

ÜBUNGSPROJEKT

METHODEN DER VERKEHRSPLANUNG

Auswirkungen des Road Pricing auf den Güterverkehr der Ostregion

erstellt von

Reinhard Haller
97 31071, E600
Schenkendorfgasse 16/10, 1210 Wien

Betreuer:

Dr. Günter Emberger
Technische Universität Wien
Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik

Wien im Jänner 2005

Inhaltsverzeichnis

1	GRUNDLAGEN ZUM GÜTERVERKEHR.....	3
1.1	Grundlegende Definitionen und Begriffe	3
1.1.1	Unterschiede zum Personenverkehr.....	3
1.1.2	Kennzahlen für den Güterverkehr	4
1.1.3	Einteilung der Güterverkehrssysteme.....	5
1.2	Trends und Tendenzen im Bereich der Güterverkehrsnachfrage	5
1.3	Güterverkehrsmodelle	6
1.3.1	Grundlegende Unterscheidungen.....	6
1.3.2	Verkehrserzeugung	7
1.3.3	Verkehrsverteilung.....	8
1.3.4	Verkehrsaufteilung	8
2	AUFGABENSTELLUNG UND METHODIK.....	10
2.1	Untersuchungsgebiet und räumliche Abgrenzung	10
2.2	Untersuchte Maßnahme: Road Pricing	11
2.3	Modellansätze	11
2.3.1	Ansatz Elastizitäten.....	12
2.3.2	Verkehrsmodell	12
3	AUFBEREITUNG DER DATEN UND BERECHNUNGEN	13
3.1	Datengrundlagen	13
3.1.1	Güterverkehrsaufkommen und -verflechtungsmatrizen	13
3.1.2	Transportkosten	14
3.1.3	Transportdistanzen.....	14
3.2	Güterverkehrsmodell für die Ostregion	15
3.2.1	Verkehrserzeugung	15
3.2.2	Verkehrsverteilung und -aufteilung	17
3.2.3	Kalibrierung des Modells	19
3.2.4	Beurteilung der Modellgüte	21
3.3	Modellierung der Maßnahmen.....	21
3.3.1	Berechnung der Mautkosten.....	21
3.3.2	Ansatz Elastizitäten.....	22
3.3.3	Verkehrsmodell	23

4	ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	25
4.1	Quantitative Ergebnisse.....	25
4.1.1	Verkehrsmodell	25
4.1.2	Elastizitätsansatz	26
4.1.3	Vergleich der Ergebnisse von Elastizitätsansatz und Verkehrsmodell	26
4.1.4	Schlussfolgerungen	27
4.2	Beurteilung und Vergleich der Methoden.....	28
4.2.1	Vor- und Nachteile der Ansätze	28
4.2.2	Vertiefende Analyse der quantitativen Ergebnisse	28
4.2.3	Schlussfolgerungen	30
	QUELLEN- UND LITERATURVERZEICHNIS	31
	VERZEICHNIS DER TABELLEN UND ABBILDUNGEN	31
	VERZEICHNIS DER ANHÄNGE.....	33

Kapitel 1

Grundlagen zum Güterverkehr

1.1 Grundlegende Definitionen und Begriffe

„Güterverkehr ist die Beförderung von Gegenständen zwischen räumlich verteilten Produktions- und Konsumorten.“ (Chlond 2002, S. 1)

Zum Güterverkehr gehört sowohl die zwischenbetriebliche Beförderung als auch die Versorgungstransporte für den Endverbraucher. Er ist nötig für die Erstellung und Verfügbarkeit von Gütern und hat somit die Eigenschaften eines Produktionsfaktors: durch den Transport an den Weiterverarbeitungs- oder Verbrauchsort werden die Güter in eine höhere Wertigkeitsstufe gebracht.

1.1.1 Unterschiede zum Personenverkehr

Der wesentliche Ursache für Unterschiede zwischen dem Güter- und dem Personenverkehr ist die wesentlich größere Heterogenität der Beförderungsobjekte, ihrer Eigenschaften und Anforderungen. Tabelle 1.1 stellt weitere wesentliche Unterscheidungskriterien dar.

Tabelle 1.1 Unterschiede zwischen Güter- und Personenverkehr

	Güterverkehr	Personenverkehr
Homogenität	Unterscheidung nach... <ul style="list-style-type: none">▪ Art▪ Menge▪ Größe▪ Volumen▪ Zustand▪ Wert(-dichte)	<ul style="list-style-type: none">▪ weitgehend homogene Beförderungsobjekte
Komplexität	<ul style="list-style-type: none">▪ nach Güterart unterschiedlich:<ul style="list-style-type: none">- Entfernungsverteilungen- Modalwahl- Transportgefäße▪ Nachfrage konzentriert, in Abhängigkeit von Wirtschaftsstruktur▪ unsymmetrische Ström	<ul style="list-style-type: none">▪ ähnliches Verkehrsverhalten (Aktivitäten- und Wegeketten, Modalwahl bei vergleichbaren situativen Kontexten)▪ Nachfrage quasi-ubiquitär▪ symmetrische Ströme
Berechenbarkeit	<ul style="list-style-type: none">▪ rationale Entscheidungen	<ul style="list-style-type: none">▪ oft „irracionales“ Verhalten (z.B. Modalwahl)
Speicherbarkeit	<ul style="list-style-type: none">▪ Tw. gegeben (Lagerhaltung)	<ul style="list-style-type: none">▪ Nicht gegeben

Quelle: Chlond (2002)

Eine Folge der höheren Komplexität des Güterverkehrs im Vergleich zum Personenverkehr ist, dass die Betrachtungen immer nach Güterarten, -gruppen, oder -abteilungen unterschieden werden müssen.

1.1.2 Kennzahlen für den Güterverkehr

Als Kennzahlen haben im Güterverkehr die folgenden beiden Größen die größte Bedeutung:

- Güterverkehrsaufkommen
- Güterverkehrsleistung oder -aufwand

Das Güterverkehrsaufkommen ist definiert als

$$\text{Güterverkehrsaufkommen [t/a]} = \frac{\text{beförderte Tonnen [t]}}{\text{Zeiteinheit [a]}}$$

Problematisch an der Größe Güterverkehrsaufkommen sind v.a. die folgenden Punkte:

- Die fehlende Vergleichbarkeit unterschiedlicher Güter:
Beispielsweise entsprechen 20 t Styropor 10 Lkw-Ladungen während 20 t Baustoffe nur 1 Lkw-Ladung ausmachen.
- Bei gebrochenen Transportketten kommt es zu Mehrfachzählungen:
Ein Transport von 10 t Gütern mit dem Lkw entspricht einem Güterverkehrsaufkommen von 10t; werden die 10 t zuerst mit der Bahn und dann mit dem Lkw transportiert, ergibt sich ein Güterverkehrsaufkommen von 20 t.

Bei der Güterverkehrsleistung werden auch die Transportdistanzen in die Überlegungen mit einbezogen:

$$\text{Güterverkehrsleistung [t} \cdot \text{km/a]} = \frac{\text{beförderte Tonnen [t]} \cdot \text{Entfernung [km]}}{\text{Zeiteinheit [a]}}$$

Für die Güterverkehrsleistung zur Messung des Güterverkehrs sprechen:

- Es treten keine Mehrfachzählungen bei gebrochenen Transportketten auf.
- Die Entfernungen außerhalb des Staatsgebietes werde nicht eingezogen; daraus folgt, dass die Güterverkehrsbelastung ein geeignetes Maß für die Belastung eines Gebietes durch den Verkehr darstellt.
- Das Güterverkehrsaufkommen bildet weiters die Basis für die Berechnung weiterer Größen:
 - Transportkosten, Transporterlöse
 - Auslastungsgrade
 - die wichtige Kenngröße „Fahrzeugkilometer“

1.1.3 Einteilung der Güterverkehrssysteme

Güterverkehrssysteme werden vor allem hinsichtlich modaler und organisatorischer bzw. ordnungspolitischer Kriterien in folgende Kategorien eingeordnet:

Modale Gesichtspunkte

- Straßenverkehr
- Eisenbahn
- Binnenschifffahrt
- Kombinationen (kombinierter/intermodaler Verkehr)

Organisatorische bzw. ordnungspolitische Gesichtspunkte

- Nahverkehr – Fernverkehr (ab 70 km im Straßengüterverkehr)
- Gewerblicher Güterverkehr – Werksfernverkehr (Straßengüterverkehr)
- Kabotage = innerstaatliche Transporte eines ausländischen Verkehrsunternehmens im Inland

1.2 Trends und Tendenzen im Bereich der Güterverkehrsnachfrage

Die in den letzten Jahren und Jahrzehnten zu beobachtenden Entwicklungen der Güterverkehrsnachfrage werden aus theoretischer Sicht unter anderem anhand folgender Effekte erklärt:

- Substitutionseffekt:
Substitution von Verkehrsleistungen mit öffentlichen, kollektiven Verkehrsmitteln durch solche mit individuellen Verkehrsmitteln
- Güterstruktureffekt:
Dieser spiegelt die Veränderung der Struktur der beförderten Güter wieder. Es zeigt sich eine eindeutige Tendenz zu kleineren Transportmengen je Fahrt. Die Folge davon ist die Beschleunigung des Substitutionseffektes und eine Verschlechterung der durchschnittlichen Auslastungsgrade.
- Gütermengeneffekt:
Das Wirtschaftswachstum der europäischen Staaten wird in letzter Zeit im wesentlichen von der Expansion des tertiären Sektors getragen; die wirtschaftliche Aktivität in diesem Sektor ist an sich mit wenig physischen Transporten verbunden. Daraus sollte sich eine Transportelastizität des BIP von kleiner als 1 ergeben (Stichwort „Entkoppelung von BIP und Güterverkehrsaufkommen“). Ab einem bestimmten Ausmaß der Entwicklung wirkt hier aber mit zunehmender Arbeitsteiligkeit der Logistikeffekt entgegen.

- Logistikeffekt:

Die Ursache für diesen Effekt ist die Verringerung der Fertigungstiefe:

$$\text{Fertigungstiefe} = \frac{\text{Produktionswert} - \text{Vorleistungen}}{\text{Produktionswert}} = \frac{\text{Bruttowertschöpfung}}{\text{Produktionswert}}$$

Für ein gegebenes Produkt steigt daher die Zahl der Produktionsstandorte und damit die Güterverkehrsaufkommen und –leistungen.

- Integrationseffekt:

Der Integrationseffekt hat seine Ursache in der wirtschaftlichen Entwicklung, die zu einer Sättigung der Heimmärkte führt. Mit dem Ziel, neue Absatz- und Beschaffungsmärkte zu erschließen, wird daher der Außenhandel intensiviert. Dies führt dazu, dass im Rahmen von internationalen Transporten immer mehr gleichartige Güter ausgetauscht werden; der Anteil der im Rahmen des Handels ausgetauschten komplementären Güter geht zurück.

1.3 Güterverkehrsmodelle

1.3.1 Grundlegende Unterscheidungen

Verkehrsmodelle sind eine Abbildung der Realität mittels Abstraktionen. Dabei ist zu beachten, dass fundierte Modelle auf kausalen, theoretisch begründbaren Zusammenhängen basieren sollten, und nicht eine bloße Trendfortschreibung darstellen sollen. Andererseits ist die Modelldetaillierung im richtigen Verhältnis zur Aussagegenauigkeit zu wählen.

Der Zweck von Güterverkehrsprognosen besteht unter anderem in:

- Der Planung der Verkehrsinfrastruktur
- Der Bestimmung der Auswirkungen von bestimmten Maßnahmen und regulativen Eingriffen (wie Road Pricing, Fahrverbote etc.)
- Güterverkehrsprognosen sind die Grundlage für wirtschafts- und strukturpolitische Entscheidungen.

Man unterscheidet dabei in:

- Langfristige Prognosen:
Diese dienen als Referenzprognosen mit bestimmter Annahmen hinsichtlich der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen (Demografie, sozio-ökonomische Rahmenbedingungen, Güterstruktur, Eintreffen bestimmter Entwicklungen).
- Maßnahmenprognosen:
Diese modellieren die Auswirkungen von konkreten Maßnahmen im Bereich des Güterverkehrs; sie beziehen sich unter Umständen auf gewisse Szenarien der Langfristprognosen als Referenz.

Eine weiterer Aspekt ist die Unterscheidung in Makro- und Mikromodellierung. Bei der Makromodellierung sind aggregierte Größen der Untersuchungsgegenstand, die anhand von statistischen Verfahren behandelt werden. Bei der Mikromodellierung bilden einzelne Transportaufträge die Untersuchungseinheit; es wird das Verhalten der Entscheidungsträger im situativen Kontext modelliert.

