



Leopold-Franzens-Universität Innsbruck

**Verteilungswirkungen
der Mauten im Alpenraum**

Stefan Troyer

Diplomarbeit

März 2002

STEFAN TROYER

Verteilungswirkungen der Mauten im Alpenraum

DIPLOMARBEIT

Eingereicht an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck

Baufakultät (Architektur und Bauingenieurwesen)

Zur Erlangung des akademischen Grades

"DIPLOM-INGENIEUR"

Prof. Dr.-Ing. Kay W. Axhausen, M.S.

Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT)

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Innsbruck, am 06. März 2002

Danksagung

Die Bearbeitung der vorliegenden Diplomarbeit erfolgte zum Abschluss meines Studiums Bauingenieurwesen mit der Vertiefungsrichtung Verkehrswesen und Infrastrukturplanung an der Universität Innsbruck.

Ich möchte mich bei Prof. Dr.-Ing. Kay W. Axhausen an dieser Stelle sowohl für die im Studium vermittelten Denkweisen, als auch für die unterstützende Betreuung bei der Erstellung dieser Arbeit bedanken. In der Zeit eines zusammenwachsenden Europas wurde mir durch diese Aufgabenstellung eine interessante Möglichkeit geboten, in einem verkehrsplanerischen Sinn für Europa zu arbeiten.

Für die Unterstützungen und Hilfestellungen zum Verständnis des vorhandenen europäischen Verkehrsmodells, überlassen von der Prognos AG, möchte ich Dipl.-Ing. M. Vrtic vom IVT an der ETH Zürich meinen Dank aussprechen.

Das elementare Werkzeug zur Abbildung und Bearbeitung des Verkehrsmodells, das Verkehrsplanungsprogramm VISUM, wurde mir über Vermittlung durch Prof. Dr.-Ing. Kay W. Axhausen von der PTV AG in Karlsruhe zur Verfügung gestellt. Bei auftretenden Fragestellungen und notwendigen Auskünften, den Charakter von VISUM betreffend, stand mir jederzeit Dipl.-Ing. M. Friedrich hilfreich zur Seite.

Mein Dank gilt auch Hr. J. Kroese von der Wirtschaftskammer Tirol für das Überlassen von Informationen bezüglich der Bemautung von Lastkraftwagen in Europa.

Zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben auf konspirative Weise meine Partnerin Sabine und mein Sohn Fabian.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	I
Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungen	V
Tabellen	VIII
Beilagen	XII
Kurzfassung	1
Abstract	3
1. Einleitung	5
1.1 Hintergrund	5
1.2 Aufbau der Diplomarbeit	8
2. Grundlagen	10
2.1 VISUM	10
2.2 Generalisierte Kosten	25
2.3 Preiselastizitäten	27
2.4 Logit-Modell	30
2.5 Kaufkraftparitäten	32
3. Erzeugung des Verkehrsmodells	36
3.1 Datengrundlagen	36
3.2 Programm PolyVisum	52
3.3 Verkehrsmodell 1992	60
3.4 Verkehrsmodell 1998	71
4. Nachfrageunterdrückung	97
4.1 Grundlagen	97
4.2 Implementierung	98
4.3 Parameter für Nachfrageunterdrückung	103
5. Variation der Mauten	107
5.1 Datengrundlagen	107
5.2 Programm VisumMautVariation	113
5.3 Variation an wichtigen Alpenübergängen	120

6.	Analyse der Mautvariationen	121
6.1	Datengrundlagen	121
6.2	Programm RegFlaeche.....	123
6.3	Analyse der wichtigen Alpenübergänge	126
6.4	Grafische Auswertungen Frejus-Tunnel.....	142
6.5	Grafische Auswertungen Mt. Blanc-Tunnel.....	151
6.6	Grafische Auswertungen Großer St. Bernhard-Tunnel	158
6.7	Grafische Auswertungen Gotthard-Tunnel.....	165
6.8	Grafische Auswertungen Brenner-Autobahn.....	174
7.	Zusammenfassung und Ausblick.....	183
8.	Literatur.....	187

Anhänge

A	Aufgabenstellung	191
B	Programm PolyVisum.....	193
B.1	Programmfunktionen	193
C	Programm VisumMautVariation.....	196
C.1	Programmfunktionen	196
D	Programm RegFlaeche	199
D.1	Programmfunktionen	199
E	CD-ROM	201

Abbildungen

Abbildung 1	Entwicklung des alpenquerenden Güterverkehrs 1980-2000	6
Abbildung 2	Struktur des Verkehrsmodells in VISUM	14
Abbildung 3	CR-Funktion nach BPR für $a=3.5$, $b=6.0$ und $c=1.0$	16
Abbildung 4	Zeit-Kosten-Diagramm mit effizienter Front.....	19
Abbildung 5	Dichtefunktion der Zufallsgröße vot	21
Abbildung 6	Verteilungsfunktion der Zufallsgröße vot	22
Abbildung 7	Routenwahl für TRIBUT-Startlösung	23
Abbildung 8	Algorithmus des TRIBUT-Umlegungsverfahrens.....	24
Abbildung 9	Struktur der Netzdatei *.net.....	49
Abbildung 10	Struktur der Fahrtenmatrixdatei *.fma im O-Format.....	51
Abbildung 11	Struktur der Hintergrunddatei *.hgt.....	52
Abbildung 12	Einteilung der Verkehrsbezirke für Europa	64
Abbildung 13	Verkehrsangebot in Europa.....	73
Abbildung 14	Entwicklung der Personenbeförderung in der EU15.....	80
Abbildung 15	Entwicklung der Güterbeförderung in der EU15	81
Abbildung 16	Matrixspinne Pkw in Europa.....	83
Abbildung 17	Matrixspinne Lkw in Europa	84
Abbildung 18	Pkw-Belastungen im Alpenraum 1998	93
Abbildung 19	Lkw-Belastungen im Alpenraum 1998.....	94
Abbildung 20	Pkw-Verkehrsspinnen des inneren Alpenbogens 1998	95
Abbildung 21	Lkw-Verkehrsspinnen des inneren Alpenbogens 1998.....	96
Abbildung 22	Verlauf des Korrekturfaktors κ	101
Abbildung 23	Reaktionen einer Nachfragegruppe bei $P_0(k)_{gew}=0,5$ und $E=-0,1$	102

Abbildung 24	Reaktionen einer Nachfragegruppe bei $P_0(k)_{gew}=0,5$ und $E=-0,3$	102
Abbildung 25	Struktur der Attributdatei *.att.....	109
Abbildung 26	Struktur der Kostenparameterdatei *.kpa für Zeitkostenwerte	110
Abbildung 27	Struktur der Kostenparameterdatei *.kpa für Distanzkostenwerte...	110
Abbildung 28	Struktur der Kostenparameterdatei *.kpa für Elastizitäten	110
Abbildung 29	Struktur der Auswertungsdatei *.xls	112
Abbildung 30	Struktur der Nullfalldatei Nseg_PvtPnt0.pvt.....	113
Abbildung 31	Struktur der Planfalldatei Nseg_PvtPnt.pvt.....	113
Abbildung 32	Struktur der Variationsdatei *.txt.....	122
Abbildung 33	Struktur der Mautdatei *.txt.....	122
Abbildung 34	Pkw-Belastung Frejus in [Fzg/24h], Bezugsmauten Frejus	142
Abbildung 35	Lkw-Belastung Frejus in [Fzg/24h], Bezugsmauten Frejus.....	143
Abbildung 36	Mauteinnahmen Frejus in [ECU _{KKP} /24h] ₉₈ , Bezugsmauten Frejus..	144
Abbildung 37	Pkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Frejus.....	145
Abbildung 38	Pkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Frejus, Detail Frejus	146
Abbildung 39	Lkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Frejus	147
Abbildung 40	Lkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Frejus, Detail Frejus	148
Abbildung 41	Pkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Frejus	149
Abbildung 42	Lkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Frejus.....	150
Abbildung 43	Pkw-Belastung Mt. Blanc in [Fzg/24h], Bezugsmauten Mt. Blanc...	151
Abbildung 44	Lkw-Belastung Mt. Blanc in [Fzg/24h], Bezugsmauten Mt. Blanc...	152
Abbildung 45	Mauteinnahmen Mt. Blanc in [ECU _{KKP} /24h] ₉₈ , Bezugsmauten Mt. Blanc.....	153
Abbildung 46	Pkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Mt. Blanc.....	154
Abbildung 47	Lkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Mt. Blanc	155

Abbildung 48	Pkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Mt. Blanc	156
Abbildung 49	Lkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Mt. Blanc.....	157
Abbildung 50	Pkw-Belastung Großer St. Bernhard in [Fzg/24h], Bezugsmauten Großer St. Bernhard.....	158
Abbildung 51	Lkw-Belastung Großer St. Bernhard in [Fzg/24h], Bezugsmauten Großer St. Bernhard.....	159
Abbildung 52	Mauteinnahmen Großer St. Bernhard in [ECU _{KKP} /24h] ₉₈ , Bezugsmauten Großer St. Bernhard	160
Abbildung 53	Pkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Großer St. Bernhard	161
Abbildung 54	Lkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Großer St. Bernhard	162
Abbildung 55	Pkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Großer St. Bernhard	163
Abbildung 56	Lkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Großer St. Bernhard.....	164
Abbildung 57	Pkw-Belastung Gotthard in [Fzg/24h], Bezugsmauten Großer St. Bernhard	165
Abbildung 58	Lkw-Belastung Gotthard in [Fzg/24h], Bezugsmauten Großer St. Bernhard	166
Abbildung 59	Mauteinnahmen Gotthard in [ECU _{KKP} / 24h] ₉₈ , Bezugsmauten Großer St. Bernhard.....	167
Abbildung 60	Pkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Gotthard.....	168
Abbildung 61	Pkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Gotthard, Detail Gotthard.....	169
Abbildung 62	Lkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Gotthard	170
Abbildung 63	Lkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Gotthard, Detail Gotthard.....	171
Abbildung 64	Pkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Gotthard	172
Abbildung 65	Lkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Gotthard.....	173
Abbildung 66	Pkw-Belastung Brenner in [Fzg/24h], Bezugsmauten Brenner	174
Abbildung 67	Lkw-Belastung Brenner in [Fzg/24h], Bezugsmauten Brenner	175

Abbildung 68	Mauteinnahmen Brenner in $[ECU_{KKP}/24h]_{98}$, Bezugsmauten Brenner	176
Abbildung 69	Pkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Brenner.....	177
Abbildung 70	Pkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Brenner, Detail Brenner	178
Abbildung 71	Lkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Brenner	179
Abbildung 72	Lkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Brenner, Detail Brenner	180
Abbildung 73	Pkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Brenner.....	181
Abbildung 74	Lkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Brenner	182
Abbildung B-1	Funktion Visum-Netz.....	194
Abbildung B-2	Funktion Visum-Matrix	195
Abbildung B-3	Funktion Visum-Grafik HGT	195
Abbildung C-1	Funktion Mautvariation-Starten ohne Nachfrageunterdrückung.....	197
Abbildung C-2	Funktion Mautvariation-Starten mit Nachfrageunterdrückung.....	198
Abbildung D-1	Programm RegFlaeche	200

Tabellen

Tabelle 1	Kostenelemente für Nutzer eines Verkehrsangebotes.....	26
Tabelle 2	Elastizitäten und die Reaktion der Nachfrage.....	28
Tabelle 3	Qualität des Verkehrsablaufs	29
Tabelle 4	Kaufkraftparitäten für das BIP 1992-1998 (ATS=1)	32
Tabelle 5	Mittelkurse für Devisen 1992-1998 (ATS=1).....	33

Tabelle 6	Preisniveauindizes 1992-1998 (Österreich=100%).....	33
Tabelle 7	Veränderung des Verbraucherpreisindex in Österreich 1992-1998 ..	34
Tabelle 8	Parameterdateien für POLYDROM	36
Tabelle 9	Netz- bzw. Verkehrsdateien für POLYDROM.....	37
Tabelle 10	Datensatz der IPDEFN.000	37
Tabelle 11	Codes der IPDEFN.000	38
Tabelle 12	Datensatz der IPOCCU.var	38
Tabelle 13	Datensatz der IPSUPL.var	39
Tabelle 14	Datensatz der IPGRAF.var	39
Tabelle 15	Datensatz der INNODE.var	40
Tabelle 16	Datensatz der INLINK.var	41
Tabelle 17	Datensatz der INZONE.var	41
Tabelle 18	Datensatz der INTRIP.var	42
Tabelle 19	Eingabedateien für VISUM.....	43
Tabelle 20	Liste der Netzparameter.....	43
Tabelle 21	Liste der Verkehrssysteme.....	44
Tabelle 22	Liste der Modi	44
Tabelle 23	Liste der Nachfragesegmente	45
Tabelle 24	Liste der Knotentypen	45
Tabelle 25	Liste der Knoten.....	46
Tabelle 26	Liste der Bezirke	46
Tabelle 27	Liste der Streckentypen	47
Tabelle 28	Liste der Strecken	48
Tabelle 29	Liste der Anbindungen	48
Tabelle 30	Anzahl der Datensätze in den POLYDROM-Parameterdateien.....	60

Tabelle 31	Anzahl der Datensätze in den POLYDROM-Netzdateien	61
Tabelle 32	VISUM-Verkehrssysteme	61
Tabelle 33	VISUM-Knotentypen	62
Tabelle 34	VISUM-Streckentypen.....	63
Tabelle 35	VISUM-Bezirke, Teil 1	65
Tabelle 36	VISUM-Bezirke, Teil 2.....	66
Tabelle 37	VISUM-Netzelemente in Europa_IV_92	66
Tabelle 38	Anzahl der Datensätze in den POLYDROM-Verkehrsdateien	68
Tabelle 39	Pkw-Besetzungsgrade bzw. Lkw-Ladefaktoren	69
Tabelle 40	Zuordnung der NST/R-Kategorien zu den internen Gütergruppen ...	69
Tabelle 41	VISUM-Nachfragesegmente mit Fahrtenanzahl 1992	70
Tabelle 42	Länge der Autobahnen in den EU15 zum Jahresende	71
Tabelle 43	VISUM-Netzelemente in Europa_IV_98	72
Tabelle 44	VISUM-Streckentypen in Europa_IV_98	72
Tabelle 45	Kennzahlen der Mautgebühren auf Autobahnen in Frankreich 1998	75
Tabelle 46	Mautgebühren in Frankreich 1998.....	75
Tabelle 47	Kennzahlen der Mautgebühren auf Autobahnen in Italien 1998	76
Tabelle 48	Mautgebühren in Italien 1998.....	76
Tabelle 49	Mautgebühren in der Schweiz 1998	77
Tabelle 50	Straßenbenutzungsgebühren in der Schweiz 1998	77
Tabelle 51	Mautgebühren in Österreich 1998.....	78
Tabelle 52	Straßenbenutzungsgebühren in Österreich 1998	78
Tabelle 53	Straßenbenutzungsgebühren in D, BENELUX, DK und S 1998	79
Tabelle 54	VISUM-Nachfragesegmente mit Fahrtenanzahl 1998	85
Tabelle 55	CR-Funktionen der Streckentypen in Europa_IV_98.....	86

Tabelle 56	Kennzahlen der <i>values of time</i> 1994	87
Tabelle 57	VOT-Parameter für TRIBUT-Umlegung	87
Tabelle 58	<i>Values of time</i> verschiedener europäischer Länder.....	88
Tabelle 59	Alpenübergänge mit Zähldaten 1998	90
Tabelle 60	IV-Belastungen und Abweichungen von den Zähldaten 1998	92
Tabelle 61	Faktoren für die Betriebskostenermittlung nach der EWS	105
Tabelle 62	Kostenparameter für die Nachfrageunterdrückung.....	106
Tabelle 63	Preiselastizitäten für die Nachfrageunterdrückung	106
Tabelle 64	Eingabedateien für VisumMautVariation	107
Tabelle 65	Ausgabedateien von VisumMautVariation.....	111
Tabelle 66	Eingabedateien für RegFlaeche.....	121
Tabelle 67	Parameter der Regressionsanalysen am Frejus-Tunnel.....	127
Tabelle 68	Parameter der Regressionsanalysen am Mt. Blanc-Tunnel.....	127
Tabelle 69	Parameter der Regressionsanalysen am Großen St. Bernhard-Tunnel	127
Tabelle 70	Parameter der Regressionsanalysen am Gotthard-Tunnel.....	127
Tabelle 71	Parameter der Regressionsanalysen am Brenner.....	128
Tabelle 72	IV-Belastungen am Frejus bei Mautoptimum, analytisch und nach VISUM	130
Tabelle 73	IV-Belastungen am Mt. Blanc bei Mautoptimum, analytisch und nach VISUM	130
Tabelle 74	IV-Belastungen am Großen St. Bernhard bei Mautoptimum, analytisch und nach VISUM	131
Tabelle 75	IV-Belastungen am Gotthard bei Mautoptimum, analytisch und nach VISUM	131
Tabelle 76	IV-Belastungen am Brenner bei Mautoptimum, analytisch und nach VISUM	131
Tabelle 77	Fahrtenanzahl bei Mautoptimum Frejus	132

Tabelle 78	Fahrtenanzahl bei Mautoptimum Mt. Blanc	133
Tabelle 79	Fahrtenanzahl bei Mautoptimum Großer St. Bernhard	133
Tabelle 80	Fahrtenanzahl bei Mautoptimum Gotthard	134
Tabelle 81	Fahrtenanzahl bei Mautoptimum Brenner	134
Tabelle 82	IV-Belastungen bei Mautoptimum Frejus, nach VISUM.....	137
Tabelle 83	IV-Belastungen bei Mautoptimum Mt. Blanc, nach VISUM.....	138
Tabelle 84	IV-Belastungen bei Mautoptimum Großer St. Bernhard, nach VISUM	139
Tabelle 85	IV-Belastungen bei Mautoptimum Gotthard, nach VISUM.....	140
Tabelle 86	IV-Belastungen bei Mautoptimum Brenner, nach VISUM	141

Beilagen

Beilage 1	CD-ROM Diplomarbeit Stefan Troyer	203
-----------	---	-----

Diplomarbeit

Verteilungswirkungen der Mauten im Alpenraum

Stefan Troyer

Leopold-Franzens-Universität
Technikerstr. 13
A-6020 Innsbruck

März 2002

Kurzfassung

Die Länder im Alpenbogen (Österreich, Schweiz, Frankreich und Italien) steuern die Nachfrage im Verkehrsnetz zum Teil über die erhobenen Mauten und Straßengebühren. Diese Arbeit untersucht die Auswirkungen der Mauten und ermittelt die Mauteinstellungen, welche die Einnahmen auf den wichtigsten Alpenübergängen maximieren.

Die Entwicklung einer PolyVisum-Schnittstelle mittels Visual Basic ermöglicht die Transformation der vorhandenen europäischen IV-Verkehrsmodellldaten aus dem POLYDROM-Format in das VISUM-Format. Es erfolgt eine Kalibrierung für das Jahr 1998 unter Verwendung vorhandener Zählergebnisse bei Berücksichtigung der vorhandenen Mauten und Gebühren. Das Verkehrsmodell wird um die Option einer Nachfrageunterdrückung, einem *pivot-point*-Modell, ergänzt, wobei die neuen Fahrtenmatrizen über die generalisierten Kosten und die gewählten Elastizitäten neu berechnet werden. Die Variationen der Mauteinstellungen zur Ermittlung der Mauteinnahmenmaxima erfolgen mit einer weiteren Visual Basic-Routine, der VisumMautVariation. Die Umlegungsergebnisse werden mit einem MATLAB-Programm an Regressionsfunktionen angepasst und dargestellt.

Es zeigt sich, dass für die untersuchten Alpenübergänge Frejus, Mt. Blanc, Großer St. Bernhard, Gotthard und Brenner Pkw- und Lkw-Mautgebühren existieren, welche die Einnahmen der jeweiligen Betreibergesellschaften maximieren. Die Belastungen auf den betrachteten Alpenquerungen reduzieren sich dadurch um bis zu 66% bei den Pkw und um bis zu 67% bei den Lkw. Die Pkw-Mauten liegen in Bereichen von 76 bis 849%, die Lkw-Mauten in Bereichen von 137 bis 347% der ursprünglich eingehobenen Mauten des Jahres 1998.

Schlagworte

Alpen – Mauten – TRIBUT-Umlegung – *Pivot-point*-Modell – Verkehrsverteilung – Maximierung der Einnahmen

Thesis

Effects of tolls in the Alpine area

Stefan Troyer

Leopold-Franzens-Universität
Technikerstr. 13
A-6020 Innsbruck

März 2002

Abstract

The countries in the Alpine arc (Austria, Switzerland, France and Italy) control the demand in the transport network partly by imposing tolls. This report analyses the effects of tolls and determines those levels of tolls, which maximize the income on the most important Alpine crossings.

The development of a PolyVisum-Interface with Visual Basic allows the transformation of an existing European transport network model from the POLYDROM-format to the VISUM-format. The model is calibrated for the year 1998 by using the existing count data and tolls. A pivot-point-model is implemented to suppress traffic demand in response to changes in tolls, travel times and travel distances. The OD-relations are computed by using the generalized costs and taking into account estimated elasticities. The variations of the levels of tolls to find the maximas of income are performed by another Visual Basic-routine, the so-called VisumMaut-Variation. The results of the assignments are fitted to regression functions and are visualized by MATLAB.

It appears that there exist levels of tolls for the Alpine crossings Frejus, Mt. Blanc, Großer St. Bernhard, Gotthard and Brenner, which maximize the income of the respective company. The traffic is decreased up to 66% for passenger cars and up to 67% for lorries. Compared to the original 1998 tolls, the tolls for passenger cars are in a range between 76 and 849% and for lorries between 137 and 347%.

Keywords

Alps – Tolls – TRIBUT-Assignment – Pivot-point-model – Distribution of traffic – Maximum of income

1. Einleitung

1.1 Hintergrund

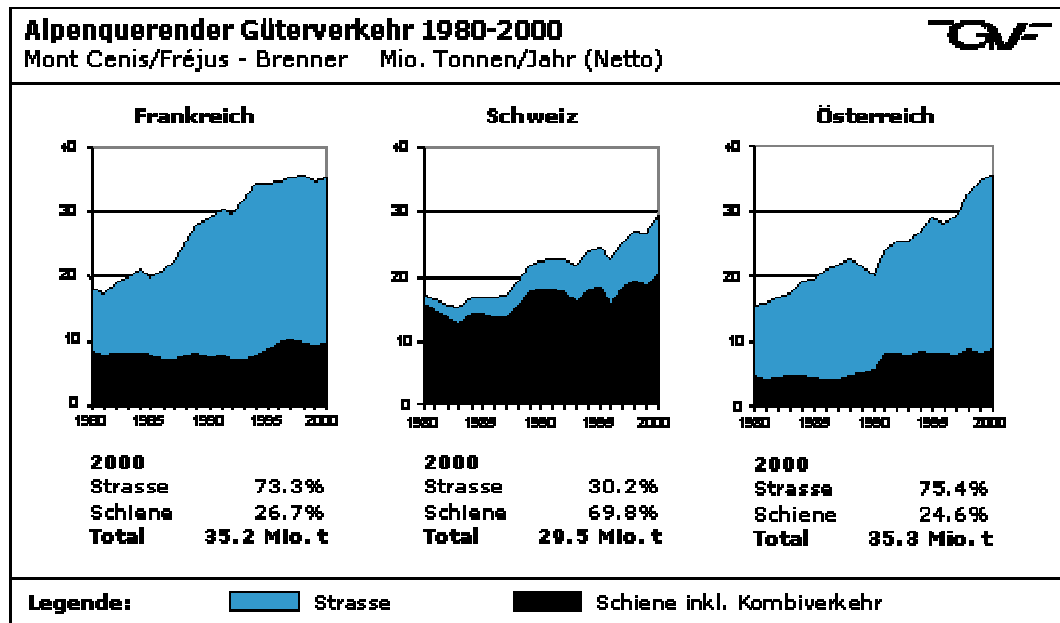
Der Alpenraum stellt mit seinen besonderen topografischen Eigenschaften ein natürliches Hindernis für die Verkehrsbeziehungen zwischen den Wirtschaftszentren Europas dar. Der Transitverkehr durch die Alpen ist, wie die EU-Kommission formuliert hat, "von lebenswichtiger Bedeutung für die Gemeinschaft", und darf die wirtschaftliche und politische Integration der Mitgliedsländer Italien und Griechenland keinesfalls gefährden (Brandt *et al.*, 1996 und Hennighausen, 1999). Eine mangelhafte und zwischen den Ländern der Europäischen Union nur schlecht koordinierte Verkehrspolitik führte jedoch zu einem im Vergleich zum Wirtschaftswachstum überproportionalen Ansteigen des Verkehrsaufkommens. So hat sich seit der Gründung der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft mit den Römischen Verträgen im Jahre 1957 das Gütervolumen ungefähr verzehnfacht.

Die Angaben des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen (2001) spiegeln die Auswirkungen einer unterschiedlichen Verkehrspolitik der verschiedenen Alpenländer wider. Demnach wurden im Jahr 2000 über den inneren Alpenbogen, vom Mt. Cenis/Frejus bis zum Brenner, auf der Schiene und der Straße genau 100 Millionen Nettotonnen Güter transportiert, was in etwa einer Verdoppelung der Transportmengen des Jahres 1980 entspricht. Die Verteilung des Güterverkehrs auf die Verkehrsträger Schiene und Strasse zeigt für die gesamten alpenquerenden Tonnagen einen Anteil von 39% auf der Schiene. Bei den einzelnen Ländern lag dieser Anteil bei 70% in der Schweiz, 27% in Frankreich und 25% in Österreich (siehe Abbildung 1). Eine Betrachtung der Modal-Splits im Transitverkehr zeigt für die Schweiz einen günstigeren Anteil von 78% auf der Schiene, während die Modal-Splits in Frankreich und Österreich unverändert zu denen des Gesamtverkehrs bleiben. Der Anteil der Gütermengen des Transitverkehrs an den Mengen des gesamten alpenquerenden Verkehrs liegt auf dem inneren Alpenbogen bei ca. 65%. Die entsprechenden Anteile betragen in der Schweiz 84%, in Frankreich 32% und in Österreich sogar 91%.

Diese, mit Ausnahme in der Schweiz, ungünstigen Verkehrsverteilungen auf die Verkehrsträger Schiene und Straße einerseits, sowie die geografisch bedingten Konzentrationen der hohen Transitverkehrsanteile auf die wenigen Alpenkorridore andererseits, wecken den Unmut der davon betroffenen Bevölkerung. Verschiedene Initiativen, die Alpenkonvention und neuerdings auch die Europäische Kommission fordern eine nachhaltige Entwicklung der Ver-

kehrspolitik unter anderem mit dem Ziel, einen besonderen Schutz der sensiblen Alpenräume zu gewährleisten.

Abbildung 1 Entwicklung des alpenquerenden Güterverkehrs 1980-2000



Quelle: Dienst für Gesamtverkehrsfragen (2001)

Im aktuellen Weißbuch (Europäische Kommission, 2001a) diskutiert die EU eine Reihe von Maßnahmen, bei denen Tarifierung, Revitalisierung anderer Verkehrsträger als die Straße und gezielte Investitionen in das transeuropäische Verkehrsnetz miteinander verbunden werden sollen, um bis zum Jahr 2010 zu einer ausgewogeneren Verkehrsverteilung zu gelangen. Bei einer Umsetzung des gesamten Maßnahmenpaketes soll bis 2010 eine Entkoppelung zwischen den Verkehrszunahmen und des Wirtschaftswachstums bei ausgewogeneren Verkehrsträgeranteilen erfolgen, ohne dadurch die Mobilität von Personen und Gütern einzuschränken. Zum Ausbau des transeuropäischen Verkehrsnetzes beabsichtigt die Kommission die gemeinschaftlichen Rechtsvorschriften so zu gestalten, dass in den betroffenen Gebieten oder auf möglichen Ausweichstrecken Maut- oder Benutzungsgebühren eingehoben werden können, welche zu einem Teil den Bau der umweltfreundlichen Infrastruktur finanzieren sollen. Die EU scheint hierbei die Vorgehensweise der Schweiz aufzugreifen, welche durch die Einführung einer leistungsbezogenen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) die Neue Eisenbahn-Alpentransversale (NEAT) maßgeblich zu finanzieren gedenkt. Die seit langem diskutierte Kostenwahrheit im Verkehr wird durch eine Internalisierung der externen Kosten, wie sie durch Luftverschmutzung, Klimaänderung, Lärm, Unfälle und Staus entstehen, gefordert. Im

Gegensatz zu den bestehenden Rechtsvorschriften, welche die ausschließliche Einhebung von Mauten bzw. Benutzungsgebühren zum Bau, zur Erhaltung und zum Betrieb einer Infrastruktur erlauben, soll die neue Infrastrukturtarifierung diese externen Kosten bei einem fairen Wettbewerb zwischen den Verkehrsträgern verursachergerecht berücksichtigen.

Das Einbeziehen der externen Kosten ermöglicht es in vielen Fällen, Beträge zu erzielen, die über die Deckung der für die Infrastruktur anfallenden Kosten hinausgehen. Diese Mittel sollen besonderen nationalen oder regionalen Fonds zugewiesen werden, welche die Erstellung von intermodalen Infrastruktureinrichtungen fördern und auf diese Weise umweltfreundlichere Alternativen anbieten. In bestimmten sensiblen Gebieten, wie zum Beispiel den Alpen, kann der Ertragsüberschuss möglicherweise nicht ausreichen, um eine nötige Infrastruktur zur Überwindung natürlicher Hindernisse zu errichten. In diesem Fall soll die Möglichkeit geboten werden, der neuen Infrastruktur im Rahmen einer Querfinanzierung Mittel zukommen zu lassen, bevor erste Betriebseinnahmen erzielt werden. Eine Maut oder Benutzungsgebühr soll daher für das gesamte Gebiet eingehoben werden, um diese Infrastruktur zu finanzieren.

Die vorliegende Arbeit untersucht zum einen die Lenkungswirkungen von geänderten Infrastrukturkosten des Verkehrsträgers Straße und ermittelt zum anderen die Mauteinstellungen, welche die Mauteinnahmen von bestimmten Betreibergesellschaften maximieren. Die Untersuchungen basieren auf den Verkehrszuständen des Jahres 1998, in dem das transeuropäische Verkehrsnetz noch nicht durch die Brände im Mt. Blanc- und Tauerntunnel beeinträchtigt war. Die Variationen der Mauten werden unter Berücksichtigung von Nachfrageverschiebungen an den folgenden Alpenübergängen durchgeführt:

- Frejus-Tunnel,
- Mt. Blanc-Tunnel,
- Großer St. Bernhard-Tunnel,
- Gotthard-Tunnel,
- Brenner-Autobahn Innsbruck bis Staatsgrenze.

Bei einer Vernachlässigung der Verminderungen der externen Kosten und Infrastrukturkosten durch eine sich einstellende Verkehrsabnahme können von diesen Mauten die Überdeckungen zu den bisherigen Infrastrukturkosten abgeleitet werden. Die dadurch erwirtschafteten Finanzmittel können in weiterer Folge für die Finanzierung einer Infrastruktureinrichtung verwendet werden, wobei keine Aussagen zu den Anteilen der externen Kosten und den Beiträgen einer Querfinanzierung gemacht werden.

1.2 Aufbau der Diplomarbeit

Der Gliederung der vorliegenden Diplomarbeit erfolgt entsprechend der Reihenfolge, wie die einzelnen Teilaufgaben bearbeitet werden. Die ursprüngliche Aufgabenstellung wird in Absprache mit Axhausen dahingehend abgeändert, dass keine sozialen Kosten berücksichtigt werden; siehe Anhang A. Ebenso wird auf die Ermittlung der Preise verzichtet, welche die Summe aller Einnahmen oder die Summe aller Überschüsse maximiert, respektive die Summe der sozialen Kosten minimiert.

Die Arbeit beginnt mit einer Beschreibung der angewendeten Grundlagen und Theorien. Zuerst wird auf die makroskopischen Modelle und Umlegungsverfahren des Verkehrsplanungsprogramms VISUM eingegangen, da VISUM das zentrale Werkzeug zur Bearbeitung dieser Diplomarbeit darstellt. Im Speziellen erfolgt eine Beschreibung der Funktionsweise des TRIBUT-Verfahrens, welches für die Bewertung von Maßnahmen im Zusammenwirken mit Mauten eingesetzt wird. Die Veränderungen in der Verkehrsnachfrage resultieren aus Änderungen im Verkehrsangebot, sie werden mit einem *pivot-point*-Modell nachgebildet. Dazu werden in Abschnitt 2 das zugrunde gelegte Logit-Modell, die verwendeten Funktionen der generalisierten Kosten und die Preiselastizitäten der Nachfrage erklärt. Die Umrechnungen von Preisen und Kostenansätzen verschiedener europäischer Länder erfolgen unter Berücksichtigung der Kaufkraftparitäten.

In Abschnitt 3 werden die vorhandenen Daten eines europäischen Verkehrsmodells, vorliegend im POLYDROM-Format, in das VISUM-Format konvertiert. Zu Beginn erfolgt eine Beschreibung der Datenstrukturen der POLYDROM- und VISUM-Dateien, auf deren Grundlage die Schnittstelle PolyVisum unter Visual Basic 5.0 entwickelt wird. Für das Konvertieren beliebiger POLYDROM-Daten wird die Funktionalität des Programms PolyVisum erläutert. Die Überarbeitungen der Verkehrsmodelldaten des Jahres 1992 für das Analysejahr 1998 und die Kalibrierung des europäischen Verkehrsmodells auf die Verkehrszustände des Jahres 1998 werden entsprechend dokumentiert. Die Netzzeichnung erfolgt auf den wesentlichen Alpenübergängen unter Zugrundelegung der Zählraten des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen für den Lkw-Verkehr und der UN/ECE-Zählraten bzw. der Daten der österreichischen Straßenverkehrszählung für den Pkw-Verkehr.

Im nächsten Abschnitt 4 erfolgt eine detaillierte Beschreibung des *pivot-point*-Modells, welches als Option zur Berücksichtigung von Nachfrageverschiebungen eingesetzt werden kann. In Abhängigkeit von den relativen Veränderungen der generalisierten Kosten und von vorge-

gebenen Preiselastizitäten werden für Quelle-Ziel-Beziehungen mit Fahrten im Individualverkehr und im öffentlichen Verkehr die Verkehrsmittelanteile neu berechnet.

Die Variationen der Mauten werden in Abschnitt 5 behandelt. Die Entwicklung des Programms VisumMautVariation ermöglicht es, die Mauteinstellungen auf bestimmten Strecken einer VISUM-Version beliebig zu variieren und die Umlegungsergebnisse auszuwerten. Am Beginn des Abschnitts werden die Datenstrukturen der Eingabe- und Ausgabedateien beschrieben und der Ablauf bzw. die Funktionalität von VisumMautVariation erklärt. Die Programmierung erfolgt mit Visual Basic 5.0 unter Zuhilfenahme von VISUM COM-, VISUM-Makro- und Excel-Befehlen. Die Option der Nachfrageverschiebung kann wahlweise eingestellt werden. Beim europäischen Verkehrsmodell wird das Verkehrsangebot der folgenden Alpenübergänge bei Berücksichtigung von Nachfrageverschiebungen geändert:

- Frejus-Tunnel,
- Mt. Blanc-Tunnel,
- Großer St. Bernhard-Tunnel,
- Gotthard-Tunnel und
- Brenner-Autobahn Innsbruck bis Staatsgrenze.

Bei allen Alpenquerungen, mit Ausnahme des Gotthards, erfolgen die Variationen der Mauten in Bezug zu den Gebühren des Jahres 1998. Am Gotthard-Tunnel selbst werden keine Mauten eingehoben, daher werden als Bezugsmauten die Gebühren des Großen St. Bernhards verwendet.

Die Ergebnisse der Mautvariationen erfordern ein Anpassen von Regressionsfunktionen an die Datenpunkte der Pkw- und Lkw-Belastungen. Die Regressionsanalysen in Abschnitt 6 werden unter MATLAB 5.3 R11 programmiert und erlauben eine Glättung der umlegungsbedingten Abweichungen der Verkehrssystem-Belastungen. Das Programm RegFlaeche stellt für jeden variierten Alpenübergang die Verkehrssystem-Belastungen und Mauteinnahmen in Abhängigkeit der Pkw- und Lkw-Maut dar. Zusätzlich wird die Güte der Anpassungen und die Stelle des Mauteinnahmenmaximums angezeigt. Abschließend werden noch die Auswirkungen auf die anderen Alpenübergänge diskutiert.

2. Grundlagen

In diesem Abschnitt werden die verwendeten Grundlagen und Theorien beschrieben, welche in der Diplomarbeit ihre Anwendung finden. Die Beschreibung der Grundlagen beschränkt sich auf das Wesentliche und soll dem Leser den notwendigen Einblick in die zugrundegelegten Modelle und Annahmen geben. Für detailliertere Erklärungen wird um entsprechendes Nachlesen in der jeweils angegebenen Fachliteratur gebeten.

2.1 VISUM

VISUM ist ein Programm für die rechnergestützte Verkehrsplanung, das der Analyse und der Planung des Systems Verkehr dient. Das System Verkehr umfasst dabei das Verkehrsangebot des Individualverkehrs (IV) und des öffentlichen Verkehrs (ÖV) und die Verkehrsnachfrage. VISUM unterstützt den Planer bei der Entwicklung verkehrlicher Maßnahmen und ermittelt die Wirkungen dieser Maßnahmen (PTV AG, 1999).

Das System Verkehr wird in einem makroskopischen Verkehrsmodell abgebildet, welches eine Abstraktion der realen Welt darstellt. Es besteht aus einem Modell der Verkehrsnachfrage, einem Modell des Verkehrsangebotes und aus verschiedenen Wirkungsmodellen; siehe Abbildung 2.

2.1.1 Verkehrsnachfrage – Nachfragemodell

Verkehrsnachfrage entsteht durch das Bedürfnis der Gesellschaft Aktivitäten an unterschiedlichen Orten auszuüben. Die Bewegung zwischen zwei Aktivitäten erfolgt mit einem Verkehrsmittel und wird als Weg bzw. Fahrt bezeichnet (Axhausen, 1996a).

In VISUM wird die Verkehrsnachfrage in einer Matrix gespeichert, welche folgende Eigenschaften besitzt:

- Angabe der Anzahl der Fahrten von einem Verkehrsbezirk i zu einem Verkehrsbezirk j .
- Die Elemente einer Nachfragematrix für den IV haben die Einheit [Kfz-Fahrten], die Elemente einer Matrix für den ÖV haben die Einheit [Personen-Fahrten].

- Bezug auf einen Untersuchungszeitraum, d.h. es sind nur Fahrten innerhalb dieses Zeitintervalls in der Matrix enthalten.
- Zuordnung zu einem Nachfragesegment.

Die Ermittlung der Verkehrsnachfrage kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Man unterscheidet zwischen erhobener bzw. berechneter Nachfrage sowie zwischen heutiger und prognostizierter Nachfrage:

- Erhobene Nachfrage wird aus der Befragung einer repräsentativen Stichprobe von Verkehrsteilnehmern abgeleitet.
- Berechnete Nachfrage wird über Modelle der Verkehrserzeugung, Modelle der Verkehrsverteilung und Modelle der Verkehrsmittelwahl ermittelt.
- Heutige Nachfrage berücksichtigt die gegenwärtigen Siedlungs-, Bevölkerungs- und Wirtschaftsstrukturen und das jetzige Verkehrsangebot.
- Prognostizierte Nachfrage berücksichtigt die zukünftigen Siedlungs-, Bevölkerungs- und Wirtschaftsstrukturen und das zukünftige Verkehrsangebot.

Zur Abbildung der Verkehrsnachfrage für den ÖV besteht in VISUM die Möglichkeit, die zeitliche Verteilung des Fahrgastaufkommens über eine Ganglinie zu beschreiben. Bei fehlender Angabe einer Ganglinie wird eine Gleichverteilung über den Untersuchungszeitraum angenommen.

2.1.2 Verkehrsangebot – Netzmodell

Die Abstrahierung des realen Straßennetzes erfolgt sowohl für den IV als auch für den ÖV in VISUM mit einer Reihe von Netzobjekten, welche die räumliche und zeitliche Struktur des Verkehrsangebotes abbilden. Die relevanten Daten des Netzmodells sind (PTV AG, 1999):

- Bezirke bzw. Verkehrszellen als Punktobjekte, welche die Lage von Nutzungen im Netz beschreiben. Sie sind Ausgangs- und Zielpunkte von Ortsveränderungen und über Anbindungen mit dem Netz verbunden.
- Knoten als Punktobjekte, welche die räumliche Lage von Straßenkreuzungen definieren. Sie sind Anfangs- bzw. Endpunkte von Strecken.
- Strecken, welche die Knoten verbinden und somit die Struktur des Straßen- und Schienennetzes beschreiben. Eine Strecke ist eine gerichtete Kante, d.h. Hin- und Rückrichtung sind eigenständige Netzobjekte.
- Abbiegebeziehungen, welche angeben, ob an einem Knoten abgebogen werden darf.

- Anbindungen, welche Bezirke an das Streckennetz anschließen. Sie entsprechen den Zu- und Abgangswegen zwischen Bezirksschwerpunkt und IV-Knoten bzw. ÖV-Haltestelle.
- ÖV-Linien, welche den Linienweg und Fahrplan beschreiben.
- Gebiete, welche schnittscharf die Ausgabe von Kenngrößen für den IV und den ÖV ermöglichen.

Die Netzobjekte werden durch Attribute beschrieben, die entweder eingegeben werden müssen oder während des Programmablaufs berechnet werden.

Die Eingabe von Verkehrssystemen, oder auch Teilverkehrssystemen, bietet die Möglichkeit IV- oder ÖV-Verkehrssysteme zu definieren. Das Verhalten von IV-Verkehrssystemen, wie zum Beispiel Pkw und Lkw, ist abhängig von der Höchstgeschwindigkeit des Verkehrsmittels, von der zulässigen Geschwindigkeit und der Kapazität der befahrenen Strecke. Im Unterschied dazu sind die Fahrzeiten und Haltestellenaufenthaltszeiten bei ÖV-Verkehrssystemen, wie zum Beispiel Bahn oder Bus, durch den Fahrplan vorgegeben.

Mit einem Modus werden in VISUM ein oder mehrere Verkehrssysteme verknüpft. In der verwendeten VISUM-Version beinhaltet ein Modus genau ein IV-Verkehrssystem oder mehrere ÖV-Verkehrssysteme. Eine Verknüpfung von IV- und ÖV-Verkehrssystemen zu einem intermodalen Modus ist perspektivisch vorgesehen.

Die Verbindung zwischen Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage stellt in VISUM das Nachfragesegment dar, welches genau einem Modus zugeordnet ist. Ein Modus kann jedoch mehrere Nachfragesegmente beinhalten, wodurch die Möglichkeit geboten wird, unterschiedliche Arten von Nachfrage in einem Verkehrsmodell zu beschreiben. Die Nachfragematrix wird zu dem jeweiligen Nachfragesegment hinzugelesen, wobei die schon erwähnte Konvention von Kfz-Fahrten für den IV und Personen-Fahrten für den ÖV gilt. Eine Umrechnung von Kfz-Fahrten in Personen-Fahrten ist durch den Besetzungsgrad gegeben, welcher bei jedem IV-Nachfragesegment eingegeben werden muss.

2.1.3 Verkehrsumlegung – Wirkungsmodell

Die Daten des Nachfragemodells und des Netzmodells sind die Eingangsdaten für die in VISUM implementierten Wirkungsmodelle, welche zur Analyse und Bewertung eines Ver-

kehrsangebotes dienen. Jedes Verkehrsangebot hat verschiedene Wirkungen, die sich durch Maßnahmen verändern können (PTV AG, 1999):

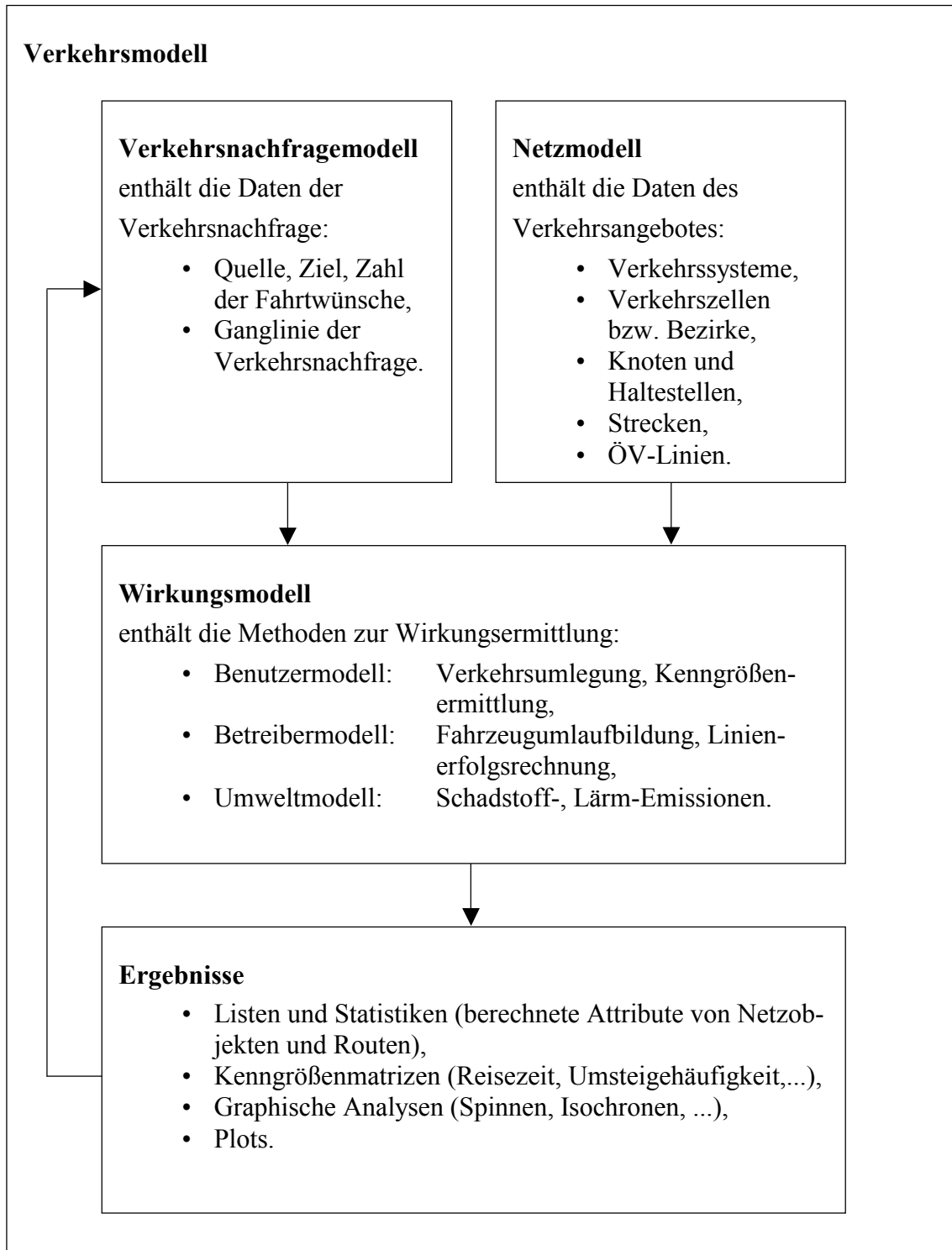
- Wirkungen auf die Nutzer des Verkehrsangebotes. Nutzer des IV-Angebotes sind Kfz-Fahrer und deren Mitfahrer, aber auch nicht-motorisierte Verkehrsteilnehmer. Nutzer des ÖV-Angebotes sind die ÖV-Fahrgäste.
- Wirkungen auf die Betreiber, die das Verkehrsangebot realisieren wollen. Betreiber des Straßennetzes sind in der Regel Staaten, Länder und Gemeinden, aber auch private Investoren. Betreiber des ÖV sind Verkehrsunternehmen und Verkehrsverbände.
- Wirkungen auf die Allgemeinheit, die durch das Verkehrsangebot Kosten und Nutzen entstehen.
- Wirkungen auf die Aufgabenträger des ÖV, die ein eventuelles, politisch gewolltes Defizit verantworten müssen.
- Wirkungen auf die Umwelt, die durch die Folgen des Verkehrs beeinträchtigt wird.

Eine Anwendung in dieser Diplomarbeit findet das Benutzermodell, welches die Wirkungen eines Verkehrsangebotes auf die Verkehrsteilnehmer ermittelt. Charakteristische Kenngrößen zur Beurteilung des Verkehrsangebotes für den Individualverkehr sind im Allgemeinen die Kenngrößen Reisezeit, Entfernung, Fahrtkosten und mittlere Geschwindigkeit. Zur Beurteilung des Verkehrsangebotes für den ÖV ist die Ausgabe von weiteren Kenngrößen, wie zum Beispiel Umsteigehäufigkeit, Umsteigewartezeit und Bedienungshäufigkeit, möglich.

Zur Ermittlung dieser benutzerbezogenen Kenngrößen ist es erforderlich, die Ortsveränderungen der Verkehrsteilnehmer nachzubilden. IV-Benutzer wählen für eine Ortsveränderung eine Route, d.h. eine Folge von Strecken, die ihnen am günstigsten erscheint. Im Unterschied dazu wählen ÖV-Fahrgäste für eine Ortsveränderung zusätzlich zur Route auch einen Abfahrtszeitpunkt aus dem Fahrplan, sie suchen eine Verbindung.

Wesentliche Bestandteile der Verfahren zur Modellierung von Ortsveränderungen sind Suchalgorithmen, die Routen bzw. Verbindungen zwischen einem Quell- und einem Zielbezirk ermitteln. Die in VISUM implementierten Algorithmen beruhen auf sogenannten Bestweg-Verfahren, welche die widerstandsminimalen Wege bestimmen; siehe auch Algorithmen von Floyd und Dijkstra (Axhausen, 1996a). Die Definition des Widerstandes obliegt dabei dem Benutzer. Der Widerstand kann sich aus Zeiten, Entfernungen und/oder Kosten zusammensetzen, die auf den benutzten Anbindungen, Strecken und Abbiegebeziehungen auftreten.

Abbildung 2 Struktur des Verkehrsmodells in VISUM



Quelle: PTV AG (1999), 2-2

Eine nachfolgende Bewertung und Aufteilung der Verkehrsnachfrage auf die gefundenen Routen bzw. Verbindungen resultiert in einem belasteten Verkehrsnetz. Diese Kombination von Wegsuche und Fahrtenaufteilung wird als Umlegung bezeichnet.

Die Fahrzeiten auf den Anbindungen, Strecken und Abbiegebeziehungen sind in VISUM abhängig von den aktuellen Netzbelastungen und den Kapazitäten dieser Netzelemente. Eine vom *U.S. Bureau of Public Roads* (BPR) entwickelte Widerstandsfunktion, eine *Capacity-Restraint-Funktion* (CR-Funktion), berechnet die aktuellen Fahrzeiten t_{akt} im belasteten Netz nach folgender Gleichung:

$$t_{akt} = t_0 \cdot \left[1 + a \cdot \left(\frac{q}{q_{\max} \cdot c} \right)^b \right], \quad (1)$$

mit

t_0 Fahrzeit bei freiem Verkehrsfluss [s],

q aktuelle Belastung, Summe der Belastungen aller IV-Verkehrssysteme einschließlich Vorbelastungen [Pkw-Einheiten/Zeiteinheit],

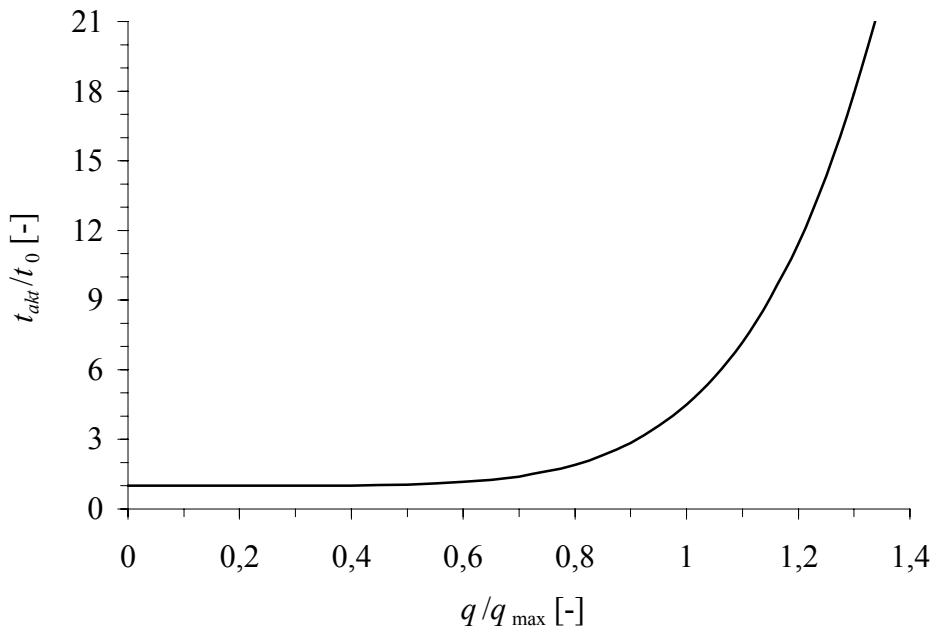
q_{\max} Kapazität [Pkw-Einheiten/Zeiteinheit],

a, b, c benutzerdefinierte Parameter.

Die Funktion ist monoton wachsend. In Abbildung 3 erfolgt eine Darstellung der Funktion für die Parameter $a=3.5$, $b=6.0$ und $c=1.0$. Im Vergleich zu der Widerstandsfunktion nach Davidson (Axhausen, 1996a) erhält man bei Überschreitungen der Kapazitäten nach Gleichung (1) keine unendlichen, sondern nur sehr hohe Fahrzeiten im belasteten Netz.

Für das Verkehrsangebot des Individualverkehrs stehen in VISUM folgende Umlegungsverfahren zur Verfügung:

- Sukzessivverfahren,
- Gleichgewichtsverfahren,
- Lernverfahren,
- TRIBUT-Verfahren.

Abbildung 3 CR-Funktion nach BPR für $a=3.5$, $b=6.0$ und $c=1.0$ 

Beim Sukzessivverfahren wird die Nachfrage in Teilmatrizen zerlegt und schrittweise auf das Netz umgelegt, wobei für die Routensuche die Widerstände aus den Belastungen des vorhergehenden Schrittes berücksichtigt werden. Die Eigenschaften der Lösung sind jedoch unbekannt, da die Lösung sich nicht in der Nähe eines Gleichgewichtes befindet (Axhausen, 1996a). Die Ergebnisse sind abhängig von der Anzahl und Größe der Iterationsschritte, für deren Festlegung es allerdings kein Verfahren gibt (Lohse, 1997). Das Sukzessivverfahren findet daher in dieser Arbeit keine Anwendung.

Das Gleichgewichtsverfahren berücksichtigt das erste Wardrop'sche Prinzip (Axhausen 1996a) wie folgt: Alle Wege, die zwischen einem Quelle-Ziel-Paar benutzt werden, haben dieselben Reisezeiten (generalisierten Kosten). Alle nicht benutzten Wege haben gleiche oder höhere Reisezeiten (generalisierte Kosten). Es gilt die Bedingung der Abhängigkeit der Reisezeiten (generalisierten Kosten) von der Belastung. Die Reisezeiten eines auf diese Art berechneten Gleichgewichtszustandes sind immer höher als jene, welche sich bei einem Systemoptimum einstellen würden. In einem Systemoptimum ist die Summe der Reisezeiten (Summe der generalisierten Kosten) minimal.

In dem Verfahren wird, beginnend mit einer Sukzessivumlegung als Startlösung, der Gleichgewichtszustand in einer mehrstufigen Iteration hergestellt. In einem inneren Iterationsschritt

werden paarweise je zwei Routen einer Verkehrsbeziehung durch Verlagern von Fahrzeugen ins Gleichgewicht gebracht. Im äußeren Iterationsschritt erfolgt eine Überprüfung des Netzzustandes auf das Vorhandensein von Routen mit geringeren Widerständen. Grundsätzlich erhält man mit dem Gleichgewichtsverfahren wirklichkeitsnähere Ergebnisse als mit dem Sukzessivverfahren. Das Verfahren bricht erst ab, nachdem sich alle Routen einer Verkehrsbeziehung im Gleichgewicht befinden.

Das Lernverfahren nach Lohse bildet den Lernprozess der Verkehrsteilnehmer bei der Benutzung des Netzes ab. Die IV-Benutzer berücksichtigen, ausgehend von einer Alles-oder-Nichts-Umlegung, die Informationen der letzten Fahrt bei der Wahl der neuen Route. Das Verfahren ermittelt auch bei einem nicht voll ausgelasteten Netz sehr wirklichkeitsnahe Ergebnisse. Dazu ist es jedoch notwendig, die Abbruchbedingungen derart einzustellen, dass ausreichend viele Iterationen durchgeführt werden. Das Verfahren stellt daher sehr hohe Anforderungen an die Hardwareressourcen und verursacht lange Rechenzeiten.

Sowohl beim Gleichgewichtsverfahren als auch beim Lernverfahren ist es möglich, Mauten bzw. Straßenbenutzungsgebühren bei der Umlegung zu berücksichtigen. Dazu ist es erforderlich, die Gebühren als Mautattribute bei den Strecken einzugeben und die Widerstandsfunktionen für die Routenwahl unter Berücksichtigung dieser Mautattribute zu definieren. Die Mauten werden dabei mittels einem konstanten *value of time* (Zeitkostenwert) in Fahrzeiten umgerechnet und zu der bestehenden Fahrzeit addiert. Die Bewertung der Routen erfolgt, wie bei anderen klassischen Verfahren, nur über die Summen der Fahrzeiten, d.h. nur über ein Kriterium.

Beim TRIBUT-Verfahren erfolgt im Gegensatz zu den monokriteriellen Umlegungsverfahren die Routenwahl und Routenbewertung über zwei getrennte Kriterien, Fahrzeit und Maut. Dieses Umlegungsverfahren wurde von der französischen Forschungseinrichtung INRETS entwickelt und durch Barbier-Saint-Hilaire im französischen Verkehrsplanungsprogramm DAVIS implementiert. Ende des Jahres 1998 erfolgte die Einbindung von TRIBUT in VISUM in enger Zusammenarbeit mit INRETS. Mehrere Anwendungen von TRIBUT bei verschiedenen Mautprojekten in Europa, Asien und Nordamerika zeigen gegenüber den klassischen monokriteriellen Umlegungsverfahren deutlich realistischere Preiselastizitäten. Die Ermittlung der Wegewahl erfolgt durch die Verwendung von zufallsverteilten Zeitkostenwerten, die spezifisch für die im Verkehrsmodell vorhandenen Nachfragesegmente definiert werden können.

Das entscheidende Kriterium $Krit_R$ für die Routensuche und Routenbewertung bei Maut-Umlegungen setzt sich aus der Fahrzeit t_R und den Mautkosten c_R zusammen. Das Kriterium ist wie folgt definiert:

$$Krit_R = t_R + \frac{c_R}{VOT} = \sum_{L \in R} t_L + \frac{\sum_{L \in R} c_L}{VOT}, \quad (2)$$

mit

t_L aktuelle Fahrzeit auf einem Netzobjekt L der Route R , abhängig von der aktuellen Belastung,

c_L Mautgebühr für Benutzung der Strecke L der Route R , unabhängig von der aktuellen Belastung,

VOT *value of time* (Zeitkostenwert) in [Geldeinheiten/h].

Die Anwendung von Gleichung (2) erfolgt sowohl bei den klassischen monokriteriellen Umlegungsverfahren als auch bei der bikriteriellen Umlegung, wie sie TRIBUT darstellt. Die beiden Verfahren differieren jedoch in einer grundsätzlich unterschiedlichen Modellierung des VOT (Barbier-Saint-Hilaire, Friedrich, Hofsäß und Scherr, 1999):

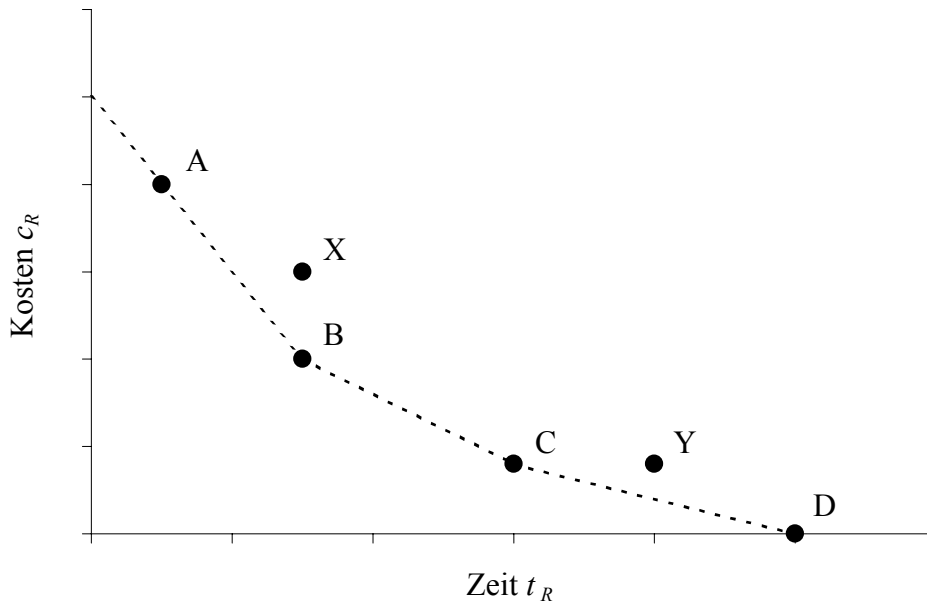
- Bei den monokriteriellen Umlegungsverfahren wird der VOT für alle Quelle-Ziel-Beziehungen, zumindest aber für die Fahrbeziehungen eines Nachfragesegementes, konstant gehalten. Das Kriterium $Krit_R$ nach Gleichung (2) ist somit für alle benutzten Routen identisch.
- Bei der bikriteriellen Umlegung mit TRIBUT ist der VOT zufallsverteilt. Jede Fahrbeziehung verwendet demnach einen individuellen Zeitkostenwert zur Routenwahl.

Die Verwendung von individuellen VOT 's stellt folgende Anforderungen an das TRIBUT-Umlegungsmodell:

- Während des gesamten Umlegungsverfahrens muss der Zugriff zu den beiden Kriterien t_R und c_R aller Routen zu jeder Zeit möglich sein.
- Es gibt keinen besten Weg für eine Quelle-Ziel-Beziehung, sondern mehrere beste Wege. Das Umlegungsverfahren berechnet mehrere alternative Wege und erfordert daher einen Algorithmus zur Mehrwegsuche.

Zur Unterstützung des Verständnisses des bikriteriellen Routenwahlverfahrens sind in Abbildung 4 mögliche beste Wege einer Quelle-Ziel-Beziehung mit den Routen A, B, C, D bzw. X, Y dargestellt. Die Beschreibung der Punkte erfolgt mit den charakteristischen Größen Fahrzeit und Mautkosten, zum Beispiel mit (t_A, c_A) für die Route A.

Abbildung 4 Zeit-Kosten-Diagramm mit effizienter Front



Quelle: nach PTV AG (1999), 2-64 und 2-67

Die strichliert dargestellte Verbindungsgerade zwischen jeweils zwei alternativen Routen stellt den kritischen Zeitwert dieser Routen dar. Die Definition dieses kritischen Zeitwertes vot_{crit} erfolgt, zum Beispiel für die Routen A und B, über die Steigung der Verbindungsgeraden zu

$$vot_{crit,B-A} = \left| \frac{c_B - c_A}{t_B - t_A} \right|.$$

Zwei Routen auf einer Verbindungsgeraden besitzen somit den gleichen kritischen Zeitwert. Die Routen sind daher für den Nutzer gleichwertig. Die Punkte X und Y, welche rechts bzw. oberhalb der vot_{crit} -Geraden liegen, besitzen für jeden VOT ein ungünstigeres Routenwahlkriterium $Krit_R$ nach Gleichung (2). Auf der Route X entstehen bei gleicher Fahrzeit wie auf B höhere Mautkosten, und auf der Route Y müssen bei gleichen Mautkosten wie auf C längere Fahrzeiten in Kauf genommen werden. Die Routen X und Y werden daher von den Nutzern nicht angenommen.

Eine Vereinfachung der Komplexität des bikriteriellen Umlegungsverfahrens erfolgt nun mit der Reduktion der gefundenen besten Wege auf zu verarbeitende relevante Routen. Die in Abbildung 4 strichliert dargestellten vot_{crit} -Geraden bilden zusammen eine konvexe Front,

welche diese relevanten oder auch effizienten Routen enthält. Die Routen rechts bzw. oberhalb dieser ermittelten Frontlinie werden bei der weiteren Routenwahl nicht mehr berücksichtigt, da für sie ja das Routenwahlkriterium $Krit_R$ nicht optimal ist. Die Routen werden verworfen und reduzieren dadurch den Rechen- und Speicheraufwand des Umlegungsverfahrens.

Die Berechnung der individuellen VOT 's für die Fahrten einer Quelle-Ziel-Beziehung erfolgt über eine Wahrscheinlichkeitsverteilung dieser Zufallsgröße. Als Verteilung wird eine Lognormalverteilung, eine Normalverteilung für die Logarithmen der Zufallsgröße VOT , zugrundegelegt. Mathematisch formuliert ist der VOT logarithmisch-normalverteilt mit den Parametern vot_{50} und σ , man sagt auch der VOT ist nach $\log N(vot_{50}, \sigma)$ logarithmisch-normalverteilt:

$$VOT \in \log N(vot_{50}, \sigma) , \quad (3)$$

mit

vot_{50} Lageparameter [Geldeinheiten/h], Median von $VOT \in \log N(vot_{50}, \sigma)$,

σ Streuungsparameter [-], aus der Standardabweichung der assoziierten Zufallsvariablen $y = \ln(vot)$ mit y als standard-normalverteilt zu ermitteln; siehe auch Gleichung (4).

Die Verwendung des Medians als Lageparameter entspricht der Vorgehensweise in der Einkommensstatistik, wo üblicherweise mit Quartilwerten gerechnet wird. Ein Vorteil in der Verwendung einer Lognormalverteilung liegt in der Eigenschaft, dass die Wahrscheinlichkeit für negative Ausprägungen der Zeitwerte Null ist.

Die Dichte g des logarithmisch-normalverteilten Zeitwertes lässt sich entsprechend der Dichte f der standard-normalverteilten Zufallsgröße $\ln(vot)$ mit der Erweiterung $1/vot$ berechnen:

$$g(vot) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} vot \sigma} e^{-\frac{1}{2} \frac{(\ln vot - \mu)^2}{\sigma^2}} , \quad (4)$$

mit

μ Lageparameter, entspricht dem $\ln(vot_{50})$,

σ Streuungsparameter, zu ermitteln aus

$$\frac{\overline{vot}}{vot_{50}} = e^{\frac{\sigma^2}{2}} \text{ bzw. } \frac{s}{vot} = \sqrt{e^{\sigma^2} - 1} \text{ nach Leurent (1997),}$$

\overline{vot} Mittelwert der VOT 's,

vot_{50} Median der VOT 's,

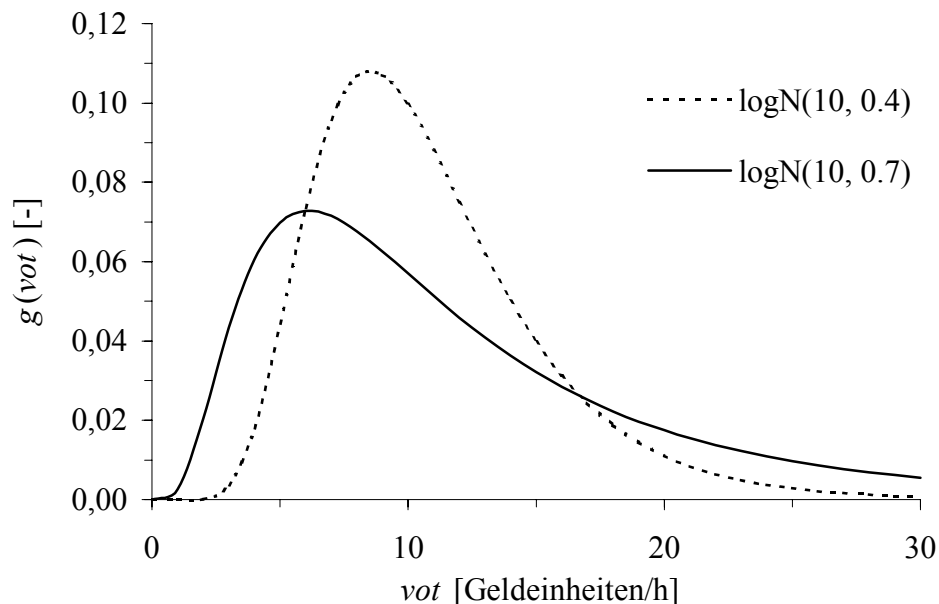
s Standardabweichung der VOT 's.

