

Ein Grobmodell des europäischen Fernverkehrs

Christina Fischer

Semesterarbeit
Studiengang Bauingenieurwissenschaften

Juni 2006

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabe	3
2	Erläuterungen und Grundlagen	4
2.1	Was ist NUTS?	4
2.2	Vorhandene Daten	5
3	NUTS 2- Matrix	6
3.1	Ergänzungen der soziodemographischen Daten	6
3.2	Deskriptive Analyse	6
3.3	Umlegung	21
4	NUTS 3- Matrix	26
4.1	Ergänzungen und Problemfälle.....	26
4.2	Verteilung/Aufspaltung.....	28
4.3	Umlegung	32
4.4	Versuch Kalibration	44
5	Bewertung und Ausblick	51
6	Literatur und URL's	53

Semesterarbeit Studiengang Bauingenieurwissenschaften

Ein Grobmodell des europäischen Fernverkehrs

Christina Fischer
Adlisbergstr.92
8044 Zürich

Telefon: 044 251 17 79
fischris@student.ethz.ch

Juni 2006

Kurzfassung

Das Ziel der Semesterarbeit ist die Erstellung einer Nachfragematrix für Strassenverkehr auf NUTS3 Niveau für EU25 und EFTA Länder. Zuerst soll die gegebene Nachfragematrix auf NUTS2 Niveau mittels soziodemographischen Daten überprüft werden. Daraus resultiert als Zusammenhang zwischen BIP/Person und Fahrten/Person eine Potenzfunktion. Dieses Modell wird auch für die Aufsplittung der NUTS2 in eine NUTS3 Matrix angewandt. Zusätzlich erfolgt noch eine Aufsplittung rein nach BIP und nach Bevölkerung. Die neuen Matrizen werden in VISUM eingelesen, auf ein Strassenmodell umgelegt und miteinander verglichen. Abweichungen ergeben sich meist an ähnlichen Orten (Grossstädte). Ein Vergleich der Belastungen durch die Modellmatrix und den eingegebenen Zählstellen zeigt, dass die Belastungen mehr oder weniger mit den Zählwerten übereinstimmen. Schliesslich wird die Modellmatrix noch mit dem Verfahren nach Lohse kalibriert. Dieses Verfahren arbeitet mit Hochrechnungsfaktoren und versucht dann in Iterationen die Werte den Sollwerten anzugleichen. Das Resultat der Kalibration zeigt keine grosse Verbesserung gegenüber der Ausgangsmatrix.

Schlagworte

NUTS, Europa, Kalibration, Nachfragematrix, VISUM, Strassenverkehr, Fernverkehr

Zitierungsvorschlag

Fischer, C. (2006), Ein Grobmodell des europäischen Fernverkehrs, Semesterarbeit, IVT, ETH Zürich, Zürich

1 Aufgabe

Ziel der Semesterarbeit ist es, eine Nachfragematrix für EU25-Staaten, EFTA-Länder, Kandidatenländer sowie einige Oststaaten auf NUTS3-Level zu erstellen. Durch diese Verfeinerung sollen genauere Strassenbelastungen resultieren. Dafür sind folgende Teilaufgaben zu bearbeiten: Als Erstes soll anhand der soziodemographischen Daten und der Wirtschaftskraft die Nachfragematrix auf NUTS2- Ebene überprüft werden. Fehlende Daten sind zu ergänzen. Eventuell muss die Matrix korrigiert werden. Als Zweites ist die Strassenverkehrsmatrix mit Hilfe des IVT-Europa-Modells mit Strassenzählungen zu vergleichen. Dazu müssen alle NUTS2-Regionen in VISUM eingelesen und die Strassenmatrix umgelegt werden. Als Drittes wird die Matrix auf NUTS3-Niveau verteilt und umgelegt. Zuletzt ist die Strassenverkehrsmatrix automatisch zu kalibrieren. Zweck der Kalibration ist es, die Belastungen durch die Umlegung an die Zählstellen anzupassen und die Quell-Ziel-Matrix entsprechend zu korrigieren.

2 Erläuterungen und Grundlagen

2.1 Was ist NUTS?

NUTS kommt aus dem Französischen und ist die Abkürzung für *Nomenclature des unités territoriales statistique*. Es ist eine Aufteilung der Länder in kleinere Teile und wird nach folgenden Grundsätzen erstellt.

- Die NUTS basiert auf einer Aufschlüsselung nach institutionellen Gebietseinheiten.
- Die NUTS basiert auf regionalen Einheiten allgemeiner Art. Spezifische Gebietseinheiten und örtliche Einheiten werden nicht berücksichtigt.
- Die NUTS ist eine hierarchische Klassifikation mit drei Ebenen.