Der Stand der Technik ist heute die Makromodellierung; dies ist vor allem auf die Probleme der Verfügbarkeit von Daten für die Mikromodelle zurück zu führen. Im Bereich der Markomodellierung ist im Güterverkehr der aus dem Personenverkehr stammende 4-stufige Modellaufbau gebräuchlich:

- Verkehrserzeugung und „attraction“
- Verkehrsverteilung (Zielwahl)
- Verkehrsaufteilung (Modal Split)
- Verkehrsumlegung (Routenwahl)

Dazu kommen noch folgende spezielle Umrechnungsmodule für den Güterverkehr:

- Umrechnung monetärer Größen [EUR] in Mengengrößen [t] (v.a. bei der Erzeugung)
- Umrechnung von Güterverkehrsleistungen [t-km] in Fahrleistungen [Fahrzeug-km]

Ein Kritikpunkt an dem genannten Modellaufbau ist die fehlende Berücksichtigung von Rückwirkungen, wenn die Stufen streng getrennt voneinander, hintereinander berechnet werden. Bereits im Rahmen eines Verkehrsmodells ist es möglich, diesen Einwand zu entkräften, indem 2 oder mehr Stufen gleichzeitig berechnet werden. Häufig werden die Ziel- und die Verkehrsmittelwahl gemeinsam untersucht; dies spiegelt die tatsächlichen Entscheidungssituation der Versender wider.

Darüber hinaus sind die Rückwirkungen von Veränderungen im Verkehrssystem auf die Siedlungs- und Wirtschaftsstrukturen zu berücksichtigen. Diese sind aber modellhaft oft sehr schwierig abzubilden, vor allem da es sich dabei um teilweise sehr langfristige Anpassungsprozesse handelt.

1.3.2 Verkehrserzeugung

Für die Verkehrserzeugung werden in der Praxis unter anderem folgende Modelle angewandt:

- Zeitreihenmodelle:
 - Extrapolation historischer Trends, unterschiedliche Komplexität
 - Beispiele: Steigerungsfaktoren-Modelle (einfach), autokorrelierte Gleitdurchschnitt-Modelle (komplex)
- Kennwertmodelle (zonal trip rates models):
 - Grundlage sind spezifische Verkehrsaufkommen für bestimmte Bezugsgrößen
 - diese liegen als Erfahrungswerte oder aus Querschnittsanalysen vor

- Systemdynamische Modelle (system dynamics models):
 - Modellierung der Rückwirkungen mit Wirtschaft, Raumnutzung und Umwelt
 - Aus der Literatur entnommene Parameter werden als Startwerte verwendet und nach Beobachtung der Systemdynamik angepasst. Problematisch daran ist, dass keine statistischen Tests der Parameter durchgeführt werden können.

1.3.3 Verkehrsverteilung

Bei der Verkehrsverteilung werden hauptsächlich folgende Ansätze gewählt:

- Zufallsmodell:
Wenn die Transportkosten keine Rolle spielen, sondern nur Güterangebot und -nachfrage (wie im Fall von hochwertigen Gütern wie Maschinen, Fertigprodukten etc.) stellt das Zufallsmodell eine adäquate Modellierung der Verkehrsverteilung dar. Die Verkehrsströme v_{ij} berechnen sich zu

$$v_{ij} = \frac{Q_i \cdot Z_j}{V}$$

mit Q_i Quellverkehrsaufkommen
 Z_j Zielverkehrsaufkommen
 V Gesamtverkehrsaufkommen

- Gravitationsmodell:
Das Gravitationsmodell stellt eine Analogie zum Gravitationsgesetz in der Physik dar. In verallgemeinerter Form stellt sich die Berechnung der Verkehrsströme v_{ij} folgendermaßen dar:

$$v_{ij} = F(W) \cdot f_{q_i} \cdot f_{z_j}$$

mit $F(W)$ Widerstandsfunktion
 f_{q_i}, f_{z_j} Faktoren zur Erfüllung der Randsummenbedingungen

Die Widerstandsfunktion $F(W)$ kann zum Beispiel die Form

$$F(W) = \frac{1}{W^\alpha}$$

annehmen; für $\alpha = 2$ ergibt sich eine vollständige Analogie mit dem Gravitationsgesetz.

1.3.4 Verkehrsaufteilung

Die Berechnung der Verkehrsaufteilung erfolgt unter anderem anhand der folgenden Ansätze:

- Elastizitäten:
Die Elastizität einer Variablen y bezüglich einer Variablen x gibt an, wie stark y auf eine 1%-ige Veränderung von x reagiert. Sie ist definiert als

$$E(y, x) = \frac{\frac{dy}{dx}}{\frac{y}{x}} = \frac{dy}{dx} \cdot \frac{x}{y}$$

Häufig wird die Preiselastizität der Nachfrage nach einem bestimmten Gut angegeben. Dieses drückt aus, wie die Nachfrage auf eine 1%-ige Veränderung des Preise reagiert. Dabei unterscheidet man

- einfache Elastizitäten: Zusammenhang zwischen dem Preis und der Nachfrage nach diesem Gutes
- Kreuzelastizitäten: Zusammenhang zwischen dem Preis der Nachfrage eines Gutes und dem Preis eines substitutiven Gutes (z.B. Straßen- und Schienengüterverkehr)

- Modelle:

Mit einer Analogie zum Kirchoff'schen Gesetz ermittelt sich der Modal Split eines Verkehrsträgers zu

$$MS_i = \frac{B(W)_i}{\sum_i B(W)_i}$$

Ein komplexeres Modell ist etwa das Logit-Modell; in diesem berechnet sich die Auswahlwahrscheinlichkeit P eines Verkehrsmittels k zu

$$P(k) = \frac{\exp(\beta \cdot u_k)}{\sum_t \exp(\beta \cdot u_t)}$$

mit u_k Nutzen des Verkehrsmittels k

Der wesentliche Unterschied zum Kirchoff-Modell ist, dass im Logit-Modell explizit Nutzenfunktionen definiert und mit empirisch ermittelten Werte aufgefüllt werden müssen.

Kapitel 2

Aufgabenstellung und Methodik

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung waren die folgenden beiden Fragestellungen zu bearbeiten:

- Untersuchung der Auswirkungen einer konkreten Maßnahme im Güterverkehr
- Quantitativer und methodischer Vergleich verschiedener Ansätze zur Untersuchung der Auswirkungen

2.1 Untersuchungsgebiet und räumliche Abgrenzung

Das Untersuchungsgebiet ist die Ostregion Österreichs, bestehend aus den Bundesländer Burgenland, Niederösterreich und Wien, erweitert um die grenznahen Regionen der Nachbarländer Tschechien, Slowakei und Ungarn.

Tabelle 2.1 Die Einteilung des Untersuchungsgebietes in Verkehrsbezirke

Österreich	Code	Nachbarländer	Code
Mittelburgenland	AT111	TSCHECHIEN:	
Nordburgenland	AT112	Jihomoravsky kraj	CZ062
Südburgenland	AT113	SLOWAKEI:	
Mostviertel-Eisenw.	AT121	Bratislavsky kraj	SK010
NÖ-Süd	AT122	UNGARN:	
Sankt Pölten	AT123	Gyor-Moson-Sopron	HU221
Waldviertel	AT124	Vas	HU222
Weinviertel	AT125		
Wr. Umland-Nordteil	AT126		
Wr. Umland-Südteil	AT127		
Wien	AT130		

Quelle: eigene Darstellung, NST/R und ÖNACE: Statistik Austria

Die räumliche Gliederung des Untersuchungsgebietes basiert auf den so genannten NUTS-Regionen; dabei „handelt es sich um eine allgemeine, hierarchisch aufgebaute, dreistufige territoriale Gliederung der EU-Staaten (NUTS 1,2,3), wobei die NUTS-Einheiten in der Regel aus einer Verwaltungseinheit oder einer Gruppierung mehrerer

Einheiten bestehen. Die NUTS-Gliederung dient sowohl statistischen Zwecken als auch – auf den Ebenen 2 und 3 – zur Beurteilung möglicher Regionalförderungen.“¹

In Österreich entsprechen die NUTS2-Regionen den Bundesländern, die NUTS3-Regionen werden durch Gruppen von politischen Bezirken gebildet. Für die Einteilung des Untersuchungsgebietes fiel die Wahl daher auf die NUTS3-Regionen, die einerseits bereits eine relative feine räumliche Unterteilung ermöglichen, andererseits aber auch noch nicht einen allzu hohen Aufwand bei der Datenbeschaffung mit sich bringen. Tabelle 2.1 stellt die im vorliegenden Modell berücksichtigten Regionen (Verkehrsbezirke) dar.

2.2 Untersuchte Maßnahme: Road Pricing

Als konkrete Maßnahme Bereich des Güterverkehrs wurde das so genannte „Road Pricing“, also die Einhebung von Mautgebühren zur Benützung von Straßen, festgelegt. Die viel diskutierte Einführung des sogenannten „Road Pricing“ für Fahrzeug über 3,5 t erfolgte in Österreich am 1. Jänner 2004.

In der vorliegenden Untersuchung wurde die folgende konkrete Ausgestaltung des Road Pricing angenommen:

- Die Mautgebühren werden auf allen Autobahnen und Schnellstraßen sowohl in Österreich als auch in den berücksichtigten Nachbarländern eingehoben.
- Es wurde davon ausgegangen, dass alle Transporte, die in der Verkehrsstatistik und den zu Grunde gelegten Güterverflechtungsmatrizen erfasst sind, von der Mautpflicht betroffen sind.
- Der durchschnittliche Mautsatz wurde mit 0,22 EUR pro Fahrzeugkilometer angenommen; die in der Realität praktizierte Differenzierung nach der Anzahl der Fahrzeugachsen bei der Höhe der Mautkosten unterbleibt.
- Die Transportkosten auf der Schiene bleiben sowohl im Fall ohne als auch mit Road Pricing unverändert.

2.3 Modellansätze

Um die Forderung nach einem methodischen Vergleich im Rahmen dieser Studie zu erfüllen, wurden die Auswirkungen des Road Pricings mit Hilfe von zwei verschiedenen Ansätzen ermittelt. Dies sind im konkreten:

- Ein Elastizitätsansatz
- Die Simulation der Auswirkungen im Rahmen eines Güterverkehrsmodells.

¹ Quelle: <http://www.statistik.at/verzeichnis/nuts.shtml>, Stand 20.1.2004

2.3.1 Ansatz Elastizitäten

Die Preiselastizität der Nachfrage gibt an, wie sich die Nachfrage nach einem Gut bei der Veränderung des Preises desselben oder eines substitutiven Gutes ändert. Da sich das Road Pricing direkt in den Transportkosten – und damit auch in den Transportpreisen – niederschlägt, können mit Hilfe von Elastizitäten direkt die Veränderung des Güterverkehrsaufkommens berechnet werden. Dazu wurde anhand der folgenden Berechnungsschritte vorgegangen:

- Ermittlung der Ist-Transportkosten
- Berechnung der Transportkosten-Veränderungen in Folge des Road Pricings
- Abschätzung Veränderung des Güterverkehrsaufkommens anhand von Elastizitäten aus der Literatur

2.3.2 Verkehrsmodell

Im Rahmen des zweiten in dieser Untersuchung verfolgten Ansatzes wurden die Auswirkungen des Road Pricings auf den Güterverkehr mit Hilfe eines Verkehrsmodells für das Untersuchungsgebiet ermittelt. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:

- Konzeption und Kalibrierung eines Güterverkehrsmodells für die Region
- Berechnung der Transportkosten-Veränderungen in Folge des Road Pricings
- Abschätzung der Veränderung des Gesamtgüteraufkommens
- Berechnung der Verkehrsverteilung und -aufteilung mit dem Verkehrsmodell

Kapitel 3

Aufbereitung der Daten und Berechnungen

In diesem Kapitel wird das Vorgehen bei den Berechnungen detaillierter erläutert; dabei wird auf die Quellen und die Aufbereitung der Datengrundlagen, auf die Erstellung des Verkehrsmodells und auf die Modellierung der Maßnahme „Road Pricing“ eingegangen.

3.1 Datengrundlagen

3.1.1 Güterverkehrsaufkommen und -verflechtungsmatrizen

Die Güterverkehrsaufkommen der Verkehrszellen sowie die zur Kalibration des Modells benötigten OD-Matrizen für das Untersuchungsgebiet wurden der Datenbank ISIS der Statistik Austria entnommen. Die Matrizen unterscheiden nach

- Straßen- und Schienengüterverkehr
- Der Güterklassifikation NST/R (10 Güterarten)
- NUTS2-Regionen (entsprechen in Österreich der Ebene der Bundesländer)

Als wesentliche inhaltliche Einschränkung muss angemerkt werden, dass nur die Transporte von österreichischen Straßen- und Schienenverkehrsunternehmen berücksichtigt sind. Bis 1994 wurden in der Verkehrsstatistik auch die ausländischen Transporteure berücksichtigt; eine Hochrechnung stellte sich im Rahmen dieser Untersuchung aber als zu aufwendig heraus. Das Verkehrsmodell gibt daher ebenfalls nur das Transportaufkommen bzw. die Veränderungen des Transportaufkommens von österreichischen Lkws und Schienenfahrzeugen an. Die OD-Matrizen für den Straßen- und den Schienengüterverkehr im Untersuchungsgebiets sind in Anhang 1 bzw. 2 dargestellt.

