,9% auf einen höheren Verbrauch, 25,3% auf Preissteigerungen (incl. Absicherungsgeschäften) und – als Gegeneffekt – 5,8% auf den Wechselkurs. Vgl. Deutsche Lufthansa (2012), S. 50.

⁴³ Vgl. zu einem Überblick Conrady/Fichert/Sterzenbach (2013), S. 353. INFRAS nutzt für seine Analysen Werte zwischen -0,4 (Geschäftsreisende Langstrecke) und -1,2 (Privatreisende Kurzstrecke).

realen BIP-Wachstum von 3,3% eine Passagierzahl von 77,6 Mio. bzw. 78,8 Mio. ergibt. Setzt man - wiederum auf der Basis der obigen Darlegungen - den kerosinpreissteigerungsbedingten Rückgang der Nachfrage mit 1,5% an, so liegt die zu erwartende Passagierzahl zwischen 76,4 Mio. und 77,6 Mio. Im Vergleich zu der oben berechneten Zahl von 75,5 Mio. Quelle-Ziel-Passagieren im Jahr 2011 handelt es sich um einen Rückgang der Zahl der Originäreinsteiger, der zwischen 0,9 Mio. und 2,1 Mio. liegt; dies entspricht einem steuerbedingten Rückgang um 1,2% bzw. 2,8% der Nachfrage.

Der auf der Basis der Quelle-Ziel-Passagiere abgeschätzte Nachfragerückgang fällt prozentual deutlich stärker aus als der von INFRAS berechnete Wert (-0,6% bis -1,0%). Bezieht man den von INTRAPLAN ermittelten Rückgang von rund 5 Mio. Passagieren auf die zugrunde gelegte Gesamtzahl der Ein- und Aussteiger, so ergibt sich ein prozentualer Steuereffekt von rund 2,5%. Insgesamt liegt der Mittelwert des oben abgeschätzten Rückgangs der Passagierzahl (Originäreinsteiger) zwischen den prozentualen Ergebnissen von INTRAPLAN und INFRAS, wobei trotz der deutlich „zurückhaltenderen“ Berücksichtigung von Sondereffekten und der geringeren Einkommenselastizität die Ergebnisse näher an den INTRAPLAN-Werten liegen. Ausschlaggebend ist, wie bereits oben erwähnt, die gestiegene Zahl der Ausland-Ausland-Umsteiger. Offenbar haben die Luftverkehrsgesellschaften, insbesondere die Deutsche Lufthansa, auf den steuerinduzierten Nachfragerückgang in Deutschland mit einem verstärkten Angebot an Umsteigeflügen für ausländische Passagiere reagiert. Diese Ausweichreaktion überlagert bei einer Betrachtung von Gesamtpassagierzahlen den steuerbedingten Rückgang. Der originäre Effekt der Luftverkehrsbesteuerung ist folglich deutlich spürbar, die Anpassungsreaktionen der Fluggesellschaften haben jedoch kompensierend gewirkt.

In der obigen Berechnung wurden alle relevanten Annahmen (Passagierdaten und Korrekturfaktoren, Einkommenselastizität, Kostenanstieg und Preiselastizität) explizit benannt. Folglich sind Sensitivitätsanalysen mit abweichenden Annahmen leicht möglich. Beispielsweise wäre ohne Korrektur der Passagierzahlen um die Sondereffekte infolge der Vulkanaschewolke bei einer BIP-Elastizität von 1,0 kein Steuereffekt zu beobachten, bei einer BIP-Elastizität von 1,5 beträgt der steuerbedingte Nachfragerückgang 0,9 Mio. (1,2%).

Schließlich ist grundsätzlich ein Vergleich mit Studien zu den Effekten ausländischer Luftverkehrsteuern möglich. Allerdings zeigen die Ausführungen in Kapitel 2, dass sich Bemessungsgrundlagen und Steuersätze zum Teil deutlich von den deutschen Werten unterscheiden. Zudem sind weitere Strukturunterschiede bedeutsam. Beispielsweise waren in den Niederlanden stärkere Ausweichreaktionen zu beobachten, da aufgrund der geringen geografischen Ausdehnung des Landes alle Flughäfen relativ grenznah liegen. Im Unterschied hierzu können in Großbritannien nur wenige Nachfrager zu ausländischen Flughäfen abwandern. Zudem ist für das niederländische Beispiel zu berücksichtigen, dass die Steuer Einführung mit dem Beginn der Finanzkrise zusammenfiel, was eine Identifikation der Steuerwirkungen zusätzlich erschwert.

5.3.6 Mögliches „Aufsplitten“ von Flugreisen

Unter anderem von INFRAS wird darauf hingewiesen, dass ein aus Deutschland abreisender Passagier einen Langstreckenflug „aufsplitten“ kann, d. h. zuerst zu einem Hub-Flughafen im Ausland und von dort - mit einem separaten Ticket - weiter zu seiner Langstreckendestination fliegen kann.⁴⁴ Durch diese Strategie lassen sich rechnerisch pro Flugreise maximal 34,68 EUR an Luftverkehrssteuer sparen (Differenz zwischen den Steuersätzen der Distanzklassen 3 und 1). Eine solche Ausweichreaktion wäre statistisch nicht in der Gesamtzahl der Passagiere, sondern lediglich in den Anteilen der Kurz- und Langstreckenflüge zu erkennen.

Obwohl nicht auszuschließen ist, dass einzelne Nachfrager sich in der beschriebenen Form verhalten, ist aufgrund der folgenden Aspekte nicht von einer nennenswerten Zahl an „aufgesplitteten“ Flugreisen auszugehen:

- Für den Passagier entsteht nicht nur ein höherer Buchungsaufwand (Kauf von zwei Tickets, ggf. eines davon in fremder Währung), sondern auch zusätzlicher Aufwand am Umsteigeflughafen (kein „Durchchecken“ des Gepäcks) sowie ein zusätzliches Risiko bei einer Verspätung des ersten Fluges.
- Die Kosten für die Fluggesellschaften sind bei einer solchen Aufteilung des Fluges höher, da die Flughafenentgelte für Umsteigepassagiere an allen europäischen Hub-Flughäfen unter denen für Originäreinsteiger liegen. Auch wird am Umsteigeflughafen ggf. ebenfalls eine spezifische Steuer fällig (insbesondere Großbritannien, Frankreich und Österreich). Wenn diese Kosten an den Passagier weitergegeben werden, verringert sich der obige Vorteil bzw. verkehrt sich ins Gegenteil.
- Das Revenue Management der Luftverkehrsgesellschaften führt oftmals dazu, dass auf ausländischen Märkten Umsteigeverbindungen relativ günstig angeboten werden, um bei freien Kapazitäten das Preisgefüge auf dem Heimatmarkt nicht zu stören. Bei einem getrennten Erwerb von zwei Tickets würden folglich höhere Kosten für den Passagier anfallen.

Zur Stützung der These eines vermehrten „Aufsplittens“ von Flugreisen wird auf überdurchschnittliche Wachstumsraten im (Quelle-Ziel-)Verkehr zu ausländischen Hubs, insbesondere London-Heathrow und Amsterdam-Schiphol, hingewiesen. Allerdings sind auch diese empirischen Indizien zumindest zweifelhaft.

- Die Zahl der Passagiere die von Deutschland aus nach London-Heathrow (letztbekanntes Ziel) reisen, ist im Jahr 2011 um 10,7% gegenüber dem Vorjahr gestiegen (von 1,8 auf 2,0 Mio. Passagiere). Diese stark überdurchschnittliche Wachstumsra-

⁴⁴ Vgl. INFRAS (2012), S. 96ff.

te könnte, so die teilweise anzutreffende Argumentation, durch Passagiere begründet sein, die zunächst nach Heathrow fliegen und dort mit einem separaten Ticket einen Langstreckenflug antreten. Allerdings ist im selben Jahr die Zahl der Passagiere nach London-Stansted um fast 230.000 zurückgegangen. Die Gesamtzahl der Passagiere zwischen Deutschland und allen Londoner Flughäfen stieg im Jahr 2011 gegenüber dem Vorjahr nur um rund 2%. Folglich ist die gestiegene Zahl der Passagiere nach Heathrow weniger durch ein „Aufsplitten“ von Langstreckenflügen als vielmehr durch eine Substitution im Quelle-Ziel-Verkehr plausibel zu erklären, d. h., die Passagiere wählen Heathrow anstelle von Stansted.

- Für Flüge zwischen Deutschland und dem Flughafen Amsterdam-Schiphol weist die Passagierstatistik für das Jahr 2011 ein Wachstum der Gesamtzahl der Passagiere von 18,8% sowie einen Anstieg der Zahl der Passagiere mit Amsterdam als letztbekanntem Ziel von 32,5% aus. Dieser Trend hat sich in den Jahren 2012 und 2013 fortgesetzt. Bei Passagieren mit Amsterdam als letztbekanntem Ziel kann es sich sowohl um Quelle-Ziel-Passagiere als auch um Passagiere handeln, die von Amsterdam aus eine Umsteigeverbindung über einen deutschen Flughafen mit korrespondierendem Rückflug gebucht haben. Auch die Zahl der vom Statistischen Bundesamt berechneten Originäreinsteiger auf Flügen in die Niederlande hat sich in diesen Jahren stark erhöht.⁴⁵ Allerdings enthält die Luftverkehrsstatistik, die auf Meldungen der Fluggesellschaften basiert, auch einige zweifelhafte Angaben: (1) Im Jahr 2013 ist zwischen Berlin-Tegel und Amsterdam die Zahl der Passagiere mit letztbekanntem Ziel Amsterdam größer als die Zahl der Einsteiger auf Flügen nach Amsterdam (234.500 vs. 230.000); (2) die Zahl der Quelle-Ziel-Passagiere zwischen Hannover und Amsterdam steigt im Jahr 2012 sehr stark an (von 7.200 auf 43.000) um im Folgejahr fast ebenso stark wieder zu fallen (auf 9.000) und (3) die Zahl der Quelle-Ziel-Passagiere zwischen Bremen und Amsterdam weist im Jahr 2013 einen enormen Anstieg auf (von 5.600 auf 57.000). Insgesamt liegt die Vermutung nahe, dass die Passagierstatistik die Zahl der Quelle-Ziel-Passagiere zwischen Deutschland und Amsterdam überzeichnet. Folglich wäre auch der behauptete Ausweicheffekt entsprechend schwächer ausgeprägt.

5.3.7. Fazit zu den verkehrlichen Wirkungen

Die beiden vorliegenden Studien zu den verkehrlichen Auswirkungen der Luftverkehrsteuer kommen mit einer im Grundsatz ähnlichen, in den Detailannahmen jedoch abweichenden Methodik jeweils zu dem Ergebnis, dass die Luftverkehrsteuer zu Passagierrückgängen geführt hat. Dabei wird das prozentuale Ausmaß in der Studie von INTRAPLAN höher als

⁴⁵ Von 442.600 im Jahr 2010 auf 600.900 im Jahr 2011, sowie weiter auf 742.600 (2012) bzw. 834.100 (2013).

in der Studie von INFRAS angegeben. Demgegenüber schlussfolgern Thießen et al., dass der Nachweis einer nennenswerten Passagierzahlminderung nicht erbracht werden könne.⁴⁶

Im vorliegenden Beitrag werden die verkehrlichen Effekte der Steuererhebung im Grundsatz mit derselben Methode abgeschätzt, die auch von INTRAPLAN und INFRAS genutzt wurde (Bereinigung der Passagierzahlen um Sondereffekte, Berücksichtigung des verkehrssteigernden Einkommenswachstums und der Veränderung sonstiger Rahmendaten, insbesondere des Kerosinpreises). Dabei werden die jeweiligen Annahmen tendenziell „zurückhaltend“ gewählt, was im konkreten Fall eher zu einer Unter- als zu einer Überschätzung der Steuerwirkungen führt. Dennoch liegen die hier ermittelten prozentualen Rückgänge der Passagierzahlen deutlich höher als von INFRAS berechnet. Dieses auf den ersten Blick überraschende Ergebnis lässt sich wie folgt begründen:

Die Wirkungen der deutschen Luftverkehrsteuer können in einen originären Nachfrageeffekt und einen nachgelagerten Anpassungseffekt unterschieden werden. In einem ersten Schritt führt die Steuererhebung zu einem Nachfragerückgang auf dem deutschen Markt. Während auf Flughäfen ohne Hub-Funktion die Fluggesellschaften hierauf insbesondere mit einer Frequenzreduktion (bis hin zur Angebotseinstellung) reagieren können, lassen sich für Flüge von und zu Hubs die frei gewordenen Sitze durch Umsteigepassagiere aus dem Ausland füllen. Wird bei der Wirkungsanalyse allein die Gesamtzahl der Passagiere betrachtet, so kann nur der Steuereffekt unter Einbeziehung dieser kompensierenden Anpassungsreaktionen erfasst werden. Die hier gewählte Methodik, deren Datengrundlage jedoch aus der offiziellen Statistik abgeschätzt werden muss, zeigt hingegen den originären Effekt.

6. Ansatzpunkte für eine gesamtwirtschaftliche Analyse

Ausgehend von den berechneten Passagierrückgängen infolge der Einführung der Luftverkehrsteuer werden mitunter gesamtwirtschaftliche Einkommens- und Beschäftigungswirkungen sowie darauf aufbauend fiskalische Effekte berechnet. Zwei Optionen werden im Folgenden skizziert. Der einfachste Ansatz basiert auf einer reinen Input-Output-Betrachtung, d. h., es werden die direkten und indirekten Nachfragerückgänge abgeschätzt, addiert und daraus das Ausmaß des Beschäftigungseffekts bestimmt. Für die deutsche Luftverkehrsteuer wurde dieser Ansatz unter anderem vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt im Auftrag der rheinland-pfälzischen Landesregierung im Jahr 2010 verwendet, um ex ante die möglichen Folgen der Luftverkehrsteuer abzuschätzen.⁴⁷ Danach führt die Luftverkehrsteuer mit einem Aufkommen von rd. 900 Millionen € zu einem in etwa gleich starken Rückgang der Bruttowertschöpfung, Arbeitsplatzverlusten in Höhe von 12.800 Beschäftig-

⁴⁶ Vgl. Thießen et al. (2012), S. 13.

⁴⁷ Die Studie ist zwar bis heute unveröffentlicht, jedoch haben Berster et al. (2010) die zentralen Ergebnisse und die Grundzüge ihrer Methodik auf einer Konferenz vorgetragen.

ten und weiteren Steuerausfällen bzw. höheren Sozialkosten in Höhe von rund 500 Millionen €.

Der zentrale Einwand gegen diese Methode besteht darin, dass alle anderen Effekte, beispielsweise die zusätzliche Nachfrage nach Substitutionsgütern (z. B. Bahnfahrten anstelle von Flügen, vermehrter inländischer Konsum infolge unterlassener Auslandsreisen) sowie die Verwendung des Steueraufkommens (z. B. zusätzliche Staatsnachfrage oder Verringerung anderer Steuern und dadurch induzierte Nachfrageeffekte bei den privaten Haushalten) ausgeblendet werden. Insofern ist das negative Vorzeichen einer solchen Analyse durch die Methodik eindeutig vorbestimmt und lediglich das Ausmaß wird durch die Wahl der Modellparameter bestimmt. Zur Evaluierung der gesamtwirtschaftlichen Wirkung einer Steuer ist diese Methode daher grundsätzlich ungeeignet. Ihr fehlt ein Maß, mit dem konsistent alternative Steuern oder andere verkehrspolitische Instrumente miteinander verglichen werden können.

Ein alternativer Ansatz für gesamtwirtschaftliche Analysen sind Computable General Equilibrium (CGE) Modelle, bei denen alle gesamtwirtschaftlichen Rückwirkungen grundsätzlich berücksichtigt werden. Beispielsweise wurden die Effekte der australischen⁴⁸ sowie der britischen⁴⁹ Luftverkehrsbesteuerung mithilfe derartiger Modelle analysiert. Auf den ersten Blick kontroverse Aussagen über die gesamtwirtschaftlichen Effekte einer Luftverkehrsbesteuerung (für Australien werden positive, für Großbritannien hingegen negative Effekte berechnet) können beispielsweise durch unterschiedliche Annahmen über die Beschäftigung (Voll- bzw. Unterbeschäftigung) in der Ausgangslage begründet sein. Darüber hinaus lassen sich auch in CGE-Modelle Annahmen einbauen, die „designbedingt“ zu einem negativen Effekt einer Luftverkehrsbesteuerung führen. Beispielsweise enthält das Modell, das zur Analyse der britischen Luftverkehrsbesteuerung genutzt wurde, die Annahme, dass die Zahl der geschäftlichen Flugreisen die Produktivität in der Volkswirtschaft positiv beeinflusst. Auch hier resultiert ein Rückgang der Passagierzahlen stets in wirtschaftlich negativen Effekten.

Schließlich ist bedeutsam, dass eine Luftverkehrsteuer dazu führt, dass die Finanzierung der öffentlichen Aufgaben zu einem Teil von ausländischen Reisenden übernommen wird, was bei isolierter Betrachtung einen positiven Effekt für das steuererhebende Land darstellt.