Die zugehörige Verteilungsfunktion $G(vot)$ erhält man durch Integration der Dichtefunktion $g(t)$ von 0 nach vot zu:

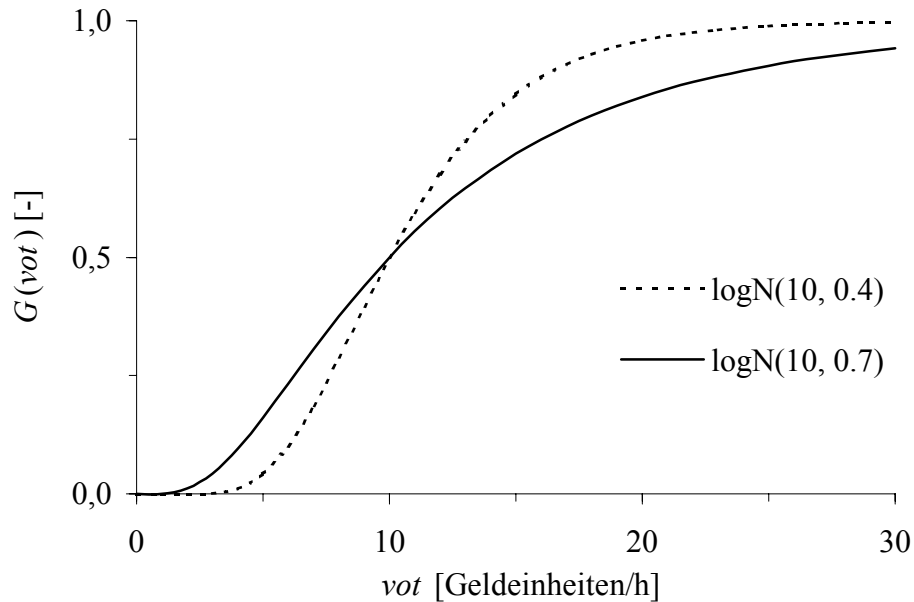
$$G(vot) = \int_0^{vot} g(t) dt = \int_0^{vot} \frac{1}{\sqrt{2\pi t \sigma}} e^{-\frac{1}{2} \frac{(\ln t - \mu)^2}{\sigma^2}} dt . \quad (5)$$

Beispielhaft sind in Abbildung 5 und Abbildung 6 die Dichte- und Verteilungsfunktionen nach Gleichung (4) und (5) für die Parameter $vot_{50} = 10$ und $\sigma = 0,4$ bzw. $0,7$ dargestellt.

Abbildung 5 Dichtefunktion der Zufallsgröße vot



Die asymptotische Annäherung der Verteilungsfunktion an den Wert 1 ist in Abbildung 6 sehr gut erkennbar, es gilt: $\lim_{vot \rightarrow +\infty} G(vot) = 1$.

Abbildung 6 Verteilungsfunktion der Zufallsgröße vot 

Die Aufteilung der Verkehrsnachfrage einer Quelle-Ziel-Beziehung erfolgt nun für die Startlösung der TRIBUT-Umlegung entsprechend den ermittelten effizienten Routen mit ihren kritischen Zeitwerten vot_{crit} und den eingestellten Parametern der VOT -Verteilung; siehe Abbildung 7 für die effizienten Routen A, B, C, D aus Abbildung 4 und einer Verteilung des VOT nach $\log N(10, 0.7)$. In dem Beispiel teilt sich die Nachfrage abhängig von den Funktionswerten der einzelnen kritischen Zeitwerte auf die einzelnen effizienten Routen auf. Für die Route D mit dem niedrigsten Mautniveau ergibt sich ein Anteil $P(D)$ an der Verkehrsnachfrage einer Quelle-Ziel-Beziehung mit

$$P(D) = G(vot_{crit,D-C}) .$$

Die Anteile der restlichen Routen berechnen sich entsprechend zu

$$P(C) = G(vot_{crit,C-B}) - G(vot_{crit,D-C}) ,$$

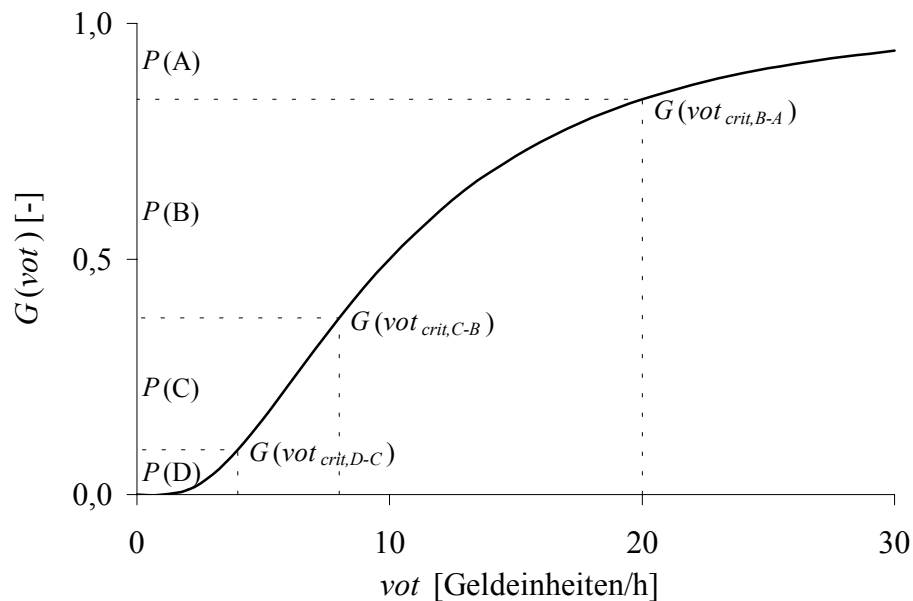
$$P(B) = G(vot_{crit,B-A}) - G(vot_{crit,C-B}) ,$$

$$P(A) = 1 - G(vot_{crit,B-A}) .$$

Die geringste Zahlungsbereitschaft für die Einsparung einer Stunde Fahrzeit liegt bei Nutzern der Route D. Der VOT liegt für diese Verkehrsteilnehmer in einem Bereich zwischen 0 und

$vote_{crit\ D-C}$. Die einkommensstärksten IV-Nutzer besitzen hingegen die Bereitschaft, mehr als $vote_{crit\ B-A}$ für eine Stunde Zeiteinsparung zu bezahlen. Diese Fahrten finden auf der teuersten und schnellsten Route A statt.

Abbildung 7 Routenwahl für TRIBUT-Startlösung



Quelle: nach PTV AG (1999), 2-69

Das Verkehrsangebot wird nun mit der gefundenen Startlösung belastet, wobei die Routenwahl einer speziellen Quelle-Ziel-Beziehung sich aufgrund der Belastungsabhängigkeit der Reisezeit auf die Routenwahl der restlichen Verkehrsbeziehungen auswirkt. Es folgt ein iterativer Prozess, bis alle Quelle-Ziel-Beziehungen im Gleichgewicht sind. Eine Verkehrsbeziehung befindet sich in einem Gleichgewichtszustand, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind (Barbier-Saint-Hilaire, Friedrich *et al.*, 1999):

- Die Mehrwegsuche findet keine anderen effizienten Routen für eine Quelle-Ziel-Beziehung.
- Die belastungsabhängige Reisezeit ist für alle effizienten Routen des gleichen Mautlevels identisch.
- Die Aufteilung der Nachfrage auf die unterschiedlichen Mautlevel entspricht der VOT -Verteilung.

Abbildung 8 Algorithmus des TRIBUT-Umlegungsverfahrens

***** INITIAL LOADING *****

FOR origins o := 1 ... N DO

Perform MULTI-PATH-SEARCH to all destinations d := 1 ... N

FOR all destinations d := 1 ... N DO

Allocate o-d-trip demand on the efficient paths of o-d

Store the efficient paths of o-d

Compute flow dependent link times for all network objects of the efficient path set

***** EQUILIBRIUM ITERATION *****

WHILE NOT all-od-in-equilibrium DO

all-od-in-equilibrium := TRUE

FOR origins o := 1 ... N DO

Perform MULTI-PATH-SEARCH to all destinations d := 1 ... N

IF new efficient paths are found THEN o-in-equilibrium := FALSE

Store paths

WHILE NOT o-in-equilibrium DO

o-in-equilibrium := TRUE

FOR all destinations d := 1 ... N DO

WHILE NOT od-in-equilibrium DO

od-in-equilibrium := TRUE

FOR all cost-levels of o-d DO

INTRA-Level-Balance

Compute link times for all network objects

FOR all neighbor-cost-levels of o-d DO

INTER-Level-Balance

Compute link times for all network objects

IF flow has been changed on any network object THEN

od-in-equilibrium := FALSE

o-in-equilibrium := FALSE

all-od-in-equilibrium := FALSE

Zu Beginn jedes Iterationsschrittes erfolgt bei der TRIBUT-Umlegung eine Mehrwegsuche, um festzustellen, ob neue relevante Routen im Verkehrsmodell existieren. Werden neue effiziente Routen für eine Verkehrsbeziehung gefunden, folgt eine Korrektur der effizienten Front mit einer entsprechenden Anpassung der kritischen Zeitwerte. Der Gleichgewichtszustand einer Quelle-Ziel-Beziehung wird durch folgende Vorgehensweise erreicht:

- *INTRA-Level-Balancing*, Ausgleich zwischen den Routen eines Mautlevels, d.h. die Nachfrage wird zwischen den Routen eines Mautlevels neu verteilt, und die belastungsabhängigen Reisezeiten auf diesen Routen neu ermittelt.
- *INTER-Level-Balancing*, Ausgleich zwischen benachbarten Mautlevels, d.h. die Nachfrage wird zwischen den Routen der benachbarten Mautlevels neu verteilt, und die belastungsabhängige Reisezeit auf diesen Routen neu ermittelt.

Eine vereinfachte Beschreibung des Algorithmus der TRIBUT-Umlegung ist in Abbildung 8 dargestellt.

Das TRIBUT-Umlegungsverfahren wird schließlich beendet, wenn die Abweichungen der Eigenschaften des gefundenen Netzzustandes den definierten Abbruchbedingungen genügen.

Die Umlegungsergebnisse können in VISUM entweder graphisch als Belastungen des Verkehrsnetzes, als Spinnenbelastungen von ausgewählten Netzobjekten bzw. als IV-Isochronen oder tabellarisch mittels Listen auf unterschiedlichste Weise dargestellt und analysiert werden. Die Ausgabe von Kenngrößen erfolgt mittels Kenngrößenmatrizen, wobei die Elemente der Matrizen die selektierte Kenngröße der Quelle-Ziel-Beziehungen darstellen.

2.2 Generalisierte Kosten

Die Kosten der Verkehrsteilnahme bestehen aus der Summe aller direkten und indirekten Teilkosten, die jeder Verkehrsteilnehmer unterschiedlich stark gewichtet (Axhausen, 1996a).

Grundsätzlich kann die Gewichtung von Teilkosten für verschiedene Nutzer oder von verschiedenen Teilkosten einer Nutzergruppe unterschiedlich sein. So kann die Zugangszeit zum Verkehrsangebot von IV-, ÖV- und nichtmotorisierten IV-Nutzern unterschiedlich bewertet werden, oder es erfolgt eine differenzierte Bewertung der Zugangszeit und Fahrzeit durch IV-Nutzer. Eine allgemeine Übersicht der wesentlichen Kosten für die Nutzung des Individualverkehrs, des öffentlichen Verkehrs und des nichtmotorisierten Individualverkehrs zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1 Kostenelemente für Nutzer eines Verkehrsangebotes

Kostenelement	IV-Nutzer	ÖV-Nutzer	Fahrradfahrer
Zeit	Zugangszeit Rüstzeit Fahrzeiten mit/ohne Behinderung Parkplatzsuchzeiten Rüstzeiten Abgangszeiten	Zugangszeit Fahrscheinerwerb Wartezeit Umsteigen Fahrzeiten mit/ohne Behinderung Abgangszeiten	Zugangszeit Rüstzeit Fahrzeiten mit/ohne Behinderung Parkplatzsuchzeiten Rüstzeiten Abgangszeiten
Kosten – laufend	Kraftstoff, Reifen, ... Reparaturen Gebrauchsabhängige Abschreibung Mauten Parkplatzgebühren	Fahrschein	Reifen, ... Reparaturen Gebrauchsabhängige Abschreibung Parkplatzgebühren
Kosten – fest	Altersabhängige Ab- schreibung Steuer Versicherung Kosten des Abstell- platzes	Zeitkarte	Altersabhängige Ab- schreibung Versicherung Kosten des Abstell- platzes
Komfort	Umgebungsqualität Straßenoberfläche Anzahl und Art der Kreuzungen Stress Unfallrisiko Risiko eines Verbre- chens	Umgebungsqualität Fahrqualität Stress Unfallrisiko Risiko eines Verbre- chens Informationsangebot Fahrplanqualität Netzdichte	Umgebungsqualität Fahrbahnoberfläche Anzahl und Art der Kreuzungen Entfernung Anzahl und Länge der Steigungen Stress Unfallrisiko Risiko eines Verbre- chens

Quelle: nach Axhausen (1996a), 20-2

Die Gesamtkosten bzw. generalisierten Kosten GK_{ij} einer Quelle-Ziel-Beziehung von i nach j werden in dieser Arbeit vereinfacht durch folgende Gleichung berechnet:

$$GK_{ij} = VOT \cdot t_{ij} + VOD \cdot d_{ij} + c_{ij}, \quad (6)$$

mit

- t_{ij} Reisezeit auf der Route von i nach j ,
 d_{ij} Reisedistanz auf der Route von i nach j ,
 c_{ij} Mautkosten auf der Route von i nach j ,
 VOT *value of time* (Zeitkostenwert),
 VOD *value of distance* (Distanzkostenwert).

Die objektiv messbaren Kenngrößen Reisezeit, Reiseentfernung und Mautkosten einer Quelle-Ziel-Beziehung werden aus den vorhandenen Routen der Umlegung mittels einer Gewichtung durch das Mittel über alle Routenbelastungen ermittelt, d.h. der Ausgabewert stellt den Mittelwert aller Routen gewichtet mit der Belastung dar. Die subjektiv empfundenen Kostenelemente werden bei den Gesamtkosten nicht berücksichtigt.

2.3 Preiselastizitäten

Elastizitätswerte E geben die relative Änderung einer abhängigen Variable bezogen auf die relative Änderung einer unabhängigen Variable an, d.h. um wie viel Prozent sich eine abhängige Variable ändert, wenn sich eine unabhängige Variable um 1% ändert. Elastizitäten sind aufgrund der prozentualen Angabe der Änderungen der Variablen dimensionslose Größen, was das Erkennen von stark oder schwach ausgeprägten Zusammenhängen zwischen diesen Variablen erleichtert. Der Name der unabhängigen Variable steht dabei vor dem Wort "Elastizität", der Name der abhängigen Variable danach.

Die direkte Preiselastizität der Nachfrage ist bis auf den seltenen Ausnahmefall eines Giffen-Gutes negativ. Im ökonomischen Sprachgebrauch wird allerdings das negative Vorzeichen oft unterschlagen. Es erfolgen Angaben von größeren oder steigenden Elastizitäten, was sich jedoch auf den Absolutbetrag des Elastizitätswertes bezieht. Eine Einteilung der Absolutbeträge der Elastizitäten und die entsprechende Reaktion der Nachfrage ist in Tabelle 2 dargestellt. Die Nachfrage reagiert unelastisch bei Elastizitäten kleiner als Eins und elastisch bei Werten

größer als Eins. Mit $|E| = 1$ erfolgt eine Unterteilung der Reaktionen der Nachfrage in einen unelastischen und einen elastischen Bereich.

Tabelle 2 Elastizitäten und die Reaktion der Nachfrage

Absolutbetrag der Elastizität E	Reaktion der Nachfrage
0	vollkommen unelastisch
$0 < E < 1$	unelastisch
1	isoelastisch
$1 < E < \infty$	elastisch
∞	vollkommen elastisch

Quelle: nach Lorenz (2000)

Grundsätzlich sind Elastizitäten zwischen beliebigen Variablen konstruierbar. In der Ökonomie häufig vorkommende unabhängige Variablen sind Preis und Einkommen. Die Messung der Preiselastizität $E_{P,N}$ der Nachfrage erfolgt für marginale Veränderungen der unabhängigen Variablen zu:

$$E_{P,N} = \frac{\frac{dN}{N}}{\frac{dP}{P}} = \frac{dN}{dP} \frac{P}{N}, \quad (7)$$

mit

N Nachfrage als abhängige Variable,

dN Veränderung der Nachfrage,

P Preis als unabhängige Variable,

dP Veränderung des Preise,

$\frac{dN}{dP}$ Ableitung der Nachfragefunktion.

Mehrere Faktoren beeinflussen die Preiselastizität:

- Verfügbarkeit von Substituten, d.h. eine hohe Auswahlmöglichkeit führt zu höheren Elastizitäten.

- Grad an Lebensnotwendigkeit mit reziproker Beziehung zum Elastizitätswert, d.h. Grundbedarfsgüter zeigen tendenziell geringere Elastizitäten als Luxusgüter.
- Budgetanteil des Gutes, d.h. je kleiner der Anteil an den Haushaltsausgaben, umso niedriger ist die Elastizität.
- Zeitperiode, d.h. bei längeren Beobachtungszeiträumen erfolgt eine bessere Anpassung der Haushalte an Preisänderungen und umso höher ist daher der Elastizitätswert.

Im Gegensatz zur direkten Preiselastizität der Nachfrage wird mit der Kreuzpreiselastizität die Reaktion eines Gutes in Abhängigkeit vom Preis eines anderen Gutes gemessen. Bei substitutiven Gütern, wie in dieser Arbeit die Verkehrsangebote des Individualverkehrs und öffentlichen Verkehrs, führen steigende Preise beim IV zu einer steigenden Nachfrage nach dem ÖV.

Jede Veränderung im Verkehrsangebot des IV führt zu einer Veränderung des Verkehrsverhaltens und somit des Verkehrsablaufs, dessen Qualität über den *level of service* (LOS) bewertet wird. Die Einteilung des LOS erfolgt beginnend bei Stufe A für den Zustand des vollkommen freien Verkehrsflusses bis hin zur Stufe F für den Zustand einer überlasteten Strecke mit Verkehrszusammenbruch; siehe Tabelle 3.

Tabelle 3 Qualität des Verkehrsablaufs

<i>level of service</i> (LOS)	Verkehrsqualität
Stufe A	ausgezeichnet
Stufe B	gut
Stufe C	befriedigend
Stufe D	ausreichend
Stufe E	mangelhaft
Stufe F	nicht genügend

Quelle: nach Brilon *et al.* (1994)

Eine Veränderung im Verkehrsangebot des Individualverkehrs durch vom Nullfall abweichende Mautgebühren bewirkt auf bestimmten Routen eine Veränderung der generalisierten Kosten. Die Gesamtkosten werden einerseits direkt entsprechend dem Mautkostenterm in Gleichung (6), und andererseits indirekt durch eine neue Routenwahl und einen in der Folge veränderten LOS beeinflusst, was wiederum Auswirkungen auf die Zeit- und Distanzkosten-

terme in Gleichung (6) hat. Eine Berücksichtigung der Preiselastizitäten erfolgt somit für die auf einer Quelle-Ziel-Beziehung auftretenden Zeitkosten, Distanzkosten und Mautkosten mit den zugehörigen Zeitkosten-, Distanzkosten- und Mautkostenelastizitäten. Zur einfacheren Handhabung wird mit einer gemittelten Preiselastizität gerechnet, wobei die einzelnen Elastizitäten über die Anteile der Teilkosten an den Gesamtkosten gewichtet werden.

2.4 Logit-Modell

Das Logit-Modell stellt ein Modell der Verkehrsmittelwahl dar. Es bildet Entscheidungen eines Verkehrsteilnehmers als Funktion der sozio-demographischen Eigenschaften der Person und der Attraktivität eines Verkehrsmittels im Vergleich zu allen anderen verfügbaren Verkehrsmitteln ab. Folgende Grundannahmen liegen dem Logit-Modell zugrunde (Axhausen, 1996a; Schnabel und Lohse, 1997):

- Die Verkehrsteilnehmer entscheiden rational und sind vollständig über ihre Entscheidungsalternativen informiert.
- Es existieren m bekannte Entscheidungsalternativen, deren relevante Eigenschaften bekannt sind.
- Der mögliche Nutzen, den der Verkehrsteilnehmer aus der Benutzung einer Alternative ziehen würde, ist dem Beobachter unbekannt. Der Nutzen U einer Alternative k wird daher in einen systematischen, messbaren Teil V_k und in einen nicht systematischen, nicht messbaren Teil ε_k zerlegt. Der deterministische Teil V_k entspricht dabei dem Erwartungswert des Nutzens U_k , und der stochastische Teil ε_k der Streuung bzw. dem Schätzfehler des Nutzens U_k :

$$U_k = V_k + \varepsilon_k .$$

- Der Verkehrsteilnehmer wählt die Alternative k mit dem größten Nutzen aus der Menge der vorhandenen Alternativen

$$U_k \geq U_l \quad (l = 1, \dots, m) .$$

- Die Wahrscheinlichkeit, die Alternative k zu wählen, entspricht der Wahrscheinlichkeit, dass der Nutzen $U_k \geq U_l$ ($l = 1, \dots, m$) ist:

$$P(k) = P(U_l \leq U_k) = P(V_l + \varepsilon_l \leq V_k + \varepsilon_k) = P(\varepsilon_l - \varepsilon_k \leq V_k - V_l) = P(\varepsilon \leq V_k - V_l) ,$$

mit

$$P(k) + \sum_{l \neq k} P(l) = 1 .$$

- Die nicht messbaren Anteile sind voneinander unabhängig und Gumbel-verteilt.

Im Gegensatz zum Lp-Modell mit einem gleichverteilten Störterm ε und im Gegensatz zum Probit-Modell mit einem normalverteilten Störterm ε wird beim binären Logit-Modell mit einer Auswahlmöglichkeit zwischen zwei Alternativen eine logistische Dichtefunktion g für die Zufallsgröße $\varepsilon = \varepsilon_l - \varepsilon_k$ gewählt (Schnabel und Lohse, 1997):

$$g(\varepsilon) = \frac{\beta \cdot e^{-\beta \cdot \varepsilon}}{(1 + e^{-\beta \cdot \varepsilon})^2} .$$

Die Verteilungsfunktion $G(\varepsilon)$ erhält man durch Integration der Dichtefunktion $g(t)$ zu

$$G(\varepsilon) = \int_{-\infty}^{\varepsilon} g(t) dt = \frac{1}{1 + e^{-\beta \cdot \varepsilon}} .$$

Es gilt im binären Logit-Modell für die Wahrscheinlichkeit $P(k)$, die Alternative k zu wählen:

$$P(k) = G(\varepsilon) = G(V_k - V_l) = \frac{e^{\beta \cdot V_k}}{e^{\beta \cdot V_k} + e^{\beta \cdot V_l}} , \quad (8)$$

mit

β Skalierungsfaktor,

V_k, V_l Funktion der Eigenschaften einer Alternative k bzw. einer Alternative l .

Eine Erweiterung des binären Logit-Modells von zwei zu mehreren Alternativen führt zum sogenannten Multi-Nomialen-Logit-Modell (MNL-Modell). Die Wahrscheinlichkeit $P(k)$ für die Wahl einer Alternative k aus m Alternativen folgt aus der Lösung von

$$P(k) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(\varepsilon_k) d\varepsilon_k \cdot \prod_{l \neq k} \int_{-\infty}^{V_k - V_l + \varepsilon_k} g(\varepsilon_l) d\varepsilon_l$$

nach McFadden zu

$$P(k) = \frac{e^{\beta \cdot V_k}}{\sum_l e^{\beta \cdot V_l}} \quad (l = 1, \dots, m) . \quad (9)$$

2.5 Kaufkraftparitäten

Kaufkraftparitäten (KKP) engl. *purchasing power parities (PPP)* sind internationale Preisrelationen für vergleichbare Güter und Dienstleistungen. Sie geben an, wie viele Einheiten einer anderen Währung nötig sind, um einen standardisierten Warenkorb zu erstehen, für den eine Einheit der gegebenen Basiswährung aufzuwenden ist. Die Umrechnung von Preisen mittels Kaufkraftparitäten verhindert im Vergleich zur Verwendung von Wechselkursen systematische Verzerrungen durch unterschiedliche Preisniveaus und Preisstrukturen der beteiligten Länder (ÖSTAT, 1997). Als Referenzwährung dient im OECD-Bereich der US-Dollar. In dieser Arbeit jedoch erfolgt wie im gesamteuropäischen Vergleich (ECP) ein Bezug zu Österreich mit dem Schilling als Referenz. Die Ergebnisse der Umrechnung der Kaufkraftparitäten verschiedener europäischer Länder nach Angaben der OECD (2000) sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4 Kaufkraftparitäten für das BIP 1992-1998 (ATS=1)

Land	Jahr						
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
	[Nationale Währungseinheit/ATS]						
I	104,21	110,36	110,29	113,14	116,40	120,88	123,09
A	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
F	0,4856	0,4727	0,4763	0,4715	0,4831	0,4941	0,4926
D	0,1479	0,1511	0,1489	0,1474	0,1493	0,1478	0,1478
CH	0,1543	0,1532	0,1511	0,1467	0,1507	0,1463	0,1463
GB	0,0440	0,0458	0,0464	0,0477	0,0473	0,0479	0,0485

Quelle: nach OECD (2000)

Das Verhältnis der KKP auf BIP-Niveau zum Wechselkurs einer Währung wird als Preisniveauindex bezeichnet. Er beschreibt das Preisniveau in dem jeweiligen Land im Vergleich zum Basisland zu

$$\text{Preisniveauindex} = \frac{\text{KKP auf BIP - Niveau}}{\text{Wechselkurs}} \cdot 100\%$$

Für die Wechselkurse der verschiedene Länder werden dabei die Mittelkurse für Devisen verwendet; siehe Tabelle 5. Liegt bei Ländern der Wert der KKP unter dem Wechselkurs, so herrscht im Vergleich zum Basisland Österreich ein niedrigeres Preisniveau vor, hingegen haben Länder mit einer Kaufkraftparität über dem Wechselkurs ein höheres Preisniveau. Eine Auswertung der Preisniveauindizes für die Länder aus Tabelle 4 mit den zugehörigen Devisenmittelkursen aus Tabelle 5 ist in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 5 Mittelkurse für Devisen 1992-1998 (ATS=1)

Land	Jahr						
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
	[Nationale Währungseinheit/ATS]						
I	111,11	135,14	140,85	161,29	144,93	138,89	140,85
A	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
F	0,4817	0,4866	0,4861	0,4950	0,4833	0,4783	0,4764
D	0,1421	0,1421	0,1421	0,1421	0,1421	0,1421	0,1421
CH	0,1278	0,1270	0,1197	0,1172	0,1167	0,1190	0,1171
GB	0,0516	0,0572	0,0572	0,0629	0,0605	0,0500	0,0488

Quelle: nach ÖNB (1998), 134 und 135

Tabelle 6 Preisniveauindizes 1992-1998 (Österreich=100%)

Land	Jahr						
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
	[%]						
I	93,8	81,7	78,3	70,1	80,3	87,0	87,4
A	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
F	100,8	97,1	98,0	95,3	100,0	103,3	103,4
D	104,1	106,3	104,8	103,7	105,1	104,0	104,0
CH	120,7	120,6	126,2	125,2	129,1	122,9	124,9
GB	85,3	80,1	81,1	75,8	78,2	95,8	99,4

Eine Umrechnung der nationalen Preise in eine gemeinsame Währung für das Jahr 1998, die Europäische Währungseinheit ECU, erfolgt somit unter Zuhilfenahme der nationalen Kaufkraftparitäten zu

$$\text{Preis [ECU}_{\text{KKP}}]_{98} = \frac{\text{Preis}}{\text{KKP}} \cdot \text{Wechselkurs} , \quad (10)$$

mit

Preis Preis 1998 in [Nationaler Währungseinheit]₉₈,

KKP Kaufkraftparität 1998 in [Nationaler Währungseinheit/ATS]₉₈,

Wechselkurs Mittelkurs für Devisen 1998 mit 0,072 [ECU/ATS]₉₈.

Für den Fall, dass die Preise nicht zum Stand des Jahres 1998 gegeben sind, werden des Weiteren noch die Jahresinflationsraten berücksichtigt. Die Preise werden zuerst von der nationalen Einheit mittels der KKP's auf den österreichischen Schilling umgerechnet und schließlich unter Berücksichtigung der jeweiligen Veränderungen der Verbraucherpreisindizes (ΔVPI) auf die gemeinsame Währung ECU bezogen. Für Österreich gibt die Statistik Austria (2000) die durchschnittlichen Jahresinflationsraten entsprechend Tabelle 7 an.

Tabelle 7 Veränderung des Verbraucherpreisindex in Österreich 1992-1998

Jahr						
1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
[%] zum Vorjahr						
4,1	3,6	3,0	2,2	1,9	1,3	0,9

Quelle: nach Statistik Austria (2000)

Die Umrechnung von nationalen Preisen zum Stand eines Jahres j in die Einheit $[\text{ECU}_{\text{KKP}}]_{98}$ für das Jahr 1998 ergibt sich nun zu

$$\text{Preis [ECU}_{\text{KKP}}]_{98} = \frac{\text{Preis}}{\text{KKP}} \cdot \text{Wechselkurs} \cdot \prod_{n=j+1}^{1998} \left(1 + \frac{\Delta\text{VPI}_n}{100}\right) , \quad (11)$$

mit

Preis Preis des Jahres j in [Nationaler Währungseinheit] _{j} ,

KKP	Kaufkraftparität des Jahres j in [Nationaler Währungseinheit/ATS] $_j$,
Wechselkurs	Mittelkurs für Devisen 1998 mit 0,072 [ECU/ATS] $_{98}$,
ΔVPI_n	Veränderung des Verbraucherpreisindex des Jahres n in [%] zum Vorjahr.

Die Preise von Ländern, welche im Vergleich zu Österreich einen höheren Preisniveauindex besitzen, werden bei einer Umrechnung mit den obigen Gleichungen (10) und (11) niedriger, als bei einer Berücksichtigung des Devisenmittelkurses allein.

3. Erzeugung des Verkehrsmodells

3.1 Datengrundlagen

Als Datengrundlage für die Erstellung des Verkehrsmodells dieser Diplomarbeit dient das Verkehrsmodell aus der Studie über die Entwicklung des alpenquerenden Verkehrs der Prognos AG *et al.* (1997). Das Verkehrsmodell wurde mit dem Verkehrsplanungsprogramm POLYDROM erstellt. Als Referenzjahr diente das Jahr 1992, d.h. die Daten des Verkehrsangebotes und der Verkehrsnachfrage bildeten den Zustand für das Jahr 1992 ab.

Die Bearbeitung dieser Diplomarbeit soll, entsprechend der Aufgabenstellung, mit dem Verkehrsplanungsprogramm VISUM erfolgen. In einem ersten Arbeitsschritt wird somit eine Schnittstelle zur Konvertierung der Daten aus dem POLYDROM-Format in das VISUM-Format, eine sogenannte PolyVisum-Schnittstelle, entwickelt. Zum notwendigen Verständnis der durchgeführten Programmierarbeit sind im folgenden die unterschiedlichen Strukturen der Eingabedateien für die Verkehrsplanungsprogramme POLYDROM und VISUM beschrieben. Die Beschreibung der Datenstrukturen erfolgt dabei in Bezug auf die vorhandenen POLYDROM-Dateien der Prognos-Studie, d.h. für den Fall allgemeiner POLYDROM-Daten ist sie nicht vollständig.

3.1.1 POLYDROM

Die Dateien zur Beschreibung eines Verkehrsmodells in POLYDROM sind zum einen Parameterdateien und zum anderen Netz- bzw. Verkehrsdateien.

Tabelle 8 Parameterdateien für POLYDROM

Datei	Inhalt
IPDEFN .000	Definitionen
IPOCCU .var	Besetzungsgrade
IPSUPL .var	Angebotsfunktionen
IPGRAF .var	Grafische Elemente

Tabelle 9 Netz- bzw. Verkehrsdateien für POLYDROM

Datei	Inhalt
INNODE .var	Knoten in kartesischen Koordinaten
INLINK .var	Strecken
INZONE .var	Bezirke
INTRIP .var	Fahrbeziehungen

Die Parameterdateien mit der Bezeichnung IP*.var und die Netzdateien mit der Bezeichnung IN*.var sind, soweit in der Prognos-Studie vorhanden, in Tabelle 8 und Tabelle 9 aufgelistet. Die Dateierweiterung ".var" bezeichnet dabei einen Planfall. Der Wert von "var" liegt im Allgemeinen zwischen 000 und 999, bei den Prognos-Daten im Speziellen existieren jedoch nur Dateien mit 000 und 300.

Die Definition der Parameterdatei IPDEFN.000 erfolgt ausschließlich für den Nullfall, d.h. es existiert nur eine Datei mit der Erweiterung 000. Die IPDEFN.000 muss alle Codes enthalten, welche in anderen POLYDROM-Dateien verwendet werden. Die Beschreibung der einzelnen Codes erfolgt mit Angabe der Kurzbezeichnung, der Bezeichnung und im Falle von Streckenklassen mit der Farbnummer der POLYDROM-Darstellung. Die Kurzbezeichnung dient dabei zur Verknüpfung der einzelnen Dateien. Die Daten der einzelnen Datensätze befinden sich dabei auf vorgegebenen Positionen innerhalb einer Zeile; siehe Tabelle 10.

Tabelle 10 Datensatz der IPDEFN.000

Spalte	Beschreibung	Einheit	Typ	von Zeichen	bis Zeichen
CODE	Code, z.B. LCLA	[-]	Character*4	1	4
SHRT	Kurzbezeichnung	[-]	Character*6	5	10
LONG	Bezeichnung	[-]	Character*30	12	41
COLOR	Farbnummer der Streckenklasse	[-]	Integer	42	44

Die Angaben zu den einzelnen Streckenklassen, Knotenklassen, Verkehrsträgern, Verkehrsmitteln, Verkehrstypen und Fahrtzwecken erfolgen mit definierten Codes, welche in Tabelle 11 angeführt sind.

Tabelle 11 Codes der IPDEFN.000

Code	Beschreibung	Beispiele
LCLA	Streckenklasse	Landesstraße, Bundesstraße, Autobahn, ...
NCLA	Knotenklasse	Alpenübergänge, Städte, wichtige Knoten, ...
MODE	Verkehrsträger	Straße
MEAN	Verkehrsmittel	Pkw, Lkw, ...
TTYP	Verkehrsart	Pendlerverkehr, Güterverkehr, ...
MTIV	Fahrtzweck	Personenverkehr, Gütergruppe 0 bis 6, ...

Die Parameterdatei IPOCCU.var existiert für einen Planfall. In der Datei erfolgt die Definition der Besetzungsgrade der Verkehrsmittel für jede gültige Kombination von Verkehrsart und Fahrtzweck. Die Besetzungsgrade geben somit für jedes Verkehrsmittel, abhängig von Verkehrsart und Fahrtzweck, die Anzahl der transportierten Personen bzw. Tonnen je Fahrt an; siehe Tabelle 12. Analog dazu erfolgt dann in der Datei INTRIP.var die Angabe von Personenfahrten bzw. Tonnenfahrten, sowohl für den Fall des Individualverkehrs als auch den Fall des öffentlichen Verkehrs.

Tabelle 12 Datensatz der IPOCCU.var

Spalte	Beschreibung	Einheit	Typ	von Zeichen	bis Zeichen
TTYP	Verkehrsart	[-]	Character*6	1	6
MTIV	Fahrtzweck	[-]	Character*6	7	12
MEAN	Verkehrsmittel	[-]	Character*6	13	18
VALUE	Besetzungsgrad	[TTYP/MEAN]	Real	21	30

Die Parameterdatei IPSUPL.var existiert genauso für jeden Planfall. In dieser Datei werden für jedes Verkehrsmittel auf dem Verkehrsträger, z.B. Pkw auf Straße, die Leistungsfähigkeiten der vorhandenen Streckenklassen, die im unbelasteten Netzzustand erzielbaren Geschwindigkeiten auf den Streckenklassen und die Faktoren zur Umrechnung der Fahrzeug-Einheiten in Pkw-Einheiten beschrieben; siehe Tabelle 13. Bei fehlender Angabe der Kapazität in der IPSUPL.var wird die Leistungsfähigkeit zu unendlich gesetzt. Ähnliches gilt für den Faktor

zur Berücksichtigung der Belastungswirkungen verschiedener Fahrzeugklassen, der Default-Wert des Faktor ist jedoch Eins. Ist keine Zuordnung eines Verkehrsmittels zu einer Streckenklasse vorhanden, dann sind diese Strecken für das Verkehrsmittel gesperrt.

Tabelle 13 Datensatz der IPSUPL.var

Spalte	Beschreibung	Einheit	Typ	von Zeichen	bis Zeichen
MEAN	Verkehrsmittel	[-]	Character*6	1	6
MODE	Verkehrsträger	[-]	Character*6	7	12
LCLA	Streckenklasse	[-]	Character*6	13	18
VKMH	Geschwindigkeit0	[km/h]	Integer	21	24
CAPA	Kapazität	[MEAN/h]	Real	25	34
AEQU	Fz-Äquivalent	[-]	Real	35	41

Zur Entwicklung der PolyVisum-Schnittstelle steht eine weitere Parameterdatei zur Verfügung, die Datei IPGRAF.var. Sie enthält Angaben zu grafischen Elementen, welche über das Verkehrsangebot eingeblendet werden können und somit die Orientierung in bzw. die interaktive Arbeit mit dem Verkehrsmodell erleichtern. Einen einfachen Fall eines Grafikelements stellt dabei der Polygonzug dar, dessen Punkte durch kartesische Koordinaten beschrieben werden. Ein Polygonzug beginnt mit dem Datensatz, welcher den Code PLIN und die Startkoordinaten enthält, und endet mit dem Datensatz des Punktes, welcher vor dem nächsten Code PLIN steht. Wie in Tabelle 14 ersichtlich erfolgt die Datensatzbeschreibung analog zu den vorhergehenden Parameterdateien, mit der Ausnahme, dass die Spalte GRAF nur für den Startpunkt des Polygons belegt ist.

Tabelle 14 Datensatz der IPGRAF.var

Spalte	Beschreibung	Einheit	Typ	von Zeichen	bis Zeichen
GRAF	PLIN für Startpunkt bzw. keine Angabe für Folgepunkt eines Polygonzuges	[-]	Character*4	1	4
X	x-Koordinate	[km]	Real	5	14
Y	y-Koordinate	[km]	Real	15	24

Zur vollständigen Beschreibung eines Verkehrsmodells für das Verkehrsplanungsprogramm POLYDROM werden noch die Netz- bzw. Verkehrsdateien benötigt. Die Datei INNODE.var enthält Angaben zu den Knotenpunkten, welche als Punktobjekte die räumliche Lage von Straßenkreuzungen für den Individualverkehr definieren. Die Knoten sind Anfangs- bzw. Endpunkte von Strecken. Obligatorische Angaben zu den Knoten der INNODE.var sind eindeutige KnotenID's sowie x-Koordinaten und y-Koordinaten im kartesischen Koordinatensystem. Die weiteren Attribute der Knoten enthalten Angaben zu eventuellen Wartezeiten, zu Knotenklassen und zusätzliche textliche Beschreibungen; siehe Tabelle 15.

Tabelle 15 Datensatz der INNODE.var

Spalte	Beschreibung	Einheit	Typ	von Zeichen	bis Zeichen
NODE	KnotenID	[-]	Character*6	1	6
X	x-Koordinate	[km]	Real	7	16
Y	y-Koordinate	[km]	Real	17	26
TWAI	Wartezeit für IV	[min]	Real	32	38
NCLA	Knotenklasse	[-]	Character*6	50	55
TEXT	Zusätzlicher Text	[-]	Character*30	95	124

Die Strecken eines Verkehrsmodells entsprechen den Straßen der Realität. Die Strecken verbinden die Knoten und beschreiben so die Struktur des Straßennetzes für den Individualverkehr. Die relevanten Informationen zur Definition der Streckeneigenschaften stehen in der Datei INLINK.var. Jeder Datensatz entspricht dabei einer Strecke, d.h. die Hinrichtung und die Retourrichtung einer Strecke stellen zwei unabhängige Netzobjekte dar. Die Beschreibung erfolgt mit der obligatorischen Angabe des Startknotens A, des Endknotens B, des Verkehrsträgers und der Streckenklasse. Die Knoten werden dabei eindeutig über die KnotenID der INNODE.var identifiziert. Die weiteren Streckenattribute in Tabelle 16 beschreiben die Streckenlänge und individualverkehrsspezifisch die Fahrtzeit im unbelasteten Netz, eine zusätzlichen Wartezeit oder eine von der Streckenklasse abweichende Kapazität. Die Attribute der Streckenlänge und der spezifischen Fahrtzeit dürfen dabei nicht gleichzeitig belegt sein, da sonst eine Überbestimmung mit der Geschwindigkeit aus der IPSUPL.var auftreten würde. Die Angabe einer spezifischen Kapazität in der INLINK.var hat für eine Strecke die höchste Priorität, d.h. die Beschreibung der Leistungsfähigkeit der Streckenklasse in der IPSUPL.var wird in diesem Fall für die Strecke ignoriert.

Tabelle 16 Datensatz der INLINK.var

Spalte	Beschreibung	Einheit	Typ	von Zeichen	bis Zeichen
NODA	KnotenID A	[-]	Character*6	1	6
NODB	KnotenID B	[-]	Character*6	7	12
MODE	Verkehrsträger	[-]	Character*6	13	18
LCLA	Streckenklasse	[-]	Character*6	19	24
DIST	Distanz	[km]	Real	31	37
TIME	Fahrtzeit0 für IV	[min]	Real	38	44
TWAI	Wartezeit für IV	[min]	Real	45	51
CAPA	Kapazität für IV	[MEAN/h]	Real	90	99

In der Netzdatei INZONE.var sind die Zonen enthalten, welche als Punktobjekte die Ausgangs- und Zielpunkte von Ortsveränderungen darstellen. Die Beschreibung der Verkehrsbezirke und die weitere Verknüpfung mit den Daten der Verkehrsnachfrage erfolgt dabei über eindeutige ZonenID's. Die Lage der Zonen wird über die KnotenID's der Anschlussknoten oder bei fehlender Knotenangabe über die entsprechenden kartesischen Koordinaten in x- und y-Richtung definiert. Zusätzlich stehen in der Datei Informationen über die Bezeichnungen der Regionen sowie weitere textliche Beschreibungen. Die Struktur eines Datensatzes der INZONE.var ist, analog zu den vorhergehenden Eingabedateien für POLYDROM, aus Tabelle 17 ersichtlich.

Tabelle 17 Datensatz der INZONE.var

Spalte	Beschreibung	Einheit	Typ	von Zeichen	bis Zeichen
ZONE	ZonenID	[-]	Character*6	1	6
NODE	KnotenID	[-]	Character*6	7	12
RGIO	Region	[-]	Character*6	15	20
X	x-Koordinate	[km]	Real	27	36
Y	y-Koordinate	[km]	Real	37	46
TEXT	Zusätzlicher Text	[-]	Character*30	73	102

Die letzte noch benötigte Datei zur Komplettierung eines Verkehrsmodells in POLYDROM, die INTRIP.var, enthält die Daten der Verkehrsnachfrage. Die Datei beinhaltet alle Quelle-Ziel-Beziehungen.. Eine Differenzierung nach der Verkehrsart TTYP und dem Fahrtzweck MTIV, entsprechend den Definitionen der IPDEFN.000, erfolgt durch die entsprechenden Angaben in den einzelnen Datensätzen; siehe Tabelle 18. Jeder Datensatz beschreibt für ein spezifisches Nachfragesegment den Wert der Fahrbeziehung in der Einheit [TTYP]. Es handelt sich dabei um Personenfahrten oder Tonnenfahrten, falls die Besetzungsgrade der IPOCCU.var die Anzahl der transportierten Personen oder Tonnen auf einer Fahrt mit dem Verkehrsmittel angeben. Sind in der IPOCCU.var die Besetzungsgrade zu Eins gesetzt, so entspricht der Wert der INTRIP.var der Anzahl der Verkehrsmittelfahrten, in diesem Fall auch gleich der Personenfahrten bzw. Tonnenfahrten. Die Werte der Fahrbeziehungen sind gerichtete Größen, d.h. nicht symmetrisch. Sie werden aufsummiert, falls in der INTRIP.var eine Quelle-Ziel-Beziehung mehrmals vorkommt, d.h. Quellzone, Zielzone, Verkehrsart und Fahrtzweck gleich sind.

Tabelle 18 Datensatz der INTRIP.var

Spalte	Beschreibung	Einheit	Typ	von Zeichen	bis Zeichen
ORIG	ZonenID Quelle	[-]	Character*6	1	6
DEST	ZonenID Ziel	[-]	Character*6	7	12
TTYP	Verkehrsart	[-]	Character*6	13	18
MTIV	Fahrtzweck	[-]	Character*6	19	24
VALUE	Wert der Fahrbeziehung	[TTYP]	Real	25	34

3.1.2 VISUM

Die Dateien zur Erstellung eines Verkehrsmodells mit dem Verkehrsplanungsprogramm VISUM beinhalten im Wesentlichen die gleichen Information wie die Eingabedateien für POLYDROM, die Datenstruktur ist jedoch eine andere. Zur vollständige Beschreibung des Verkehrsmodells sind in VISUM sowohl die Netzdatei *.net als auch die Fahrtenmatrizen *.fma notwendig; siehe Tabelle 19. Zusätzlich besteht in VISUM die Möglichkeit, grafische Informationen über das Verkehrsangebot einzublenden. Diese grafischen Elemente werden über eine Hintergrunddatei *.hgr eingelesen. Sie erleichtern zum einen die interaktive Arbeit

mit VISUM und ermöglichen zum anderen die Erstellung von optisch ansprechenden, grafischen Darstellungen des Verkehrsangebotes mit seinen Umlegungsergebnissen.

Tabelle 19 Eingabedateien für VISUM

Name		Inhalt
Netzdatei	*.net	Verkehrsangebot
Fahrtenmatrizen	*.fma	Verkehrsnachfrage
Hintergrunddatei	*.hgr	Grafische Elemente, optional

Die Netzdatei *.net enthält alle Daten der Netzobjekte in Form von Listen bzw. Tabellen, welche durch die Angabe des Schlüsselzeichens \$ und des Tabellennamens definiert werden. Die anschließenden Bezeichnungen der Tabellenspalten mit den Kurznamen der jeweiligen Attribute sind durch ein Semikolon getrennt. Bei den Attributen handelt es sich entweder um Pflichtattribute oder optionale Attribute. Die Pflichtattribute sind zum Aufbau eines konsistenten Netzmodells erforderlich, die optionalen Attribute können, bei fehlender Angabe, über Standardwerte bzw. Voreinstellungen automatisch gesetzt werden. Die einfachste Form einer Netzdatei für den Individualverkehr beinhaltet Listen bzw. Tabellen mit Angaben zu den Netzparametern, den Verkehrssystemen, den Modi, den Nachfragesegmenten, den Knoten, den Bezirken, den Streckentypen, den Strecken und den Anbindungen. Die Strukturen dieser Listen sind in Tabelle 20 bis Tabelle 29 erkennbar.

Die Tabelle 20 der Liste der Netzparameter ermöglicht die Definition eines Maßstabsfaktors zur Umrechnung von Streckenlängen, um diese an einen Kartenmaßstab anzupassen. Des Weiteren werden mit der Angabe des Zeitformates zu Minuten oder Sekunden die Zeitangaben der Attribute in der Netzdatei entsprechend interpretiert. Die Nachkommastellen wiederum geben die Anzahl der Nachkommastellen der Netzkoordinaten an, als Standardwert gilt 4.

Tabelle 20 Liste der Netzparameter

Attribut	Beschreibung	Einheit	Typ
Mass	Maßstabsfaktor, maximal 100000	[-]	Real
Zeitformat	Zeitformat, min oder sec	[-]	Character*3
Nachkommastellen	Anzahl der Nachkommastellen, maximal 8	[-]	Integer

Die Tabelle 21 der Verkehrssystemliste definiert neben dem Code, dem Namen, dem Typ und der allgemeinen Höchstgeschwindigkeit des Verkehrssystems auch die Belastungswirkung eines IV-Fahrzeuges durch die Angabe der entsprechenden Pkw-Einheiten. Als Standard bei fehlenden Eingabewerten für den IV gelten 200 km/h für die Höchstgeschwindigkeit und 1,0 Pkw-Einheiten. Die eigentliche Definition der Höchstgeschwindigkeit eines Verkehrsmittels erfolgt im Normalfall streckentypspezifisch; siehe Tabelle 27 Liste der Streckentypen. Die Höchstgeschwindigkeit in der Liste der Verkehrssysteme hat daher eine niedrigere Priorität.

Tabelle 21 Liste der Verkehrssysteme

Attribut	Beschreibung	Einheit	Typ
VSysCode	Code der Verkehrssysteme	[-]	Character*1
VsysName	Name des Verkehrssystems	[-]	Character*30
VsysMode	Typ des Verkehrssystems, IV, OV oder OF	[-]	Character*2
VSys_v	Höchstgeschwindigkeit eines Verkehrssystems	[km/h]	Long Integer
Pkw-E	Pkw-Einheiten, 0,0 bis 9,9	[Pkw-Einheiten]	Real

In Tabelle 22 der Modiliste und Tabelle 23 der Nachfragesegmentliste erfolgen die Verknüpfungen der Verkehrssysteme und die Zuordnungen der Nachfragesegmente zu den Modi mittels Angabe der Verkehrssystemcodes und der Moduscodes. Ein Modus beinhaltet genau ein IV-Verkehrssystem und ein Nachfragesegment kann genau einem Modus zugeordnet werden, es können jedoch mehrere Nachfragesegmente einem Modus zugeordnet werden. Die Besetzungsgrade in der Liste der Nachfragesegmente dienen dabei zur Umrechnung der Werte der Fahrtenmatrizen des Individualverkehrs von der Einheit [Kfz-Fahrten] in die Einheit [Personen-Fahrten].

Tabelle 22 Liste der Modi

Attribut	Beschreibung	Einheit	Typ
Code	Code des Modus	[-]	Character*1
Name	Name des Modus	[-]	Character*30
VSysCode	Aufzählung der Codes der zulässigen Verkehrssysteme, definierte Verkehrssystemcodes	[-]	Character

Tabelle 23 Liste der Nachfragesegmente

Attribut	Beschreibung	Einheit	Typ
Code	Code des Nachfragesegments	[-]	Character*1
Name	Name des Nachfragesegments	[-]	Character*30
Modus	Code des zugeordneten Modus, definierter Moduscode	[-]	Character*1
BGrad	Besetzungsgrad zur Umrechnung der IV-Fahrten von [Kfz-Fahrten] in [Personen-Fahrten]	[-]	Real

Die Liste der Knotentypen in Tabelle 24 stellt eine optionale Liste dar, in welcher die Definition der Knotentypen und die Beschreibung der Knotentypnamen erfolgt. Wird diese Liste nicht verwendet, so kann der Knotentyp auch in der Liste der Knoten definiert werden, allerdings nur mit dem Standardwert einer leeren Zeichenfolge als Knotentypname.

Tabelle 24 Liste der Knotentypen

Attribut	Beschreibung	Einheit	Typ
Typ	Typ des Knotens, 00 bis 99	[-]	Integer
Name	Name des Knotentyps	[-]	Character*20

Die Tabelle 25 der Knotenliste beschreibt die Eigenschaften der Straßenkreuzungen, welche die Anfangs- bzw. Endpunkte von Strecken darstellen. Die obligatorischen Definitionen dieser Liste sind die Angaben einer eindeutigen Knotennummer und der Knotenkoordinaten in x- und y-Richtung. Die optionalen Attribute des Knotens, wie Knotenkurzbezeichnung und Knotenname, werden bei fehlender Angabe mit dem Standardwert einer leeren Zeichenfolge belegt. Ähnliches gilt für die weiteren optionalen Angaben zum Knotentyp und zu der Haltestellenbeschreibung für den öffentlichen Verkehr, der Standardwert ist für beide Attribute Null.

Die Bezirke, welche als Punktobjekte die Lage von Nutzungen im Netz beschreiben, werden durch die Liste in Tabelle 26 definiert. Als notwendige Pflichtattribute sind, analog zu den Knoten, eine eindeutige Bezirksnummer sowie die Koordinaten des Bezirksschwerpunktes in x- und y-Richtung in der Netzdatei anzuführen. Zusätzliche Angaben zum Bezirksnamen und zum Bezirkstyp werden, so sie nicht vorhanden sind, mit den Standardwerten einer leeren Zeichenfolge bzw. mit Null belegt. Als weiterer Standard ist für die Aufteilung der Quell- und

Zielverkehre des Individualverkehrs auf die IV-Anbindungen der Wert Null voreingestellt, welcher die Verkehrsnachfrage frei auf die Anbindungen verteilt.

Tabelle 25 Liste der Knoten

Attribut	Beschreibung	Einheit	Typ
Nr	Nummer des Knotens, 1 bis 99999999	[-]	Long Integer
Code	Kurzbezeichnung des Knotens	[-]	Character*8
Name	Name des Knotens	[-]	Character*20
Typ	Typ des Knotens, 00 bis 99	[-]	Integer
Xkoord	x-Koordinate des Knotens	[m]	Real
Ykoord	y-Koordinate des Knotens	[m]	Real
Hst	Haltestelle für ÖV, 0-nein oder 1-ja	[-]	Integer

Tabelle 26 Liste der Bezirke

Attribut	Beschreibung	Einheit	Typ
Nr	Nummer des Bezirks, 1 bis 99999999	[-]	Long Integer
Name	Name des Bezirks	[-]	Character*20
Typ	Typ des Bezirks, 0 bis 9	[-]	Integer
Xkoord	x-Koordinate des Bezirksschwerpunktes	[m]	Real
Ykoord	y-Koordinate des Bezirksschwerpunktes	[m]	Real
Proz_Q(IV) Proz_Z(IV)	Aufteilung des IV-Quell- und Zielverkehrs, 0-absolut oder 1-prozentual	[-]	Integer

Die Liste der Streckentypen in Tabelle 27 ermöglicht eine Klassifikation des Verkehrsnetzes durch eine typbezogene Definition von Streckenparametern. Es können somit für eine Streckenklasse die Standardwerte für den Streckentypnamen, die zugelassenen Verkehrssysteme, die IV-Kapazität, die zulässige Geschwindigkeit bei freiem Verkehrsfluss, die Höchstgeschwindigkeiten der zugelassenen Verkehrssysteme und der Rang der Streckenhierarchie angegeben werden. Die Höchstgeschwindigkeit eines IV-Verkehrssystems hat in dieser Liste eine höhere Priorität als in der Liste der Verkehrssysteme; siehe auch Tabelle 21. Bei fehlenden

Angaben von Streckentypattributen werden der Streckentypname zu einer leeren Zeichenfolge, die Kapazität zu 99.999 Pkw-E/Zeitraum, die zulässige Geschwindigkeit bei freiem Verkehrsfluss zu 50 km/h, die Höchstgeschwindigkeiten der IV-Verkehrssysteme entsprechend den maximalen Geschwindigkeiten der Verkehrssystemliste und der Rang der Streckenhierarchie zu Eins gesetzt.

Tabelle 27 Liste der Streckentypen

Attribut	Beschreibung	Einheit	Typ
Nr	Nummer des Streckentyps, 00 bis 99	[-]	Integer
Name	Name des Streckentyps	[-]	Character*20
VSysCode	Aufzählung der Codes der zulässigen Verkehrssysteme, definierte Verkehrssystemcodes	[-]	Character
Kap-IV	IV-Kapazität bzw. Leistungsfähigkeit in einem Zeitraum	[Pkw-E / Zeitraum]	Long Integer
v0-IV	Maximal zulässige Geschwindigkeit auf der Strecke bei freiem Verkehrsfluss	[km/h]	Long Integer
vMax-IV (VSysCode)	Höchstgeschwindigkeit für jedes IV-Verkehrssystem	[km/h]	Long Integer
Rang	Streckenhierarchie zur Ermittlung der Hauptströmen, >0	[-]	Long Integer

In Tabelle 28 der Streckenliste erfolgt die Beschreibung der Strecken, welche in VISUM als gerichtete Kanten abgebildet werden. Die Hin- und die Retourrichtung einer Strecke sind unabhängige Netzobjekte, sie besitzen jedoch die gleiche Streckennummer. Zur eindeutigen Definition einer Strecke sind somit die Streckennummer, die Startknotennummer und die Zielknotennummer erforderlich. Die Beschreibungen der IV-Kapazität, der zulässigen Verkehrssysteme und der zulässigen IV-Geschwindigkeit bei freiem Verkehrsfluss haben in der Streckenliste bei Angabe eines Streckentyps eine höhere Priorität als die Angaben in der Liste der Streckentypen. Bei fehlenden Angaben werden als Standardwerte die Attribute der Streckentypenliste übernommen, ausgenommen bei der Aufzählung der zulässigen Verkehrssystemcodes. Fehlende Verkehrssystemcodes bedeuten nämlich eine Sperre der Strecke für diese Verkehrssysteme. Die Voreinstellung für die Streckenlänge wird aus der Luftlinienentfernung zwischen Startknoten und Zielknoten berechnet, die Entfernung kann jedoch auch spezifisch angegeben werden. Der Standardwert Eins für die Einbahnstraßenkennung ermöglicht einerseits eine graphische Hervorhebung von Strecken, deren Gegenrichtung für ein Verkehrssystem

tem nicht zugelassen ist, und andererseits eine unterschiedliche Belegung der Streckenattribute der Hin- und Rückrichtung.

Tabelle 28 Liste der Strecken

Attribut	Beschreibung	Einheit	Typ
Nr	Nummer des Strecke, 1 bis 99.999.999	[-]	Long Integer
VonKnot	Startknotennummer der Strecke, definierte Knotennummer	[-]	Long Integer
NachKnot	Zielknotennummer der Strecke, definierte Knotennummer	[-]	Long Integer
Typ	Typ der Strecke, definierte Streckentypnummer	[-]	Integer
Laenge	Länge der Stecke	[m]	Long Integer
Kap-IV	IV-Kapazität bzw. Leistungsfähigkeit in einem Zeitraum	[Pkw-E / Zeitraum]	Long Integer
VSysCode	Aufzählung der Codes der zulässigen Verkehrssysteme, definierte Verkehrssystemcodes	[-]	Character
v0-IV	Maximal zulässige Geschwindigkeit auf der Strecke bei freiem Verkehrsfluss	[km/h]	Long Integer
Einbahn	Einbahnstraßenkennung, 1 oder 0	[-]	Integer

Tabelle 29 Liste der Anbindungen

Attribut	Beschreibung	Einheit	Typ
BezNr	Nummer des Bezirks, definierte Bezirksnummer	[-]	Long Integer
KnotN	Nummer des Knotens, definierte Knotennummer	[-]	Long Integer
Richtung	Zulässige Anbindungsrichtung, QZ, Q oder Z	[-]	Character
Typ	Typ der Anbindung, 0 bis 9	[-]	Integer
Laenge	Länge der Anbindung	[m]	Long Integer
IV-Zul	Zulässige Anbindung für den IV, 1 oder 0	[-]	Integer
OV-Zul	Zulässige Anbindung für den ÖV, 1 oder 0	[-]	Integer

Abbildung 9 Struktur der Netzdatei *.net

```
$VISION
$VERSION:VersNr;FileType;Language
1.0;Net;D
*
*Dateiinfo
$DATEIINFO:TEXT
$
* Maßstab und Zeitformat
$NETZPARAMETER:Mass;Zeitformat;Nachkommastellen
1.00;Min;4
*
* Liste der Verkehrssysteme
$VSY:VSysCode;VSysName;VSysMode;VSys_v;Pkw-E
P;Pkw;IV;200;1.000
*
* Liste der Modi
$MODUS:Code;Name;VSysCode
P;Pkw;P
*
* Liste der Nachfragesegmente
$NACHFRAGESEGMENT:Code;Name;Modus;BGrad
G;Geschäftsverkehr;P;1.700
*
* Liste der Knotentypen 0-99
$KNOTENTYP:Typ;Name
20;Pass Alpenübergänge
*
* Liste der Knoten
$KNOTEN:Nr;Code;Name;Typ;XKoord;YKoord;Hst
2377;K_Brenal;Brennerautobahn;20;184939.4000;-95250.6000;0
*
* Liste der Bezirke
$BEZIRK:Nr;Name;Typ;XKoord;YKoord
7;7 Austria Tirol-Osten;1;181172.0000;-80537.0000
*
* Liste der Streckentypen 0-99
$STRECKENTYP:Nr;Name;Kap-IV;v0-IV;VSysCode;vMax-IV(P); vMax-IV(L); vMax-IV(S);Rang
21;MW Autobahn;37500;100;PLS;100;80;80;1
*
* Liste der Strecken
$STRECKEN:Nr;VonKnot;NachKnot;Typ;Laenge;Kap-IV;VSysCode;v0-IV;Einbahn
1978;1321;2377;21;9000;37500;PLS;100;1
*
* Liste der Anbindungen
$ANBINDUNG:BezNr;KnotNr;Richtung;Typ;Laenge;IV-Zul;OV-Zul
7;7;QZ;0;0;1;1
$
```

Quelle: nach PTV AG (1999), 15-42 bis 15-47

Die Liste der Anbindungen in Tabelle 29 beschreibt die Zu- und Abgangswege zwischen den Bezirksschwerpunkten und den zugehörigen IV-Knoten. Der Anschluss der Bezirke an das Streckennetz erfolgt durch die Angaben einer vorhandenen Bezirksnummer und Knotennummer. Diese beiden Pflichtattribute sind für die Definition einer Anbindung erforderlich, im Gegensatz dazu können die weiteren Attribute mit Standardwerten belegt werden. So ist eine Anbindung per Voreinstellung für beide Richtungen, d.h. für Quellverkehr und Zielverkehr, sowohl für den Individualverkehr als auch den öffentlichen Verkehr zulässig. Als Standardwert für den Anbindungstyp wird Null verwendet, und die Anbindungslänge wird aus der Luftlinienentfernung ermittelt.

Die gesamte Struktur einer Netzdatei *.net für den Individualverkehr, wie sie im Rahmen dieser Diplomarbeit generiert wurde, ist in Abbildung 9 dargestellt. Die darin enthaltenen Listen beinhalten auszugsweise je einen Datensatz der später erzeugten Netzobjekte. Die Zeilen, welche mit einem * beginnen, gelten als Kommentarzeilen und werden von VISUM nicht eingelesen.

Die Fahrtenmatrizen *.fma vervollständigen das Verkehrsmodell mit den Daten der Verkehrsnachfrage. Die Verkehrsnachfrage ist dabei nicht in einer Datei enthalten, sondern differenziert nach vorhandenen Nachfragegruppen bzw. Fahrtzwecken auf mehrere Dateien aufgeteilt. Die Fahrbeziehungen können für bzw. in VISUM in verschiedenen Formaten gespeichert werden. Die Wahl besteht zwischen einem Binärformat und den ASCII-Formaten O und V. Das O-Format beinhaltet die Quelle-Ziel-Beziehungen in der Form *Quellbezirk – Zielbezirk – Fahrtenanzahl*, hingegen sind im V-Format die Fahrten je Quellbezirk in der Form *Fahrtenanzahl zu Zielbezirk 1 – Fahrtenanzahl zu Zielbezirk 2 – ... – Fahrtenanzahl zu Zielbezirk n* enthalten. Zur Anwendung in dieser Arbeit gelangt das O-Format, welches sich programmier-technisch leichter umsetzen lässt. Entsprechend einer Konvention in VISUM ist die Fahrtenanzahl bei Matrizen für den Individualverkehr in der Einheit [Kfz-Fahrten] und bei Matrizen für den öffentlichen Verkehr in der Einheit [Personen-Fahrten] gegeben; siehe auch Besetzungsgrad in Tabelle 23.

Die Struktur einer Fahrtenmatrixdatei *.fma im O-Format ist in Abbildung 10 erkennbar. Die Datei beginnt mit der Kennung \$OR, wobei durch das R ein zufälliges Auf- und Abrunden beim VISUM-Einlesevorgang eingestellt wird. Analog zur Netzdatei beginnen Kommentarzeilen mit einem * und werden nicht eingelesen. Der erste Datensatz, dessen Inhalt von VISUM interpretiert wird, beinhaltet Angaben zum Zeitbereich, auf den sich die Fahrtenmatrix bezieht. Der angegebene Wert hat allerdings nur informativen Charakter, d.h. eine Änderung des Zeitintervalls hat keine Auswirkungen auf die Anzahl der Fahrten. Der zweite von

VISUM eingelesene Datensatz enthält einen Korrekturfaktor, mit dem die Anzahl der Fahrten beim Einlesen der Matrixdatei multipliziert werden kann. Der Faktor ermöglicht somit das Hochrechnen oder Reduzieren der Fahrtenanzahl, um den Zeitbereich der Matrixdatei mit der in [Pkw-E/Zeitraum] definierten Kapazität der Streckenelemente abzustimmen. Nach einer weiteren informativen Angabe zum Verkehrssystemtyp sind die Quelle-Ziel-Beziehungen in der Datei gespeichert. Als Trennzeichen zwischen den Feldern Quellbezirknummer, Zielbezirknummer und Anzahl der Fahrten sind sowohl Leerzeichen als auch Tabulatoren zugelassen.

Abbildung 10 Struktur der Fahrtenmatrixdatei *.fma im O-Format

```
$OR
* Zeitbereich, auf den sich die Fahrtenmatrix bezieht
* Von   Bis
  0.00  24.00
* Faktor
  1.0
* Verkehrsmittel-Nr 4
*   3 Verkehrsmittel ÖV
*   4 Verkehrsmittel IV
*
  1   2   334
  1   3   733
  2   6   3
  2  39   8
  ...
```

Quelle: nach PTV AG (1999), 15-72

Die optionalen Hintergrunddateien *.hgr und *.hgt enthalten die Beschreibungen der grafischen Elemente, welche über das Verkehrsangebot eingeblendet werden können. In VISUM einlesbar ist die binär-formatierte Hintergrunddatei *.hgr, welche aus der ASCII-formatierten Hintergrunddatei *.hgt erzeugt werden kann. Die Beschreibungen der Grafikelemente in der Datei *.hgt erfolgen in der Sprache Background und werden mit dem Background-Compiler in das binäre hgr-Format übersetzt. Die Struktur einer Hintergrunddatei im hgt-Format ist in Abbildung 11 dargestellt. Das Schlüsselwort BACKGROUND definiert dabei den gesamten Hintergrund, und der Skalierungsfaktor passt die Koordinaten der grafischen Objekte an die Koordinaten der Netzobjekte an. Die Beschreibungen von grafischen Elementen erfolgen zwischen den Anweisungen BEGIN und END, wodurch Elementweise zum Beispiel die Farbe, die Linienart und die Polygonart eingestellt werden kann. So erzeugt die Anweisung COLOR 7, LIFESTYLE 0 0.3 und POLYGON False True einen schwarzen Polygonzug mit durchgehender Linie der Dicke 0,3mm, wobei die umschriebene Polygonfläche nicht ausgefüllt, son-

dern nur umrandet wird. Die Punkte des Polygonzuges mit den jeweiligen Koordinaten in x- und y-Richtung folgen auf die Anweisung POLYGON.

Abbildung 11 Struktur der Hintergrunddatei *.hgt

```
BACKGROUND Landesgrenzen
SCALE 100%
BEGIN
  COLOR 7;
  LINETYPE 0 0.3;
  POLYGON False True
    -536820, 1443150
    -539820, 1445150
    -541820, 1444150
    -543820, 1445150
    -543820, 1449150
    -541820, 1448150
    -541820, 1452150
    -540820, 1452150;
  POLYGON False True
    -540820, 1452150
  ...
END
```

Quelle: nach PTV AG (1999), 15-88 und 15-89

3.2 Programm PolyVisum

Die Programmierung der Schnittstelle zur Konvertierung von Verkehrsmodellldaten aus dem POLYDROM-Format in das VISUM-Format erfolgt mit Visual Basic 5.0. Als Grundlage für die Entwicklung dienen die unter 3.1 beschriebenen Datenstrukturen, sowie die vorhandenen Prognos-Dateien im POLYDROM-Format. Entsprechend den Anforderungen dieser Diplomarbeit ermöglicht der Funktionsumfang der Schnittstelle das Erzeugen von Verkehrsnetzen *.net für den Individualverkehr und das Generieren von nachfragesegmentspezifischen Fahrtenmatrizen *.fma, sowohl für den IV als auch für den ÖV. In Anhang B sind sowohl die einzelnen Programmfunktionen, als auch die erforderlichen Arbeitsschritte bei einer Installation des PolyVisum-Konverters unter Windows, kurz beschrieben. Der ausführbare Programmcode PolyVisum10.exe, die zugehörigen Visual Basic-Quellcodes und die notwendigen ActiveX-Steuerelementdateien sind, entsprechend den Pfadangaben in Anhang E, auf der beiliegenden CD-ROM gespeichert.

Die Programmoberfläche und –bedienung entspricht der Praxis üblicher Windows-Anwendungen. Die Menüleiste des PolyVisum-Konverters besteht aus den folgenden Pull-down-Menüs mit den entsprechenden Funktionen:

- Datei
 - Initialisieren Polydrom ...
 - Initialisieren Visum ...
 - Beenden ...
- Polydrom
 - Zeitbereich ...
 - Definitionen ...
 - Belegungsgrade
 - Angebotsfunktionen ...
 - Zonen ...
 - Knoten ...
 - Strecken ...
 - Matrix ...
 - Grafikelemente ...
- Visum
 - Netz ...
 - Matrix ...
 - Grafik HGT ...
- Hilfe
 - Hilfethemen ...
 - Info ...

3.2.1 Menü Datei

Im Menü Datei sind verschiedene Funktionen zum Management von Dateien bzw. deren belegten Datenfeldern enthalten.

Die Funktionen Datei-Initialisieren-Polydrom und Datei-Initialisieren-Visum ermöglichen ein Rücksetzen von belegten POLYDROM- und VISUM-Feldern, wobei beim Initialisieren der POLYDROM-Felder automatisch auch die VISUM-Felder zurückgesetzt werden. Das Initialisieren der Felder sollte durchgeführt werden, wenn weitere Verkehrsmodellldaten konvertiert werden. Die Funktion Datei-Beenden schließt das Anwendungsfenster des PolyVisum-Konverters.

3.2.2 Menü Polydrom

Das Menü Polydrom beinhaltet die notwendigen Funktionen zum Einlesen der zu konvertierenden POLYDROM-Dateien. Die Reihenfolge des Einlesens der POLYDROM-Dateien ist dabei beliebig. Als Quellverzeichnis wird der Pfad der ersten einzulesenden Datei eingestellt. Es ist daher zweckmäßig, dass sich alle POLYDROM-Dateien im gleichen Verzeichnis befinden. Bei allen Polydrom-Funktionen wird bei einem erfolgreichen Einlesen der Datei die Anzahl der darin enthaltenen Datensätze bzw. Netzobjekte in einem Informationsfenster angezeigt.