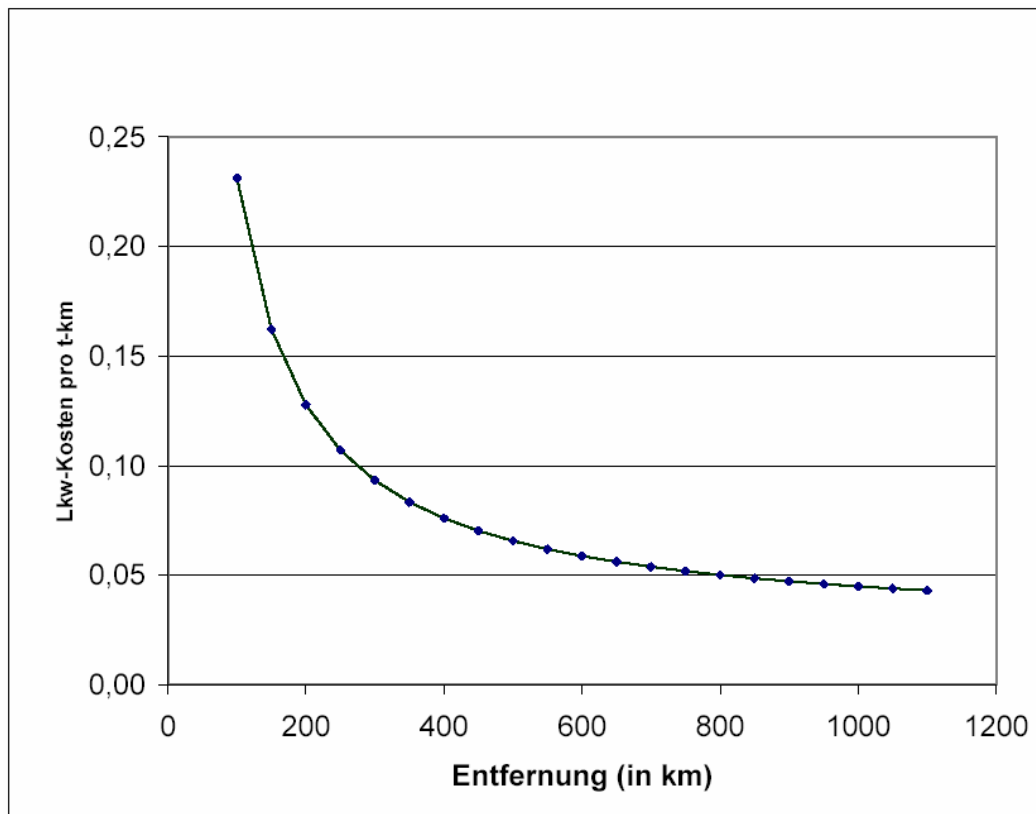
Da die Daten räumlich nur bis auf die Ebene der NUTS2-Regionen differenziert sind, musste eine regionale Zuschreibung der Quell- und Zielverkehrsaufkommen vorgenommen werden. Die dazu benötigten Strukturdaten (Beschäftigtenzahlen je Wirtschaftsbe- reich) stammen ebenfalls aus der Datenbank ISIS der Statistik Austria.

3.1.2 Transportkosten

Die Transportkosten wurden einer Studie des Büros Dr. Max Herry (Herry 2001) zu den Transportkosten und -preisen der verschiedenen Verkehrsträger im Güterverkehr entnommen.

Die detailliertesten Werte dieser Untersuchung beziehen sich auf Frankreich: Für den Bereich des Straßengüterverkehrs wird hier ein entfernungsabhängiger Kostensatz angegeben (siehe Abbildung 3.1). Die fehlenden Werte für Distanzen unter 100 km wurden durch lineare Extrapolation unter Berücksichtigung einer Obergrenze von 0,30 Euro pro t-km ergänzt. Im Bereich des Schienenverkehrs kam ein ebenfalls für Frankreich ermittelter Wert von 0,035 Euro je t-km zur Anwendung (Herry 2001, S. 55). Für diesen lag keine weitere Differenzierung – etwa nach Transportentfernungen wie beim Straßenverkehr – vor.

Abbildung 3.1 Transportkosten im Straßengüterverkehr in Frankreich [EUR/t-km]



Quelle: Herry (2001, S. 53)

3.1.3 Transportdistanzen

Zur Berechnung der Verkehrswiderstände (relations- und massenbezogene Transportkosten) musste außerdem eine Entfernungsmatrix für die untersuchten Verkehrsbezirke ermittelt werden. Diese wurde mit dem Routenplaner des ÖAMTC (www.oamtc.at) ermittelt. Die Anteile von Autobahnabschnitten an den einzelnen Gesamtstrecken wurde abgeschätzt, indem der eine Zugangsentfernung zum Autobahnnetz je Verkehrsbezirk ermittelt wurde. Für den Schienenverkehr wurden näherungsweise dieselben Distanzen

zu Grunde gelegt; im Einzelfall dürfte dies zu erheblichen Abweichungen von der tatsächlichen Entfernungen führen. Angesichts der beträchtlichen Unsicherheiten über die Höhe der Transportkosten mit der Bahn dürfte diese vereinfachende Annahme aber trotzdem gerechtfertigt sein. Die Matrix der Transportdistanzen ist in Anhang 3 dargestellt.

3.2 Güterverkehrsmodell für die Ostregion

Das im Rahmen dieser Untersuchung konzipierte Güterverkehrsmodell orientiert sich am Aufbau, der in Abschnitt 1.3.1 beschrieben ist. Es beschränkt sich allerdings auf die ersten 3 Stufen:

- Verkehrserzeugung
- Verkehrsverteilung
- Verkehrsaufteilung

Bei Untersuchungen im Bereich des Güterverkehrs ist – aufgrund der sehr heterogenen Verhältnisse – immer nach Güterarten zu differenzieren. Im Rahmen dieses Verkehrsmodells ist dies dadurch möglich, dass das Modell für jede Güterart der NST/R-Klassifikation separat kalibriert wird; das gesamte Güterverkehrsaufkommen im Untersuchungsgebiet ergibt sich dann als Summe über alle Güterarten.

Unter Berücksichtigung des erheblichen Arbeitsaufwandes, der mit dieser Vorgangsweise verbunden ist, wurden die empirischen Berechnungen im Rahmen dieser Untersuchung nur für eine Güterklasse durchgeführt. Dazu wurde die Summe der NST/R-Gütergruppen 2 (Feste mineralische Brennstoffe) und 3 (Erdöl, Mineralölerzeugnisse) ausgewählt. Alle folgenden Darstellungen und Ergebnisse beziehen sich daher auf diese beiden Gütergruppen. Die Berechnungen für die anderen Gütergruppen würde methodisch auf die exakt gleiche Weise vor sich gehen.

3.2.1 Verkehrserzeugung

Die Grundlage für die Ermittlung der Quell- und Zielverkehrsaufkommen waren die Randsummen der OD-Matrizen, die auf Angaben von Statistik Austria beruhen (vgl. Abschnitt 3.1.1). Die Verkehrserzeugung wurde daher nicht durch Modellbildung bestimmt, sondern beruht auf erhobenen Daten.

Da die Daten aber räumlich nur auf Ebene der NUTS2-Regionen zur Verfügung standen, mussten die Werte auf das Untersuchungsniveau der NUTS3-Regionen disaggregiert werden. Als Strukturgröße für die Aufschlüsselung von der Güterverkehrsaufkommen wurden die sektoral unterschiedenen Beschäftigtenzahlen der NUTS3-Regionen gewählt. Die gesamten Güterverkehrsaufkommen Q bzw. Z der NUTS2-Regionen wurden den einzelnen NUTS3-Regionen i folgendermaßen zugeschlüsselt:

Tabelle 3.1 Zuordnung von Güterarten nach NST/R zu Wirtschaftstätigkeiten nach ÖNACE für die Ermittlung von Quellverkehrsaufkommen

Güterart nach NST/R	Nr.	Wirtschaftstätigkeit nach ÖNACE	
Land- u.forstw. Erzeugn. u.lebende Tiere	0	Land- und Forstwirtschaft	A
Andere Nahrungs- und Futtermittel	1	Fischerei und Fischzucht	B
Feste mineralische Brennstoffe	2	Energie- und Wasserversorgung	E
Erdöl, Mineralölerzeugnisse	3		
Erze und Metallabfälle	4	Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	C
Steine und Erden und Baustoffe	6	Kokerei, Mineralölverarbeitung	DF
Eisen, Stahl und NE-Metalle (E-Halbzeug)	5	Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	DJ
Düngemittel	7	Herstellung von Chemikalien und chemischen Erzeugnissen	DG
Chemische Erzeugnisse	8		
Fahrz.,Masch.,sonst.Halb- u.Fertigwaren	9	Sachgütererzeugung	D

Quelle: eigene Darstellung, NST/R und ÖNACE: Statistik Austria

Tabelle 3.2 Zuordnung von Güterarten nach NST/R zu Wirtschaftstätigkeiten nach ÖNACE für die Ermittlung von Zielverkehrsaufkommen

Güterart nach NST/R	Nr.	Wirtschaftstätigkeit nach ÖNACE	
Land- u.forstw. Erzeugn. u.lebende Tiere	0	Herstellung von Nahrungs- und Genussmitteln und Getränken; Tabakverarbeitung	DA
Andere Nahrungs- und Futtermittel	1		
Feste mineralische Brennstoffe	2	Beschäftigte gesamt	
Erdöl, Mineralölerzeugnisse	3		
Erze und Metallabfälle	4	Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	DJ
Steine und Erden und Baustoffe	6	Bauwesen	F
Eisen, Stahl und NE-Metalle (E-Halbzeug)	5	Metallerzeugung und -bearbeitung, Herst. v. Metallerzeugnissen	DJ
		Maschinenbau	DK
		Fahrzeugbau	DM
Düngemittel	7	Land- und Forstwirtschaft	A
Chemische Erzeugnisse	8	Sachgütererzeugung	D
Fahrz.,Masch.,sonst.Halb- u.Fertigwaren	9	Beschäftigte gesamt	

Quelle: eigene Darstellung, NST/R und ÖNACE: Statistik Austria

$$Q_{i,k} = \frac{\text{Beschäftigte}_{i,k}}{\sum_i \text{Beschäftigte}_{i,k}} \cdot Q$$

mit $Q_{i,k}$ Quellverkehrsaufkommen von Güterart k in Region i
 Beschäftigte_{i,k} Beschäftigte in Region i in den Güterart k zugeordneten Wirtschaftstätigkeiten
 Q..... gesamtes Quellverkehrsaufkommen der NUTS2-Region

Da die Güterverkehrsstatistik nach Güterarten (NST/R-Klassifikation) und die Beschäftigtenstatistik nach Wirtschaftstätigkeiten (ÖNACE-Klassifikation) differenzieren mussten sinnvolle Zuordnungen dieser beiden Konzepte getroffen werden. Gleichzeitig wurde eine Aggregation der 10 NSTR/R-Güterarten zu 6 im Verkehrsmodell berücksichtigte Gruppen vorgenommen. Zuordnung und Aggregation sind in Tabelle 3.1 für die Quellverkehrserzeugung und in Tabelle 3.2 für die Zielverkehrserzeugung dargestellt.

3.2.2 Verkehrsverteilung und -aufteilung

Die Verkehrsverteilung und -aufteilung wurden simultan berechnet. Damit wird der engen Verbindung von Ziel- und Verkehrsmittelwahl in der Realität Rechnung getragen (vgl. Abschnitt 1.3.1).

Die Basis für die Ermittlung von Verkehrsverteilung und -aufteilung sind Transportwiderstände. Als Verkehrswiderstände werden in der Praxis unter anderem folgende Größen angesetzt:

- Distanzen
- Fahr- oder Transportzeiten
- Fahrt- oder Transportkosten
- Generalisierte Kosten

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die reinen Transportkosten als Maß für den Verkehrswiderstand herangezogen. Die Grundlage dafür bildet die Überlegung, dass die Fahrzeiten im Güterverkehr weniger entscheidend sind als im Personenverkehr, vor allem im Entfernungsbereich des vorliegenden Untersuchungsgebietes. Ausschlaggebender sind Kriterien wie Verlässlichkeit der Transportzeiten, zeitliche Flexibilität und vor allem der räumliche Verfügbarkeit der Verkehrsträger (Netzdichte). Diese Faktoren lassen sich aber nur sehr schwer quantifizieren, weshalb dies beim gegebenen Arbeitsaufwand unterbleiben musste.