Meist entsprechen die NUTS Zonen den Verwaltungseinheiten des jeweiligen Landes. In der Schweiz ist jede NUTS3 Zone einem Kanton zugeordnet.

Tabelle 1 Hierarchieebenen

Level	Einteilung	Bevölkerung Ober-/Untergrenze	Beispiele	
NUTS 0	Nationalstaaten		<i>CH</i>	<i>DE</i>
			Schweiz	Deutschland
NUTS 1	Grössere Regionen/Landesteile	7 Mio./3 Mio.	<i>CH</i>	<i>DEA</i>
			Schweiz	Nordrhein-Westfalen
NUTS 2	Mittlere Regionen/Landesteile	3 Mio./800'000	<i>CH03</i>	<i>DEA1</i>
			Nordwestschweiz	Düsseldorf
NUTS 3	Kleinere Regionen/Grossstädte	800'000/150'000	<i>CH031</i>	<i>DEA12</i>
			Basel-Stadt	Duisburg

Die früheren Ebenen NUTS 4 und NUTS 5 wurden in LAU1 bzw. LAU2 umbenannt. LAU heisst Local Administration Unit. Es sind keine regionalen Einheiten wie die NUTS, sondern

lokale/kommunale Einheiten. Die LAU1 bezeichnen Gemeindeverbände, die LAU2 Gemeinden.

2.2 Vorhandene Daten

Grundlage für die Bearbeitung der Aufgabe ist als Erstes die Nachfragematrix für den Fernverkehr zwischen NUTS2-Zonen, erstellt vom europäischen Forschungsprojekt ETIS-BASE (European Transport policy Information System). In dieser Matrix sind die NUTS nach Code 1999 aufgeführt. Die Matrix ist symmetrisch und beinhaltet alle grenzüberschreitenden Fahrten, die zwischen NUTS2 Regionen stattfinden. Zudem gibt es bei einigen Zonen auch Binnenverkehr.

Weiter stehen soziodemographische Daten auf NUTS3- Level zur Verfügung, die aber teils lückenhaft sind. Die Daten stammen aus dem Jahre 2001 von Eurostat. Eurostat ist das Statistische Amt der Europäischen Gemeinschaft. Sein Zweck ist es Statistiken aller Länder zusammenzustellen und dafür zu sorgen, dass die Daten nach vergleichbaren Methoden ermittelt werden.

"Eurostat hat den Auftrag, der Europäischen Union einen hochwertigen statistischen Informationsdienst zur Verfügung zu stellen."
(<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>)

Zählungen der Belastungen können aus dem UNECE Road Census von 2000 entnommen werden. UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) ist eine der fünf regionalen Wirtschaftskommissionen der Vereinten Nationen. Die Hauptaufgabe der UNECE ist die Analyse der wirtschaftlichen Entwicklung der momentan 55 Mitgliedsländer. Daneben teilt sie sich in sieben Bereiche, einer davon „Transport“. Diese Abteilung beschäftigt sich mit diversen Themen. Von Sicherheit über Schienenverkehr, Strassenverkehr, kombinierter Verkehr, Harmonisierung von Fahrzeugvorschriften bis zu Statistiken.

3 NUTS 2- Matrix

3.1 Ergänzungen der soziodemographischen Daten

Für die soziodemographischen Daten wurden die Bevölkerung, die Fläche und daraus die Bevölkerungsdichte, das Bruttoinlandprodukt (BIP), Kaufkraft und Anzahl Schlafgelegenheiten im jeweiligen Land betrachtet. Die vorhandenen Werte stammen von Eurostat aus dem Jahr 2001.

Die Lücken wurden entweder mittels Summation der NUTS3 Daten, falls vorhanden oder mit Daten aus dem Internet (hauptsächlich Eurostat-Homepage sowie Statistikämter) gefüllt. Bei vielen östlichen Ländern wie Russland und den Balkanländern liess sich die Kaufkraft in % vom EU-Status auch im Internet nicht finden. Diese Lücken bleiben offen. Da die Kaufkraft für die Aufspaltung nicht verwendet wird, ist dies akzeptabel.

Einige Zonen bestehen nur auf NUTS0 Niveau, auch in der Nachfragematrix. Dazu gehören unter anderem Russland, Albanien, Malta, Mazedonien, Zypern, Bulgarien und Ukraine.