Bei der Erstellung einer Netzdatei *.net ist es erforderlich, die vorhandenen POLYDROM-Dateien über die Funktionen Polydrom-Definitionen für die IPDEFN.000, Polydrom-Belegungsgrade für die IPOCCU.var, Polydrom-Angebotsfunktionen für die IPSUPL.var, sowie Polydrom-Zonen für die INZONE.var, Polydrom-Knoten für die INNODE.var und Polydrom-Strecken für die INLINK.var einzulesen.

Das Generieren einer Fahrtenmatrixdatei *.fma benötigt hingegen zusätzlich zu der Ausführung von Polydrom-Definitionen, Polydrom-Belegungsgrade und Polydrom-Zonen das Einlesen der INTRIP.var über die Funktion Polydrom-Matrix. Optional kann über die Funktion Polydrom-Zeitbereich der Zeitraum aus der OPTION.var gelesen werden, auf den sich die letzte POLYDROM-Umlegung bezogen hat. Der Zeitbereich muss allerdings nicht unbedingt mit dem Zeitraum übereinstimmen, auf den sich die Verkehrsnachfrage der INTRIP.var bezieht.

Für die Erzeugung einer Hintergrunddatei *.hgt ist es hingegen nur notwendig, die Datei mit den Grafikelementen, die IPGRAF.var, über die Funktion Polydrom-Grafikelemente einzulesen.

3.2.3 Menü Visum

Im Menü Visum befinden sich die Funktionen Visum-Netz, Visum-Matrix, und Visum-Grafik HGT zum Erzeugen der VISUM-Dateien *.net, *.fma und *.hgt. Die Funktionen sind erst anwählbar, wenn die für die Konvertierung erforderlichen POLYDROM-Dateien eingelesen worden sind; siehe Abschnitt 3.2.2 oben und Anhang B.

Die Funktion Visum-Netz zum Schreiben einer VISUM-Netzdatei *.net für den Individualverkehr erfordert als erstes die Auswahl eines Verzeichnisses, in dem die IV-Netzdatei und

zusätzlich eine Protokolldatei gespeichert werden. Die Protokolldatei *.log enthält bei einer erfolgreich durchgeführten Konvertierung Informationen zu den Netzobjekten, welche interaktiv mit VISUM in das Verkehrsangebot eingearbeitet werden müssen. Dieses nicht vollständig automatisierte Generieren einer Netzdatei wird deshalb bewusst gewählt, damit der Anwender des PolyVisum-Konverters ein besseres Gefühl für das erzeugte Verkehrsnetz bekommt. Bei einer fehlerhaften Netzerzeugung wird der Konvertierungsvorgang mit einer Fehlermeldung abgebrochen und das nicht erfolgreiche Schreiben der VISUM-Netzdatei in der Datei *.log protokolliert. Der Rechenaufwand der Übersetzung kann bei größeren Netzen nicht unerheblich sein. Es wird daher dem Anwender in einem Fortschrittsfenster der Status des jeweiligen Teilschrittes der Netzerzeugung angezeigt.

Beim Generieren der VISUM-Netzdatei werden als erstes die eingelesenen POLYDROM-Strecken auf vorhandene Hin- und Rückrichtungen überprüft, die Gesamtstreckenanzahl muss dabei zweimal der Anzahl der Hin- und Retourstrecken plus der Anzahl der Einfachstrecken entsprechen. Die Möglichkeit von POLYDROM, mehrere Strecken mit unterschiedlichen Streckenlängen von einem Knoten A zu einem Knoten B zu definieren, ist in VISUM nicht gegeben. Es werden daher zusätzliche Knoten in das Verkehrsnetz eingefügt, welche es erlauben, diese mehrfach belegten Strecken zu definieren.

Das Schreiben der Netzparameter wird mit einem Maßstabsfaktor von Eins, einem Zeitformat von Minuten und ohne die explizite Angabe von Nachkommastellen durchgeführt. Es folgt die Liste der Verkehrssysteme mit einem Vorschlag für die Verkehrssystemcodes, bestehend aus den ersten Buchstaben der Kurzbezeichnungen der Codes MEAN der IPDEFN.000. Ist dieser Code schon vergeben, so wird der nächste freie Buchstabe aus der Zeichenkette ausgewählt. Der Code kann durch den Anwender bestätigt, oder aber auch neu eingegeben werden. Der Verkehrssystemname wiederum wird aus der Kurzbezeichnung und der Bezeichnung von MEAN zusammengesetzt. Eine Definition des Verkehrssystems erfolgt für den Modus IV, wenn MEAN und MODE in der IPSUPL.var vorkommen und die Kurzbezeichnung von MODE der Zeichenkette "Road" oder "Strass" entspricht. Die Belastungswirkung eines IV-Fahrzeuges in Pkw-Einheiten wird ebenso aus der IPSUPL.var ermittelt und vervollständigt die Einträge in der Liste der Verkehrssysteme. Die Listen der Modi und Nachfragesegmente stehen normalerweise in der Netzdatei nach der Verkehrssystemliste. Die Listen werden jedoch nicht erzeugt, da die Vergabe der Codes für die Modi und Nachfragesegmente, die Eingabe der Besetzungsgrade der Nachfragesegmente und eine mögliche Korrektur der Fahrtenanzahl interaktiv beim Einlesen der Fahrtenmatrizen *.fma in VISUM erfolgen sollen.

Als nächstes wird es dem Benutzer der PolyVisum-Schnittstelle ermöglicht, eine Knotentypnummer zu definieren. Die Vergabe der Nummern soll dabei im Hinblick auf die spezifischen Darstellungsmöglichkeiten in VISUM erfolgen, welche es erlauben, für eine Knotenobertypklasse bestimmte grafische Eigenschaften einzustellen. Die Knotentypnummern 98 bzw. 99 können nicht vom Anwender der PolyVisum-Schnittstelle vergeben werden. Diese Nummern sind für Knoten reserviert, welche keiner Knotenklasse NCLA zugeordnet sind bzw. welche beim Konvertierungsvorgang zusätzlich eingefügt werden. Die Knotentypnamen hingegen werden aus den Kurzbezeichnungen und den Bezeichnungen der Codes NCLA der IPDEFN.000 zusammengesetzt.

Für die folgende Knotenliste werden die Knoten automatisch durchnummeriert, um den vorgegebenen numerischen Knotenidentifikationen in VISUM zu genügen. Die alphanumerischen KnotenID's der INNODE.var werden hingegen für die Codes der Knoten verwendet, wobei noch die Zeichenfolge "K_" vorangestellt wird. Für den Fall von zusätzlich eingefügten Knoten wird der Code aus der Zeichenfolge "K_", der Nummer des Auftretens dieses künstlichen Knotens und "_K" zusammengesetzt, so zum Beispiel zu K_2_K für den zweiten zusätzlich eingefügten Knoten. Die weiteren Knotenattribute Name und Typ werden mit den vorhandenen Textangaben der INNODE.var und den benutzerdefinierten Knotentypen belegt. Die Knotenkoordinaten in x- und y-Richtung werden von der Einheit [km] in die Einheit [m] umgerechnet und, gefolgt von der Haltestellenkennung Null für den IV, in die Liste eingetragen. Optionale Wartezeiten für den IV in den Knoten können nicht in die VISUM-Netzdatei übernommen werden und werden daher in die Protokolldatei geschrieben. Dem Anwender des PolyVisum-Konverters wird dadurch die Möglichkeit geboten, diese Knotenattribute bei einer Überarbeitung des übersetzten Netzes mit Zusatzwerten in VISUM einzuarbeiten.

Die anschließende Liste der Bezirke enthält ebenso automatisch generierte Bezirksnummern, da auch hier die alphanumerischen ZonenID's nicht für die numerischen Bezirksnummern in VISUM verwendet werden können. Die Zusammensetzung der Bezirksnamen erfolgt durch das Aneinanderreihen der ZonenID's, der Regionen und der zusätzlichen Textangaben der INZONE.var. Die Bezirkskoordinaten werden entweder aus der INZONE.var ausgelesen, oder bei fehlenden Angaben in der INZONE.var aus der INNODE.var ermittelt. Die Erzeugung der VISUM-Bezirke erfolgt in unmittelbarer Nähe der POLYDROM-Zonen, d.h. in x- und y-Richtung um hundert Meter versetzt. Die POLYDROM-Zonen verbleiben somit als VISUM-Knoten in der Netzbeschreibung und dienen als Anschlussknoten der VISUM-Anbindungen. Diese Vorgehensweise reduziert den Programmieraufwand der PolyVisum-Schnittstelle, da für jeden Bezirk nur mehr eine VISUM-Anbindung erzeugt werden muss. Die Beschreibungen der Anbindungsliste enthalten nun diese eindeutigen Bezirks- und Knotennummern mit

einer fiktiven Anbindungslänge zu Null und einer Freigabe für den Quell- und Zielverkehr. Der Anbindungstyp wird nicht definiert.

Die dritte und letzte Eingabe durch den Anwender der PolyVisum-Schnittstelle ist bei den Einstellungen für die Streckentypen erforderlich. Der Benutzer kann, wie auch bei den Knotentypen, eigene Streckentypnummern vergeben, um bestimmte Strecken in einer Streckenobertypklasse zusammenzufassen. Zusätzlich ist es noch möglich, die Kapazitäten der Streckentypen je Fahrtrichtung in der Einheit [Pkw-E/Zeitraum] zu definieren. Die Streckentypnamen wiederum werden aus den Kurzbezeichnungen und Bezeichnungen der Codes LCLA der IPDEFN.000 zusammengesetzt. Die Geschwindigkeiten für den freien Verkehrsfluss bzw. die maximalen Geschwindigkeiten der jeweiligen Verkehrssysteme auf einem Streckentyp werden aus der IPSUPL.var ermittelt, mit v0-IV als Maximum der Geschwindigkeiten der zugelassenen Verkehrssysteme und mit vMax-IV(VSysCode) als Geschwindigkeit des zugelassenen Verkehrssystems auf einer Streckenklasse. Für einen Streckentyp werden die benutzerdefinierten VSysCodes der in der IPSUPL.var zugelassenen Verkehrssysteme aneinandergereiht und in die Streckentypliste eingetragen. Der Rang wird zu Eins gesetzt und muss, falls gewünscht, in VISUM manuell geändert werden. Diese Streckentypbeschreibungen werden auch auf die POLYDROM-Anbindungen angewandt, d.h. die POLYDROM-Anbindungen werden zu VISUM-Strecken transformiert, vgl. vorhergehenden Absatz. Das Identifizieren einer Streckenklasse als Anbindung erfolgt normalerweise über die Kurzbezeichnungen und Bezeichnungen der Codes LCLA in der IPDEFN.000. Diese Angaben zu den Codes sind jedoch in POLYDROM frei wählbar. Somit müssten die Anbindung mit entsprechend hohem Aufwand über die Dateien INZONE.var und INLINK.var verifiziert werden, was jedoch nicht durchgeführt wird.

Als letzte Liste wird die Streckenliste in die Netzdatei geschrieben. Die Streckennummern werden bei Eins beginnend vergeben, wobei die Hin- und Rückrichtungen die gleichen Streckennummern erhalten, obwohl sie eigentlich voneinander unabhängig sind. Die zu den POLYDROM-KnotenID's zugeordneten Knotennummern definieren die Start- und Zielknoten der Strecken, und die Streckentypnummern geben die Streckenklassen von POLYDROM wieder. Die Kapazitäten der Strecken, sowie die zugelassenen Verkehrssysteme werden aus den Streckentypen übernommen. Ist eine streckenspezifische Kapazität in der POLYDROM-Datei INLINK.var definiert, so wird diese Kapazität nur in der Protokolldatei eingetragen und kann nachträglich in VISUM eingearbeitet werden. Für den Fall, dass für eine Strecke keine Rückrichtung existiert, wird diese Strecke trotzdem erzeugt. Die zugelassenen Verkehrssysteme werden jedoch mit einer leeren Zeichenkette belegt. Analog zu den Knoten- und Bezirkskoordinaten werden auch hier die Streckenlängen der INLINK.var von der Einheit [km]

in die Einheit [m] umgerechnet. Existiert keine Distanzangabe, so wird die Entfernung über die streckentypspezifische Geschwindigkeit bei freiem Verkehrsfluss und der in der INLINK.var definierten Fahrtzeit berechnet. Fehlt jedoch diese Fahrtzeitangabe, so wird die Streckenlänge aus den Koordinaten der Start- und Zielknoten ermittelt. Zur Information des Anwenders erfolgt in beiden Fällen eine Protokollierung in der Log-Datei. Ebenso werden vorhandene Wartezeiten für den Individualverkehr in der Protokolldatei eingetragen, da diese nicht über die Netzdatei in VISUM eingelesen werden können. Die Wartezeiten müssen, wie auch bei den Knoten, manuell über Zusatzwerte in das VISUM-Netz eingearbeitet werden. Die Einbahnkennung wird immer zu Eins gesetzt, wodurch die Möglichkeit besteht, unterschiedliche Entfernungen für die Hin- und Rückrichtungen zu definieren.

Eine erfolgreich Übersetzung der POLYDROM-Modelldaten zu VISUM-Netzdaten wird am Bildschirm angezeigt und in der Protokolldatei *.log dokumentiert.

Die Funktion Visum-Matrix zur Erzeugung von VISUM-Fahrtenmatrizen *.fma für den Individualverkehr und den öffentlichen Verkehr erfordert vom Anwender als erstes die Auswahl einer gewünschten Verkehrsart-Fahrtzweck-Kombination, für welche die Fahrbeziehungen ermittelt werden sollen. Dadurch können auch Fahrtenmatrizen aggregiert werden, welche das Verkehrsaufkommen mehrerer Verkehrsarten bzw. Fahrtzwecke beinhalten, z.B. die Verkehrsart Güterverkehr mit den Fahrtzwecken Gütergruppe 1 bis 6, oder der Fahrtzweck Personenverkehr mit den Verkehrsarten Pendlerverkehr, Berufsverkehr und Freizeitverkehr. Sind dem Anwender die in POLYDROM definierten Zuordnungen von Verkehrsart und Fahrtzweck nicht bekannt bzw. erklären sich diese nicht von selbst, so empfiehlt sich die Ansicht der Datei IPOCCU.var, welche die Besetzungsgrade der vorhandenen Verkehrsart-Fahrtzweck-Kombinationen enthält. Die Besetzungsgrade werden auch im weiteren Programmablauf dazu verwendet, um für den Verkehrssystemmodus IV die Fahrtenanzahl von der Einheit [Personen-Fahrten] in die Einheit [Kfz-Fahrten] umzurechnen. Die Wahl des Verkehrssystemmodus, IV oder ÖV, ist daher entscheidend für die richtige Ermittlung der Fahrtenanzahl und muss durch den Anwender im Auswahlfenster getroffen werden. Der informative Zeitbereich am Beginn der Datei wird entsprechend den Angaben der optional einzulesenden Datei OPTION.var geschrieben. Falls diese POLYDROM-Datei jedoch nicht eingelesen wurde, so wird der Zeitbereich von 0.00 bis 0.00 definiert. Es folgt der Faktor zur Korrektur bzw. Anpassung der Fahrtenanzahl mit einem Wert von 1, da eine Abänderung der Fahrbeziehungen, wenn überhaupt gewünscht, erst in einem späteren Stadium in VISUM erfolgen soll. Falls vom Benutzer des PolyVisum-Konverters im Auswahlfenster das Schreiben der Kopfdaten mit den Verkehrsart-Fahrtzweck-Kombination(en) der Nachfragesegmente ausgewählt wird, so steht diese Information als nächstes in der zu erzeugenden Fahrtenmatrixdatei

*.fma. Ein Bestätigen der getroffenen Einstellungen im Auswahlfenster zeigt die Anzahl der gültigen Verkehrsart-Fahrtzweck-Kombinationen an, andernfalls wird der Benutzer dazu aufgefordert, eine in POLYDROM vorhandene Kombination auszuwählen. Es folgt die Angabe des Dateinamens und des Verzeichnisses zur Speicherung der Fahrtenmatrixdatei. Die gewünschten Fahrbeziehungen werden mit der Nummer des Quellbezirkes, der Nummer des Zielbezirkes und der Anzahl der Fahrten, auf zwei Nachkommastellen genau, in die Datei eingetragen. Null-Fahrten und mehrfach vorhandene Quelle-Ziel-Beziehungen der gleichen Verkehrsart-Fahrtzweck-Kombination werden insofern berücksichtigt, indem erstere nicht, und letztere zusammengefasst und nur einmal geschrieben werden. Die erzeugte Fahrtenmatrixdatei enthält auch jene Fahrbeziehungen, welche bei dem Bezirk enden, wo sie auch begonnen haben. Diese Fahrten werden der Vollständigkeit halber geschrieben, obwohl sie nicht in VISUM berücksichtigt werden. Die erfolgreiche Erstellung einer gewünschten Matrixdatei wird schließlich in einem Informationsfenster angezeigt.

Die Funktion Visum-Grafik HGT ermöglicht dem PolyVisum-Anwender die Farbe, die Liniendicke und den Linientyp für die zu übersetzenden Grafikelemente, in der vorliegenden Programmversion eingeschränkt auf Polygonzüge, einzustellen. Als Farbnummer kann dabei eine Zahl zwischen 0 und 255, entsprechend dem VISUM-Farbindex mit 7 für schwarz, eingegeben werden. Die Liniendicke und der Linientyp können nicht beliebig definiert werden, sondern müssen aus den vorhandenen Optionen dünn, mittel, dick und durchgehend, kurz, mittel, lang, langkurz, mittelkurz, mittelkurzkurz ausgewählt werden. Ein Bestätigen der getroffenen Einstellungen fordert den Anwender, entsprechend den vorhergehenden Funktionen, zur Angabe von Speicherort und Dateiname der ASCII-formatierten Hintergrunddatei *.hgt auf. Die Koordinaten der Polygonpunkte werden beim Konvertierungsvorgang von der Einheit [km] in die Einheit [m] umgerechnet und mit der vorhandenen Genauigkeit in die Datei geschrieben. Ein Polygonzug mit mehr als 1024 Punkten kann in VISUM nicht verarbeitet werden und wird daher aufgesplittet. Die Funktion wird schließlich mit der Anzeige eines Informationsfensters abgeschlossen.

3.2.4 Menü Hilfe

Das Menü Hilfe enthält die Funktionen Hilfe-Hilfethemen und Hilfe-Info. Die Hilfethemen sind nur perspektivisch vorgesehen und derzeit nicht belegt. Ein Aufruf der Funktion Hilfe-Info zeigt ein Informationsfenster mit Angaben zum Programm und zum Urheberrechtsschutz.

3.3 Verkehrsmodell 1992

Im folgenden wird die Anwendung von PolyVisum auf die Daten der Prognos AG *et al.* (1997) beschrieben, wie sie für eine Vorhersage der Entwicklungen des alpenquerenden Personen- und Güterverkehrs bis zum Jahr 2010 erstellt wurden. Für das Referenzjahr 1992 wurden dabei die Personenbeförderung auf den Verkehrsträgern Straße, Schiene und Luft bzw. die Güterbeförderung auf den Verkehrsträgern Straße, Schiene, Pipeline, Wasser, und des kombinierten Verkehrs abgebildet und für verschiedene Szenarien bis zum Jahr 2010 analysiert. Für die Bearbeitung dieser Diplomarbeit wurden jedoch nur die Daten des Straßen- und Schienenverkehrs des Bezugsjahres 1992 zur Verfügung gestellt. Die POLYDROM-Dateien des Individualverkehrs und des öffentlichen Verkehrs sind auf der beiliegenden CD-ROM abgelegt; siehe Anhang E.

3.3.1 Verkehrsangebot

Der grundsätzliche Aufbau des Verkehrsmodells wird durch die Konvertierung nicht verändert. Die Prognos AG *et al.* (1997) geben in ihrem Bericht an, dass der Detaillierungsgrad des Verkehrsnetzes zum Alpenbogen hin zunimmt. Mit zunehmendem Abstand vom Alpenraum wurde das europäische Straßenverkehrsnetz vereinfacht, d.h. es wurden Straßenverbindungen mit örtlichem Charakter entfernt und Verkehrszonen bzw. -bezirke zusammengefasst. Im Bereich des Alpenbogens wurden die regionalen Verbindungen mit transeuropäischen Charakter beibehalten, um auch lokale Veränderungen der Verkehrsverteilung des alpenquerenden Verkehrs abzubilden.

Das Einlesen der POLYDROM-Dateien für den Individualverkehr mit PolyVisum gibt die Anzahl der darin enthaltenen Datensätze entsprechend Tabelle 30 und Tabelle 31 an.

Tabelle 30 Anzahl der Datensätze in den POLYDROM-Parameterdateien

Datei	Inhalt	Anzahl Datensätze
IPDEFN .000	Definitionen	59
IPOCCU .300	Besetzungsgrade	10
IPSUPL .300	Angebotsfunktionen	47
IPGRAF .300	Grafische Elemente	31.149

Tabelle 31 Anzahl der Datensätze in den POLYDROM-Netzdateien

Datei	Inhalt	Anzahl Datensätze
INNODE .300	Knoten in kartesischen Koordinaten	4.748
INLINK .300	Strecken	12.501
INZONE .300	Bezirke	98

Die Netzkonvertierung nach VISUM beginnt mit den Eingabeaufforderungen zu den vorhandenen Verkehrsmitteln, Knotenklassen und Streckenklassen. Im IV-Verkehrsmodell sind die folgenden Verkehrsmittel für die Personenbeförderung und die Güterbeförderung definiert:

- Pkw,
- Lkw-leer,
- Lkw-beladen.

Die Unterscheidungen bei den Lkw's wurden laut der Prognos AG *et al.* (1997) deswegen eingeführt, um die verschiedenen Lkw-Fahrverbote bzw. Lkw-Fahreinschränkungen abzubilden, z.B. die Beschränkung auf 28 Tonnen Gesamtgewicht bei Fahrten durch die Schweiz. In Tabelle 32 sind die für VISUM definierten Verkehrssystemcodes aufgelistet. Die Angaben der Pkw-Einheiten zur Berücksichtigung der Belastungswirkungen verschiedener Fahrzeugklassen entsprechen den üblichen Werten der Literatur und werden daher auch beibehalten.

Tabelle 32 VISUM-Verkehrssysteme

Code	Beschreibung	Pkw-Einheiten
P	Pkw	1,0
L	Lkw-leer für Leerfahrten	2,0
S	Lkw-beladen für verschiedene Gütergruppen	2,0

Die Typnummern der Knoten und Strecken werden im Hinblick auf die obertypenspezifischen Darstellungsmöglichkeiten in VISUM vergeben. In den Prognos-Daten sind eigentlich sechs Knotenklassen definiert, es werden jedoch nur vier Klassen bei den eigentlichen Knotenbeschreibungen verwendet. Beim Programmablauf von PolyVisum ist dies erkennbar, da die Knotentypnummern 3 und 5 im Eingabefenster nicht belegt sind. Die POLYDROM-Zonen

werden aufgrund der Funktionalität von PolyVisum zu VISUM-Knoten konvertiert und verbleiben in der Knotentypliste; siehe Abschnitt 3.2.3. Die belegten Knotentypnummern des IV-Verkehrsmodells sind in Tabelle 33 erkennbar, wobei die Typen 98 und 99 von PolyVisum erzeugt werden.

Tabelle 33 VISUM-Knotentypen

Nr.	Beschreibung
10	Knoten mit Namen, wichtig
20	Alpenübergänge bzw. Pässe
40	Anschlussknoten für Zonen
60	Knoten ohne Namen, weniger wichtig
98	Knoten ohne Knotentyp
99	Knoten künstlich erzeugt

Die Streckenklassifizierungen werden ebenfalls von den Prognos-Daten übernommen. Grundsätzlich sind die folgenden Kategorien im IV-Verkehrsmodell definiert:

- Autobahn,
- Bundesstraße,
- Landesstraße,
- Ortsstraße.

Abhängig von der Anzahl der Fahrspuren, den Steigungsverhältnissen und den Kurvigkeiten werden die Streckentypen weiter unterteilt, ebenso wird zwischen den Straßenzuständen in West- und Osteuropa unterschieden. Die Fährverbindungen bzw. Bahnverladungen stellen eine weitere Streckenklasse dar, mit Fahrzeiten unabhängig von der Belastung, d.h. die Verkehrsmittel verkehren nach "Fahrplan". In einer ersten Annahme werden die Leistungsfähigkeiten der verschiedenen Streckenklassen, entsprechend den Angaben des Prognos-Berichtes, für einen Umlegungszeitraum von 24h eingestellt. In Tabelle 34 sind die einzelnen Streckentypen aufgelistet. Die Angaben zu den Kapazitäten beziehen sich, wie in VISUM, auf eine Fahrtrichtung, und die freien Geschwindigkeiten v_0 beschreiben die durchschnittlich erzielbaren Geschwindigkeiten im unbelasteten Verkehrsnetz. In analoger Vorgehensweise zu den Knotentypen werden die POLYDROM-Anbindungen als VISUM-Strecken abgebildet und können über einen Streckentyp angesprochen werden.

Tabelle 34 VISUM-Streckentypen

Nr.	Beschreibung	Kapazität pro Fahrtrichtung [Pkw-Einheiten/24h]	Freie Geschwindigkeit v_0		
			Pkw	Lkw-leer [km/h]	Lkw-beladen
01	Anbindung	999.999	40	20	20
10	Fähre, Bahnverladung	999.999	15	15	15
11	Fähre, Bahnverladung Pkw	999.999	20	-	-
12	Fähre, Bahnverladung Lkw	999.999	-	15	15
20	Autobahn 3-spurig	55.000	100	80	80
21	Autobahn 2-spurig	37.500	100	80	80
25	Autobahn Osteuropa	30.000	60	30	30
30	Bundesstraße 2-spurig	27.500	100	65	65
31	Bundesstraße	11.500	80	50	50
32	Bundesstraße Pass	9.000	40	25	18
33	Bundesstraße Pass Pkw	9.000	40	-	-
35	Bundesstraße Osteuropa 2-spurig	22.000	50	25	25
36	Bundesstraße Osteuropa	9.000	45	20	20
40	Landesstraße	9.000	50	30	30
41	Landesstraße Pass	7.000	30	15	10
42	Landesstraße Pass Pkw	7.000	30	-	-
45	Landesstraße Osteuropa	7.000	20	12	12
50	Ortsstraße	7.500	40	25	25

Die Einteilungen der Verkehrsbezirke als Ausgangs- bzw. Zielpunkte von Ortsveränderungen sind aus den Prognos-Daten übernommen und in Abbildung 12 dargestellt. Eine Zuordnung der Zonen zu den Bezirksnummern in VISUM zeigen die Tabelle 35 und Tabelle 36.

Abbildung 12 Einteilung der Verkehrsbezirke für Europa

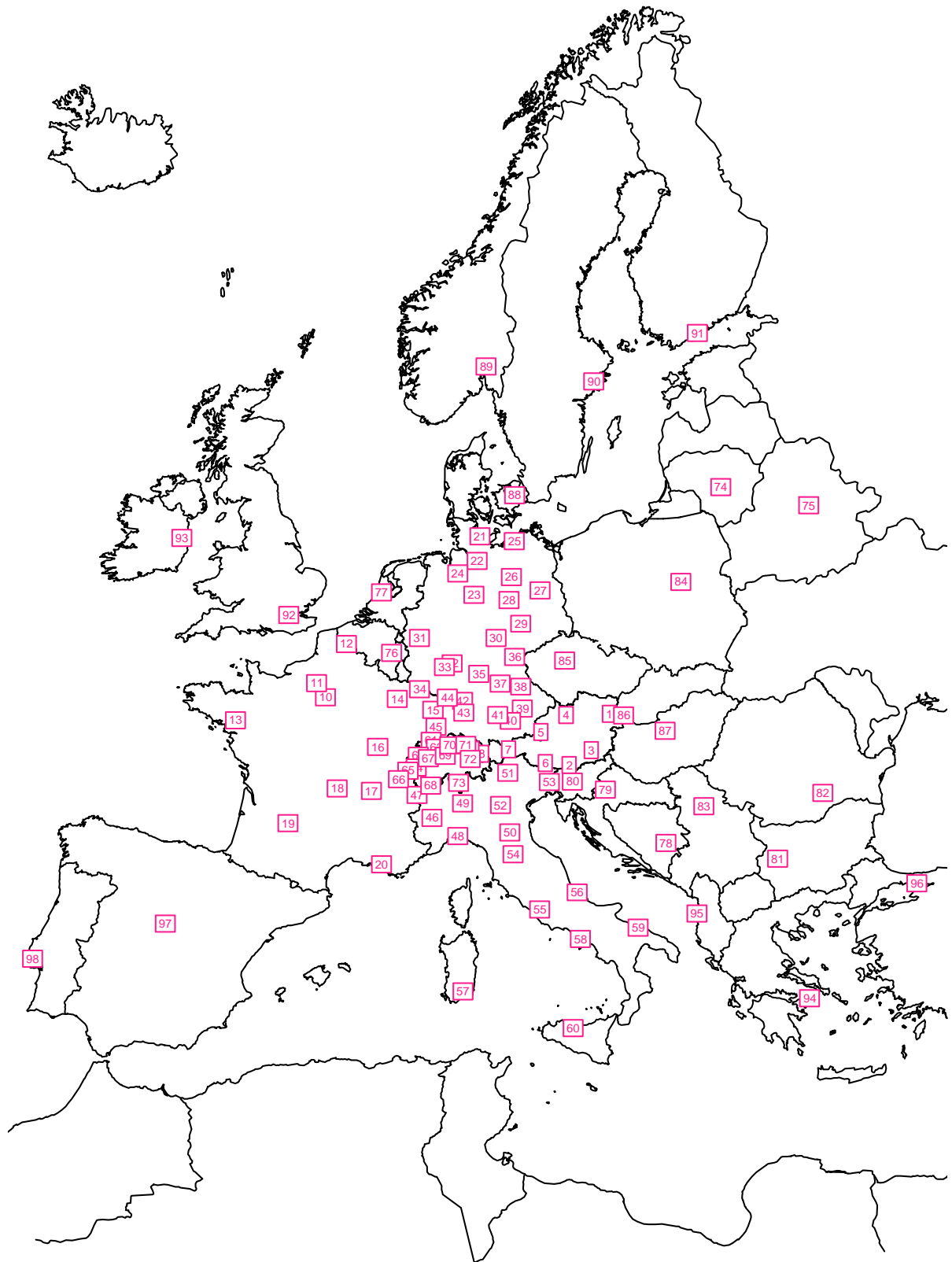


Tabelle 35 VISUM-Bezirke, Teil 1

Land	Nr.	Beschreibung	Nr.	Beschreibung
Österreich	1	Burgenland, Niederösterr., Wien	6	Osttirol
	2	Kärnten	7	Tirol-Osten
	3	Steiermark	8	Tirol-Westen
	4	Oberösterreich	9	Vorarlberg
	5	Salzburg		
Frankreich	10	Ile de France	16	Franche-Comte
	11	Bassin Parisien	17	Rhone-Alpes
	12	Nord-pas-de-Calais	18	Auvergne
	13	Quest	19	Sud-Quest
	14	Lorraine	20	Mediterranee
	15	Alsace		
Deutschland	21	Schleswig-Holstein	34	Saarland
	22	Hamburg	35	Unterfranken
	23	Niedersachsen	36	Oberfranken
	24	Bremen	37	Mittelfranken
	25	Mecklenburg-Vorpommern	38	Oberpfalz
	26	Brandenburg	39	Niederbayern
	27	Berlin	40	Oberbayern
	28	Sachsen-Anhalt	41	Schwaben
	29	Sachsen	42	Stuttgart
	30	Thüringen	43	Tübingen
	31	Nordrhein-Westfalen	44	Karlsruhe
	32	Hessen	45	Freiburg
	33	Rheinland-Pfalz		
	Italien	46	Piemonte	54
47		Valle d'Aosta	55	Lazio
48		Liguria	56	Abruzzi-Molise
49		Lombardia	57	Sardegna
50		Emilia-Romagna	58	Campania
51		Trentino-Alto Adige	59	Sud
52		Veneto	60	Sicilia
53		Friuli-Venezia Giulia		
Schweiz	61	Basel	68	Valais
	62	Aargau/Solothurn	69	Zentral Schweiz
	63	Jura	70	Zürich
	64	Fribourg	71	Ostschweiz
	65	Vaud	72	Graubünden
	66	Geneve	73	Ticino
	67	Bern		

Tabelle 36 VISUM-Bezirke, Teil 2

Land	Nr.	Beschreibung	Nr.	Beschreibung
Andere	74	Baltische Staaten	87	Ungarn
	75	Russische Staaten	88	Dänemark
	76	Belgien, Luxemburg	89	Norwegen
	77	Niederlande	90	Schweden
	78	Bosnien	91	Finnland
	79	Kroatien	92	Großbritannien
	80	Slowenien	93	Irland
	81	Bulgarien	94	Griechenland
	82	Rumänien	95	Albanien
	83	Serbien	96	Türkei
	84	Polen	97	Spanien
	85	Tschechien	98	Portugal
	86	Slowakei		

Die erfolgreiche Ausführung von PolyVisum erlaubt es nun, die erzeugte IV-Netzdatei Europa_IV_92.net in VISUM einzulesen. Eine Einarbeitung der von den Standardbelegungen abweichenden Knoten- und Streckenattributen, wie sie in der Protokolldatei Europa_IV_92.log angeführt sind, erfolgt erst bei der Überarbeitung des Verkehrsmodells für das Jahr 1998; siehe Abschnitt 3.4. Das IV-Verkehrsnetz für das Jahr 1992 enthält somit die folgenden wesentlichen Netzelemente entsprechend Tabelle 37.

Tabelle 37 VISUM-Netzelemente in Europa_IV_92

Element	Anzahl
Knoten	4.762
Strecken	12.526
Bezirke	98

3.3.2 Verkehrsnachfrage

Die Ermittlung der Verkehrsnachfrage 1992 für das Verkehrsangebot mit der festgelegten Zoneneinteilung wurde von der Prognos AG *et al.* (1997) für den Personen- und den Güterverkehr auf unterschiedliche Weise durchgeführt.

Die Verkehrsbeziehungen für den Personenverkehr wurden ausgehend von der Personenverkehrsmatrix von und nach Deutschland 1991, welche einen großen Teil des Untersuchungsgebietes Europa abdeckt, erzeugt. Unter Berücksichtigung der alpenquerenden Personenverkehre durch die Schweiz 1994 und der IFO-Personenverkehrsmatrix für Europa 1990 wurden schließlich die Quelle-Ziel-Fahrbeziehungen für den Personenverkehr des Jahres 1992 ermittelt. Der Personenverkehr auf der Straße und der Schiene wird somit auf allen Quelle-Ziel-Beziehungen von Österreich, der Schweiz und Deutschland mit den anderen Teilen des Untersuchungsgebietes relativ genau beschrieben, ebenso die Fahrbeziehungen zwischen allen anderen Ländern. Die Verkehrsbeziehungen von Frankreich bzw. Italien erfüllen diesen Anspruch nicht, da sie aufgrund fehlender Eingangsdaten nur grobe Schätzungen darstellen.

Für die Ermittlung der Güterverkehrsmatrizen der Straße und der Schiene wurde eine ähnliche Vorgehensweise gewählt. Ausgehend von den nationalen Güterverkehrsmatrizen von Deutschland 1988, der Schweiz 1994, Frankreich 1992 und Österreich 1993 wurden die Quell-, Ziel- und Binnenverkehre dieser nationalen Matrizen in einem ersten Schritt herangezogen. Als nächstes wurden die NEA-Güterverkehrsdaten des Jahres 1990, welche den Güterverkehr zwischen den ehemaligen EU12 abbilden, in die Verkehrsbeziehungen eingerechnet. Schlussendlich erfolgte noch ein Abgleichen mit den EUROSTAT-Güterverkehrsdaten 1994, wodurch die fehlenden Fahrbeziehungen innerhalb der EU15, sowie die Güterverkehre zwischen den EU15 und allen anderen Ländern erfasst wurden. Aufgrund der Verwendung von nationalen Matrizen werden die Quelle-Ziel-Fahrbeziehungen für den Güterverkehr 1992 sehr gut beschrieben. Eine Ausnahme stellt auch hier Italien dar, da wiederum keine nationalen Verkehrsmatrizen zur Verfügung standen. Zusätzlich ist noch zu beachten, dass in der Schweiz nur der alpenquerende Güterverkehr in den Matrizen enthalten ist.

Das Einlesen der POLYDROM-Fahrbeziehungen der Straße und der Schiene mit PolyVisum gibt die Anzahl der darin enthaltenen Datensätze an; siehe Tabelle 38. Eine Durchsicht der Dateien zeigt, dass für einzelne Quelle-Ziel-Beziehungen einer Nachfragegruppe mehrere Datensätze vorhanden sind. Die Fahrten dieser Beziehungen werden beim Erzeugen der VISUM-Fahrtenmatrizen einfach aufsummiert.

Tabelle 38 Anzahl der Datensätze in den POLYDROM-Verkehrsdateien

Datei	Inhalt	Anzahl Datensätze
INTRIP .300	Fahrbeziehungen IV bzw. Straße	55.474
INTRIP .100	Fahrbeziehungen ÖV bzw. Schiene	32.183

Das Generieren der Fahrtenmatrizen für die Straße und die Schiene erfolgt in PolyVisum durch Zuordnen der POLYDROM-Verkehrsarten und –Fahrtzwecke. Im IV-Verkehrsmodell sind die folgenden 10 Nachfragegruppen für die verschiedenen Verkehrsmittel des Personen- und Güterverkehrs definiert:

- Pkw Geschäfts- bzw. Ausbildungsverkehr,
- Pkw Pendlerverkehr,
- Pkw Urlaubs- bzw. Freizeitverkehr,
- Lkw-leer mit virtueller Gütergruppe 0,
- Lkw-beladen mit Gütergruppe 1 bis Gütergruppe 6.

Für die Nachfrage auf dem Verkehrsträger Schiene wird bis auf die Nachfragegruppe des Leerverkehrs der Güterbeförderung zwischen den gleichen Fahrtzwecken unterschieden:

- Bahn Geschäfts- bzw. Ausbildungsverkehr,
- Bahn Pendlerverkehr,
- Bahn Urlaubs- bzw. Freizeitverkehr,
- Bahn mit Gütergruppe 1 bis Gütergruppe 6.

Alle Fahrbeziehungen sind auf einen Zeitraum von 24 Stunden bezogen. In Abhängigkeit der definierten Besetzungsgrade des Individualverkehrs werden die VISUM-Fahrtenmatrizen für alle Nachfragegruppen der Straße erzeugt, d.h. es erfolgt eine Umrechnung von Personen-Fahrten bzw. Tonnen-Fahrten in Kfz-Fahrten. Die von der Prognos AG *et al.* verwendeten Besetzungsgrade für den Pkw-Verkehr bzw. die durchschnittlichen Ladefaktoren für den Lkw-Verkehr werden bei der Anwendung in dieser Diplomarbeit beibehalten und sind in Tabelle 39 dargestellt. Die Gütergruppenbezeichnungen 1 bis 6 stehen hierbei nur für eine interne Nummer, eine Zuordnung der NST/R-Standardgüterklassifizierungen zu diesen internen Gütergruppennummern zeigt Tabelle 40.

Tabelle 39 Pkw-Besetzungsgrade bzw. Lkw-Ladefaktoren

Fahrtzweck bzw. Gütergruppe	Pkw-Besetzungsgrad [Personen/Kfz]	Lkw-Ladefaktor [Tonnen/Kfz]
Geschäfts- bzw. Ausbildungsverkehr	1,60	-
Pendlerverkehr	1,70	-
Urlaubs- bzw. Freizeitverkehr	2,45	-
Gütergruppe 0	-	1,00
Gütergruppe 1	-	16,47
Gütergruppe 2	-	18,26
Gütergruppe 3	-	20,06
Gütergruppe 4	-	17,30
Gütergruppe 5	-	17,43
Gütergruppe 6	-	12,56

Quelle: Prognos AG *et al.* (1997), 153 und 154

Tabelle 40 Zuordnung der NST/R-Kategorien zu den internen Gütergruppen

Gütergruppe	NST/R-Kategorie	Beschreibung
1	0 und 1	Landwirtschaftliche Produkte
2	2	Kohle und andere feste Brennstoffe
3	3	Mineralöl und Mineralölprodukte
4	4, 5, 6 und 7	Eisenerz, Schrott, Stahl, metallische Produkte, Zement, Baustoffe und Düngemittel
5	8	Chemische Produkte
6	9	Maschinen, Fertigwaren

Quelle: Prognos AG *et al.* (1997), 152 und European Commission (2001b), 3.4.3

Die von PolyVisum erzeugten IV-Fahrtenmatrizen können nun als Nachfragesegmente zu den Verkehrssystemen bzw. Modi der VISUM-Netzdatei Europa_IV_92.net hinzugelesen werden. Bei diesem Arbeitsschritt müssen die Codes der Nachfragegruppen und die zugehörigen Besetzungsgrade bzw. Ladefaktoren nach Tabelle 39 manuell in VISUM eingegeben werden. Die Codes und die Anzahl der Kfz-Fahrten der verschiedenen Nachfragesegmente sind in Tabelle 41 aufgelistet, wobei die Fahrten des Zellbinnenverkehrs bei einer Umlegung in VISUM keine Berücksichtigung finden. Im Vergleich zu den Pkw-Fahrbeziehungen, welche keinen Zellbinnenverkehr aufweisen, sind die Fahrten mit gleicher Quell- und Zielbezirksnummer beim Lkw-Verkehr sehr hoch. Dieses hohe Verkehrsaufkommen innerhalb der Bezirke dürfte beim Aggregieren der Fahrbeziehungen für die gewählte Bezirkseinteilung zustande gekommen sein.

Tabelle 41 VISUM-Nachfragesegmente mit Fahrtenanzahl 1992

Code	Fahrtenmatrixdatei	Umlegungsrelevante Fahrten [Kfz-Fahrten/24h]	Zellbinnenverkehr
G	Pkw_Geschäftsverkehr_92.fma	409.034	-
P	Pkw_Pendlerverkehr_92.fma	108.352	-
U	Pkw_Urlaubsverkehr_92.fma	761.114	-
0	Lkw_Gütergruppe0_92.fma	29.398	60.902
1	Lkw_Gütergruppe1_92.fma	44.925	61.265
2	Lkw_Gütergruppe2_92.fma	1.373	2.281
3	Lkw_Gütergruppe3_92.fma	4.280	11.311
4	Lkw_Gütergruppe4_92.fma	37.559	186.776
5	Lkw_Gütergruppe5_92.fma	14.600	4.113
6	Lkw_Gütergruppe6_92.fma	42.797	35.538

Alle generierten Fahrtenmatrizen sind auf der beiliegenden CD-ROM gespeichert; siehe Anhang E. Die Dateibezeichnungen der Matrixdateien für den öffentlichen Verkehr beginnen dabei mit "Bahn_" anstatt mit "Pkw_" bzw. "Lkw_", z.B. Bahn_Geschäftsverkehr_92.fma. Für den Leerverkehr auf der Bahn liegen keine Fahrbeziehungen vor.

3.4 Verkehrsmodell 1998

Als Analysejahr dieser Diplomarbeit wird das Jahr 1998 betrachtet. Die Gründe für die Modellierung der Verkehrszustände des Jahr 1998 liegen zum einen in der Abbildung von möglichst aktuellen alpenquerenden Verkehrszuständen und zum anderen in der Sperre von wesentlichen Alpenübergängen, wie dem Mt. Blanc-Tunnel und dem Tauern-Tunnel, im Folgejahr 1999. Aufgrund von substantiellen Zerstörungen der Tunnelbauwerke durch Verkehrsunfälle konnten die Sperren für den Tauern-Tunnel bis Ende 1999 bzw. für den Mt. Blanc-Tunnel bis dato nicht aufgehoben werden. Der große zeitliche Abstand zwischen dem Referenzjahr 1992 der Prognos AG *et al.* (1997) und dem Analysejahr 1998 dieser Diplomarbeit erfordert jedoch eine Überarbeitung der konvertierten Verkehrsmodellldaten im Verkehrsangebot und in der Verkehrsnachfrage. In den folgenden Abschnitten 3.4.1 und 3.4.2 werden diese Modifikationen beschrieben.

3.4.1 Verkehrsangebot

Ein Vergleich des VISUM-Verkehrsmodells Europa_IV_92 mit analogen Straßenkarten von Freytag-Berndt *et al.* (1998) bzw. digitalen Straßenkarten von Microsoft (1997) zeigt, dass der Ausbau des hochrangigen Straßenverkehrsnetzes relativ weit fortgeschritten ist. Diese Entwicklung spiegelt sich auch in den statistischen Daten der Europäischen Kommission zur Entwicklung der Autobahnlängen in den EU15 wider. In Tabelle 42 ist dieser bauliche Fortschritt im Detail bei den einzelnen Ländern erkennbar.

Tabelle 42 Länge der Autobahnen in den EU15 zum Jahresende

Jahr	Autobahnlänge [km]															
	B	DK	D	EL	E	F	IRL	I	L	NL	A	P	FIN	S	UK	
1992	1667	706	11013	280	6486	7408	32	6289	95	2134	1554	520	318	1005	3244	
1993	1686	747	11080	330	6577	7614	53	6401	100	2167	1557	579	337	1061	3252	
1994	1665	786	11143	380	6485	9000	72	6401	121	2200	1559	587	388	1142	3286	
1995	1666	796	11190	420	6962	9140	72	6401	123	2200	1596	687	394	1262	3308	
1996	1674	832	11246	470	7293	9500	80	6439	115	2200	1607	710	431	1350	3344	
1997	1679	855	11309	470	7750	9900	94	6445	118	2235	1613	797	444	1428	3412	
1998	1682	861	11427	470	8269	10300	94	6453	118	2235	1613	797	473	1439	3458	

Quelle: nach European Commission (2001b), 3.2.6

Insgesamt wurde das europäische Autobahnnetz von 42.751 km zum Jahresende 1992 auf 49.689 km zum Jahresende 1998 ausgebaut, was eine Vergrößerung von ungefähr 16% bedeutet.

Das gesamte Verkehrsangebot Europa_IV_92 wird nun unter Zuhilfenahme der analogen und digitalen Straßenkarten (Freitag-Berndt, 1998 und Microsoft, 1997) manuell überarbeitet. Die fehlenden Strecken werden den jeweiligen Streckentypen zugeordnet, wobei die zusätzlich eingefügten Knoten einen Knotentyp von 90 erhalten. Bei der Bestimmung der Streckenlängen ist die Software von Microsoft (1997) überaus hilfreich, da leider keine GIS-Daten zur Verfügung stehen. Teilweise wird der Ausbau des hochrangigen Straßennetzes auch dadurch berücksichtigt, dass die Zuordnungen der Streckentypen korrigiert wird, d.h. eine 2-spurige Bundesstraße vom Typ 30 wird zu einer Autobahn vom Typ 21. Die überarbeitete Verkehrsnetz Europa_IV_98 besteht nun aus den folgenden Netzelementen; siehe Tabelle 43. Das Verkehrsangebot ist in Abbildung 13 dargestellt.

Tabelle 43 VISUM-Netzelemente in Europa_IV_98

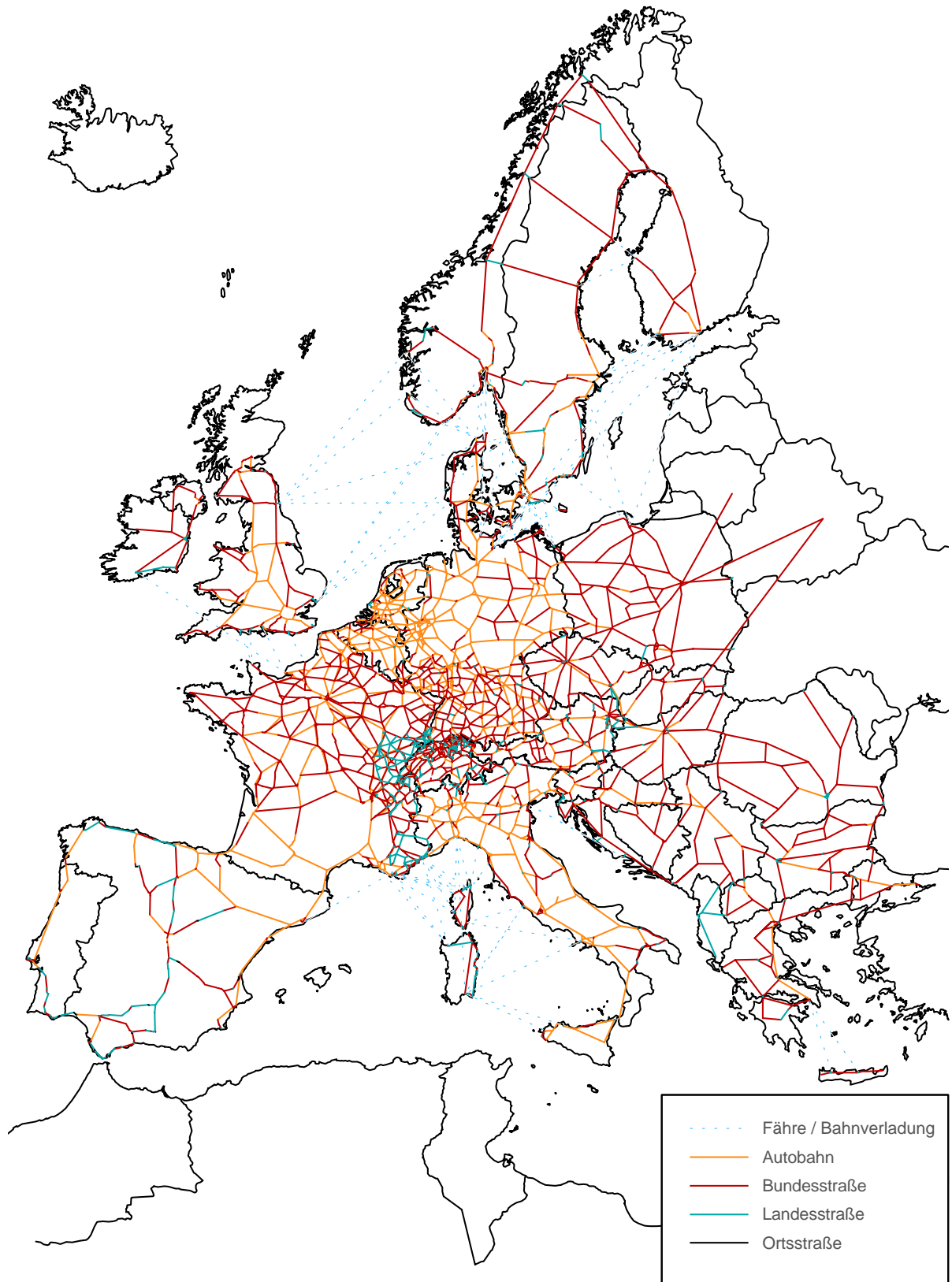
Element	Anzahl
Knoten	4.795
Strecken	12.761
Bezirke	98

Eine detaillierte Aufstellung zu den Streckentypkategorien bzw. Streckenobertypen ist in Tabelle 44 erkennbar, wobei die Hin- und Rückrichtungen der Strecken separat zählen.

Tabelle 44 VISUM-Streckentypen in Europa_IV_98

Nr.	Beschreibung	Σ Streckenanzahl	Σ Streckenlänge [km]
0*	Anbindungen	228	9.780
1*	Fähren bzw. Bahnverladungen	162	33.440
2*	Autobahnen	4.041	88.035
3*	Bundesstraßen	5.933	150.965
4*	Landesstraßen	2.147	19.013
5*	Ortsstraßen	250	754

Abbildung 13 Verkehrsangebot in Europa



Im zur Verfügung gestellten Prognos-Verkehrsmodell sind die Mauten bzw. Straßenbenutzungsgebühren für die Verkehrssysteme Pkw und Lkw-leer bzw. Lkw-beladen nicht definiert. Diese Gebühren werden nun für das Analysejahr 1998 ermittelt, wobei für den Lkw-Verkehr ein schweres Güterfahrzeug mit 5 Achsen angesetzt wird. Bei den Pkw's erfolgt im Allgemeinen keine Unterscheidung der Fahrzeuggröße. Eine Ausnahme stellt die Bemautung des Frejus- und Mt. Blanc-Tunnels dar, wo zwischen den Radständen der Pkw unterschieden wird. Es wird daher ein Pkw mit einem Radstand zwischen 2,30m und 2,63m, z.B. ein VW Golf, zugrunde gelegt.

Im vorliegenden Verkehrsmodell Europa_IV_98 werden die Mauten und Straßenbenutzungsgebühren des Jahres 1998 für den Pkw-Verkehr in den Ländern

- Frankreich,
- Italien,
- Schweiz und
- Österreich,

bzw. für den Lkw-Verkehr zusätzlich in den Ländern

- Deutschland,
- Belgien,
- Niederlande,
- Luxemburg,
- Dänemark und
- Schweden

berücksichtigt. Eine Umrechnung der lokal eingehobenen Mauten und Gebühren nach Gleichung (10) unter Berücksichtigung der nationalen Kaufkraftparitäten aus Tabelle 4 führt schließlich zu einem Preis in der gemeinsamen Bezugswährung ECU. Mauten von Ländern fernab des Alpenbogens, z.B. Spanien und Portugal, finden in dieser Arbeit keine Verwendung. Sie würden zwar die jeweiligen generalisierten Kosten erhöhen, beeinflussen aber vermutlich die Wegewahl zufolge einer Variation der Mauten im Alpenraum nicht.

Die Länder Frankreich und Italien besitzen einen großen Anteil am bemauteten Autobahnnetz Europas. Eine Auswertung der eingehobenen Gebühren nach den Angaben der ASFA (1998)

und AISCAT (1998) zeigt, dass die Mauten nur annähernd linear mit den Streckenlängen zusammenhängen. Es würde sich daher anbieten, ein nichtlineares Mautschema auch in VISUM durch Preismatrizen zwischen den Auf- und Abfahrten der Autobahnen abzubilden. Aufgrund des fehlenden Zugangs zu diesen Matrizen einerseits und der erwähnten groben Netzstruktur außerhalb des Alpenbogens andererseits wird jedoch darauf verzichtet. Die Autobahngebühren in Frankreich und Italien werden daher über ein lineares Mautschema modelliert, wobei jeweils der über die Streckenlänge gewichtete Mittelwert pro Kilometer angesetzt wird; siehe Tabelle 45 und Tabelle 46 für Frankreich bzw. Tabelle 47 und Tabelle 48 für Italien.

Tabelle 45 Kennzahlen der Mautgebühren auf Autobahnen in Frankreich 1998

Kennzahl	Pkw (Kat. 1)		Lkw (Kat. 4)	
	[FRF/km] ₉₈	[ECU _{KKP} /km] ₉₈	[FRF/km] ₉₈	[ECU _{KKP} /km] ₉₈
Minimum	0,36	0,05262	0,79	0,11547
Maximum	0,88	0,12862	1,82	0,26602
Median	0,45	0,06577	1,07	0,15639
Mittelwert	0,48	0,07016	1,12	0,16370
Mittelwert gewichtet über Streckenlänge	0,45	0,06577	1,08	0,15786

Quelle: eigene Berechnungen nach ASFA (1998)

Tabelle 46 Mautgebühren in Frankreich 1998

Strecke	Pkw (Kat. 1 bzw. 2)		Lkw (Kat. 4 bzw. 6)	
	[FRF] ₉₈	[ECU _{KKP}] ₉₈	[FRF] ₉₈	[ECU _{KKP}] ₉₈
Autobahnnetz, Mittelwert gewichtet, pro Fzg-km	0,45	0,06577	1,08	0,15786
Tunnel Mt. Blanc	152,00	22,22	976,00	142,66
Tunnel Frejus	152,00	22,22	961,00	140,46

Quelle: ASFA (1998) und eigene Berechnungen

Tabelle 47 Kennzahlen der Mautgebühren auf Autobahnen in Italien 1998

Kennzahl	Pkw (Kat. A)		Lkw (Kat. 5)	
	[ITL/km] ₉₈	[ECU _{KKP} /km] ₉₈	[ITL/km] ₉₈	[ECU _{KKP} /km] ₉₈
Minimum	52,63	0,03079	131,58	0,07697
Maximum	196,10	0,11471	545,45	0,31905
Median	88,24	0,05161	210,78	0,12329
Mittelwert	93,47	0,05467	226,25	0,13234
Mittelwert gewichtet über Streckenlänge	92,83	0,05430	224,01	0,13109

Quelle: eigene Berechnungen nach AISCAT (1998)

Tabelle 48 Mautgebühren in Italien 1998

Strecke	Pkw (Kat. A)		Lkw (Kat. 5)	
	[ITL] ₉₈	[ECU _{KKP}] ₉₈	[ITL] ₉₈	[ECU _{KKP}] ₉₈
Autobahnnetz, Mittelwert gewichtet, pro Fzg-km	92,83	0,05430	224,01	0,13109

Die Länder Schweiz und Österreich besitzen neben den einzelnen bemauteten Tunnels bzw. Alpenübergängen ein zeitabhängiges Gebührensystem zur Benutzung des Straßennetzes. Auf den Nationalstraßen bzw. Autobahnen muss für die Pkw-Benutzung eine Vignette gelöst werden, welche in der Schweiz für ein Jahr bzw. in Österreich für verschiedene Zeiträume ihre Gültigkeit hat; siehe Tabelle 50 und Tabelle 52. Diese Straßenbenutzungsgebühren werden im IV-Verkehrsmodell bei allen Einfahrten in das jeweilige Land definiert. Unter der Annahme, dass zwei Fahrten mit einer bezahlten Vignette in die Schweiz oder nach Österreich führen, wird für die Schweiz der halbe Preis der Jahresvignette und für Österreich, da die Straßenbenutzungsgebühr auch für einen geringeren Zeitabschnitt entrichtet werden kann, der halbe Preis der 10-Tages-Vignette angesetzt. Für den Lkw-Verkehr des Jahres 1998 gelten ähnliche Systeme. In der Schweiz muss dafür die pauschale Schwerverkehrsabgabe (PSVA), in Österreich die Straßenbenutzungsabgabe (StraBA) und in den Ländern D, BENELUX, DK und S die Gebühr für die Eurovignette abgeführt werden. Im IV-Verkehrsmodell finden die vorhan-

denen Mindestsätze für einen Tag ihre Anwendung; siehe Tabelle 50, Tabelle 52 und Tabelle 53. Unter der Voraussetzung, dass eine Lkw-Fahrt an einem Tag nur einmal in das jeweilige Land führt, wird der volle Betrag bei der Einfahrt zugrunde gelegt.

Die Abbildung der Mautgebühren der einzelnen Tunnels oder Alpenquerungen in den verschiedenen Ländern erfolgt in VISUM unter der Verwendung der Gebühr für eine Einfachfahrt; siehe Tabelle 46, Tabelle 49 und Tabelle 51. Für den Kfz-Nutzer können die, teilweise doch beträchtlichen, monetären Vorteile durch das Lösen von Mehrweg- bzw. Zeitkarten nicht im Modell umgesetzt werden. Ähnliches gilt für die unterschiedlichen Mauten der schweren Güterfahrzeuge auf der Brenner-Autobahn, wobei im Verkehrsmodell der Tagestarif für lärm- und schadstoffarme Lkw angesetzt wird; siehe Tabelle 51.

Tabelle 49 Mautgebühren in der Schweiz 1998

Strecke	Pkw (Kat. A2)		Lkw (Kat. 5)	
	[CHF] ₉₈	[ECU _{KKP}] ₉₈	[CHF] ₉₈	[ECU _{KKP}] ₉₈
Tunnel Großer St. Bernhard	27,00	13,29	139,00	68,41
Bahnverladung Lötschberg	25,00	12,30	-	-

Quelle: ÖAMTC (1998b)

Tabelle 50 Straßenbenutzungsgebühren in der Schweiz 1998

Art	Pkw		Lkw > 26t hzG	
	[CHF] ₉₈	[ECU _{KKP}] ₉₈	[CHF] ₉₈	[ECU _{KKP}] ₉₈
Vignette 1 Jahr	40,00	19,69	-	-
PSVA 1 Jahr	-	-	4.000,00	1968,56
1 Monat	-	-	360,00	177,17
10 Tage	-	-	200,00	98,43
1 Tag	-	-	25,00	12,30

Quelle: EFD (2000a, 2000b)

Tabelle 51 Mautgebühren in Österreich 1998

Strecke	Pkw (Kat. A2 bzw. 1)		Lkw (Kat. C/F bzw. 5)	
	[ATS] ₉₈	[ECU _{KKP}] ₉₈	[ATS] ₉₈	[ECU _{KKP}] ₉₈
Autobahn Brenner	110,00	7,92	1150,00	82,80
Autobahn Tauern	140,00	10,08	600,00	43,20
Autobahn Phyrn	110,00	7,92	480,00	34,56
	70,00	5,04	270,00	19,44
Tunnel Arlberg	130,00	9,36	600,00	43,20
Tunnel Felbertauern	135,00	9,72	1100,00	79,20
Tunnel Karawanken	90,00	6,48	320,00	23,04
Bahnverladung Tauernschleuse	200,00	14,40	700,00	50,40
Hochalpenstraße Großglockner	350,00	25,20	-	-

Quelle: Alpen Straßen AG, ÖAMTC und ÖSAG (1998a), Felbertauernstraße AG (1998)

Tabelle 52 Straßenbenutzungsgebühren in Österreich 1998

Art	Pkw		Lkw > 12t hzG	
	[ATS] ₉₈	[ECU _{KKP}] ₉₈	[ATS] ₉₈	[ECU _{KKP}] ₉₈
Vignette 1 Jahr	550,00	39,60	-	-
2 Monate	150,00	10,80	-	-
10 Tage	70,00	5,04	-	-
StraBA 1 Jahr	-	-	16.700,00	1.202,40
1 Monat	-	-	1.670,00	120,24
1 Woche	-	-	440,00	31,68
1 Tag	-	-	80,00	5,76

Quelle: ÖSAG (1998b) und Wirtschaftskammer Tirol (2000), 2

Tabelle 53 Straßenbenutzungsgebühren in D, BENELUX, DK und S 1998

Art		Lkw > 12t hzG, bis 3 Achsen		Lkw > 12t hzG, ab 4 Achsen	
		[DEM] ₉₈	[ECU _{KKP}] ₉₈	[DEM] ₉₈	[ECU _{KKP}] ₉₈
Euro- vignette	1 Jahr	1.474,58	718,33	2.457,63	1197,22
	1 Monat	114,16	55,61	240,27	117,05
	1 Woche	38,44	18,73	63,43	30,90
	1 Tag	11,53	5,62	11,53	5,62

Quelle: Wirtschaftskammer Tirol (1997)

3.4.2 Verkehrsnachfrage

Die Verkehrsnachfrage für das Analysejahr 1998 basiert grundsätzlich auf der von der Prognos AG *et al.* (1997) ermittelten Nachfrage des Jahres 1992. Ausgehend von diesem vorhandenen Mengengerüst werden alle Fahrten eines Verkehrssystems mit dem gleichen Faktor auf das Jahr 1998 hochgerechnet.

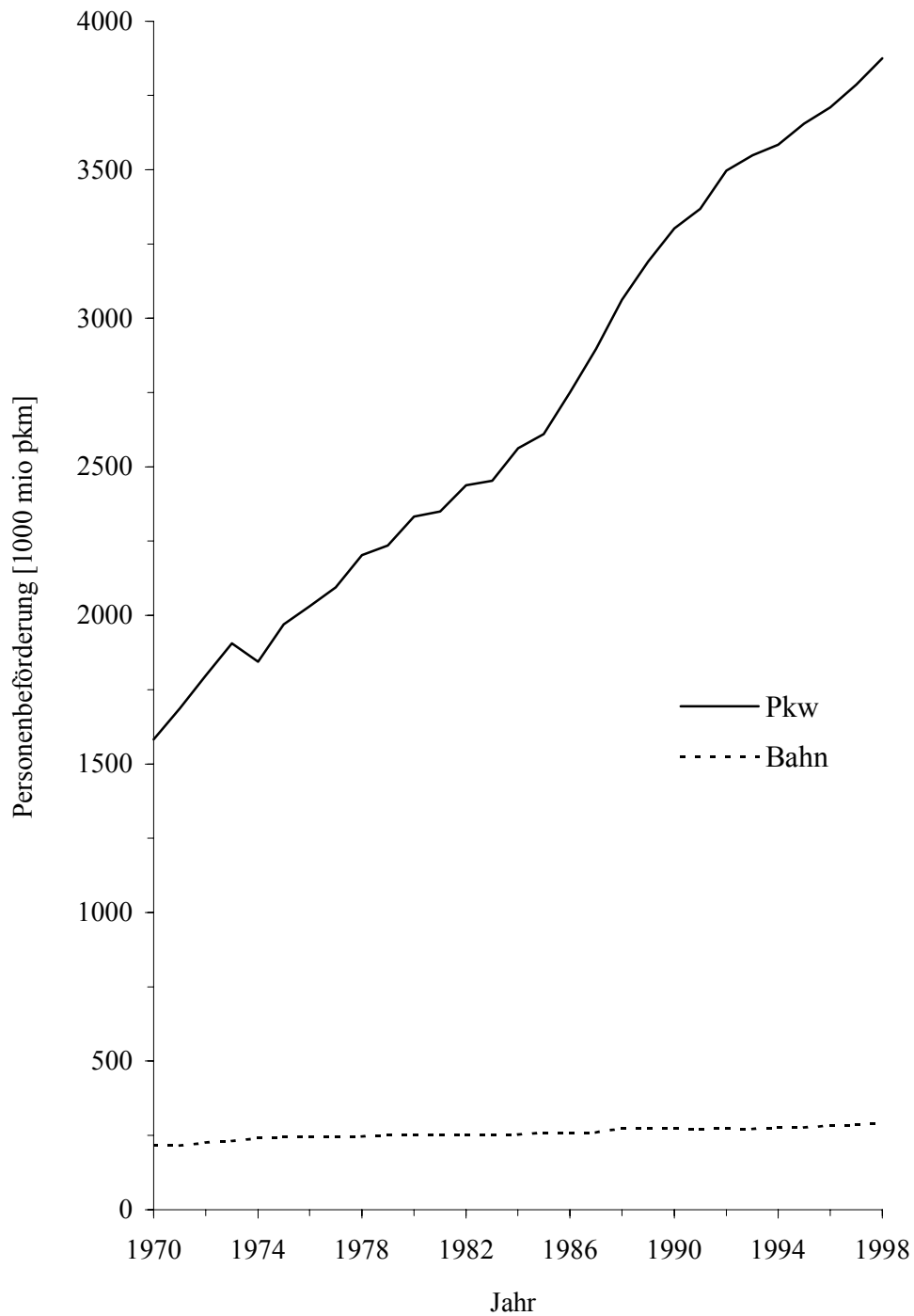
Die unterschiedlichen Entwicklungen in der Personen- und Güterbeförderung auf den Verkehrsträgern Straße und Schiene in Europa zeigen jedoch im Vergleich zur Schiene für die Straße überproportionale Zuwachsraten. Diese Tendenz zu einem sich weiter verschlechternden Modal-Split der Schiene zeigen die Abbildung 14 und die Abbildung 15 für die Länder der EU15. Die Personenbeförderung nimmt dabei vom Jahr 1992 bis zum Jahr 1998 um die folgenden Faktoren zu:

- + 11% pkm auf der Straße,
- + 6% pkm auf der Schiene.

In der Güterbeförderung sind die Zunahmen in der Transportleistung bis 1998 sogar noch größer. Bezogen auf das Jahr 1992 liegen sie hier bei:

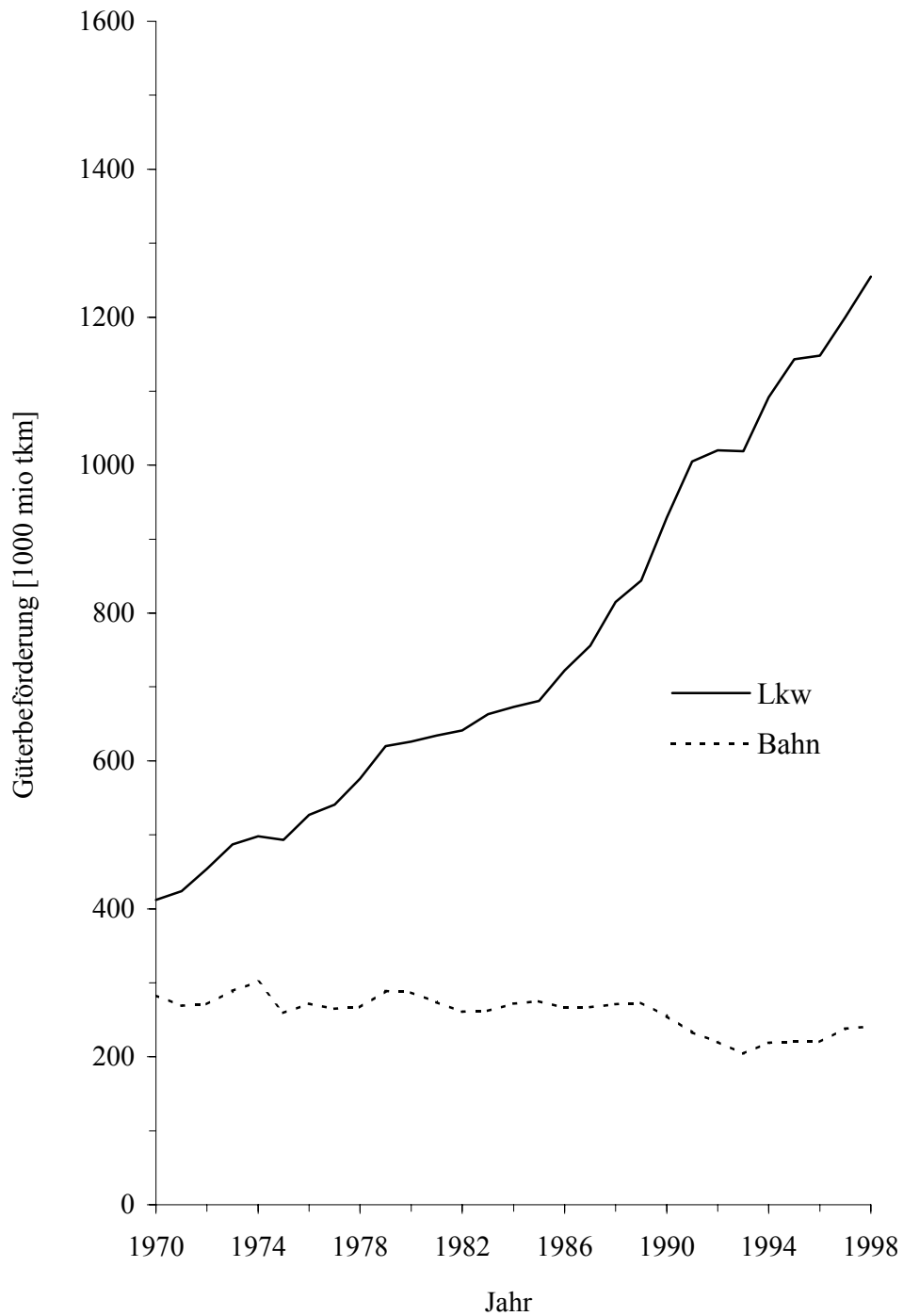
- + 23% tkm auf der Straße,
- + 10% tkm der Schiene.