Neben den Auswirkungen auf gesamtwirtschaftliche Größen lassen sich die Effekte einer Luftverkehrsbesteuerung auch unter ökologischen Gesichtspunkten betrachten.⁵⁰ Bei einer passagierbezogenen Steuer wären hierzu insbesondere die Auswirkungen auf die Zahl der Flugbewegungen sowie eine geänderte Destinationswahl bedeutsam. Darüber hinaus ließen

⁴⁸ Vgl. Forsyth et al. (2014).

⁴⁹ Vgl. PwC (2013).

⁵⁰ Vgl. etwa Mayor und Tol (2007).

sich hierfür auch andere Ausgestaltungen einer Steuer, beispielsweise in Form einer Emissionsabgabe, analysieren.

7. Fazit

Eine Beurteilung der Auswirkungen einer Luftverkehrsbesteuerung muss in einem ersten Schritt mögliche Marktreaktionen und in einem zweiten Schritt deren gesamtwirtschaftliche und ökologische Folgen betrachten. Bereits die Analyse der Marktreaktionen, die in diesem Beitrag im Mittelpunkt der Betrachtung steht, ist komplex, da unter anderem vielfältige Marktconstellations zu berücksichtigen sind. Darüber hinaus besteht für die empirische Anwendung einer Inzidenzanalyse in Europa das zentrale Hemmnis, dass weder über die Flugpreise noch über die Anteile unterschiedlicher Nachfragergruppen (insbesondere Privat- und Geschäftsreisende) detaillierte Informationen verfügbar sind. Alternativ kann der Nachfrageeffekt für das deutsche „Realexperiment“, d. h. die Einführung einer Besteuerung im Jahr 2011, empirisch abgeschätzt werden. Die hierfür erforderliche Korrektur der primären Daten um Sondereffekte sowie die Berücksichtigung paralleler Veränderungen der Angebots- und Nachfragedeterminanten (Einkommen, andere Kostenkomponenten) verursacht jedoch ebenfalls methodische Herausforderungen, sodass die Kontroversen in der Literatur letztlich wenig überraschend sind. In diesem Beitrag wird darüber hinaus darauf hingewiesen, dass eine summarische Betrachtung aller Passagiere den Effekt der Besteuerung tendenziell unterschätzt, da kompensierende Anpassungsreaktionen nicht vom eigentlichen steuerbedingten Nachfragerückgang getrennt werden.

Die sektoralen Effekte einer Besteuerung (d. h. der Beschäftigungsrückgang im jeweiligen Wirtschaftssektor) lassen sich auf der Basis des berechneten Passagierzahlrückgangs vergleichsweise einfach abschätzen. Allerdings ist die verbreitete Berechnung gesamtwirtschaftlicher Effekte der Besteuerung mithilfe einer Input-Output-Betrachtung wenig aussagekräftig, da gegenläufige Nachfrageeffekte vernachlässigt werden. Dies kann nur im Rahmen anderer Ansätze, etwa Computable General Equilibrium Modelle, geeignet erfasst werden, wobei jedoch wiederum zahlreiche Annahmen gesetzt werden müssen, die Anlass zu Kontroversen geben können.

Abstract

The introduction of the air passenger tax in Germany in 2011 has led to several controversies about its effect on the number of passengers and the overall economic impact. In this paper the effects in different market segments are discussed. It is shown that an analysis which is only based on the overall number of passengers underestimates the demand reductions. Therefore, the effect of the tax on the number of O&D passengers in Germany is calculated. According to our calculations, the demand reduction is between 1.2 and 2.8 percent. Moreover, it is argued that the usual Input-Output methodology is not suitable for

analyzing the overall economic impact. As an alternative, Computable General Equilibrium models may describe the total economic effect of an air passenger tax.

Schlagworte: Luftverkehrsteuer, Luftverkehrsnachfrage, gesamtwirtschaftliche Effekte

Quellen

ADV – Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (mehrere Jahrgänge), *ADV-Monatsstatistik*, Berlin.

Berster, P. et al. (2010), *The impacts of the planned air passenger duty in Germany*, Präsentation auf der Infraday Konferenz, Berlin, Online unter: https://www.infraday.tu-berlin.de/fileadmin/fg280/veranstaltungen/infraday/conference_2010/papers_presentations/presentation---berster_et_al.pdf.

Button, K. (2005), *The Taxation of Air Transportation*, Fairfax, VA.

BVU et al. (2014), *Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Schlussbericht*, Freiburg u.a.O.

Conrady, R., Fichert, F. und Sterzenbach, R. (2013), *Luftverkehr. Betriebswirtschaftliches Lehr- und Handbuch*, 5. Aufl., München.

Deutsche Lufthansa (2012), *Geschäftsbericht 2011*, Köln.

Deutscher Bundestag (2012), *Bericht an den Deutschen Bundestag über die Auswirkungen der Einführung des Luftverkehrsteuergesetzes auf den Luftverkehrssektor und die Entwicklung der Steuereinnahmen aus der Luftverkehrsteuer*, Bundestags-Drucksache 17/10225, Berlin.

DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (2013), *Luftverkehrsbericht 2012*, Köln.

DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (mehrere Jahrgänge), *Low Cost Monitor*, Köln.

Fichert, F. (2011), Rahmenbedingungen für Nachhaltigkeit im intermodalen Vergleich, in: DVWG (Hrsg.), *Ansprüche einer mobilen Gesellschaft an ein verlässliches Verkehrssystem*, DVWG Jahresband 2009/2010, Berlin, 98-103.

Flughafen München (mehrere Jahrgänge), *Luftverkehrsstatistik*, München.

Forsyth, P., et al. (2014), The Impact of Australia's departure tax: Tourism versus the Economy?, *Tourism Management*, 40, 126-136.

- Fraport (mehrere Jahrgänge), *Visual Fact Book*, Frankfurt/M.
- Gordijn, H., und Kolkman, J. (2011), *Effects of the Air Passenger Tax*, KiM Netherlands Institute for Transport Policy Analysis, Den Haag.
- IATA (2008), *Air Travel Demand*, Genf.
- INFRAS (2012), *Auswirkungen der Einführung der Luftverkehrsteuer auf die Unternehmen des Luftverkehrssektors in Deutschland*, Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums der Finanzen, Zürich, Abgedruckt in Bundestags-Drucksache 17/10225.
- INTRAPLAN Consult GmbH (2012), *Untersuchung zur verkehrlichen und volkswirtschaftlichen Wirkung der Luftverkehrsteuer*, Gutachten im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Luftverkehrswirtschaft (BDL), München.
- Keen, M. und Strand, J. (2007), Indirect Taxes on International Aviation, *Fiscal Studies*, 28 (1), 1-41.
- Lehmann, C., Sterner, I. und Wölfel, T. (2014), Luftverkehrsteuern: Ein internationaler Vergleich, *Internationales Steuerrecht*, 23, 616-621.
- Mayor, K. und Tol, R. (2007), The impact of the UK aviation tax on carbon dioxide emissions and visitor numbers, *Transport Policy*, 14, 507-513.
- PwC (2013), *The economic impact of Air Passenger Duty*, London.
- Räth, N., et al. (2014), Generalrevision der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen 2014 für den Zeitraum 1991 bis 2014, *Wirtschaft und Statistik*, H. 9, 502-543.
- Schöpflug, K., et al. (2012), *Evaluierung der Flugabgabe*, Wien.
- Seely, A. (2014), *Air passenger duty: recent debates & reform*, Standard Note: SN5094, Last updated: 28 March, Online unter: <http://www.parliament.uk/business/publications/research/briefing-papers/SN05094/air-passenger-duty-recent-debates-reform>.
- Statistisches Bundesamt (2014a), *Finanzen und Steuern. Luftverkehrsteuer. 2013*, Fachserie 14, Reihe 9.6, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2014b), *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen 2013*, Fachserie 18, Reihe 1.4, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (mehrere Jahrgänge), *Luftverkehr auf ausgewählten Flugplätzen*, Fachserie 8, Reihe 6.1, Wiesbaden.

Thießen, F., et al. (2012), *Auswirkungen der Luftverkehrsteuer auf die Entwicklung des Luftverkehrs in Deutschland*, Gutachten im Auftrag von Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Brot für die Welt. Evangelischer Entwicklungsdienst, Germanwatch, Greenpeace und World Wide Fund for Nature, Chemnitz.

Truby, J.M. (2010), Reforming the Air Passenger Duty as an Environmental Tax, *Environmental Law Review*, 12, 94-104.

USGAO – United States Government Accountability Office (2010), *Commercial Aviation. Consumers Could Benefit from Better Information about Airline-Imposed Fees and Refundability of Government-Imposed Taxes and Fees*, Washington, D.C.

Wojahn, O. (2010), Ökonomische Analyse der Luftverkehrsteuer, *List Forum*, 36 (3), 165-186.

Eisenbahninfrastruktur ökonomisch planen

VON NILS NIEßEN UND BASTIAN KOGEL, AACHEN

1. Einleitung

Das für die Zukunft prognostizierte hohe Verkehrswachstum auf der Schiene, insbesondere im Bereich des Schienengüterverkehrs, stellt eine große Herausforderung an die Eisenbahninfrastruktur dar. Bereits heutzutage sind viele Strecken und Knoten stark ausgelastet und stoßen an ihre Kapazitätsgrenzen. Da die Eisenbahninfrastruktur einen langen Lebenszyklus bei sehr hohen Planungszeiträumen aufweist, ist es von besonderem Interesse die zukünftigen Engpässe, wo die derzeitige Kapazität nicht ausreichend sein wird, frühzeitig zu detektieren, um somit gezielt in die Infrastruktur zu investieren.

Zur Bewältigung des prognostizierten Verkehrswachstums auf der Schiene ist neben betrieblichen und organisatorischen Maßnahmen ebenso der Neu- und Ausbau der Eisenbahninfrastruktur erforderlich. Die sehr kostenintensiven Neu- und Ausbaumaßnahmen werden in der Regel im Rahmen des Bundesverkehrswegeplans finanziert. Insbesondere in Zeiten angespannter öffentlicher Haushaltskassen ist eine fundierte Priorisierung der erforderlichen Neu- und Ausbaumaßnahmen unumgänglich. Die prognostizierte Nachfrage und die vorhandene bzw. zukünftige Kapazität der Eisenbahninfrastruktur sind dabei die wesentlichen Messgrößen einer solchen Priorisierung. Gleichzeitig stellt neben den Neu- und Ausbaumaßnahmen jedoch auch die Erhaltung des Bestandsnetzes eine große Herausforderung dar. Zur Erhaltung des Bestandsnetzes stellt der Bund gemäß Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung (LuFV) jährlich entsprechende Mittel bereit, welche durch die DB Netz AG ergänzt werden.

Mit Hilfe von eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Modellen gelingt es, die derzeit und zukünftig zur Verfügung stehenden Kapazitäten der Infrastruktur zu ermitteln, vorhandene Engpässe zu identifizieren sowie Maßnahmen zu deren Beseitigung zu bewerten. Die Ermittlung der Kapazitäten wird dabei sowohl für Eisenbahnstrecken als auch für Knoten (Bahnhöfe) durchgeführt. Dabei kommen verschiedene Verfahren zur Anwendung.

In Kapitel 2 werden zunächst die wesentlichen eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Grundlagen dargestellt. So wird der Begriff Kapazität abgegrenzt und erläutert, durch welche

Anschrift der Verfasser:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen
RWTH Aachen University
Verkehrswissenschaftliches Institut
Mies-van-der-Rohe Str. 1
52074 Aachen
e-mail: niessen@via.rwth-aachen.de

Dipl.-Ing. Bastian Kogel
RWTH Aachen University
Verkehrswissenschaftliches Institut
Mies-van-der-Rohe Str. 1
52074 Aachen
e-mail: kogel@via.rwth-aachen.de

Größen die Kapazität beeinflusst wird, und der Zusammenhang zwischen Kapazität und der Wirtschaftlichkeit aufgezeigt. Anschließend werden in Kapitel 3 die verschiedenen Verfahren zur Ermittlung der Kapazität beschrieben, deren wesentlichen Anwendungsgebiete genannt sowie deren Vor- und Nachteile erläutert. Abschließend werden in Kapitel 4 derzeitige Anwendungsfelder der Methoden zur Kapazitätsermittlung von Schienenwegen in Deutschland dargestellt.

2. Kapazitätsverbrauch im Eisenbahnwesen

Im Eisenbahnwesen beschreibt die Kapazität die Anzahl an Zugfahrten, welche auf den Schienenwegen innerhalb eines betrachteten Zeitraums durchgeführt werden kann. Diese Anzahl an Zugfahrten ist dabei abhängig von dem Ausbauzustand der Infrastruktur. Die Dimensionierung der Anlagen mit Gleisen, Weichen sowie Signalen, das verwendete Zug-sicherungssystem und die örtlich zulässigen Geschwindigkeiten bestimmen somit die mögliche Anzahl an Zugfahrten, welche auf dieser Infrastruktur abgewickelt werden kann. Nachfolgend wird beschrieben, was grundsätzlich unter dem Begriff Kapazität im Verkehrswesen – speziell im Eisenbahnwesen – zu verstehen ist.

Die Kapazität von Verkehrssystemen beschreibt im Allgemeinen deren Vermögen, die Nachfrage nach dem Transport von Personen, Gütern und Informationen nach Menge und Verkehrsrelation mit einer gewünschten Qualität zu befriedigen. Die Auslastung eines Verkehrssystems wird dabei in der Regel einer auslastungsabhängigen Qualitätskenngröße gegenübergestellt. Mit steigender Auslastung eines solchen Verkehrssystems behindern sich die einzelnen Verkehrseinheiten gegenseitig stärker, so dass es zu vermehrten Stauer-scheinungen und damit zu höheren Wartezeiten kommt. Dieser prinzipielle Zusammenhang zwischen der Auslastung von Verkehrssystemen und der resultierenden Wartezeit ist in Abbildung 1 dargestellt.

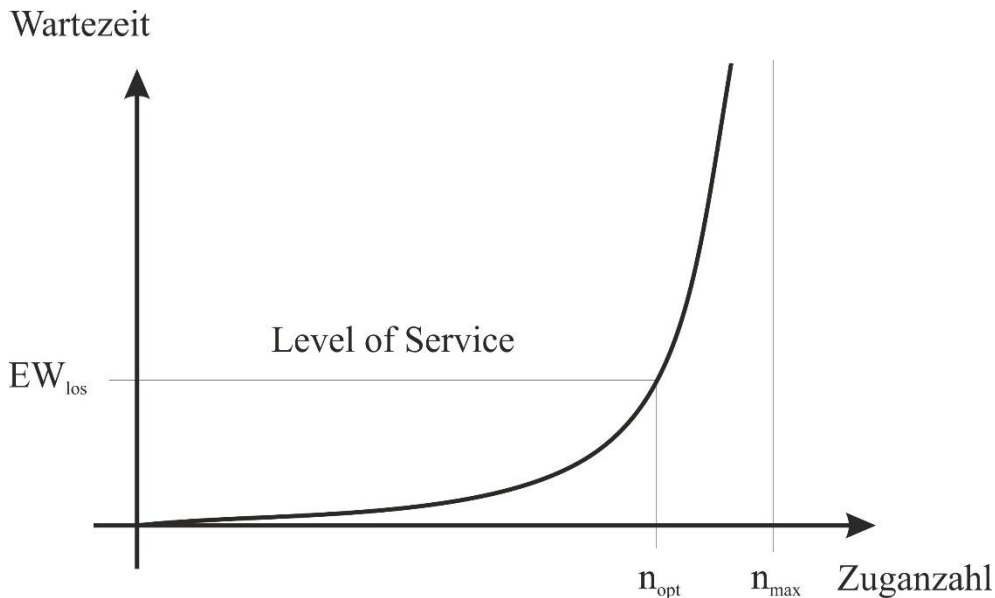


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Auslastung und Qualität

Bezogen auf das Eisenbahnwesen wird die maximal mögliche Zuganzahl n_{max} , bei der sich eine unendliche Wartezeit ergeben würde, als „theoretische Kapazität“ bezeichnet. Für praktische Anwendungen hat dieser Grenzwert allerdings keine Bedeutung. Zur Dimensionierung von Schienenwegen wird dagegen die bei einer bestimmten Zuganzahl pro Zeiteinheit vorhandene Qualität (Wartezeit) einem zulässigen Qualitätsniveau gegenübergestellt. Die Zuganzahl n_{opt} stellt dabei die (wirtschaftlich) optimale Auslastung dar, bei welcher sich die zu erwartenden Wartezeiten noch in einem akzeptierten Niveau befinden und sich für das Gesamtsystem, bestehend aus Eisenbahninfrastrukturunternehmen und Eisenbahnverkehrsunternehmen ein maximaler Gewinn erwarten lässt. Diese Zuganzahl wird als „praktische Kapazität“ bezeichnet und für Dimensionierungsaufgaben herangezogen.