3.2 Deskriptive Analyse

Die deskriptive Statistik dient der Überprüfung der Plausibilität der Nachfragematrix. Zur ersten Einschätzung wurden folgende Hypothesen aufgestellt:

- 1) Hohes Bruttoinlandprodukt, mehr Fahrten pro Person

Ein Land mit hohem BIP hat weniger Arbeitslose und allgemein natürlich mehr Verdienst. Die Bevölkerung kann sich eher ein Auto leisten und auch eher in die Ferien fahren.

- 2) Viele Betten, mehr angezogene Fahrten

Viele Schlafgelegenheiten deuten auf ein touristisch oder geschäftlich interessantes Gebiet hin, das auch mehr Fahrten erzeugen sollte. Die Nachfragematrix behandelt sowohl den Reise- als auch den Geschäftsreiseverkehr.

3) Geringe Bevölkerungsdichte, mehr Fahrten pro Person

Bei einer geringen Bevölkerungsdichte kann man davon ausgehen, dass auch das ÖV-Angebot dünner ist und die Bevölkerung mehrheitlich das Auto benutzt. In den bevölkerungsarmen Gebieten ist wohl auch der Arbeitsweg weiter und kommt so eher in die Nachfragematrix.

4) Mehr Fahrten von Gebieten mit hohem BIP in Gebiete mit tieferem BIP

Ferien verbringt man lieber in Ländern, die im Vergleich zum eigenen Land billiger sind. Es ist anzunehmen, dass mehr Fahrten in Gebiete mit geringerem BIP führen.

5) Je grösser die Fläche der NUTS2 Region, desto weniger Fahrten

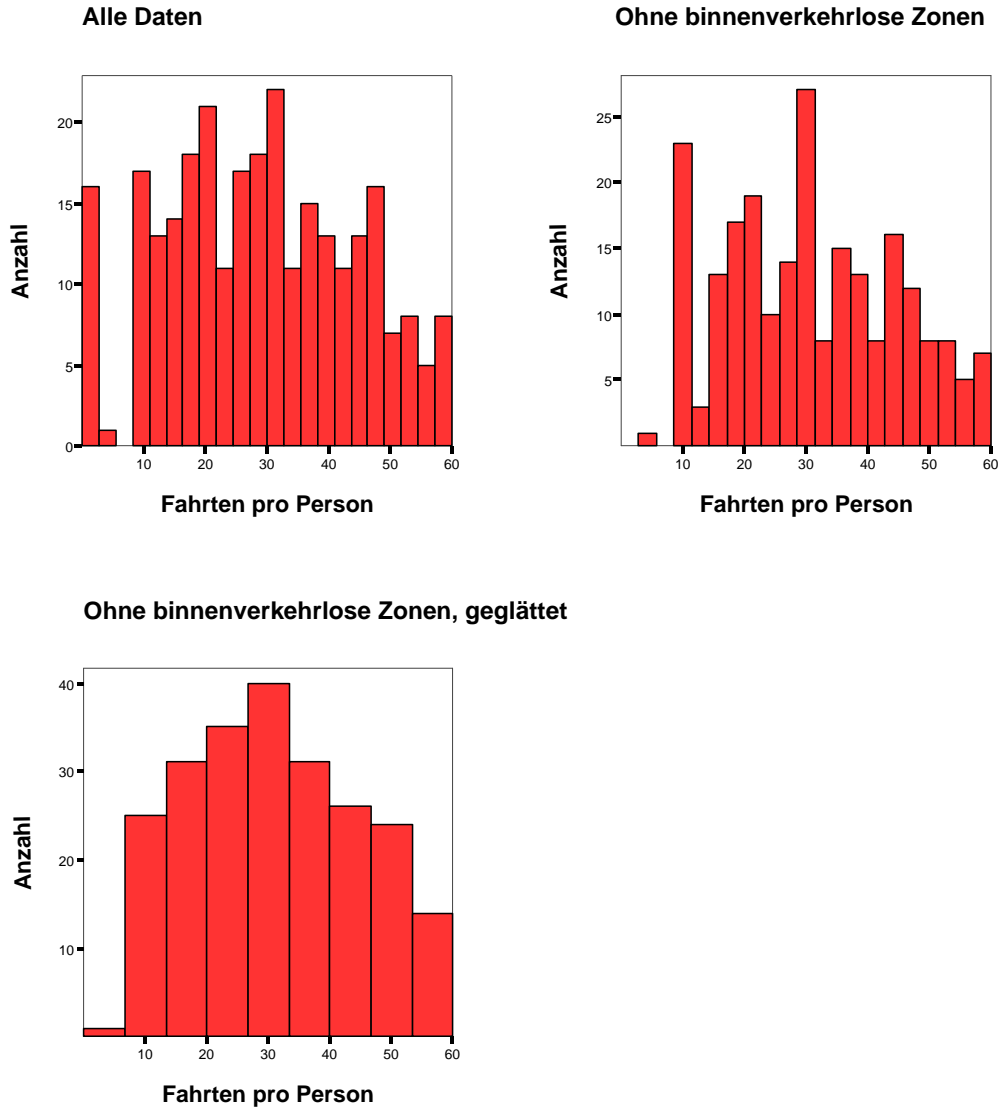
Bei kleinen Flächen ergeben sich mehr Fahrten, da die Fahrtenlänge zum Überschreiten der Grenze kürzer ist. Somit kommen mehr Pendlerfahrten in die Matrix als bei sehr grossen Zonen.