Abbildung 14 Entwicklung der Personenbeförderung in der EU15



Quelle: nach European Commission (2001b), 3.5.1

Abbildung 15 Entwicklung der Güterbeförderung in der EU15



Quelle: nach European Commission (2001b), 3.4.1

Der Dienst für Gesamtverkehrsfragen (1999a) gibt in seinen Erhebungen zum alpenquerenden Güterverkehr für den Alpenbogen sogar noch größere Zuwächse von 1992 bis 1998 in der Transportleistung auf der Straße an:

- + 28% tkm am Alpenbogen A vom Mt. Cenis/Frejus bis zum Brenner,
- +41% tkm am Alpenbogen B von Ventimiglia bis zum Brenner einschl. Tarvisio,
- +34% tkm am Alpenbogen C von Ventimiglia bis zum Wechsel.

Das Hochrechnen der Fahrtenmatrizen für das Analysejahr 1998 wird mit den Faktoren entsprechend der Entwicklung der Verkehrsleistung in der EU15 durchgeführt. Einzige Ausnahme stellt die Nachfrage des Güterverkehr auf der Straße dar, wo der höhere Faktor des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen für den inneren Alpenbogen A verwendet wird. Die Besetzungsgrade bei den Nachfragegruppen des Pkw-Verkehrs und die Ladefaktoren bei den Gütergruppen des Lkw-Verkehrs werden hingegen entsprechend dem Verkehrsmodell von 1992 beibehalten; siehe Tabelle 39.

Erste Umlegungsversuche mit VISUM bestätigen die gewählten Faktoren zur Hochrechnung der Fahrtenmatrizen. Es zeigt sich jedoch auch, dass die Fahrbeziehungen der Pkw-Nachfragegruppen in Frankreich zu dramatischen Auslastungen des dortigen Verkehrsnetzes führen. Die Quelle-Ziel-Beziehungen in Frankreich scheinen, wie die Prognos AG in ihrem Bericht schreibt, wirklich nur grobe Schätzungen darzustellen. Zum anderen resultieren die hohen Auslastungsgrade in diesem Bereich des Verkehrsnetzes aus einer mangelhaften Abstimmung der Verkehrsnachfrage auf das dortige geringe Verkehrsangebot. Dem abzuhelpen, werden in einem ersten Schritt alle Pkw-Fahrbeziehungen in Frankreich um die Hälfte reduziert. Bei weiter überlasteten Strecken werden daraufhin die Kapazitäten dieser Strecken angehoben, um die zufolge der CR-Funktionen erhöhten Fahrzeiten in einem realistischen Bereich zu halten. Zur Aufrechterhaltung der vorhandenen Modal-Splits werden die Veränderungen in der Nachfrage des Individualverkehrs im gleichen Verhältnis in der Nachfrage des öffentlichen Verkehrs eingearbeitet.

In Abbildung 16 und Abbildung 17 sind die Matrixspinnen mit den Kfz-Fahrten der Verkehrssysteme Pkw und Lkw dargestellt. Die einzelnen Bezirke der Länder Österreich, Frankreich, Deutschland, Italien und Schweiz sind dabei aus Gründen der Übersichtlichkeit jeweils zu einem Verkehrsbezirk zusammengefasst.

Abbildung 16 Matrixspinne Pkw in Europa

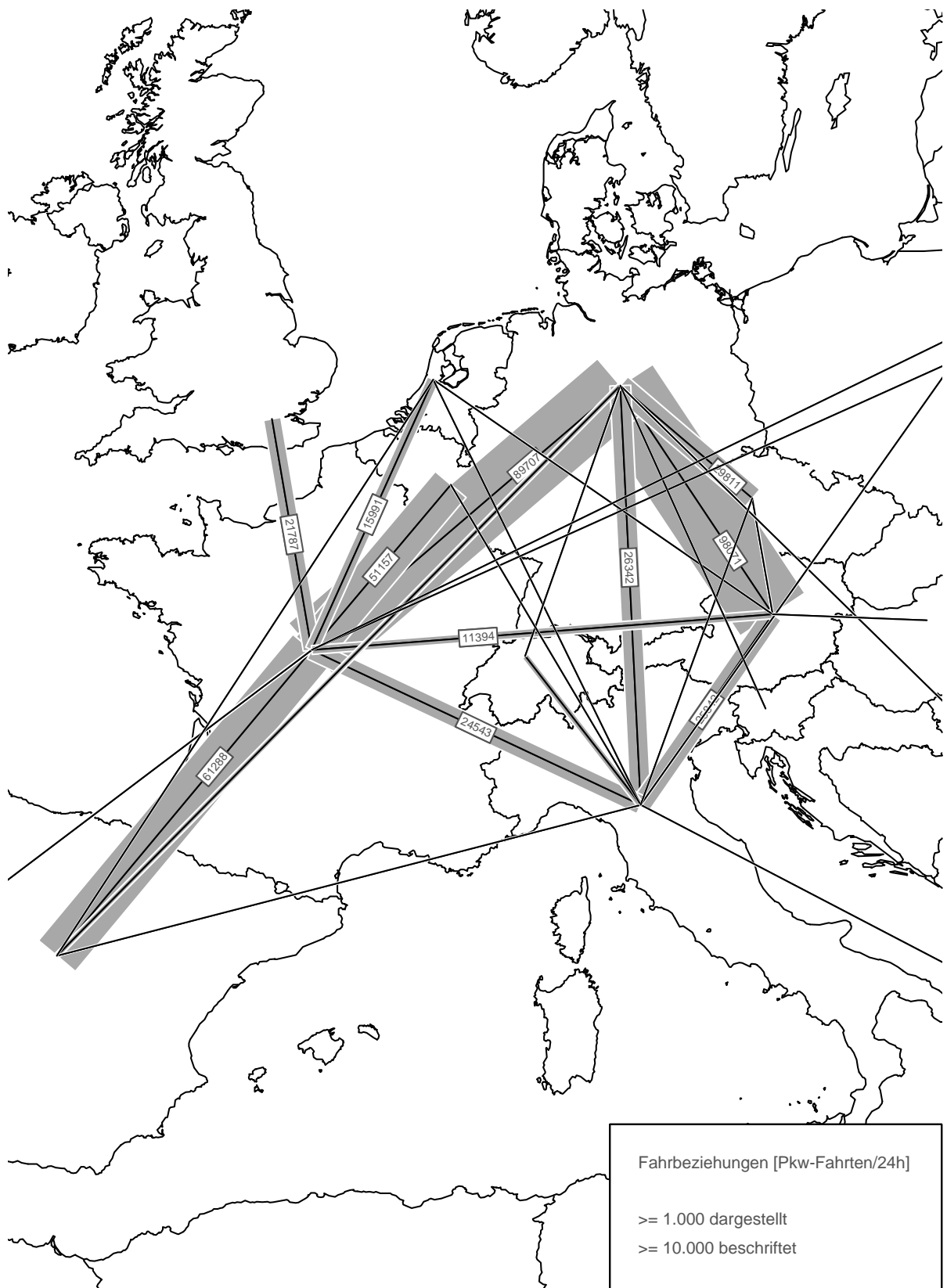
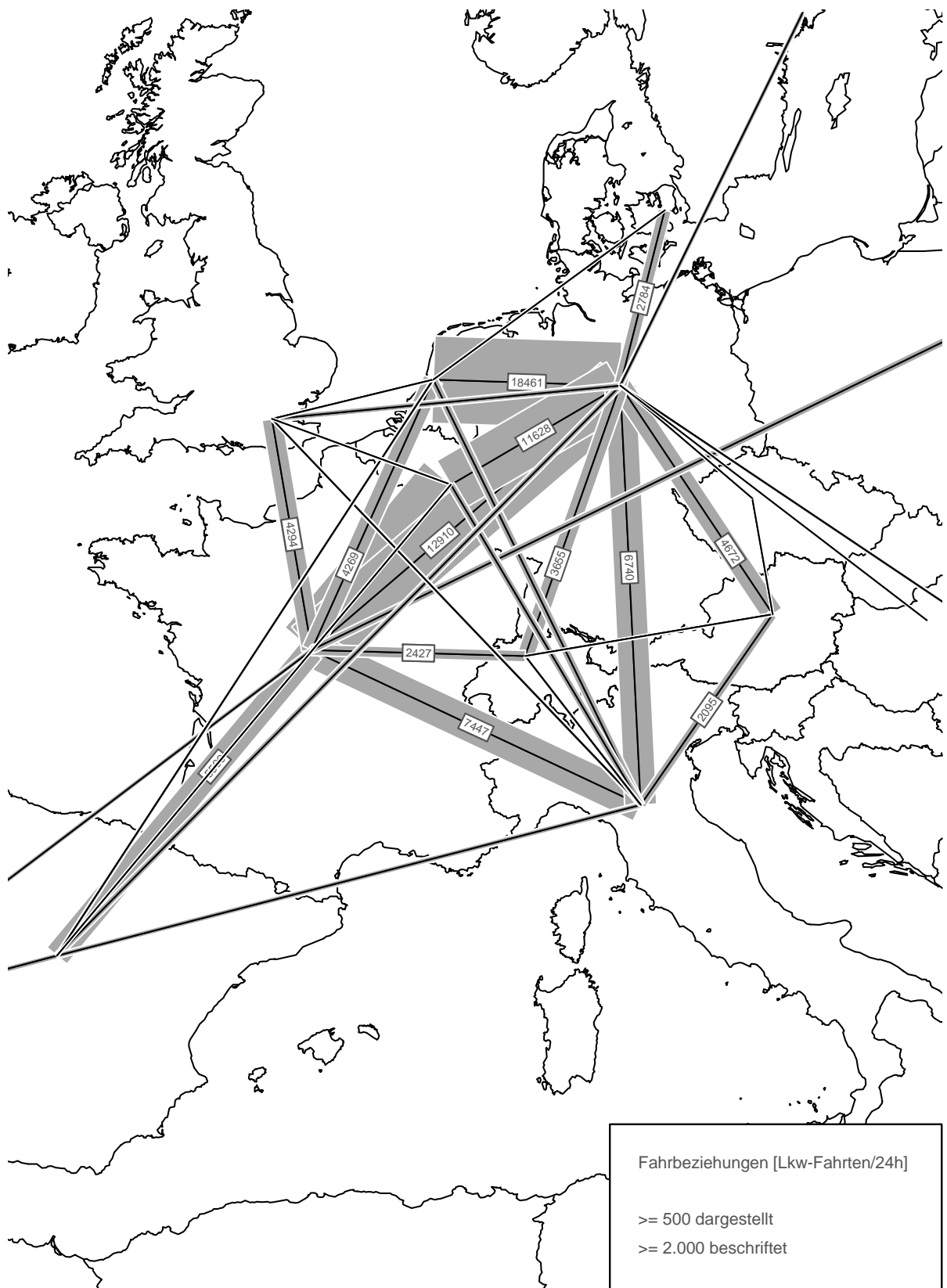


Abbildung 17 Matrixspinne Lkw in Europa



Analog zur Verkehrsnachfrage des Jahres 1992 zeigt Tabelle 54 die Fahrtenmatrixdateien, wie sie im Verkehrsmodell des Jahres 1998 verwendet werden. Bei der Umlegung in VISUM werden die Fahrten des Zellbinnenverkehrs nicht berücksichtigt.

Tabelle 54 VISUM-Nachfragesegmente mit Fahrtenanzahl 1998

Code	Fahrtenmatrixdatei	Umlegungsrelevante Fahrten [Kfz-Fahrten/24h]	Zellbinnenverkehr
G	Pkw_Geschäftsverkehr_98.fma	283.902	-
P	Pkw_Pendlerverkehr_98.fma	71.584	-
U	Pkw_Urлаubsverkehr_98.fma	626.736	-
0	Lkw_Gütergruppe0_98.fma	37.642	77.936
1	Lkw_Gütergruppe1_98.fma	57.780	78.382
2	Lkw_Gütergruppe2_98.fma	1.778	2.919
3	Lkw_Gütergruppe3_98.fma	5.477	14.472
4	Lkw_Gütergruppe4_98.fma	48.052	239.021
5	Lkw_Gütergruppe5_98.fma	18.668	5.261
6	Lkw_Gütergruppe6_98.fma	54.740	45.479

Die Fahrtenmatrizen sind auf der beiliegenden CD-ROM entsprechend Anhang E gespeichert, wobei die Dateibezeichnungen der Matrixdateien für den öffentlichen Verkehr auch hier mit "Bahn_" anstatt mit "Pkw_" bzw. "Lkw_" beginnen, z.B. Bahn_Gütergruppe1_98.fma.

3.4.3 Umlegungsparameter TRIBUT

Die Wahl der Parameter von TRIBUT hat neben dem eigentlichen Verkehrsmodell einen großen Einfluss auf die Umlegungsergebnisse. Das gleiche gilt auch für die Wahl der Parameter der CR-Funktionen, welche die Fahrzeiten in einem belasteten Verkehrsnetz bestimmen; siehe Gleichung (1).

Die Festlegungen der Parameter für die CR-Funktionen nach BPR erfolgen in Anlehnung an die Empfehlungen von Vrtic für überregionale Umlegungen, da in den Prognos-Daten keine

Werte definiert sind. Die Zunahmen der Wartezeiten bei Erreichen der Leistungsfähigkeit q_{\max} , d.h. bei einem Auslastungsgrad von 100%, sind durch den Faktor a bestimmt. Dieser Faktor wird im Vergleich zu Vrtic niedriger angesetzt, um zu hohe Fahrtzeiten in den stark ausgelasteten Netzbereichen von Frankreich zu vermeiden. Die weiteren Fahrtzeiterhöhungen bei Verkehrsbelastungen über der Leistungsfähigkeit q_{\max} sind durch den zweiten Parameter b gegeben. Die Parameter werden für alle Streckentypen auch hier niedriger, aber doch noch sehr hart definiert, wodurch die Fahrtzeiten bei Überschreitung der Kapazität nicht zu extrem ansteigen. In Tabelle 55 sind die verwendeten Parameter der CR-Funktionen nach BPR für die Streckentypen des Verkehrsmodells Europa_IV_98 dargestellt.

Tabelle 55 CR-Funktionen der Streckentypen in Europa_IV_98

Streckentyp	Funktion	Parameter a	Parameter b
0* Anbindungen	konstant	-	-
1* Fähren bzw. Bahnverladungen	konstant	-	-
2* Autobahnen	BPR	1,0	4,0
3* Bundesstraßen	BPR	2,5	4,0
4* Landesstraßen	BPR	2,5	3,0
5* Ortsstraßen	BPR	2,0	3,0

Die TRIBUT-spezifischen Einstellungen basieren im Kern auf den logarithmisch-normalverteilten VOT 's, deren Verteilungen über die Mediane vot_{50} und die Streuungen σ nach Gleichung (4) definiert werden.

Zur Anwendung in dieser Diplomarbeit gelangen die *values of time*, wie sie von Accent Marketing & Research *et al.* (1999) für England ermittelt wurden. Die Ergebnisse beruhen dabei auf verschiedenen *Stated Preference (SP)*-Befragungsmodellen zu den Zahlungsbereitschaften für Zeitersparnisse, im Speziellen auch für bemaute Straßenabschnitte. In Tabelle 56 sind die geschätzten Kennzahlen für die verschiedenen Nachfragegruppen beim Pkw-Verkehr und allgemein für den Lkw-Verkehr aufgelistet. Die Umrechnungen der englischen Zeitkostenwerte auf eine gemeinsame Bezugswährung werden nach Gleichung (11) durchgeführt. Unter Berücksichtigung der Kaufkraftparitäten nach Tabelle 4 werden die 1994er Werte auf die österreichischen Einkommensverhältnisse umgerechnet und mit den Jahresinflationraten nach Tabelle 7 auf das Jahr 1998 hochgerechnet. Für das Jahr 1998 erfolgt schließlich die Umrechnung auf die gemeinsame Bezugswährung ECU. In Tabelle 57 finden sich neben den Media-

nen und Streuungsparametern für die TRIBUT-Umlegung auch die Mittelwerte der *VOT*'s, wie sie bei der Option der Nachfrageunterdrückung in Abschnitt 0 eingesetzt werden.

Tabelle 56 Kennzahlen der *values of time* 1994

Kennzahl	Pkw			Lkw
	Geschäft	Pendler	Freizeit und sonstige	
	[GBP/h] ₉₄			
Mittelwert 1. Quartil	1,86	1,44	1,20	1,14
Mittelwert 2. Quartil	3,54	2,34	2,52	4,74
Mittelwert 3. Quartil	5,22	3,36	3,72	19,56
Mittelwert 4. Quartil	8,46	5,82	6,54	31,20
Mittelwert \overline{vot}	4,80	3,24	3,48	14,16
Standardabweichung s	2,70	1,98	2,22	-

Quelle: nach Accent Marketing & Research *et al.* (1999), 206 und 231

Tabelle 57 *VOT*-Parameter für TRIBUT-Umlegung

Parameter	Pkw			Lkw
	Geschäft	Pendler	Freizeit und sonstige	
	[ECU _{KKP} /h] ₉₈			
Mittelwert \overline{vot}	7,93	5,35	5,75	23,39
Median vot_{50}	6,93	4,58	4,86	19,53
Streuungsparameter σ	0,52	0,56	0,58	0,60

Ein Vergleich der Parameter mit den Zeitkostenwerten, wie sie von Link *et al.* (1999) verwendet wurden, zeigt, dass die gewählten *values of time* durchaus in einem vertretbaren Bereich liegen. Die Zeitkostenwerte der verschiedenen europäischen Länder sind in Tabelle 58 dargestellt, wobei die Art und Weise der Ermittlung, Analyse von *Revealed Preference (RP)*-

und *Stated Preference (SP)*-Befragungen bzw. volkswirtschaftliche Ansätze, unterschiedlich ist.

Tabelle 58 *Values of time* verschiedener europäischer Länder

Land	Pkw	Lkw
	[ECU/h]	
Schweiz	27,2	61,5
Belgien	7,8	29,7
Österreich	14,7	29,5
Frankreich	11,2	29,3
Deutschland	4,6	28,3
Schweden	5,4	21,5
Dänemark	7,2	20,9
Luxemburg	13,5	16,5
Spanien	9,9	16,4
Irland	11,3	13,9
Italien	10,9	13,3
Großbritannien	9,9	12,2
Niederlande	7,8	9,6
Finnland	4,9	6,0
Griechenland	6,4	7,9
Portugal	4,3	5,2

Quelle: nach Link *et al.* (1999), 111

Die Einstellungen der Abbruchbedingungen des TRIBUT-Umlegungsverfahrens definieren jenen Gleichgewichtszustand im Verkehrsnetz, bei dem der Iterationsprozess beendet wird. Im Hinblick auf die Vielzahl der durchzuführenden Umlegungen, sowohl bei der Netzeichnung als auch bei den späteren Variationsrechnungen, werden die Parameter unter Beibehaltung eines qualitativ vertretbaren Umlegungsergebnisses wie folgt festgesetzt:

- Global, maximale Anzahl an Iterationen: 40,
- Global, maximale relative Abweichung von Widerstand und Maut: 0,05,
- Ausgleich zwischen unterschiedlichen Mautlevels, maximale Abweichung in Belastungseinheiten: 5,
- Ausgleich zwischen Alternativrouten eines Mautlevels, zulässige Abweichung der Widerstände alternativer Routen: absolut 10, relativ 0,05.

Die Widerstandsberechnungen erfolgen mit Zeiten und Widerständen, bei denen die Genauigkeiten der Zeiten als Real-Zahlen vorliegen. Für die definierten Verkehrssysteme Pkw P, Lkw-leer L und Lkw-beladen S wird der Widerstand aus der Summe der aktuellen Fahrtzeiten im belasteten Verkehrsnetz t_{akt} plus einem virtuellen Zeitzuschlag berechnet, welcher im Zuge der Netzkalibrierung auf bestimmten Strecken als Strecken-ZWert1 bis Strecken-ZWert3, für die Verkehrssysteme P bis S, vergeben werden muss. Die Belastungswerte werden intern mit einer Genauigkeit von einer Nachkommastelle dargestellt.

Eine so eingestellte TRIBUT-Umlegung kommt nach etwa 9 Minuten ins Gleichgewicht (Pentium III-Computer). Verschiedene Versuche mit anderen Abbruchbedingungen bzw. mit den von der PTV AG empfohlenen 3 Nachkommastellen eines Belastungswertes führen jedoch sehr schnell zu doppelt so hohen Rechenzeiten mit annähernd gleichen Umlegungsergebnissen. In Anbetracht der bevorstehenden, sehr zeitaufwendigen Netzkalibrierung und der Vielzahl von Variationsrechnungen, ein Mautzustand erfordert zwei TRIBUT-Umlegungen plus Ermittlungen der Kenngrößenmatrizen, werden die obigen Einstellungen beibehalten.

3.4.4 Kalibrierung des Verkehrsmodells

Die Eichung bzw. Kalibrierung eines Verkehrsnetzes ist notwendig, um das Verkehrsverhalten im Modell auf das in der Realität abzustimmen. Eine Kalibrierung wird erleichtert, wenn sie von den Randbereichen eines Modells aus erfolgen kann. In einem IV-Verkehrsmodell können die Eigenschaften des Verkehrsangebotes und/oder der Verkehrsnachfrage dahingehend abgeändert werden, bis die Streckenbelastungen im Modell mit den Zähldaten auf der Straße ausreichend übereinstimmen.

Die Feinabstimmung des Verkehrsmodells Europa_IV_98 stellt, wie zu erwarten, eine sehr zeitaufwendige Arbeit dar. Aufgrund der gegebenen Struktur des Verkehrsangebotes mit seinen groben Abbildungen in den Randbereichen und seinen feinen Darstellungen im Kernbereich, dem Alpenraum, kann die Kalibrierung nicht von außen nach innen erfolgen. Die Ei-

chung wird daher für den alpenquerenden Verkehr auf den Alpenübergängen in Tabelle 59 durchgeführt. Für den durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) werden die Zahlen des Jahres 1995 der UN/ECE (1998) herangezogen und für das Analysejahr 1998 um 6% erhöht. Die Erhöhung wird dabei aus den Entwicklungen der Personen- und Güterbeförderung in den EU15 abgeleitet; siehe Abbildung 14 und Abbildung 15. Eine Ausnahme stellen die Alpenübergänge in Österreich dar, wo die nationalen Zählraten des Jahres 1998 nach Nadler und Steierwald (1999) verwendet werden. Die Zählwerte für die schweren Güterfahrzeuge werden ausnahmslos aus den Angaben des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen (1999b) für das Jahr 1998 ermittelt und auf einen durchschnittlichen täglichen Werktagsverkehr (DTVW) mit 250 Werktagen bezogen.

Tabelle 59 Alpenübergänge mit Zählraten 1998

Land	Alpenübergang	Zählraten			
		DTV gesamt [Kfz/24h]	DTV Pkw [Pkw/24h]	DTVW Lkw [Lkw/24h]	Zählstelle für DTV gesamt
F/I	Ventimiglia	16.130	13.462	3.896	E80-01
	Frejus	3.753	1.611	3.128	E70-01
	Mt. Blanc	5.598	3.491	3.076	E25-01
CH/I, I	Gr. St. Bernhard	1.672	1.551	176	CH-36
	Simplon	2.395	2.321	108	CH-92
	Gotthard	22.094	19.258	4.140	CH-49
	San Bernardino	10.816	10.463	516	CH-77
A/I, A	Reschen	6.830	6.562	392	Nr. 63
	Brenner	20.161	16.380	5.520	Nr. 159
	Felbertauern	3.240	3.089	220	Nr. 105
	Tauern	13.268	11.624	2.400	Nr. 67
	Schoberpass	14.139	11.673	3.600	Nr. 148
	Wechsel	21.929	19.189	4.000	Nr. 125
	Tarvisio	17.696	15.504	3.200	Nr. 110

Quelle: UN/ECE (1998), Dienst für Gesamtverkehrsfragen (1999b) Nadler und Steierwald (1999) und eigene Berechnungen

In VISUM werden nun die Verkehrssysteme Pkw und Lkw gleichzeitig umgelegt, wobei sich die Umlegungsergebnisse auf einen durchschnittlichen Werktag beziehen. Der Bezug auf einen Werktag erfolgt deswegen, da für die schweren Güterfahrzeuge an den Samstagen und Sonntagen im Allgemeinen ein Wochenendfahrverbot besteht. Für die Kategorie Pkw wird auf den Alpenübergängen die Verwendung der Zählraten des durchschnittlichen täglichen Verkehrs aus Gründen der Verfügbarkeit von Zählraten des durchschnittlichen täglichen Werktagsverkehrs zugelassen.

Im Zuge der Kalibrierung werden nun verschiedene Eingriffe im IV-Verkehrsmodell vorgenommen. Die ursprüngliche Absicht, die Verkehrsnachfrage nicht zu modifizieren, muss fallengelassen werden. Die Nachfrage im innerfranzösischen Pkw-Verkehr führt nämlich zu stark überlasteten Netzzuständen, was in der Folge ein sehr instabiles Verhalten des gesamten Netzes verursacht. Dem abzuhelpen werden die Fahrbeziehungen in Frankreich um 50% reduziert und teilweise die Kapazitäten der immer noch überlasteten Strecken erhöht. Im Bereich des Alpenraumes zeigt sich teilweise das Gegenteil, d.h. es müssen auf gewissen Routen die Leistungsfähigkeiten im Vergleich zu den Standard-Streckenkapazitäten verringert werden. Die Möglichkeit von POLYDROM, für eine Strecke verkehrssystemspezifische Streckenkapazitäten vorzugeben, kann in VISUM nur durch virtuelle Zeitzuschläge umgesetzt werden. Diese Zeitzuschläge werden über StreckenZ-Werte definiert und in den Widerstandsberechnungen des Umlegungsverfahrens berücksichtigt. Die Modellierung der schweizer Fahrbeschränkung von schweren Güterfahrzeugen mit einem Gesamtgewicht größer als 28 Tonnen wird ebenfalls mit diesen Zeitzuschlägen bewerkstelligt. Das Verkehrssystem Lkw-beladen erhält dazu bei allen Einfahrten in die Schweiz im Allgemeinen einen virtuellen Zeitzuschlag von 10 Stunden. Das Verkehrssystem Lkw-leer ist davon nicht betroffen und kann in die Schweiz ohne Zuschlag einfahren. Im Alpenraum können alle Strecken mit veränderten Kapazitäten bzw. mit ungleich Null gesetzten StreckenZ-Werten als aktive Netzelemente in VISUM eingelesen werden. Die Dateien sind entsprechend Anhang E auf der beiliegenden CD-ROM gespeichert.

Die Kalibrierung des IV-Verkehrsmodells Europa_IV_98 erfordert insgesamt 211 Umlegungen. Die Abweichungen der Umlegungsergebnisse von den Zählraten liegen schlussendlich in einem sehr verträglichen Bereich, wobei sich teilweise größere relative Abweichungen aufgrund von geringen absoluten Belastungen nicht vermeiden lassen. Die Belastungen auf den Zählquerschnitten und die relativen bzw. absoluten Abweichungen zu den Zählraten zeigt Tabelle 60. Das Bestimmtheitsmaß r^2 als Gütemaß für die Abweichungen der 14 Zählquerschnitte beträgt beim Pkw-Verkehr 0,95 und beim Lkw-Verkehr 0,96.

Tabelle 60 IV-Belastungen und Abweichungen von den Zähldaten 1998

Alpenübergang	Pkw			Lkw		
	Belastung [Pkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Pkw]	Belastung [Lkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Lkw]
Ventimiglia	10.917	-18,9	-2.545	3.530	-9,4	-366
Frejus	1.542	-4,3	-69	3.409	+9,0	+281
Mt. Blanc	3.146	-9,9	-345	3.357	+9,1	+281
Gr. St. Bernhard	1.091	-29,7	-460	140	-20,5	-36
Simplon	2.444	+5,3	+123	116	+7,4	+8
Gotthard	21.347	+10,8	+2.089	4.226	+2,1	+86
San Bernardino	12.327	+17,8	+1.864	499	-3,3	-17
Reschen	5.583	-14,9	-979	531	+35,5	+139
Brenner	14.991	-8,5	-1.389	5.591	+1,3	+71
Felbertauern	3.347	+8,3	+258	30	-86,4	-190
Tauern	10.187	-12,4	-1.437	2.470	+2,9	+70
Schoberpass	13.629	+16,8	+1.956	3.527	-2,0	-73
Wechsel	21.434	+11,7	+2.245	2.827	-29,3	-1.173
Tarvisio	13.324	-14,1	-2.180	3.499	+9,3	+299
F/I	15.605	-15,9	-2.959	10.296	+1,9	+196
CH/I, CH	37.209	+10,8	+3.617	4.981	+0,8	+41
A/I, A	82.495	-1,8	-1.527	18.475	-4,4	-857
Gesamt	135.309	-0,6	-869	33.752	-1,8	-620

Für den Alpenraum zeigen die folgenden VISUM-Plots in Abbildung 18 und Abbildung 19 die Belastungszustände der Verkehrssysteme Pkw und Lkw. Zusätzlich werden in Abbildung 20 und Abbildung 21 die Verkehrsspinnen der Alpenübergänge Frejus, Mt. Blanc, Großer St. Bernhard, Gotthard und Brenner für die Pkw und Lkw dargestellt.

Abbildung 18 Pkw-Belastungen im Alpenraum 1998



Abbildung 19 Lkw-Belastungen im Alpenraum 1998

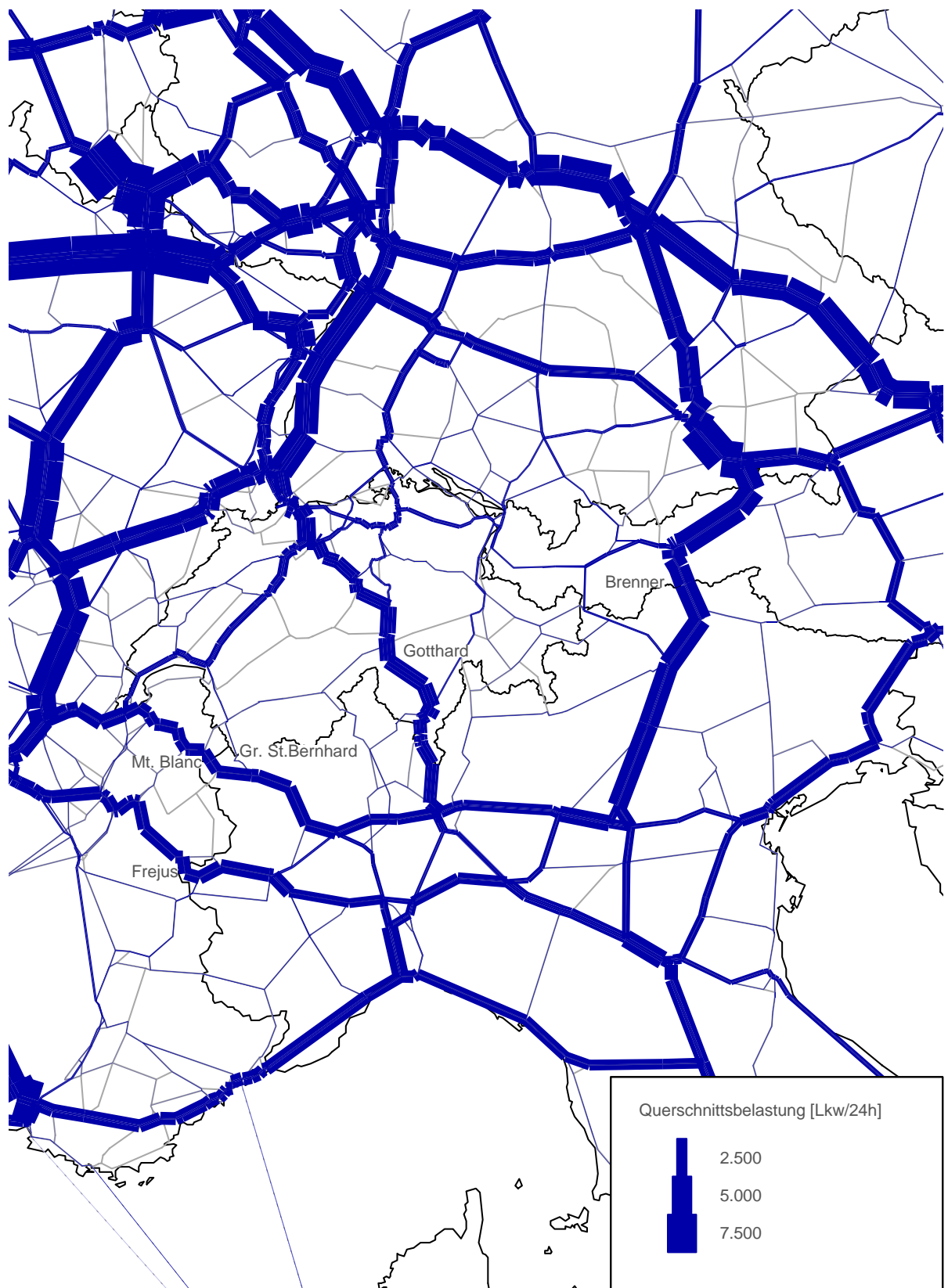


Abbildung 20 Pkw-Verkehrsspinnen des inneren Alpenbogens 1998

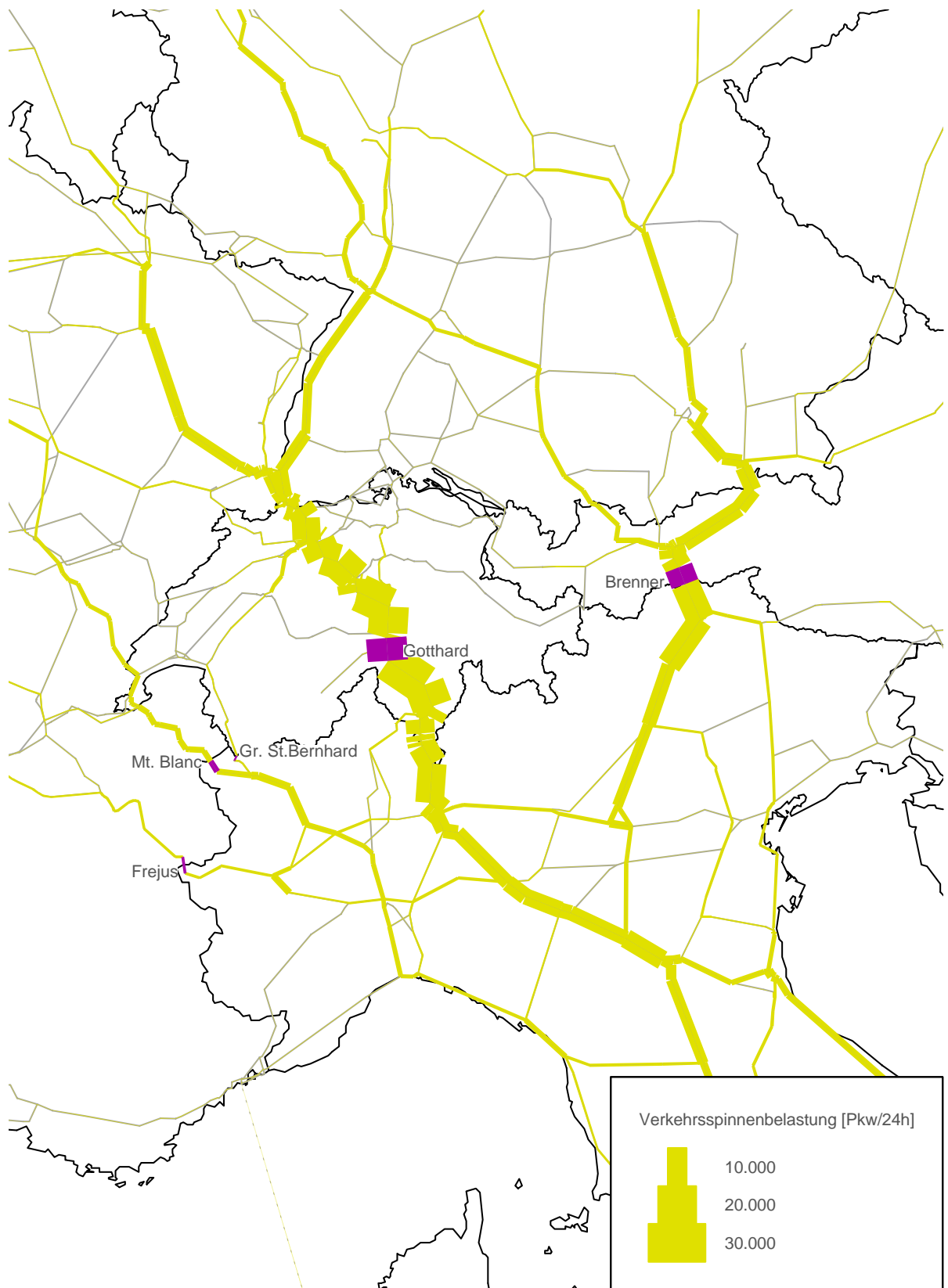
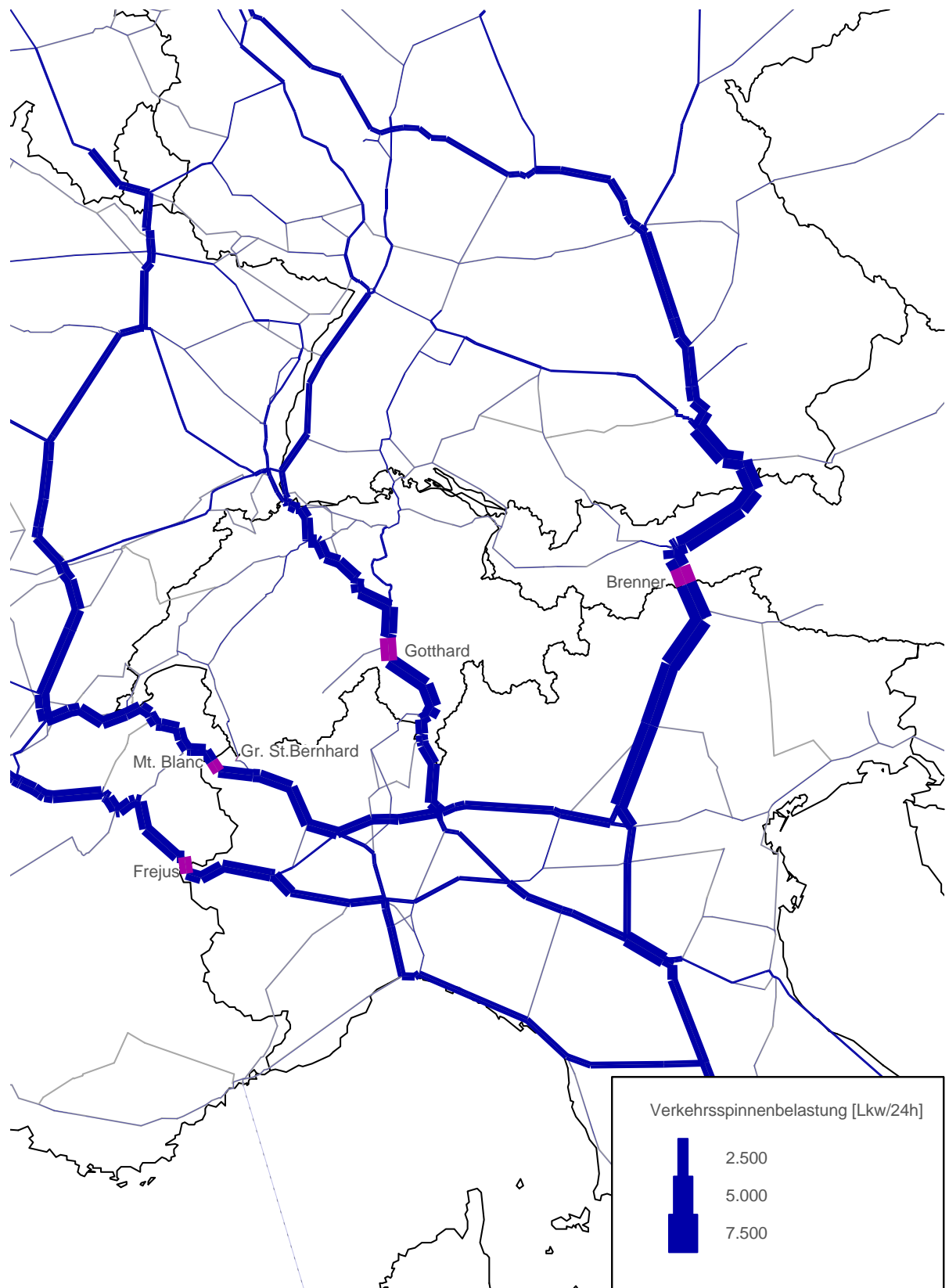


Abbildung 21 Lkw-Verkehrsspinnen des inneren Alpenbogens 1998



4. Nachfrageunterdrückung

4.1 Grundlagen

Eine Veränderung der Verkehrsnachfrage aufgrund von Änderungen der Eigenschaften eines Verkehrsmittels wird in dieser Diplomarbeit durch die Verwendung eines *pivot-point*-Modells erzielt. Das *pivot-point*-Modell basiert auf dem Multi-Nomialen-Logit-Modell (MNL-Modell), welches Entscheidungen eines Verkehrsteilnehmers als Funktion der Attraktivität eines Verkehrsmittels im Vergleich zu allen anderen verfügbaren Verkehrsmitteln abbildet; siehe Abschnitt 2.4. Die Funktion der Eigenschaften eines Verkehrsmittel wird dabei entsprechend der Funktion der generalisierten Kosten GK nach Gleichung (6) definiert.

Für den Nullfall, d.h. vor Änderungen in den generalisierten Kosten, lautet die Wahrscheinlichkeit $P_0(k)$ für die Wahl einer Alternative k aus m Alternativen nach Gleichung (9):

$$P_0(k) = \frac{e^{\beta \cdot GK_{0k}}}{\sum_l e^{\beta \cdot GK_{0l}}} \quad (l = 1, \dots, m) .$$

Analog ergibt sich für den Planfall, mit seinen Änderungen in den generalisierten Kosten, die Wahrscheinlichkeit $P(k)$ entsprechend zu

$$P(k) = \frac{e^{\beta \cdot GK_k}}{\sum_l e^{\beta \cdot GK_l}} \quad (l = 1, \dots, m) .$$

Durch Bilden des Verhältnisses $P(k)/P_0(k)$ kann somit der Anteil an Wegen mit dem Verkehrsmittel k für den Planfall aus den Modal-Splits für den Nullfall und den Veränderungen der generalisierten Kosten aller m Alternativen ermittelt werden. Dieser zukünftige Anteil an Wegen mit dem Verkehrsmittel k wird durch das *pivot-point*-Modell bzw. die inkrementelle Form des MNL-Modells nach Kumar (1980) und Moser (1999) wie folgt beschrieben:

$$P(k) = \frac{P_0(k) \cdot e^{\beta(GK_k - GK_{0k})}}{\sum_l P_0(l) \cdot e^{\beta(GK_l - GK_{0l})}} \quad (l = 1, \dots, m) . \quad (12)$$

4.2 Implementierung

Das *pivot-point*-Modell dieser Arbeit reduziert sich auf zwei Alternativen k und l , da nur die Nachfrageverschiebungen zwischen dem Individualverkehr und dem öffentlichen Verkehr betrachtet werden. Auf einer Quelle-Ziel-Beziehung berechnet sich der Anteil an Wegen mit dem Verkehrsmittel k des Individualverkehrs durch Vereinfachung von Gleichung (12) zu

$$P(k) = \frac{P_0(k) \cdot e^{\beta(GK_k - GK_{0k})}}{P_0(k) \cdot e^{\beta(GK_k - GK_{0k})} + P_0(l) \cdot e^{\beta(GK_l - GK_{0l})}} \quad (13)$$

mit

$P_0(k)$, $P_0(l)$	Anteil der Wege mit Verkehrsmittel k bzw. l für den Nullfall in [-],
GK_{0k} , GK_{0l}	Generalisierte Kosten des Verkehrsmittels k bzw. l für den Nullfall in [Geldeinheiten],
GK_k , GK_l	Generalisierte Kosten des Verkehrsmittels k bzw. l für den Planfall in [Geldeinheiten],
β	Skalierungsfaktor in [1/Geldeinheiten].

Eine weitere Vereinfachung des *pivot-point*-Modells nach Gleichung (13) wird durch das ausschließliche Verändern der generalisierten Kosten der Alternative k des Individualverkehrs erreicht, d.h. die bei den Planfällen durchgeführten Maßnahmen bleiben ohne Wirkung auf die Eigenschaften der Alternative l des öffentlichen Verkehrs. Mit der zusätzlichen Bedingung, dass die Summe der Anteile der Wege bei zwei Alternativen immer Eins ist, gilt für die Anteile der Wege mit dem Verkehrsmittel k des Individualverkehrs die Beziehung

$$P(k) = \frac{P_0(k) \cdot e^{\beta(GK_k - GK_{0k})}}{P_0(k) \cdot e^{\beta(GK_k - GK_{0k})} + (1 - P_0(k))} \quad (14)$$

mit

$P_0(k)$	Anteil der Wege mit Verkehrsmittel k für den Nullfall in [-],
GK_{0k}	Generalisierte Kosten des Verkehrsmittels k für den Nullfall in [Geldeinheiten],
GK_k	Generalisierte Kosten des Verkehrsmittels k für den Planfall in [Geldeinheiten],
β	Skalierungsfaktor nach Gleichung (17) in [1/Geldeinheiten].

Die Variable $P_0(k)$ mit den Anteilen der Wege des Verkehrsmittels k für den Nullfall wird aus den gegebenen Fahrtenmatrizen des Individualverkehrs und des öffentlichen Verkehrs unter Berücksichtigung der Besetzungsgrade beim IV für jede Fahrbeziehung ermittelt. Ebenso bekannt sind die Variablen GK_{0k} und GK_k der generalisierten Kosten des Verkehrsmittels k für den Nullfall und den Planfall, welche aus den VISUM-Kenngrößenmatrizen der Reisezeit, der Reisedistanz und der Mautkosten berechnet werden. Als vorläufig unbekannt Variable verbleibt somit der Skalierungsfaktor β im *pivot-point*-Modell, welcher jedoch entscheidend für die Höhe der Nachfrageunterdrückungen bzw. -verschiebungen ist.

Die Bestimmung des Skalierungsfaktors β erfolgt empirisch in Abhängigkeit von gewünschten Preiselastizitäten. In einem ersten Schritt wird der Faktor β dazu verwendet, die Funktion der generalisierten Kostendifferenzen zu normieren. Dazu werden die Terme der Exponentialfunktionen in Gleichung (14) durch die generalisierten Kosten des Verkehrsmittels k für den Nullfall dividiert. Diese Normierung bewirkt somit Nachfrageverschiebungen, welche abhängig von den relativen Änderungen und nicht abhängig von den absoluten Änderungen der generalisierten Kosten auf den Fahrbeziehungen sind. In einem weiteren Schritt wird der Skalierungsfaktor β in Abhängigkeit zu einer gegebenen Preiselastizität E gebracht. Es folgt eine Erweiterung mit einem Faktor von zweimal der Preiselastizität, wodurch der Skalierungsfaktor wie folgt definiert ist:

$$\beta = \frac{2 \cdot E}{GK_{0k}} .$$

Eine getrennte Berücksichtigung der Preiselastizitäten für Änderungen der Zeitkosten, Distanzkosten und Mautkosten wird über die Ermittlung einer gewichteten Preiselastizität E_{gew} erreicht. Die Gewichtung erfolgt über die jeweiligen Kostenanteile für jede Fahrbeziehung zu

$$E_{\text{gew}} = \frac{\text{ZeitElast} \cdot ZK_{0k} + \text{DistElast} \cdot DK_{0k} + \text{MautElast} \cdot MK_{0k}}{GK_{0k}} , \quad (15)$$

mit

<i>ZeitElast</i>	Kfz-Zeitkostenelastizität der Kfz-Fahrten in [-],
<i>DistElast</i>	Kfz-Distanzkostenelastizität der Kfz-Fahrten [-],
<i>MautElast</i>	Kfz-Mautkostenelastizität der Kfz-Fahrten [-],

ZK_{0k} , DK_{0k} , MK_{0k}	Zeitkosten, Distanzkosten und Mautkosten des Verkehrsmittels k für den Nullfall in [Geldeinheiten],
GK_{0k}	Generalisierte Kosten des Verkehrsmittels k für den Nullfall in [Geldeinheiten].

In einem letzten Schritt wird nun das *pivot-point*-Modell kalibriert. Das Implementieren eines Korrekturfaktors κ ermöglicht es, das Modell für jede Nachfragegruppe so einzustellen, dass die gewünschten Nachfrageverschiebungen für den gemittelten, oder auch gewichteten Modal-Split des Nachfragesegments erzielt werden. Liegen in der Nachfragegruppe die Anteile der Wege mit dem Verkehrsmittel k des Individualverkehrs über diesem gemittelten Wert, so besitzen diese Quelle-Ziel-Beziehungen eine geringere Bereitschaft für eine Nachfrageverschiebung, und umgekehrt. Die Eigenschaften des *pivot-point*-Modells, keine neuen Wege zu erzeugen, sondern die Verkehrsmittelwahl zwischen vorhandenen Alternativen neu zu bestimmen, ermöglicht eine Veränderung der Nachfrage nur auf jenen Quelle-Ziel-Beziehungen eines Nachfragesegments, deren Anteile der Wege mit dem Verkehrsmittel k ungleich Null bzw. Eins sind. Die Bestimmung des gemittelten Modal-Splits einer Nachfragegruppe erfolgt über eine Gewichtung der Gesamtfahrten dieser Fahrbeziehungen zu

$$\begin{aligned}
 P_0(k)_{\text{gew}} &= \frac{\sum_{ij} P_0(k) \cdot \text{Fahrten}(k+l)}{\sum_{ij} \text{Fahrten}(k+l)} = \\
 &= \frac{\sum_{ij} \text{Fahrten}(k)}{\sum_{ij} \text{Fahrten}(k+l)} \quad \forall ij \text{ mit } P_0(k) \neq 0 \wedge 1 \quad (16)
 \end{aligned}$$

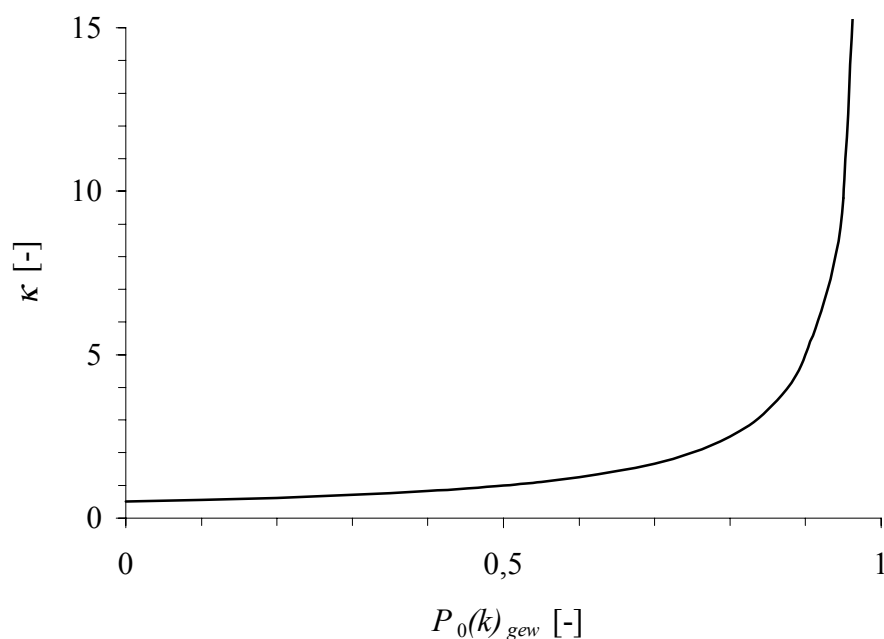
mit

$P_0(k)$	Gegenwärtiger Anteil der Wege mit Verkehrsmittel k auf einer Fahrbeziehung von i nach j in [-],
$\text{Fahrten}(k)$	Fahrten bzw. Wege mit dem Verkehrsmittel k auf einer Fahrbeziehung von i nach j in [Personen-Fahrten],
$\text{Fahrten}(k+l)$	Gesamtfahrten bzw. -wege auf einer Fahrbeziehung von i nach j in [Personen-Fahrten].

In Abhängigkeit von diesem gewichteten bzw. gemittelten Modal-Split $P_0(k)_{\text{gew}}$ wird nun der Korrekturfaktor κ einmal für jedes Nachfragesegment berechnet. Die Werte von κ wurden hierbei empirisch ermittelt, wobei für Modal-Splits von 0 bis 0,5 eine Schrittweite zu 0,1 und für Modal-Splits ab 0,5 eine Schrittweite zu 0,05 verwendet wurde. Entspricht der gewichtete

Modal-Split einem Wert von genau 0,5, so bedarf es keiner Korrektur des *pivot-point*-Modells, der Korrekturfaktor wird gleich Eins gesetzt. In der Anwendung auftretende Zwischenwerte werden bereichsweise linear interpoliert, wobei die Sekantenfehler vernachlässigt werden. Liegt der gewichtete Modal-Split über einem Wert von 0,95, so wird der Korrekturfaktor entsprechend diesem Wert verwendet. Der Verlauf von κ ist in der folgenden Abbildung 22 dargestellt.

Abbildung 22 Verlauf des Korrekturfaktors κ



Der Skalierungsfaktor β zur Beschreibung des *pivot-point*-Modells nach Gleichung (14) ist somit wie folgt definiert:

$$\beta = \frac{2 \cdot E_{gew} \cdot \kappa}{GK_{0k}}, \quad (17)$$

mit

E_{gew} Gewichtete Elastizität einer Fahrbeziehung nach Gleichung (15) in [-],

κ Korrekturfaktor für eine Nachfragegruppe nach Gleichung (16) und Abbildung 22 in [-],

GK_{0k} Generalisierte Kosten einer Fahrbeziehung mit dem Verkehrsmittel k für den Nullfall in [Geldeinheiten].

Zur Veranschaulichung der Reaktionen des implementierten *pivot-point*-Modells sind in Abbildung 23 und Abbildung 24 die Veränderungen der Individualverkehrsnachfrage beispielhaft für eine Nachfragegruppe mit einem $P_0(k)_{gew}=0,5$ und Preiselastizitäten von $E=-0,1$ bzw. $E=-0,3$ dargestellt. In Abhängigkeit von den prozentuellen Änderungen der generalisier-ten Kosten können die prozentuellen Änderungen der IV-Anteile abgelesen werden.

Abbildung 23 Reaktionen einer Nachfragegruppe bei $P_0(k)_{gew}=0,5$ und $E=-0,1$

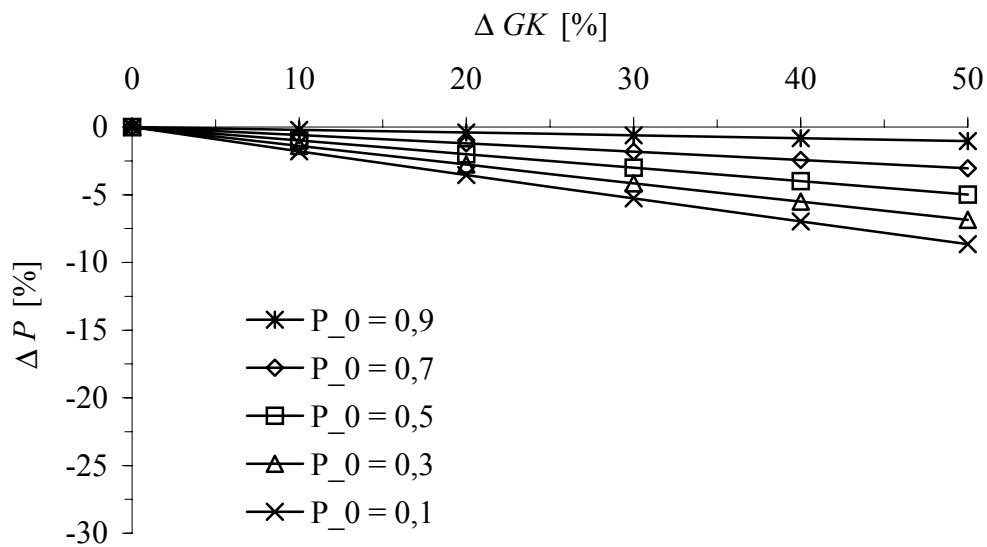
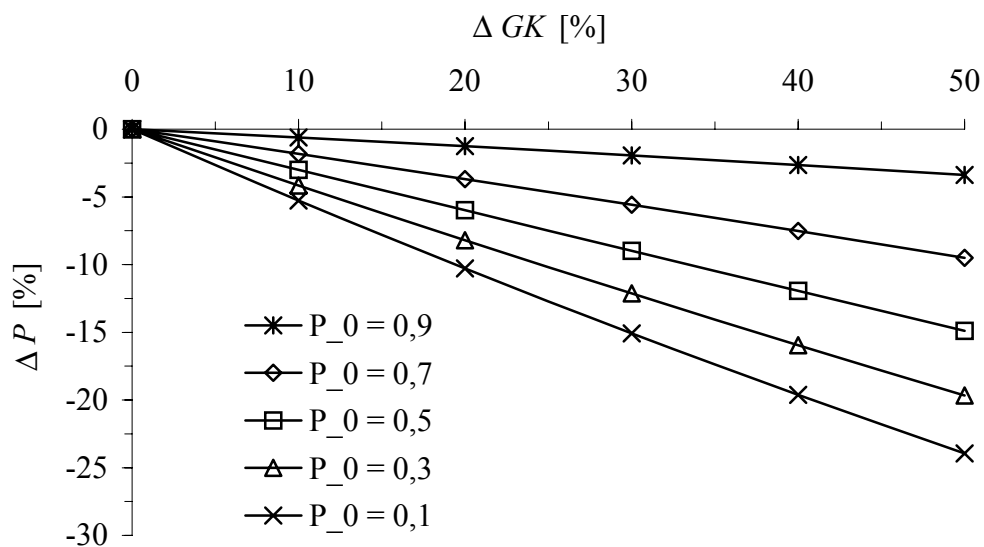


Abbildung 24 Reaktionen einer Nachfragegruppe bei $P_0(k)_{gew}=0,5$ und $E=-0,3$



4.3 Parameter für Nachfrageunterdrückung

Die Berechnungen der Funktionen der generalisierten Kosten GK nach Gleichung (6) erfordern als erstes eine Wahl der darin enthaltenen Zeitkostenwerte VOT und Distanzkostenwerte VOD . Die Kostenwerte geben dabei die Zahlungsbereitschaft der IV-Nutzer für eine Fahrzeiterparnis von einer Stunde bzw. für eine Fahrtweitenverkürzung von hundert Kilometer an, oder alternativ die Akzeptanzbereitschaft für eine Fahrzeiterhöhung bzw. Fahrtweitenverlängerung bei entsprechend reduzierten Kosten. Im Allgemeinen müssen die Kostenwerte unter differenzierter Betrachtung der Nachfragegruppen und Verkehrssysteme definiert werden, das europäische Verkehrsmodell dieser Diplomarbeit erlaubt jedoch gewisse Vereinfachungen. Für die Verkehrssysteme Lkw-leer und Lkw-beladen, bzw. für die dazugehörigen Gütergruppen, werden die Zeit- und Distanzkostenwerte in Ermangelung gütergruppenspezifischer Werte nicht der Höhe nach unterschieden. Ähnliches gilt für die verschiedenen Nachfragegruppen des Verkehrssystems Pkw. Die Distanzkostenwerte werden, im Gegensatz zu den Zeitkostenwerten, für alle Nachfragesegmente des Verkehrssystems Pkw gleich hoch angesetzt.

Die Werte der Zahlungsbereitschaften für Zeitersparnisse werden auch hier entsprechend den VOT 's der Studie von Accent Marketing & Research *et al.* (1999) gewählt. Aus methodischen Gründen werden jedoch, im Gegensatz zu den Zeitkostenwerten für die TRIBUT-Umlegung, die Mittelwerte der VOT 's verwendet, vergleiche Tabelle 57. Die Umrechnungen der englischen Angaben erfolgen nach Gleichung (11), wobei die 1994er Werte unter Berücksichtigung der Kaufkraftparitäten nach Tabelle 4 auf die österreichischen Einkommensverhältnisse umgerechnet und mit den Jahresinflationen nach Tabelle 7 auf 1998 hochgerechnet werden. Für das Jahr 1998 erfolgt schließlich die Umrechnung auf die gemeinsame Bezugswährung ECU. Die Zeitkostenwerte sind für die Nachfragegruppen des Pkw-Verkehrs und für den Lkw-Verkehr in Tabelle 62 aufgelistet.

Die Wahl der Zahlungsbereitschaften für Fahrtweitenverkürzungen erfolgt nach den Betriebskostenermittlungen in den Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen der FGSV (1997). Die EWS bildet eine Grundlage für die volkswirtschaftliche Beurteilung von Straßenbauinvestitionen und ermittelt bzw. bewertet die Veränderungen von Nutzen zu einem Preisstand des Jahres 1995. Die Kostenansätze der Betriebskostenermittlung beinhalten geschwindigkeitsunabhängige Betriebskostengrundwerte (fahrleistungsabhängige Abschreibung, Reifenverschleiß, Instandhaltung und Wartung sowie Schmierstoffe) und geschwindigkeitsabhängige Kraftstoffverbrauchskosten. Berücksichtigt werden nur die volkswirtschaftlich relevanten Kostenbestandteile, d.h. indirekte Steuern und die Kraftfahrzeugsteuern werden

ausgeklammert. Die Höhe der fahrleistungsbezogenen Betriebskosten BK_{FG} berechnet sich nach Gleichung 39 der EWS zu

$$BK_{FG} = BGW_{FG} + \frac{1}{10} \cdot \overline{KF}_{FG} \cdot BK \quad [\text{DEM} / (100\text{km} \cdot \text{Kfz})], \quad (18)$$

mit

BGW_{FG} Betriebskostengrundwert der Fahrzeuguntergruppe FG nach Tabelle 2 der EWS in $[\text{DEM}/(100\text{km Kfz})]$,

\overline{KF}_{FG} Kraftstoffverbrauchsfaktor nach Gleichung (19) in $[\text{g}/(\text{km Kfz})]$,

BK Kraftstoffkostensatz in $[\text{DEM}/\text{kg}]$ nach Tabelle 3 der EWS.

Der Kraftstoffverbrauchsfaktor \overline{KF}_{FG} wird gleich dem Emissionsfaktor für Kraftstoffe $\overline{EF}_{FG,KF}$ gesetzt, welcher in Abhängigkeit der Geschwindigkeit V , der Längsneigung s und der zukünftigen technischen Reduktionspotentiale im Vergleich zum Bezugsjahr 1990 ermittelt wird. Bei Vernachlässigung der Längsneigung s lautet die Beziehung für den Emissionsfaktor nach Gleichung 85 der EWS:

$$\overline{KF}_{FG} = \overline{EF}_{FG,KF} = EF_{FG,KF} \cdot kf_{KF} \quad [\text{g} / (\text{km} \cdot \text{Kfz})], \quad (19)$$

mit

$EF_{FG,KF}$ Emissionsfaktor nach Gleichung (20) in $[\text{g}/(\text{km Kfz})]$,

kf_{KF} Minderungsfaktor des Bezugsjahres 1990 nach Tabelle 39 der EWS in $[-]$.

Für den Emissionsfaktor $EF_{FG,KF}$ gibt die EWS die Gleichung 81 an, welche für Geschwindigkeiten größer als 20 km/h wie folgt definiert ist:

$$EF_{FG,KF} = c_0 + c_1 \cdot V^2 + \frac{c_2}{V} \quad [\text{g} / (\text{km} \cdot \text{Kfz})], \quad (20)$$

mit

V Geschwindigkeit in $[\text{km}/\text{h}]$,

c_0, c_1, c_2 Parameter für Fahrzeuguntergruppe und Kraftstoffverbrauch nach Tabelle 23 bis 29 der EWS in $[-]$.

Die Ermittlungen der verschiedenen Faktoren der Gleichungen (18), (19) und (20) erfolgen durch Zuordnen der vorhandenen Verkehrssysteme Pkw und Lkw zu den Fahrzeuguntergrup-

pen Pkw-Benzin PO bzw. Pkw-Diesel PD und zu der Fahrzeuggruppe Lastzüge Z. Bei einer angenommenen durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h für die Fahrzeuggruppe der Pkw und von 60 km/h für die Fahrzeuggruppe der Lastzüge auf Außerortsabschnitten ergeben sich die gesuchten Faktoren entsprechend den Aufzählungen in Tabelle 61.

Tabelle 61 Faktoren für die Betriebskostenermittlung nach der EWS

Faktor		Fahrzeuguntergruppe bzw. Fahrzeuggruppe		
		PO	PD	Z
c_0	[-]	17,7766	18,9647	139,5313
c_1	[-]	0,0023606	0,0020625	0,0111448
c_2	[-]	1461,87	1139,17	3984,71
kf_{KF}	[-] ⁹⁸	0,93	0,93	0,98
BK	[DEM/kg]	0,926	0,808	0,808
BGW_{FG}	[DEM/(100km Kfz)]	17,40	17,40	46,30

Die fahrleistungsbezogenen Betriebskosten BK_{FG} werden schließlich durch Einsetzen obiger Faktoren in Gleichung (18), (19) und (20) zu einem Preisstand für das Jahr 1995 berechnet. Die Betriebskosten der Fahrzeuguntergruppen Pkw-Benzin PO bzw. Pkw-Diesel PD liegen bei Werten von 21.81 bzw. 20.89 [DEM/(100km Kfz)]⁹⁵ und die Betriebskosten der Fahrzeuggruppe der Lastzüge Z bei einem Wert von 65.87 [DEM/(100km Kfz)]⁹⁵. Unter der Voraussetzung, dass der Dieselanteil in der Pkw-Fahrzeuggruppe bei ungefähr 60% liegt, werden die Werte der Fahrzeuguntergruppen PO und PD zu einem gemeinsamen Wert zusammengeführt. Die Betriebskosten für Pkw betragen demnach 21.20 [DEM/(100km Kfz)]⁹⁵. Die Umrechnungen der deutschen Angaben auf die gemeinsame Bezugswährung des Jahres 1998 erfolgen, analog zu den Zeitkosten, auch hier nach Gleichung (11). Unter Berücksichtigung der Kaufkraftparitäten nach Tabelle 4, den Veränderungen der Verbraucherpreisindizes nach Tabelle 7 und dem Devisenmittelkurs werden die Distanzkostenwerte der Verkehrssysteme Pkw und Lkw in den ECU konvertiert. In Tabelle 62 sind die VOD 's aufgelistet, wie sie in dieser Diplomarbeit angewendet werden.

Das implementierte *pivot-point*-Modell nach Gleichung (14) erfordert des weiteren noch die Wahl von Preiselastizitäten. Die von Axhausen und Vrtic empfohlenen Werte für Preise und Fahrzeiten werden auf die Zeitkosten-, Distanzkosten- und Mautkostenelastizitäten dieser Arbeit übertragen und sind für den Pkw- und Lkw-Verkehr in Tabelle 63 dargestellt. In einer

Vereinfachung werden die jeweiligen Elastizitäten der verschiedenen Nachfragegruppen des Pkw-Verkehrs und des Lkw-Verkehrs gleich hoch angesetzt, d.h. es wird auf nachfragesegmentspezifische Unterscheidung bei den einzelnen Verkehrssystemen verzichtet.