Die genannten Faktoren führen aber im Nahverkehr zu einer eindeutigen Dominanz des Straßengüterverkehrs. Um dies auch im Modell zu berücksichtigen, wurde zu den Transportkosten auf der Schiene ein konstanter Anteil addiert. Dieser wurde normativ so vorgegeben, dass sich – unter Berücksichtigung der in Abschnitt 3.1.2 vorgestellten Transportkostensätze – bei einer Distanz von 600 km eine Gleichheit der Transportkosten von Straße und Schiene ergibt. Diese Annahme führt zu einem Fixkostenanteil von 33 Euro je

Tonne auf der Schiene. Damit ergaben sich die folgenden entfernungsabhängigen Kosten für Straße und Schiene:

$$TK_{\text{Straße}} = tk(d) \cdot d \quad [\text{EUR/t}]$$

$$TK_{\text{Schiene}} = tk \cdot d \quad [\text{EUR/t}]$$

mit $tk(d)$ entfernungsabhängige Transportkosten je km und t auf der Straße
(ca. 0,09 bis 0,30 EUR/t)

tk Transportkosten je km und t auf der Schiene (0,035 EUR/t)

Aus diesen entfernungsbezogenen Transportkosten wurde eine Matrix der Transportkosten je Tonne der einzelnen Relationen berechnet, indem die entfernungs- und aufkommensabhängigen Transportkosten mit der Matrix der Transportdistanzen multipliziert wurden. Die Transportkostenmatrizen für Straße und Schiene sind in den Anhängen 4 und 5 dargestellt.

Die Transportkosten wurden anschließend mit der so genannten EVA-Funktion bewertet; die EVA-Funktion wird vor allem zur Modellierung mehrerer konkurrierender Verkehrsträger eingesetzt, da für jeden Verkehrsträger eigenen Parameter vorgegeben oder ermittelt werden können:

$$B(W)_{ij} = \frac{1}{(1 + W_{ij})^{\phi(W)}} ; \quad \phi(W_{ij}) = \frac{E}{1 + e^{F-G \cdot W_{ij}}}$$

mit W_{ij} Verkehrswiderstand der Relation von i nach j

(in vorliegenden Fall die Transportkosten von i nach j)

$B(W)_{ij}$...Bewertungswahrscheinlichkeit in der Relation von i nach j

E, F, G ..Parameter der EVA-Funktion (verkehrsträgerspezifisch)

Zur Berechnung der OD-Matrizen kam eine Kombination des Gravitationsansätze (für die Verkehrsverteilung) und der Analogie zum Kirchhoff'schen Gesetz (für die Verkehrsaufteilung) zum Einsatz. Das Transportaufkommen zwischen zwei Verkehrszellen i und j berechnet sich dabei anhand der Formel

$$v_{ij} = \frac{B(W)_{ij-k} \cdot Z_{j-k}}{\sum_k \sum_j B(W)_{ij-k} \cdot Z_{j-k}} \cdot \sum_k Q_{i-k}$$

mit v Güterverkehrsaufkommen [t]

$B(W)$ Bewertungswahrscheinlichkeit

Q Quellverkehrsaufkommen

Z Zielverkehrsaufkommen

k Index des Verkehrsmittels k

i Index des Quellverkehrsbezirks i

j Index des Zielverkehrsbezirk j

3.2.3 Kalibrierung des Modells

Das vorliegende Verkehrsmodell muss in zweifacher Hinsicht kalibriert werden:

- (1) Einhaltung der Randsummenbedingungen
- (2) Eichung an den beobachteten Verkehrsströmen

Dabei wurde im einzelnen wie folgt vorgegangen:

Zu (1) Einhaltung der Randsummenbedingungen

Die mit Hilfe der Formel für die gleichzeitige Verkehrsaufteilung und -verteilung berechneten OD-Matrizen erfüllen nicht alle Randbedingungen: die Summen der Zielverkehrsaufkommen stimmen nicht mit den beobachteten Zielverkehrsaufkommen überein. Es existieren mehrere Lösungsalgorithmen zur Einhaltung der Randbedingungen, die jedoch alle nur rekursiv lösbar sind. (vgl. Schnabel, Lohse 1997, S. 189). Aus Gründen des Arbeitsaufwandes und angesichts der Tatsache, dass eine Übereinstimmung zumindest hinsichtlich der Größenordnungen gegeben ist, wurde dieser Kalibrationsschritt im Rahmen dieser Untersuchung nicht durchgeführt.

Zu (2) Eichung an den beobachteten Verkehrsströmen

Modelle, die – wie das vorliegende – bei der Verkehrsverteilung Bewertungswahrscheinlichkeiten beinhalten, müssen an beobachteten Daten geeicht werden. Im Zuge der Kalibrierung werden die Parameter der zugehörigen Bewertungsfunktion ermittelt. Zur Feststellung der Übereinstimmung zwischen den berechneten und den beobachteten Werte werden bestimmte Kriterien definiert. Im vorliegenden Fall wurde die quadrierte Summe der Abweichung zwischen den beobachteten und den berechneten Verkehrsströmen berechnet und unter Variation der Parameter der EVA-Funktion minimiert:

$$\sum_k \sum_i \sum_j (v_{ijk,ber} - v_{ijk,beob})^2 \Rightarrow \text{Minimum}$$

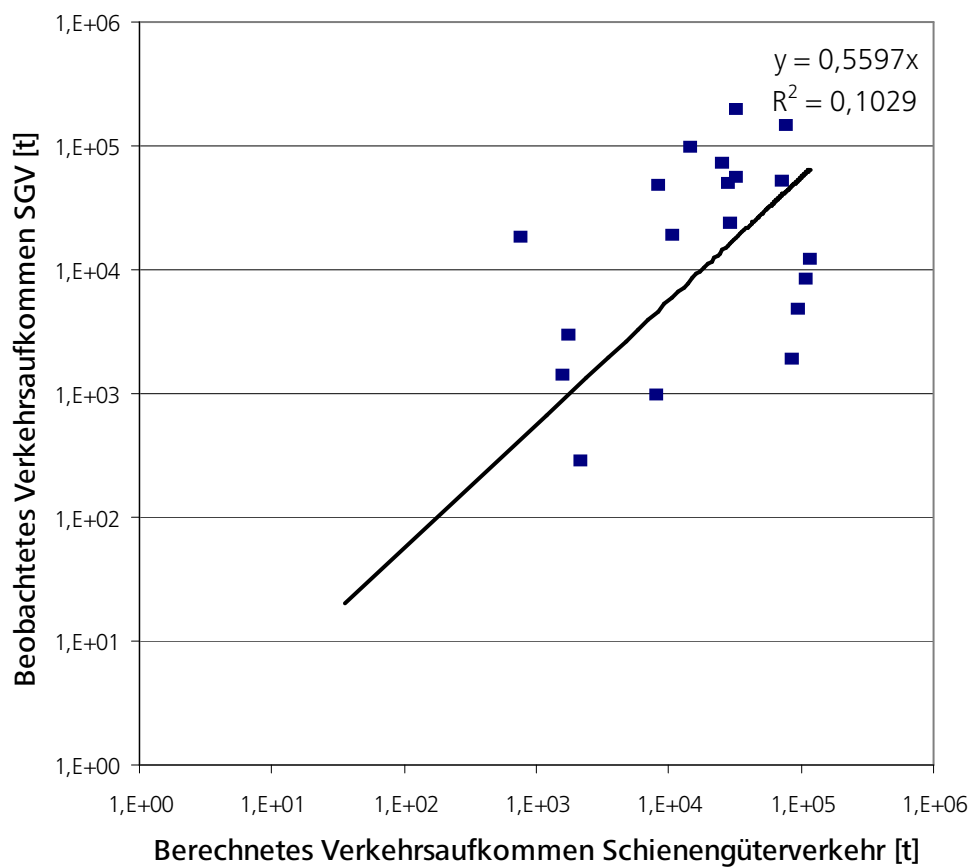
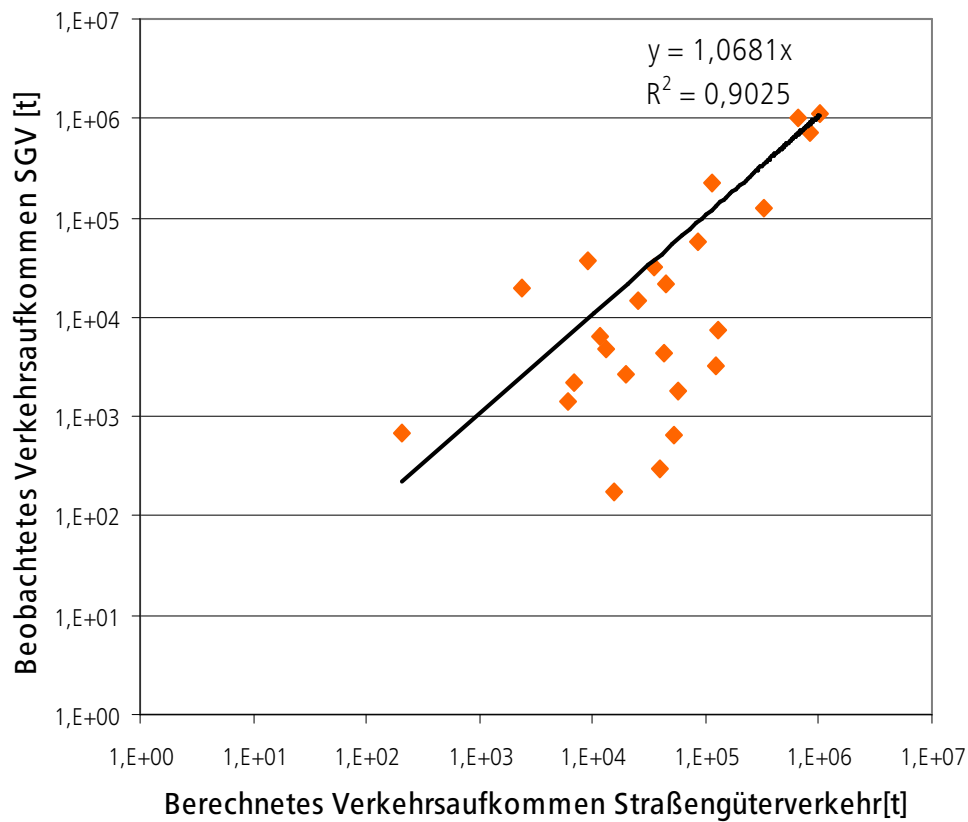
mit $v_{ijk,ber}$ berechnetes Verkehrsaufkommen zwischen i und j mit dem Verkehrsmittel k
 $v_{ijk,beob}$... beobachtetes Verkehrsaufkommen

Da die Verflechtungsmatrizen von der Statistik Austria nur auf Ebene von NUTS2-Regionen ausgewiesen werden, wurden die berechneten Verkehrsströme für die Kalibrierung auf dieses Niveau aggregiert. Als Parameter der EVA-Funktion wurden im Zuge der Kalibrierung die in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellten Werte ermittelt. Die mit dem Verkehrsmodell berechneten OD-Matrizen sind den Anhängen 6 (Straße) und 7 (Schiene) zu entnehmen.

Tabelle 3.3 Parameter der EVA-Funktion für den Straßen- und Schienengüterverkehr

Parameter	Straße	Schiene
E	0,662	0,697
F	0,095	0,002
G	0,032	0,442

Abbildung 3.2 Beurteilung der Modellgüte: Gegenüberstellung von berechneten und beobachteten Verkehrsaufkommen für NST/R-Gruppen 2 und 3



3.2.4 Beurteilung der Modellgüte

Die Beurteilung der Modellgüte erfolgt, indem einander die beobachteten und die geschätzten Transportaufkommen der einzelnen Relationen gegenüber gestellt werden. Abbildung 3.2 stellt diese Gegenüberstellung getrennt für den Straßen- und den Schienengüterverkehr für das Aggregat der Gütergruppen NST/R 2 (feste mineralische Brennstoffe) und 3 (Erdöl, Mineralölerzeugnisse) dar.

Im Bereich des Straßengüterverkehrs lässt sich an den statistischen Größen eine passable statistischer Aussagegehalt des Modells ablesen: der Koeffizient der linearen Regression liegt nahe bei 1, d.h. die beobachteten und die berechneten Werte stimmen von ihrer Größenordnung her gut überein. Das Bestimmtheitsmaß R^2 von 0,83 deutet auf eine gute Anpassung der berechneten Werte an die tatsächliche Struktur der Transportverflechtungen hin. Nicht zufrieden stellend sind hingegen die Ergebnisse für den Schienengüterverkehr. Sowohl der Koeffizient der Regressionsgleichung (0,56) als auch das Bestimmtheitsmaß (0,10) rechtfertigen die Verwendung des Modells für eine Verkehrsprognose nicht.

Eine genauere Analyse der Datengrundlage (beobachtete Verflechtungsmatrizen) zeigt, dass bei der Struktur des Schienengüterverkehrs Sondereinflüsse zu verzeichnen sind, die durch das Widerstandsmaß „Transportkosten“ nicht oder nur sehr unvollständig abgebildet werden. So sind nennenswerte Transportaufkommen auf der Schiene nur im Verkehr zwischen Österreich und den Nachbarländern zu verzeichnen. Dieser Umstand könnte eine historische Ursache haben: zur Zeit der Planwirtschaft war der Güterverkehr in den damaligen Ostblock-Staaten viel stärker auf die Schiene ausgerichtet.