Zuerst wurden die Daten mittels Histogrammen überprüft, um so allfällige Unregelmässigkeiten zu erkennen. Darauf wurden die Hypothesen mit Boxplots, Scatterplots und Kurvenschätzungen überprüft. Da die Nachfragematrix symmetrisch ist, wurde die Überprüfung etwas schwierig. Es ist nicht nachzuvollziehen, welche Belastung zuerst war und somit sind auch die Hypothesen schwierig zu überprüfen. Hinzu kommt das Problem dass einige Zonen Binnenverkehr aufweisen und andere nicht (Tabelle 2).

Tabelle 2 Zonen ohne Binnenverkehr

CODE 1999				
AL	CZ01	ES62	MT	SE01
AT13	CZ02	FI2	NL23	SK01
BA	CZ08	GR3	NL31	TR
BE1	DE30	HR	PL08	UA
BE31	ES12	IT12	PL0D	UKF3
BG	ES13	LI	PT15	UKK3
BY	ES22	LU	PT2	UKM1
CH04	ES23	DE60	PT3	YU
CH07	ES3	MD	RO	
CY	ES53	MK	RU	

Abbildung 1 Histogramme Fahrten/Pers

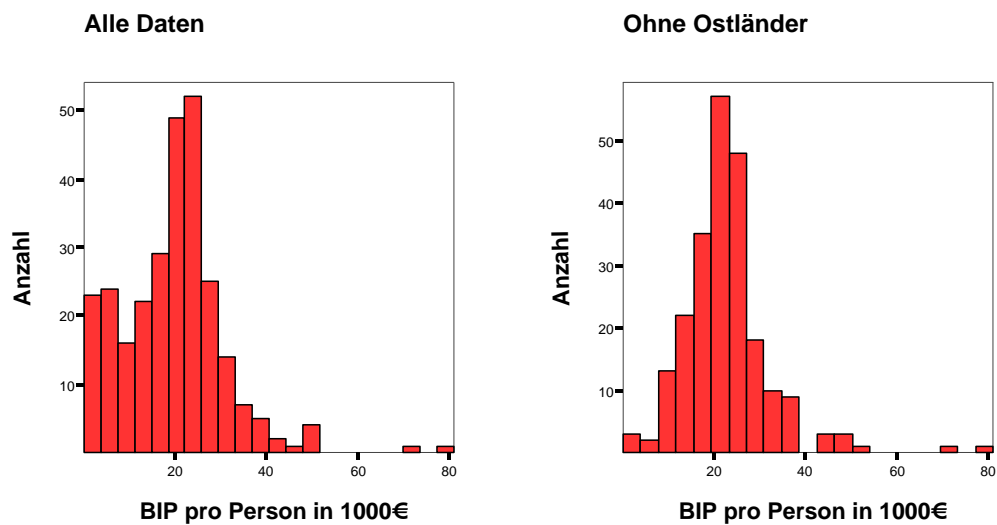


Im Histogramm der Fahrten pro Person (Abbildung 1) scheint die Verteilung eher unregelmässig. Werden die 48 Bezirke, die keinen Binnenverkehr in der Fahrtenmatrix haben (Tabelle 2), herausgefiltert ergibt sich die rechte Grafik. Durch Glätten der Kurve bzw. Verkleinern der Anzahl Balken ist die Normalverteilung deutlicher zu sehen. Der Mittelwert der gefilterten Daten beträgt 31 Fahrten pro Person und Jahr, die Spannweite reicht von knapp 5 Fahrten bis zu 60 Fahrten pro Person und Jahr. Der Mittelwert liegt verhältnismässig hoch. Grund dafür ist die Erstellung der Matrix. Diese beinhaltet alle grenzüberschreitenden

Fahrten. Das heisst die Fahrtenlänge wird nicht berücksichtigt. Bei Ländern, die in viele NUTS2 Zonen aufgeteilt sind, ergeben sich demzufolge mehr Fahrten als bei Ländern die z.B. nur auf NUTS0 bestehen.