Tabelle 62 Kostenparameter für die Nachfrageunterdrückung

Parameter		Pkw			Lkw
		Geschäft	Pendler	Freizeit und sonstige	
Zeitkosten VOT	$[ECU_{KKP}/h]_{98}$	7,93	5,35	5,75	23,39
Distanzkosten VOD	$[ECU_{KKP}/km]_{98}$	0,1078	0,1078	0,1078	0,3346

Tabelle 63 Preiselastizitäten für die Nachfrageunterdrückung

Elastizitäten der Kfz-Fahrten		Pkw			Lkw
		Geschäft	Pendler	Freizeit und sonstige	
Zeitkosten	[-]	-0,40	-0,40	-0,40	-0,15
Distanzkosten	[-]	-0,20	-0,20	-0,20	-0,30
Mautkosten	[-]	-0,20	-0,20	-0,20	-0,30

5. Variation der Mauten

5.1 Datengrundlagen

Das unter Abschnitt 3.4 erzeugte Verkehrsmodell für den Individualverkehr stellt die primäre Datengrundlage für eine Variation der Mauten dar. Das Modell beschreibt das Verkehrsangebot und die Verkehrsnachfrage für das Jahr 1998 und ist in einer binären VISUM-Versionsdatei gespeichert. Eine Modifikation der Modelldaten kann entweder interaktiv in VISUM erfolgen, oder automatisiert mit Befehlen der VISUM COM-Schnittstelle für Visual Basic durchgeführt werden. Der Aufwand für die Entwicklung eines Programms zur automatisierten Durchführung einer Mautvariation für den allgemeinen Fall einer VISUM-Anwendung ist zwar nicht unerheblich, er wird jedoch in Kauf genommen, um eine effektive und fehlerfreie Abarbeitung der vielzähligen, sich immer wiederholenden Arbeitsschritte zu erreichen. Das Programm wird als VisumMautVariation bezeichnet und bietet dem Anwender die Möglichkeit, entsprechende Eingabedateien, Zuordnungen und Parameter zu definieren, um damit die gesuchten Umlegungsergebnisse infolge variiertes Mauteinstellungen zu erhalten.

Zum notwendigen Verständnis von VisumMautVariation werden im folgenden die Datenstrukturen der erforderlichen Eingabedateien beschrieben. Eine Auflistung der benötigten Eingabedateien zeigt Tabelle 64.

Tabelle 64 Eingabedateien für VisumMautVariation

Name		Inhalt
Versionsdatei	*.ver	VISUM-Verkehrsmodell für den Individualverkehr
Umlegungsparameterdateien	*.par	VISUM-Umlegungsparameter zur Ermittlung der Netzbelastungen bzw. der Kenngrößenmatrizen
Attributdateien	*.att	VISUM-Strecken, deren Mauten variiert werden bzw. die ausgewertet werden
Kostenparameterdateien	*.kpa	Parameter zu Zeitkosten- und Distanzkostenwerten bzw. zu Elastizitäten
Fahrtenmatrizen	*.fma	VISUM-Verkehrsnachfrage für den öffentlichen Verkehr

Die erste benötigte Eingabedatei für die Ausführung von `VisumMautVariation` ist die VISUM-Versionsdatei `*.ver`, welche das Verkehrsangebot und die Verkehrsnachfrage für den Individualverkehr enthält. Die Datei dient als Grundlage für die Variation der Mauten. Aufgrund des binären Charakters der Versionsdatei wird auf eine weitere Beschreibung der Datenstruktur verzichtet.

Für die Ausführung von `VisumMautVariation` ist ein weiterer VISUM-Dateityp erforderlich, die Umlegungsparameterdatei `*.par`, kurz Upardatei. Auch diese binär-formatierte Datei muss aus einer VISUM-Anwendung gespeichert werden und enthält alle Einstellungen für die Ausführung des vom Anwender eingestellten Umlegungsverfahrens zur Ermittlung der Verkehrsbelastungen im Netz. Diese Einstellungen der Umlegungsparameter werden zwar grundsätzlich auch in der VISUM-Versionsdatei gespeichert, sind jedoch zum momentanen Entwicklungsstand der VISUM COM-Schnittstelle nicht vollständig editierbar. Bei der Ausführung einer Mautvariation mit der Berücksichtigung einer sich ändernden Verkehrsnachfrage sind weitere Upardateien als Eingabedateien für `VisumMautVariation` erforderlich. Die Dateien müssen für jedes Nachfragesegment erstellt werden und enthalten die Einstellungen zur Ermittlung der Kenngrößenmatrizen der Fahrtzeiten, Entfernungen und Mautkosten im belasteten Netz. Aufgrund der Tatsache, dass bis einschließlich der VISUM-Version 7.52 eine Mautkostenmatrix nicht direkt generiert werden kann, wird diese Matrix über die Streckenattribute `ZWert1` aufsummiert. Die Streckenattribute `ZWert1` können trotz dieser Verwendung für jeden beliebigen Zweck belegt werden, da diese Attribute beim Programmablauf von `VisumMautVariation` in die Datei `ZWert1.str` gespeichert und bei jedem Rechendurchlauf wieder neu eingelesen werden. Beim Einstellen der Parameter für das Erzeugen der Kenngrößenmatrizen müssen unbedingt die folgenden Konventionen eingehalten werden, nicht angeführte Einstellungen sind frei wählbar:

- Dateinamen mit vollständiger Pfadangabe entsprechend der VISUM-Versionsdatei und einer Dateibezeichnung zu `NsegCode_ZeitMatrix.fzt`, `NsegCode_DistanzMatrix.fzt` und `NsegCode_MautMatrix.fzt`, z.B. `C:\Dateien\...\P_DistanzMatrix.fzt` für die Kenngrößenmatrix der Entfernungen des Nachfragesegmentes P,
- O-Format,
- Trennzeichen mit Leerzeichen, Tabulator oder Semikolon,
- Routenwahl über das Kriterium Widerstand mit den Routen aus der Umlegung,
- Ausgabekennwerte für die Kenngröße `ZWert1` nur über die Strecken aufsummieren,
- Anzahl der Nachkommastellen bei allen Upardateien gleich wählen.

Das Einlesen der Umlegungsparameterdateien erfolgt in VisumMautVariation mittels eines VISUM-Makrobefehls, welcher nur Dateinamen mit höchstens 64 Zeichen verarbeiten kann. Es dürfen auch keine Leerzeichen im Dateinamen enthalten sein.

Eine weitere Gruppe von Eingabedateien wird über die VISUM-Attributdateien *.att definiert. Die Dateien enthalten Angaben zu den Strecken eines VISUM-Verkehrsmodells, deren Maut-einstellungen verändert bzw. deren Streckenbelastungen ausgewertet werden sollen. Das Erzeugen der Attributdateien dieser Strecken muss durch den Anwender in VISUM erfolgen, wobei auch hier gewisse Vereinbarungen gelten:

- Liste der Streckenattribute mit dem Aufbau VonKnot, NachKnot und Nr,
- Beliebiger Dateiname vorzugsweise im Verzeichnis der VISUM-Versionsdatei,
- Trennzeichen mit Semikolon,
- Knotenbezogen.

Die Struktur einer Attributdatei *.att von Strecken zeigt Abbildung 25. Die Liste der Strecken muss mindestens die Attribute der Startknotennummer, Zielknotennummer und Streckennummer in der angegebenen Reihenfolge enthalten, um mit VisumMautVariation eingelesen werden zu können. Die Streckenattribute können dabei die Hin- und Retourrichtung, oder nur die Hinrichtung einer Strecke beschreiben, in VisumMautVariation werden auf jeden Fall beide Richtungen behandelt.

Abbildung 25 Struktur der Attributdatei *.att

```
$VISION
$VERSION:VersNr;FileType;Language
1.0;Att;D
*
$+STRECKEN:VonKnot;NachKnot;Nr
1321;2377;1978
```

Eine im Programm VisumMautVariation implementierte Option einer Nachfrageunterdrückung berücksichtigt sich einstellende Veränderungen in der Verkehrsnachfrage zufolge Preiselastizitäten. Die dazu notwendigen Angaben zu den Zeitkostenwerten, Distanzkostenwerten und Elastizitäten müssen in verschiedenen Kostenparameterdateien *.kpa definiert werden. Die Deklarationen erfolgen dabei nachfragesegmentspezifisch für die Zeitkostenwerte in [Geldeinheiten/h] und verkehrssystemspezifisch für die Distanzkostenwerte in [Geldein-

heiten/km]. Die Elastizitäten müssen ebenso in Bezug zu den Nachfragesegmenten definiert werden, sie sind jedoch dimensionslos. Die Strukturen dieser Dateien sind dem Aufbau der Attributdateien ähnlich und werden in Abbildung 26 bis Abbildung 28 auszugsweise dargestellt. Das Einlesen mit VisumMautVariation berücksichtigt die Datensätze, welche auf die Zeile mit dem Schlüsselzeichen \$ und der jeweils angegebenen Tabellenbezeichnung folgen. Im Gegensatz zu den bisher erwähnten Dateien müssen die Dateien *.kpa über einen Editor manuell erzeugt werden.

Abbildung 26 Struktur der Kostenparameterdatei *.kpa für Zeitkostenwerte

```
* Zeitkostenwerte für Nachfragesegmente
$NACHFRAGESEGMENT:Code;Zeitkosten
G;7.93
0;23.39
1;23.39
```

Abbildung 27 Struktur der Kostenparameterdatei *.kpa für Distanzkostenwerte

```
* Distanzkostenwerte für Verkehrssysteme
$VSY:VSysCode;Distanzkosten
P;0.1078
L;0.3346
S;0.3346
```

Abbildung 28 Struktur der Kostenparameterdatei *.kpa für Elastizitäten

```
* Elastizitäten für Nachfragesegmente
$NACHFRAGESEGMENT:Code;Zeitlast;Distanzlast;Mautlast
G;-0.4;-0.2;-0.2
0;-0.15;-0.3;-0.3
1;-0.15;-0.3;-0.3
```

Die letzten Dateien, welche für die Ausführung von VisumMautVariation benötigt werden, sind die Fahrtenmatrixdateien *.fma für den öffentlichen Verkehr. Diese Dateien sind nur für den Fall der Berücksichtigung einer Nachfrageunterdrückung anzugeben und müssen den jeweiligen Nachfragesegmenten zugeordnet werden. Der Aufbau und die Strukturen der Dateien im O-Format entsprechen den Beschreibungen in Abbildung 10.

Um die Ergebnisse einer durchgeführten Mautvariation entsprechend interpretieren bzw. analysieren zu können, werden im folgenden die Datenstrukturen der Ausgabedateien von VisumMautVariation beschrieben, welche für den Anwender von Interesse sind. Die Dateien sind in Tabelle 65 aufgelistet, wobei der Platzhalter "Nseg" stellvertretend für den Code des jeweiligen Nachfragesegments steht. Bei der Berücksichtigung einer Nachfrageunterdrückung werden noch eine Reihe weiterer Dateien erzeugt, die jedoch nur für den internen Programmablauf benötigt werden. Das sind für den Nullfall die IV-Fahrtenmatrixdateien Nseg_IV0.fma und für den zuletzt berechneten Planfall die IV- bzw. ÖV-Fahrtenmatrixdateien Nseg_IV.fma bzw. Nseg_OV.fma sowie die Kenngrößenmatrixdateien Nseg_ZeitMatrix.fzt, Nseg_DistanzMatrix.fzt und Nseg_MautMatrix.fzt. Für die Einheiten der Kenngrößen gelten dabei die Konventionen [Minuten.Hundertstel], [m] und [100xGeldeinheiten].

Tabelle 65 Ausgabedateien von VisumMautVariation

Name	Inhalt
Auswertungsdatei *.xls	Excel-Auswertung der Umlegungsergebnisse
Protokolldatei *.log	Protokoll zur Mautvariation
Nullfalldatei Nseg_PvtPnt0.pvt	<i>Pivot-point</i> -Modelldaten für den Nullfall
Planfalldatei Nseg_PvtPnt.pvt	<i>Pivot-point</i> -Modelldaten für den Planfall

Die Auswertungsdatei wird als Excel-Datei *.xls erzeugt. Sie enthält für alle auszuwertenden Strecken die jeweilige Bezugsmaut der zu variierenden Verkehrssysteme. Für jede berechnete Mautkonstellation werden einerseits die Mauthöhen in Bezug zu diesen Mauten in der Einheit [%] angegeben und andererseits die zugehörigen Verkehrssystem-Belastungen in der Einheit [Fzg] angeführt. Sollte für alle Verkehrssysteme einer Strecke die Bezugsmaut der Hin- und Retourrichtung jeweils gleich hoch sein, so werden die Belastungen aus der Hin- und Retourrichtungen aufsummiert. Die Strecke wird in diesem Fall mit "hin/ret" gekennzeichnet, im Gegensatz zu "hin" bzw. "ret" für unterschiedliche Bezugsmauten. Eine Berechnung der jeweiligen Verkehrssystem-Mauteinnahmen bzw. der gesamten Mauteinnahmen erfolgt schließlich für jede Mauteinstellung über Excel-Zellbezüge. Diese in der Auswertungsdatei enthaltenen Daten ermöglichen somit das Erstellen von Grafiken, um die Verläufe der Belastungen bzw. Mauteinnahmen der jeweiligen Verkehrssysteme darzustellen. Beispielhaft zeigt Abbildung 29 die Struktur einer Auswertungsdatei *.xls.

Abbildung 29 Struktur der Auswertungsdatei *.xls

Mauteinnahmen				Strecke 1978 hin/ret					
P	L	S	Gesamt	Maut(P)= Maut	2,64 Fzg	Maut(L)= Maut	27,60 Fzg	Maut(S)= Maut	27,60 Fzg
37826	12199	142112	192137	100%	14328	100%	442	100%	5149
36041	13938	144955	194934	200%	6826	100%	505	100%	5252
39481	12448	144210	196139	300%	4985	100%	451	100%	5225
44587	14159	252706	311452	100%	16889	300%	171	300%	3052
47261	15484	255106	317851	200%	8951	300%	187	300%	3081
50332	19706	239126	309164	300%	6355	300%	238	300%	2888
46456	12006	242466	300928	100%	17597	500%	87	500%	1757
51971	14076	216798	282845	200%	9843	500%	102	500%	1571
50949	17250	213762	218961	300%	6433	500%	125	500%	1549

Die *pivot-point*-Modelldateien für den Nullfall bzw. Planfall werden im Fall einer eingestellten Nachfrageunterdrückung für die Nachfragesegmente erzeugt, welche eine Veränderung in der Verkehrsnachfrage zulassen. Entsprechend den Eigenschaften des *pivot-point*-Modells werden nämlich nur jene Quelle-Ziel-Beziehungen eines Nachfragesegementes berücksichtigt, die sowohl in der Fahrtenmatrix des Individualverkehrs, als auch in der Fahrtenmatrix des öffentlichen Verkehrs beschrieben werden; siehe Abschnitt 4. Die Dateien für den Nullfall und den Planfall sind ASCII-formatiert und analog den VISUM-Listen strukturiert. Mehrere Kommentarzeilen am Dateianfang beinhalten Angaben zum Typ der Modelldatei, zum Verkehrssystemtyp und zum Code des betrachteten Nachfragesegementes. Die relevanten Datensätze folgen auf die Zeile mit der Tabellenbezeichnung \$PIVOTPOINT0 bzw. \$PIVOTPOINT und den jeweiligen Spaltenbezeichnungen, durch Semikolon getrennt. Bei beiden Dateien wird eine Quelle-Ziel-Beziehung durch die Angabe der VISUM-Quellbezirks- und VISUM-Zielbezirksnummer beschrieben. Die weiteren Attribute enthalten, für den Nullfall und Planfall im Allgemeinen unterschiedlich, die IV-Verkehrsanteile am Gesamtverkehr bezogen auf Eins, die Kfz-Fahrten in der Einheit [Fzg] und die generalisierten Kosten in der Einheit [Geldeinheiten]. Zusätzlich werden als Attribute einer Quelle-Ziel-Beziehung die über die Kostenanteile gewichtete Elastizität und der Skalierungsfaktor zur Kalibrierung des *pivot-point*-Modells, entsprechend Abschnitt 4, in der Nullfalldatei eingetragen. Die Strukturen einer Nullfalldatei und einer Planfalldatei sind in Abbildung 30 und Abbildung 31 erkennbar.

Abbildung 30 Struktur der Nullfalldatei Nseg_PvtPnt0.pvt

* Pivotpoint-Daten für Nullfall
*
* Verkehrsmittel IV
* Nachfragesegment P
* Leopold-Franzens-Universität Innsbruck (Stefan Troyer)
*
\$PIVOTPOINT0:VonBez;NachBez;p0_IV;KfzFahrten0;Kosten0;gewElast;SkalFak
69;73;0.531;4.00;30.90;-0.28;-0.07072

Abbildung 31 Struktur der Planfalldatei Nseg_PvtPnt.pvt

* Pivotpoint-Daten für Variationsfall
*
* Verkehrsmittel IV
* Nachfragesegment P
* Leopold-Franzens-Universität Innsbruck (Stefan Troyer)
*
\$PIVOTPOINT:VonBez;NachBez;p_IV;KfzFahrten;Kosten
69;73;0.428;3.22;36.80

5.2 Programm VisumMautVariation

Die Programmierung der automatisierten Variation von Mauten in einem VISUM-Modell erfolgt ebenso mit Visual Basic 5.0. Als Grundlage für die Entwicklung dienen die unter 5.1 beschriebenen Datenstrukturen bzw. getroffenen Konventionen. Das Programm VisumMautVariation modifiziert Mauteinstellungen auf Strecken und wertet die daraus resultierenden Umlegungsergebnisse in einer Excel-Datei *.xls aus, wobei die zu variierenden und auszuwertenden Strecken nicht dieselben sein müssen. Die Berechnungen können wahlweise mit oder ohne der Option einer Nachfrageunterdrückung durchgeführt werden, um vorhandene Preiselastizitäten zu berücksichtigen. Die Ausführung von VisumMautVariation setzt eine Installation der Programme Excel und VISUM voraus, in der vorliegenden Arbeit getestet ab Excel 2000 und VISUM 7.52. Aufgrund der Verwendung von VISUM-Makrobefehlen erfolgt eine weitere Einschränkung auf eine deutsche oder englische VISUM-Version. In Anhang C sind sowohl die einzelnen Programmfunktionen, als auch die erforderlichen Arbeitsschritte bei einer

Installation von VisumMautVariation unter Windows kurz beschrieben. Der ausführbare Programmcode VisumMautVariation10.exe, die zugehörigen Visual Basic-Quellcodes und die notwendigen ActiveX-Steuerelementdateien sind, entsprechend den Pfadangaben in Anhang E, auf der beiliegenden CD-ROM gespeichert.

Die Programmoberfläche und –bedienung entspricht auch hier der Praxis üblicher Windows-Anwendungen. Die Menüleiste von VisumMautVariation besteht aus den folgenden Pull-down-Menüs mit den entsprechenden Funktionen:

- Datei
 - Initialisieren Visum ...
 - Initialisieren Kosten ...
 - Initialisieren Mautvariation ...
 - Beenden ...
- Visum
 - Version ...
 - Umlegungsparameter ...
 - Strecken zu variieren ...
 - Strecken + ...
 - Strecken auszuwerten ...
- Kosten
 - Zeitkosten ...
 - Distanzkosten ...
 - Elastizitäten ...
- Mautvariation
 - Nachfrageunterdrückung ...
 - Parameter ...
 - Starten ...
- Hilfe
 - Hilfethemen ...
 - Info ...

5.2.1 Menü Datei

Im Menü Datei sind verschiedene Funktionen zum Management von Dateien bzw. deren belegten Datenfeldern enthalten.

Die Funktionen Datei-Initialisieren-Visum und Datei-Initialisieren-Kosten führen ein Rücksetzen von belegten VISUM- und Kosten-Feldern aus. Zusätzlich wird durch die Funktion Datei-Initialisieren-Mautvariation die Möglichkeit geboten, alle Einstellungen der Funktionen Mautvariation-Nachfrageunterdrückung und Mautvariation-Parameter zu löschen. Die Funktion Datei-Beenden schließt das Anwendungsfenster von VisumMautVariation.

5.2.2 Menü Visum

Das Menü Visum beinhaltet die Funktionen zum Einlesen der für eine Mautvariation benötigten VISUM-Dateien. Die Funktionen müssen alle vom Anwender ausgeführt werden, um eine Variation der Mauten durchführen zu können. Die Reihenfolge des Einlesens der Dateien kann dabei beliebig sein. Als Quellverzeichnis wird der Pfad der ersten einzulesenden Datei eingestellt. Im Gegensatz zu PolyVisum ist es hier erforderlich, dass alle VISUM-Eingabedateien im gleichen Verzeichnis angeordnet sind. Bei allen Visum-Funktionen wird das erfolgreiche Einlesen der Dateien in einem Informationsfenster angezeigt.

Die Funktion Visum-Version dient primär zur Auswahl einer VISUM-Versionsdatei *.ver, deren Mauteinstellungen variiert werden sollen. Zusätzlich werden mit Hilfe von VISUM COM-Befehlen die Verkehrssystem-, Modi- und Nachfragesegmentlisten gelesen, einerseits um eine Zuordnung von Nachfragesegmenten zu den Umlegungsparametern der Kenngrößenmatrizen und zu den Fahrtenmatrizen des ÖV zu ermöglichen, und andererseits um die Mautvariationsparameter der Verkehrssysteme definieren zu können.

Die Funktion Visum-Umlegungsparameter besitzt die Aufgabe, die VISUM-Umlegungsparameterdatei *.par einzustellen, welche zur Ermittlung der Netzbelastungen verwendet werden soll. Es wird darauf hingewiesen, dass ein in der Versionsdatei gespeichertes Umlegungsverfahren dadurch gegenstandslos wird.

Das Auswählen von Strecken, deren Mauteinstellungen variiert werden sollen, erfolgt über das Einlesen von VISUM-Attributdateien *.att mit den Funktionen Visum-Strecken zu variieren bzw. Visum-Strecken+. Die beiden Funktionen unterscheiden sich darin, dass letztere Funktion ein Hinzulesen von Strecken zu schon eingelesenen Strecken erlaubt. Dadurch können kreuzende, unabhängige Strecken bzw. Streckenzügen definiert werden, deren hinzugelesene Strecken nicht gleichzeitig mit den bisher eingelesenen Strecken variiert werden. Beiden Funktionen gemeinsam ist die Auswahlmöglichkeit während des Einlesens, wie nicht zusammenhängende Strecken einer Attributdatei behandelt werden sollen. Per Voreinstellung wer-

den diese Strecken nicht gleichzeitig variiert, d.h. sie werden als unabhängig voneinander betrachtet. Eine weitere Gemeinsamkeit liegt in der Interpretation von zusammenhängenden Strecken in einer Attributdatei. Diese werden als Streckenzug betrachtet und immer gemeinsam variiert. Die Funktionen Visum-Strecken zu variieren und Visum-Strecken+ bieten somit die Möglichkeiten, Mauten auf einzelnen Strecken bzw. Streckenzügen unabhängig voneinander zu modifizieren, oder aber Mauteinstellungen auf bestimmten Strecken bzw. Streckenzügen gleichzeitig zu verändern. In einem Informationsfenster wird nach jedem Funktionsaufruf die Anzahl der eingelesenen Strecken, mit Angaben zu den Einzelstrecken und Streckenzügen, angezeigt.

Die Funktion Visum-Strecken auszuwerten erlaubt dem Anwender von VisumMautVariation eine VISUM-Attributdatei *.att auszuwählen, welche die erforderlichen Angaben zu den auszuwertenden Strecken enthält. Ein erfolgreiches Einlesen wird in einem Informationsfenster mit der Anzahl der auszuwertenden Strecken angezeigt.

5.2.3 Menü Kosten

Im Menü Kosten sind die Funktionen angeordnet, welche das Einlesen von definierten Kostenparameterdateien ermöglichen. Die Reihenfolge des Ausführens der Funktionen ist auch hier beliebig. Als Quellverzeichnis wird das Verzeichnis der VISUM-Dateien vorgeschlagen. Nach erfolgreichem Einlesen der Kostenparameter wird die Anzahl der darin enthaltenen Nachfragesegmente bzw. Verkehrssysteme informativ angezeigt.

Die Funktionen Kosten-Zeitkosten, Kosten-Distanzkosten und Kosten-Elastizitäten müssen nicht obligatorisch ausgeführt werden, da sie nur bei der Berücksichtigung einer Nachfrageunterdrückung erforderlich sind.

5.2.4 Menü Mautvariation

Das Menü Mautvariation beinhaltet Funktionen, in denen Einstellungen zu der auszuführenden Nachfrageunterdrückung und zu den Variationsparametern gemacht werden können. Die Funktionen Mautvariation-Nachfrageunterdrückung und Mautvariation-Parameter sind allerdings erst anwählbar, nachdem die VISUM-Versionsdatei mittels Visum-Version eingelesen wurde. Eine optionale Festlegung der Zuordnungen für eine Nachfrageunterdrückung in der Funktion Mautvariation-Nachfrageunterdrückung und eine obligatorische Einstellung der Variationsparameter in der Funktion Mautvariation-Parameter schaltet schließlich die Funktion

Mautvariation-Starten frei. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass alle VISUM-Dateien eingelesen wurden; siehe auch Abschnitt 5.2.2.

In der optionalen Funktion Mautvariation-Nachfrageunterdrückung wird der Anwender in einem Eingabefenster aufgefordert, zu den in der VISUM-Versionsdatei vorhandenen Nachfragesegmenten die jeweiligen Dateien für eine Nachfrageunterdrückung zuzuordnen. Die Umlegungsparameterdateien für die Ermittlung der Kenngrößenmatrizen und die Fahrtenmatrixdateien für den öffentlichen Verkehr werden in Listenfeldern angezeigt und können durch entsprechendes Auswählen den Nachfragesegmenten zugeordnet werden. Der aufmerksame Leser erkennt hier aufgrund der fehlenden Eingabemöglichkeit der Dateipfade die Notwendigkeit, dass sich alle VISUM-Dateien im gleichen Verzeichnis befinden müssen. In einem weiteren Listinfeld erfolgt die Anzeige dieser eingestellten Zuordnungen, welche bei Bedarf auch wieder gelöscht werden können.

Die obligatorische Funktion Mautvariation-Parameter fordert den Benutzer von VisumMautVariation auf, eine Reihe von Einstellungen bezüglich der Art und Weise der Durchführung der Mautvariation zu tätigen. In einem Eingabefenster müssen bzw. können, je nach Anforderung, für die in der VISUM-Versionsdatei vorhandenen Verkehrssysteme die Startwerte der Mauten, die Deltawerte der Mauten und die Anzahl der auszuführenden Berechnungsdurchläufe angegeben werden. Die Eingabe des jeweiligen Start- und Deltawertes muss dabei in der Einheit [%] erfolgen, wobei als Bezugswert die Maut der zu variierenden Strecken verwendet wird. Für den Anwendungsfall der Variation einer nicht bemauteuten VISUM-Strecke, wurde die Funktionalität der Eingabe der Variationsparameter dahingehend erweitert, dass die Bezugsmaut unabhängig von den vorhandenen Mautattributen neu eingestellt werden kann. Analog zu der Funktion Mautvariation-Nachfrageunterdrückung werden die gewählten und eingestellten Parameter auch hier zur Kontrolle in einem Listinfeld angezeigt, um bei Bedarf modifiziert bzw. gelöscht werden zu können.

Mit der Funktion Mautvariation-Starten wird es dem Anwender von VisumMautVariation schließlich ermöglicht, den Berechnungsvorgang der eingestellten Mautvariation zu starten. Der Benutzer wird dabei aufgefordert, den Namen und das Verzeichnis einer Excel-Auswertungsdatei anzugeben, in der die Umlegungsergebnisse der variierten Mauteinstellungen gespeichert werden sollen. Ähnlich zu PolyVisum wird auch hier eine Protokolldatei erzeugt, deren Dateiname sich nur in der Dateierweiterung ".log" von der Auswertungsdatei unterscheidet. Die Datei enthält relevante Angaben zum Berechnungsvorgang mit den entsprechenden Zeitattributen, welche Auskünfte über die Rechenzeiten geben. Eine erfolgreiche Ausführung einer Mautvariation wird, ebenso wie ein fehlerhafter Programmablauf, in der

Datei *.log dokumentiert. Zusätzlich wird während der gesamten Berechnung der Status des Programmablaufs in einem Fortschrittsfenster am Bildschirm angezeigt, was sich als sehr hilfreich bei umfangreichen Verkehrsmodellen mit entsprechend langen Rechenzeiten erweist.

Bei der Ausführung einer Mautvariation mit der Option einer Nachfrageunterdrückung werden als erstes die eingelesenen Zeitkostenparameter, Distanzkostenparameter und Elastizitäten den Nachfragesegmenten bzw. Verkehrssystemen zugeordnet, welche in der Funktion Visum-Nachfrageunterdrückung eingestellt wurden. Für den Fall, dass die Kosten-Dateien nicht eingelesen werden bzw. die Parameter dort fälschlicherweise nicht definiert sind, werden die betroffenen Parameter entsprechend auf Null gesetzt. Eine erfolgte Zuordnung der Parameter bzw. eine fehlende Nachfrageunterdrückung wird in der Protokolldatei aufgezeichnet. Als nächstes wird das Programm VISUM mit der ausgewählten Versionsdatei gestartet, die eingestellte Upardatei eingelesen und eine Umlegung zur Ermittlung der Netzbelastungen des Nullfalls durchgeführt. Prinzipiell könnte auf diese erste Umlegung verzichtet werden, da die Möglichkeit besteht, eine Versionsdatei mit Umlegungsergebnissen abzuspeichern. Für den allgemeinen Anwendungsfall wird dies jedoch nicht vorausgesetzt. Die Strecken-ZWert1 werden im Quellverzeichnis der VISUM-Versionsdatei unter ZWert1.str gespeichert, damit im weiteren Programmablauf die aufsummierten Mautkosten der Verkehrssysteme im Strecken-ZWert1 zwischengespeichert werden können. Für jede eingestellte Nachfrageunterdrückung werden nun die *pivot-point*-Modelldaten für den Nullfall ermittelt und in der Datei Nseg_PvtPnt0.pvt eingetragen, diesmal im Verzeichnis der Auswertungsdatei. Die Korrekturfaktoren, abhängig vom gemittelten Modal-Split einer Nachfragegruppe, werden in der Log-Datei eingetragen. Sie erlauben die Berechnungen der Skalierungsfaktoren für das *pivot-point*-Modell; siehe Abschnitt 4.

Das Programm ermittelt nun die Anzahl der auszuführenden Mauteinstellungen in Abhängigkeit der Definitionen der zu variierenden Strecken; siehe Abschnitt 5.2.2 Visum-Strecken zu variieren bzw. Visum-Strecken+. Im Fall, dass für verschiedene Verkehrssysteme einer Strecke die gleiche Bezugsmaut eingestellt ist, werden diese Verkehrssysteme gleichzeitig variiert. Die Anzahl der erforderlichen Berechnungsdurchläufe und die Art der verwendeten Bezugsmauten werden in der Protokolldatei aufgezeichnet.

Die auszuführenden Programmschritte zur Berücksichtigung von benutzerdefinierten Nachfrageverschiebungen wiederholen sich nun für alle gesuchten Mauteinstellungen wie folgt:

- Mautattribute einstellen,
- Ursprüngliche Fahrtenmatrizen Nseg_IV0.fma einlesen,

- Ursprüngliche Strecken-ZWerte ZWert1.str einlesen,
- Umlegung der ursprünglichen Verkehrsnachfrage zur Ermittlung der Netzbelastungen ausführen,
- *Pivot-point*-Modell für Nachfrageverschiebung entsprechend Abschnitt 4 anwenden, Die Planfalldateien Nseg_PvtPnt.pvt werden im Verzeichnis der Auswertungsdatei und die Fahrtenmatrizen Nseg_IV.fma und Nseg_OV.fma bzw. die Kenngrößenmatrizen Nseg_ZeitMatrix.fzt, Nseg_DistanzMatrix.fzt und Nseg_MautMatrix.fzt im Verzeichnis der Versionsdatei gespeichert,
- Neue Fahrtenmatrizen Nseg_IV.fma einlesen,
- Ursprüngliche Strecken-ZWerte ZWert1.str einlesen,
- Umlegung der neuen Verkehrsnachfrage zur Ermittlung der Netzbelastungen ausführen,
- Schreiben der Belastungen und Mauteinstellungen in die Auswertungsdatei.

Diese angegebene Programmschleife zur Berücksichtigung von Nachfrageverschiebungen müsste eigentlich für eine Mauteinstellung solange durchlaufen werden, bis die Veränderungen in der Verkehrsnachfrage gegen Null bzw. gegen einen vorgegebenen Grenzwert konvergieren. Aufgrund der daraus resultierenden langen Rechenzeiten wird jedoch darauf verzichtet. Der implementierte Algorithmus stellt somit eine erste Näherung der sich einstellenden Nachfrageverschiebungen dar.

Der Programmablauf ohne der Option einer Nachfrageunterdrückung erfordert im Vergleich dazu nur das Einstellen der aktuellen Mautattribute, das Ausführen der Umlegung zur Ermittlung der Netzbelastungen und das Schreiben der Belastungen bzw. Mauteinstellungen in die Auswertungsdatei. Die Rechenzeiten einer solchen Mautvariation verkürzen sich aufgrund der fehlenden Anwendung des *pivot-point*-Modells auf weniger als die Hälfte.

Eine erfolgreiche Ausführung einer Mautvariation wird am Bildschirm angezeigt und in der Protokolldatei *.log dokumentiert.

5.2.5 Menü Hilfe

Das Menü Hilfe enthält die Funktionen Hilfe-Hilfethemen und Hilfe-Info. Die Hilfethemen sind nur perspektivisch vorgesehen und derzeit nicht belegt. Ein Aufruf der Funktion Hilfe-Info zeigt ein Informationsfenster mit Angaben zum Programm und zum Urheberrechtsschutz.

5.3 Variation an wichtigen Alpenübergängen

Die Mautvariationen werden an den folgenden wichtigen Alpenquerungen des inneren Alpenbogens durchgeführt:

- Frejus-Tunnel,
- Mt. Blanc-Tunnel,
- Großer St. Bernhard-Tunnel,
- Gotthard-Tunnel,
- Brenner-Autobahn Innsbruck bis Staatsgrenze.

Die Ausführungen der Berechnungen erfolgen in Bezug auf die ursprünglichen Mauten des Analysejahres 1998 unter Berücksichtigung von Nachfrageverschiebungen auf den Verkehrsträger Bahn. Einzige Ausnahme stellt der unbemautete Gotthard-Straßentunnel dar, wo als Bezugsmauten für den Pkw- und Lkw-Verkehr die Gebühren des Großen St. Bernhard-Tunnels angesetzt werden. Die Mauten der Verkehrssysteme Pkw, Lkw-leer und Lkw-beladen werden bei jeder Variationsrechnung jeweils sechsmal um einen Betrag von 100% der Bezugsmaut erhöht. Unter der Voraussetzung, dass die Gebühren der beiden Lkw-Verkehrssysteme gleichzeitig verändert werden, sind somit für jeden Alpenübergang 7² Mautzustände zu berechnen. Eine durchschnittliche Rechenzeit von 23 Minuten pro Mautzustand führt somit zu einer gesamte Rechenzeit von ungefähr 19 Stunden pro Mautvariation.

Der fehlerfreie Ablauf von VisumMautVariation erzeugt für jede Mautvariation eine Auswertungsdatei und eine Protokolldatei. Die folgenden Dateien beinhalten die Ergebnisse der obigen Mautvariationen:

- Frejus_100_100_7.xls und Frejus_100_100_7.log,
- MtBlanc_100_100_7.xls und MtBlanc_100_100_7.log,
- GrStBernhard_100_100_7.xls und GrStBernhard_100_100_7.log,
- Gotthard_0_100_7.xls und Gotthard_0_100_7.log,
- Brenner_100_100_7.xls und Brenner_100_100_7.log.

Diese Dateien, sowie die Eingangsdateien der Mautvariationen, sind auf der beiliegenden CD-ROM gespeichert; siehe Anhang E.

6. Analyse der Mautvariationen

6.1 Datengrundlagen

Die unter Abschnitt 5.3 erzeugten Auswertungsdateien des Programms VisumMautVariation stellen die Datengrundlage für die Analyse der Mautvariationen dar. Die Auswertungsdateien, welche die Belastungen der verschiedenen Verkehrssysteme mit den zugehörigen Mauteinstellung enthalten, können jedoch nicht direkt analysiert werden, da teilweise Belastungszustände auftreten, welche dem grundsätzlich vorherrschenden Trend einer Belastungsabnahme bei einer Mauterhöhung widersprechen. Diese umlegungsbedingten Abweichungen der Verkehrssystem-Belastungen werden mittels Regressionsanalysen geglättet, wobei die Parameter zur Anpassung von definierten Regressionsfunktionen bestimmt werden. In weiterer Folge werden schließlich die Mauteinstellungen für Pkw und Lkw ermittelt, welche zu einem Maut-einnahmenmaximum der Betreibergesellschaften führen.

Für eine Anwendung von RegFlaeche werden kurz die Datenstrukturen der erforderlichen Eingabedateien beschrieben. Die Dateien müssen aus der Auswertungsdatei *.xls manuell erzeugt werden und sind in Tabelle 66 aufgelistet.

Tabelle 66 Eingabedateien für RegFlaeche

Name		Inhalt
Variationsdatei	*.txt	Belastungen und Mauteinstellungen der Auswertungsdatei
Mautdatei	*.txt	Bezugsmauten der Auswertungsdatei

Die Variationsdatei *.txt beinhaltet die Angaben zu den jeweiligen Mauteinstellungen und Verkehrssystem-Belastungen auf den auszuwertenden Strecken. Die Datei ist gleich der Auswertungsdatei *.xls strukturiert, mit der Ausnahme, dass die Zeilen mit den Kopfdaten und die Spalten mit den Mauteinnahmen nicht darin vorkommen, vergleiche Abbildung 29. Beim Generieren der ASCII-formatierten Variationsdatei muss darauf geachtet werden, einen Tabulator als Trennzeichen für die Datenfelder und einen Punkt als Dezimaltrennzeichen einzusetzen. Die Einheiten der Mauten und Verkehrssystem-Belastungen sind gleich den Einheiten in der Auswertungsdatei, nämlich [%] und [Fzg]. In Abbildung 32 ist für die Auswertungsdatei nach Abbildung 29 die entsprechende Variationsdatei *.txt dargestellt.

Abbildung 32 Struktur der Variationsdatei *.txt

100	14328	100	442	100	5149
200	6826	100	505	100	5252
300	4985	100	451	100	5225
100	16889	300	171	300	3052
200	8951	300	187	300	3081
300	6355	300	238	300	2888
100	17597	500	87	500	1757
200	9843	500	102	500	1571
300	6433	500	125	500	1549

Die Mauten, auf die sich die prozentuellen Angaben der Variationsdatei beziehen, müssen in der Mautdatei *.txt gespeichert werden. Für jede auszuwertende Strecke muss dabei ein Datensatz erzeugt werden, welcher die Bezugsmauten der variierten Verkehrssysteme in der Reihenfolge enthält, wie sie in der Variationsdatei stehen. Die Bezugsmauten sind in der Einheit [Geldeinheiten] anzugeben, wobei für die Trennzeichen der Datenfelder und die Dezimaltrennzeichen die gleichen Bedingungen wie bei der Variationsdatei gelten. Die zur Auswertungsdatei nach Abbildung 29 gehörige Mautdatei *.txt zeigt Abbildung 33.

Abbildung 33 Struktur der Mautdatei *.txt

2.64	27.60	27.60
------	-------	-------

Das Programm RegFlaeche erzeugt standardmäßig keine Ausgabedateien. Die gewünschten Diagrammdarstellungen müssen vom Benutzer manuell aus den jeweiligen Abbildungsfenstern exportiert bzw. gespeichert werden, wozu MATLAB alle gängigen Grafikformate zur Verfügung stellt. Auf eine nähere Beschreibung der Grafikformate wird aufgrund der Vielfältigkeit dieses Angebotes verzichtet.

6.2 Programm RegFlaeche

Die Programmierung der Regressionsanalyse von Auswertungsdateien des Programms VisumMautVariation wird mit MATLAB 5.3 durchgeführt. Als Grundlage für die Entwicklung dienen die unter 6.1 beschriebenen Datenstrukturen bzw. getroffenen Konventionen. Das Programm RegFlaeche ermittelt die Parameter von den Regressionsfunktionen der verschiedenen Verkehrssystem-Belastungen, um dadurch geglättete Verkehrssystem-Belastungen in Abhängigkeit von zwei Variablen, der Pkw- und Lkw-Maut, analytisch zu berechnen. Diese an die Datenpunkte angepassten Funktionen einer Fläche werden in weiterer Folge dazu verwendet, das Mauteinnahmenmaximum der Betreibergesellschaften zu lokalisieren. Die Ausführung von RegFlaeche kann nicht *standalone* erfolgen, sondern bedingt den vorherigen Start des Programms MATLAB. In Anhang C wird der Programmablauf bzw. die Programmfunktionalität kurz beschrieben. Die benötigten m-Dateien sind, entsprechend den Pfadangaben in Anhang E, auf der beiliegenden CD-ROM gespeichert.

Im Gegensatz zu den vorhergehenden Programmen PolyVisum und VisumMautVariation ist die Funktionalität von RegFlaeche nicht für eine allgemeine Anwendung einer Regressionsanalyse ausgelegt. Die Programmentwicklung erfolgt speziell für die Erfordernisse dieser Diplomarbeit und berücksichtigt die darin vorkommenden Verkehrssysteme auf die Weise, dass die Verkehrssysteme Lkw-leer und Lkw-beladen gemeinsam betrachtet werden. Alle Verkehrssystem-Belastungen und Mauteinnahmen sind dadurch von zwei Variablen, der Pkw- und Lkw-Maut, abhängig und können in 3-dimensionalen Diagrammen dargestellt werden.

Durch Einstellen des MATLAB-Arbeitsraumes auf das Verzeichnis, welches die m-Dateien von RegFlaeche enthält, kann das Programm durch Eingabe von "regflaeche" im MATLAB-Befehlsfenster gestartet werden. Die zur Ausführung von RegFlaeche benötigten Eingabedateien müssen angegeben werden, wozu die folgenden Eingabeaufforderungen an den Benutzer gestellt werden:

- Pfad der einzulesenden Dateien:

Erfordert die genaue Pfadangabe des Verzeichnisses, welches die Variationsdatei und die Mautdatei enthält, z.B. C:\Dateien\Analyse\.

- Variationsdatei einschließlich Extension:

Eingabe des Namens der Variationsdatei einschließlich Dateierweiterung, z.B. Brenner.txt .

- Mautdatei einschließlich Extension,

Eingabe des Namens der Mautdatei einschließlich Dateierweiterung, z.B. Brenner_Maut.txt .

Die nächste Eingabe erfordert vom Benutzer die Auswahl einer Regressionsfunktion, welche an die Datenpunkte des Verkehrssystems Pkw in Richtung der ersten unabhängigen Variable, der Pkw-Maut x_P , angepasst werden soll. Es stehen die folgenden Funktionen zur Verfügung:

- 1 ... Exponentialfunktion $e^{a_3 \cdot x_P}$,
- 2 ... Exponentialfunktion $e^{a_3 \cdot x_P^{a_4}}$ oder
- 3 ... Polynomfunktion $a_3 \cdot x_P^2 + a_4 \cdot x_P + a_5$.

Für die Anpassungen in Richtung einer zweiten unabhängigen Variable gilt die Voraussetzung, dass die Mauterhöhungen der weiteren Verkehrssysteme, Lkw-leer und Lkw-beladen, gleichzeitig erfolgen. Dadurch ist es möglich, die Mauten dieser Verkehrsmittel in einer Variable, der Lkw-Maut y_L , zusammenzufassen und Funktionen zweier Variablen x_P und y_L aufzustellen. Eine Betrachtung der Pkw-Datenpunkte zeigt, dass die Verläufe in Richtung der Lkw-Maut y_L nahezu linear sind. Es wird daher in Richtung der zweiten Variable y_L ein linearer Funktionsverlauf der Pkw-Belastungen angenommen. Die funktionale Beschreibung einer Regressionsfläche wird schließlich aus dem Produkt der Funktionen in Richtung der Pkw-Maut x_P und in Richtung der Lkw-Maut y_L gebildet. Abhängig von der Wahl des Benutzers gilt es, eine der folgenden nichtlinearen Funktionen f_P für das Verkehrssystem Pkw zu lösen:

$$\begin{aligned}
 f_P(x_P, y_L) &= (a_1 + a_2 \cdot y_L) \cdot e^{a_3 \cdot x_P}, \\
 f_P(x_P, y_L) &= (a_1 + a_2 \cdot y_L) \cdot e^{a_3 \cdot x_P^{a_4}}, \\
 f_P(x_P, y_L) &= (a_1 + a_2 \cdot y_L) \cdot (a_3 \cdot x_P^2 + a_4 \cdot x_P + a_5).
 \end{aligned} \tag{21}$$

Für die weiteren Verkehrsmittel Lkw-leer und Lkw-beladen erfolgt eine ähnliche Vorgehensweise, wobei jedoch auf die Auswahl einer Regressionsfunktionen verzichtet wird. Entsprechend dem Verlauf der Datenpunkte Lkw-leer und Lkw-beladen werden in Richtung der ersten unabhängigen Variable, der Pkw-Maut x_P , eine lineare Funktion und in Richtung der zweiten unabhängigen Variable, der Lkw-Maut y_L , eine Exponentialfunktion zugrunde gelegt. Die nichtlinearen Gleichungen f_L bzw. f_S zur Berechnung der Verkehrssystem-Belastungen der Systeme Lkw-leer und Lkw-beladen lauten:

$$\begin{aligned}
 f_L(x_P, y_L) &= (b_1 + b_2 \cdot x_P) \cdot e^{b_3 \cdot y_L}, \\
 f_S(x_P, y_L) &= (c_1 + c_2 \cdot x_P) \cdot e^{c_3 \cdot y_L}.
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

Die Lösungen der Gleichungen (21) und (22) folgen durch Minimieren der jeweiligen Fehlerquadrate zu

$$\begin{aligned}
 \sum_i (f_P(x_P, y_L) - z_{Pi})^2 &\rightarrow \text{Min!}, \\
 \sum_i (f_L(x_P, y_L) - z_{Li})^2 &\rightarrow \text{Min!}, \\
 \sum_i (f_S(x_P, y_L) - z_{Si})^2 &\rightarrow \text{Min!}.
 \end{aligned}
 \tag{23}$$

mit

- z_{Pi} Ursprüngliche Datenpunkte der Belastungen Pkw in [Fzg],
- z_{Li} Ursprüngliche Datenpunkte der Belastungen Lkw-leer in [Fzg],
- z_{Si} Ursprüngliche Datenpunkte der Belastungen Lkw-beladen in [Fzg].

In MATLAB stehen dazu mehrere Werkzeuge der *Optimization toolbox* zur Verfügung. Die Lösungen der nichtlinearen Probleme der Gleichungen (23) werden durch Anwenden der Funktion *lsqnonlin* bestimmt, wobei durch Ausschalten der Optionen *LargeScale* und *LevenbergMarquardt* die Methode nach Gauss-Newton eingesetzt wird. Des Weiteren werden die Option der Abbruchtoleranz der unabhängigen Variable *TolX* zu 10^{-3} und der Suchalgorithmus *LineSearchType* zu *cubicpoly* eingestellt.

Diese Anpassungen von Regressionsfunktionen an vorhandene Datenpunkte werden für alle Verkehrssysteme auf allen auszuwertenden Strecken durchgeführt. Die Lösungen der Gleichungen (21) und (22) mit den Parameter a , b und c , sowie das Gütemaß der Regressionen mit dem Bestimmtheitsmaß bzw. dem Quadrat des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten r^2 werden im MATLAB-Befehlsfenster angezeigt.

Die graphischen Darstellungen der Lösungen erfolgen in einem Abbildungsfenster. Durch Betätigen der Eingabetaste wird der Programmablauf fortgesetzt und das nächste Diagramm angezeigt. Die Regressionsfläche für das Verkehrssystem Pkw wird gleichzeitig mit den Datenpunkten der ursprünglichen Pkw-Belastungen in einem 3-dimensionalen Diagramm dargestellt, wobei auf der x-Achse die Variable x_P der Pkw-Maut und auf der y-Achse die Variable y_L der Lkw-Maut aufgetragen wird. In einer weiteren Abbildung erfolgt schließlich die 2-

dimensionale Darstellung von Isolinien mit konstanter Pkw-Belastung. Die gleichen Diagramme werden für die weiteren Verkehrssysteme Lkw-leer und Lkw-beladen angezeigt, wobei die Belastungen der beiden Verkehrssysteme addiert und gleichzeitig dargestellt werden. Die Mauteinnahmen auf den auszuwertenden Strecken werden schließlich mit den jeweiligen Belastungsflächen in Abhängigkeit von der Pkw-Maut und Lkw-Maut numerisch berechnet und sowohl in einem 3-dimensionalen, als auch in einem 2-dimensionalen Diagramm mit Isolinien konstanter Mauteinnahmen dargestellt. Eine letzte numerische Berechnung gibt schließlich die Pkw- und Lkw-Mauteinstellungen bekannt, bei denen die Mauteinnahmen der Betreibergesellschaften zu einem Maximum werden.

Das Speichern von Diagrammen muss in jedem Abbildungsfenster durch den Anwender ausgeführt werden. Unter der Funktion Datei-Export können alle benötigten Grafikformate eingestellt werden, um eine weitere Bearbeitung mit einem Text- oder Grafikprogramm durchführen zu können.

6.3 Analyse der wichtigen Alpenübergänge

Die Anwendung von RegFlaeche auf die Auswertungsergebnisse der Mautvariationen an den wichtigen Alpenübergängen zeigt, dass für alle Anpassungen der Pkw-Belastungen in Richtung der Pkw-Maut die Exponentialfunktion $e^{a_3 \cdot x_P}$ am besten geeignet ist. Die Lösungen der gesuchten Regressionsparameter der Funktionen

- $f_P(x_P, y_L) = (a_1 + a_2 \cdot y_L) \cdot e^{a_3 \cdot x_P}$ für die Anzahl der Pkw,
- $f_S(x_P, y_L) = (b_1 + b_2 \cdot x_P) \cdot e^{b_3 \cdot y_L}$ für die Anzahl der Lkw - leer und
- $f_S(x_P, y_L) = (c_1 + c_2 \cdot x_P) \cdot e^{c_3 \cdot y_L}$ für die Anzahl der Lkw - beladen

sind jeweils in Tabelle 67, Tabelle 68, Tabelle 69, Tabelle 70 und Tabelle 71 angeführt. Zusätzlich wird das Bestimmtheitsmaß r^2 , als Gütemaß für die Qualität der Anpassungen an die Datenpunkte, angegeben. Das Bestimmtheitsmaß liegt für alle Regressionen, mit Ausnahme bei den Pkw-Belastungen am Mt. Blanc, in Bereichen von 0,83 bis 0,99, was für gute Anpassungen der Funktionen an die Datenpunkte spricht. Am Mt. Blanc zeigen sich für die Pkw-Belastungen etwas unetwiger Umlegungsergebnisse, wodurch auch nur ein r^2 von 0,62 erreicht wird. Für die Brenner-Autobahn sind in Tabelle 71 nur die Parameter der Teilstrecke Matri bis Staatgrenze enthalten. Die Parameter der anderen Teilstrecken, Innsbruck bis Schönberg und Schönberg bis Matri, sind jedoch nahezu identisch.

Tabelle 67 Parameter der Regressionsanalysen am Frejus-Tunnel

Verkehrssystem	Parameter	Wert von Parameterindex 1, 2 und 3			r^2 [-]	Anzahl der Beobachtungen
		[-]	[% ⁻¹]	[% ⁻¹]		
Pkw	[a ₁ , a ₂ , a ₃]	2362,81	-0,494119	-0,00378175	0,834	49
Lkw-leer	[b ₁ , b ₂ , b ₃]	246,929	0,0122727	-0,00692868	0,881	49
Lkw-beladen	[c ₁ , c ₂ , c ₃]	6006,14	0,7544990	-0,00727757	0,928	49

Tabelle 68 Parameter der Regressionsanalysen am Mt. Blanc-Tunnel

Verkehrssystem	Parameter	Wert von Parameterindex 1, 2 und 3			r^2 [-]	Anzahl der Beobachtungen
		[-]	[% ⁻¹]	[% ⁻¹]		
Pkw	[a ₁ , a ₂ , a ₃]	3001,01	1,800980	-0,00131850	0,623	49
Lkw-leer	[b ₁ , b ₂ , b ₃]	197,036	-0,037132	-0,00357377	0,921	49
Lkw-beladen	[c ₁ , c ₂ , c ₃]	4707,15	0,255890	-0,00376173	0,955	49

Tabelle 69 Parameter der Regressionsanalysen am Großen St. Bernhard-Tunnel

Verkehrssystem	Parameter	Wert von Parameterindex 1, 2 und 3			r^2 [-]	Anzahl der Beobachtungen
		[-]	[% ⁻¹]	[% ⁻¹]		
Pkw	[a ₁ , a ₂ , a ₃]	3656,64	-0,1452930	-0,01324110	0,982	49
Lkw-leer	[b ₁ , b ₂ , b ₃]	36,2891	-0,0069230	-0,01415760	0,958	49
Lkw-beladen	[c ₁ , c ₂ , c ₃]	231,972	0,0219802	-0,00485904	0,983	49

Tabelle 70 Parameter der Regressionsanalysen am Gotthard-Tunnel

Verkehrssystem	Parameter	Wert von Parameterindex 1, 2 und 3			r^2 [-]	Anzahl der Beobachtungen
		[-]	[% ⁻¹]	[% ⁻¹]		
Pkw	[a ₁ , a ₂ , a ₃]	22554,3	3,777020	-0,01784870	0,993	49
Lkw-leer	[b ₁ , b ₂ , b ₃]	2216,12	0,132576	-0,00779704	0,994	49
Lkw-beladen	[c ₁ , c ₂ , c ₃]	2211,30	0,210661	-0,01816690	0,998	49

Tabelle 71 Parameter der Regressionsanalysen am Brenner

Verkehrssystem	Parameter	Wert von Parameterindex 1, 2, 3			r^2 [-]	Anzahl der Beobachtungen
		[-]	[% ⁻¹]	[% ⁻¹]		
Pkw	[a ₁ , a ₂ , a ₃]	21067,9	9,906170	-0,00414645	0,962	49
Lkw-leer	[b ₁ , b ₂ , b ₃]	624,593	0,0963232	-0,00366970	0,971	49
Lkw-beladen	[c ₁ , c ₂ , c ₃]	6877,04	0,3308030	-0,00291746	0,992	49

Für die einzelnen Alpenübergänge sind in Abbildung 34 bis Abbildung 36, Abbildung 43 bis Abbildung 45, Abbildung 50 bis Abbildung 52, Abbildung 57 bis Abbildung 59 und Abbildung 66 bis Abbildung 68 die Isolinien konstanter Pkw- und Lkw-Belastungen bzw. konstanter Mauteinnahmen in Abhängigkeit der unabhängigen Variablen, Pkw-Maut und Lkw-Maut in [%] der ursprünglichen Mautgebühren 1998, dargestellt. Einzige Ausnahme ist der unbemautete Gotthard-Tunnel, wo sich die prozentuellen Angaben auf die Mautgebühren des Großen St. Bernhards beziehen. Einen Widerspruch zum realen Verhalten zeigen die Pkw-Belastungen am Frejus und auch am Großen St. Bernhard. Bei einer konstant gehaltenen Pkw-Maut und einer sich erhöhenden Lkw-Maut stellen sich Pkw-Belastungsabnahmen ein, anstatt dass durch die geringeren Lkw-Belastungen zumindest im Modell die Pkw-Belastungen zunehmen. Im Vergleich dazu sind die Verläufe der Lkw-Belastungen ausnahmslos plausibel, d.h. auf allen untersuchten Alpenübergängen nehmen die Lkw-Belastungen bei konstanter Lkw-Maut und einer sich erhöhenden Pkw-Maut geringfügig zu. Auf eine statistische Überprüfung der Zusammenhänge zwischen Lkw-Maut und Pkw-Belastung bzw. zwischen Pkw-Maut und Lkw-Belastung wird im Rahmen dieser Untersuchungen jedoch verzichtet. Die Mauteinnahmenmaxima können bei den folgenden Mauthöhen erzielt werden, die relativen Angaben erfolgen in Bezug zu den ursprünglichen Mauten von 1998:

- Frejus-Tunnel:
 - Pkw-Maut mit 386% bzw. 85,77 ECU_{KKP},
 - Lkw-Maut mit 137% bzw. 192,43 ECU_{KKP}.

Die Mauteinnahmen erhöhen sich dadurch insgesamt um 10% auf 511.600 ECU pro 24 Stunden. Betrachtet man die Verkehrssysteme einzeln, so zeigt sich eine Erhöhung der Mauteinnahmen um 29,8% auf 45.730 ECU bei den Pkw und um 8,3% auf 465.870 ECU bei den Lkw. Die Mauteinnahmenanteile der Verkehrssysteme Pkw bzw. Lkw verschieben sich dabei von 7,6% bzw. 92,4% auf 8,9% bzw. 91,1%.

- Mt. Blanc-Tunnel:
 - Pkw-Maut mit 849% bzw. 188,65 ECU_{KKP},

- Lkw-Maut mit 278% bzw. 396,59 ECU_{KKP}.

Die Mauteinnahmen erhöhen sich dadurch insgesamt um 70% auf 926.300 ECU pro 24 Stunden. Betrachtet man die Verkehrssysteme einzeln, so zeigt sich eine Erhöhung der Mauteinnahmen um 348% auf 215.665 ECU bei den Pkw und um 147% auf 710.635 ECU bei den Lkw. Die Mauteinnahmenanteile der Verkehrssysteme Pkw bzw. Lkw verschieben sich dabei von 11,4% bzw. 88,6% auf 23,3% bzw. 76,7%.

- Großer St. Bernhard-Tunnel:

- Pkw-Maut mit 76% bzw. 10,10 ECU_{KKP},
- Lkw-Maut mit 195% bzw. 133,40 ECU_{KKP}.

Die Mauteinnahmen erhöhen sich dadurch insgesamt um 10,5% auf 25.780 ECU pro 24 Stunden. Betrachtet man die Verkehrssysteme einzeln, so zeigt sich eine Erhöhung der Mauteinnahmen um 4,1% auf 13.400 ECU bei den Pkw und um 18,6% auf 12.380 ECU bei den Lkw. Die Mauteinnahmenanteile der Verkehrssysteme Pkw bzw. Lkw verschieben sich dabei von 55,2% bzw. 44,8% auf 52,0% bzw. 48,0%.

- Gotthard-Tunnel:

- Pkw-Maut mit 56% bzw. 7,44 ECU_{KKP},
- Lkw-Maut mit 95% bzw. 64,99 ECU_{KKP}.

Es können dadurch Mauteinnahmen von insgesamt 157.380 ECU pro 24 Stunden erzielt werden. Betrachtet man die Verkehrssysteme einzeln, so liegen die Pkw-Anteile bei 62.760 ECU bzw. die Lkw-Anteile bei 94.620 ECU, das sind 39,9% bzw. 60,1%.

- Brenner-Autobahn Innsbruck-Staatsgrenze:

- Pkw-Maut mit 260% bzw. 20,58 ECU_{KKP},
- Lkw-Maut mit 347% bzw. 287,31 ECU_{KKP}.

Die Mauteinnahmen erhöhen sich dadurch insgesamt um 64,5% auf 946.830 ECU pro 24 Stunden. Betrachtet man die Verkehrssysteme einzeln, so zeigt sich eine Erhöhung der Mauteinnahmen um 50,0% auf 167.650 ECU bei den Pkw und um 68,0% auf 779.180 ECU bei den Lkw. Die Mauteinnahmenanteile der Verkehrssysteme Pkw bzw. Lkw verschieben sich dabei von 19,4% bzw. 80,6% auf 17,7% bzw. 82,3%.

Die IV-Belastungen können nun für jeden optimierten Alpenübergang entweder analytisch aus den Regressionsfunktionen oder durch eine weitere Ausführung von VisumMautVariation mit den obigen Mauteinstellungen berechnet werden. In Tabelle 72, Tabelle 73, Tabelle 74, Tabelle 75 und Tabelle 76 sind die entsprechenden Belastungen bei den jeweiligen optimalen Mauten aufgelistet. Die Belastungsunterschiede zwischen den beiden Methoden können bei den Pkw im Fall des Mt. Blanc auf eine weniger optimale Anpassung der Regressionsfunktion

und im Fall des Großen St. Bernhard auf die große Steigung der Regressionsfunktion im Bereich der optimalen Pkw-Maut zurückgeführt werden. Bei allen anderen Alpenübergängen sind die Abweichungen bei den Pkw durchwegs akzeptabel. Ein Vergleich der Ergebnisse der Lkw-Belastungen zeigt, mit Ausnahme des Frejus, annehmbare Abweichungen zwischen der analytischen Berechnung und der abschließenden VISUM-Umlegung. Die Unterschiede in der Lkw-Belastung resultieren am Frejus, ähnlich wie bei den Pkw am Großen St. Bernhard, aus der großen Steigung der Funktion im Bereich der optimalen Lkw-Maut. In diesem Bereich der Mauten führen schon geringe Mautveränderungen zu starken Veränderungen in den Belastungen.

Tabelle 72 IV-Belastungen am Frejus bei Mautoptimum, analytisch und nach VISUM

Methode	Pkw			Lkw		
	Belastung [Pkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Pkw/24h]	Belastung [Lkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Lkw/24h]
analytisch	533	-66,4	-1.052	2.421	-20,9	-640
VISUM	424	-72,5	-1.118	1.646	-51,7	-1.763

Tabelle 73 IV-Belastungen am Mt. Blanc bei Mautoptimum, analytisch und nach VISUM

Methode	Pkw			Lkw		
	Belastung [Pkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Pkw/24h]	Belastung [Lkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Lkw/24h]
analytisch	1.143	-59,0	-1.645	1.792	-47,0	-1.592
VISUM	591	-81,2	-2.555	1.906	-43,2	-1.451

Tabelle 74 IV-Belastungen am Großen St. Bernhard bei Mautoptimum, analytisch und nach VISUM

Methode	Pkw			Lkw		
	Belastung [Pkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Pkw/24h]	Belastung [Lkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Lkw/24h]
analytisch	1.326	+36,8	+357	93	-39,2	-60
VISUM	1.679	+53,9	+588	94	-32,9	-46

Tabelle 75 IV-Belastungen am Gotthard bei Mautoptimum, analytisch und nach VISUM

Methode	Pkw			Lkw		
	Belastung [Pkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Pkw/24h]	Belastung [Lkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Lkw/24h]
analytisch	8.433	-62,6	-14.121	1.456	-67,1	-2.971
VISUM	6.639	-68,9	-14.708	1.633	-61,4	-2.593

Tabelle 76 IV-Belastungen am Brenner bei Mautoptimum, analytisch und nach VISUM

Methode	Pkw			Lkw		
	Belastung [Pkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Pkw/24h]	Belastung [Lkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Lkw/24h]
analytisch	8.338	-42,8	-6.233	2.712	-51,6	-2.889
VISUM	7.468	-50,2	-7.523	2.784	-50,2	-2.807

In Tabelle 77, Tabelle 78, Tabelle 79, Tabelle 80 und Tabelle 81 sind die umlegungsrelevanten Fahrten der verschiedenen Nachfragesegmente bei den Mautoptima aufgelistet, wie sie mit dem *pivot-point*-Modell berechnet werden. Die Gründe für das insgesamt sehr unelastische Verhalten der Nachfrage liegen zum einen in den geringen Auswirkungen der einzelnen punktuellen Mautveränderungen auf das Verkehrsverhalten im gesamten europäischen Verkehrsnetz. Das Potential des Netzes scheint entsprechend groß zu sein, um solche Verände-

rungen im Verkehrsangebot aufnehmen zu können. Zum anderen werden im *pivot-point*-Modell eine relativ geringe Anzahl von Fahrbeziehungen berücksichtigt, da im öffentlichen Verkehr nur 40 bis 70% der Fahrbeziehungen des Individualverkehrs beschrieben sind. Die Gütergruppe 0 besitzt auf der Bahn überhaupt keine Nachfrage. Eine detaillierte Untersuchung der Nachfrageverschiebungen bei den einzelnen Nachfragegruppen ist bei der Bearbeitung dieser Diplomarbeit nicht gefordert.

Tabelle 77 Fahrtenanzahl bei Mautoptimum Frejus

Nachfragecode	Umlegungsrelevante Fahrten [Kfz-Fahrten/24h]	Abweichung relativ [%]	Abweichung absolut [Kfz-Fahrten/24h]
G	283.865	-0,013	-37
P	71.589	-0,007	+5
U	626.296	-0,070	-440
0	37.642	-	-
1	57.774	-0,010	-6
2	1.779	+0,056	+1
3	5.477	0	0
4	48.055	+0,006	+3
5	18.668	0	0
6	54.732	-0,015	-8

Tabelle 78 Fahrtenanzahl bei Mautoptimum Mt. Blanc

Nachfragecode	Umlegungsrelevante Fahrten [Kfz-Fahrten/24h]	Abweichung relativ [%]	Abweichung absolut [Kfz-Fahrten/24h]
G	283.579	-0,114	-323
P	71.583	-0,007	-1
U	624.288	-0,391	-2.448
0	37.642	-	-
1	57.723	-0,099	-57
2	1.779	+0,056	+1
3	5.477	0	0
4	48.039	-0,027	-13
5	18.663	-0,027	-5
6	54.737	-0,005	-3

Tabelle 79 Fahrtenanzahl bei Mautoptimum Großer St. Bernhard

Nachfragecode	Umlegungsrelevante Fahrten [Kfz-Fahrten/24h]	Abweichung relativ [%]	Abweichung absolut [Kfz-Fahrten/24h]
G	283.913	+0,004	+11
P	71.587	+0,004	+3
U	626.882	+0,023	+146
0	37.642	-	-
1	57.784	+0,007	+4
2	1.779	+0,056	+1
3	5.478	+0,018	+1
4	48.064	+0,025	+12
5	18.670	+0,011	+2
6	54.738	-0,004	-2

Tabelle 80 Fahrtenanzahl bei Mautoptimum Gotthard

Nachfragecode	Umlegungsrelevante Fahrten [Kfz-Fahrten/24h]	Abweichung relativ [%]	Abweichung absolut [Kfz-Fahrten/24h]
G	283.713	-0,067	-189
P	71.585	+0,004	+1
U	625.777	-0,153	-959
0	37.642	-	-
1	57.737	-0,074	-43
2	1.779	+0,056	+1
3	5.476	-0,018	-1
4	48.049	-0,006	-3
5	18.661	-0,037	-7
6	54.707	-0,060	-33

Tabelle 81 Fahrtenanzahl bei Mautoptimum Brenner

Nachfragecode	Umlegungsrelevante Fahrten [Kfz-Fahrten/24h]	Abweichung relativ [%]	Abweichung absolut [Kfz-Fahrten/24h]
G	283.800	-0,036	-102
P	71.578	-0,008	-6
U	626.038	-0,111	-698
0	37.642	-	-
1	57.724	-0,097	-56
2	1.779	+0,056	+1
3	5.477	0	0
4	48.035	-0,035	-17
5	18.654	-0,075	-14
6	54.707	-0,060	-33

Die IV-Belastungen auf allen Alpenübergängen können für jede gefundene optimale Mauteinstellung durch einen letzten Programmablauf von VisumMautVariation ermittelt werden. Die Pkw- und Lkw-Belastungen, sowie deren Abweichungen zum Analysejahr 1998, sind in Tabelle 82, Tabelle 83, Tabelle 84, Tabelle 85 und Tabelle 86 für die Mautoptima am Frejus, Mt. Blanc, Großen St. Bernhard, Gotthard und Brenner angegeben. In den Tabellen mit * gekennzeichnete Alpenübergänge besitzen zusätzlich noch ein besonderes Potential für lokale Verkehrsverteilungen. Diese Verlagerungen sind in den Tabellen nicht explizit angeführt, sondern können aus den Darstellungen der Differenznetzbelastungszustände im Vergleich zum ursprünglichen Jahr 1998 abgelesen werden; siehe Abbildung 38 bzw. Abbildung 40 für den Frejus, Abbildung 61 bzw. Abbildung 63 für den Gotthard und Abbildung 70 bzw. Abbildung 72 für den Brenner. Alle berechneten Belastungszustände lassen sich durchwegs schlüssig erklären.

Am Frejus-Tunnel bewirken die erhöhten Pkw- und Lkw-Mauten eine deutlich erkennbare Verkehrslenkung auf den benachbarten Mt. Blanc-Tunnel und auf die kleineren Alpenübergänge im Süden des Frejus-Tunnels; siehe Tabelle 82 und Abbildung 37 bis Abbildung 40. Die Pkw-Belastungsabnahmen am Frejus-Pass und auf der Gotthard-Route scheinen jedoch nicht plausibel zu sein. Sie können nur dadurch erklärt werden, dass die gewählten Abbruchbedingungen der TRIBUT-Umlegung zu unterschiedlichen effizienten Routen bzw. Routenbewertungen führen.

Die höheren Pkw-Mauten am Mt. Blanc-Tunnel scheinen auf den ersten Blick entsprechende Pkw-Belastungszunahmen am Frejus-Tunnel zu bewirken; siehe Abbildung 46. Bei Betrachtung der lokalen Situation am Frejus zeigt sich aber, dass die Zunahmen im Frejus-Tunnel aus den Pkw-Belastungsabnahmen des nördlichen Frejus-Passes resultieren. Diese Belastungverschiebungen und die geringfügigen Abweichungen auf allen anderen Alpenübergängen folgen auch hier aus den relativ großzügigen Einstellungen zur Gleichgewichtsfindung. Im Gegensatz dazu führen höhere Lkw-Mauten am Mt. Blanc-Tunnel zu klar erkennbaren Lkw-Verkehrsverteilungen entsprechend Tabelle 83 und Abbildung 47. Deutlich höher ist das Lkw-Verkehrsaufkommen durch die Schweiz, ebenso zeigen sich Belastungszunahmen des Lkw-Verkehrs auf der Brenner-Route.