Angesichts der beachtlichen Modellgüte im Bereich des Straßengüterverkehrs und dem Umstand, dass der Schwerpunkt der vorliegenden Untersuchung eher auf der Methodik liegt, wird die geringe Modellgüte im Schienenverkehr akzeptiert. Vor einer Anwendung des Modells in der Praxis müssten die empirischen Schwächen aber unbedingt geklärt und behoben werden.

3.3 Modellierung der Maßnahmen

Die Modellierung der untersuchten Maßnahme „Road Pricing“ erfolgt – wie in Abschnitt 2.3 erläutert – anhand eines Elastizitätsansatz und mit Hilfe eines Verkehrsmodells. Die konkrete Vorgehensweise in beiden Fällen wird im folgenden beschrieben.

3.3.1 Berechnung der Mautkosten

Die Grundlage für die Ermittlung der Auswirkung des Road Pricing bildet natürlich die Ermittlung der Mautkosten. Ausgangspunkt der Berechnungen war ein Mautkostensatz von 0,22 pro Fahrzeugkilometer, der einen Durchschnitt der tatsächlichen, achsanzahl-abhängigen Mautgebühren darstellt (vgl. Abschnitt 2.2).

Zu beachten ist, dass sich der Mautkostensatz auf Fahrzeugkilometer bezieht, während im Verkehrsmodell die Bezugsgröße Tonnenkilometer sind. Die Umrechnung erfolgt über

ein durchschnittliches Transportaufkommen je Fahrt von 11,4 t, das von der Statistik Austria erhoben wurde (Statistik Austria: Güterverkehrsstatistik 2002). Es handelt sich dabei leider um einen Wert für den gesamten Güterverkehr; es ist zu erwarten, dass das durchschnittliche Transportaufkommen je Fahrt bei den einzelnen Güterarten sehr unterschiedlich ist.

Die Mautkosten je Tonnenkilometer betragen unter Berücksichtigung dieses Zusammenhangs 0,019 Euro pro Tonnenkilometer. Die Multiplikation dieses Wertes mit der Matrix der Transportdistanzen gibt die Mautkosten-Matrix, deren Elemente die Mautkosten je Fahrt und Tonne der einzelnen Relationen angeben; sie ist in Anhang 8 dargestellt.

3.3.2 Ansatz Elastizitäten

Die wesentliche Grundlage beim Ansatz Elastizitäten sind natürlich empirisch ermittelte Elastizitäten. Diese wurden der Literatur (Quinet 1997) entnommen und sind in Tabelle 3.4 dargestellt.

Bei der Beurteilung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Werte nur sehr grobe Anhaltspunkte darstellen, da sie für den gesamten Güterverkehr gelten. Aus theoretischer Sicht wären nach Güterarten differenzierte Elastizitäten vorzuziehen. Außerdem wurden die Werte für Frankreich ermittelt und geben die Verhältnisse im Untersuchungsraum deshalb unter Umständen nur bedingt wieder.

Tabelle 3.4 Direkte und Kreuzelastizitäten der Nachfrage im Straßen- und Schienengüterverkehr

Trafic	Prix	
	Fer	Route
Fer	-1	1,3
Route	0,5 à 0,7	-0,7 à -0,9

Quelle: Quinet (1997, S. 21)

An den Werten der Elastizitäten kann bereits direkt abgelesen werden, dass der Schienengüterverkehr deutlich preissensibler ist, als der Güterverkehr auf der Straße. Das bedeutet, dass sich das Güterverkehrsaufkommen bei gleichen Transportkostenänderungen auf der Schiene wesentlich stärker ändert als auf der Straße.

Zur Berechnung der Auswirkungen des Road Pricing auf das Güterverkehrsaufkommen auf Straße und Schiene wurde zunächst die relative Veränderung der Transportkosten je Relation berechnet:

$$\text{rel. Veränderung Transportkosten}_{ij} = \frac{\text{Mautkosten}_{ij}}{\text{Transportkosten ohne Maut}_{ij}}$$

Anschließend konnte die Veränderung des Transportaufkommens je Relation aus den beobachteten Verkehrsaufkommen, den Elastizitäten und den relativen Veränderungen der Transportkosten berechnet werden. Für den Straßengüterverkehr gilt die Formel:

$$\Delta v_{ij, \text{Straße}} = v_{ij, \text{Straße}} \cdot \epsilon_{\text{Straße-Straße}} \cdot qTK_{\text{Straße}}$$

mit $\Delta v_{ij, \text{Straße}}$ Veränderung des Verkehrsaufkommens, Straßengüterverkehr
 $v_{ij, \text{Straße}}$ beobachtetes Verkehrsaufkommen, Straßengüterverkehr
 $\epsilon_{\text{Straße-Straße}}$ Preiselastizität der Straßengüterverkehrsnachfrage bezüglich der Preise im Straßengüterverkehr
 $qTK_{\text{Straße}}$ relative Veränderung der Transportkosten auf der Straße

Die Veränderung des Transportaufkommens im Schienengüterverkehr berechnet sich zu:

$$\Delta v_{ij, \text{Schiene}} = v_{ij, \text{Schiene}} \cdot \epsilon_{\text{Schiene-Straße}} \cdot qTK_{\text{Straße}}$$

mit $\Delta v_{ij, \text{Schiene}}$ Veränderung des Verkehrsaufkommens, Schienengüterverkehr
 $v_{ij, \text{Schiene}}$ beobachtetes Verkehrsaufkommen, Schienengüterverkehr
 $\epsilon_{\text{Schiene-Straße}}$ Preiselastizität der Schienengüterverkehrsnachfrage bezüglich der Preise im Straßengüterverkehr (Kreuzelastizität)
 $qTK_{\text{Straße}}$ relative Veränderung der Transportkosten auf der Straße

Die Veränderung der Güterverkehrsaufkommen je Relation sind in den Anhängen 9 und 10 dargestellt.

3.3.3 Verkehrsmodell

Die Berechnungen der Auswirkungen des Road Pricing auf den Güterverkehr in der Untersuchungsregion erfolgt in zwei wesentlichen Schritten:

- (1) Abschätzung des Gesamtverkehrsaufkommens mit Road Pricing
- (2) Berechnung der Modal Split- und Zielverlagerungen

Zu (1) Abschätzung des Gesamtverkehrsaufkommens

Die Verkehrserzeugung wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht modelliert, sondern aus beobachteten Werten abgeleitet. Die Veränderung des Gesamtverkehrsaufkommens kann daher mit dem Modell nicht bestimmt werden. Eine Vernachlässigung dieser Veränderung würde aber bedeuteten, dass in der Untersuchung keine Struktureffekte enthalten sind. Um diese zu berücksichtigen wurde bei der Ermittlung des Gesamtverkehrsaufkommens bei Road Pricing folgende Überlegungen angestellt:

- Ausgangspunkt war das Gesetz vom konstanten Mobilitätszeitbudget, das für den Personenverkehr empirisch bewiesen ist. Es besagt, dass sich die Wege bei einer Steigerung der Geschwindigkeit im Transportsystem so verlängern, dass die (theoretisch mögliche) Zeitersparnis vollständig kompensiert wird.
- Analog dazu wurde für den Güterverkehr die Existenz eines konstanten Transportkostenbudgets postuliert. Dies bedeutet, dass bei einem Rückgang der Transportkosten je Tonnenkilometer das Güterverkehrsaufkommen so lange steigt, bis die gesamten Transportkosten im System wieder den ursprünglichen Wert erreichen.

Die Veränderung des Gesamtverkehrsaufkommens berechnet sich unter dieser Annahme folgendermaßen:

$$V_{RP} = V \cdot \frac{\sum_i \sum_j v_{ij} \cdot TK_{ij}}{\sum_i \sum_j v_{ij} \cdot TK_{ij,RP}}$$

- mit V_{RP}Gesamtverkehrsaufkommen mit Road Pricing
 V Gesamtverkehrsaufkommen ohne Road Pricing
 v_{ij}Verkehrsaufkommen der Relation i-j
 TK_{ij} Transportkosten von i nach j ohne Road Pricing
 $TK_{ij,RP}$ Transportkosten von i nach j mit Road Pricing

Zu (2) Berechnung der Modal Split- und Zielverlagerungen

Zur Ermittlung der Auswirkungen des Road Pricing auf die Verkehrsmittel- und die Zielwahl wurden im Verkehrsmodell das neu berechnete Gesamtverkehrsaufkommen und die Transportkosten inkl. der Mautkosten vorgegeben. Für die Parameter der Widerstandsfunktionen wurden die Werte, die in der Kalibrierung ermittelt wurden angesetzt. Die Veränderungen der OD-Matrizen, die so ermittelt wurden, sind den Anhängen 11 und 12 zu entnehmen.

Kapitel 4

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung vorgestellt und Schlussfolgerungen gezogen, wobei nach

- den quantitativen Ergebnissen
- der Beurteilung und dem Vergleich der angewandten Methoden

unterschieden wird.

Einleitend muss wiederholt werden, dass sich alle quantitativen Ergebnisse nur auf die NST/R-Gütergruppen 2 (Feste mineralische Brennstoffe) und 3 (Erdöl, Mineralölerzeugnisse) beziehen. Eine Berechnung für die restlichen Gütergruppen war aus Gründen des Arbeitsaufwandes nicht möglich; dies stellt aber keine methodische Einschränkung dieser Untersuchung dar.

4.1 Quantitative Ergebnisse

4.1.1 Verkehrsmodell

Tabelle 4.1 stellt die mit dem Verkehrsmodell berechneten Gesamtergebnisse für die Szenarien „ohne Road Pricing“ und „mit Road Pricing“ dar. Die wesentlichsten Erkenntnisse sind:

- Das Gesamtverkehrsaufkommen geht durch die Einführung des Road Pricing um ca. 78.000 Tonnen oder 1,8% zurück. Der Großteil des Rückganges findet im Straßengüterverkehr statt: rd. 72.000 Tonnen oder 2,1%; im Schienenverkehr ergibt sich ein moderater Rückgang von 5.000 Tonnen oder 0,7%.
- Auf Grund dieser unterschiedlichen Verkehrsaufkommens-Rückgänge auf der Straße und auf der Schiene steigt der Modal Split der Schiene leicht von 19,1% auf 19,3%.
- Die durchschnittliche Transportdistanz sinkt im Straßenverkehr um 0,8 km oder 1,2%, während sie im Schienenverkehr leicht um 0,2 km oder 0,2% steigt.

Tabelle 4.1 Ergebnisse auf Basis des Verkehrsmodells

	Verkehrsaufkommen		Modal Split		Transportdistanzen	
	Ohne Road Pricing	Mit Road Pricing	Ohne Road Pricing	Mit Road Pricing	Ohne Road Pricing	Mit Road Pricing
STRASSE						
Absolut	3.436.412	3.364.176	80,9%	80,7%	63,9	63,2
Abs. Veränd.		-72.236		-0,2%		-0,8
%-Veränd.		-2,1%				-1,2%
SCHIENE						
Absolut	809.548	804.058	19,1%	19,3%	82,0	82,2
Abs. Veränd.		-5.490		0,2%		0,2
%-Veränd.		-0,7%				0,2%
GESAMT						
Absolut	4.245.960	4.168.233			67,4	66,8
Abs. Veränd.		-77.727				-0,5
%-Veränd.		-1,8%				-0,8%

Quelle: eigene Berechnungen

4.1.2 Elastizitätsansatz

Der Elastizitätsansatz führt zu den folgenden, in Tabelle 4.2 dargestellten Ergebnissen:

- Das Gesamtverkehrsaufkommen geht durch die Einführung des Road Pricing um ca. 42.000 Tonnen oder 1,0% zurück. Im Straßengüterverkehr kommt es zu einem Rückgang um 69.000 Tonnen oder 2,0%, während der Schienenverkehr um 27.000 Tonnen oder 3,4% zulegt.
- Auf Grund der gegenläufigen Entwicklungen beim Verkehrsaufkommen auf der Straße und auf der Schiene steigt der Modal Split der Schiene von 19,0% auf 19,9%.

4.1.3 Vergleich der Ergebnisse von Elastizitätsansatz und Verkehrsmodell

In Bezug auf die Gesamtergebnisse für das ganze Untersuchungsgebiet wurden mit den beiden Ansätzen vergleichbare Ergebnisse erzielt, sowohl was die Wirkungsrichtung als auch die Größenordnung der absoluten Höhe der Effekte betrifft:

- Das Gesamtverkehrsaufkommen geht zurück: in beiden Fällen sinkt es um ca. 1–2%.
- Der Modal Split des Straßengüterverkehrs geht zurück. Er sinkt aber beim Elastizitätsansatz deutlich stärker (um 0,8%) als zufolge den Ergebnissen des Verkehrsmodells (um 0,2%).