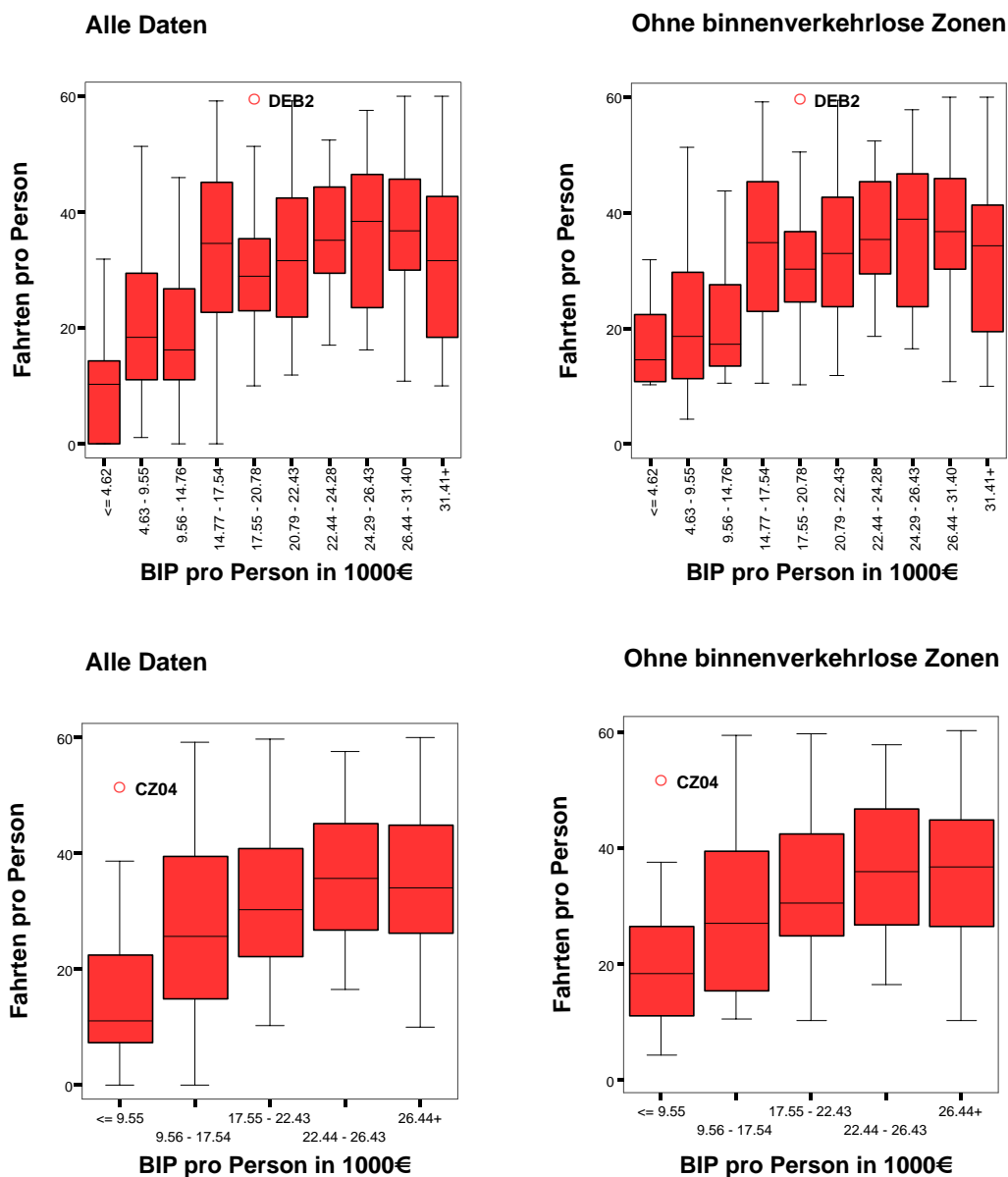
Das Bruttoinlandprodukt pro Person zeigt eine gute Normalverteilung (Abbildung 2). Im Bereich bis 8000€/Person sind zu hohe Anteile feststellbar. Diese entstehen durch wirtschaftsschwache Länder im Osten. Filtert man nun Länder wie Albanien, Slowenien, Polen etc. heraus, nähert sich die Kurve schon besser an eine Normalverteilung an.