2.1 Einflussgrößen auf die Kapazität

Die Kapazität lässt sich sowohl für Eisenbahnstrecken als auch Eisenbahnknoten ermitteln. Die auf der jeweiligen Infrastruktur fahrbare Anzahl an Zugfahrten wird dabei durch deren Ausbauzustand (z. B. die zulässige Geschwindigkeit und die vorhandene Leit- und Sicherungstechnik) beeinflusst. Die Kapazität der Eisenbahninfrastruktur ist jedoch nicht alleinig von der zugrundeliegenden Infrastruktur abhängig, sondern auch von einer Reihe weiterer Eigenschaften (siehe Abbildung 2).

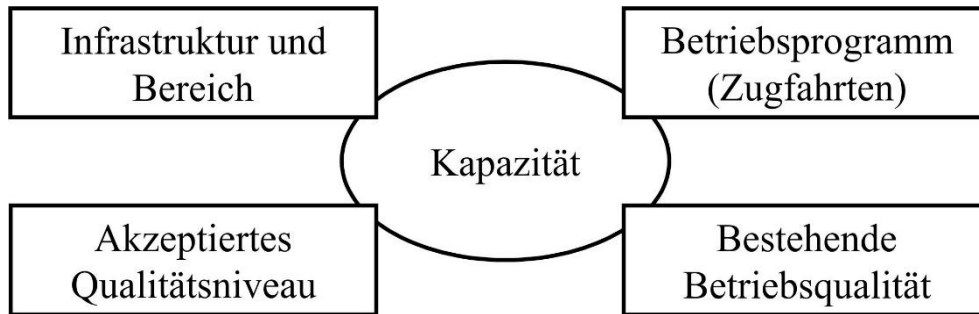


Abbildung 2: Einflussgrößen auf die Kapazität

Prinzipiell sind bei der Ermittlung der Kapazität folgende Parameter von Relevanz:

- ein Infrastrukturbereich und seine Eigenschaften,
- der Untersuchungszeitraum,
- die unterschiedlichen Zugfahrten mit ihren Charakteristika (Betriebsprogramm),
- das unterstellte Qualitätsniveau,
- die Betriebsqualität.

Der Begriff „Kapazität“ lässt sich somit wie folgt definieren:

Die Kapazität eines Infrastrukturbereiches ist die Anzahl an Zugfahrten, welche auf diesem bei gegebenem Zugmix innerhalb einer Zeitspanne unter Einhaltung einer definierten Betriebsqualität abgewickelt werden kann.

2.2 Eisenbahnbetriebswissenschaftliche Grundlagen zur ökonomischen Planung

Der Kapazitätsverbrauch einer einzelnen Zugfahrt wird durch die Inanspruchnahme der Infrastruktur durch eben diese Zugfahrt beschrieben. Hierzu kann das sogenannte Sperrzeitenmodell verwendet werden, welches die Zeit ermittelt, während der ein Infrastrukturelement durch eine Zugfahrt belegt ist, also jene Zeitanteile, wo die Infrastruktur exklusiv für die Zugfahrt reserviert wird. Die betriebliche Belegung eines durch zwei Hauptsignale abgegrenzten Blockabschnitts durch eine Zugfahrt dauert dabei länger als der eigentliche physikalische Vorgang der Belegung (Abbildung 3). Berücksichtigt werden zusätzlich die Fahrstraßenbildezeit, die Sichtzeit sowie die Annäherungsfahrzeit (Zeit für die Fahrt zwischen den Vor- und Hauptsignalen) bevor die Zugspitze das Blocksignal erreicht. Nach Passieren des nächsten Blocksignals sind noch die Räumfahrzeit sowie die Fahrstraßenauflösezeit hinzuzufügen, bevor der zuvor befahrene Blockabschnitt freigegeben werden kann. Die Summe der genannten Zeitelemente wird als Sperrzeit bezeichnet und zeigt den Kapazitätsverbrauch einer Zugfahrt an.

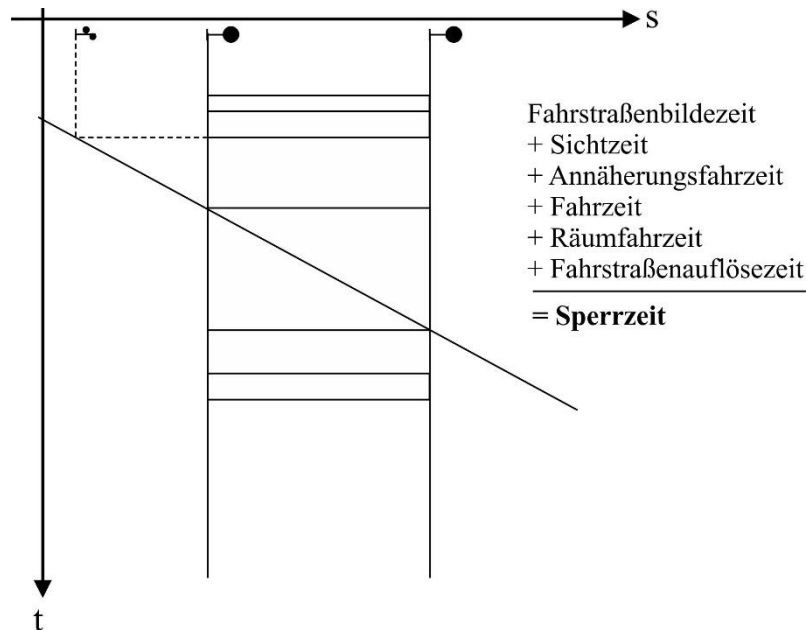


Abbildung 3: Zeit-Weg-Diagramm mit Elementen der Sperrzeit

Die Sperrzeitentreppe eines Zuges ergibt sich anschließend aus der Aneinanderreihung der Sperrzeitenblöcke der jeweiligen Infrastrukturelemente eines Streckenabschnitts. Um fundierte Aussagen über die Kapazität treffen zu können, ist ein Sperrzeitenmodell zur Beschreibung des Kapazitätsverbrauchs der einzelnen Zugfahrten unumgänglich. Dieses setzt wiederum die Anwendung eines mikroskopischen Infrastrukturmodells voraus. Das Sperrzeitenmodell wurde schon 1959 durch Happel (1959) beschrieben und ist auch im internationalen UIC Code 406 (2004) als Grundlage zur Beschreibung des Kapazitätsverbrauchs vorgesehen.

Die Durchführung von zwei Zugfahrten kann nur dann realisiert werden, wenn es zu keiner Überschneidung der Sperrzeitenblöcke dieser beiden Zugfahrten kommt, da ansonsten die Infrastruktur von beiden Zügen zur gleichen Zeit belegt wäre. Jede Überlagerung von Sperrzeitenblöcken stellt somit einen Konflikt dar, den es zu lösen gilt. Der zeitlich geringste Abstand, in dem sich zwei Züge konfliktfrei folgen können, wird als Mindestzugfolgezeit z_{ij} bezeichnet. Die Mindestzugfolgezeit z_{ij} entspricht also der Zeit, nach der ein Zug j einem Zug i folgen kann, ohne dass der Zug j eine Behinderung erfährt (z. B. stützen müsste). Abbildung 4 skizziert die Mindestzugfolgezeit zwischen einem langsamen Zug und einem nachfolgenden schnelleren Zug.

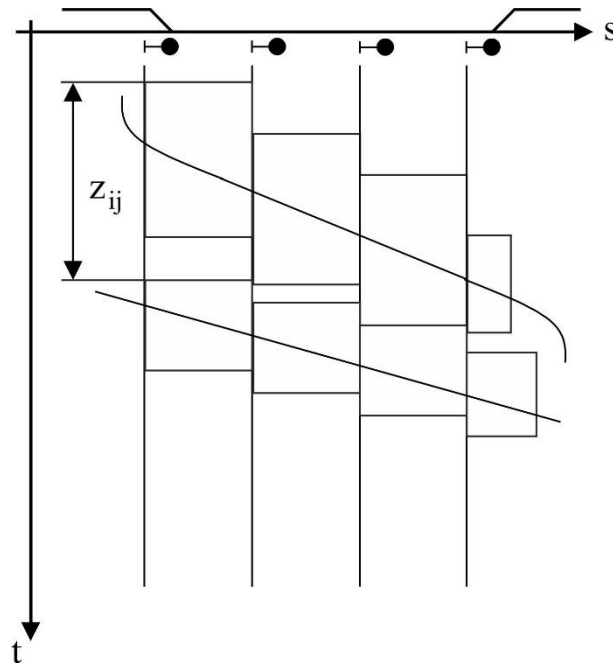


Abbildung 4: Mindestzugfolgezeit

Mindestzugfolgezeiten beziehen sich dabei immer auf den gemeinsamen Laufweg eines Zugpaars und werden für Überholungsabschnitte bestimmt. Ein Überholungsabschnitt wird durch die Bahnhöfe begrenzt, in denen ein Reihenfolgewechsel der beiden Züge statthaft und möglich ist. Anschließend wird für jeden Zugfolgefall die maßgebende Mindestzugfolgezeit bestimmt, welche sich als Maximum der Mindestzugfolgezeiten dieses Zugfolgefalls über alle vom jeweiligen Zugpaar befahrenen Überholungsabschnitte innerhalb eines Streckenabschnitts ergibt.

Die ermittelten Mindestzugfolgezeiten über alle möglichen Zugfolgefälle werden in Form einer Matrix dargestellt. Um die Größe einer solchen Matrix überschaubar zu halten, werden Züge mit ähnlichen fahrdynamischen und verkehrlichen Eigenschaften zu sogenannten Modellzügen zusammengefasst.

Die Kapazität der Eisenbahninfrastruktur wird durch verschiedenartigste Einflüsse beeinflusst. So sind bei eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Untersuchungen unterschiedliche betriebliche Anforderungen, Dispositionsstrategien, Geschwindigkeiten, Blocklängen, Zugbeeinflussungssysteme sowie Signalanlagen zu berücksichtigen. Durch die Verwendung der Sperrzeitentheorie und der Mindestzugfolgezeiten werden derartige Einflüsse detailliert berücksichtigt.

In der praktischen Fahrplangestaltung werden zwischen den Sperrzeitentreppen zweier Züge Pufferzeiten (t_p) eingeplant, um die Wahrscheinlichkeit einer Verspätungsübertragung von einer Zugfahrt auf die nächste Zugfahrt zu verringern (siehe Abbildung 5). Auf diese Weise können zwar keine Verspätungen einer Zugfahrt abgebaut werden, es gelingt jedoch, die Verspätungsübertragung zwischen verschiedenen Zügen zu dämpfen.

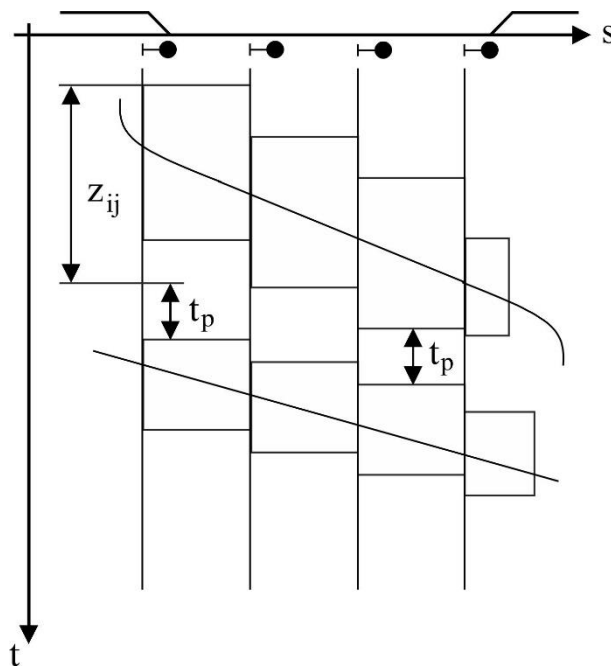


Abbildung 5: Pufferzeit

Zur (wirtschaftlichen) Dimensionierung der Infrastruktur werden die auslastungsabhängigen Wartezeiten herangezogen. Bei sehr geringen Zugzahlen ist die Infrastruktur unterausgelastet, es entstehen entsprechend niedrige Wartezeiten; bei einer hohen Auslastung steigen aufgrund von vermehrten Stauerscheinungen die Wartezeiten stark an, was zu einem Rückgang der Nachfrage führen kann. Ziel ist es daher die Wartezeiten auf ein akzeptiertes Maß (Qualitätsniveau) festzulegen.

Als Qualitätsmaßstab dient dabei die Summe der Wartezeiten, welche gemäß Richtlinie 405 der DB Netz AG in die planmäßigen und die außerplanmäßigen Wartezeit (Folgeverspätungen) aufgeteilt werden. Planmäßige Wartezeiten beziehen sich auf den Prozess der Fahrplannerstellung und entstehen im Rahmen der Fahrplankonstruktion, wenn Zugtrassen nicht in der vom Eisenbahnverkehrsunternehmen bestellten Wunschlage eingeplant, sondern aufgrund von Nutzungskonflikten angepasst werden müssen. Im Gegensatz dazu ent-

stehen außerplanmäßige Wartezeiten während der Betriebsabwicklung aufgrund von Verspätungen, wenn Anschluss- oder Zugfolgekonflikte auftreten.

Kommt es zu derartigen Belegungskonflikten im Rahmen der Fahrplanerstellung oder Betriebsabwicklung, d. h. die Sperrzeitentreppen der beiden Trassen überlagern sich, ist eine Konfliktlösung erforderlich. Eine Möglichkeit zur Lösung eines Belegungskonfliktes ist das Verschieben einer der beiden Trassen. In diesem Fall bleiben die Eigenschaften der Trassen unverändert, eine der beiden Trassen aber wird in ihrer zeitlichen Lage soweit verschoben, bis beide Trassen behinderungsfrei verkehren können. Eine Alternative stellt das sogenannte Biegen dar. Hierbei wird die Geschwindigkeit einer Trasse derart verändert (verringert), dass sich die beiden Trassen nicht mehr überschneiden. Neben diesen beiden Varianten der Konfliktlösung stellt die Wahl eines alternativen Laufwegs eine weitere Lösungsmöglichkeit dar. Bei allen Konfliktlösungsmöglichkeiten können Wartezeiten für mindestens eine Zugfahrt entstehen.

Die auslastungsabhängigen Qualitätskenngrößen (planmäßige bzw. außerplanmäßige Wartezeit) können fahrplanabhängig bzw. fahrplanunabhängig berechnet werden. Bei der fahrplanabhängigen Betrachtung werden ein konkreter Fahrplan bzw. konkrete Trassenlagen untersucht. Bei der fahrplanunabhängigen Ermittlung der auslastungsabhängigen Qualitätskenngrößen werden hingegen nur grobe Angaben über Zugzahlen und den Zugmix berücksichtigt. Die konkrete zeitliche Verteilung der Fahrlagen im Untersuchungszeitraum ist bei der fahrplanunabhängigen Betrachtung unbekannt.

Die Summe der planmäßigen Wartezeiten $t_{w,plm}$ wird mit dem Verfahren nach Wakob (1985) und die Summe der außerplanmäßigen Wartezeiten $t_{w,apl}$ mit Hilfe der STRELE-Formel nach Schwanhäüßer (1974) ermittelt. Die berechneten Wartezeiten werden anschließend zulässigen Werten gegenübergestellt, welche in der Richtlinie 405 der DB Netz AG für den planmäßigen und außerplanmäßigen Fall wie folgt hinterlegt sind.

$$\text{zul} \sum t_{w,plm} = 0,480 \cdot e^{-1,3 \cdot p_{RZ}} \cdot t_U$$

$$\text{zul} \sum t_{w,apl} = 0,260 \cdot e^{-1,3 \cdot p_{RZ}} \cdot t_U$$

mit t_U : Untersuchungszeitraum
 p_{RZ} : Anteil Reisezüge

Bei Verwendung der zulässigen Wartezeiten lässt sich schließlich die optimale Zuganzahl ermitteln, bei welcher diese Wartezeiten auftreten würden. Dieser Wert wird für die Betriebsabwicklung als Nennleistung (Betriebskapazität) bezeichnet und stellt eine wichtige Größe für die Dimensionierung der Anlagen dar. Es ist natürlich auch statthaft, eine höhere oder niedrigere Zuganzahl abzufahren, jedoch würden dann auch entsprechend mehr bzw.

weniger Wartezeiten entstehen und es bestünde die Gefahr, dass die Anlage unter- bzw. überdimensioniert ist.

Die in der Richtlinie verwendeten Werte der zulässigen Wartezeiten basieren auf Expertenbefragungen von Fahrdienstleitern und Disponenten, welche für unterschiedliche Strecken ihre Einschätzungen zur optimalen Zuganzahl, Betriebsqualität und der daraus resultierenden Kapazität gegeben haben¹.