Tabelle 4.2 Ergebnisse auf Basis des Elastizitätsansatzes

	Verkehrsaufkommen		Modal Split	
	Ohne Road Pricing	Mit Road Pricing	Ohne Road Pricing	Mit Road Pricing
STRASSE				
Absolut	3.436.412	3.367.586	81,0%	80,1%
Abs. Veränd.		-68.826		-0,8%
%-Veränd.		-2,0%		
SCHIENE				
Absolut	808.274	835.413	19,0%	19,9%
Abs. Veränd.		27.139		0,8%
%-Veränd.		3,2%		
GESAMT				
Absolut	4.244.686	4.202.998		
Abs. Veränd.		-41.688		
%-Veränd.		-1,0%		

Quelle: eigene Berechnungen

- Unterschiedlich sind die Ergebnisse, was das gesamte Verkehrsaufkommen des Schienengüterverkehrs betrifft: Beim Elastizitätsansatz kommt es zu einem leichten Zuwachs, der jedoch den Rückgang des Straßengüterverkehrs nicht kompensiert – trotzdem kann von einer Verlagerung von der Straße auf die Schiene ausgegangen werden. Im Verkehrsmodell überwiegt dem gegenüber der Einfluss des sinkenden Gesamtverkehrsaufkommens, so dass auch im Schienengüterverkehr ein Rückgang zu verzeichnen ist – wenn auch im Vergleich zum Straßengüterverkehr nur ein leichter (-0,7%).

4.1.4 Schlussfolgerungen

Die übereinstimmenden Ergebnisse der beiden Berechnungsansätze lassen folgende Schlussfolgerungen hinsichtlich der Auswirkungen des Road Pricing zu:

- Ein wesentlicher Effekt ist, dass das Gesamtverkehrsaufkommen in Folge der Einführung des Road Pricing sinkt. Die Größenordnung des Rückganges liegt bei ca. 1–2%.
- Es kommt zu einer Verlagerung von Transporten auf die Schiene. Bezüglich der Höhe dieses Effektes kommen die beiden Ansätze zu unterschiedlichen Ergebnissen: während die modalen Verlagerungen gemäß dem Elastizitätsansatz in der Größenordnung der Veränderung des Gesamtverkehrsaufkommens liegen, ist der Effekt gemäß dem Verkehrsmodell eher von untergeordneter Bedeutung (Verschiebung des Modal Split um 0,2 % zugunsten der Schiene).
- Die durchschnittlichen Transportdistanz im Straßengüterverkehr geht um ca. 1% zurück; jene im Schienenverkehr bleibt praktisch unverändert (+0,2%).

4.2 Beurteilung und Vergleich der Methoden

4.2.1 Vor- und Nachteile der Ansätze

Im Rahmen der Erstellung dieser Untersuchung stellten sich folgende Vor- und Nachteile der beiden Berechnungsansätze heraus:

Ansatz	Vorteile	Nachteile
Elastizitäten	Geringe Datenerfordernisse Einfache Berechnung	Geringe Anpassung an Besonderheiten (Gütergruppen etc.) Ergebnisse beschränkt auf Veränderung des Verkehrsaufkommens
Verkehrsmodell	Gute Anpassung an Besonderheiten (Gütergruppen) Vielfältige Auswertung möglich (z.B. Transportdistanzen)	Umfangreiche Datenerfordernisse Nicht modellierte Sondereinflüsse verschlechtern den Erklärungsgelhalt (Schienengüterverkehr)

Quelle: eigene Darstellung

Besonders wichtig ist die Fähigkeit von Verkehrsmodellen, die Zusammenhänge bei unterschiedlichen Gütergruppen differenziert abzubilden. Die Kalibrierung des Modells im Rahmen dieser Arbeit auf die NST/R-Gütergruppen 2 und 3 hat zur Folge, dass die Parameter der Widerstandsfunktionen die spezifischen Verhältnisse in diesen Gruppen widerspiegeln. Dadurch wird auch die Aussagekraft der Gesamtergebnisse wesentlich verbessert, wenn die durch die Summierung der Ergebnisse je Gütergruppe ermittelt werden.

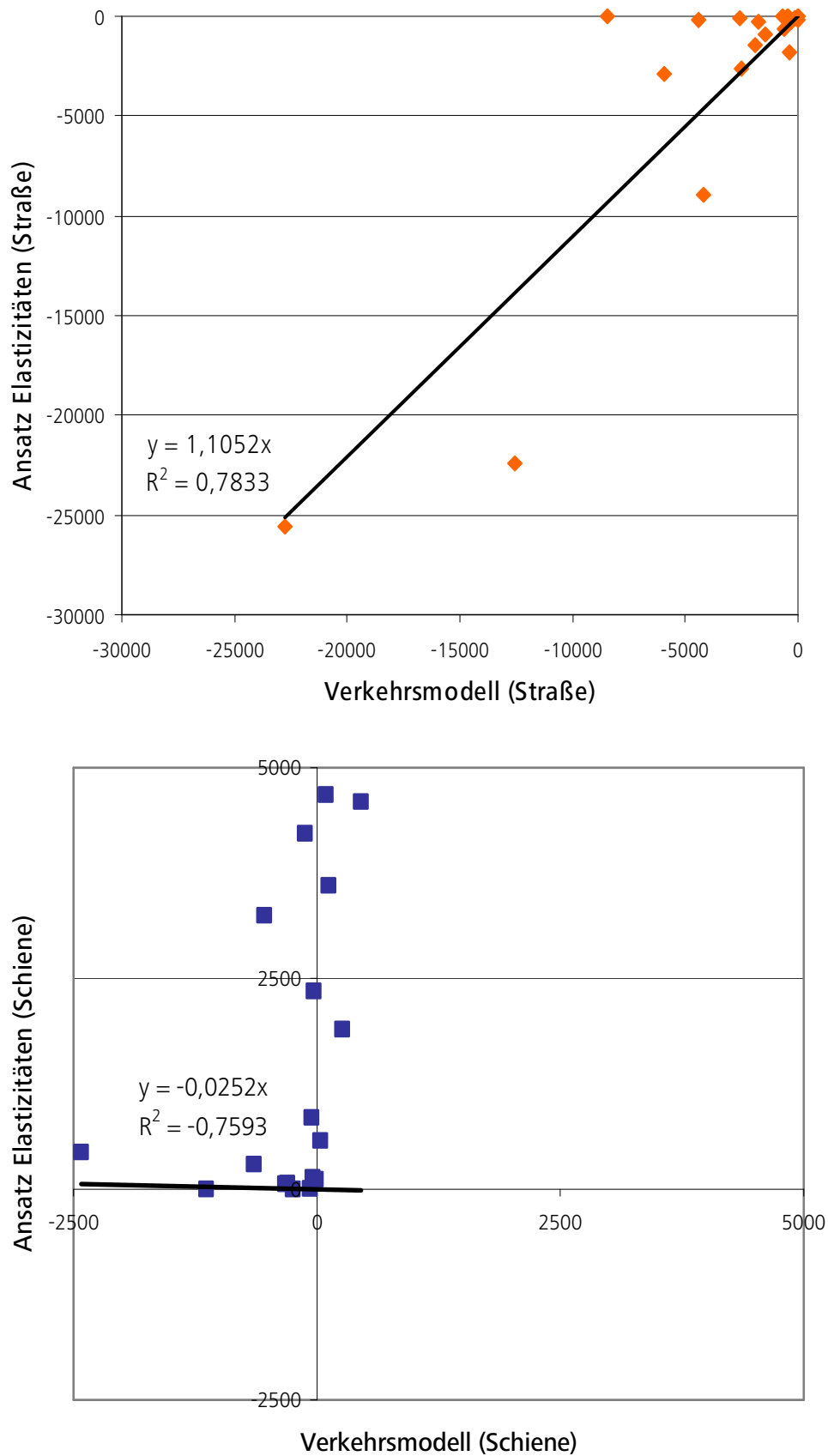
Beim Ansatz über Elastizitäten spielt es dem gegenüber keine Rolle, ob die Gesamtergebnisse direkt oder aus der Summierung der Einzelergebnisse je Gütergruppe ermittelt werden.

4.2.2 Vertiefende Analyse der quantitativen Ergebnisse

Der Vergleich der Gesamtergebnisse in Abschnitt 4.1.3 hat ergeben, dass die Gesamtergebnisse der beiden Ansätze gut miteinander übereinstimmen. Diese Aussage kann aber anhand der Darstellungsform in Abbildung 4.1 weiter überprüft werden, indem die Ergebnisse auch relationsabhängig verglichen werden.

Die Scatterplot-Darstellung zeigt, dass für den Straßengüterverkehr gut übereinstimmende Ergebnisse erzielt werden. Darauf deuten auch die statistischen Kennzahlen hin: die Regressionsgerade hat einen Koeffizienten, der nahe an 1 liegt und das Bestimmtheitsmaß R^2 beträgt 0,78. Nicht zufrieden stellend fällt der Vergleich im Schienengüterverkehr aus: hier lässt sich kein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen des Verkehrsmodells und des Elastizitätsansatzes feststellen.

Abbildung 4.1 Veränderungen der Güterverkehrsaufkommens der NST/R-Gruppen 2 und 3 mit den Ansätzen "Verkehrsmodell" und "Elastizitäten"



4.2.3 Schlussfolgerungen

- Der Elastizitätsansatz ist dann zweckmäßig, wenn die Auswirkungen von Maßnahmen im Verkehrssystem schnell und ohne großen Aufwand bei der Datenerhebung und Berechnung ermittelt werden sollen. Als Schwäche sind die fehlenden Differenzierungsmöglichkeiten und die Eindimensionalität der Aussage (z.B. im Fall der Preiselastizität der Nachfrage nur Aussage zum Zusammenhang zwischen Preisen und Verkehrsaufkommen) anzuführen
- Der Einsatz von Verkehrsmodellen ist dann gerechtfertigt, wenn eine differenzierte Untersuchung der Auswirkungen (Gütergruppen und Branchen) gefragt ist oder wenn unterschiedliche Aspekte der Effekte untersucht werden sollen (z.B. Veränderung der Transportweitenstruktur). Dafür ist aber ein erhöhter Aufwand bei der Datenbeschaffung und den Modellrechnungen in Kauf zu nehmen.

Quellen- und Literaturverzeichnis

Chlond, B. (2002): Skriptum zur Vorlesung Güterverkehr. Universität Karlsruhe, Institut für Verkehrswesen. Karlsruhe

Herry, M. (2001): Transportpreise und Transportkosten der verschiedenen Verkehrsträger im Güterverkehr. In: AK Wien (Hrsg.): Verkehr und Infrastruktur Nr. 14. Wien

Quinet, E. (1997): Principes d'Économie des Transports. Economica. Paris

Schnabel, W; Lohse, D. (1997): Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. Band 2, 2. Auflage, Verlag für Bauwesen, Berlin

Statistik Austria (2003): Verkehrsstatistik 2002. Wien

Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen

Tabelle 1.1	Unterschiede zwischen Güter- und Personenverkehr	3
Tabelle 2.1	Die Einteilung des Untersuchungsgebietes in Verkehrsbezirke	10
Tabelle 3.1	Zuordnung von Güterarten nach NST/R zu Wirtschaftstätigkeiten nach ÖNACE für die Ermittlung von Quellverkehrsaufkommen	16
Tabelle 3.2	Zuordnung von Güterarten nach NST/R zu Wirtschaftstätigkeiten nach ÖNACE für die Ermittlung von Zielverkehrsaufkommen	16
Tabelle 3.3	Parameter der EVA-Funktion für den Straßen- und Schienengüterverkehr	19
Tabelle 3.4	Direkte und Kreuzelastizitäten der Nachfrage im Straßen- und Schienengüterverkehr	22
Tabelle 4.1	Ergebnisse auf Basis des Verkehrsmodells	26
Tabelle 4.2	Ergebnisse auf Basis des Elastizitätsansatzes	27
Abbildung 3.1	Transportkosten im Straßengüterverkehr in Frankreich [EUR/t-km].....	14
Abbildung 3.5	Beurteilung der Modellgüte: Gegenüberstellung von berechneten und beobachteten Verkehrsaufkommen für NST/R-Gruppen 2 und 3 ...	20
Abbildung 4.1	Veränderungen der Güterverkehrsaufkommens der NST/R-Gruppen 2 und 3 mit den Ansätzen "Verkehrsmodell" und "Elastizitäten"	29