Abbildung 2 Histogramm BIP/Person



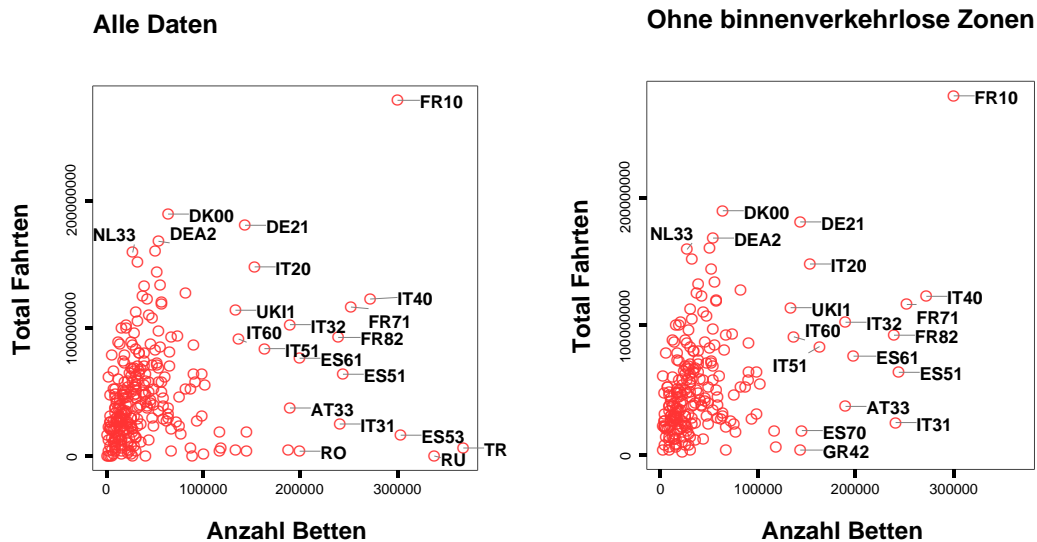
Bei den Boxplots (Abbildung 3) variieren die Ausreisser je nach Gruppenweite des BIP/Person. Bei einer Weite von je 10% ergibt sich ein Ausreisser, nämlich Trier (DEB2). Bei einer Weite von 20% resultiert auch nur ein Ausreisser, Severozapad (CZ04). Statistisch gesehen besteht also ein Zusammenhang zwischen BIP und Fahrten. Anhand der 50% Quartile kann man erkennen, dass mit steigendem BIP auch die Fahrten zunehmen, was die Hypothese 1 bestätigt.

Abbildung 3 Boxplot BIP vs. Fahrten



Die Untersuchung der Hypothese 2 ist relativ schwierig, da die Matrix symmetrisch ist. Man müsste alle Zielfahrten für das entsprechende Land gegenüber der Anzahl Betten im Land auftragen. Da aber die Matrix symmetrisch ist, ergeben sich für die Quell- und Zielfahrten dieselbe Anzahl Fahrten. Die Aussagekraft der Abbildung 4 ist demnach nicht sehr gross. Trotzdem bestätigt z.B. FR10 (Paris) die Hypothese sehr gut. FR10 hat eine sehr hohe Anzahl Betten und demzufolge auch sehr viele Fahrten. Eine Kurvenschätzung liefert ein sehr gutes Resultat mit einer Potenzfunktion ($R^2=0.99$). Die Hypothese 2 kann bestätigt werden.

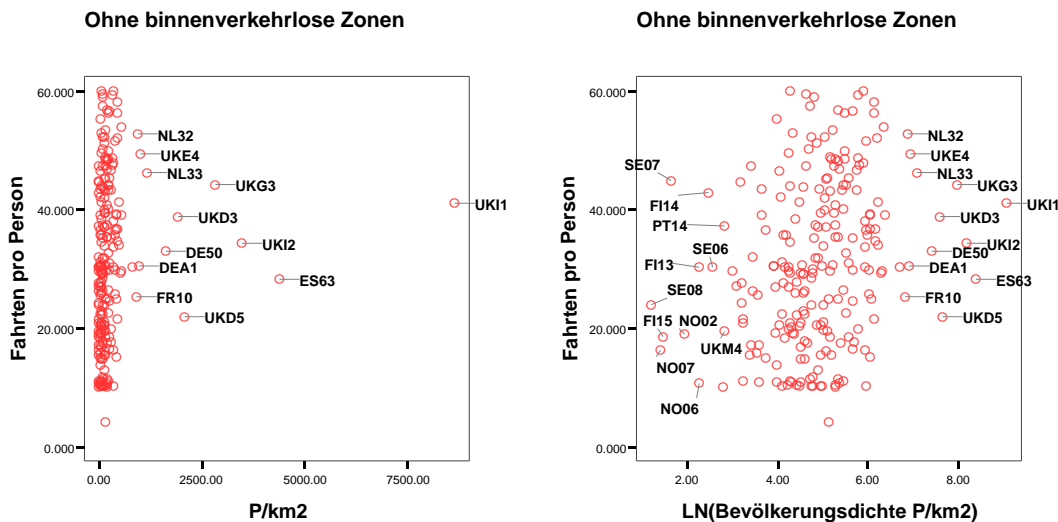
Abbildung 4 Scatterplot Fahrten vs. Betten