Weitere wissenschaftliche Untersuchungen (u.a. Jochim, 1999; Schwanhäüßer, 2009; Dickbrok, 2012) versuchen neben der Betrachtung der Wartezeiten stärker die Kosten- und Erlöse der Eisenbahnunternehmen mit einzubeziehen. Bei diesen Ansätzen ist die optimale Auslastung (Nennleistung) einer Strecke diejenige Zugzahl, mit der sich ein maximaler Gewinn für das Gesamtsystem erzielen lässt. Bei den Kosten treten dabei neben den Grundkosten weitere zeit- und wegeabhängige Kostenarten auf. Je nach Anzahl der auf einer Strecke verkehrenden Züge umschließen die Erlös- und Kostenfunktionen einen linsenförmigen Bereich, innerhalb dessen ein Gewinn erzielt wird (siehe Abbildung 6). Hierbei werden die Erlöse und Kosten sowohl von Eisenbahninfrastrukturunternehmen als auch von Eisenbahnverkehrsunternehmen berücksichtigt.

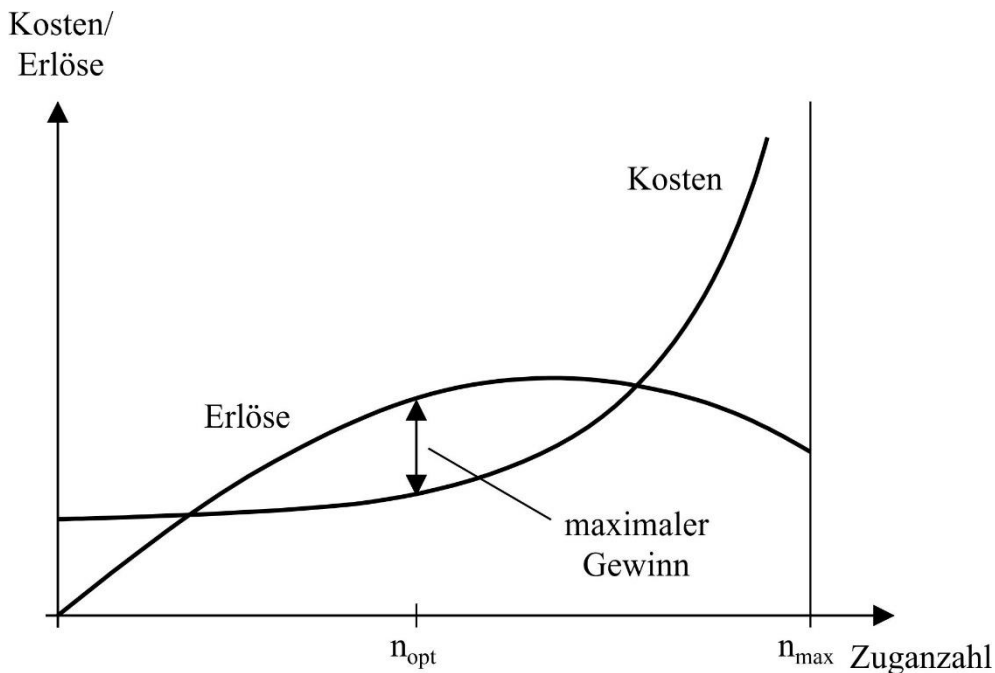


Abbildung 6: Zusammenhang Auslastung und Gewinnmaximum

¹ Delphi-Befragung von Experten des Betriebsleitstellendienstes (Prof. Schwanhäüßer, 1982)

Die Erlöse der Eisenbahnverkehrsunternehmen sind von der Nachfrage der Endkunden nach der angebotenen Verkehrsleistung abhängig. Bei der Nachfragewirkung wiederum sind neben dem Verkehrsträger Eisenbahn zwingend auch alternative Reisemittel – wie der motorisierte Individualverkehr oder der Fernbus – mit zu berücksichtigen, da diese gegenseitig am Verkehrsmarkt konkurrieren. Die Anwendung des Verfahrens der „Gewinnlinse“ zur Bestimmung der wirtschaftlich optimalen Zuganzahl setzt eine Vielzahl an Eingangsdaten in Bezug auf die Kosten- und Erlösfunktion voraus, die in der Regel nicht unmittelbar vorliegen und nur sehr aufwendig ermittelt werden können. Daher kommt das zuvor vorgestellte Verfahren der zulässigen Wartezeiten als Qualitätsmaßstab heutzutage weiterhin bei Kapazitätsbemessungsfragen zur Anwendung.

3. Verfahren zur Kapazitätsberechnungen

Zur Ermittlung der Kapazität von Schienenwegen existieren verschiedene Verfahren, bei welchen die Sperrzeitentheorie Anwendung findet. Diese Verfahren können dabei in folgende Klassen eingeteilt werden:

- Konstruktive Methode,
- Verkettung nach UIC Code 406,
- Simulation und
- Analytische Berechnung.

Einige Aufgaben sind nur mit bestimmten Methoden zu lösen, so dass hier die Auswahl des Verfahrens eindeutig ist. Für viele Aufgabenstellungen bieten sich jedoch mehrere Verfahren an, so dass hier weitere Auswahlkriterien berücksichtigt werden müssen. Diese umfassen u. a. den vorhandenen Detaillierungsgrad des Betriebsprogramms, die Komplexität der Aufgabenstellung und den zur Verfügung stehenden Bearbeitungszeitraum für die durchzuführende Untersuchung.

3.1 Konstruktive Methode

Die konstruktive Methode beruht auf Zeitverbräuchen von Zugfahrten und den sich daraus ergebenden Sperrzeiten. Die zwischen den einzelnen Sperrzeitentreppen auftretenden Konflikte sind während des Prozesses der Fahrplanerstellung zu lösen, um einen konfliktfreien Fahrplan zu generieren. Die Betrachtung basiert auf einem konkreten Fahrplan mit seinen Zugfahrten. Neben den Zugzahlen enthält das Betriebsprogramm zusätzlich Informationen zu gewünschten Vertaktungen sowie Anschluss- und Umlaufbedingungen. Es wird der Kapazitätsverbrauch dieses konkreten Fahrplans bestimmt, so dass die ermittelten Ergebnisse nur für die festgelegten, eng eingegrenzten Randbedingungen gelten (vgl. Brünger, 2000; Uhlmann, Mutschink, 2004).

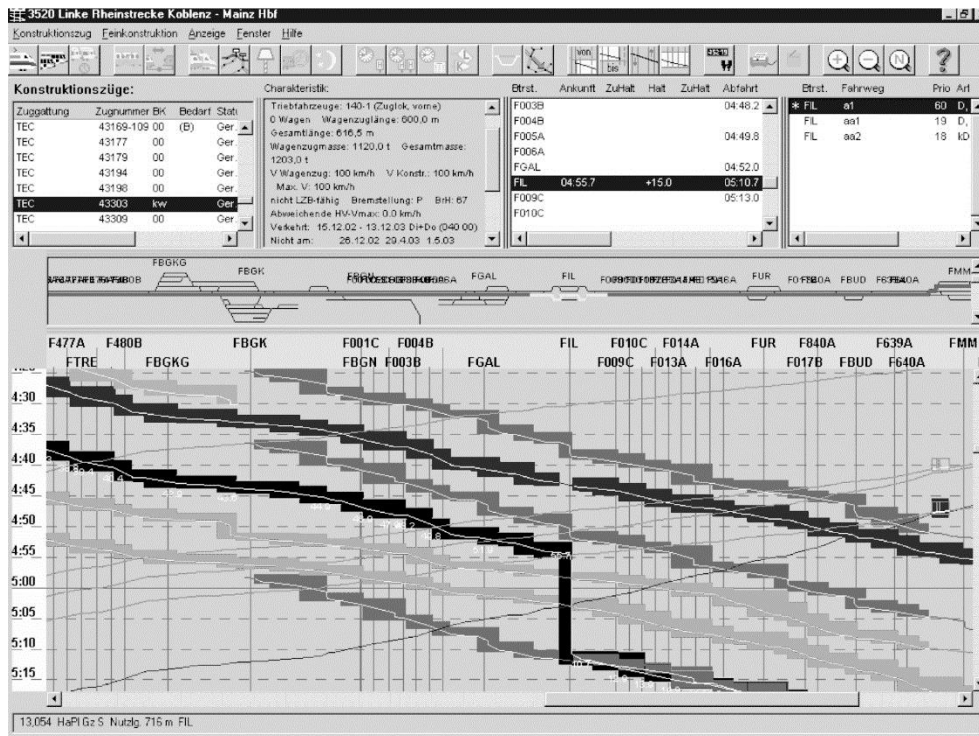


Abbildung 7: Konstruktive Methode. Quelle: Brünger und Kröger (2003).

Wesentliche Anwendungsgebiete der konstruktiven Methode:

- Konstruktion von konfliktfreien Fahrplänen als Grundlage für eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchungen
- Fahrplanerstellungprozess für den Jahresfahrplan
- Bemessung von Infrastruktur für fest definierte verkehrliche Anforderungen
- Optimierung von Fahrwegen in Fahrstraßenknoten und der Belegung einer Gleisgruppe im Prozess der Fahrplanerstellung
- Ermittlung zusätzlich möglicher (unterjähriger) Fahrplantrassen

Vorteile der konstruktiven Methode:

- realitätsnahe Abbildung eines konkreten Fahrplans
- Berücksichtigung von Anschluss- und Umlaufrestriktionen möglich

Nachteile der konstruktiven Methode:

- hoher Aufwand für Bearbeitung, Datenpflege und -kontrolle
- konkreter Fahrplan als Eingangsgröße notwendig
- Ergebnisse nur für konkreten Fahrplan gültig
- keine unmittelbaren Aussagen über die zu erwartende Betriebsqualität

3.2 Verkettung nach UIC Code 406

Die Verkettung nach UIC Code 406 basiert auf der Bestimmung des Kapazitätsverbrauchs von komprimierten („verketteten“) Sperrzeitentrepfen. Hierzu werden die Sperrzeitentrepfen der einzelnen Zugfahrten so eng wie möglich aneinandergeschoben (Pufferzeit gleich null) und die Gesamtbelegung des zusammengeschobenen Trassegefüges ermittelt. Der Grad der Auslastung – der sogenannte „verkettete Belegungsgrad“ – ergibt sich dann aus dem Verhältnis dieser „verketteten“ Gesamtbelegung t_{vk} zum Untersuchungszeitraum t_U . Der UIC Code 406 kann sowohl auf Basis eines Fahrplans als auch fahrplanunabhängig angewendet werden. Abbildung 8 zeigt beispielhaft einen Ausgangsfahrplan (links) und das Ergebnis der Verkettung (rechts).

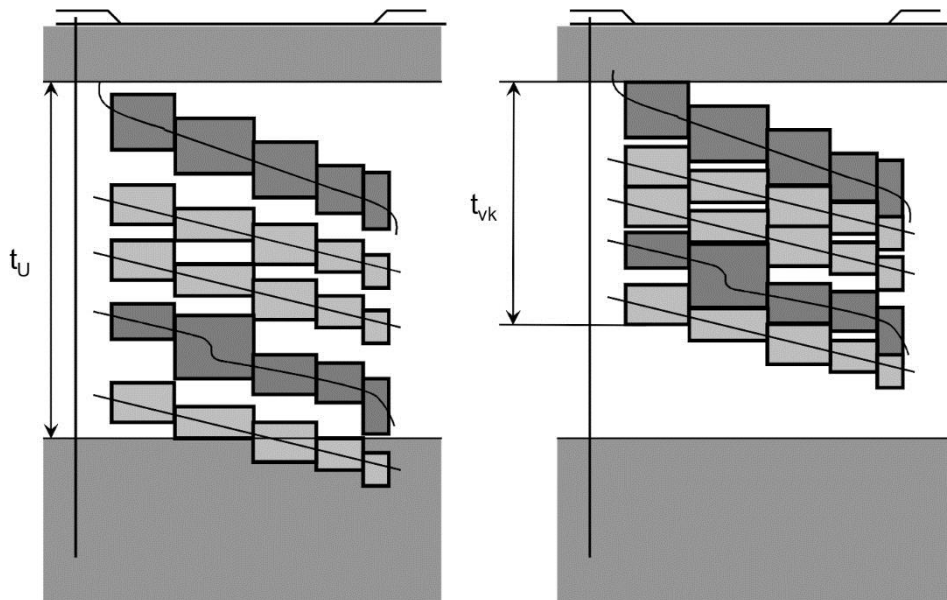


Abbildung 8: Verkettung eines Fahrplans nach UIC Code 406

Bei dieser Berechnungsmethode zum Kapazitätsverbrauch hängt die optimale Zugzahl einzig von den durchschnittlichen Mindestzugfolgezeiten (sowie bei fahrplanabhängiger Anwendung von der Reihenfolge der Züge) ab. Verspätungen oder unterschiedliche Zugprioritäten werden nicht berücksichtigt. Für die Berechnung des Kapazitätsverbrauchs ist es notwendig, über die minimale, verkettete Belegungszeit hinaus Zeitreserven für die Fahrplanstabilisierung (Pufferzeiten) sowie Unterhaltung anzusetzen (vgl. Kuckelberg, Nießen, Wendler, 2010).

Die gemäß UIC Code 406 empfohlenen Belegungsgrade sind abhängig von dem Streckentyp und dem betrachteten Zeitraum (Spitzenstunde oder Tageszeitraum) und sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 1: Grenzwerte Belegungsgrad gemäß UIC Code 406

Streckentyp	Spitzenstunde	Tageszeitraum
S-Bahn-Strecke	85 %	70 %
Hochgeschwindigkeitsstrecke	75 %	60 %
Mischverkehrsstrecke	75 %	60 %

Wesentliche Anwendungsgebiete der Verkettung nach UIC Code 406:

- Ermittlung des Kapazitätsverbrauchs rahmenvertraglich gebundener Trassen bei der DB Netz AG
- Ermittlung des Kapazitätsverbrauchs von Eisenbahnstrecken

Vorteile der Verkettung nach UIC Code 406:

- transparente Vorgehensweise

Nachteile der Verkettung nach UIC Code 406:

- kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Leistungsfähigkeit und zu erwartender Betriebsqualität
- detaillierte Informationen über Zugfahrten (Laufwege) erforderlich
- starke Abhängigkeit von der Güte der Fahrplandaten

3.3 Simulation der Betriebsabwicklung

Die Simulation eignet sich besonders zur Analyse komplexer Anlagen, für die die betrieblichen Anforderungen relativ detailliert bekannt sind. Ziel ist es, den durch Verspätungen gestörten Betrieb mit Hilfe eines Modells abzubilden (vgl. Kuckelberg, Janecek, Nießen, 2013). Wie bei der konstruktiven Methode stellt auch bei der Simulationmethode ein konkreter Fahrplan mit seinen Zugfahrten die Grundlage der Betrachtung dar. Über einen Zufallsgenerator werden Verspätungen und Verfrühungen in Form von Einbruchs- und Urverspätungen in den zugrundeliegenden Fahrplan eingespielt. Dies führt zu Konflikten im Betriebsablauf, welche dann im Rahmen der Simulation gelöst werden müssen. Als Resultat werden dann für jeden Simulationslauf für jede Zugfahrt die sich einstellenden Wartezeiten ausgewiesen (vgl. Fechner, 2014).

Die ermittelten Ergebnisse gelten nur unter den unterstellten, eng eingegrenzten Randbedingungen. Simulationsmethoden erfordern einen hohen Detaillierungsgrad in den Infrastruktur- und Betriebsprogrammdateien, so dass der Zeitaufwand für die Datenmodellierung relativ hoch ist. Die Anzahl der Simulationsläufe ist so groß zu wählen, dass sich stabile Ergebnisse einstellen.

Wesentliche Anwendungsgebiete der Simulation der Betriebsabwicklung:

- Vergleich verschiedener Fahrplanvarianten
- Untersuchungen, bei denen das Betriebsprogramm mit zahlreichen Randbedingungen bereits bekannt ist
- Fahrplanrobustheitsanalysen
- Ermittlung von Verspätungsschwerpunkten im Betrieb und Engpasserscheinungen

Vorteile der Simulation:

- Untersuchung eines konkreten Fahrplans im Betriebsablauf
- Abbildung spezieller Infrastruktur- und Betriebsprogrammeigenschaften
- Berücksichtigung von Fahrwegalternativen, Anschluss- sowie Umlaufbedingungen

Nachteile der Simulation der Betriebsabwicklung:

- (konfliktfreier) Fahrplan als Ausgangssituation erforderlich
- Ergebnisse nur für den konkreten Fahrplan gültig
- netzweite Simulation nicht möglich
- Durchführung von (Mehrfach-) Simulationen ist sehr zeitintensiv
- Allgemeingültigkeit für mehrere Fahrpläne nur mit sehr hohem Aufwand
- keine direkte Ermittlung von Kapazitätskenngrößen möglich
- Störungsparameter (Urverspätungen) als Eingangsgröße erforderlich

3.4 Analytische Berechnung

Analytische Modelle basieren auf der sogenannten Warteschlangentheorie. Sie wurden für die Bemessung von Strecken sowie von Fahrstraßenknoten und Gleisgruppen entwickelt und stellen seit vielen Jahren den Stand der Technik im Rahmen der Infrastrukturplanung und -dimensionierung dar. Als Qualitätskriterium zur Bewertung der Infrastruktur dienen die maximal zulässigen Wartezeiten, welche (aus wirtschaftlicher Sicht) vertretbar sind und einen wirtschaftlich optimalen Betrieb ermöglichen. Aus der geforderten (zufriedenstellenden) Betriebsqualität ergibt sich schließlich eine zulässige Zuganzahl.