Verzeichnis der Anhänge

- Anhang 1: Beobachtete OD-Matrix für die NST/R-Gruppen 2 und 3 im Straßengüterverkehr
- Anhang 2: Beobachtete OD-Matrix für die NST/R-Gruppen 2 und 3 im Schienengüterverkehr
- Anhang 3: Transportdistanzenmatrix Straßen- und Schienenverkehr
- Anhang 4: Transportkostenmatrix Straßengüterverkehr
- Anhang 5: Transportkostenmatrix Schienengüterverkehr
- Anhang 6: Berechnete OD-Matrix für die NST/R-Gruppen 2 und 3 im Straßengüterverkehr
- Anhang 7: Berechnete OD-Matrix für die NST/R-Gruppen 2 und 3 im Schienengüterverkehr
- Anhang 8: Mautkosten je Fahrt und Tonne
- Anhang 9: Ansatz Elastizität: Veränderung des Güterverkehrsaufkommens der NST/R-Gruppen 2 und 3 im Straßengüterverkehr
- Anhang 10: Ansatz Elastizität: Veränderung des Güterverkehrsaufkommens der NST/R-Gruppen 2 und 3 im Schienengüterverkehr
- Anhang 11: Verkehrsmodell: Veränderung des Güterverkehrsaufkommens der NST/R-Gruppen 2 und 3 im Straßengüterverkehr
- Anhang 12: Verkehrsmodell: Veränderung des Güterverkehrsaufkommens der NST/R-Gruppen 2 und 3 im Schienengüterverkehr

Anhang 3: Transportdistanzenmatrix Straßen- und Schienenverkehr

Transportdistanzen (km)	Straße und Schiene																			
	AT111	AT112	AT113	AT121	AT122	AT123	AT124	AT125	AT126	AT127	AT130	CZ062	SK010	HU221	HU222					
AT111	Mittelburgenlê	10	51,4	43,6	218,1	51,2	156,1	227,6	154,3	118,2	78	100,3	227,5	118	107,7	37,6				
AT112	Nordburgenla	51,4	20	101,9	175	29,1	113,1	184,5	111	74,6	34,4	56,4	195,4	69,4	113,1	87,1				
AT113	Südburgenlan	43,6	101,9	20	243,5	73,3	181,5	253	179,7	143,6	100	125,7	252,9	183,1	139,5	35,6				
AT121	Mostviertel-EI	218,1	175	243,5	30	177,6	70,8	80,5	142,2	165,5	128,7	147,6	274,8	205	266,4	280,7				
AT122	NÖ-Süd	51,2	29,1	73,3	177,6	30	114,9	183,4	113,1	77	32,4	59,1	186,3	116,5	138,6	88,3				
AT123	Sankt Pölten	156,1	113,1	181,5	70,8	114,9	10	71,9	79,3	102,6	65,8	84,7	211,9	142,1	203,5	217,8				
AT124	Waldviertel	227,6	184,5	253	80,5	183,4	71,9	30	82,5	105,7	137	125,3	155,4	185,5	246,9	289				
AT125	Weinviertel	154,3	111	179,7	142,2	113,1	79,3	82,5	20	37	92,1	56,7	99,6	116,9	178,3	216,4				
AT126	Wr. Umland-H	118,2	74,6	143,6	165,5	77	102,6	105,7	37	20	55,6	20,3	119	80,4	141,87	179,9				
AT127	Wr. Umland-S	78	34,4	100	128,7	32,4	65,8	137	92,1	55,6	20	36,5	99,6	93,9	155,3	135,2				
AT130	Wien	100,3	56,4	125,7	147,6	59,1	84,7	125,3	56,7	20,3	36,5	10	128,3	64,1	126,1	161,8				
CZ062	Jihomoravsky	227,5	195,4	252,9	274,8	186,3	211,9	155,4	99,6	119	99,6	128,3	30	129,3	126,1	273,4				
SK010	Bratislavsky k	118	69,4	183,1	205	116,5	142,1	185,5	116,9	80,4	93,9	64,1	129,3	10	82,8	147,3				
HU221	Gyor-Moson-S	107,7	113,1	139,5	266,4	138,6	203,5	246,9	178,3	141,87	155,3	126,1	126,1	82,8	30	104,2				
HU222	Vas	37,6	87,1	35,6	280,7	88,3	217,8	289	216,4	179,9	135,2	161,8	273,4	147,3	104,2	30				

Anhang 4: Transportkostenmatrix Straßengüterverkehr

Fahrkosten Straße je Tonne [EUR/t]		AT111	AT112	AT113	AT121	AT122	AT123	AT124	AT125	AT126	AT127	AT130	CZ062	SK010	HU221	HU222
		Mittelburgenlê	Nordburgenlê	Südburgenlê	Mostviertel-EiNÖ-Süd	Sankt Pölten	Waldviertel	Weinviertel	Wr. Umland-† Wr. Umland-§ Wien	Jihomoravsky k Gyor-Moson-† Vas						
AT111	Mittelburgenlê	3,00	14,91	13,08	27,48	14,85	26,54	27,77	26,23	25,77	20,75	23,07	27,76	25,72	24,77	11,28
AT112	Nordburgenlê	14,91	6,00	23,44	26,95	8,73	24,66	26,94	24,20	19,84	10,32	16,36	26,97	19,29	24,66	22,12
AT113	Südburgenlê	13,08	23,44	6,00	27,76	19,50	26,50	27,83	27,67	26,14	23,00	25,89	27,82	26,73	27,06	10,68
AT121	Mostviertel-Ei	27,48	26,95	27,76	9,00	27,35	18,83	20,45	25,88	26,81	26,51	26,86	28,03	26,65	28,24	27,51
AT122	NÖ-Süd	14,85	8,73	19,50	27,35	9,00	25,05	26,78	24,66	20,48	9,72	17,14	27,20	25,40	26,89	22,43
AT123	Sankt Pölten	26,54	24,66	26,50	18,83	25,05	3,00	19,13	21,09	23,60	18,29	21,51	26,70	25,86	26,46	27,44
AT124	Waldviertel	27,77	26,94	27,83	20,45	26,78	19,13	9,00	20,96	24,31	26,58	25,81	26,42	27,08	28,15	28,32
AT125	Weinviertel	26,23	24,20	27,67	25,88	24,66	21,09	20,96	6,00	11,10	22,29	16,44	24,10	25,48	27,46	27,27
AT126	Wr. Umland†	25,77	19,84	26,14	26,81	20,48	23,60	24,31	11,10	6,00	16,12	6,09	25,94	20,42	25,82	27,70
AT127	Wr. Umland-§	20,75	10,32	23,00	26,51	9,72	18,29	26,58	22,29	16,12	6,00	10,95	24,10	22,72	26,40	26,23
AT130	Wien	23,07	16,36	25,89	26,86	17,14	21,51	25,81	16,44	6,09	10,95	3,00	26,43	17,82	25,98	26,21
CZ062	Jihomoravsky	27,76	26,97	27,82	28,03	27,20	26,70	26,42	24,10	25,94	24,10	26,43	9,00	26,64	25,98	27,89
SK010	Bratislavsky k	25,72	19,29	26,73	26,65	25,40	25,86	27,08	25,48	20,42	22,72	17,82	26,64	3,00	21,03	26,81
HU221	Gyor-Moson-§	24,77	24,66	27,06	28,24	26,89	26,46	28,15	27,46	25,82	26,40	25,98	25,98	21,03	9,00	23,97
HU222	Vas	11,28	22,12	10,68	27,51	22,43	27,44	28,32	27,27	27,70	26,23	26,21	27,89	26,81	23,97	9,00

Anhang 5: Transportkostenmatrix Schienengüterverkehr

Fahrtkosten Schiene je Tonne [EUR/t]		AT111	AT112	AT113	AT121	AT122	AT123	AT124	AT125	AT126	AT127	AT130	CZ062	SK010	HU221	HU222
	Mittelburgenlê Nordburgenlê Südburgenlê	Mittelburgenlê Nordburgenlê Südburgenlê	Mostviertel-EINÖ-Süd	Sankt Pölten Waldviertel Weinviertel	Wr. Umland-† Wr. Umland-§ Wien	Wr. Umland-† Wr. Umland-§ Wien	Jihomoravsky Bratislavsky k Gyor-Moson-† Vas									
AT111	Mittelburgenlê	33,35	34,80	34,53	40,63	34,79	38,46	40,97	38,40	37,14	35,73	36,51	40,96	37,13	36,77	34,32
AT112	Nordburgenlê	34,80	33,70	36,57	39,13	34,02	36,96	39,46	36,89	35,61	34,20	34,97	39,84	35,43	36,96	36,05
AT113	Südburgenlê	34,53	36,57	33,70	41,52	35,57	39,35	41,86	39,29	38,03	36,50	37,40	41,85	39,41	37,88	34,25
AT121	Mostviertel-EI	40,63	39,13	41,52	34,05	39,22	35,48	35,82	37,98	38,79	37,50	38,17	42,62	40,18	42,32	42,82
AT122	NÖ-Süd	34,79	34,02	35,57	39,22	34,05	37,02	39,42	36,96	35,70	34,13	35,07	39,52	37,08	37,85	36,09
AT123	Sankt Pölten	38,46	36,96	39,35	35,48	37,02	33,35	35,52	35,78	36,59	35,30	35,96	40,42	37,97	40,12	40,62
AT124	Waldviertel	40,97	39,46	41,86	35,82	39,42	35,52	34,05	35,89	36,70	37,80	37,39	38,44	39,49	41,64	43,12
AT125	Weinviertel	38,40	36,89	39,29	37,98	36,96	35,78	35,89	33,70	34,30	36,22	34,98	36,49	37,09	39,24	40,57
AT126	Wr. Umland†	37,14	35,61	38,03	38,79	35,70	36,59	36,70	34,30	33,70	34,95	33,71	37,17	35,81	37,97	39,30
AT127	Wr. Umland-§	35,73	34,20	36,50	37,50	34,13	35,30	37,80	36,22	34,95	33,70	34,28	36,49	36,29	38,44	37,73
AT130	Wien	36,51	34,97	37,40	38,17	35,07	35,96	37,39	34,98	33,71	34,28	33,35	37,49	35,24	37,41	38,66
CZ062	Jihomoravsky	40,96	39,84	41,85	42,62	39,62	40,42	38,44	36,49	37,17	36,49	37,49	34,05	37,53	37,41	42,57
SK010	Bratislavsky k	37,13	35,43	39,41	40,18	37,08	37,97	39,49	37,09	35,81	36,29	35,24	37,53	33,35	35,90	38,16
HU221	Gyor-Moson-§	36,77	36,96	37,88	42,32	37,85	40,12	41,64	39,24	37,97	38,44	37,41	37,41	35,90	34,05	36,65
HU222	Vas	34,32	36,05	34,25	42,82	36,09	40,62	43,12	40,57	39,30	37,73	38,66	42,57	38,16	36,65	34,05

Anhang 6: Berechnete OD-Matrix für die NST/R-Gruppen 2 und 3 im Straßengüterverkehr

Berechnete Verflechtungsmatrix:		NST-R 2+3														
Straße		AT111	AT112	AT113	AT121	AT122	AT123	AT124	AT125	AT126	AT127	AT130	CZ062	SK010	HU221	HU222
Mittelburgenl: Nordburgenla Südburgenlan Mostviertel-Ei NÖ-Süd		38.976	166.727	108.387	300.609	264.083	174.613	332.044	173.467	471.149	444.677	876.255	936	37.973	30.760	15.756
3.436.412 Zielverkehrs		24.491	129.828	63.528	189.233	214.037	125.547	212.013	134.198	494.569	430.873	1.205.858	114.132	28.928	46.053	23.125
AT111	Mittelburgenl: Nordburgenla Südburgenlan Mostviertel-Ei NÖ-Süd	44	100	70	125	169	75	136	75	206	230	464	72	16	33	28
AT112	Nordburgenla	155	1.000	317	838	1.457	524	926	528	1.661	2.276	3.886	485	134	222	124
AT113	Südburgenlar	70	204	272	342	395	207	377	198	564	589	1.172	198	44	86	80
AT121	Mostviertel-Ei	1.100	4.785	3.033	17.955	7.973	7.000	12.577	5.486	14.467	13.784	29.789	5.148	1.153	2.176	1.140
AT122	NÖ-Süd	1.446	8.052	3.387	7.715	13.409	4.822	8.677	4.851	15.152	21.820	35.210	4.491	1.020	1.930	1.142
AT123	Sankt Pölten	440	1.997	1.224	4.675	3.327	5.895	5.110	2.493	6.224	7.050	13.764	2.082	459	893	443
AT124	Waldviertel	768	3.370	2.131	8.016	5.715	4.877	13.963	4.546	11.035	9.684	21.683	3.812	801	1.537	783
AT125	Weinviertel	279	1.273	741	2.316	2.116	1.576	3.011	2.962	6.225	3.853	10.354	1.421	291	543	280
AT126	Wr. Umland-N	1.023	5.332	2.811	8.129	8.799	5.237	9.728	8.285	29.087	17.336	59.667	4.841	1.247	2.068	998
AT127	Wr. Umland-S	3.515	22.523	9.057	23.879	39.063	18.289	26.322	15.813	53.449	79.882	135.943	14.948	3.356	5.907	3.042
AT130	Wien	11.746	63.624	29.794	85.365	104.269	59.061	97.486	70.285	304.297	224.872	783.288	50.136	14.385	21.641	11.002
CZ062	Jihomoravsky	1.879	8.241	5.216	15.310	13.802	9.271	17.786	10.010	25.622	25.661	52.030	17.921	1.987	4.925	1.942
SK010	Bratislavsky k	1.168	6.200	3.146	9.318	8.519	5.550	10.154	5.580	17.940	15.657	40.576	5.401	3.965	2.763	1.471
HU221	Gyor-Moson-S	470	2.018	1.215	3.460	3.170	2.125	3.833	2.046	5.851	5.421	12.007	2.432	543	1.835	900
HU222	Vas	390	1.109	1.114	1.790	1.853	1.042	1.927	1.040	2.788	2.756	6.025	1.925	927	484	449