Mit einem Scatterplot lässt sich die Hypothese 3 teilweise bestätigen. Es ist in Abbildung 5 zu sehen, dass bei sehr geringer Bevölkerungsdichte die Bandbreite der Anzahl Fahrten pro Person von sehr wenigen Fahrten bis zu sehr vielen Fahrten reicht. London (UKI1, Inner London) weicht stark von dieser Hypothese ab. Trotz sehr hoher Bevölkerungsdichte hat London noch überdurchschnittlich viele Fahrten. In der logarithmischen Darstellung sind neben den Ausreißern mit hohen Bevölkerungsdichten auch Regionen mit geringer Bevölkerungsdichte ersichtlich. Es handelt sich dabei hauptsächlich um nördliche Regionen wie Schweden, Finnland und Norwegen. Trotz einer geringen Bevölkerungsdichte gibt es in diesen Zonen nicht sehr viele Fahrten pro Person. Norwegen liegt im unteren Drittel der Anzahl Fahrten. Auch die finnischen Regionen sind unter dem Durchschnitt. Einzig bei Schweden gibt es Regionen, die viele Fahrten haben. Jene Regionen mit der maximalen Anzahl Fahrten liegen aber bei der Bevölkerungsdichte um den Mittelwert. Die Hypothese

stimmt demzufolge für einige Regionen, für andere aber überhaupt nicht. Mit einer Kurvenschätzung zeigt sich, dass die beste Annäherung mit einer Potenzfunktion erreicht werden kann. Der R^2 Wert beträgt 0.801.

Abbildung 5 Scatterplot Bevölkerungsdichte vs. Fahrten



Für die Überprüfung der Hypothese 4 wurden die Differenz des BIP zwischen Quellort und Zielort berechnet, also QuellBIP-ZielBIP. Dieser Wert wurde mit der Anzahl Fahrten pro Person, die von der Quelle zum Ziel fahren, multipliziert. Somit ist auch die Häufigkeit der Fahrten eingeschlossen. Von diesem Endwert wurde dann für die in Tabelle 3 aufgeführten Länder der Mittelwert berechnet. Liegt der Mittelwert auf der negativen Seite, heisst das das ZielBIP ist höher als das QuellBIP, liegt er auf der positiven Seite reisen die Leute in Regionen mit tieferem BIP. Positive Werte bestätigen also die Hypothese 4. Natürlich spielt es eine grosse Rolle wie hoch das BIP des Quelllandes ist. Die Schweiz hat z.B. einen sehr hohen positiven Wert. Dies liegt daran, dass es sehr wenige Länder gibt, die ein noch höheres BIP haben als die Schweiz und die Schweizer somit „gezwungen“ sind in Länder bzw. Regionen mit tieferem BIP zu reisen. Das Gegenteil gilt für Länder wie Polen und Albanien mit eher tiefem BIP.

Tabelle 3 Differenz BIP

Land	Mittelwert
Schweiz	+480.7
United Kingdom	+233.4
Österreich	+230.5
Deutschland	+163.8
Finnland	+90.1
Frankreich	+56.7
Italien	+39.9
Albanien	-5.2
Portugal	-154.6
Polen	-179.8

Die Hypothese 5 lässt sich mit einem Scatterplot und einem Boxplot ziemlich gut bestätigen. Alle Ausreisser im Bereich kleiner Flächen haben hohe Fahrtenanzahlen, die meist über dem Durchschnitt liegen. Auch mit einer Boxplotdarstellung lässt sich dies bestätigen. Mit einer Zunahme der Fläche nimmt der Verlauf der 50%-Quartile ab. Die Ausreisser sind leicht erklärbar: ES70 sind die kanarischen Inseln. Der Strassenverkehr von und zu den Inseln ist gering. AT33 ist das Tirol (Brenner!) und DEE3 Magdeburg. Beide Zonen haben sehr viele Fahrten.