Im Vergleich zu den 1998er Mautgebühren des Großen St. Bernhard sind die optimierten Mauten für den Pkw niedriger und für den Lkw höher als ursprünglich, wodurch sich am Großen St. Bernhard entsprechend höhere Pkw-Belastungen und geringere Lkw-Belastungen einstellen. Schwierig zu deuten sind hierbei die Pkw-Belastungszunahmen am Mt. Blanc-Tunnel bzw. am Frejus-Tunnel und die Pkw-Belastungsabnahmen auf der Gotthard-Route;

siehe Tabelle 84 und Abbildung 53. Die Belastungsänderungen können eigentlich nur auf geänderte effiziente Routen und dadurch bedingte unterschiedliche Routenbewertungen zurückgeführt werden. Eine Vergleichsrechnung mit den von der PTV voreingestellten TRIBUT-Umlegungsparametern gelangt bei ungefähr fünfmal höheren Rechenzeiten zu ähnlichen Pkw-Belastungszuständen, wobei das Ausmaß der Änderungen jedoch geringer ist. Aufgrund der geringen Bedeutung des Großen St. Bernhard für den Güterverkehr ist der Einfluss einer höheren Lkw-Maut auf die Lkw-Verteilungen zwar erkennbar, aber zu vernachlässigen. Die in Abbildung 54 erkennbare unterschiedliche Wegewahl des Lkw-Verkehrs zwischen Ulm und Innsbruck ist auf die grob eingestellten Abbruchbedingungen der TRIBUT-Umlegung zurückzuführen.

Die am Gotthard-Tunnel eingeführten Pkw- und Lkw-Mautgebühren bewirken eine deutliche Reduktion der Belastungen auf der gesamten Gotthard-Route von ca. 30%; siehe Tabelle 85 und Abbildung 60 bzw. Abbildung 62. Zusätzlich zu diesen Verkehrsabnahmen treten starke lokale Verlagerungen auf den Gotthard-Pass ein, wie es auch laut Axhausen bei der Sperre des Gotthard-Tunnels im Herbst 2001 der Fall war. Im Modell wird die Pass-Route über den Gotthard von ca. 60% der Pkw und ca. 40% der Lkw, bezogen auf die Belastungen vor dem Tunnel, benutzt; siehe Abbildung 61 und Abbildung 63. Die restlichen Alpenübergänge vom Mt. Blanc bis zum Brenner zeigen, mit Ausnahme des Reschen, deutliche Pkw-Belastungszunahmen. Ein ähnliches Verhalten ist auch bei den Lkw-Verkehrsverteilungen erkennbar. Dort stellen sich wesentlich stärkere Belastungen zwischen dem Mt. Blanc und dem Reschen ein.

Im Wesentlichen nehmen durch die optimalen Mauten auf der Brenner-Autobahn die Pkw-Belastungen auf den anderen Alpenübergängen vom Frejus bis zum Tauern zu; siehe Tabelle 86 und Abbildung 69. Die lokalen Verlagerungen von ca. 2.000 Pkw-Fahrten sind in Abbildung 70 erkennbar und bedeuten für die parallele Bundesstrasse eine Pkw-Belastungszunahme von ungefähr 40%. In Widerspruch dazu steht allerdings das Verkehrsaufkommen am Reschen, wo infolge des vom Brenner umgelenkten Lkw-Verkehrs die Pkw-Belastungen ebenso abnehmen. Dieses Verhalten entspricht insofern nicht der Realität, da am Reschen die Lkw-Transitfahrten aufgrund eines verfügbaren Fahrverbotes nicht zunehmen dürfen. Eine Abbildung des Fahrverbotes durch einen Zeitzuschlag von 4,5 Stunden genügt zwar den Verkehrszuständen des Analysejahres 1998, ist jedoch bei veränderten Mautgebühren am Brenner nicht ausreichend. Bei den Lkw-Belastungsänderungen zeigen sich neben den fälschlicherweise starken Zuwächsen am Reschen auch erkennbare Zunahmen auf der Gotthard-Route; siehe Abbildung 71.

Tabelle 82 IV-Belastungen bei Mautoptimum Frejus, nach VISUM

Alpenübergang	Pkw			Lkw		
	Belastung [Pkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Pkw/24h]	Belastung [Lkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Lkw/24h]
Ventimiglia	10.913	0,0	-4	3.566	+1,0	+36
Frejus*	424	-72,5	-1.118	1.646	-51,7	-1.763
Mt. Blanc	4.728	+50,3	+1.582	4.511	+34,4	+1.154
Gr. St. Bernhard	1.008	-7,6	-83	162	+15,7	+22
Simplon	2.436	-0,3	-8	82	-29,3	-34
Gotthard*	19.874	-6,9	-1.473	4.311	+2,0	+85
San Bernardino	12.281	-0,4	-46	471	-5,6	-28
Reschen	5.479	-1,9	-104	397	-25,2	-134
Brenner*	14.878	-0,8	-113	5.672	+1,4	+81
Felbertauern	3.291	-1,7	-56	28	-6,7	-2
Tauern	10.151	-0,4	-36	2.426	-1,8	-44
Schoberpass	13.845	+1,6	+216	3.446	-2,3	-81
Wechsel	21.773	+1,6	+339	2.891	+2,3	+64
Tarvisio	13.860	+4,0	+536	3.422	-2,2	-77
F/I	16.065	+2,9	+460	9.723	-5,6	-573
CH/I, CH	35.599	-4,3	-1.610	5.026	+0,9	+45
A/I, A	83.277	+0,9	+782	18.282	-1,0	-193
Gesamt	134.941	-0,3	-368	33.031	-2,1	-721

Tabelle 83 IV-Belastungen bei Mautoptimum Mt. Blanc, nach VISUM

Alpenübergang	Pkw			Lkw		
	Belastung [Pkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Pkw/24h]	Belastung [Lkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Lkw/24h]
Ventimiglia	10.693	-2,1	-224	3.448	-2,3	-82
Frejus*	2.708	+75,6	+1.166	3.293	-3,4	-116
Mt. Blanc	591	-81,2	-2.555	1.906	-43,2	-1.451
Gr. St. Bernhard	1.339	+22,7	+248	156	+11,4	+16
Simplon	2.366	-3,2	-78	338	+191,4	+222
Gotthard*	20.795	-2,6	-552	4.523	+7,0	+297
San Bernardino	12.016	-2,5	-311	511	+2,4	+12
Reschen	5.394	-3,4	-189	410	-22,8	-121
Brenner*	15.125	+0,9	+134	5.824	+4,2	+233
Felbertauern	3.688	+10,2	+341	30	0,0	0
Tauern	10.201	+0,1	+14	2.512	+1,7	+42
Schoberpass	13.962	+2,4	+333	3.445	-2,3	-82
Wechsel	21.710	+1,3	+276	2.895	+2,4	+68
Tarvisio	13.171	-1,1	-153	3.523	+0,7	+24
F/I	13.992	-10,3	-1.613	8.647	-16,0	-1.649
CH/I, CH	36.516	-1,9	-693	5.528	+11,0	+547
A/I, A	83.251	+0,9	+756	18.639	+0,9	+164
Gesamt	133.759	-1,1	-1.550	32.814	-2,8	-938

Tabelle 84 IV-Belastungen bei Mautoptimum Großer St. Bernhard, nach VISUM

Alpenübergang	Pkw			Lkw		
	Belastung [Pkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Pkw/24h]	Belastung [Lkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Lkw/24h]
Ventimiglia	10.969	+0,5	+52	3.569	+1,1	+39
Frejus*	2.131	+38,2	+589	3.450	+1,2	+41
Mt. Blanc	4.173	+32,6	+1.027	3.390	+1,0	+33
Gr. St. Bernhard	1.679	+53,9	+588	94	-32,9	-46
Simplon	2.240	-8,3	-204	109	-6,0	-7
Gotthard*	20.030	-6,2	-1.317	4.320	+2,2	+94
San Bernardino	12.041	-2,3	-286	506	+1,4	+7
Reschen	5.498	-1,5	-85	450	-15,3	-81
Brenner*	14.742	-1,7	-249	5.575	-0,3	-16
Felbertauern	3.843	+14,8	+496	29	-3,3	-1
Tauern	9.914	-2,7	-273	2.439	-1,3	-31
Schoberpass	13.531	-0,7	-98	3.496	-0,9	-31
Wechsel	21.294	-0,7	-140	2.859	+1,1	+32
Tarvisio	13.101	-1,7	-223	3.459	-1,1	-40
F/I	17.273	+10,7	+1.668	10.409	+1,1	+113
CH/I, CH	35.990	-3,3	-1.219	5.029	+1,0	+48
A/I, A	81.923	-0,7	-572	18.307	-0,9	-168
Gesamt	135.186	-0,1	-123	33.745	0,0	-7

Tabelle 85 IV-Belastungen bei Mautoptimum Gotthard, nach VISUM

Alpenübergang	Pkw			Lkw		
	Belastung [Pkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Pkw/24h]	Belastung [Lkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Lkw/24h]
Ventimiglia	10.796	-1,1	-121	3.599	+2,0	+69
Frejus*	1.492	-3,2	-50	3.250	-4,7	-159
Mt. Blanc	3.423	+8,8	+277	3.616	+7,7	+259
Gr. St. Bernhard	1.319	+20,9	+228	189	+35,0	+49
Simplon	2.590	+6,0	+146	256	+120,7	+140
Gotthard*	6.639	-68,9	-14.708	1.633	-61,4	-2.593
San Bernardino	13.112	+6,4	+785	768	+53,9	+269
Reschen	5.341	-4,3	-242	695	+30,9	+164
Brenner*	16.421	+9,5	+1.430	5.473	-2,1	-118
Felbertauern	3.468	+3,6	+121	29	-3,3	-1
Tauern	10.150	-0,4	-37	2.530	+2,4	+60
Schoberpass	13.619	-0,1	-10	3.521	-0,2	-6
Wechsel	21.038	-1,8	-396	2.856	+1,0	+29
Tarvisio	13.378	+0,4	+54	3.564	+1,9	+65
F/I	15.711	+0,7	+106	10.465	+1,6	+169
CH/I, CH	23.660	-36,4	-13.549	2.846	-42,9	-2.135
A/I, A	83.415	+1,1	+920	18.668	+1,0	+193
Gesamt	122.786	-9,3	-12.523	31.979	-5,3	-1.773

Tabelle 86 IV-Belastungen bei Mautoptimum Brenner, nach VISUM

Alpenübergang	Pkw			Lkw		
	Belastung [Pkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Pkw/24h]	Belastung [Lkw/24h]	Abw. rel. [%]	Abw. abs. [Lkw/24h]
Ventimiglia	10.620	-2,7	-297	3.438	-2,6	-92
Frejus*	2.273	+47,4	+731	3.484	+2,2	+75
Mt. Blanc	3.480	+10,6	+334	3.365	+0,2	+8
Gr. St. Bernhard	1.036	-5,0	-55	150	+7,1	+10
Simplon	2.526	+3,4	+82	140	+20,7	+24
Gotthard*	22.298	+4,5	+951	4.562	+8,0	+336
San Bernardino	12.794	+3,8	+467	478	-4,2	-21
Reschen	3.441	-38,4	-2.142	2.612	+391,9	+2.081
Brenner*	7.468	-50,2	-7.523	2.784	-50,2	-2.807
Felbertauern	6.150	+83,7	+2.803	29	-3,3	-1
Tauern	11.013	+8,1	+826	2.430	-1,6	-40
Schoberpass	13.554	-0,6	-75	3.498	-0,8	-29
Wechsel	21.507	+0,3	+73	2.849	+0,8	+22
Tarvisio	13.919	+4,5	+595	3.460	-1,1	-39
F/I	16.373	+4,9	+768	10.287	-0,1	-9
CH/I, CH	38.654	+3,9	+1.445	5.330	+7,0	+349
A/I, A	77.052	-6,6	-5.443	17.662	-4,4	-813
Gesamt	132.079	-2,4	-3.230	33.279	-1,4	-473

6.4 Grafische Auswertungen Frejus-Tunnel

Abbildung 34 Pkw-Belastung Frejus in [Fzg/24h], Bezugsmauten Frejus

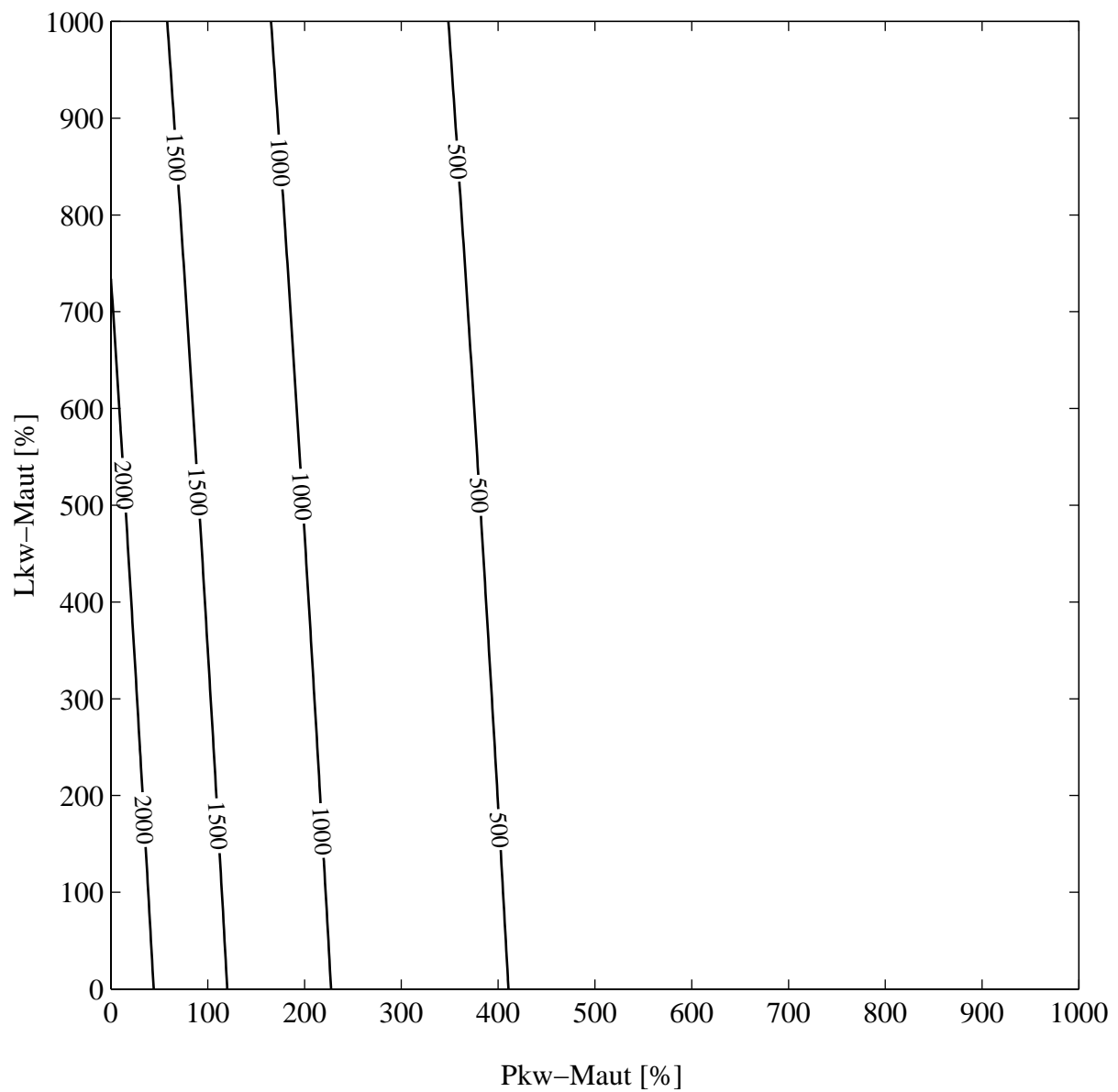


Abbildung 35 Lkw-Belastung Frejus in [Fzg/24h], Bezugsmauten Frejus

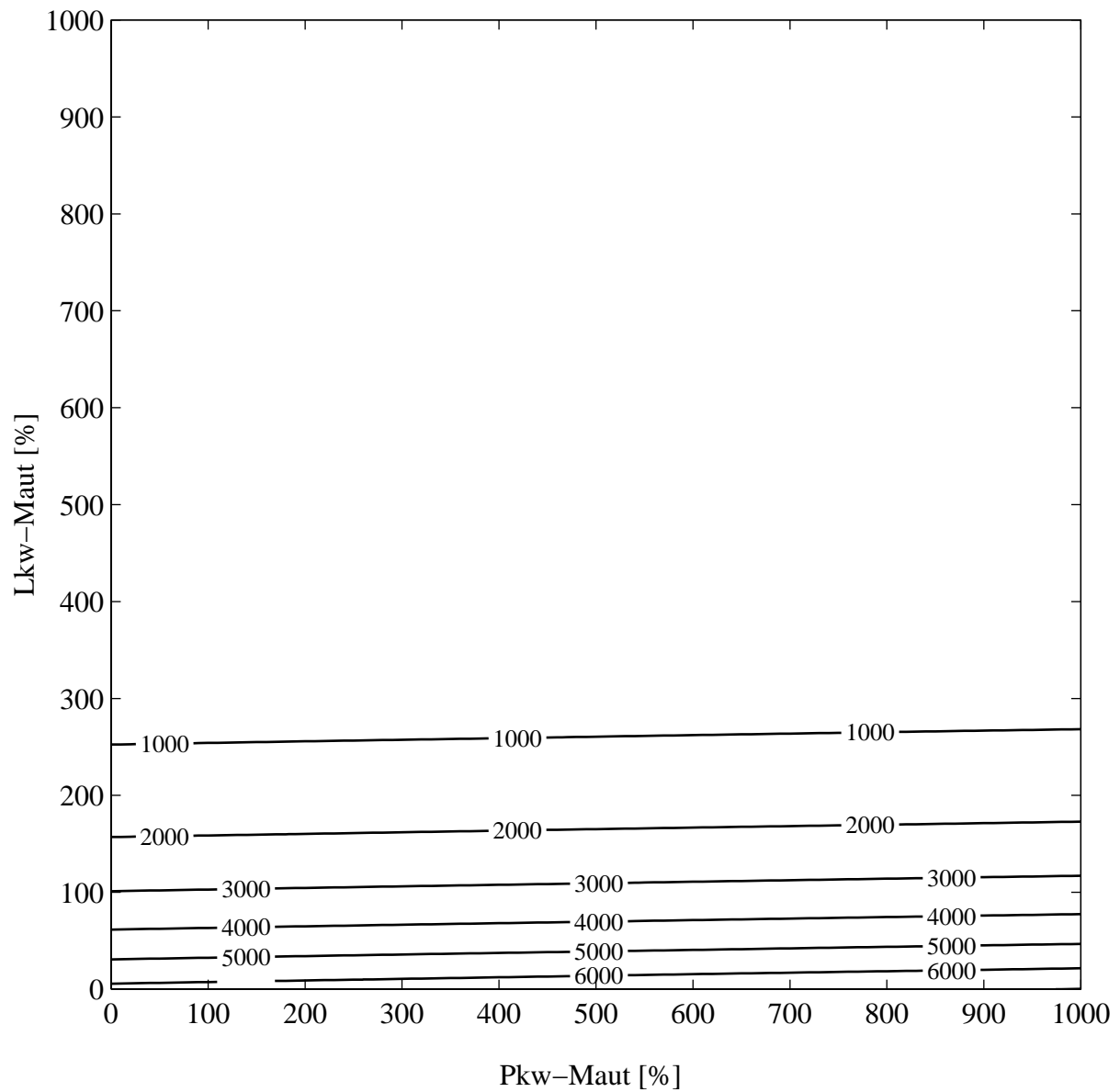


Abbildung 36 Mauteinnahmen Frejus in $[ECU_{KKP}/24h]_{98}$, Bezugsmauten Frejus

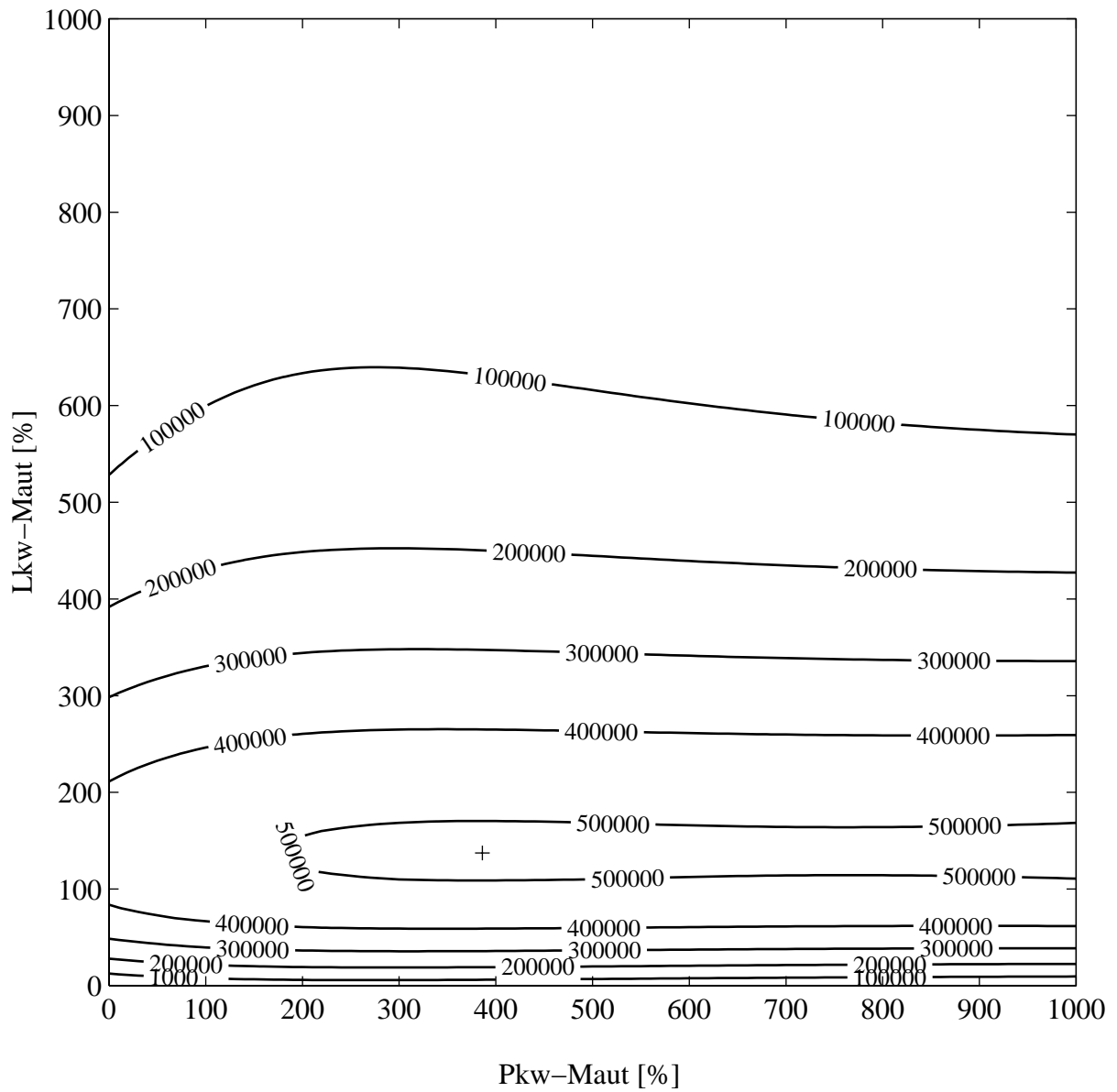


Abbildung 37 Pkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Frejus

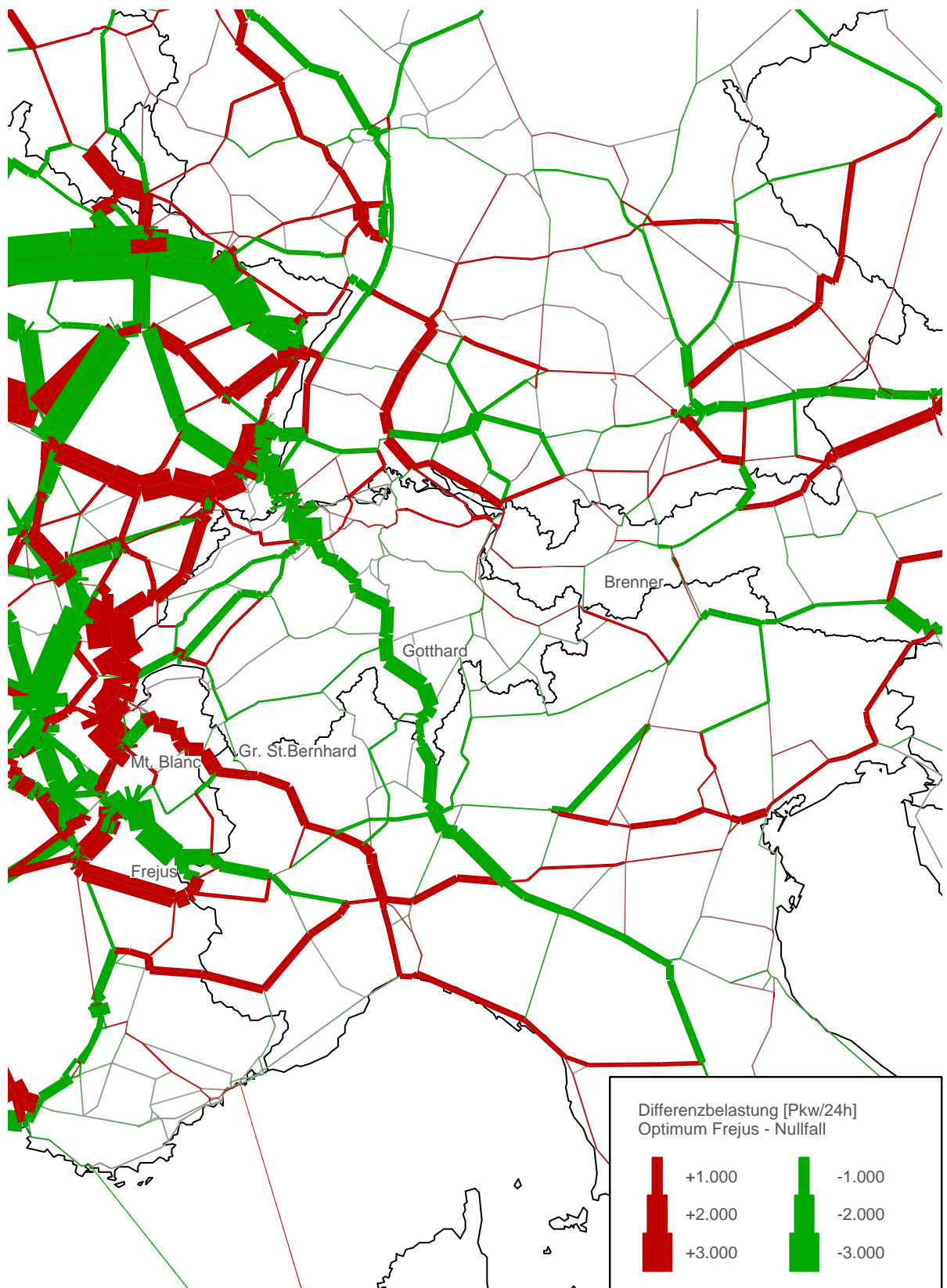


Abbildung 38 Pkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Frejus, Detail Frejus

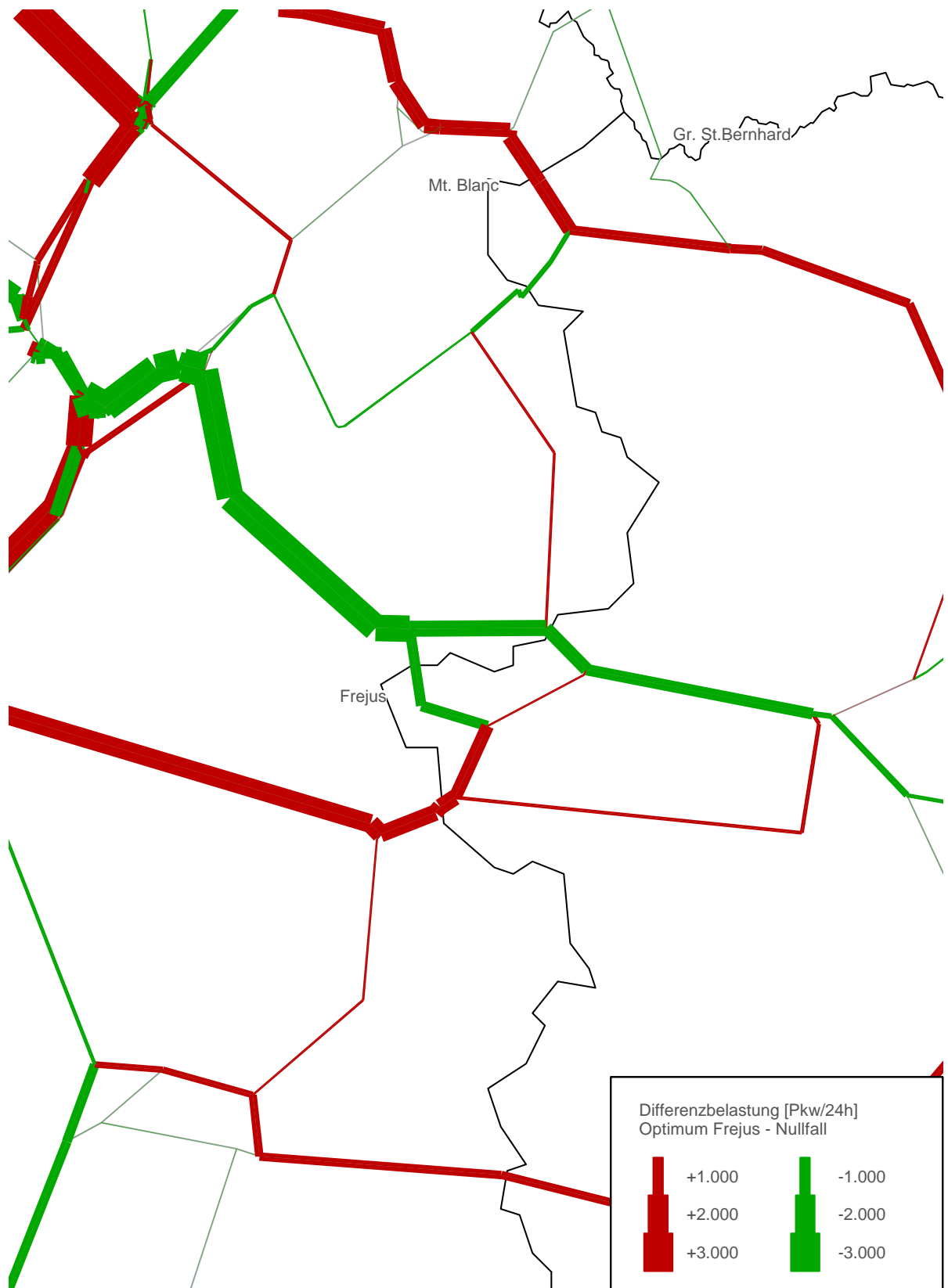


Abbildung 39 Lkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Frejus

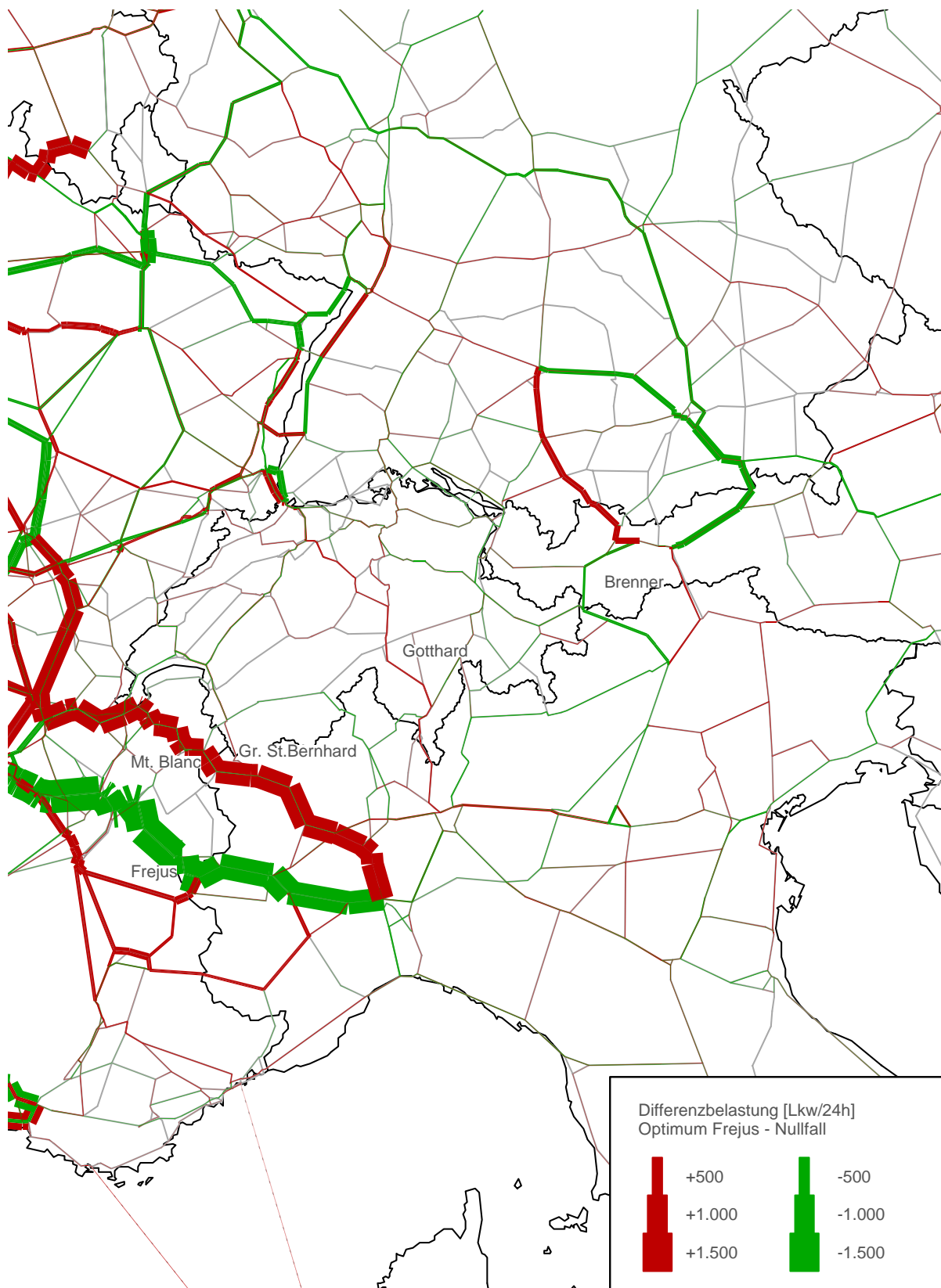


Abbildung 40 Lkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Frejus, Detail Frejus

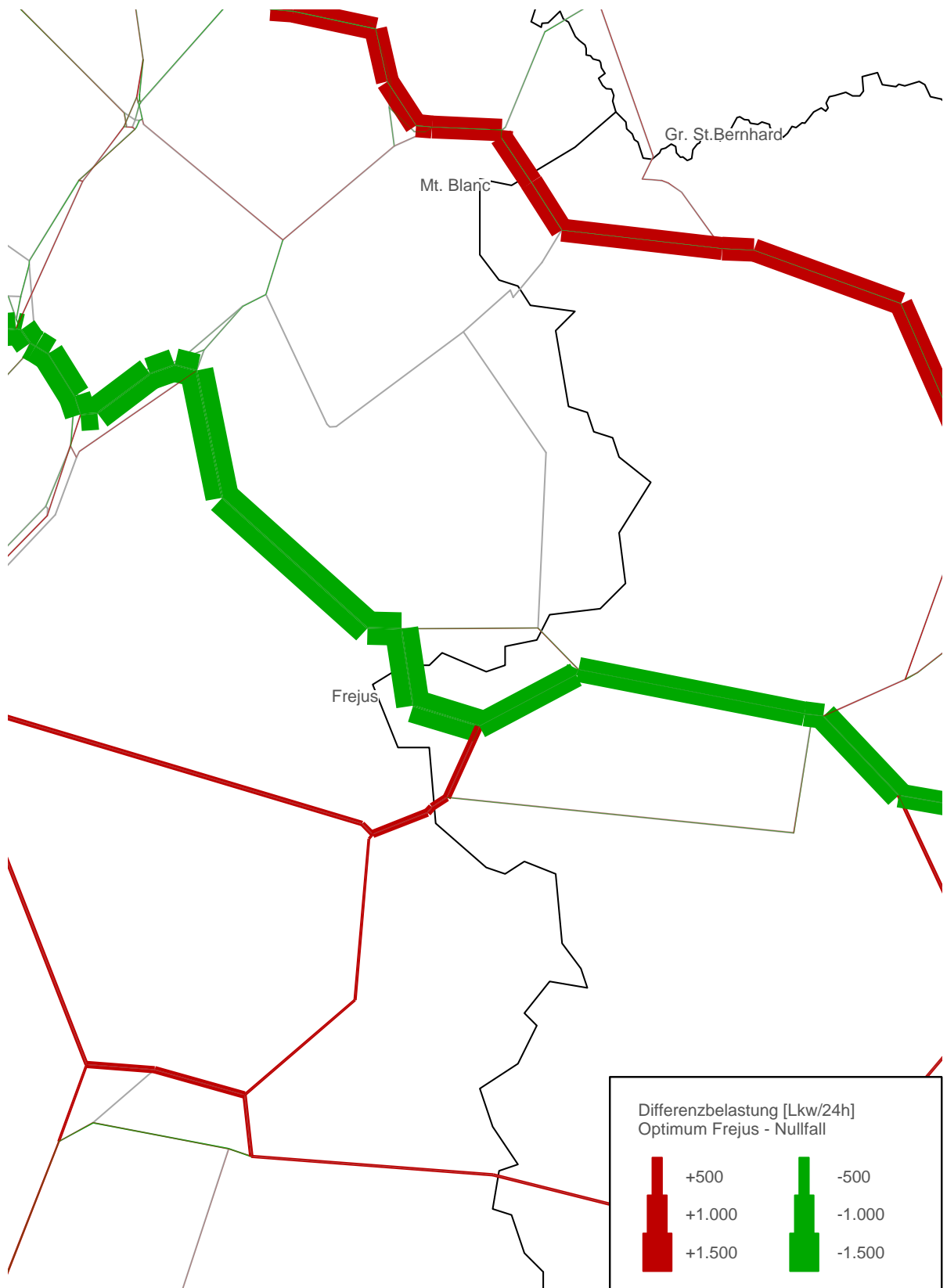


Abbildung 41 Pkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Frejus

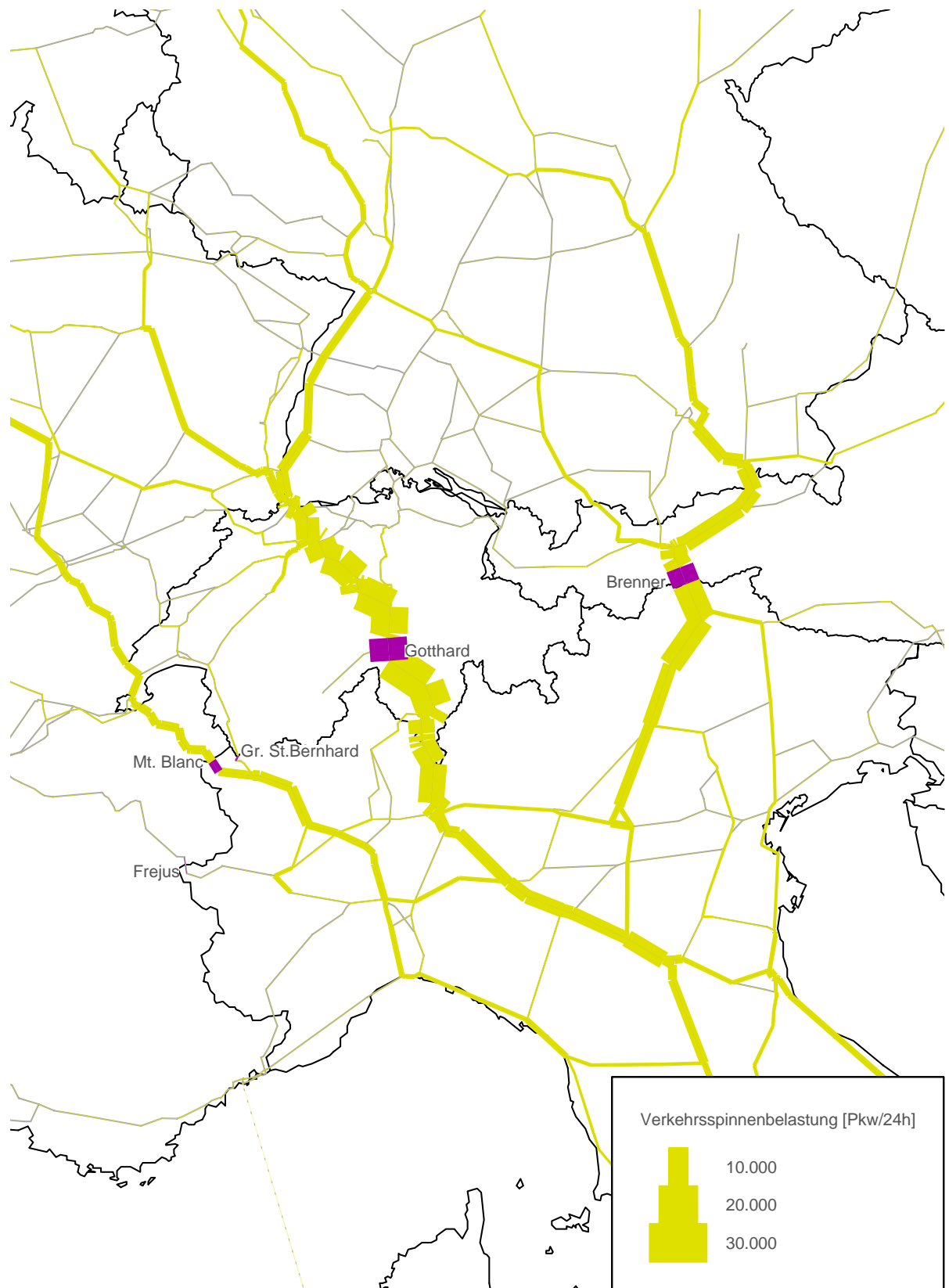
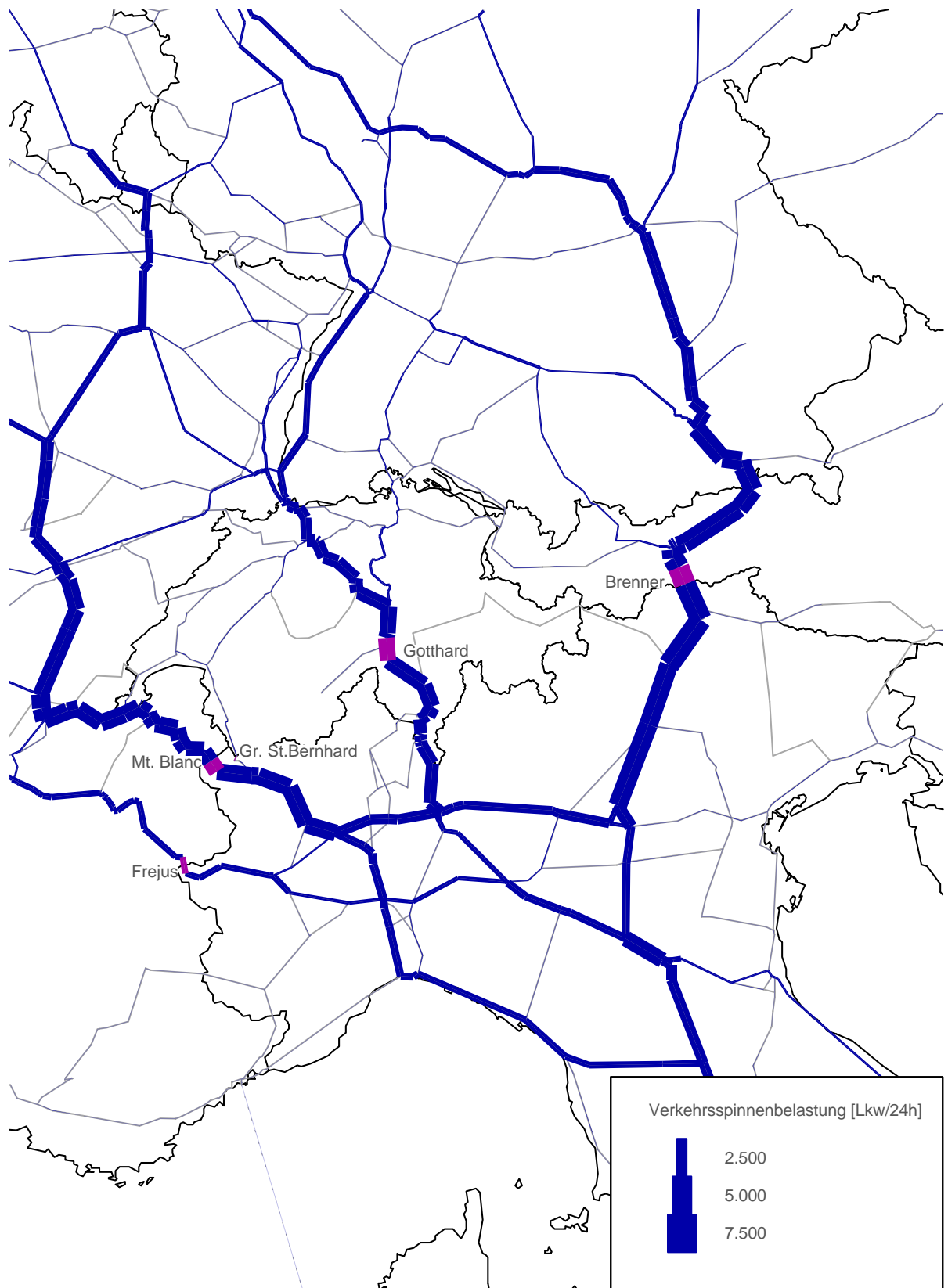


Abbildung 42 Lkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Frejus



6.5 Grafische Auswertungen Mt. Blanc-Tunnel

Abbildung 43 Pkw-Belastung Mt. Blanc in [Fzg/24h], Bezugsmauten Mt. Blanc

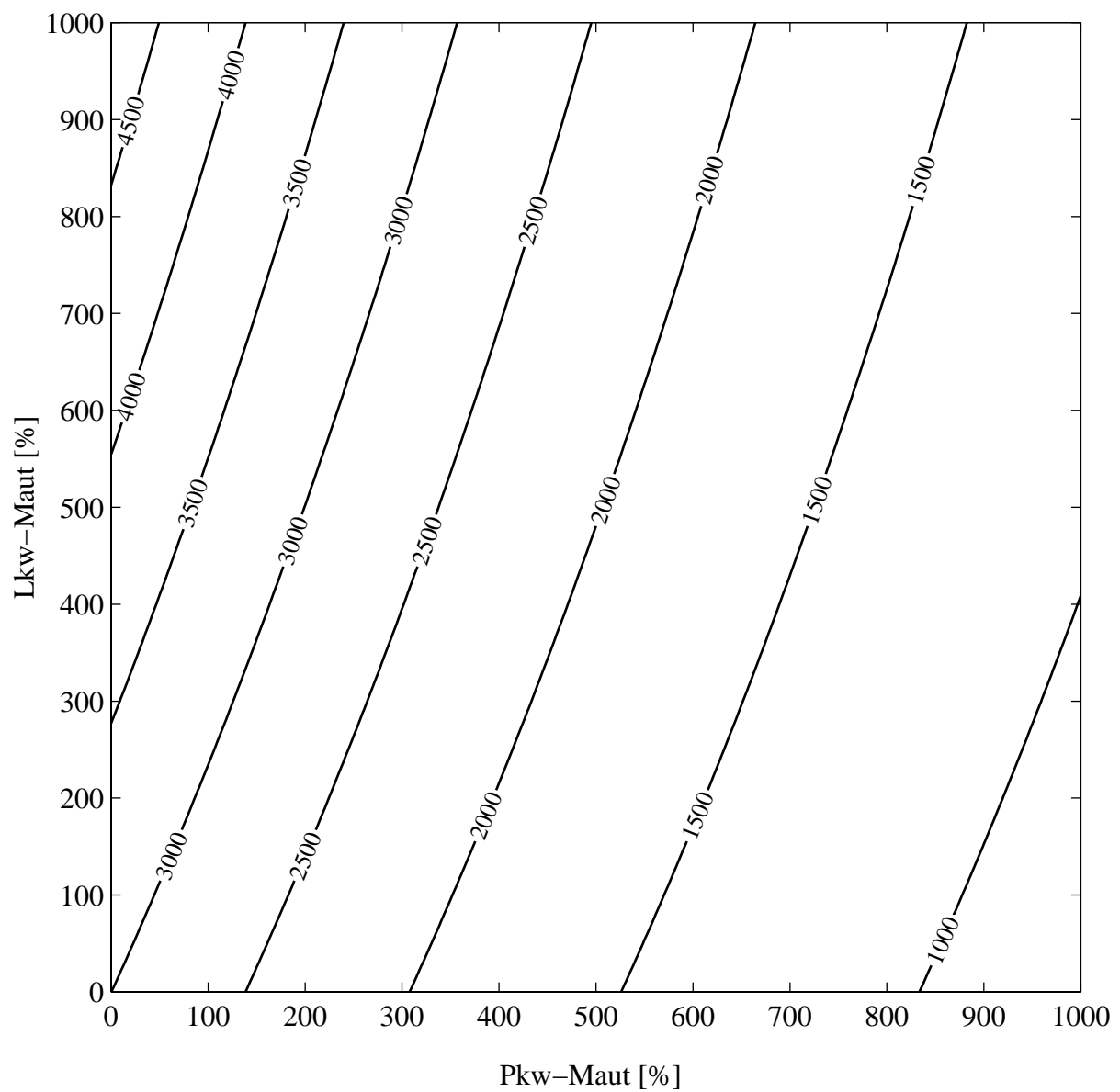


Abbildung 44 Lkw-Belastung Mt. Blanc in [Fzg/24h], Bezugsmauten Mt. Blanc

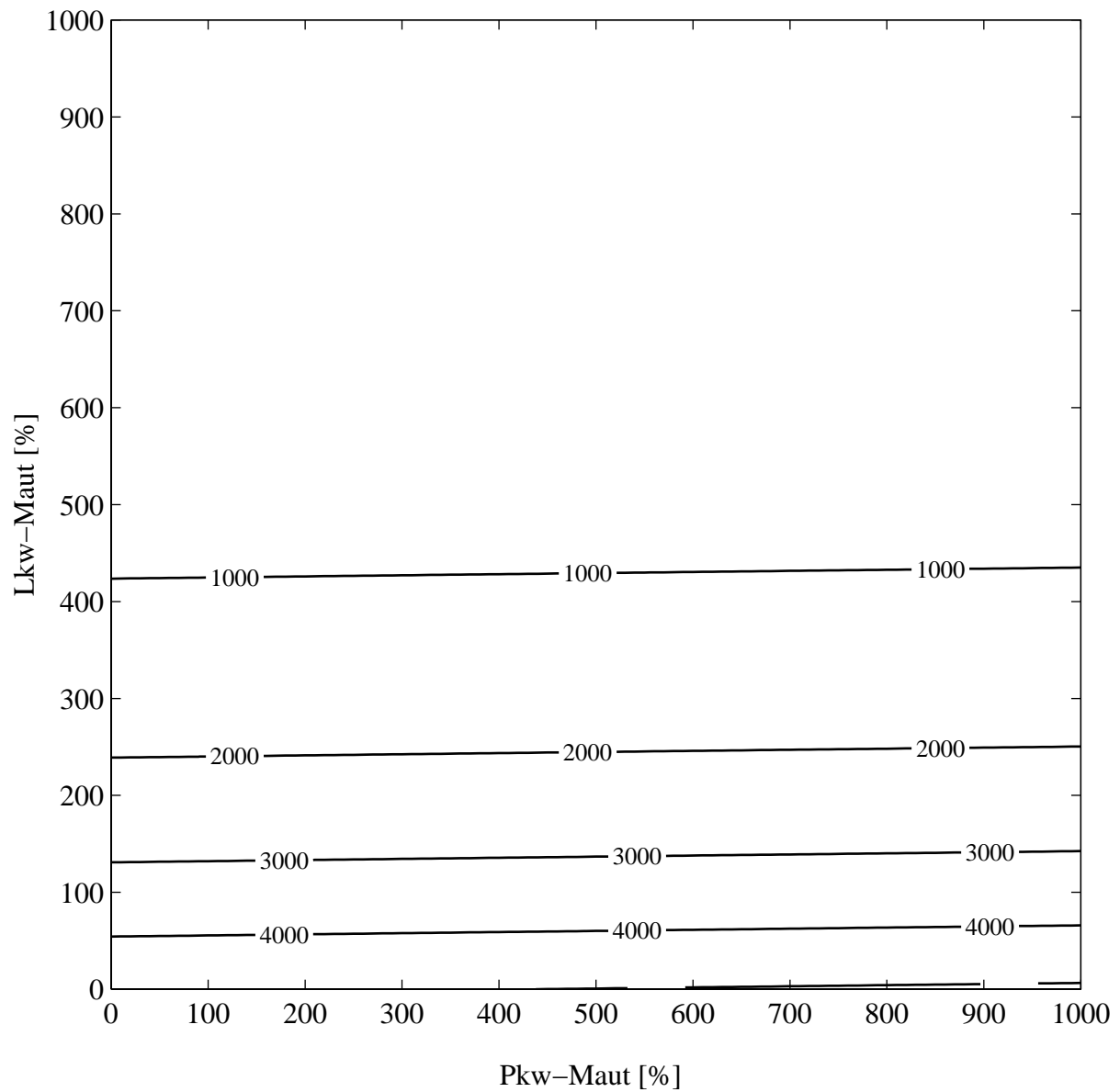


Abbildung 45 Mauteinnahmen Mt. Blanc in $[ECU_{KKP}/24h]_{98}$, Bezugsmauten Mt. Blanc

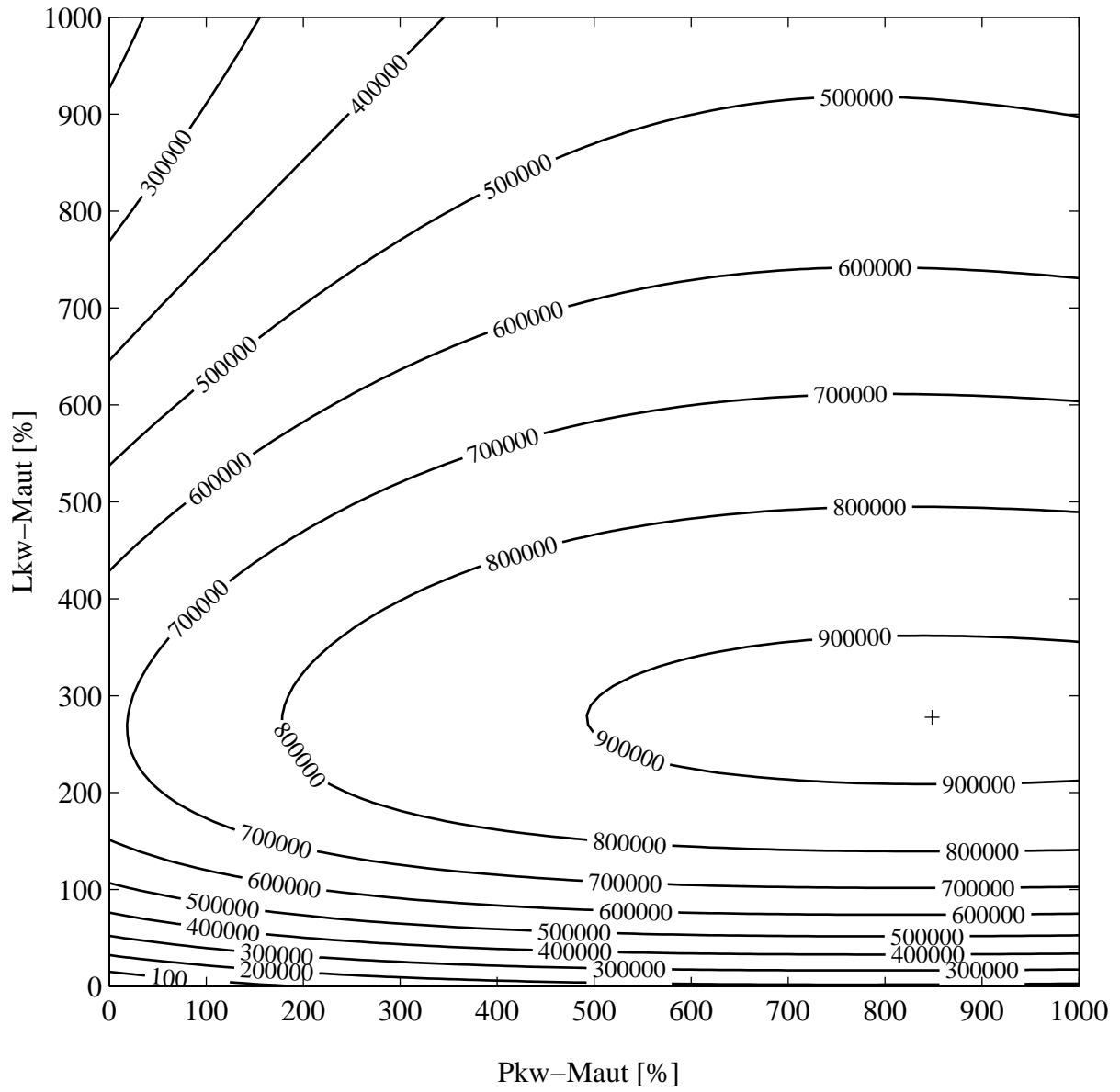


Abbildung 46 Pkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Mt. Blanc

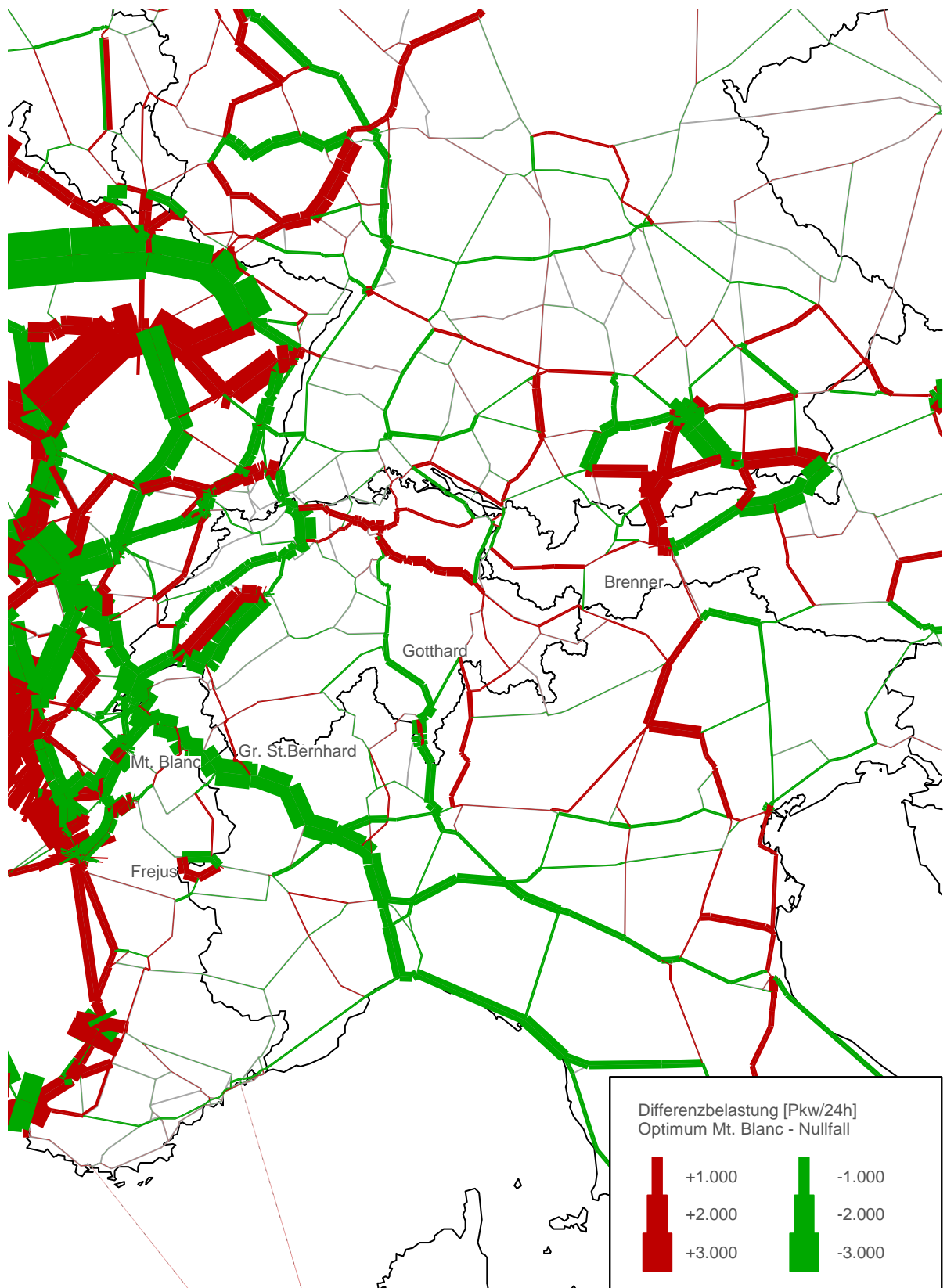


Abbildung 47 Lkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Mt. Blanc

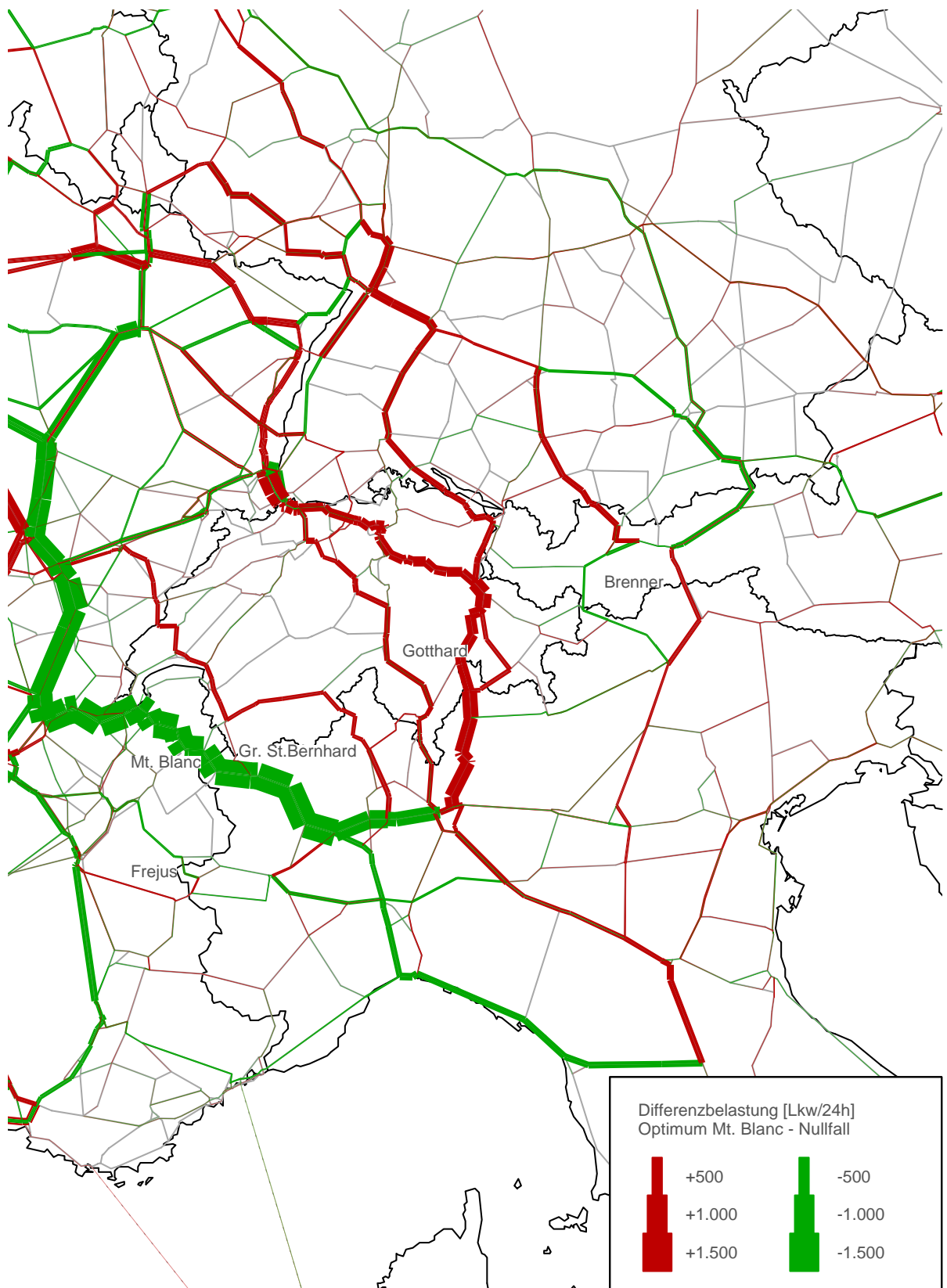


Abbildung 48 Pkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Mt. Blanc

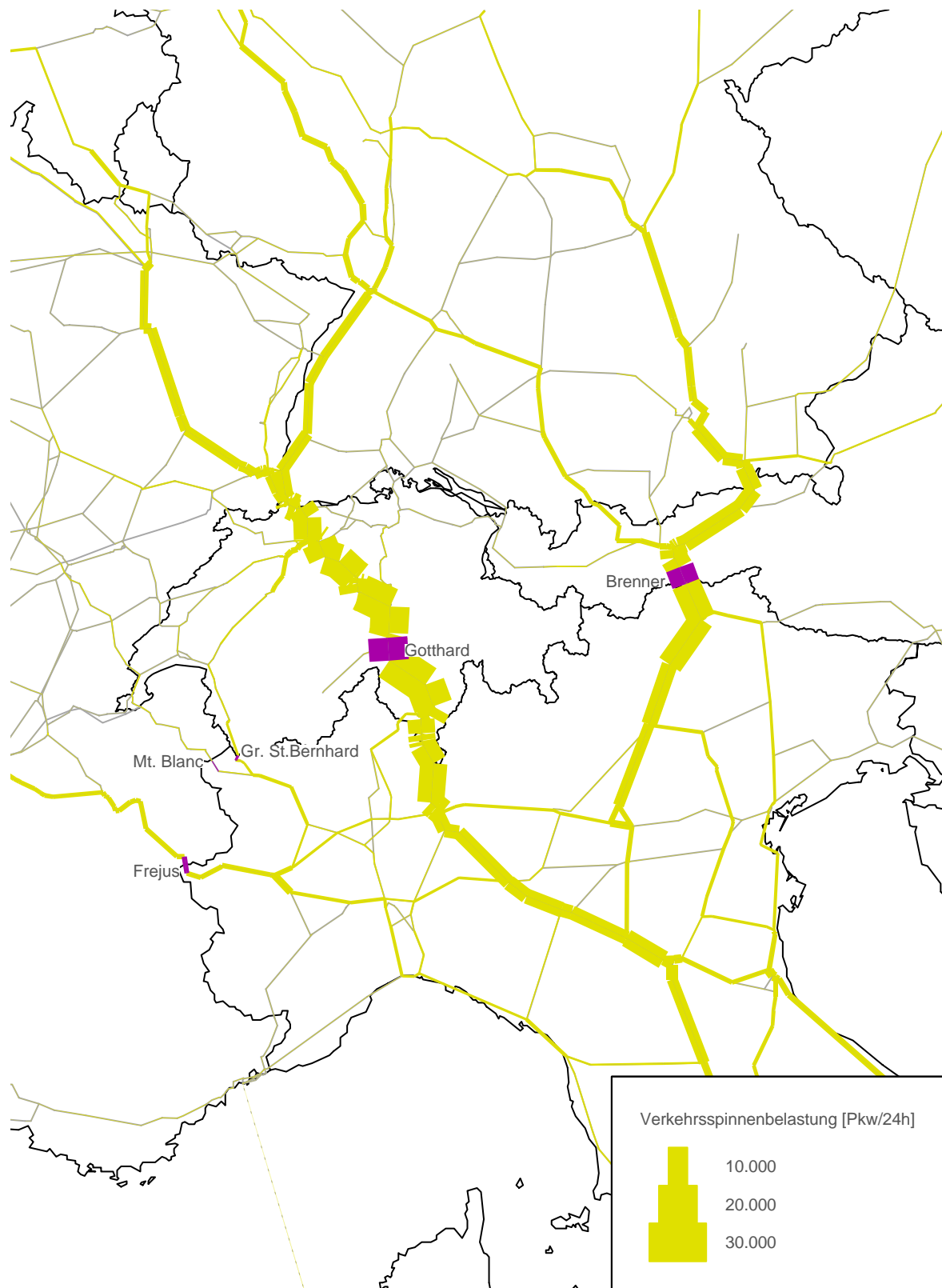
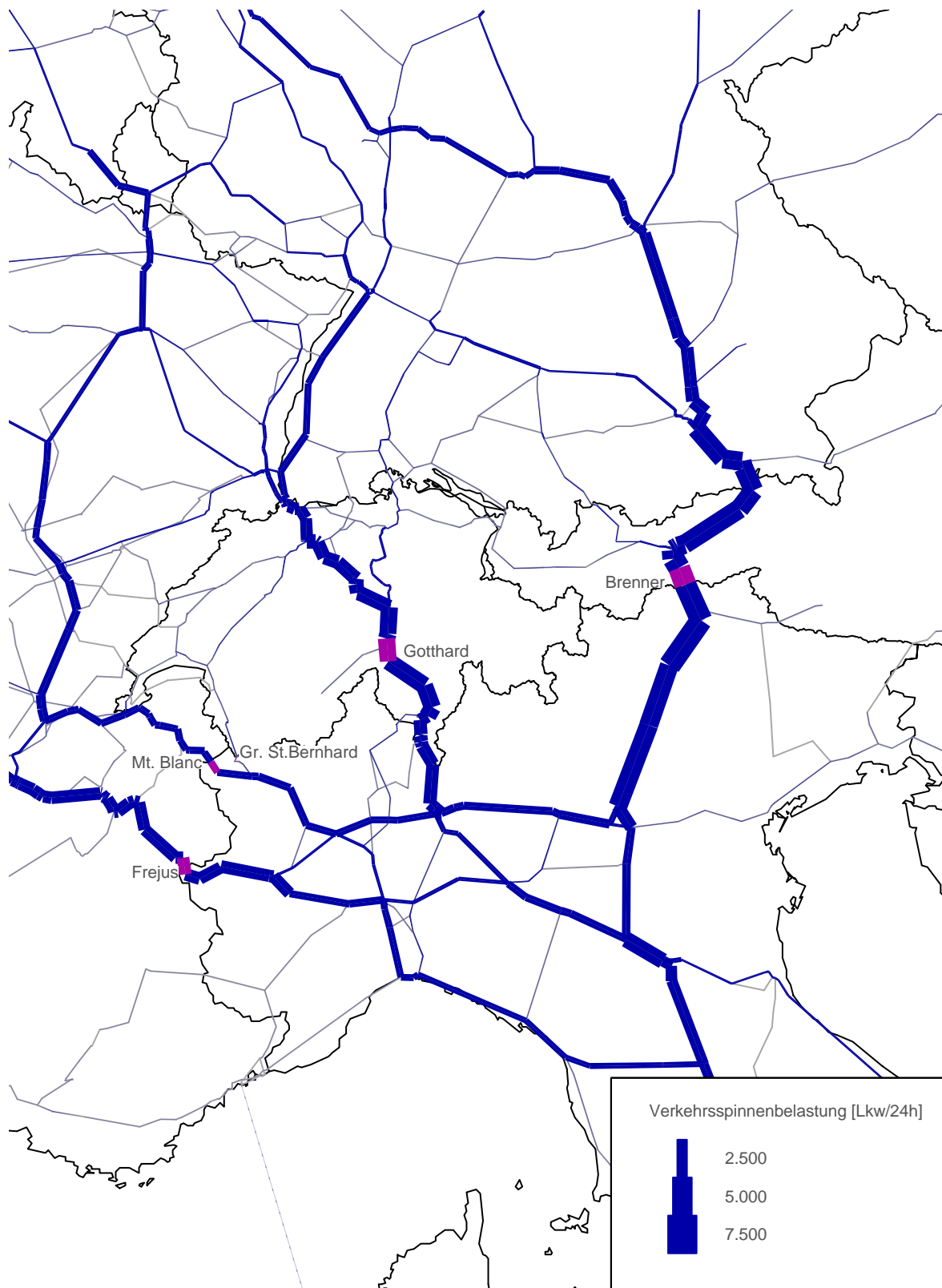