Anhang 7: Berechnete OD-Matrix für die NST/R-Gruppen 2 und 3 im Schienengüterverkehr

Berechnete Verflechtungsmatrix:		Schiene NST-R 2+3																		
		AT111	AT112	AT113	AT121	AT122	AT123	AT124	AT125	AT126	AT127	AT130	CZ062	SK010	HU221	HU222				
		Mittelburgenlie Südburgenlie Nordburgenlie Wr. Umland-NW. Umland-S Wien Jihomoravsky Bratislavsky k Gyor-Moson-s Vas																		
809.548 Zielverkehrs	809.548 Quellverkehrs	2.444	10.454	33.860	21.090	6.796	39.689	34.867	23.054	43.840	22.903	62.206	103.529	97.649	214.890	223.729	196.211	4.311	53.123	27.210
AT111	Mittelburgenlie	6	25	16	42	41	26	47	25	71	69	148	24	6	11	6				
AT112	Nordburgenlie	38	166	102	288	278	174	316	173	481	467	1.004	165	38	74	38				
AT113	Südburgenlie	16	66	45	116	113	70	127	69	193	187	402	67	15	30	17				
AT121	Mostviertel-Ei	375	1.645	1.027	3.472	2.771	1.961	3.706	1.861	4.981	4.810	10.367	1.727	386	738	375				
AT122	NÖ-Süd	354	1.538	970	2.682	2.593	1.620	2.982	1.611	4.480	4.359	9.352	1.546	346	677	358				
AT123	Sankt Pölten	151	663	413	1.310	1.118	793	1.446	752	2.010	1.944	4.195	695	155	297	151				
AT124	Waldviertel	262	1.152	719	2.362	1.944	1.380	2.700	1.361	3.641	3.369	7.416	1.304	275	526	263				
AT125	Weinviertel	95	417	260	785	703	475	902	491	1.319	1.200	2.664	468	99	189	95				
AT126	Wr. Umland-N	351	1.544	960	2.799	2.602	1.692	3.210	1.756	4.826	4.444	9.951	1.669	367	700	350				
AT127	Wr. Umland-S	1.048	4.618	2.873	8.333	7.803	5.043	9.156	4.923	13.702	13.254	28.630	4.919	1.059	2.020	1.048				
AT130	Wien	3.734	16.444	10.215	29.766	27.694	18.001	33.343	18.221	50.749	47.360	105.428	17.455	3.904	7.437	3.725				
CZ062	Jihomoravsky	642	2.800	1.760	5.136	4.750	3.083	6.086	3.294	8.835	8.444	18.114	3.465	666	1.983	649				
SK010	Bratislavsky k	400	1.767	1.069	3.117	2.892	1.881	3.483	1.899	5.282	4.941	11.012	1.801	439	829	408				
HU221	Gyor-Moson-S	157	670	428	1.174	1.113	707	1.311	713	1.981	1.854	4.126	740	463	835	463				
HU222	Vas	7.821	345	232	589	581	354	647	352	978	949	2.040	942	79	461	87				

Anhang 8: Mautkosten je Fahrt und Tonne

Mautkosten Straße je Fahrt und t [EUR/t]	AT111	AT112	AT113	AT121	AT122	AT123	AT124	AT125	AT126	AT127	AT130	CZ062	SK010	HU221	HU222	
	Mittelburgenl	Nordburgenl	Südburgenl	Mostviertel-EiNÖ-Süd	Sankt Pölten	Waldviertel	Weinviertel	Wr. Umland-1	Wr. Umland-2	Wr. Umland-3	Wien	Jihomoravsky	Bratislavsky	k Gyor-Moson-1	Vas	
AT111	0,0	0,1	0,0	0,0	3,2	0,0	2,4	1,7	1,7	1,4	0,7	1,3	0,8	1,4	1,0	0,0
AT112	0,1	0,0	0,9	2,4	0,0	1,6	1,7	0,9	0,7	0,0	0,0	0,5	0,3	0,6	1,2	0,0
AT113	0,0	0,9	0,0	3,4	0,2	2,6	2,7	2,0	1,7	0,9	0,9	1,6	1,1	2,5	1,4	0,0
AT121	3,2	2,4	3,4	0,0	2,3	0,6	0,0	1,3	2,2	1,5	2,1	2,1	1,6	3,0	4,0	3,3
AT122	0,0	0,0	0,2	2,3	0,0	1,4	1,4	0,8	0,5	0,0	0,0	0,4	0,0	1,3	1,5	0,0
AT123	2,4	1,6	2,6	0,6	1,4	0,0	0,0	0,5	1,4	0,7	1,2	1,2	0,8	2,2	3,2	2,5
AT124	2,4	1,7	2,7	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7	0,7	0,7	0,0	1,7	2,7	2,5
AT125	1,7	0,9	2,0	1,3	0,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6	0,1	0,0	1,0	2,0	1,8
AT126	1,4	0,7	1,7	2,2	0,5	1,4	0,1	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	0,8	1,8	1,5
AT127	0,7	0,0	0,9	1,5	0,0	0,7	0,7	0,6	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	1,0	2,0	0,7
AT130	1,3	0,5	1,6	2,1	0,4	1,2	0,7	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	1,7	1,4
CZ062	0,8	0,3	1,1	1,6	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6
SK010	1,4	0,6	2,5	3,0	1,3	2,2	1,7	1,0	0,8	1,0	0,7	0,7	0,0	0,0	0,6	0,9
HU221	1,0	1,2	1,4	4,0	1,5	3,2	2,7	2,0	1,8	2,0	1,7	1,7	0,0	0,6	0,0	0,0
HU222	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	2,5	2,5	1,8	1,5	0,7	0,7	1,4	0,6	0,9	0,0	0,0

Mautkosten 0,22 [EUR/km]

Durchschnittliches Transportaufkommen je Fahrt:

11,4 [t]

Quelle: ÖSTAT. Verkehrsstatistik 2002, S. 33 (Wert für 2001)

Anhang 9: Ansatz Elastizität: Veränderung des Güterverkehrsaufkommens der NST/R-Gruppen 2 und 3 im Straßengüterverkehr

Elastizität: Veränderung Verkehrsaufk. Straße

2+3 Güterarten

	AT111	AT112	AT113	AT121	AT122	AT123	AT124	AT125	AT126	AT127	AT130	CZ062	SK010	HU221	HU222
Mittelburgenland	-12.122	-172													
Nordburgenland		-230													
Südburgenland															
Mostviertel-Eisenw.															
NÖ-Süd															
Sankt Pölten															
Waldviertel															
Weinviertel															
Wr. Umland-Nordteil															
Wr. Umland-Südteil															
Wien															
Jihomoravsky															
Bratislavsky k															
Gyor-Moson-§															
Vas															
	-68.826	-48.751	-48.751	-48.751	-3.685	-3.685	-3.685	-3.685	-3.685	-3.685	-3.685	-3.685	-1.873	-1.873	-2.392
Mittelburgenland															
Nordburgenland															
Südburgenland															
Mostviertel-Eisenw.															
NÖ-Süd															
Sankt Pölten															
Waldviertel															
Weinviertel															
Wr. Umland-Nordteil															
Wr. Umland-Südteil															
Wien															
Jihomoravsky															
Bratislavsky k															
Gyor-Moson-§															
Vas															

Elastizitäten:

Straße—Straß -0.8

Schiene—Stra 1.3

Anhang 10: Ansatz Elastizität: Veränderung des Güterverkehrsaufkommens der NST/R-Gruppen 2 und 3 im Schienengüterverkehr

Elastizität: Veränderung Verkehrsaufk.		Schiene		2+3 Güterarten															
				Mittelburgenli: Nordburgenli: Südburgenli: Wr. Umland-Südteil: Wr. Umland-Nordteil: Wien: Jihomoravsky: Bratislavsky k: Gyor-Moson-š: Vas															
27.139		649		AT111	AT112	AT113	AT121	AT122	AT123	AT124	AT125	AT126	AT127	AT130	CZ062	SK010	HU221	HU222	
Mittelburgenli																			
Nordburgenli																			
Südburgenli																			
Mostviertel-Eisenw.																			
NÖ-Süd																			
Sankt Pölten																			
Waldviertel																			
Weinviertel																			
Wr. Umland-Nordteil																			
Wr. Umland-Südteil																			
Wien																			
Jihomoravsky																			
Bratislavsky k																			
Gyor-Moson-š																			
Vas																			
				8.349	10.472	848	253	6.568											

AT111																			
AT112	0																		
AT113																			
AT121																			
AT122																			
AT123																			
AT124																			
AT125																			
AT126																			
AT127																			
AT130	62																		
CZ062	10																		
SK010	0																		
HU221	577																		
HU222																			

Elastizitäten:

Straße-Straß -0.8

Schiene-Stra 1.3

Anhang 11: Verkehrsmodell: Veränderung des Güterverkehrsaufkommens der NST/R-Gruppen 2 und 3 im Straßengüterverkehr

Berechnete OD-Matrix (mit Road Pricing) Straße		NST-R 2+3															
		AT111	AT112	AT113	AT121	AT122	AT123	AT124	AT125	AT126	AT127	AT130	CZ062	SK010	HU221	HU222	
		Mittelburgenland Südburgenland Mostviertel-Ei NÖ-Süd Sankt Pölten Waldviertel Weinviertel Wr. Umland-Wr. Umland-Wien Jihomoravsky Bratislavsky k Gyor-Moson-s Vas															
Zielverkehrsaufkommen		23.406	126.635	60.194	178.331	209.407	120.349	206.469	131.932	487.336	423.994	1.189.459	112.958	28.024	43.566	22.115	
3.364.176	3.364.176	3.364.176	126.635	60.194	178.331	209.407	120.349	206.469	131.932	487.336	423.994	1.189.459	112.958	28.024	43.566	22.115	
AT111	Mittelburgenland	1.795	44	101	71	114	171	70	128	72	199	227	450	70	16	33	28
AT112	Nordburgenland	14.206	153	997	307	775	1.453	496	877	511	1.618	2.269	3.803	479	131	213	123
AT113	Südburgenland	4.656	71	202	277	313	399	193	353	189	543	582	1.134	194	41	84	81
AT121	Mostviertel-Eisenw.	123.809	1.016	4.517	2.778	18.260	7.562	6.971	12.791	5.349	13.731	13.368	28.406	4.980	1.069	1.963	1.049
AT122	NÖ-Süd	130.242	1.438	8.006	3.348	7.153	13.332	4.578	8.249	4.704	14.797	21.695	34.537	4.465	973	1.830	1.136
AT123	Sankt Pölten	54.659	411	1.908	1.134	4.604	3.196	5.929	5.140	2.464	5.981	6.918	13.274	2.041	431	814	413
AT124	Waldviertel	90.647	710	3.185	1.953	7.975	5.437	4.852	13.890	4.522	10.932	9.415	21.096	3.792	756	1.410	722
AT125	Weinviertel	36.469	262	1.224	691	2.199	2.045	1.534	2.982	2.935	3.746	3.746	10.230	1.408	279	505	262
AT126	Wr. Umland-Nordteil	161.269	968	5.157	2.637	7.510	8.555	4.952	9.590	8.202	28.793	16.968	59.065	4.792	1.202	1.936	942
AT127	Wr. Umland-Südteil	445.767	3.402	22.295	8.712	22.541	38.669	17.662	25.462	15.362	52.315	79.076	133.830	14.797	3.209	5.488	2.947
AT130	Wien	1.892.926	11.140	61.755	28.061	79.178	101.761	56.019	94.316	69.344	301.026	221.230	774.866	49.597	13.896	20.317	10.420
CZ062	Jihomoravsky kraj	206.525	1.806	8.053	4.971	14.363	13.613	8.915	17.543	9.874	25.272	25.311	51.320	17.627	1.960	3.870	1.927
SK010	Bratislavsky kraj	132.812	1.126	6.127	2.938	8.565	8.246	5.228	9.721	5.443	17.609	15.251	39.949	5.445	3.992	2.706	1.447
HU221	Gyor-Moson-Sopron	45.031	466	1.987	1.190	3.144	3.097	1.974	3.621	1.968	5.667	5.211	11.670	2.904	545	1.776	513
HU222	Vas	23.362	394	1.121	1.126	1.636	1.873	976	1.805	995	2.687	2.726	5.831	1.945	499	1.454	