Das analytische Vorgehen basiert auf den Mindestzugfolgezeiten und kann sowohl fahrplanabhängig als auch fahrplanunabhängig angewendet werden. Es setzt damit nicht zwingend die Kenntnis eines exakten Fahrplans voraus, sondern hierzu genügen allgemeine Angaben über das Betriebsprogramm (Anzahl Zugfahrten je Modellzug und je Zeiteinheit).

Neben der Betrachtung des Betriebsgeschehens kann mit dem analytischen Verfahren auch die Prozessebene der Fahrplanerstellung modelliert werden. Hierbei wird berechnet, mit welcher Güte die Nachfrage nach Trassen durch die Eisenbahninfrastrukturunternehmen auf der gegebenen Infrastruktur befriedigt werden kann (vgl. Janecek, Kuckelberg, Nießen, 2012; Nießen, Schaer, 2012).

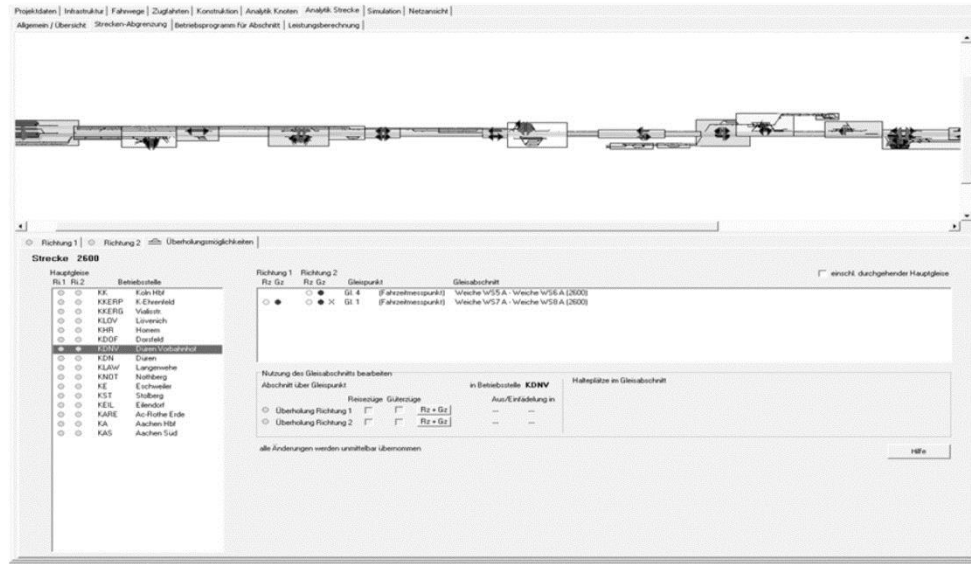


Abbildung 9: Analytische Berechnung

Wesentliche Anwendungsgebiete der analytischen Berechnung:

- Leistungsuntersuchung von Netzelementen (Strecken, Fahrstraßenknoten, Teilfahrstraßenknoten, Gleisgruppen) mit Qualitätsbezug bei noch nicht explizit festgelegten Fahrplänen
- Identifikation von Engpässen
- Ermittlung der Qualität und Restkapazität bei Knotenuntersuchungen
- Bemessung und Vergleich von Infrastrukturvarianten und Betriebsprogrammen

Vorteile der analytischen Berechnung:

- kurze Rechenzeiten
- kein konkreter Fahrplan, sondern nur Angaben über das Betriebsprogramm, erforderlich
- geringer Bearbeitungsaufwand bei der Abbildung des Betriebsprogramms
- direkte Ermittlung der Kenngrößen „Kapazität“ für die Prozesse der Fahrplanerstellung und Betriebsdurchführung
- allgemeingültige Aussage für eine Vielzahl von möglichen Fahrplanvarianten

Nachteile der analytischen Berechnung:

- optimale Nutzung von alternativen Fahrwegen nicht abbildbar
- keine Berücksichtigung von betrieblichen Randbedingungen (z. B. Anschlüsse oder Umläufen)

4. Anwendungsfelder im Rahmen verkehrspolitischer Fragestellungen

In Deutschland werden für unterschiedliche Aufgabenstellungen im Rahmen verkehrspolitischer Fragestellungen verschiedene Verfahren zur Kapazitätsermittlung von Schienenwegen eingesetzt. Im Folgenden werden kurz wesentliche Anwendungsfelder und die dabei verwendeten Methoden beschrieben.

Bundesverkehrswegeplanung

Da sich die politischen und verkehrlichen Randbedingungen häufig ändern, ist eine stetige Überprüfung und Weiterentwicklung der im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung eingesetzten Werkzeuge erforderlich. Eine große Herausforderung für die Zukunft stellt die Weiterentwicklung der Kriterien zur Priorisierung von Investitionen in der Verkehrsinfrastruktur dar. So sind sowohl die geeigneten Projekte auszuwählen als auch die Reihenfolge ihrer Realisierung festzulegen. Im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung erfolgt die Ermittlung der Kapazität unter Anwendung der analytischen Methode auf Basis einer makroskopischen Infrastruktur. Ein wesentliches Kriterium für die Anwendung der analytischen Methode stellt hierbei die Verwendung effizienter Berechnungsformeln zur Ermittlung der Kapazität und der resultierenden Wartezeiten im Rahmen der wirtschaftlichen Zuführung dar (vgl. Breimeier, Konanz, 1994).

Abgabe und Stilllegung von Eisenbahninfrastruktureinrichtungen

Gemäß § 11 AEG hat ein Eisenbahninfrastrukturunternehmen eine mehr als geringfügige Verringerung der Kapazität einer Strecke bei der zuständigen Aufsichtsbehörde (Eisenbahn-Bundesamt) zu beantragen. Ein Verfahren nach § 11 AEG ist dann erforderlich, wenn der Verringerung der Kapazität aufgrund von Rückbaumaßnahmen mehr als geringfügig ist. Der Nachweis erfolgt unter Anwendung der analytischen Methode auf einer mikroskopischen Infrastruktur. Es werden dabei sowohl die Kapazitäten für Strecken als auch diejenigen für Knoten berechnet.

Überlastete Schienenwege

Gemäß § 16 EIBV hat das Eisenbahninfrastrukturunternehmen bei der Vorlage überlasteter Schienenwege dies der zuständigen Aufsichts- und Regulierungsbehörde mitzuteilen. Dies gilt auch für Schienenwege, die in naher Zukunft überlastet sein werden. Wurden Schienenwege durch das Eisenbahninfrastrukturunternehmen für überlastet erklärt, so hat dieses eine Kapazitätsanalyse durchzuführen. Ziel einer solchen Kapazitätsanalyse ist die Erarbeitung von Maßnahmen zur Umleitung und zeitlichen Verlagerung von Verkehren sowie zur Erhöhung der Kapazität. Hierzu werden sowohl die analytische als auch die konstruktive Methode eingesetzt. Die Kapazitätsermittlung erfolgt dabei auf einer mikroskopischen Infrastruktur.

Ermittlung rahmenvertraglich gebundener Schienenwegkapazität

Gemäß § 13 EIBV ist ein Eisenbahninfrastrukturunternehmen berechtigt, Rahmenverträge über die Benutzung von Schienenwegkapazität zu schließen, die eine Laufzeit von mehr als einer Netzfahrplanperiode aufweisen. Zu beachten ist jedoch, dass die gemäß Rahmenverträgen gebundenen Zugtrassen 75 % der Schienenwegkapazität eines Schienenweges pro Stunde nicht überschreiten. Zur Ermittlung rahmenvertraglich gebundener Schienenwegkapazität wird eine gegenüber dem UIC Code 406 weiterentwickelte Methode der Verkettung mit konstruiertem Fahrplan auf mikroskopischer Infrastruktur eingesetzt (vgl. Wendler, Gröger, Nießen, 2012; Kuckelberg, Gröger, Wendler, 2011).

Interne Infrastrukturplanungen der Eisenbahninfrastrukturunternehmen

Darüber hinaus kommen im Rahmen der internen Infrastrukturplanungen der einzelnen Eisenbahninfrastrukturunternehmen verschiedene Methoden zur Anwendung. In der Regel sind dies analytische Berechnungen und Simulationen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass für Kapazitätsermittlungen im Rahmen verkehrspolitischer Fragestellungen häufig analytische Berechnungen zur Anwendung kommen. Analytische Verfahren zur Kapazitätsermittlung von Eisenbahninfrastruktur wurden am Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen entwickelt und werden aktuell z. B. von der DB Netz AG und dem Eisenbahn-Bundesamt mit Hilfe der Standardsoftware LUKS[®] (Leistungsfähigkeitsermittlung von Strecken und Knoten) angewendet.

5. Schlussfolgerungen

Die Kapazität der Eisenbahninfrastruktur steht im Rahmen verkehrspolitischer Fragestellungen oftmals im Fokus. Bereits heutzutage sind viele Strecken und Knoten des Deutschen Eisenbahnnetzes stark ausgelastet und stoßen an ihre Kapazitätsgrenzen. Zur Bewältigung des prognostizierten Verkehrswachstums auf der Schiene ist der Neu- und Ausbau der Eisenbahninfrastruktur zwingend erforderlich, jedoch sehr kostenintensiv. Die prognostizierte Verkehrsnachfrage und die vorhandene bzw. zukünftige Kapazität der Eisenbahninfrastruktur sind dabei die wesentlichen Messgrößen zur Priorisierung von Maßnahmen.

Mit Hilfe eisenbahnbetriebswissenschaftlicher Methoden gelingt es, die zur Verfügung stehenden Kapazitäten zu ermitteln, vorhandene Engpässe zu identifizieren und geeignete Maßnahmen zu deren Beseitigung zu bewerten. Für Kapazitätsermittlungen kommen überwiegend analytische Berechnungen zur Anwendung, da es innerhalb kurzer Rechenzeit gelingt, einen direkten Zusammenhang zwischen der Auslastung und der Betriebsqualität herzustellen. Die Verfahren verwenden dabei als Qualitätsmaßstab die zulässige Summe der Wartezeiten.

Zukünftig sollten bei Infrastrukturmaßnahmen neben den Wartezeiten als Maßstab zur Kapazitätsermittlung auch verstärkt wirtschaftliche Kriterien in Bezug auf die zu erwarten-

den Kosten und Erlöse Berücksichtigung finden. Hierbei ist dann auch die Konkurrenzsituation der verschiedenen Verkehrsträger am Verkehrsmarkt mit einzubeziehen. Eine Herausforderung stellt dabei die Verfügbarkeit der benötigten Eingangsdaten auf der Kosten- und Erlösseite dar. Gelänge es im Rahmen weiterer Forschungen verallgemeinerte, gültige Kernaussagen in Bezug auf diese Daten zu formulieren, so könnten demnächst noch spezifischere Aussagen zur Kapazität der Eisenbahninfrastruktur getroffen werden und Neu- und Ausbauprojekte feingliedriger priorisiert werden.

Abstract

The capacity of railway infrastructure often is in focus of transport policy issues. Already now a lot of lines and nodes are highly occupied. In order to handle the increasing traffic demand on rails, new and extended railway infrastructure is mandatory. The predicted traffic demands as well as the existing and prospective capacity of railway infrastructure are essential indicators for prioritising infrastructure projects.

By using methods of railway operations, it is possible to calculate the available capacities, to identify existing bottlenecks and to evaluate measures to eliminate them. Mainly analytic calculation is used for capacity assessment, as it is possible to establish a relation between the utilisation of infrastructure and the quality of operation. The permitted waiting time is used as quality measure in this context.

In the future economic criteria related to the expected costs and revenues should be taken into account next to the waiting times. However, currently the availability of needed input data is insufficient. If further research allows generalized, valid statements concerning this data, it would be possible to make more specific statements regarding the capacity of railway infrastructure. Therefore these results could lead to more delicate prioritised infrastructure projects. Furthermore the competitive situation between the different transport carriers at the transport market should be considered as well.

Quellen

- Breimeier, R. und Konanz, W. (1994), Die Wirtschaftliche Zugführung als Instrument der langfristigen Infrastrukturplanung, *Schriftenreihe der DVWG, Reihe B, Band 178*, S. 168–185.
- Brünger, O. und Kröger, Th. (2003), Fahrplantrassen managen und Fahrplanerstellung simulieren, *Tagungsband der 19. Verkehrswissenschaftlichen Tage Dresden*, 22./23.09.2003.
- Brünger, O. (2000), Fahrplanfeinkonstruktion mit Rechnerunterstützung – Grundlagen, Meilensteine und Visionen, *Informationstechnik bei den Bahnen, Edition ETR*, S. 148–154.

DB Netz AG, *Richtlinie 405 – Fahrwegkapazität*.

Dickenbrok, B. (2012), *Wirtschaftliche Bewertung von Infrastrukturmaßnahmen zur Anpassung der Streckenleistungsfähigkeit auf Grundlage einer integrierten Systembeurteilung* – Dissertation am Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen.

Fechner, C. (2014), Fahrplanrobustheitsprüfung zur Beratung von Aufgabenträgern, *Deine Bahn*, 42 11, S. 44–48.

Happel, O. (1959), Sperrzeiten als Grundlage für die Fahrplankonstruktion, *Eisenbahntechnische Rundschau (ETR)*, 8 2, S. 79–90.

Janecek, D., Kuckelberg, A. und Nießen, N. (2012), Kapazitätsermittlung von Eisenbahnknoten und Strecken, *Eisenbahntechnische Rundschau (ETR)*, 61 10, S. 30–36.

Jochim, H. (1999), *Verkehrswirtschaftliche Ermittlung von Qualitätsmaßstäben im Eisenbahnbetrieb* – Veröffentlichungen des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen, Heft 54.

Kuckelberg, A., Gröger, Th. und Wendler, E. (2011), A UIC-compliant, practically relevant capacity-consumption evaluation algorithm, *Proc. of the 4th International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis*, Rome, 16.-18.02.2011.

Kuckelberg, A., Janecek, D. und Nießen, N. (2013), Grundlagen zur Simulation der Fahrplanerstellung und Betriebsabwicklung, *Eisenbahntechnische Rundschau (ETR)*, 62 7+8, S. 50–55.

Kuckelberg, A., Nießen, N. und Wendler, E. (2010), Experiences with infrastructure capacity evaluation following UIC 406, *Proc. of the 18th International Symposium EURO-Žel 2010*, Žilina, 26./27.05.2010, part 1, pp. 83–90.

Nießen, N. und Schaer, T. (2012), Dimensionierung der Infrastruktur – Betriebswissenschaftliches Know-How für den Bahnbetrieb, *Deine Bahn*, 40 5, S. 42–45.

Schwanhäüßer, W. (1974), *Die Bemessung der Pufferzeiten im Fahrplangefüge der Eisenbahn* – Veröffentlichungen des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen, Heft 20.

Schwanhäüßer, W. (2009), Wirtschaftlich und betrieblich optimale Zugzahlen auf Eisenbahnstrecken, *Eisenbahntechnische Rundschau (ETR)*, 58 9, S. 488–495.

Uhlmann, M. und Mutschink, K. (2004), Bemessung komplexer Eisenbahninfrastruktur – Die konstruktive Methode, *Eisenbahntechnische Rundschau (ETR)*, 53 (2004) 7+8, S. 506–514.

UIC (Hrsg.) (2004), *Capacity. UIC Code 406*, 1. Auflage.

Wakob, H. (1985), *Ableitung eines generellen Wartemodells zur Ermittlung der planmäßigen Wartezeiten im Eisenbahnbetrieb unter besonderer Berücksichtigung der Aspekte der Leistungsfähigkeit und der Anlagenbelastung* – Veröffentlichung des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen.

Wendler, E., Gröger, Th. und Nießen, N. (2012), Kapazitätsverbrauch rahmenvertraglich gebundener Zugfahrten, *Eisenbahntechnische Rundschau (ETR)*, 61 1+2, S. 15–21.

Kosten-Nutzen-Untersuchungen kooperativer Verkehrstelematik

VON WOLFGANG NIEBEL, BERLIN, UND JUDITH GEßENHARDT, MÜNCHEN

1. Motivation und Aufbau

Für Bund und Länder sind „angemessene Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen“ für „finanzwirksame Maßnahmen“ im Haushaltsgrundsätzegesetz vorgeschrieben (vgl. §6 Abs. 2 HGrG). Demzufolge sind auch Verkehrsinfrastrukturprojekte bspw. einer volkswirtschaftlichen Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) zu unterziehen. Für Straßen können dafür je nach überörtlicher Bedeutsamkeit und Ausdehnung des Projektes die etablierten Bewertungsverfahren entweder des Bundesverkehrswegeplans (BVWP) oder der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS/RWS) Verwendung finden. Neben dem Verkehrswege(aus)bau werden seit mehr als einem Jahrzehnt auch kollektiv wirksame stationäre Telematiksysteme durch die Baulastträger zum Einsatz gebracht, die im Idealfall eine kostengünstige Alternative zum Tiefbau darstellen können („Bytes statt Beton“).