Abbildung 49 Lkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Mt. Blanc



6.6 Grafische Auswertungen Großer St. Bernhard-Tunnel

Abbildung 50 Pkw-Belastung Großer St. Bernhard in [Fzg/24h], Bezugsmauten Großer St. Bernhard

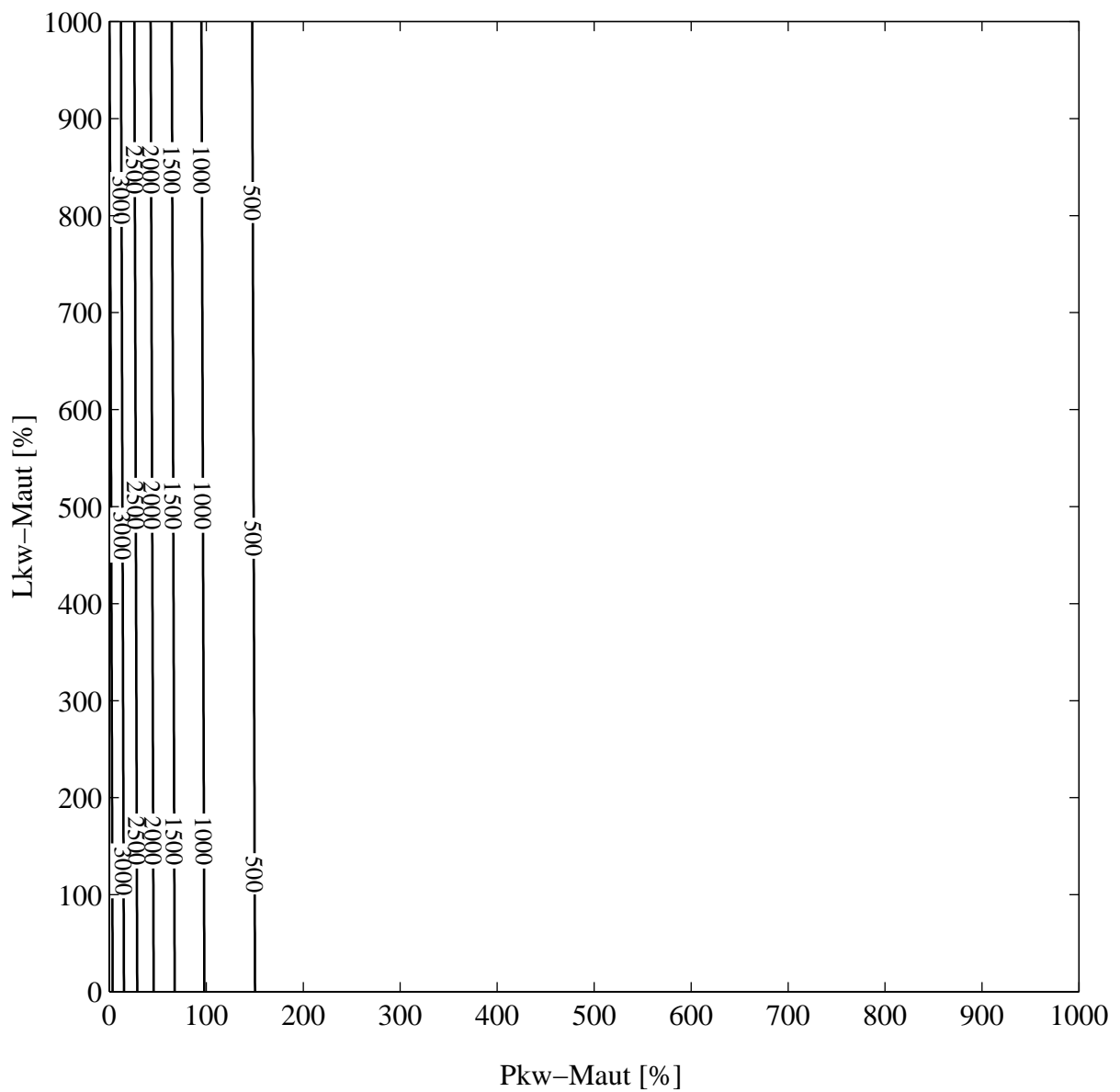


Abbildung 51 Lkw-Belastung Großer St. Bernhard in [Fzg/24h], Bezugsmauten Großer St. Bernhard

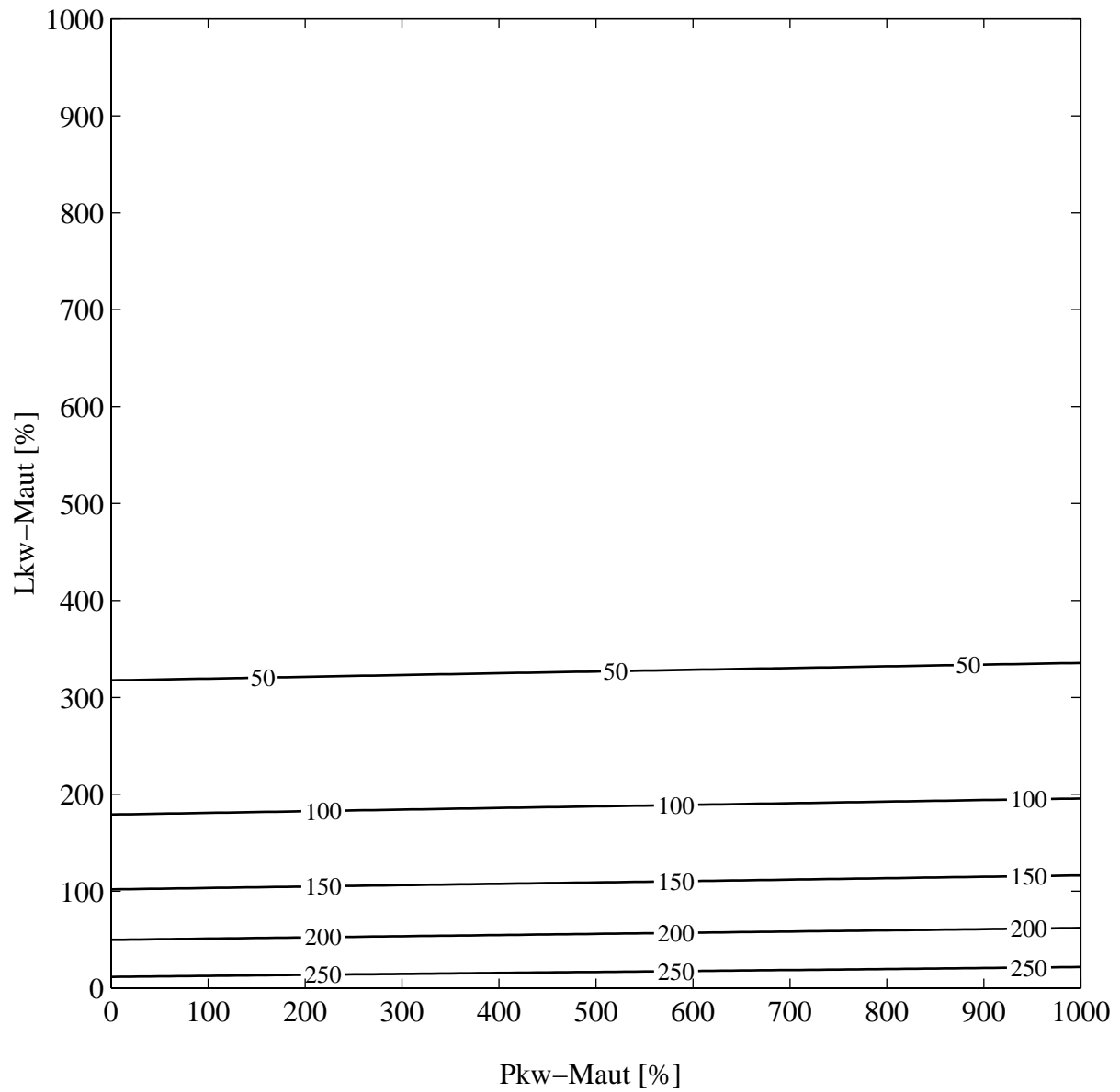


Abbildung 52 Mauteinnahmen Großer St. Bernhard in $[\text{ECU}_{\text{KKP}}/24\text{h}]_{98}$, Bezugsmauten Großer St. Bernhard

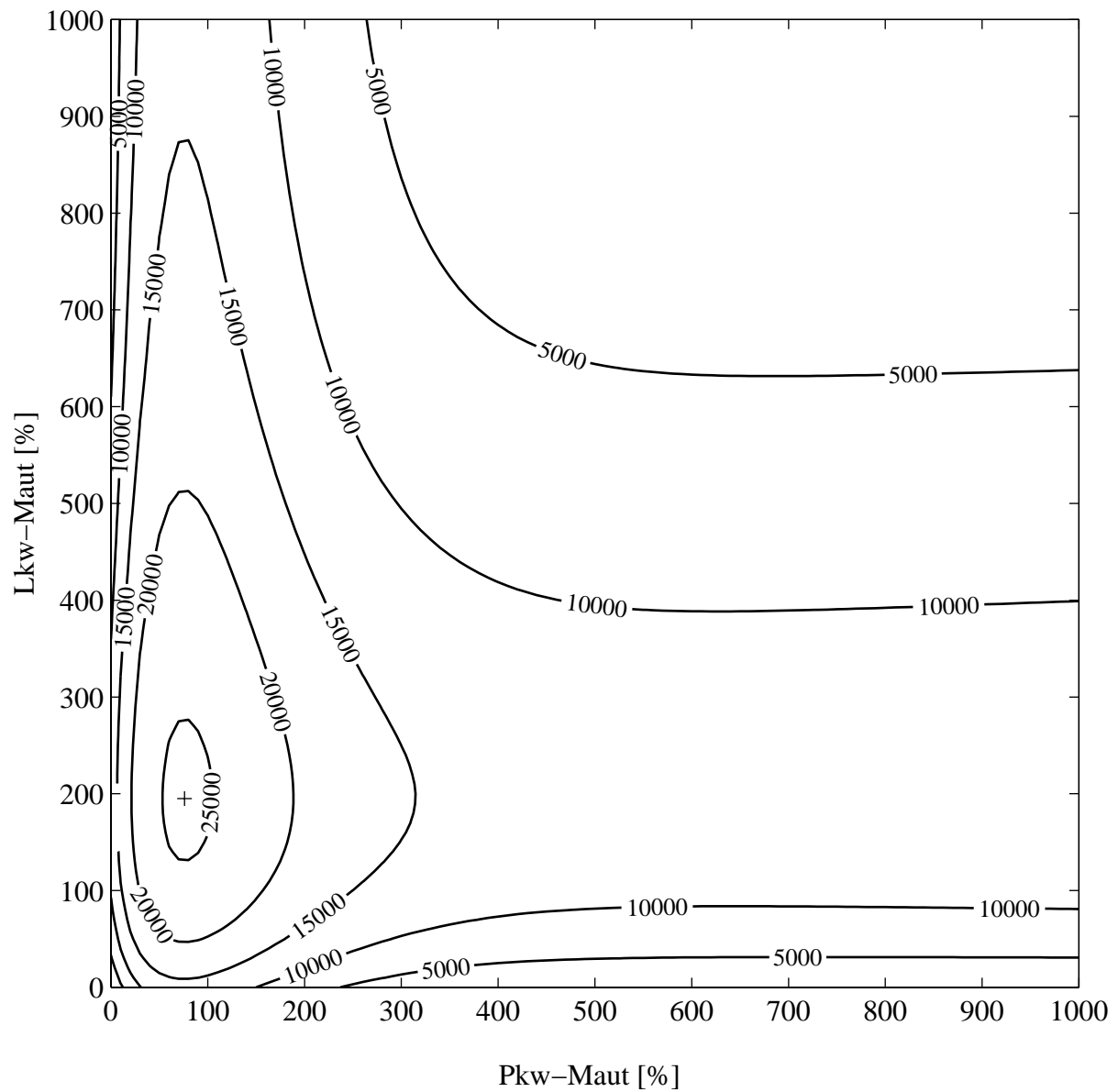


Abbildung 53 Pkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Großer St. Bernhard

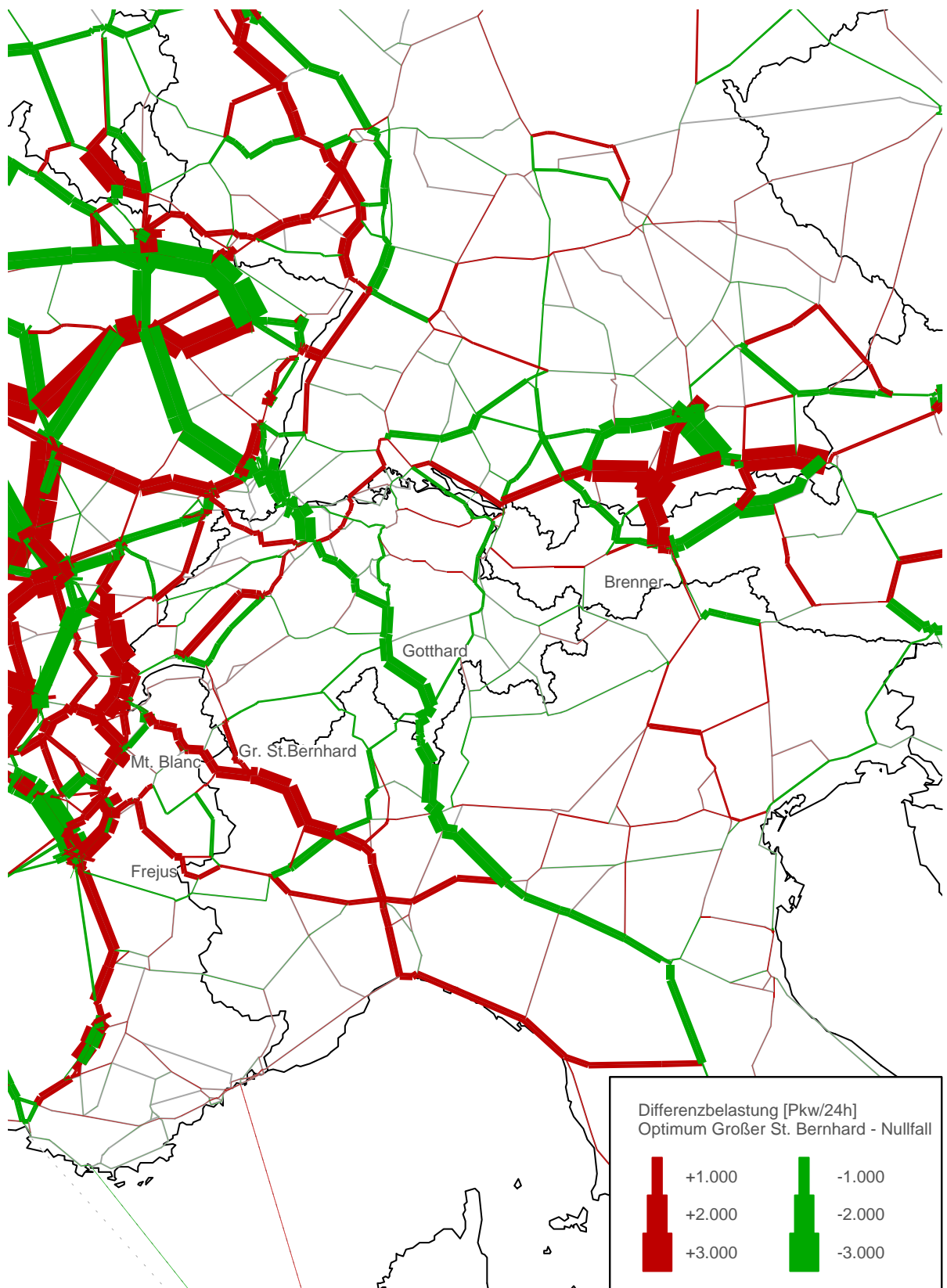


Abbildung 54 Lkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Großer St. Bernhard

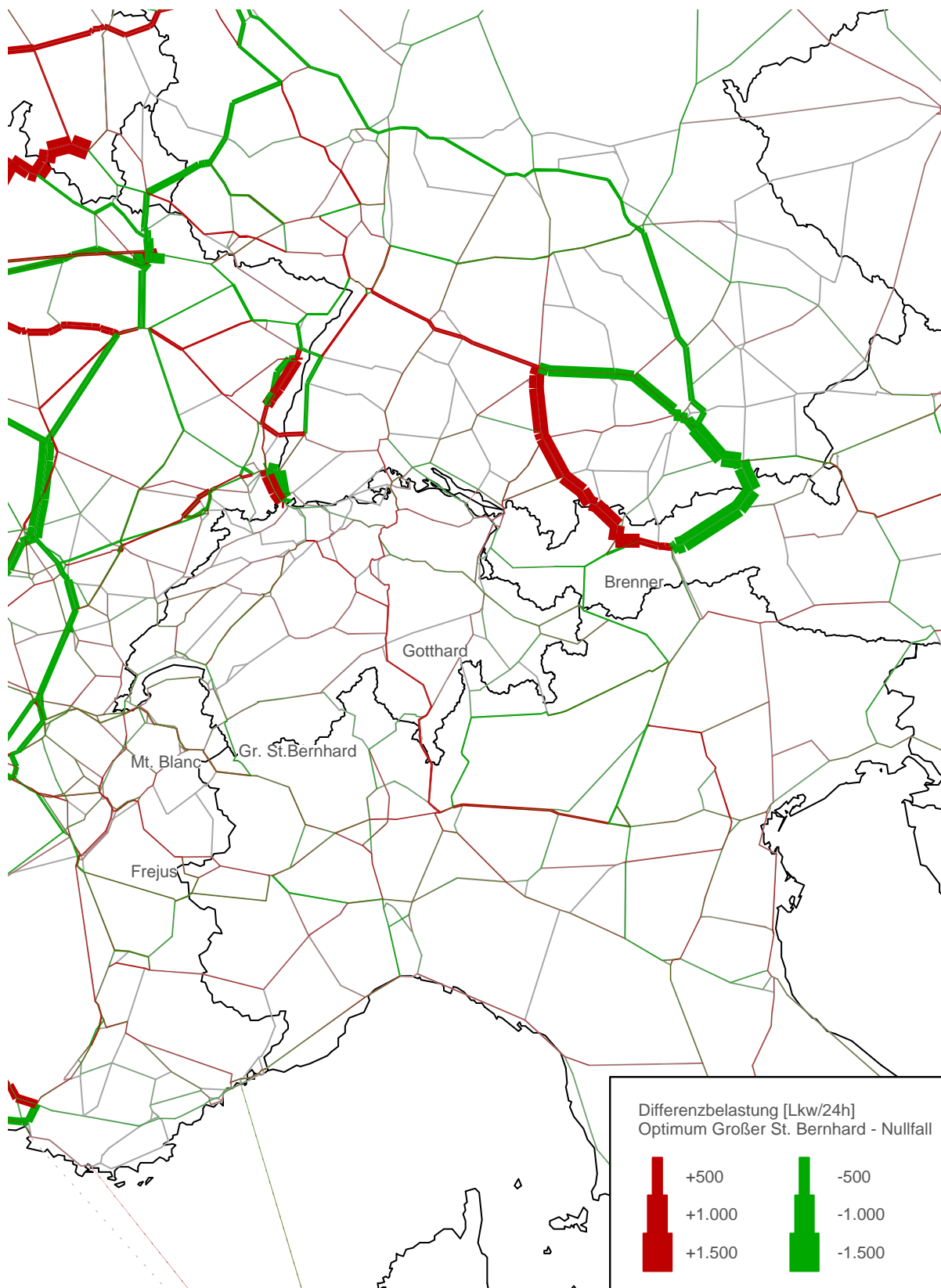


Abbildung 55 Pkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Großer St. Bernhard

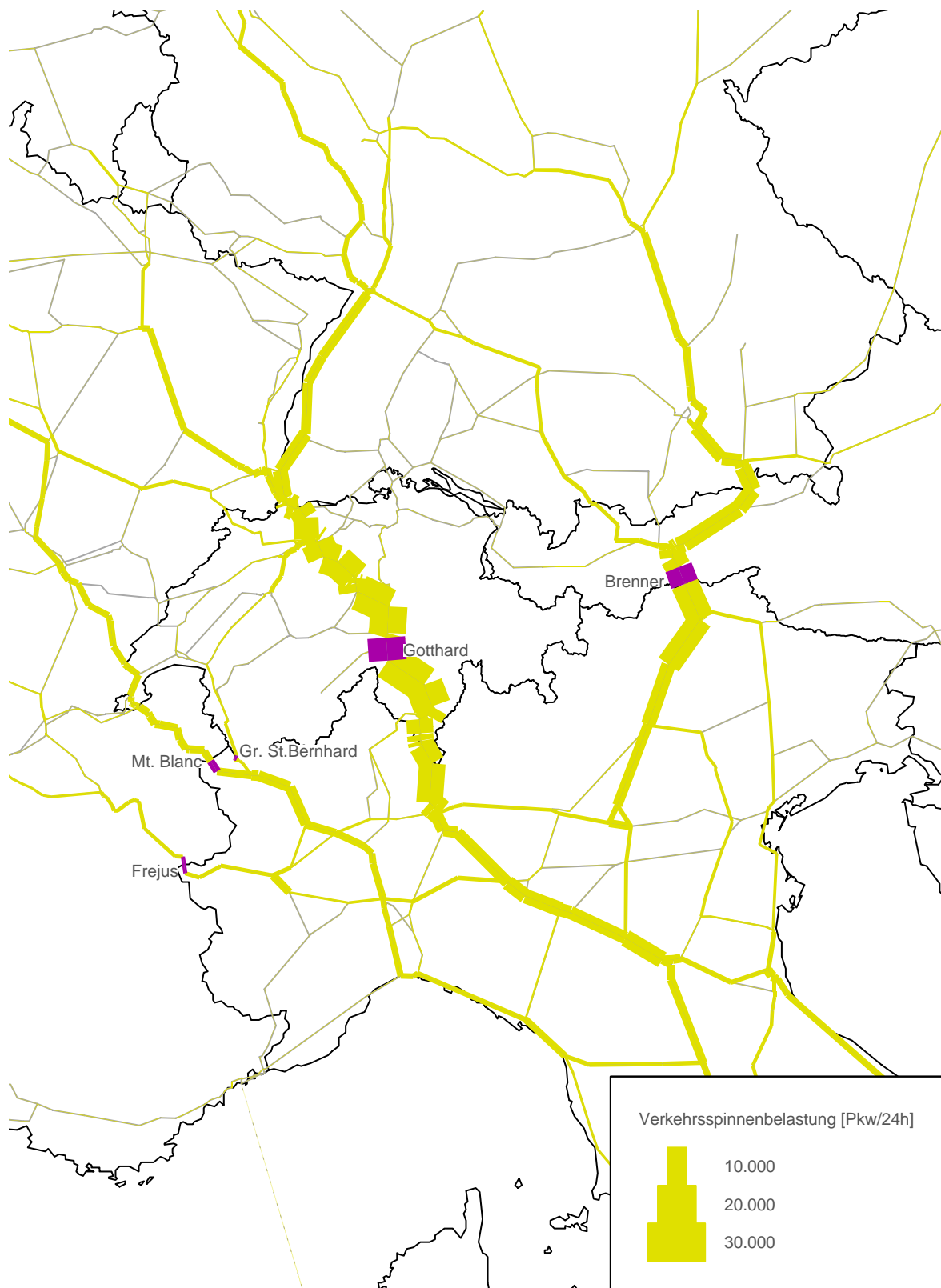
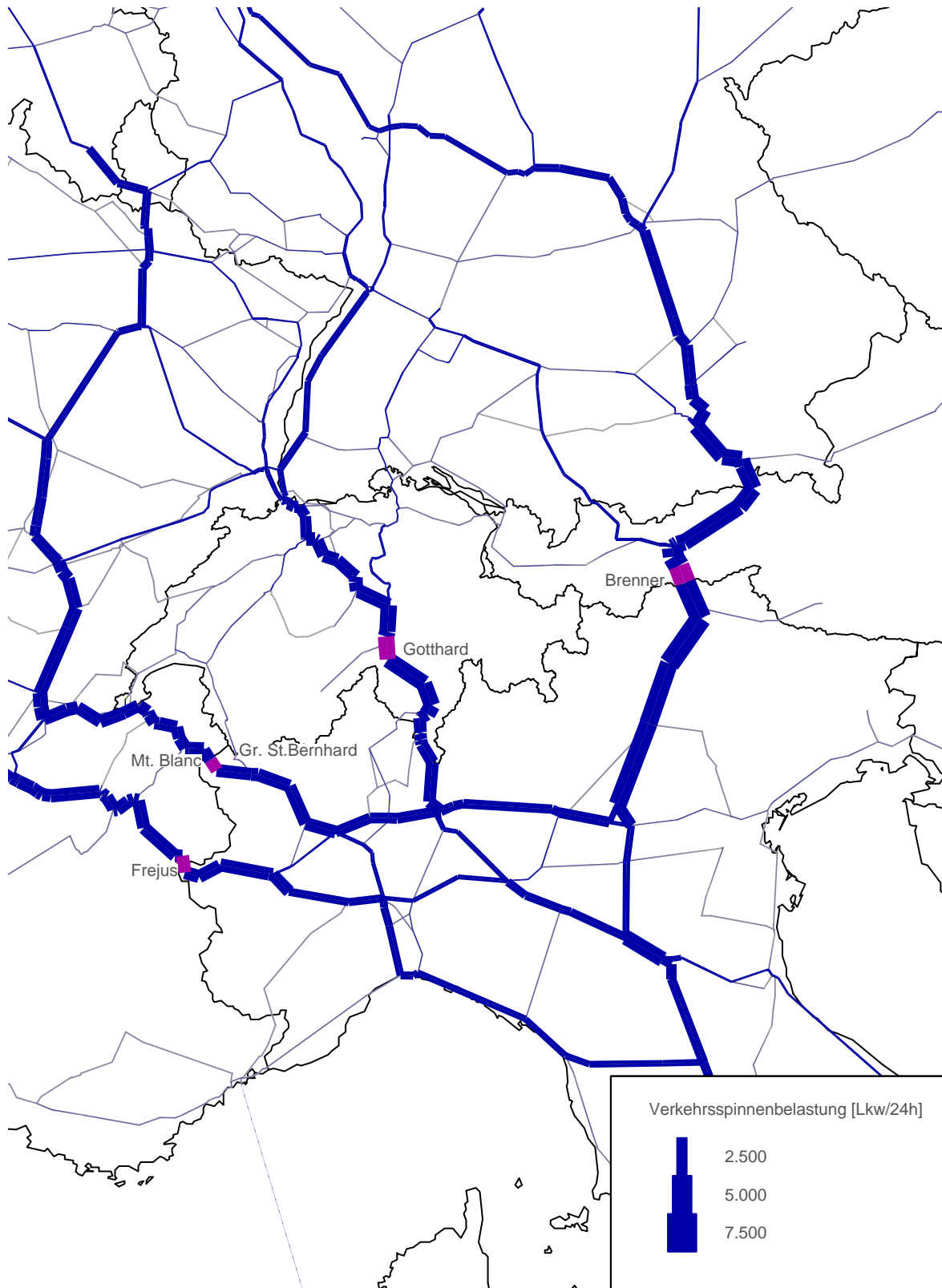


Abbildung 56 Lkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Großer St. Bernhard



6.7 Grafische Auswertungen Gotthard-Tunnel

Abbildung 57 Pkw-Belastung Gotthard in [Fzg/24h], Bezugsmauten Großer St. Bernhard

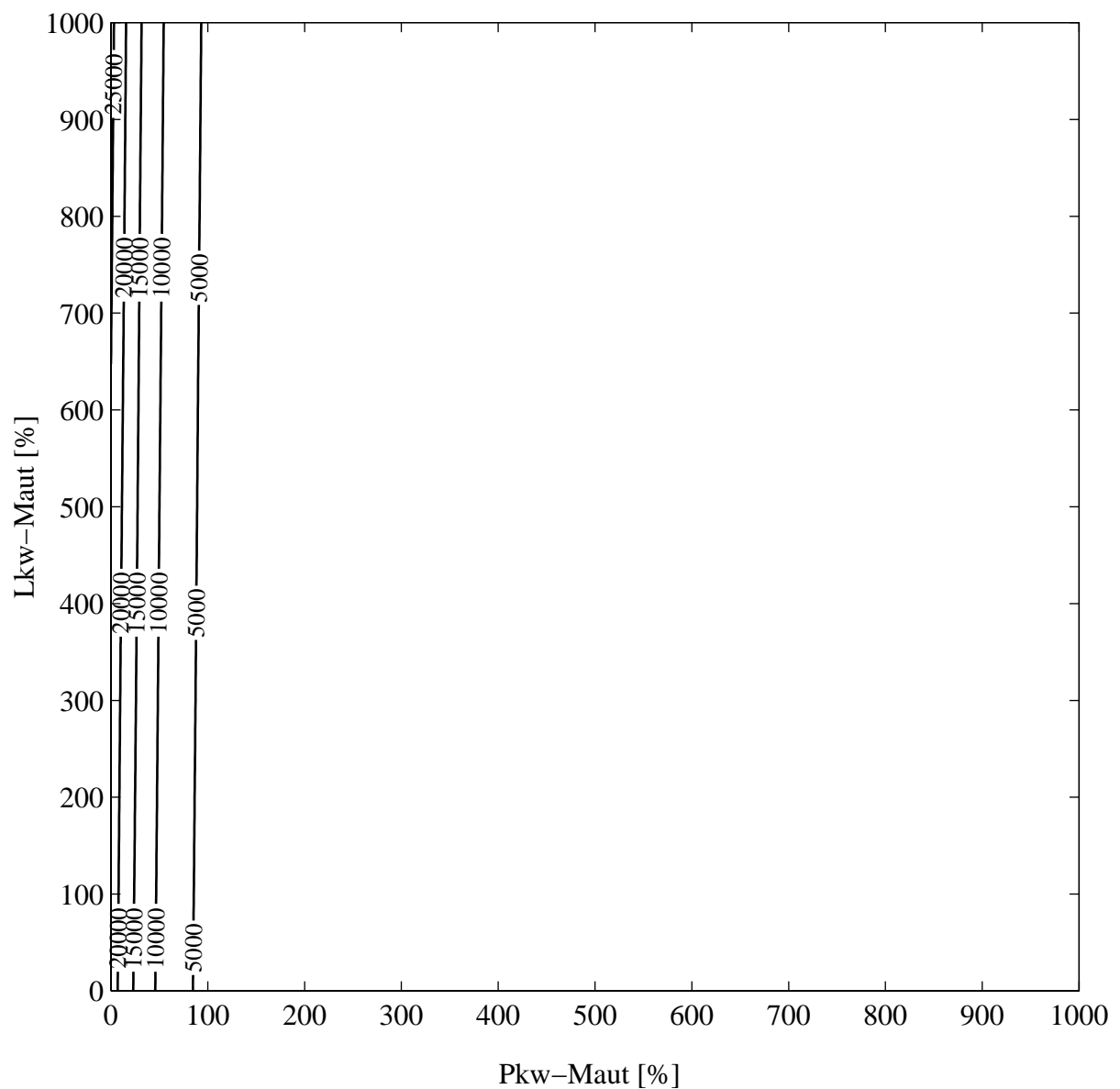


Abbildung 58 Lkw-Belastung Gotthard in [Fzg/24h], Bezugsmauten Großer St. Bernhard

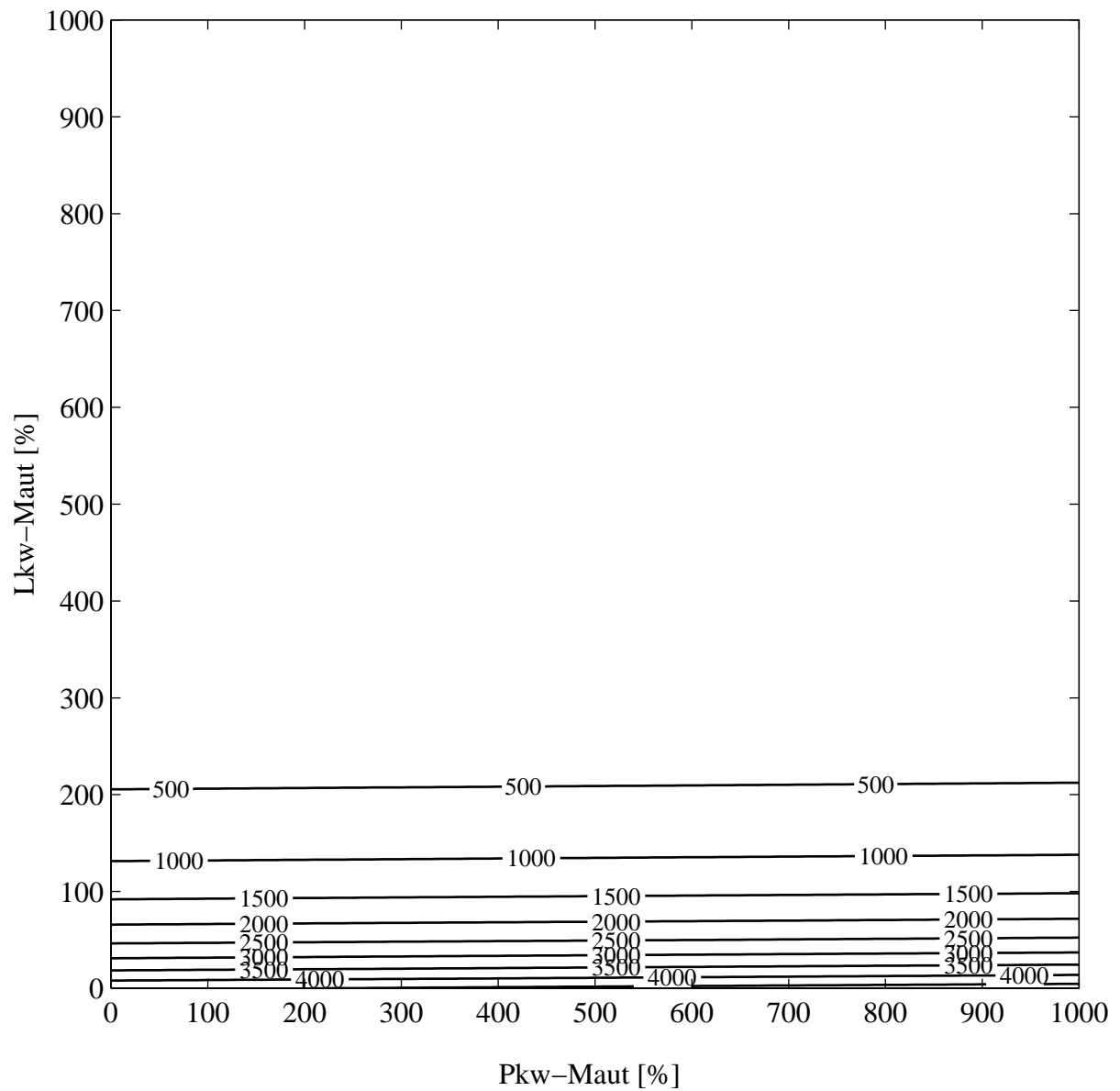


Abbildung 59 Mauteinnahmen Gotthard in $[ECU_{KKP}/24h]_{98}$, Bezugsmauten Großer St. Bernhard

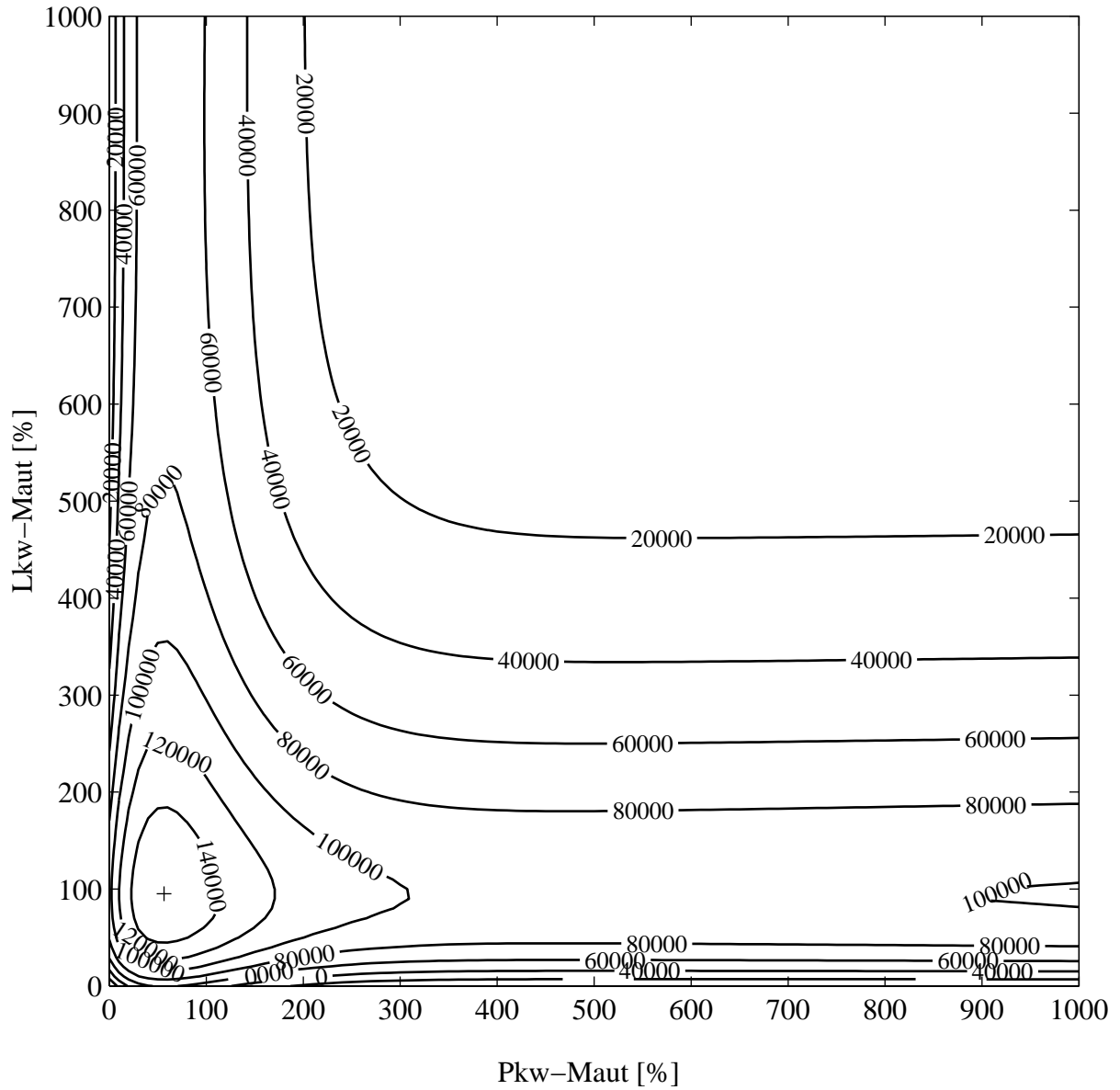


Abbildung 60 Pkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Gotthard

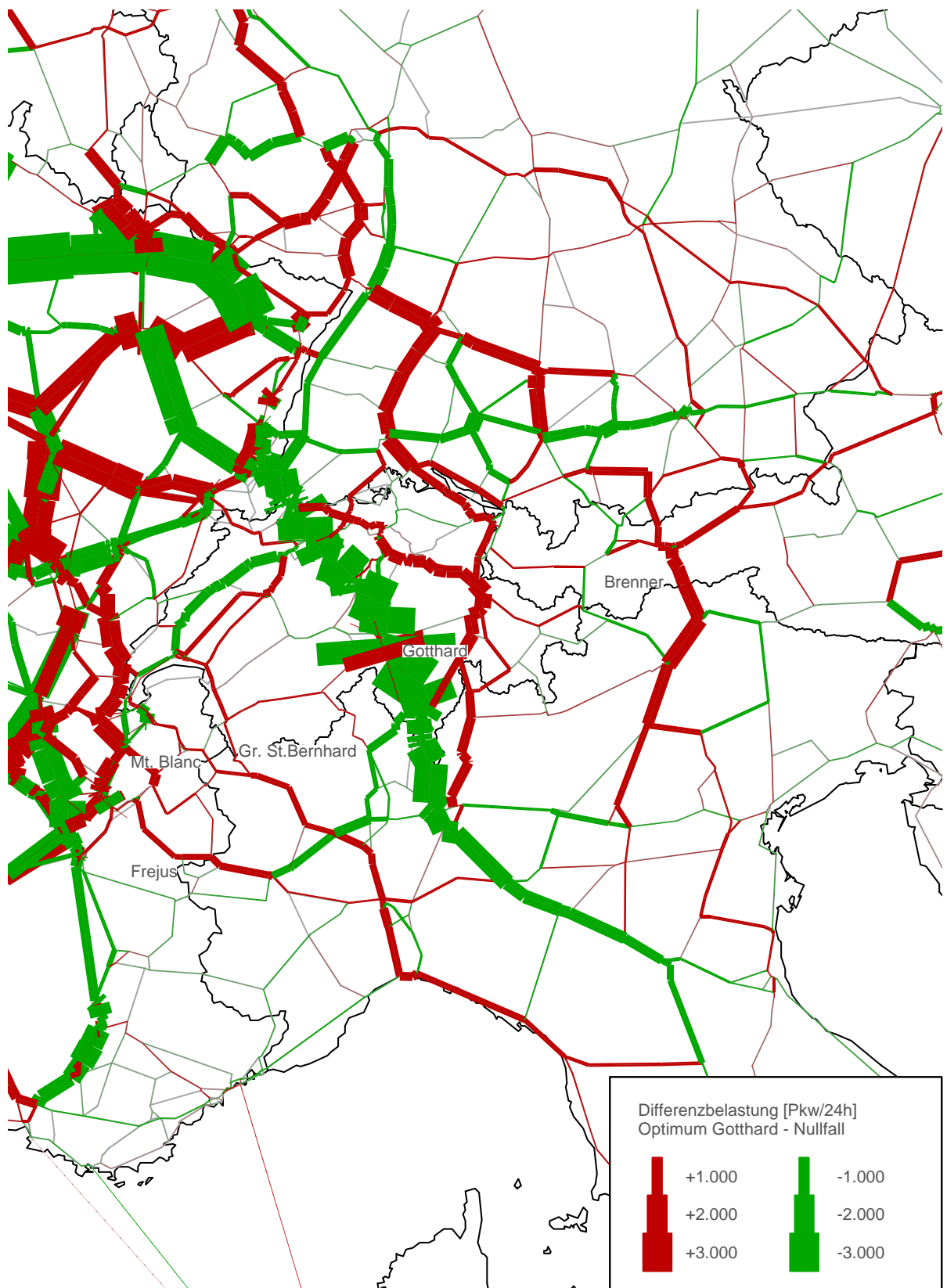


Abbildung 61 Pkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Gotthard, Detail Gotthard

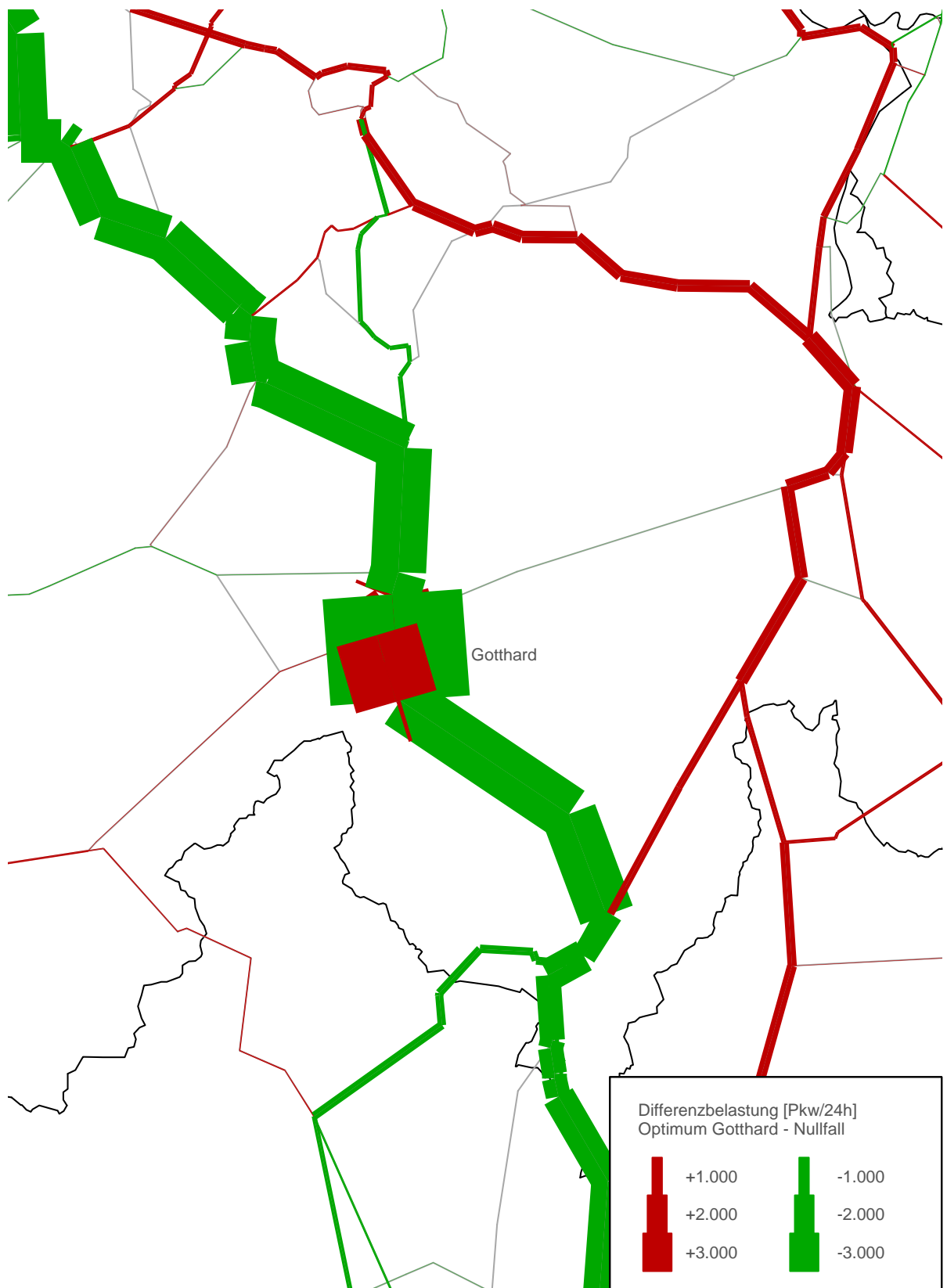


Abbildung 62 Lkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Gotthard

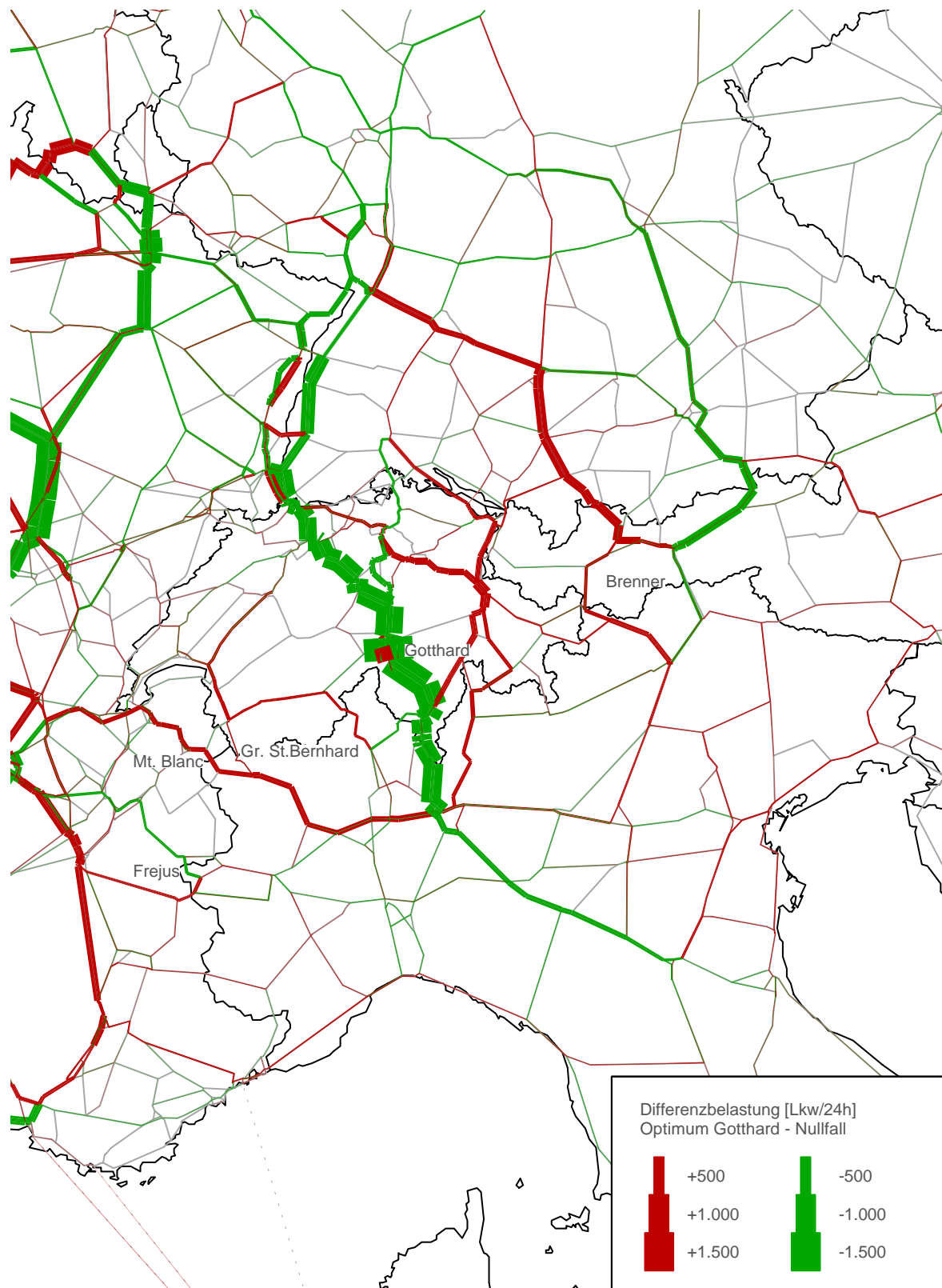


Abbildung 63 Lkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Gotthard, Detail Gotthard

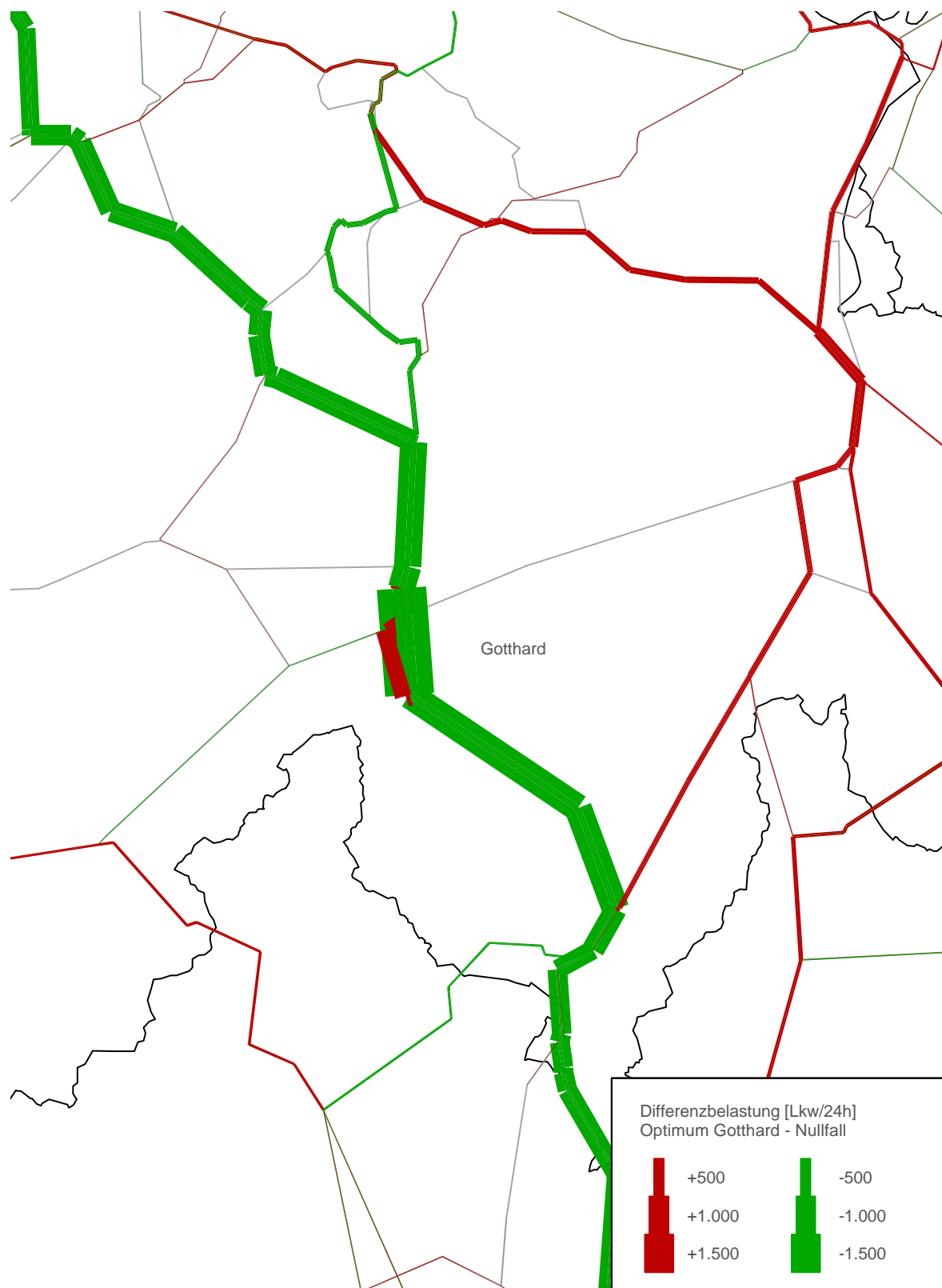


Abbildung 64 Pkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Gotthard

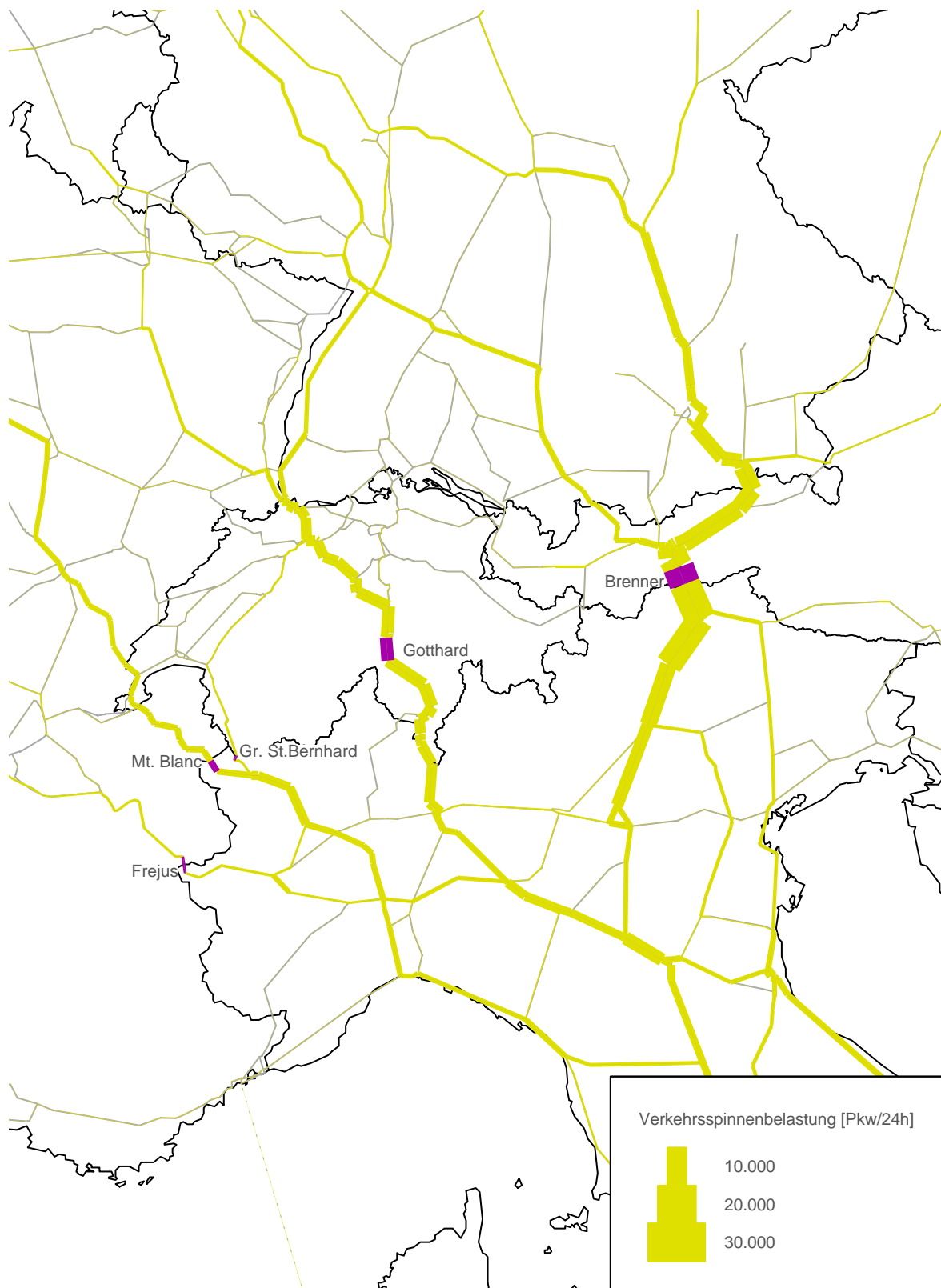
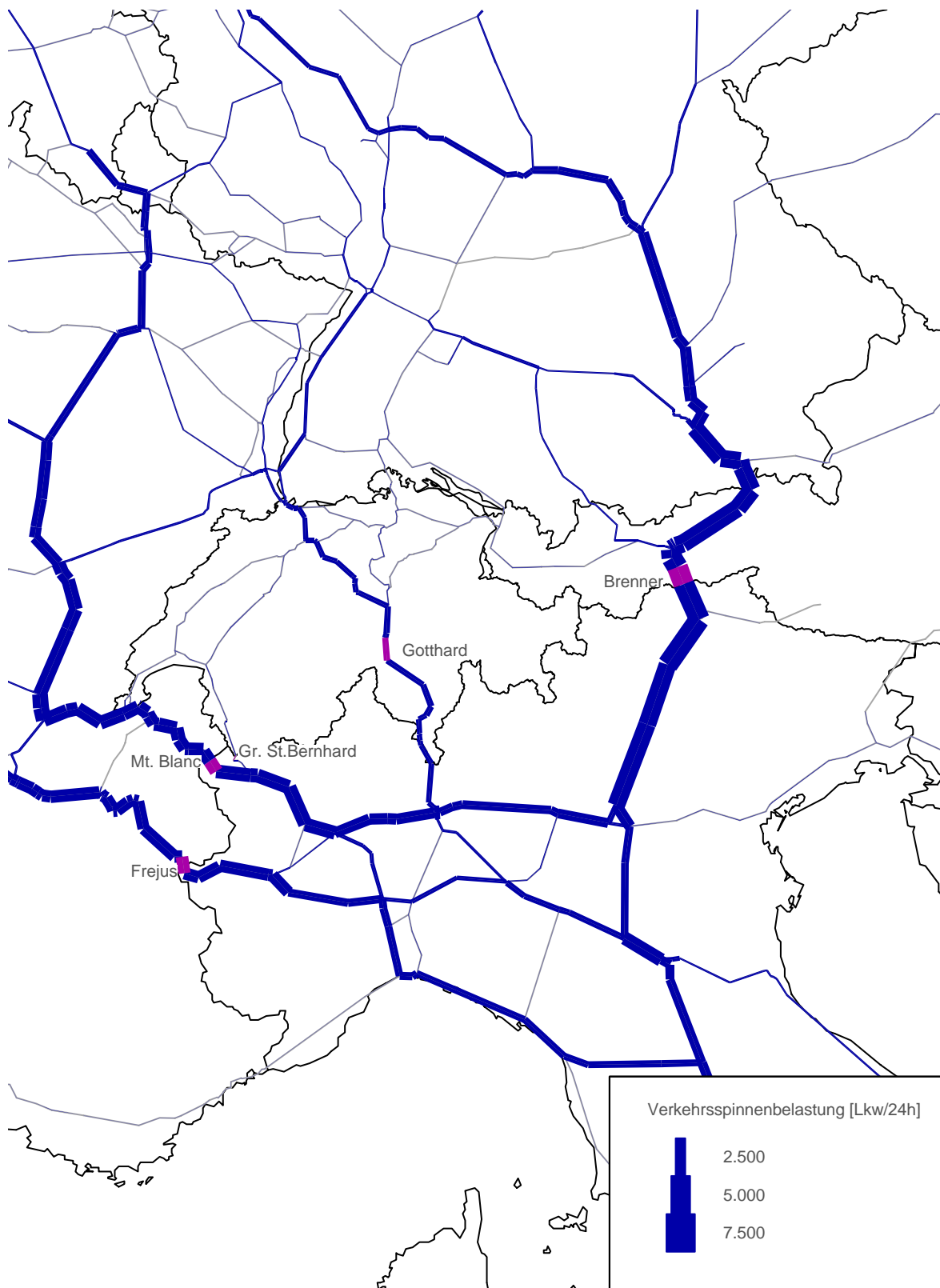


Abbildung 65 Lkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Gotthard



6.8 Grafische Auswertungen Brenner-Autobahn

Abbildung 66 Pkw-Belastung Brenner in [Fzg/24h], Bezugsmauten Brenner

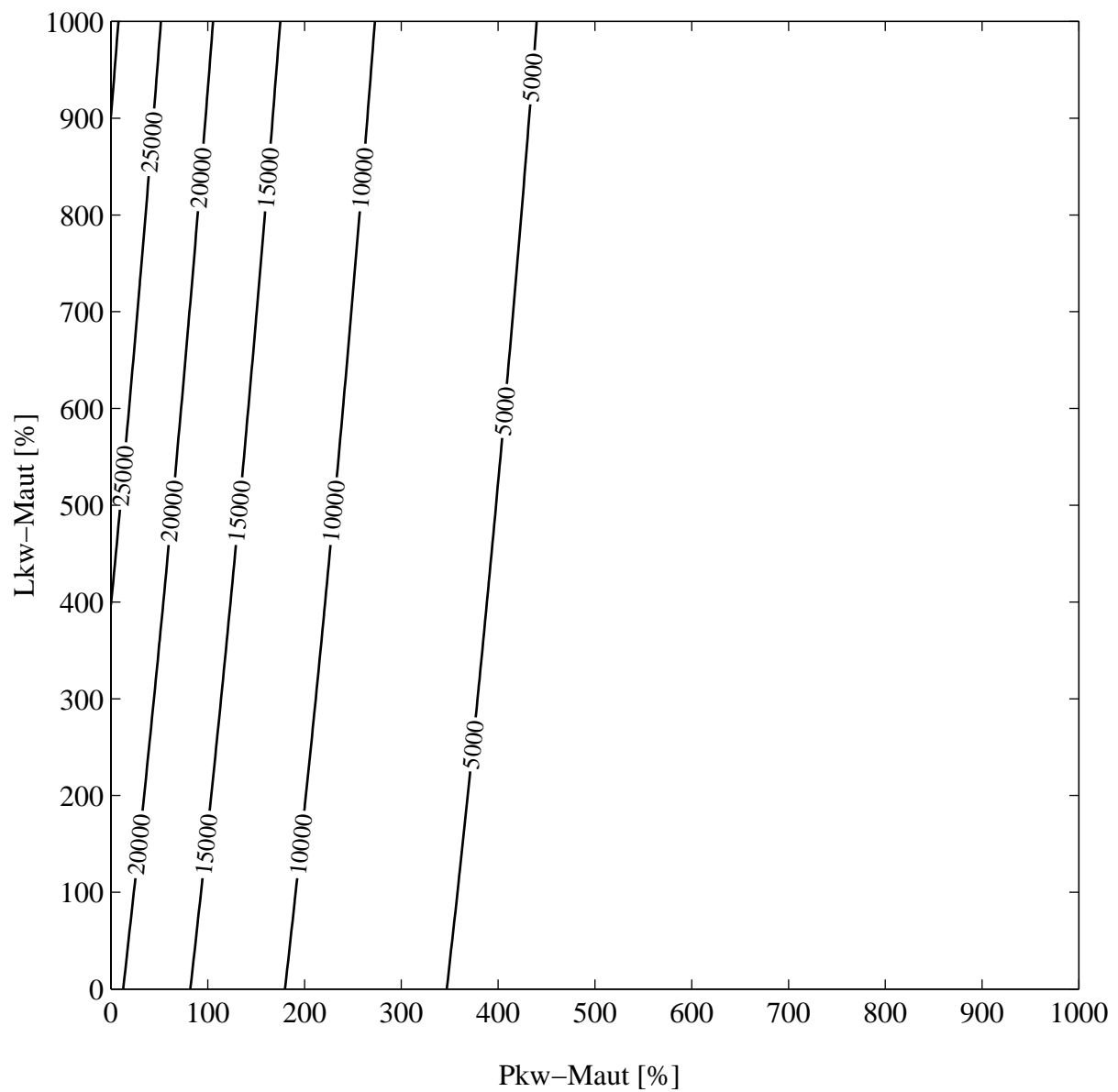


Abbildung 67 Lkw-Belastung Brenner in [Fzg/24h], Bezugsmauten Brenner

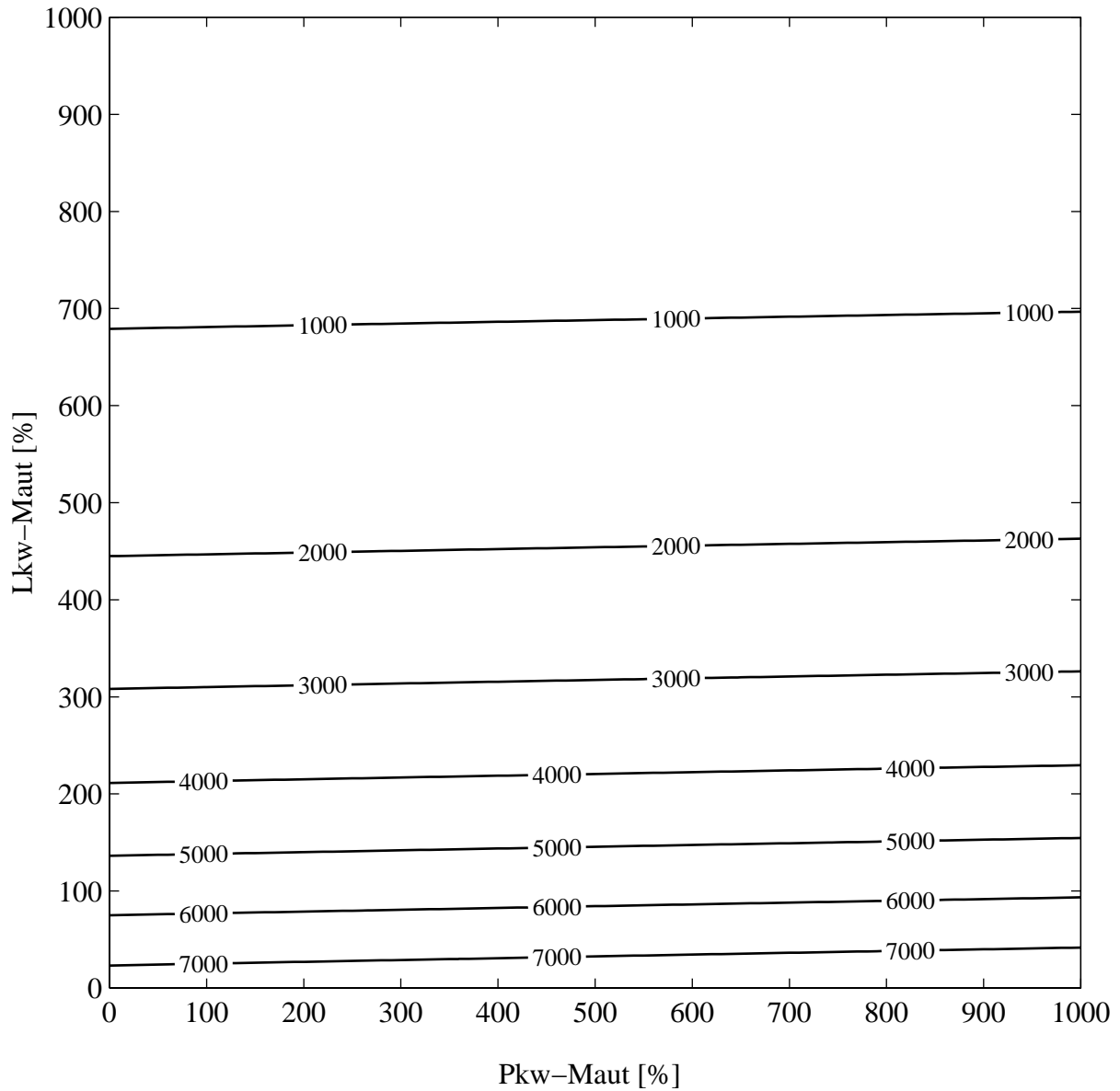


Abbildung 68 Mauteinnahmen Brenner in $[ECU_{KKP}/24h]_{98}$, Bezugsmauten Brenner