Eine ab dem Jahr 2015 einzuführende Variante der Verkehrstelematik für den individuellen Anwendungsfall sind kooperative Systeme (Car2Car, 2012). Diese nutzen die funkgestützte Kommunikation zwischen Fahrzeugen untereinander (V2V) sowie mit der stationären Infrastruktur (V2I) zum Datenaustausch. Die daraus gewonnenen hochaktuellen Informationen können sowohl in Fahrerinformations- und Assistenzsystemen als auch in den Verkehrssteuerungs- und -regelungsanlagen zu den Zielen einer sichereren, effizienteren und umfeldfreundlicheren Verkehrsgestaltung beitragen.

Zur Markteinführung dieser neuartigen Systeme muss nun „beurteilt werden, ob eine Einführung kooperativer Systeme möglich ist und wie ein Einführungsszenario konkret ausgestaltet werden könnte“ (BMVBS, 2012). Dabei ist zu beachten, dass sowohl die privat(wirtschaftlich)en Fahrzeughalter eine Kaufentscheidung für die im Fahrzeug notwendigen Technikbestandteile fällen müssen, als auch die öffentliche Hand in Form der Baulastträger für die infrastrukturseitigen Technikbestandteile. Da die Fahrzeughalter in ihrer Kaufentscheidung nur ihren individuell wahrnehmbaren Nutzen berücksichtigen und nicht die Effekte für andere Verkehrsteilnehmer sowie die Allgemeinheit, ist zu erwarten, dass eine vom Markt gesteuerte Selbsteinführung kooperativer Systeme unwahrscheinlich ist. Daraus resultiert im Normalfall, dass volkswirtschaftlich zu wenig vom betreffenden Gut bereitgestellt wird. In diesem Fall kann es sogar sein, dass bei einer Marktlösung manche koopera-

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. Wolfgang Niebel
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Institut für Verkehrssystemtechnik
Rutherfordstraße 2
12489 Berlin
e-mail: wolfgang.niebel@dlr.de

Dipl.-Verk.wirtsch. Judith Geßenhardt
TU München
Lehrstuhl für Verkehrstechnik
Arcisstraße 21
80333 München
e-mail: judith.gessenhardt@tum.de

tive, infrastrukturbasierte Fahrerassistenzsysteme gar nicht angeboten werden. Genau dies begründet einen staatlichen Eingriff, der im Regelfall mit einer Subventionierung des betreffenden Sektors verbunden ist. Eine Entscheidung diesbezüglich kann allerdings nur bei ausreichender Kenntnis über die flächendeckende Wirkung kooperativer Systeme in den jeweiligen Anwendungsbereichen erfolgen.

Die technische Wirkung und Funktionalität kooperativer Fahrerassistenzsysteme wurde bereits in diversen Projekten und Feldversuchen untersucht (Sicherere Intelligente Mobilität Testfeld Deutschland, 2013), jedoch nur mit wenigen ausgerüsteten Fahrzeugen. Um die damit verbundenen verkehrlichen Wirkungen bei höheren Ausstattungsgraden zu ermitteln, werden u.a. mikroskopische Verkehrssimulationen eingesetzt. Deren Untersuchungsräume sind allerdings aufgrund der nötigen Detailschärfe und Untersuchungskosten meist ortsspezifisch, zeitlich und räumlich begrenzt und damit schwer übertragbar. Um dennoch den Entscheidungsträgern in Deutschland flächendeckend ohne aufwändige Untersuchungen sinnvolle Empfehlungen geben zu können, ist es wichtig, vorhandene detaillierte Ergebnisse in übertragbare Aussagen zu überführen. Hierfür ist es notwendig, maßgebliche Eigenschaften von Untersuchungsbereichen bzw. Netzelementen zu analysieren, um die gewonnenen Erkenntnisse über die Wirkungen in den o.g. Zielfeldern auf ähnliche Bereiche anderer Städte zu übertragen. Bisherige Ansätze in Forschungsprojekten wie AMITRAN (2013) verwendeten dazu ungenügend ausgearbeitete Ansätze wie durch Parameter beschriebene Situationen, welche bspw. anhand der Fahrleistung in ähnlichen Situationen extrapoliert werden sollten.

In diesem Beitrag findet die im Rahmen der Forschungsinitiative UR:BAN¹ entwickelte Methodik zur räumlichen Hochrechnung verkehrlicher Wirkungen von kooperativen Systemen am Beispiel der entwickelten Anwendungen der F&E-Projekte KOLINE² und eCoMove³ Anwendung. Dazu werden zunächst die Funktionalitäten der verwendeten kooperativen Systeme aus verkehrlich-technischer Sicht skizziert. Anschließend wird die Methodik zur räumlichen Übertragung lokaler, mikroskopisch ermittelter verkehrlicher Wirkungen der Systeme erläutert. Dabei wird konkret auf die Ermittlung häufiger Netzelemente als Basis für die Hochrechnung eingegangen. Im weiteren Verlauf des Berichts wird das Konzept der Bewertung mittels Mikrosimulationen näher erläutert. Um weiterhin auch aus volkswirtschaftlicher Sicht Antworten geben zu können, wird die ökonomische Bewertung verkehrlicher Wirkungen mittels Kosten-Nutzen-Analyse vorgestellt. Abschließend erfolgt eine Hochrechnung der ermittelten Ergebnisse. Daraus gezogene Schlussfolgerungen sowie Ansätze für die zu führende Diskussion beinhaltet das abschließende Kapitel.

¹ Urbaner Raum – Benutzergerechnete Assistenzfunktionen und Netzmanagement

² Kooperative und optimierte Lichtsignalsteuerung in städtischen Netzen

³ Cooperative Mobility Systems and Services for Energy Efficiency

2. Kooperative Telematikanwendungen

Der Fokus in den Forschungsprojekten KOLINE, eCoMove und UR:BAN liegt auf infrastrukturbasierten kooperativen Systemen, welche in den Netzbereichen *Zufahrt*, *signalisierter Knotenpunkt* und *signalisierter Streckenzug* ihre Wirkungen entfalten. Nachfolgend wird daher ein kurzer Einblick in die Funktionsweise und intendierte Wirkung dieser Systeme gegeben.

2.1 Kommunikationstechnologie

Die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur stellt eine notwendige Voraussetzung für die Anwendungen dar, wird aber nicht isoliert bewertet. Fahrzeugseitig sind eine On-Board Unit (OBU) und straßenseitig ggf. Road Side Units (RSU) notwendig. Während einige Funktionen auf dem Datenaustausch zwischen einer Zentrale und den Fahrzeugen über das Mobilfunknetz beruhen und dementsprechend vorhandene Mobilgeräte als OBU dienen können, erfordern die nachfolgend vorgestellten Funktionen eine lokale Funkkommunikation. Diese wird in den meisten Fällen über WLAN nach Standard IEEE 802.11-2012 realisiert, in welchen der ehemalige Standard IEEE 802.11p integriert wurde. Die maximale Funkreichweite in urbanen Gebieten wird mit 500m angenommen. Dies hat Auswirkungen auf die notwendige Anzahl und Platzierung der RSUs und somit auf die Systemkosten.

2.2 LSA-Optimierung

Die Funktionsgruppe LSA-Optimierung in eCoMove nutzt die Fahrzeug→Infrastruktur-Kommunikation (V2I). Die zwei hier betrachteten Funktionen dieser Gruppe erzeugen Grüne Wellen in zuvor identifizierten Netzabschnitten⁴ und priorisieren Freigaben an einzelnen Kreuzungen gemäß situativ ermittelter Gewichte⁵. Beide Funktionen stützen sich auf ein zuvor erzeugtes makro-/ mesoskopisches Verkehrszustandsmodell⁶, welches u.a. auf empfangene Fahrzeugdaten (V2I) zurückgreift (eCoMove, 2013).

Für die Grünen Wellen werden Versatzzeit und Progressionsgeschwindigkeit optimiert unter der Annahme, dass der Fahrzeugpulk (auch: Platoon) mittels Infrastruktur→Fahrzeug-Kommunikation entsprechend beeinflusst werden kann (vgl. 2.3) (eCoMove, 2011). Optimierungskriterien sind sowohl die durch Kraftstoffverbrauch bedingten CO₂-Emissionen als auch die Verkehrseffizienz. Die gewichtete Priorisierung dagegen optimiert lediglich die CO₂-Emissionen, indem Fahrzeuge mit hohen Emissionen wie bspw. LKW möglichst nicht bremsen oder gar stoppen müssen. Dazu sind hochaktuelle individuelle Informationen per V2I zu übertragen (eCoMove, 2011).

⁴ Benennung in eCoMove: ecoGreen Wave

⁵ Benennung in eCoMove: ecoBalanced Priority

⁶ Benennung in eCoMove: ecoStrategic Model

In KOLINE erfolgte die modellbasierte Optimierung der Versatzzeit und Progressionsgeschwindigkeit ohne kooperative Daten. Diese Quelle ließe sich jedoch zukünftig im Algorithmus verarbeiten.

2.3 LSA-Assistenz

Die LSA-Assistenz⁷ - als allgemeine Bezeichnung hat sich inzwischen GLOSA⁸ etabliert - nutzt die Infrastruktur→Fahrzeug-Kommunikation (I2V). In Abhängigkeit der Umschaltzeitpunkte der nächsten Kreuzung sowie des Rückstaus wird die zulässige optimale Annäherungsgeschwindigkeit für jedes Fahrzeug bestimmt. Dies kann dezentral im Fahrzeug oder zentral erfolgen. Der Fahrer erhält die Information über ein Display. In KOLINE wurde daneben ein direkter Eingriff in die Längsregelung über die Adaptive Cruise Control (ACC) umgesetzt. Die Rückstauschätzung erfolgte in vereinfachter Form zu eCoMove (vgl. 2.2) durch Fusion einer Detektor-basierten Prädiktion mit empfangenen Fahrzeugdaten (V2I) (KOLINE, 2013). Diese Funktion soll u.a. die Anzahl an Stopps bzw. den damit verbundenen verbrauchs- und emissionsstarken Wiederanfahrten verringern sowie harmonisierte Geschwindigkeiten herbeiführen. Die Reisezeit bleibt i.A. unverändert.

3. Mikroskopische Verkehrssimulation der Telematikanwendungen

Für die Untersuchung wurden jeweils mehrere Szenarien definiert, welche durch ihre räumlichen, zeitlichen, regulatorischen, technologischen und Verhaltensparameter bestimmt sind. Unterschiedliche Szenarien entstehen, wenn die exogenen Parameterwerte verändert werden. In beiden Projekten wurden lediglich die technologischen Parameter verändert, indem

- den Fahrzeugflotten unterschiedliche Ausstattungsgrade mit OBUs zugewiesen wurden (KOLINE: 0; 5; 15; 25; 35%; eCoMove: 0; 10; 30; 100%),
- die LSA-Optimierung zum Einsatz kam, und
- mehrere Funktionen miteinander kombiniert wurden (KOLINE: LSA-Optimierung mit GLOSA, eCoMove: GLOSA mit Grüner Welle sowie GLOSA mit gewichteter Priorisierung).

Für die RSUs wurde eine Ausstattung von einem Stück pro Knotenpunkt festgelegt.

In KOLINE fanden insgesamt fünf Szenarien Eingang in die Nutzen-Kosten-Analyse, in eCoMove zwölf Szenarien (vgl. Tabelle 1). Die beiden Ist-Fälle stellen jeweils kein eigenständig bewertbares Szenario dar, sondern dienen zur Differenzbildung mit den Szenarien.

⁷ Benennung in eCoMove: ecoApproach Advice

⁸ Green Light Optimised Speed Advisory

Tabelle 1: Übersicht variiertes Szenarienparameter und KOLINE-Szenariennamen T1..T5

Funktion(en) \ Ausstattungsgrad [%]	0	5	10	15	25	30	35	100
LSA-Optimierung KOLINE + GLOSA	T1 ⁹	T2		T3	T4		T5	
LSA-Optimierung Priorisierung eCoMove			x			x		x
GLOSA eCoMove			x			x		x
LSA-Optimierung Priorisierung + GLOSA			x			x		x
LSA-Optimierung Grüne Welle + GLOSA			x			x		x

Die räumlich-zeitlichen Parameter beschreiben in KOLINE die Straßengestaltung sowie die Verkehrsnachfrage auf einem Braunschweiger Streckenzug des nordöstlichen Innenstadtrings mit drei signalisierten Knoten (vgl. Abbildung 1) im Zeitraum zwischen 6 Uhr und 22 Uhr eines durchschnittlichen Werktages. Neben dem PKW- und Güterverkehr wurden auch die Verkehrsmodi des Umweltverbundes – ÖPNV (Busse), Radfahrer und Fußgänger – modelliert, was bisher in vielen Studien teils oder gänzlich unterblieb. In eCoMove wurde ein Streckenzug parallel zum nordöstlichen mittleren Ring in München mit vier signalisierten Knotenpunkten im Zeitraum zwischen 6 Uhr und 12 Uhr eines durchschnittlichen Werktages untersucht. Dieser weist ähnliche Verkehrsverhältnisse zu Braunschweig auf (ohne Abbildung).

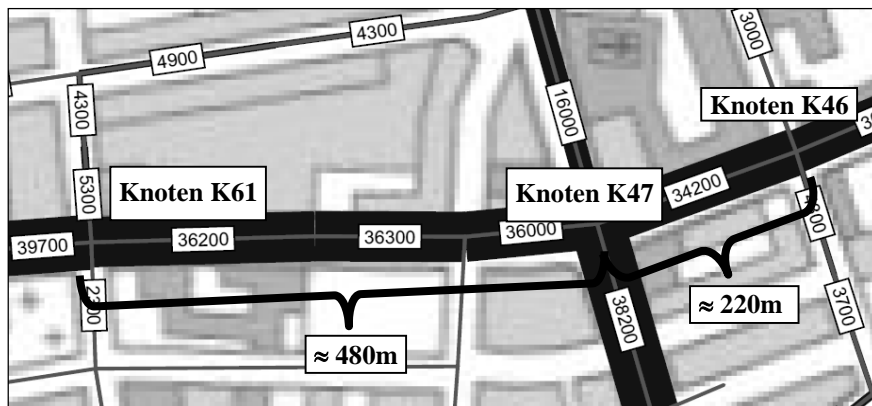


Abbildung 1: DTV-Werte des KOLINE-Testfeldes Braunschweig (Quelle: Stadt Braunschweig, 2009)

⁹ in diesem Fall kommt die GLOSA nicht zum Tragen

In KOLINE wurden pro Szenario 16 Simulationsläufe mit der Software AIMSUN NG 6.1.3 durchgeführt, in eCoMove pro Szenario zehn Läufe mit der Software VISSIM 5.40. Die Indikatorwerte lagen in zeitlich aggregierten Viertelstunden- bzw. Stundenintervallen vor, wobei jeweils die arithmetischen Mittelwerte über alle Simulationsläufe gebildet wurden. Die räumliche Aggregation erstreckte sich in KOLINE auf die einzelnen Knoten, während sie in eCoMove den Gesamttraum umfasste.

4. Simulationsergebnisse

Die Ergebnisse der Simulation für die ausgewählten Indikatoren Reisezeit und Kraftstoffverbrauch sind in den Abbildungen 3 und 4 für jede Zufahrt (Sec 325/343/346/4067) getrennt zwischen 6 und 22 Uhr am Testknotenpunkt K46 in Braunschweig (vgl. Abbildung 2) aufgetragen.

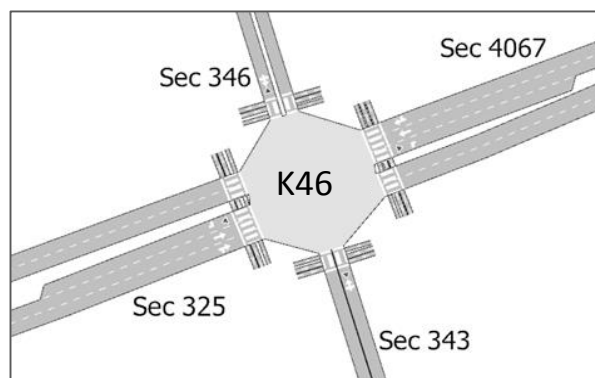


Abbildung 2: Detaildarstellung des Nebenknotens K46

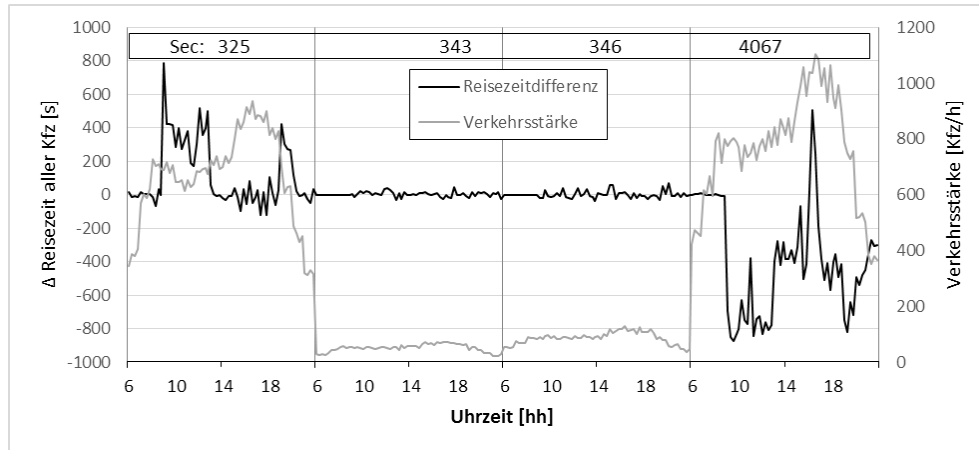


Abbildung 3: Reisezeitdifferenz und Verkehrsstärke – KOLINE T2/K46

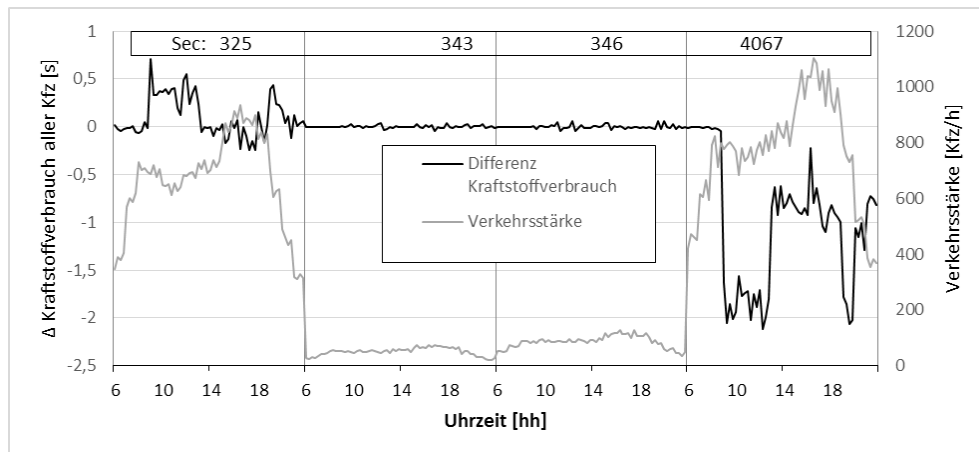


Abbildung 4: Differenz Kraftstoffverbrauch und Verkehrsstärke – KOLINE T2/K46

Aus den Abbildungen 3 und 4 wird ersichtlich, dass lediglich an der Zufahrt 4067 Reisezeit- und Kraftstoffersparnisse auftreten, während sich an den übrigen Zufahrten die Verhältnisse eher verschlechtern. Diese Effekte weisen in den beiden Hauptzufahrten 325 so-

wie 4067 jeweils einen – wenn auch gegensätzlichen – Zusammenhang mit dem Tagesgang der Verkehrsstärken auf.

5. Hochrechnung und ökonomische Bewertung von Wirkungen kooperativer Telematikanwendungen

Im nachfolgenden Kapitel wird zunächst eine Methodik zur Hochrechnung verkehrlicher Wirkungen beschrieben. Diese wird im weiteren Verlauf des Kapitels auf die Ergebnisse des Projektes KOLINE angewandt. Abschließend erfolgt die ökonomische Bewertung der hochgerechneten Ergebnisse in Form einer Kosten-Nutzen-Analyse.

5.1 Methodik zur Hochrechnung verkehrlicher Wirkungen kooperativer Telematikanwendungen

Zur Hochrechnung verkehrlicher Wirkungen von kooperativer Systemen wurde im Rahmen der Forschungsinitiative UR:BAN ein generischer Ansatz entwickelt, bei dem Netzelemente nach Merkmalsausprägungen kategorisiert und zu Typen gruppiert werden (Geßenhardt, Fakler, Schendzielorz und Busch, 2014). Im Rahmen des Projektes UR:BAN bilden diese Typen der verschiedenen Netzelemente (Zufahrt, signalisierter Knotenpunkt, signalisierter Streckenzug) die Basis für die mikroskopischen Verkehrssimulationen und die anschließende Wirkungsermittlung und Hochrechnung. Abbildung verdeutlicht die Methodik noch einmal grafisch.

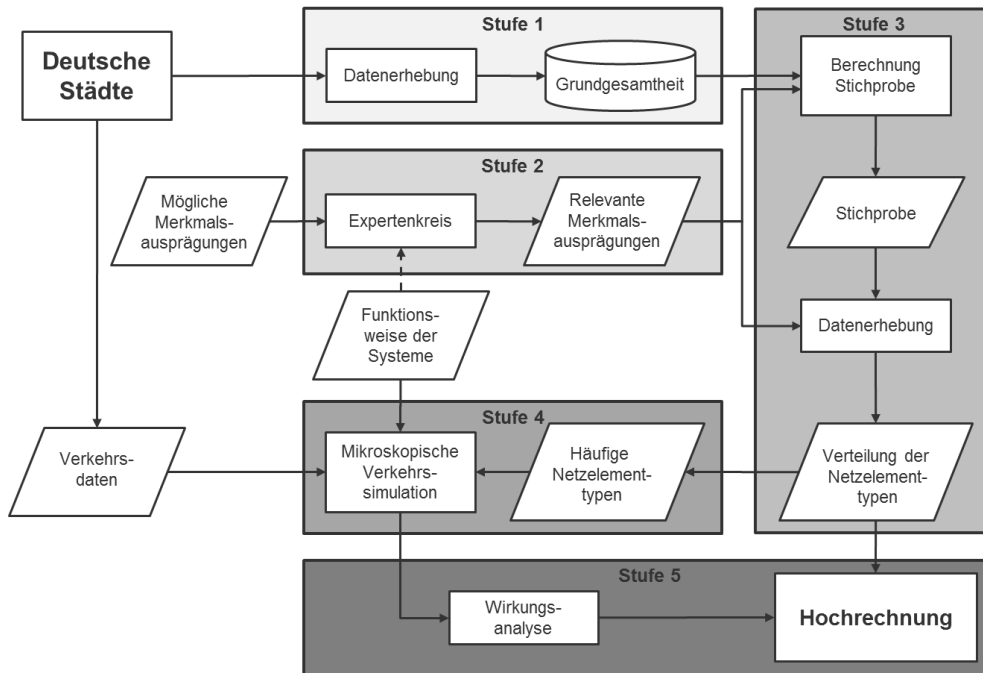


Abbildung 5: Hochrechnungsmethodik UR:BAN

Durch die entwickelte Methodik werden die in der mikroskopischen Verkehrssimulation ermittelten verkehrlichen Wirkungen der Telematikanwendungen auf ähnliche Bereiche derselben oder einer anderen Stadt übertragbar. Dadurch kann ein wichtiger Beitrag zur Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Einführung infrastrukturbasierter, kooperativer Fahrerassistenzsysteme geleistet werden.

5.1.1 Bestimmung von Netzelementtypen

Je nach Fokus der Anwendung müssen relevante Merkmalsausprägungen definiert werden, die einen Einfluss auf die Wirkung der kooperativen Systeme erwarten lassen. Aus diesem Grund ist es entscheidend, in diesem Schritt die Funktionsweise und Anwendungsgebiete der Systeme zu kennen. Die letztendlich entstehenden Netzelementtypen setzen sich aus Kombinationen der vorab definierten Merkmalsausprägungen zusammen. Für Knotenpunkte wurden unter anderem die folgenden Typen gemäß Abbildung definiert, welche sich nach der Anzahl der Fahrstreifen im Zulauf zum Knotenpunkt unterscheiden.

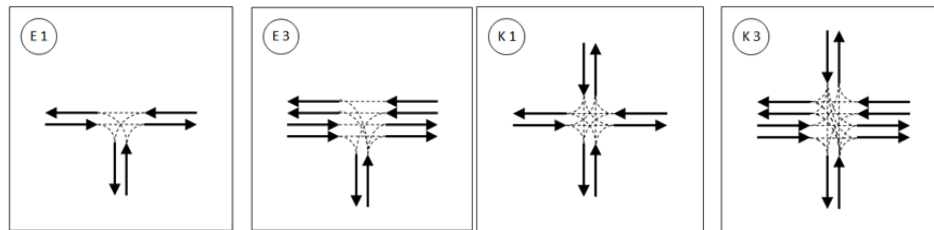


Abbildung 6: Beispiele für Typen des Netzelements signalisierter Knotenpunkt

Die Telematikanwendungen, welche im Zuge des Projektes UR:BAN entwickelt wurden, sind ähnlich zu denen der Projekte eCoMove und KOLINE. Auch in UR:BAN werden Ampelphasenassistenten unterschiedlicher Ausprägung entwickelt, welche hauptsächlich auf eine Effizienzsteigerung abzielen. Aus diesem Grund können die ermittelten Typen auch für die Hochrechnung der Ergebnisse aus den Projekten eCoMove und KOLINE heran gezogen werden.

5.1.2 Ermittlung der Häufigkeit der Netzelementtypen

Im Rahmen des Projektes UR:BAN wurden die häufigsten Typen der Netzelemente *Zufahrt*, *signalisierter Knotenpunkt* und *signalisierter Streckenzug* ermittelt. Dieses Ergebnis basiert auf der Untersuchung einer Stichprobe aus der Grundgesamtheit der jeweiligen Netzelemente der klassifizierten Straßennetze von allen deutschen Städten mit mehr als 50.000 Einwohnern.

Zur Bestimmung der Grundgesamtheit wurden Luftbilder von Google, Microsoft (BING) und der Vermessungsämter der einzelnen Bundesländer herangezogen. Zur Ermittlung des Stichprobenumfangs kam das folgende multinominale Modell zur Anwendung (Thompson, 1987):

$$n = \frac{z_i^2 (\pi_i (1-\pi_i))}{d_i^2} \quad [\text{eq. 1}]$$

mit

$$n = \frac{z_i^2 (\pi_i (1-\pi_i))}{d_i^2} \quad [\text{eq. 2}]$$

unter der Nebenbedingung

$$\sum \alpha_i \leq \alpha \quad [\text{eq. 3}]$$

n	Stichprobenumfang
i	Kategorie (Netzelementtyp)
z_i	Perzentil der Standardnormalverteilung der Kategorie i
π_i	Anteil an der Grundgesamtheit von Kategorie i
d_i	halbe Intervallbreite von Kategorie i

α	Signifikanzniveau
α_i	Signifikanzniveau von Kategorie i

Es wird ersichtlich, dass neben der Anzahl der Netzelementtypen ein vorab definiertes Signifikanzniveau α und die vorab definierte Halbintervallbreite d_i den Stichprobenumfang maßgebend beeinflussen. Für das Netzelement signalisierter Knotenpunkt konnten anhand dieser Vorgehensweise bei einem Stichprobenumfang von 4.582 signalisierten Knotenpunkten (Grundgesamtheit ca. 21.600) die folgenden Häufigkeiten (vgl. Abbildung 7) ermittelt werden.

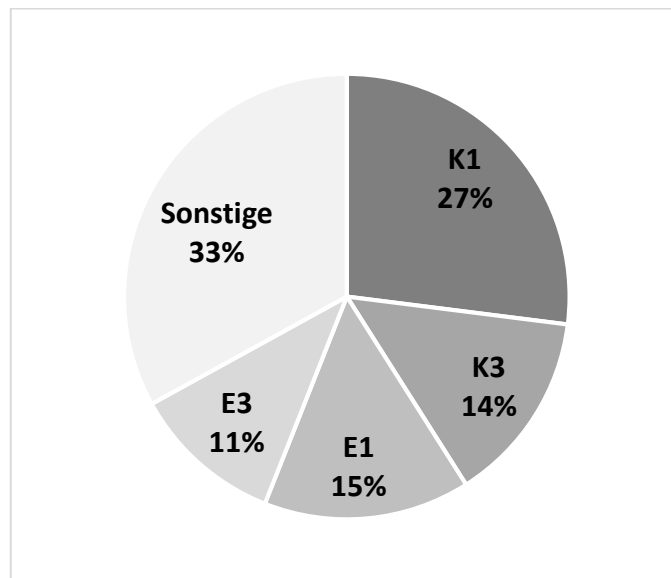


Abbildung 7: Häufigkeit des Netzelementtyps signalisierter Knotenpunkt

5.2 Hochrechnung der verkehrlichen Wirkungen am Beispiel des Projektes KOLINE

Anhand der berechneten Anteile der jeweiligen Netzelemente aus allen 187 Städten mit mehr als 50.000 Einwohnern können die ermittelten Wirkungen von Verkehrssimulationen bspw. aus KOLINE und eCoMove auf die Netzelemente, welche dem gleichen Typ zugeordnet werden können, extrapoliert werden.

Die folgende Hochrechnung wurde am Beispiel des Knotenpunkts K46 in Braunschweig durchgeführt, welcher gemäß den in vorherigen Kapiteln beschriebenen Netzelementtypen dem Knotenpunkttyp K3 zugeordnet werden kann. Die nachfolgenden Tabellen zeigen die

Hochrechnungsergebnisse der Reduktion der Reisezeit (Tabelle 2) und des Kraftstoffverbrauchs (Tabelle 3) aggregiert über die einzelnen Zufahrten des Knotenpunkts K46 in Braunschweig, welche durch die im Projekt KOLINE entwickelten Anwendungen LSA-Optimierung und LSA-Assistenz erzielt werden konnten.

Tabelle 2: Hochrechnung Reisezeit

Zufahrt	Reisezeitdifferenz [min] (6-22 Uhr aggregiert)				
	T1 (0%)	T2 (5%)	T3 (15%)	T4 (25%)	T5 (35%)
325	211,49	120,99	234,99	63,94	245,65
4067	-383,66	-422,19	-487,67	-121,7	-489,04
343	6,51	3,2	5,23	1,77	5,83
346	7,41	1,62	2,06	1,04	2,81
Summe	-158,25	-296,38	-245,39	-54,95	-234,75
Hochrechnung	-478.548	-896.253	-742.059	-166.169	-709.884
Hochrechnung [h]	-7.976	-14.938	-12.368	-2.769	-11.831

Tabelle 3: Hochrechnung Kraftstoffverbrauch

Zufahrt	Kraftstoffverbrauch [l] (6-22 Uhr aggregiert)				
	T1 (0%)	T2 (5%)	T3 (15%)	T4 (25%)	T5 (35%)
325	7,54	6,45	7,26	6,41	3,7
4067	-61,94	-64,77	-68,29	-68,15	-70,9
343	0,1	0,1	0,07	0,13	0,08
346	0,05	-0,03	-0,09	-0,01	-0,08
Summe	-54,25	-58,25	-61,05	-61,62	-67,2
Hochrechnung	-164.052	-176.148	-184.615	-186.339	-203.213

Aus den Tabellen 2 und 3 ist ersichtlich, dass durch den in KOLINE entwickelten LSA-Assistenten deutschlandweit pro Normalwerktag eine Einsparung an Reisezeit bis knapp 15.000 Stunden sowie eine Einsparung an Kraftstoff von teils über 200.000 Liter erreicht werden kann. Dieser Aussage liegt die Annahme zu Grunde, dass jeder Knotenpunkt in Deutschland mit dem gleichen Knotenpunkttyp (K3) ähnliche Verhältnisse hinsichtlich der Verkehrsnachfrage, der Lichtsignalsteuerung und weiterer verkehrsbeeinflussender Bedingungen aufweist. Auffallend ist, dass mit steigendem Ausstattungsgrad eine steigende Reduktion an Kraftstoff erzielt werden kann, wohingegen kein eindeutiger Trend hinsichtlich der Reisezeiteinsparung erkennbar ist (vgl. Abbildung 8).

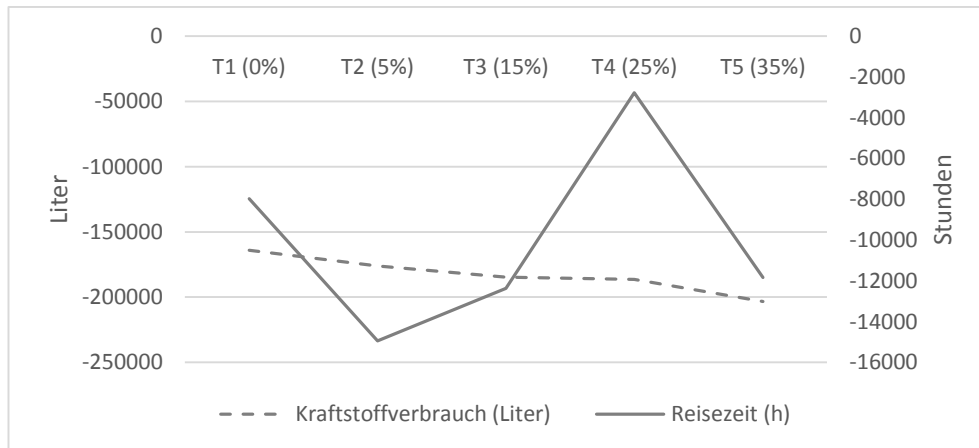


Abbildung 8: Deutschlandweit normalwerttägliche Einsparung Reisezeit, Kraftstoff

Natürlich sind diese Ergebnisse mit diversen Unsicherheiten behaftet. Trotzdem zeigen sie klar das Potential einer solchen Telematikanwendung auf. Anzumerken ist zudem, dass die im Rahmen des Projekts UR:BAN entwickelte Methode zur Hochrechnung verkehrlicher Wirkungen, bzw. mit Hilfe der ermittelten Netzelementtypen Hochrechnungen nicht nur knotenpunktfein, sondern auch zufahrtfein durchführt werden können, wodurch noch exaktere Aussagen möglich werden.