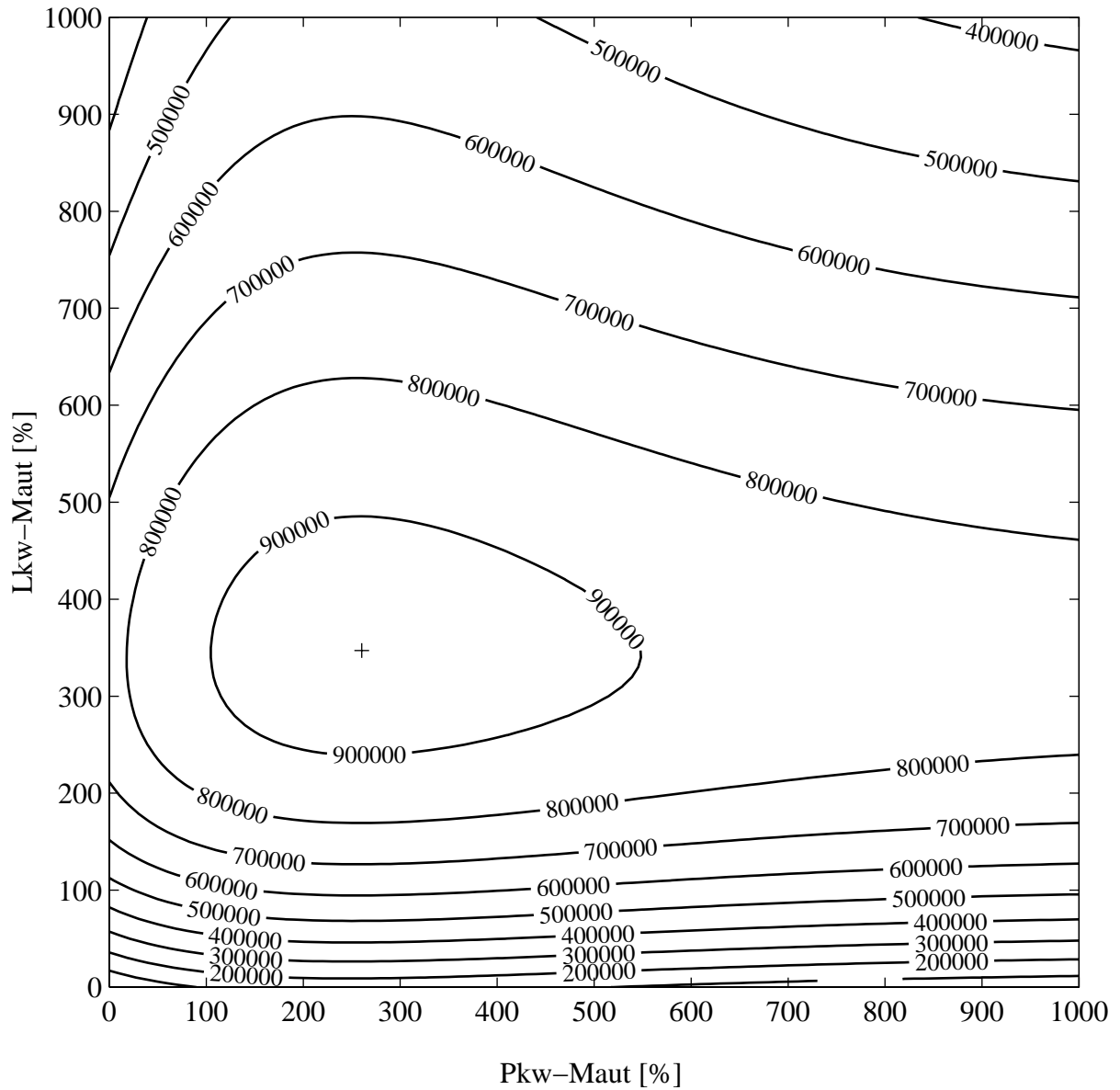


Abbildung 69 Pkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Brenner

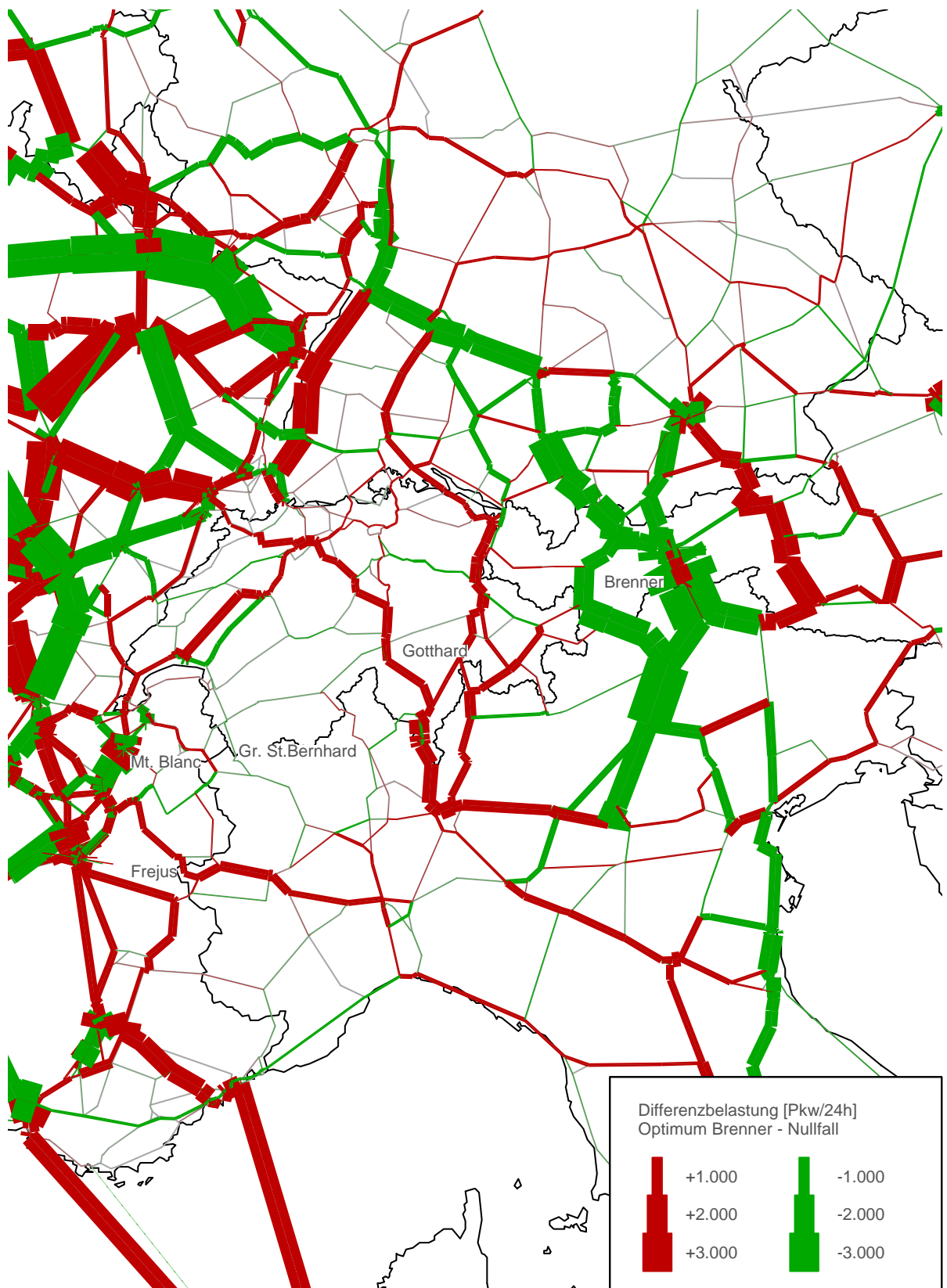


Abbildung 70 Pkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Brenner, Detail Brenner

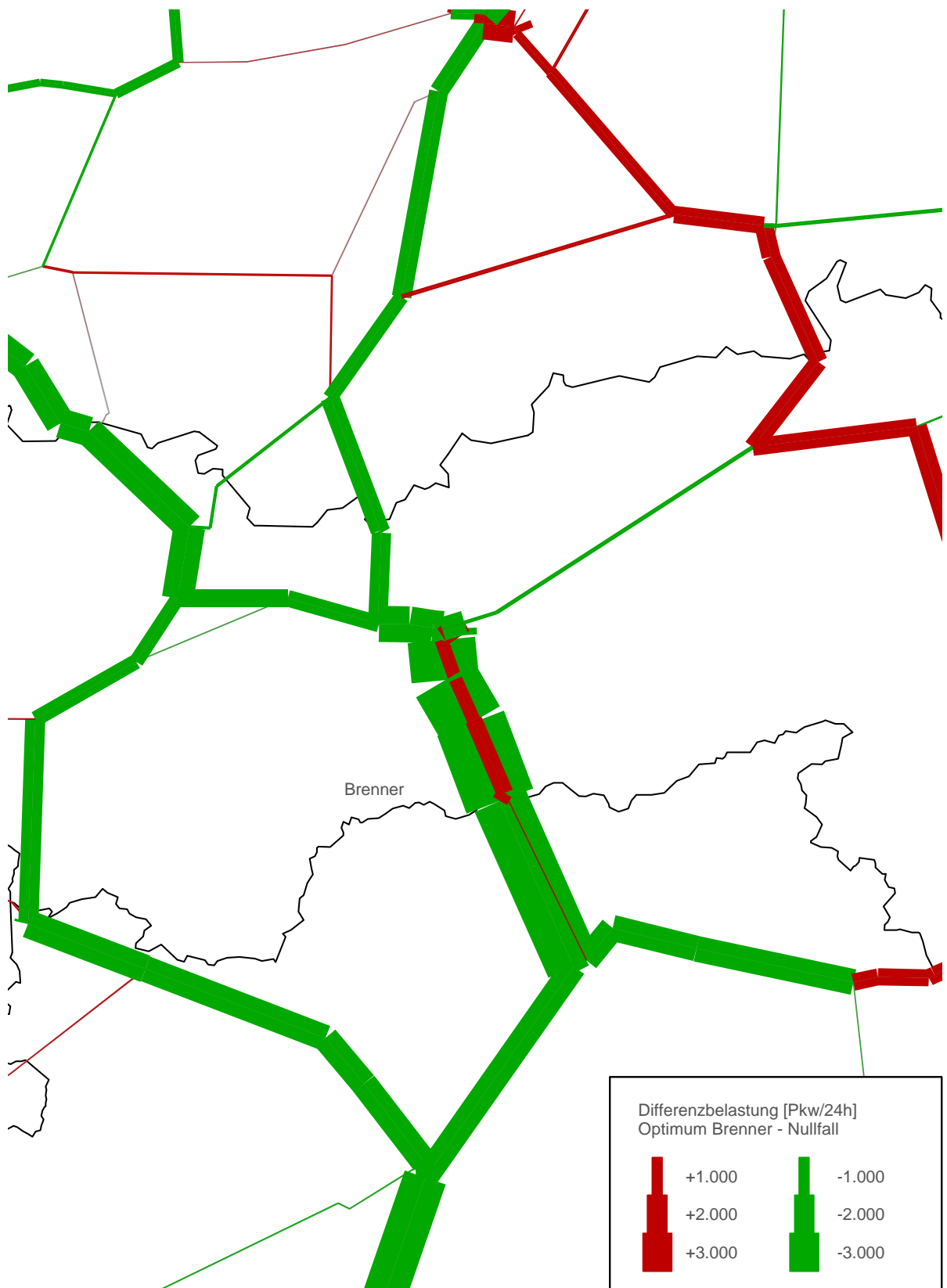


Abbildung 71 Lkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Brenner

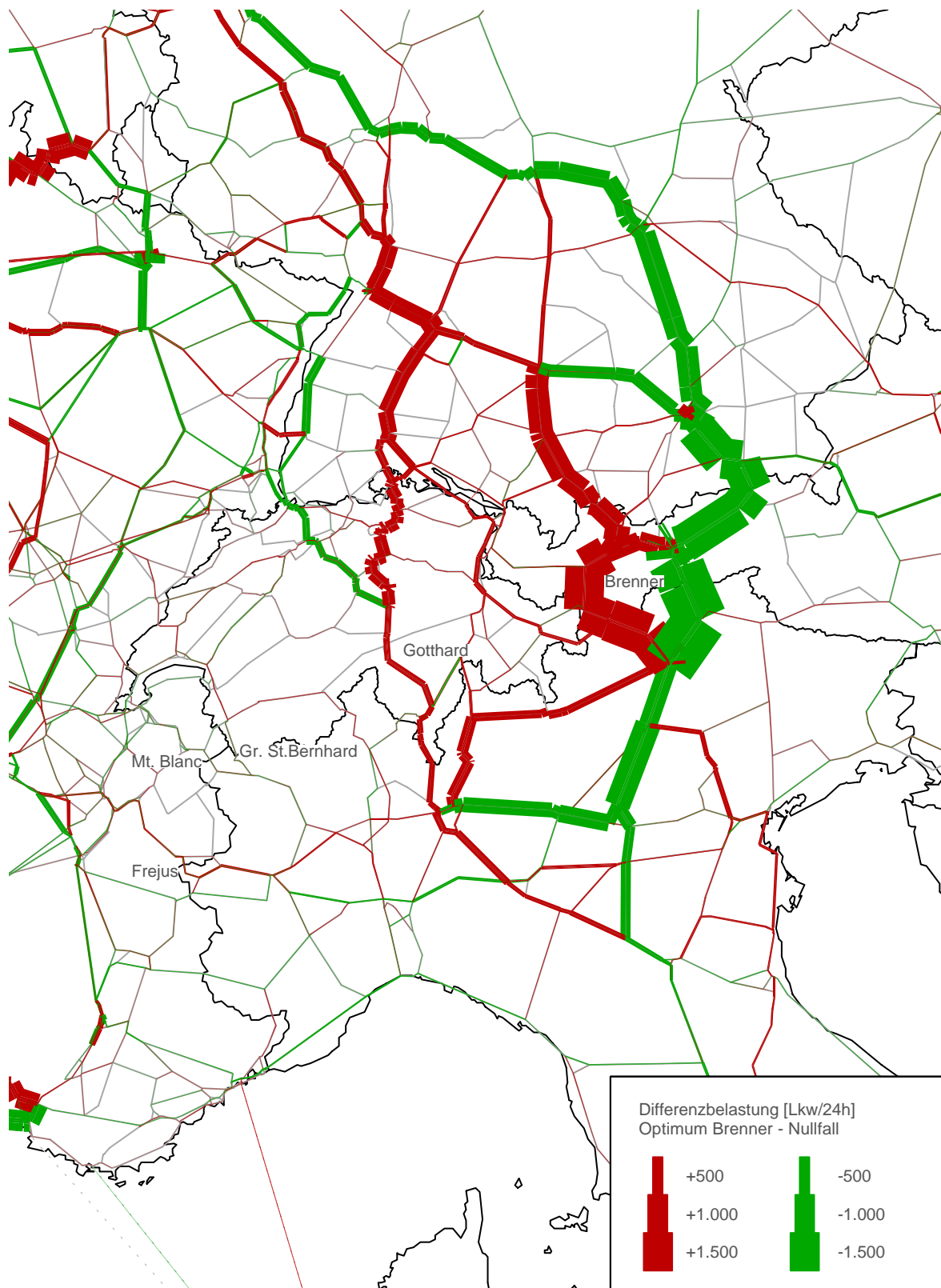


Abbildung 72 Lkw-Belastungsabweichungen bei Mautoptimum Brenner, Detail Brenner

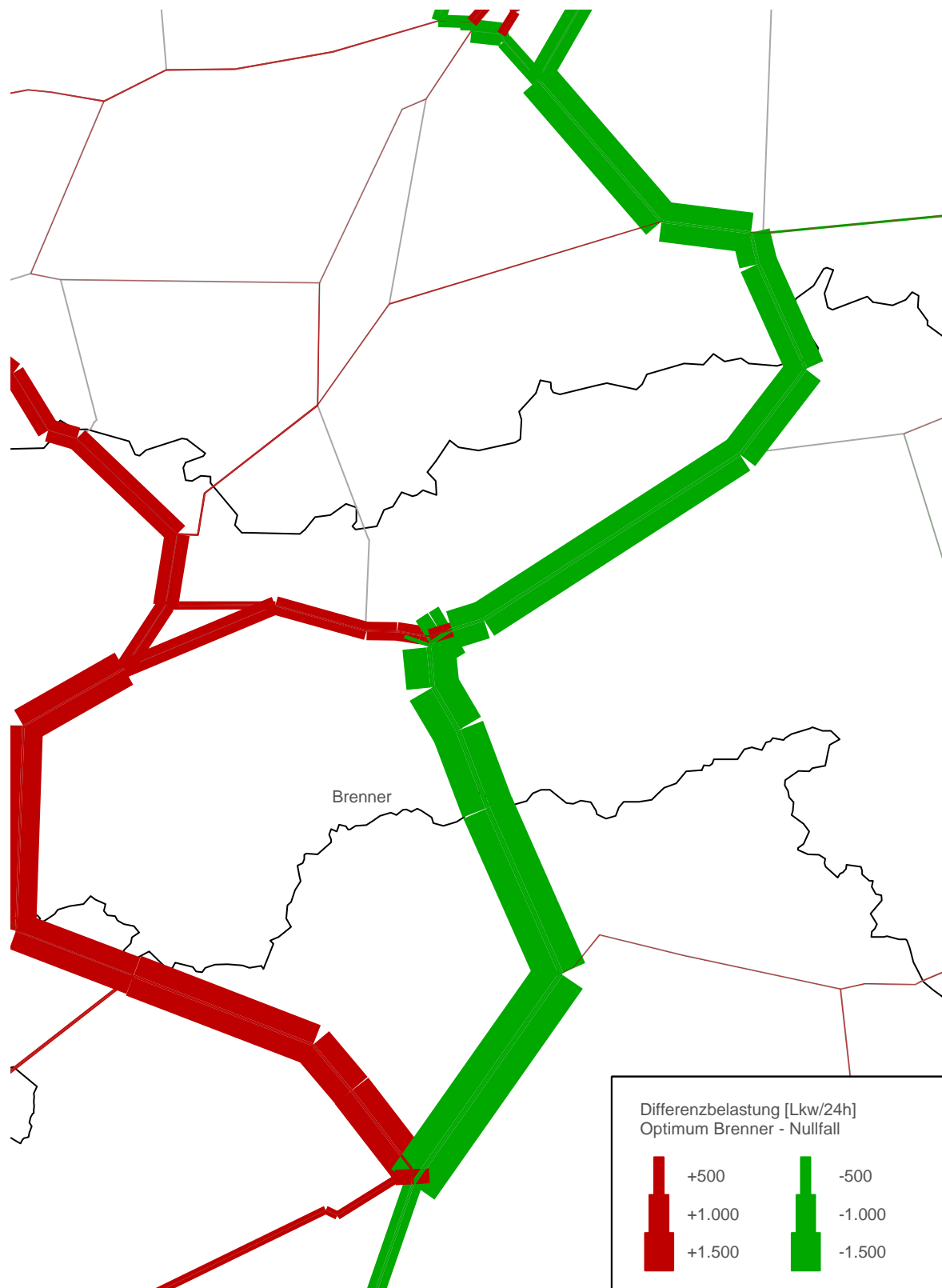


Abbildung 73 Pkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Brenner

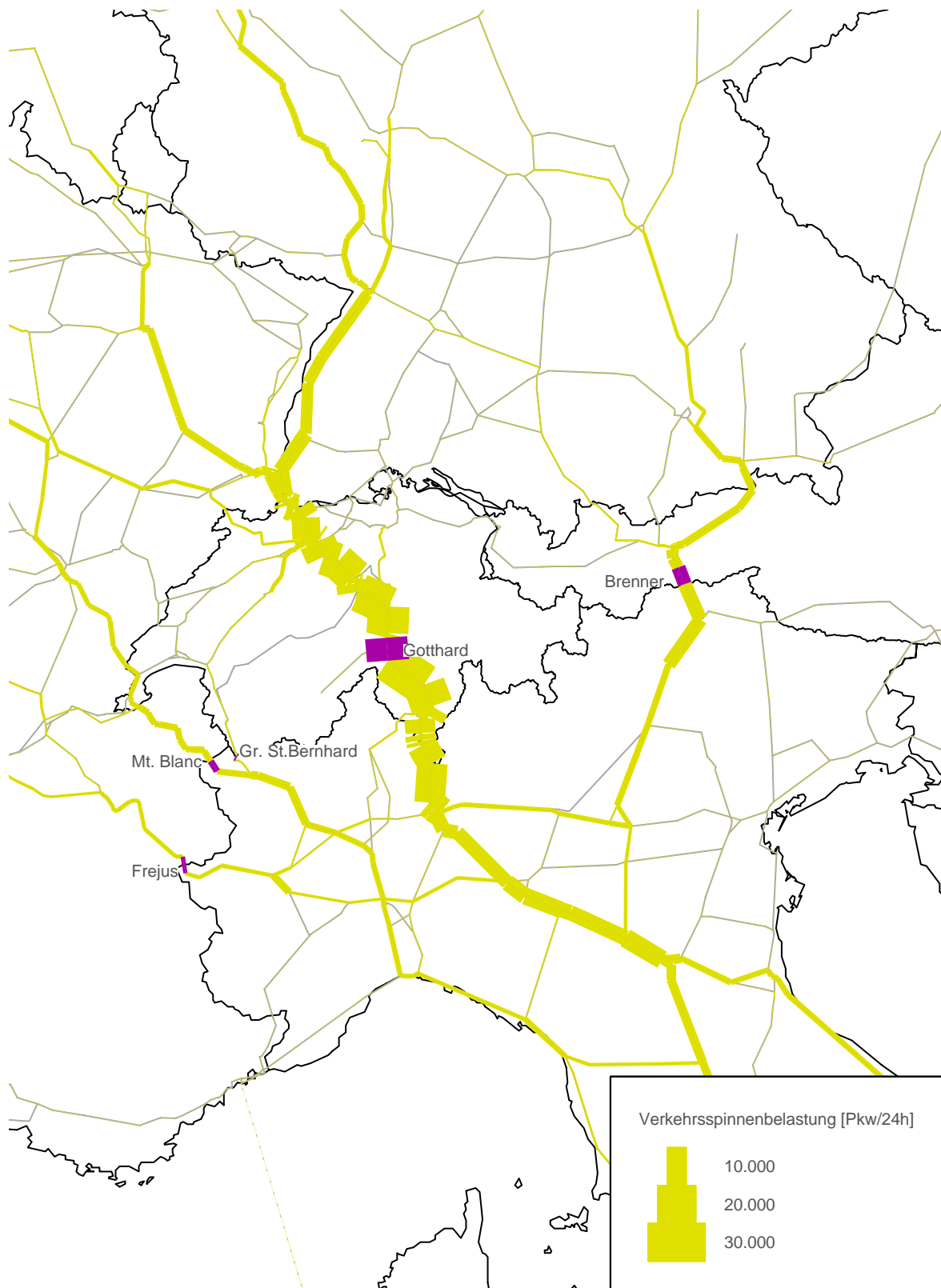
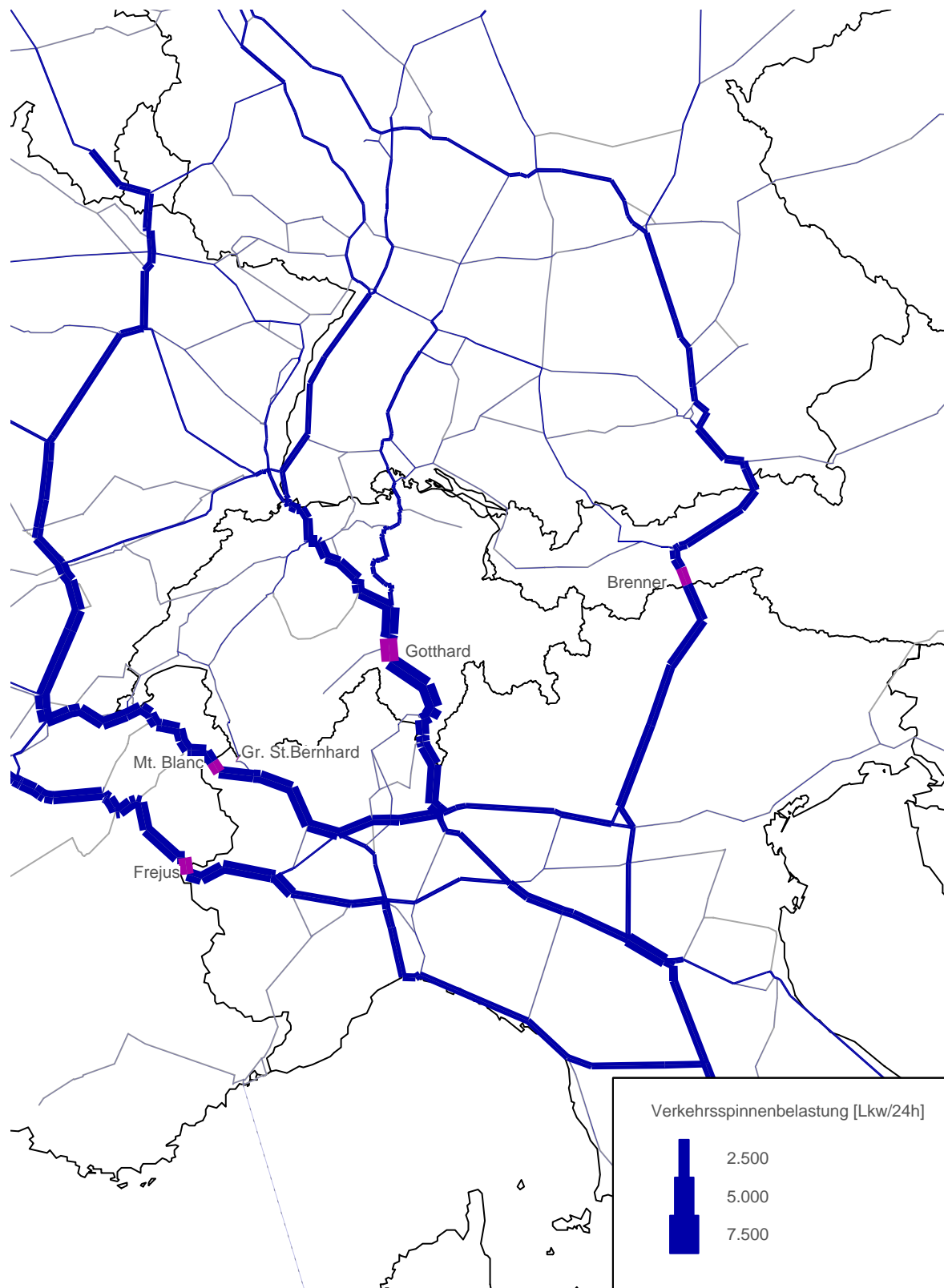


Abbildung 74 Lkw-Verkehrsspinnen bei Mautoptimum Brenner



7. Zusammenfassung und Ausblick

Die Mautvariationen auf den wichtigen Alpenübergängen des inneren Alpenbogens führen zu durchwegs plausiblen Pkw- und Lkw-Mauteinstellungen, bei denen die Mauteinnahmen der jeweiligen Betreibergesellschaft maximiert werden können. Einzige Ausnahme stellt die Pkw-Mautgebühr am Mt. Blanc-Tunnel dar, welche erst sehr spät zu einem Mauteinnahmenmaximum führt. In Abhängigkeit von der Verkehrszusammensetzung, dem Verhältnis Lkw-Maut zu Pkw-Maut und der Möglichkeit, Alternativrouten zu benützen, ist das Aussehen der berechneten Mauteinnahmenflächen unterschiedlich. Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Frejus-Tunnel:

Im Analysejahr 1998 mit seinen ursprünglichen Mautzuständen liegt der Anteil der Lkw-Mauteinnahmen bei 92% der Gesamteinnahmen, bedingt durch den sehr hohen Schwerverkehrsanteil am durchschnittlichen täglichen Verkehr von 59% und dem Verhältnis Lkw-Maut zu Pkw-Maut von 6,3. Eine Veränderung der Pkw-Mauten zeigt daher nur geringe Auswirkungen auf die Höhe der Gesamteinnahmen, hingegen ist der Einfluss einer veränderten Lkw-Maut klar an den Verläufen der Isolinien konstanter Mauteinnahmen erkennbar. Das Mauteinnahmenmaximum wird durch die folgenden Mauteinstellungen und IV-Belastungen beschrieben. Die relativen Angaben erfolgen in Bezug zu den ursprünglichen Mauten und Belastungen am Frejus-Tunnel:

- Pkw-Maut von 386% bzw. 85,77 ECU_{KKP},
Pkw-Belastung von 533 Pkw/24h, d.h. -66,4% bzw. -1.052 Pkw/24h,
- Lkw-Maut mit 137% bzw. 192,43 ECU_{KKP},
Lkw-Belastung von 2.412 Lkw/24h, d.h. -20,9% bzw. -640 Lkw/24h,
- Mauteinnahmen von 511.600 ECU_{KKP}/24h, d.h. +10% bzw. +46.370 ECU_{KKP}/24h.

- Mt. Blanc-Tunnel:

Aufgrund des hohen Schwerverkehrsanteils von 42% und einem ähnlichen Verhältnis Lkw-Maut zu Pkw-Maut von 6,4 liegt der Anteil der Lkw-Mauteinnahmen bei 89% der Gesamteinnahmen des ursprünglichen Analysejahres 1998. Der Einfluss einer veränderten Pkw-Maut ist größer als beim Frejus, das Optimum der Pkw-Maut stellt sich jedoch erst sehr spät ein. Die Isolinien konstanter Mauteinnahmen zeigen auch hier eine Orientierung, welche relativ unabhängig von der Pkw-Mauteinstellung ist. Die folgenden Mauteinstellungen bewirken ein Mauteinnahmenmaximum mit seinen zugehörigen IV-Belastungszuständen. Die relativen Angaben beziehen sich dabei auf die ursprünglichen Mauten und Belastungen am Mt. Blanc-Tunnel:

- Pkw-Maut mit 894% bzw. 188,65 ECU_{KKP},
Pkw-Belastung von 1.143 Pkw/24h, d.h. -59,0% bzw. -1.645 Pkw/24h,
 - Lkw-Maut mit 278% bzw. 396,59 ECU_{KKP},
Lkw-Belastung von 1.792 Lkw/24h, d.h. -47,0% bzw. -1.592 Lkw/24h,
 - Mauteinnahmen von 926.300 ECU_{KKP}/24h, d.h. +70% bzw. +381.560 ECU_{KKP}/24h
- Großer St. Bernhard-Tunnel:

Der Große St. Bernhard-Tunnel leistet grundsätzlich keinen wesentlichen Beitrag zur Bewältigung des alpenquerenden Verkehrsaufkommens. Im ursprünglichen Analysejahr 1998 beträgt der Schwerverkehrsanteil 9% und das Verhältnis Lkw-Maut zu Pkw-Maut 5,1. Der Lkw-Mauteinnahmenanteil liegt daher bei nur 45% der gesamten Einnahmen des Jahres 1998. Der Verlauf der Isolinien konstanter Mauteinnahmen zeigt, dass die Änderungen der Lkw-Maut einen im Vergleich zur Pkw-Maut geringeren Einfluss auf die Höhe der Gesamteinnahmen haben. Das Pkw-Mautoptimum liegt erstmals unterhalb der ursprünglich eingehobenen Mautgebühr. Das Einnahmenmaximum wird wie folgt erzielt, wobei die Angaben der relativen Werte in Bezug zu den ursprünglichen Zuständen am Gr. St. Bernhard-Tunnel erfolgen:

- Pkw-Maut mit 76% bzw. 10,10 ECU_{KKP},
Pkw-Belastung von 1.326 Pkw/24h, d.h. +36,8% bzw. +357 Pkw/24h,
 - Lkw-Maut mit 195% bzw. 133,40 ECU_{KKP},
Lkw-Belastung von 93 Lkw/24h, d.h. -39,2% bzw. -60 Lkw/24h,
 - Mauteinnahmen von 25.780 ECU_{KKP}/24h, d.h. +10,5% bzw. +2.460 ECU_{KKP}/24h.
- Gotthard-Tunnel:

Im Analysejahr 1998 beträgt der Anteil des Schwerverkehrs im unbemauteeten Gotthard-Tunnel ungefähr 14% des durchschnittlichen täglichen Verkehrs. Bei fiktiv eingeführten Pkw- und Lkw-Mauten, gleich hoch wie am Großen St. Bernhard-Tunnel, liegt das ermittelte Pkw- und Lkw-Mautoptimum unterhalb dieser Mautgebühren. Die Isolinien konstanter Mauteinnahmen sind in Richtung der unabhängigen Variablen Pkw- und Lkw-Maut relativ symmetrisch, d.h. die prozentuellen Änderungen der Pkw- und Lkw-Mauten haben ähnlich große Auswirkungen auf die Höhe der Gesamteinnahmen. Das Einnahmenmaximum kann bei den folgenden Mauteinstellungen erreicht werden, wobei die relativen Mautangaben in Bezug zu den Mauten des Großen St. Bernhard-Tunnels und die relativen Belastungsabnahmen in Bezug zu den Zuständen des unbemauteeten Gotthard-Tunnels erfolgen:

- Pkw-Maut mit 56% bzw. 7,44 ECU_{KKP},
Pkw-Belastung von 8.433 Pkw/24h, d.h. -62,6% bzw. -14.121 Pkw/24h,
- Lkw-Maut mit 95% bzw. 64,99 ECU_{KKP},
Lkw-Belastung von 1.456 Lkw/24h, d.h. -67,1% bzw. -2.971 Lkw/24h,
- Mauteinnahmen von 157.380 ECU_{KKP}/24h.

- Brenner-Autobahn Innsbruck-Staatsgrenze:

Die ursprünglichen Verkehrszustände des Jahres 1998 zeigen auch auf der Brenner-Autobahn einen hohen Schwerverkehrsanteil von 20% am durchschnittlichen täglichen Verkehr. Zusammen mit der im Vergleich zur Pkw-Maut 10,5-fachen Lkw-Maut liegt der Anteil der Lkw-Mauteinnahmen im Jahr 1998 bei 81% der gesamten Mauteinnahmen. Ähnlich wie am Frejus und Mt. Blanc wirkt sich eine veränderte Lkw-Maut stärker auf die Höhe der Mauteinnahmen aus als eine veränderte Pkw-Maut. Das Mauteinnahmenmaximum wird durch die folgenden Mauteinstellungen und IV-Belastungen beschrieben. Die relativen Angaben erfolgen dabei in Bezug zu den ursprünglichen Mauten und Belastungen der Brenner-Autobahn:

- Pkw-Maut mit 260% oder 20,58 ECU_{KKP},
Pkw-Belastung von 8.338 Pkw/24h, d.h. -42,8% oder -6.233 Pkw/24h,
- Lkw-Maut mit 347% oder 287,31 ECU_{KKP},
Lkw-Belastung von 2.712 Lkw/24h, d.h. -51,6% oder -2.889 Lkw/24h,
- Mauteinnahmen von 946.830 ECU_{KKP}/24h, d.h. +64,5% bzw. +371.340 ECU_{KKP}/24h.

Eine Tarifierung nach den ermittelten Mautgebühren führt somit zu einer Mauteinnahmenmaximierung der lokalen Betreibergesellschaften und im Allgemeinen zu einer Verkehrsentslastung für die ansässige Bevölkerung. Die einzige Ausnahme stellt der Große St. Bernhard-Tunnel dar, wo die optimale Pkw-Maut unterhalb der ursprünglichen Gebühr liegt und daher die Pkw-Belastungen zunehmen. Eine Zielsetzung im Weissbuch der Europäischen Kommission (2001a), die Verkehrsmittelwahl zugunsten des Verkehrsträgers Schiene zu verbessern, wird durch diese isoliert gestalteten Mauttarife nur unwesentlich erreicht.

Die aufgrund der optimierten Mautgebühren erzielten Belastungszustände lassen grundsätzliche Tendenzen bei den Verteilungen auf die Alpenübergänge erkennen. Genaue Aussagen können jedoch nicht aus den Ergebnissen abgeleitet werden. Dazu müssten die Abbruchbedingungen bei den TRIBUT-Umlegungsparametern so eingestellt werden, dass ein sehr stabiler Gleichgewichtszustand im Verkehrsnetz erreicht wird. Der zeitliche Aufwand der Verkehrsmodellkalibrierung würde sich dadurch beträchtlich erhöhen, da eine entsprechend fein eingestellte Umlegung Rechenzeiten von ungefähr 40 Minuten verursacht (Pentium III-Computer, 550 MHz). Im Hinblick auf die qualitativ besseren Ergebnisse dürfte dies aber trotzdem gerechtfertigt sein.

Vorausgesetzt, dass die TRIBUT-Umlegungen stabile Ergebnisse liefern, könnte rückblickend die Methode bzw. Vorgehensweise zur Lokalisierung der Mauteinnahmenmaxima verbessert werden. In einem ersten Schritt würde es ausreichen, das Maximum der jeweiligen Mautein-

nahmen durch großzügige Abbruchbedingungen bei den TRIBUT-Parametern und durch große Schrittweiten bei den Deltamauten in VisumMautVariation zu lokalisieren. Durch weiteres Eingrenzen mit verfeinerten Einstellungen könnten schließlich die Mauteinnahmenmaxima mit denselben TRIBUT-Parametern berechnet werden, wie sie bei der Verkehrsmodellkalibrierung eingestellt wurden. Der Vorteil dieser Methode liegt im sparsameren Umgang mit den Rechenleistungen, da nur in den relevanten Bereichen mit einer erhöhten Genauigkeit gerechnet werden muss.

Eine Weiterführung dieser Diplomarbeit könnte zum einen darin bestehen, für alle Betreibergesellschaften gemeinsam eine Mauteinstellung zu finden, welche die Summe der Mauteinnahmen maximiert. Bei dieser gesamteuropäischen Maßnahme sollten sich dann eher die geforderten Verkehrsverlagerungen auf die Schiene einstellen. Zum anderen könnte es auch von großem Interesse sein, eine Mautoptimierung im Hinblick auf eine Maximierung der Überschüsse der Betreibergesellschaften durchzuführen. Es müssten zusätzlich Ansätze zu den auftretenden Kosten getroffen werden, welche abhängig von der tatsächlichen Verkehrsbelastung gestaltet sind. Ein besonderes Augenmerk sollte natürlich bei der Internalisierung der externen Kosten, verursacht durch Luftverschmutzung, Klimaänderung, Lärm, Unfälle und Staus, liegen.

8. Literatur

- Accent Marketing & Research und Hague-Consulting-Group (1999) The Value of Travel Time on UK Roads – 1994, Schlussbericht für das UK Department of Transport, The Hague.
- AISCAT (1998) Tariffe di pedaggio 1998, AISCAT, Roma.
- Alpen Straßen AG (1998a) Mauttarife 1998, Alpen Straßen AG, Innsbruck.
- Alpen Straßen AG (1998b) Geschäftsbericht 1998, Alpen Straßen AG, Innsbruck.
- ASFA (1998) Les Tarifs de Péage 1998, ASFA, Paris.
- Axhausen, K.W. und P.M. Jones (1991) Straßengebühren – Ein Instrument des Verkehrsmanagements, *Bauwelt*, **82** (12) 606-611.
- Axhausen, K.W. (1996a) Straßenverkehrstechnik II, Institut für Straßenbau und Verkehrsplanung, Universität Innsbruck.
- Axhausen, K.W. (1996b) Verkehrswirtschaft, Institut für Straßenbau und Verkehrsplanung, Universität Innsbruck.
- Axhausen, K.W. und P. Keller (2001) Hinweise zum Erstellen von studentischen Berichten, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, **76**, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT), ETH Zürich.
- Barbier-Saint-Hilaire, F., M. Friedrich, I. Hofsäß und W. Scherr (1999) TRIBUT – a Bicriterion Approach for Equilibrium Assignment, PTV AG, Karlsruhe.
- Brandt, E. und P. Schäfer (1996) Der alpenquerende Transitverkehr – auf der Suche nach "sustainable mobility", *Zeitschrift für Verkehrswissenschaft*, **67** (3) 204-238.
- Brilon, W., M. Großmann und H. Blanke (1994) Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufs auf Straßen, *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, **669**, Bundesminister für Verkehr (Hrsg.), Bonn.
- Dienst für Gesamtverkehrsfragen (1999a) Alpenquerender Güterverkehr auf Straße und Schiene 1998, *GVF-News*, **48/2**, http://www.admin.ch/gvf/inhalte/publikationen_g.html, Generalsekretariat des Eidgenössischen Departementes für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bern.
- Dienst für Gesamtverkehrsfragen (1999b) Alpenquerender Güterverkehr auf Straße und Schiene 1980, *Alpinfo*, **1998**, http://www.admin.ch/gvf/inhalte/publikationen_g.html, Generalsekretariat des Eidgenössischen Departementes für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bern.
- Dienst für Gesamtverkehrsfragen (2001) Aktuelle Zahlen zum Alpenquerenden Güterverkehr auf Straße und Schiene 1998-2000 (Alpenbogen Ventimiglia-Wien), http://www.admin.ch/gvf/inhalte/publikationen/alpinfo_g.html, Generalsekretariat des

- Eidgenössischen Departementes für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bern.
- EFD (2000a) Autobahnvignette, <http://www.zoll.admin.ch/d/rv/vignette.htm>, Eidgenössische Zollverwaltung, Bern.
- EFD (2000b) Pauschale Schwerverkehrsabgabe (PSVA), http://www.zoll.admin.ch/d/steuern/psva/psva_d.htm, Eidgenössische Zollverwaltung, Bern.
- Europäische Kommission (2001a) Die europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellungen für die Zukunft, *Weissbuch*, **KOM(2001) 370**, Europäische Kommission, Brüssel.
- European Commission (2001b) European Union Energy & Transport in Figures – Statistical pocket book, http://europa.eu.int/comm/energy_transport/etif/index.html, Directorate-General for Energy and Transport, European Commission, Brussels.
- Felbertauernstraße AG (1998), Mauttarife 1998, Felbertauernstraße AG, Lienz.
- Freytag-Berndt und Artaria (1998) *Autokarte Europa*, Freytag-Berndt und Artaria, Wien.
- FGSV (1997) *Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen – EWS*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- Friedrich, M. (2000) Visual Basic for Applications – Einstieg in die Makro-Programmierung für Excel & VISUM, PTV AG, Karlsruhe.
- Gruppe Z (1999) *Das Excel 2000 Buch*, Sybex-Verlag, Düsseldorf.
- Hanel, G., K. Schulze, A. Würtenberger und P. Zarda (1998) Programmieren in Visual Basic 1, Institut für Angewandte Physik, Universität Innsbruck.
- Hennighausen, A. (1999) Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe – Verkehrsverlagerung oder Steuerexport?, *Zeitschrift für Verkehrswissenschaft*, **70** (4) 257-273.
- Herry, M. und S. Judmayr (2000) Finanzielle Belastung der Straßenbenutzer in Europa, *Straßenforschung*, **488**, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten (Hrsg.), Wien.
- Kumar, A. (1980) Use of incremental form of logit models in demand analysis , *Transportation Research Record*, **775**, 21-27.
- Leurent, F. (1997) The distribution of car drivers' values-of-time in Marseilles – 1995, *Proceedings of the 23rd European Transport Conference*, 17-30, PTRC, London.
- Link, H., J.S. Dodgdon, M. Maibach und M. Herry (1999) *The Costs of Road Infrastructure and Congestion in Europe*, Physica-Verlag, Heidelberg
- Lorenz, W. (2000) Mikroökonomie online, <http://www.mikrooekonomie.de/moframe.htm>, Hochschule Harz, Wernigerode, Februar 2000.
- Microsoft (1997) Autoroute Express Europa 98, Microsoft Corporation, Seattle.

- Moser, E. (1999) Netzstruktur, Angebot und Nachfrage: Analyse am Beispiel der Stadt Innsbruck, Diplomarbeit, Institut für Straßenbau und Verkehrsplanung, Universität Innsbruck.
- Müssig, K., J. Löffelholz und G. Müller (1988) *Bank-Lexikon*, Gabler, Wiesbaden.
- Nadler und Steierwald (1999) Automatische Straßenverkehrszählung – Jahresauswertung 1998, Auftrag des Bundesministeriums für wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien.
- OECD (2000) Purchasing power parities for OECD countries, 1970-1999, <http://www.oecd.org/std/nadata.htm>, OECD, Paris, Mai 2000.
- ÖAMTC (1998a) Mautgebühren in Österreich 1998, ÖAMTC, Wien.
- ÖAMTC (1998b) Tunnels und Bahnverladungen in der Schweiz, Italien und Frankreich 1998, ÖAMTC, Wien.
- ÖNB (1998) Mittelkurse für Devisen, *Statistisches Monatsheft*, **12**, Österreichische Nationalbank, Wien.
- ÖSAG (1998a) Mauttarife 1998, Österreichische Autobahnen- und Schnellstraßen-AG, Salzburg.
- ÖSAG (1998b) Vignettentarife 1998, <http://www.vignette.at/>, Österreichische Autobahnen- und Schnellstraßen-AG, Salzburg.
- ÖSTAT (1997) Kaufkraft in Ost und West, *Beiträge zur österreichischen Statistik*, **1.219**, Österreichisches Statistisches Zentralamt, Wien.
- Prognos AG, Regional Consulting und ISIS (1997), Study of the Development of Transalpine Traffic (Goods and Passengers) Horizon 2010, Commissioned by the European Commission for Transport DG VII, Basel, Wien und Paris.
- PTV AG (1999) *Benutzerhandbuch VISUM Version 7.0*, PTV AG, Karlsruhe.
- PTV AG (2000) *VISUM COM für Visual Basic*, PTV AG, Karlsruhe.
- RAPP AG (1999) Grenzquerender Straßengüterverkehr 1998, GVF-Auftrag **317** des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen des Eidgenössischen Departementes für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bern.
- Schnabel, W. und D. Lohse (1997) *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung*, Verlag für Bauwesen GmbH, Berlin.
- SIGMAPLAN (1999) Schwere Güterfahrzeuge und Gütermengen durch die Schweizer Alpen 1998, GVF-Auftrag **294/2** des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen des Eidgenössischen Departementes für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bern.
- Sigmon, K. (1993) MATLAB Primer Third Edition, Department of Mathematics, University of Florida, Gainesville.
- Statistik Austria (2000) Verbraucherpreisindex, <http://www.statistik.at/>, Statistik Austria, Wien.

- Stickler, H. und R. Hafele (1995) Entwicklung des Umwegtransits über den Brenner, Auftrag des Amtes der Tiroler Landesregierung, Innsbruck.
- Tiefenthaler, H. und M. Sölder (1994) Einführung in das Straßenverkehrswesen, Institut für Straßenbau und Verkehrsplanung, Universität Innsbruck.
- UN/ECE (1998) *1995 Census of Motor Traffic on Main International Traffic Arteries in Europe*, United Nations Economic Commission for Europe, Geneva.
- Weber, P. (1999) Einführung in MATLAB 5.3, Rechenzentrum, Universität Karlsruhe.
- Wirtschaftskammer Tirol (1997) Deutschland – Erhöhung der Autobahn-Jahresgebühren, *Fernverkehr Aktuell*, **16**, Sektion Transport, Verkehr und Telekommunikation, Wirtschaftskammer Tirol, Innsbruck.
- Wirtschaftskammer Tirol (2000) Der aktuelle Gesetzestext: Straßenbenutzungsabgabengesetz und Kraftfahrzeugsteuergesetz, *Rechtsinfo*, Sektion Transport, Verkehr und Telekommunikation, Wirtschaftskammer Tirol, Innsbruck.
- Yang, H. und K.K. Woo (2000) Competition and Equilibria of Private Toll Roads in a Traffic Network, Vortrag, Transportation Research Board 79th Annual Meeting, Washington D.C., January 2000.

Anhang A Aufgabenstellung

Verteilungswirkungen der Mauten im Alpenraum

**Diplomarbeit für
cand.-ing. Stefan Troyer**

Die Länder im Alpenbogen (Österreich, Schweiz, Frankreich und Italien) steuern die Nachfrage im Verkehrsnetz zum Teil über die erhobenen Mauten und Vignetten. Die Auswirkungen dieser Mauten soll im Detail untersucht werden, insbesondere für den Fall der fehlenden Kooperation zwischen den beteiligten Länder.

Grundlage sind ein vorhandenes Netzmodell und zugehörige Nachfragematrizen, die entsprechend anzupassen und zu überprüfen sind.

Die folgenden Arbeitsschritte sind vorgesehen:

- Umsetzung des vorhandenen Modells in das System VISUM, falls sinnvoll unter Vereinfachung des Netzes und der Zonierung, respektive Ergänzungen aus den Netzen des BVWP's und des Dienstes GVF.
- Grobe Kalibrierung unter Verwendung vorhandener Zählergebnisse bei Berücksichtigung der vorhandenen Mauten und Gebühren.
- Ergänzung des Modells um die Option "Nachfrageunterdrückung".
- Entwicklung eines angemessenen Ansatzes zur Berechnung der Einnahmen und Kosten auf den nationalen Netzen; respektive der sozialen Kosten (Link, Herry *et al.*, 1999).
- Ermittlung der Preise, welche die Summe aller Einnahmen oder die Summe aller Überschüsse maximiert, respektive die sozialen Kosten minimiert.

Wenn zeitlich möglich sollten zusätzlich die Preise ermittelt werden, die sich einstellen würden, wenn jedes Land versuchen würde, seine Überschüsse isoliert zu maximieren.

Die Daten und Modelle, die im Rahmen dieser Arbeit zur Verfügung gestellt werden, dürfen nicht an Dritte weitergegeben werden.

Die "Empfehlungen zur Erstellung von studentischen Arbeiten" sind bei der Erstellung der Arbeit zu verwenden.

Die verwendeten Excel-Tabellen und VISUM-Daten sind in der Arbeit zu dokumentieren. Die Datensätze sind zu beschreiben und mit der Arbeit abzugeben.

Eine Zwischenbesprechung findet spätestens alle vier Wochen statt (telefonisch, wenn möglich persönlich).

Betreuer: Prof. Axhausen

Ausgabe:

Abgabe:

Korrektur:

Endbesprechung:

Anhang B Programm PolyVisum

Das Programm PolyVisum ermöglicht die Konvertierung von Verkehrsmodellldaten aus dem POLYDROM-Format in das VISUM-Format. Die Erzeugung einer VISUM-Netzdatei ist mit der vorliegenden PolyVisum-Programmversion nur für den Individualverkehr möglich, VISUM-Fahrtenmatrizen können für den IV und den ÖV generiert werden. Eine Installation der ausführbaren Programmdatei PolyVisum.exe kann in jedem beliebigen Verzeichnis erfolgen. Für einen ordnungsgemäßen Programmablauf ist außerdem dafür zu sorgen, dass sich die ActiveX-Steuerelementdateien COMDLG32.ocx und COMCTL32.ocx im Microsoft Windows-Verzeichnis System befinden, z.B. C:\Windows\System\COMCTL32.ocx. Alle zur Installation von PolyVisum erforderlichen Dateien sind auf der beiliegenden CD-ROM gespeichert; siehe Anhang E.

B.1 Programmfunktionen

Die Menüleiste von PolyVisum beinhaltet die folgenden Menüs mit ihren jeweiligen Funktionen:

- Datei

Initialisieren Polydrom ...:	Rücksetzen der belegten POLYDROM-Felder
Initialisieren Visum ...:	Rücksetzen der belegten VISUM-Felder
Beenden ...:	Beenden von PolyVisum
- Polydrom

Zeitbereich ...:	Einlesen der POLYDROM-Datei OPTION.var
Definitionen ...:	Einlesen der POLYDROM-Datei IPDEFN.000
Belegungsgrade ...:	Einlesen der POLYDROM-Datei IPOCCU.var
Angebotsfunktionen ...:	Einlesen der POLYDROM-Datei IPSUPL.var
Zonen ...:	Einlesen der POLYDROM-Datei INZONE.var
Knoten ...:	Einlesen der POLYDROM-Datei INNODE.var
Strecken ...:	Einlesen der POLYDROM-Datei INLINK.var
Matrix ...:	Einlesen der POLYDROM-Datei INTRIP.var
Grafikelemente ...:	Einlesen der POLYDROM-Datei IPGRAF.var
- Visum

Netz ...:	Erzeugen der VISUM-Datei *.net
Matrix ...:	Erzeugen der VISUM-Datei *.fma
Grafik HGT ...:	Erzeugen der VISUM-Datei *.hgt

- Hilfe

Hilfethemen ...

Info ...

In Abbildung B-1 bis Abbildung B-3 sind für die verschiedenen PolyVisum-Visum-Funktionen die Eingabedateien aufgelistet, welche mit den entsprechenden PolyVisum-Polydrom-Funktionen eingelesen werden müssen. Die Ausgabedateien stellen den Output der jeweiligen PolyVisum-Visum-Funktionen dar.

Abbildung B-1 Funktion Visum-Netz

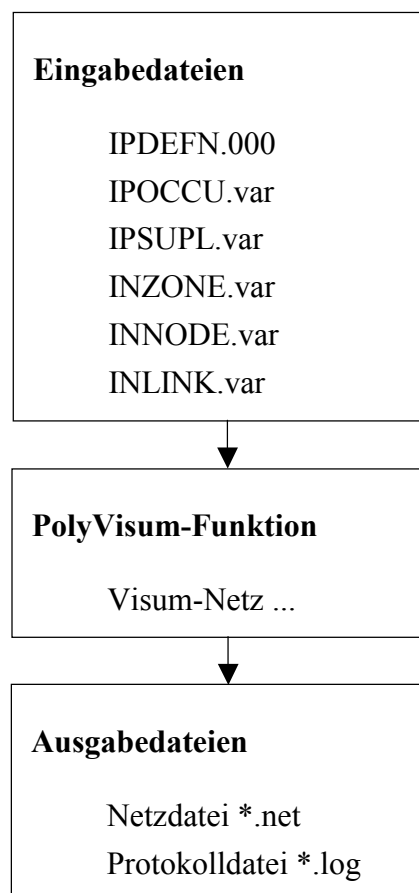


Abbildung B-2 Funktion Visum-Matrix

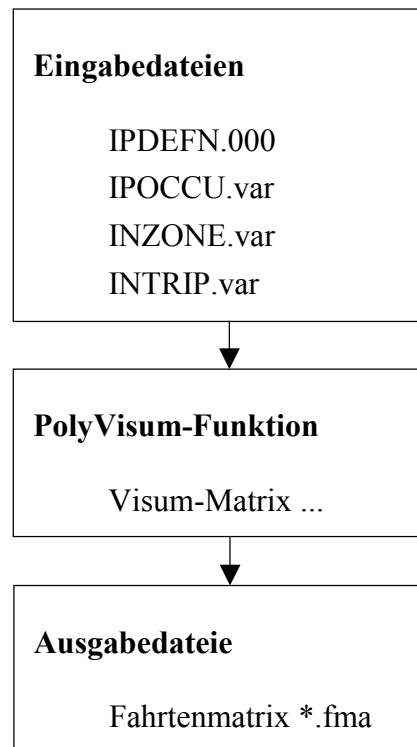
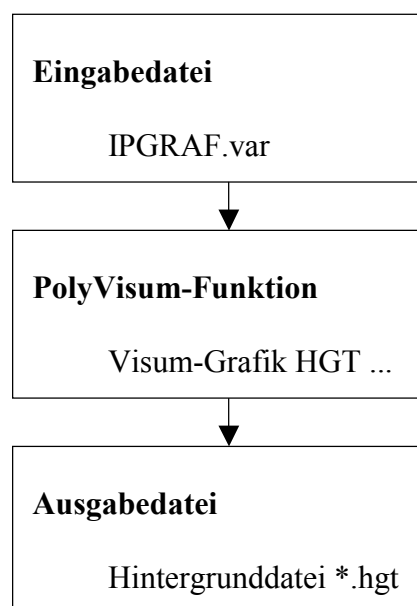


Abbildung B-3 Funktion Visum-Grafik HGT



Anhang C Programm VisumMautVariation

Das Programm VisumMautVariation variiert Mauteinstellungen auf VISUM-Strecken und wertet die entsprechenden Umlegungsergebnisse in einer Excel-Datei *.xls aus. Die Berechnungen können wahlweise mit oder ohne der Option einer Nachfrageunterdrückung durchgeführt werden., wobei die zu variierenden und auszuwertenden Strecken nicht dieselben sein müssen. Eine Installation der ausführbaren Programmdatei VisumMautVariation.exe kann in jedem beliebigen Verzeichnis erfolgen. Die Ausführung von VisumMautVariation setzt jedoch die Programme Excel und VISUM voraus, d.h. Excel 2000 und deutsches bzw. englisches VISUM 7.52. Außerdem muss dafür gesorgt werden, dass sich die ActiveX-Steuerelementdateien COMDLG32.ocx und COMCTL32.ocx im Microsoft Windows-Verzeichnis System befinden, z.B. C:\Windows\System\COMCTL32.ocx. Alle zur Installation von VisumMautVariation erforderlichen Dateien sind auf der beiliegenden CD-ROM gespeichert; siehe Anhang E.

C.1 Programmfunktionen

Die Menüleiste von VisumMautVariation beinhaltet die folgenden Menüs mit ihren jeweiligen Funktionen:

- Datei
 - Initialisieren Visum ...: Rücksetzen der belegten VISUM-Felder
 - Initialisieren Kosten ...: Rücksetzen der belegten Kosten-Felder
 - Initialisieren Mautvariation ...: Rücksetzen der Einstellungen unter Mautvariation
 - Beenden ...: Beenden von VisumMautVariation
- Visum
 - Version ...: Einlesen der VISUM-Datei *.ver
 - Umlegungsparameter ...: Einlesen der VISUM-Datei *.par
 - Strecken zu variieren ...: Einlesen der VISUM-Datei *.att
 - Strecken + ...: Einlesen der VISUM-Datei *.att
 - Strecken auszuwerten ...: Einlesen der VISUM-Datei *.att
- Kosten
 - Zeitkosten ...: Einlesen der Datei *.kpa
 - Distanzkosten ...: Einlesen der Datei *.kpa
 - Elastizitäten ...: Einlesen der Datei *.kpa

- Mautvariation
 - Nachfrageunterdrückung ...: Zuordnen der Upardateien *.par zur Ermittlung der Kenngrößenmatrizen und der ÖV-Fahrtenmatrizen *.fma zu den Nachfragesegmenten
 - Parameter ...: Einstellen der Variationsparameter der Verkehrssysteme mit Auswahl der Bezugsmaut
 - Starten ...: Ausführen der Mautvariation mit Auswertung in der Excel-Datei *.xls
- Hilfe
 - Hilfethemen ...
 - Info ...

Die folgenden Abbildungen zeigen die erforderlichen Dateien zur Durchführung einer Mautvariation mit dem Programm VisumMautVariation. Im Unterschied zur Abbildung C-1 ist in der Abbildung C-2 eine Ausführung mit einer Nachfrageunterdrückung dargestellt.

Abbildung C-1 Funktion Mautvariation-Starten ohne Nachfrageunterdrückung

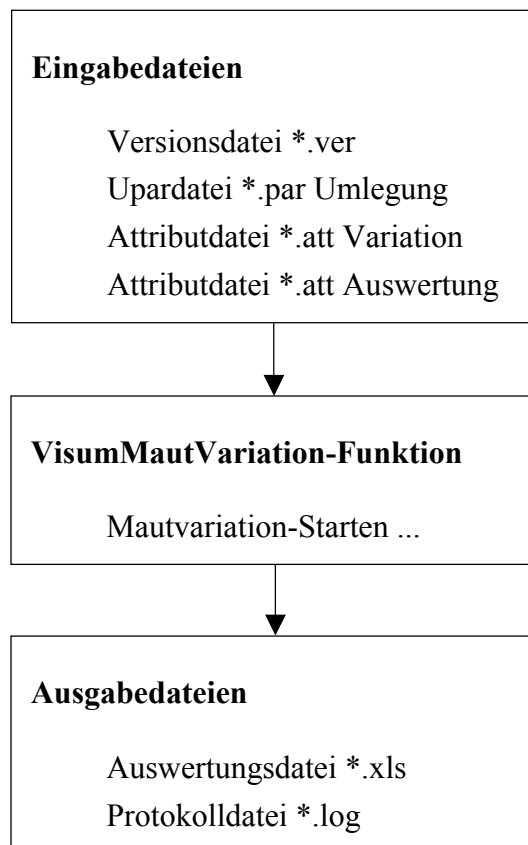
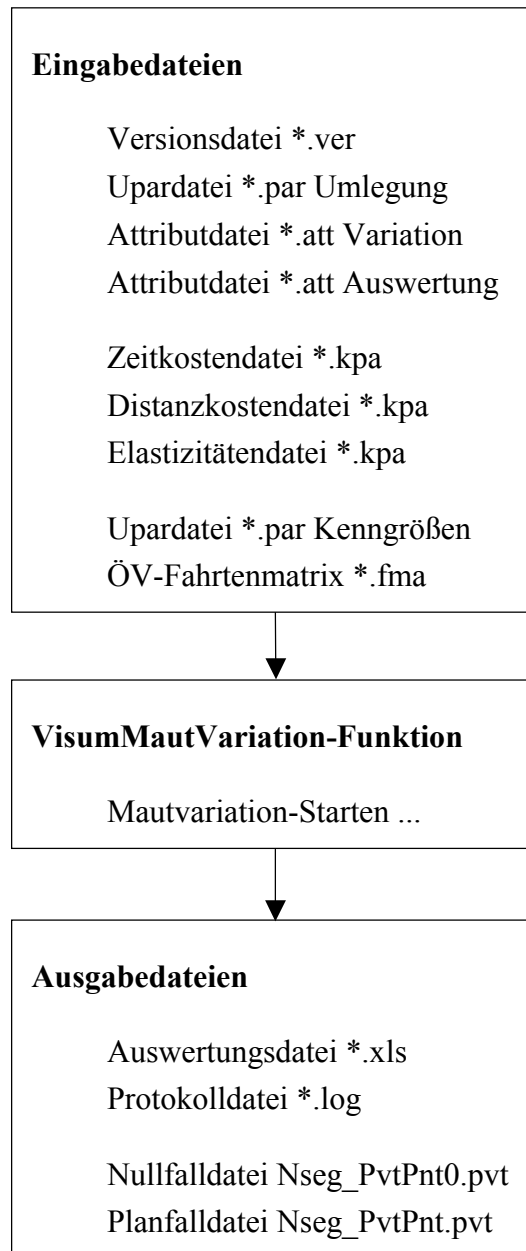


Abbildung C-2 Funktion Mautvariation-Starten mit Nachfrageunterdrückung



Anhang D Programm RegFlaeche

Das Programm RegFlaeche führt eine Regressionsanalyse an den Ergebnissen einer Mautvariation von VisumMautVariation durch. Die vorhandenen Umlegungsergebnisse werden als Datenpunkte in Abhängigkeit zweier Variablen, der Pkw- und Lkw-Maut, dargestellt und durch Regressionsflächen analytisch beschrieben. In Kombination mit den jeweiligen Maut-einstellungen erfolgt eine Berechnung der Mauteinnahmen als Funktion von Pkw- und Lkw-Maut sowie die Ermittlung des Mauteinnahmenmaximums. Die Ausführung von RegFlaeche kann nur unter MATLAB erfolgen. Alle dazu erforderlichen m-Dateien sind auf der beiliegenden CD-ROM gespeichert; siehe Anhang E.

D.1 Programmfunktionen

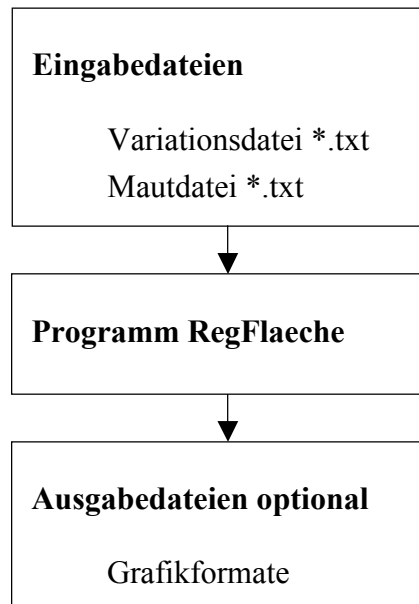
Die Funktionalität von RegFlaeche ist auf die Anwendung in dieser Diplomarbeit eingeschränkt. Nach dem Einstellen des MATLAB-Arbeitsraumes auf das Verzeichnis, in dem sich die m-Dateien befinden, wird durch die Eingabe von "regflaeche" im MATLAB-Befehlsfenster die Anwendung gestartet. Die folgenden Eingabeaufforderungen werden an den Benutzer gestellt:

- Pfad der einzulesenden Dateien:
- Variationsdatei einschließlich Extension,
- Mautdatei einschließlich Extension,
- Wahl der Regressionsfunktion für erstes Verkehrssystem:
 - 1... für Exponentialfunktion $e^{a_3 \cdot x_p}$,
 - 2... für Exponentialfunktion $e^{a_3 \cdot x_p^{a_4}}$,
 - 3... für Polynomfunktion $a_3 \cdot x_p^2 + a_4 \cdot x_p + a_5$.

Der Programm wird bei jeder Diagrammdarstellung angehalten, es kann jedoch durch Betätigen der Eingabetaste fortgesetzt werden. Ein vollständiger Ablauf von RegFlaeche endet beim Prompt-Zeichen des MATLAB-Befehlsfensters und erzeugt keine Ausgabedateien. Das Drucken bzw. Speichern eines Diagramms muss durch den Anwender im jeweiligen Abbildungsfenster manuell ausgeführt werden, wobei alle gängigen Grafikformate zur Verfügung

stehen. In Abbildung D-1 sind die erforderlichen Eingabedateien für eine Regressionsanalyse mit RegFlaeche dargestellt.

Abbildung D-1 Programm RegFlaeche



Anhang E CD-ROM

Die beiliegende CD-ROM beinhaltet alle Dateien, welche für diese Diplomarbeit verwendet wurden bzw. aus der Bearbeitung dieser Arbeit entstanden sind. Die Verzeichnisse mit den entsprechenden Inhalten sind wie folgt strukturiert:

- Netzerstellung
 - Datengrundlagen
 - PolyVisum
 - Verkehrsmodelldaten_92
- Netzkalibrierung
 - Datengrundlagen
 - Verkehrsmodelldaten_98
- Variation
 - Datengrundlagen
 - VisumMautVariation
 - Variationsdaten
- Analyse
 - Datengrundlagen
 - RegFlaeche
 - Regressionsdaten

Aus Datenschutzgründen ist die CD-ROM nicht in jeder Beilage 1 der Diplomarbeit enthalten. Auf Anfrage kann sie jedoch über den Betreuer der Diplomarbeit, Prof. Axhausen, bzw. über den Autor, Stefan Troyer, bezogen werden.

Beilage 1 CD-ROM Diplomarbeit Stefan Troyer

CD-ROM Diplomarbeit Stefan Troyer

Aus Gründen des Datenschutzes nur auf Anfrage erhältlich.

VERPFLICHTUNGSERKLÄRUNG

Ich erkläre, dass ich meine Diplomarbeit selbständig verfasst und alle in ihr verwendeten Unterlagen bzw. Hilfsmittel und die zugrundegelegte Literatur genannt habe.

Ich nehme zur Kenntnis, dass auch bei auszugsweiser Veröffentlichung meiner Diplomarbeit das Institut, an dem die Diplomarbeit ausgearbeitet wurde, und der Betreuer zu nennen sind.

Innsbruck, am

Unterschrift