5.3 Ökonomische Bewertung

In den Projekten KOLINE und eCoMove wurde die Systematik des BVWP 2003 (BMVBW, 2003) mit den aktualisierten Kostensätzen aus dem Jahr 2009 (BMVBS, 2009) angewandt und im Bedarfsfall durch Bestandteile der EWS (FGSV, 1997) ergänzt. Die geschätzten Faktorkosten können der Tabelle 4 entnommen werden. Sie weichen teilweise von den in den Projektberichten (KOLINE, 2013 und eCoMove, 2014) genannten ab. Die in KOLINE für OBU veranschlagten 500€ Stückkosten sind inzwischen wesentlich gesunken.

Tabelle 4: Übersicht der veranschlagten Faktorkosten

Teilleistung	Nutzungszeitraum [a]	Annuitätenfaktor	Investkosten pro Stück [€]	Lfd. Kosten p.a. [€]	Σ p.a. [€]
RSU	20	0,067	10.000	400	1.072
Softwareversorgung	10	0,117	3.000	-	352
OBU	10	0,117	100	20	32

Unberücksichtigt blieben in beiden Projekten

- die Betriebskosten, welche sich durch die an bestehende Anlagen hinzugefügten Telematikkomponenten nicht wesentlich verändern,
- die Flächenverfügbarkeit in bebauten Gebieten (vgl. EWS), welche sich durch reine Telematikmaßnahmen ebenfalls nicht verändert,
- der Bestandteil Betriebsgrundkosten der Nutzenkomponente Fahrzeugbetriebskosten (NB2b), da keine Änderungen der Fahrleistung in den eng umgrenzten und alternativstreckenlosen Netzen auftreten,
- die Nutzenkomponenten Verkehrssicherheit (NS) sowie Lärmimmission (NU1), da diese aufgrund fehlender mikroskopischer Ermittlungsverfahren nicht berechnet werden konnten,

sowie nur in eCoMove die Verkehrsmodi des Umweltverbundes sowie die Schadstoffimmissionen wegen fehlender Eingangsdaten. Die Schadstoffemissionen in eCoMove entstammen dem niederländischen EnViVer-Modul, welches jedoch auf mit Bayern fast identischen Fahrzeugflotten und Faktoren beruht.

Ein großes Problem stellte zunächst die zeitliche Skalierung der Simulationsergebnisse dar. Das Spektrum der während eines Jahres auftretenden Tagesverkehrsstärken – unterteilt nach Normalwerktag, Urlaubswerktag sowie Sonn- und Feiertag – als auch der 24 unterschiedlichen Stundenwerte eines Tages wird durch die wenigen simulierten Zeitscheiben nur in geringem Umfang im Mittelfeld abgedeckt (KOLINE: 37%, eCoMove: 14%). Detaillierte Analysen in KOLINE ergaben jedoch, dass die spezifischen Verlustzeiten, Kraftstoffverbräuche und damit Emissionen je Fahrzeug nahezu unabhängig von der Verkehrsmenge und damit dem Sättigungsgrad des Straßenabschnittes sind. Dies erlaubte den Ansatz der linearen Extrapolation in den Minimum- und Maximumbereich hinein. In eCoMove wurde dieser Ansatz wegen der zu kleinen Spektrumsabdeckung nicht verfolgt. Hier wurden lediglich wegen der optisch erkennbaren Analogie zwischen Vormittag und Nachmittag eines Normalwerktags die Simulationsergebnisse doppelt gezählt und auf 201 Normalwerktag p.a. hochgerechnet

In Abbildung ist zunächst der in KOLINE berechnete volkswirtschaftliche Nutzen je Szenario und Knoten abgebildet. Es fällt auf, dass der Hauptknoten K47 negative Effekte hervorrufen kann. Diese kompensieren teilweise die Nutzenverbesserungen an den Nebenknoten, welche am Nebenknoten K61 fast unverändert um die 28.000 €-Marke schwanken, während sie am K46 einen nahezu kontinuierlichen Anstieg mit fortschreitendem Ausstattungsgrad aufweisen. Der Nutzenrückgang von T3 (15%) zu T4 (25%) konnte nicht erklärt wer-

den. Für eCoMove sind nach Knotenpunkten getrennte Berechnungen wegen der aggregierten Eingangswerte nicht möglich gewesen.

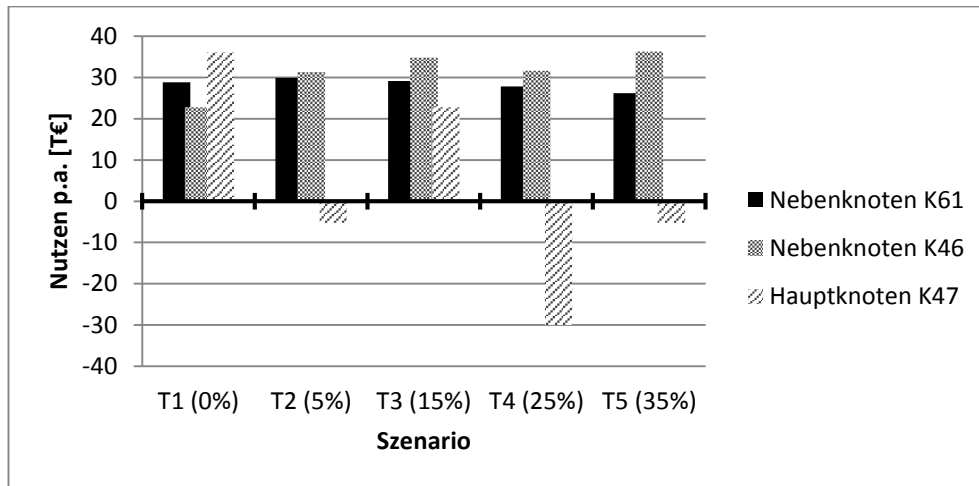


Abbildung 9: Knoten bezogener volkswirtschaftlicher Nutzen (Braunschweig)

In Vorwegnahme einer Interpretation der negativen Effekte am Hauptknoten K47 erschien es sinnvoll, nur noch die unabhängig vom Ausstattungsgrad positiven Nutzen generierenden Nebenknoten K61 und K46 in die weiteren Berechnungen einzubeziehen. Weiterhin wurden die KOLINE-Resultate extrapoliert (u.a. Nutzenverdoppelung), um eine Vergleichbarkeit mit den auf vier Knotenpunkten beruhenden eCoMove-Ergebnissen zu ermöglichen.

In Abbildung sind die Nutzen-Kosten-Verhältnisse aller eCoMove- und KOLINE-Szenarien aufgetragen und für die beste sowie schlechteste Anwendung bzw. Kombination ausgewiesen. Der hohe NKV-Wert von 73,4 bei 0% Ausstattung (KOLINE) resultiert aus den geringen Kosten, die nur infrastrukturseitig auftreten (keine OBU), ist aus Skalierungsgründen nur angedeutet. Die Grüne Welle mit GLOSA (eCoMove) unterschreitet im Ausstattungsbereich von 100% den NKV von 1,0. Dieser stellt die Grenze dar, oberhalb derer ein Projekt volkswirtschaftlich sinnvoll ist. Ein Vergleich mit den KOLINE-Ergebnissen zeigt, dass diese in etwa denen der Grünen Welle mit GLOSA in eCoMove entsprechen. Dies ist eine gute Bestätigung, da sich der jeweilige Funktionsumfang stark ähnelt.

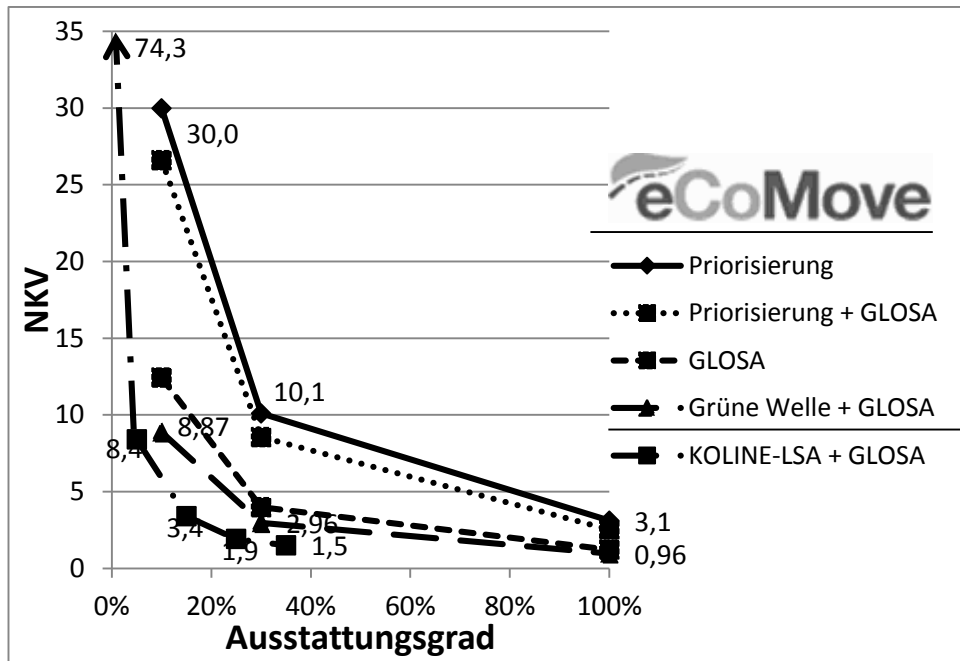


Abbildung 10: Nutzen-Kosten-Verhältnisse aller eCoMove- und KOLINE-Szenarien

6. Schlussfolgerungen und Diskussion

Die Untersuchungen in beiden Projekten haben gezeigt, dass mit vergleichsweise kostengünstigen Verkehrstelematiklösungen volkswirtschaftliche Vorteile erzielbar sind, wenn bestimmte Rahmenbedingungen eingehalten werden. Dazu gehört, dass manche Anwendungen offenbar nur an bestimmten Knotenpunkten zum Einsatz kommen sollten.

Ein Erklärungsansatz für die teilweise negativen Effekte der KOLINE-Funktion LSA-Assistenz ist die unterschiedliche Komplexität der Knotenpunkte und Zufahrten. So werden die verschiedenen Verkehrsströme im zentralen Knotenpunkt jeweils auf separate Richtungsfahrbahnen mit separater Signalisierung aufgeteilt. Dadurch haben die verschiedenen Fahrzeuge je nach Richtungswunsch unterschiedliche Freigabezeitpunkte und -dauern. Die bei den beiden äußeren Knotenpunkten auftretende Harmonisierung des Verkehrs ist nicht möglich. Fahrzeuge mit unterschiedlichen Richtungswünschen wählen unterschiedliche Geschwindigkeiten für die Annäherung an den Knotenpunkt. Da sich aber zunächst alle Fahrzeuge gemeinsam auf den Fahrbahnen der durchgehenden Richtungsfahrbahn bewegen, ist es möglich, dass sich Fahrzeuge gegenseitig ausbremsen oder blockieren. In der Simulation wurde versucht dieses negative Verhalten durch die Funktions-Aktivierung

ausschließlich im Nahbereich des Knotenpunkts einzugrenzen. Die gewünschte Wirkung des Systems wird so wiederum deutlich geschmälert oder ganz aufgehoben (KOLINE, 2013).

Für zukünftige Untersuchungen sind außerdem eine Reihe methodischer Probleme zu lösen, welche teilweise schon im Abschnitt 5.3 angesprochen wurden. Beispielsweise steht der notwendigen simulativen Abdeckung des Verkehrsstärkespektrums oftmals ein hoher Bearbeitungsaufwand entgegen. Die Bewertung kooperativer Systeme mit vielen nomadischen Endgeräten bedarf weiterhin einer genauen räumlichen Abgrenzung. Es sollte ebenfalls in Betracht gezogen werden, dass Kriterium „Reisezeitverlässlichkeit“ in die Betrachtungen aufzunehmen wie bspw. im neuen BVWP 2015 geschehen wird.

Weiterhin erscheint der statische Ansatz, jeweils einen konkreten Ausstattungsgrad über den Bewertungszeitraum von 20 Jahren anzunehmen, realitätsfern. Als Dynamisierung sind eher Szenarien verschiedener Ausstattungsgraden zu entwerfen, welche dann die Effekte der einzelnen Ausstattungsgrade unterschiedlich gewichtet kombinieren.

Förderung

Das Projekt KOLINE wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im 3. Verkehrsforschungsprogramm gefördert. Das Projekt eCoMove wurde durch die Europäische Kommission im 7. Forschungsrahmenprogramm gefördert. Die Arbeiten zur NKA wurden zusammen mit TNO (NL) durchgeführt. Die Methodik zur Übertragbarkeit verkehrlicher Wirkungen entstand im Rahmen der deutschen Forschungsinitiative UR:BAN (<http://urban-online.org/de/urban.html>), ebenfalls vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im 3. Verkehrsforschungsprogramm gefördert.

Quellen

AMITRAN (2013), *Requirements and design of the methodology, Deliverable 4.1*, April 2013, <http://www.amitran.eu/assets/Publications/Deliverables/D4-1-Requirements-and-design-of-the-methodologydraft-versionWEBSITE.pdf>.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2013), *Haushaltsgrundsätze-gesetz*, aktuelle Fassung, <http://www.gesetze-im-internet.de/hgrg/index.html>.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung BMVBS (2012), *IVS-Aktionsplan 'Straße' - Koordinierte Weiterentwicklung bestehender und beschleunigte Einführung neuer Intelligenter Verkehrssysteme in Deutschland bis 2020*, Kap. 3.2, <http://www.bmvi.de/cae/servlet/contentblob/102800/publicationFile/70307/ivs-aktionsplan-strasse-broschuere.pdf>.

- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung BMVBS (Auftraggeber) (2009), *Aktualisierung von Bewertungsansätzen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen in der Bundesverkehrswegeplanung*, Schlussbericht, Essen, Freiburg, München.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen BMVBW (Hrsg.), *Bundesverkehrswegeplan 2003, Grundlagen für die Zukunft der Mobilität in Deutschland*, Beschluss der Bundesregierung vom 2. Juli 2003, <http://www.bmvi.de//SharedDocs/DE/Artikel/UI/bundesverkehrswegeplan-2003-die-gesamtwirtschaftliche-bewertungsmethodik.html>.
- Car 2 Car Communication Konsortium (2012), *European vehicle manufacturers working hand in hand on deployment of cooperative Intelligent Transport Systems and Services (C-ITS)*, Pressemeldung, <http://www.car-to-car.org/index.php?id=20>.
- eCoMove Konsortium (2011), *Architecture and System Specification, Public Deliverable 5.2*, <http://ecomove-project.eu/publications/deliverables>.
- eCoMove Konsortium (2013), *ecoStrategic Model, Public Deliverable 2.10*, <http://ecomove-project.eu/publications/deliverables>.
- eCoMove Konsortium (2014), *Cost-benefit analysis, integration of evaluation results and eCoMove implementation road map, Public Deliverable 6.5*, <http://ecomove-project.eu/publications/deliverables> (nach Freigabe).
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (1997), *Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Straßen (EWS)*, Köln, FGSV Verlag GmbH.
- Geßenhardt, J., Fakler, O., Schendzielorz, T. und Busch F. (2014), *Scaling up of ADAS' Traffic Impacts to German Cities*, 10th ITS European Congress.
- KOLINE Konsortium (2013), *Kooperative und optimierte Lichtsignalsteuerung in städtischen Netzen, Schlussbericht zum Forschungsprojekt*, <https://getinfo.de/app/download?id=TIBKAT%3a771582420>.
- Sicherere Intelligente Mobilität Testfeld Deutschland - simTD (2013), *Verkehrssimulation – Allgemeines*, Working Dokument W43.3, S. 9.
- Stadt Braunschweig (2009): *Verkehrsmengen im Werktagsverkehr Mo – Fr in [Kfz/24h] – Querschnittswerte, Analysefall 2007*, http://www.braunschweig.de/leben/stadtplan_verkehr/verkehrsplanung/verkehrsmengen-city.pdf.

Thompson, S. (1987): Sample Size for Estimating Multinomial Proportions, *The American Statistician*, Vol.41, No 1, S.42-46.

Alle Internetseiten zuletzt abgerufen am 31.01.2014.