Abbildung 7 Scatterplot Fläche vs. Fahrten

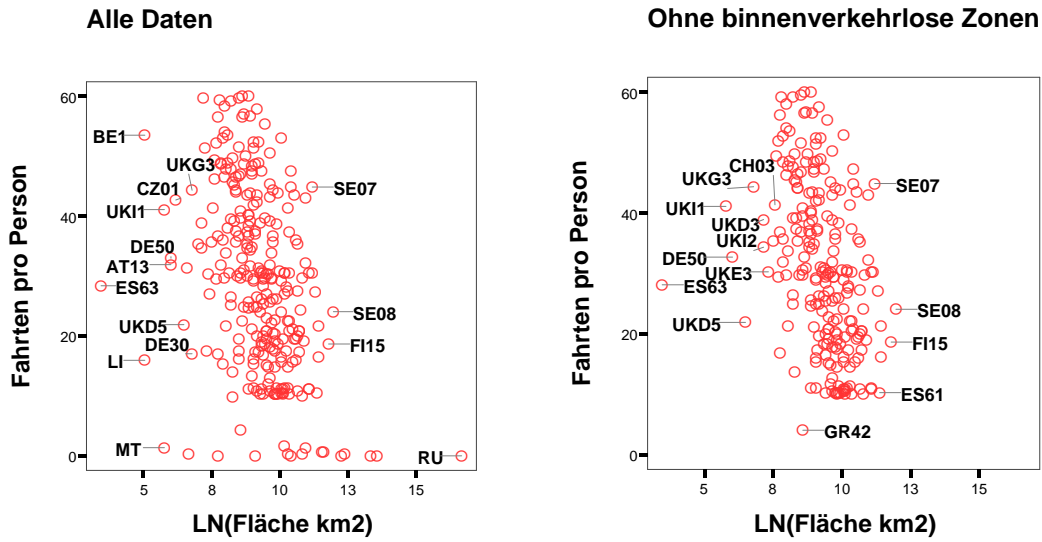
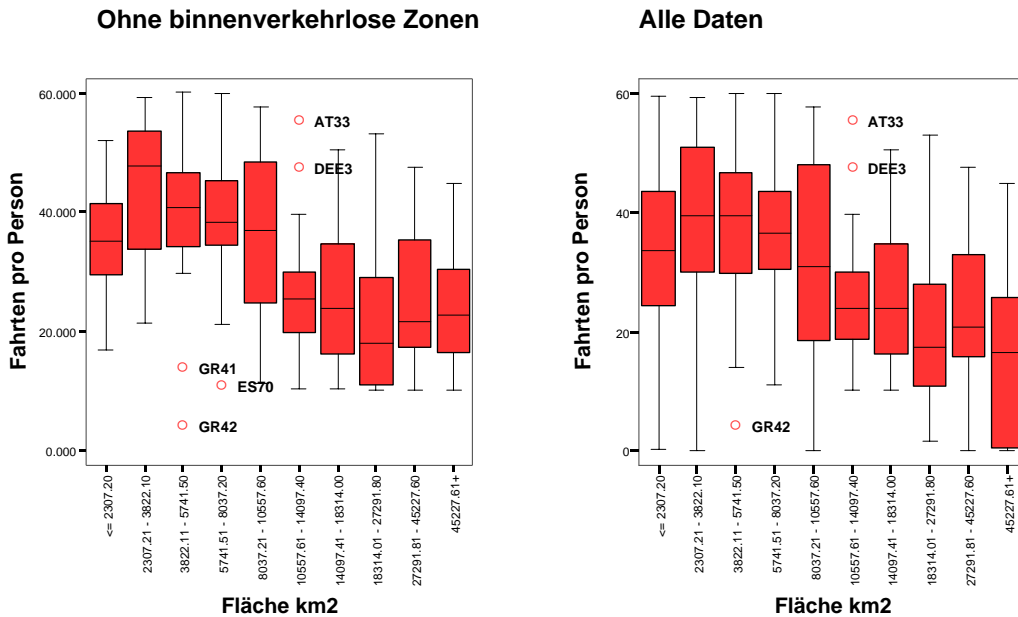


Abbildung 6 Boxplot Fläche vs. Fahrten



3.2.1 Modell

Nach Hypothese 1 besteht ein Zusammenhang zwischen BIP/Person und Fahrten/Person. In einem Scatterplot ist dies erkennbar (Abbildung 8). Die Funktion an sich ist aber aus dieser Grafik nicht zu erraten. Mit einer Kurvenschätzung in SPSS (Abbildung 9) ergibt sich eine beste Lösung mit einer Potenzfunktion $x^{1.095}$. Der R^2 Wert beträgt 0.897. Etwas schlechtere Resultate liefern die logarithmische, kubische sowie die quadratische Funktion.

Abbildung 8 Scatterplot BIP vs. Fahrten

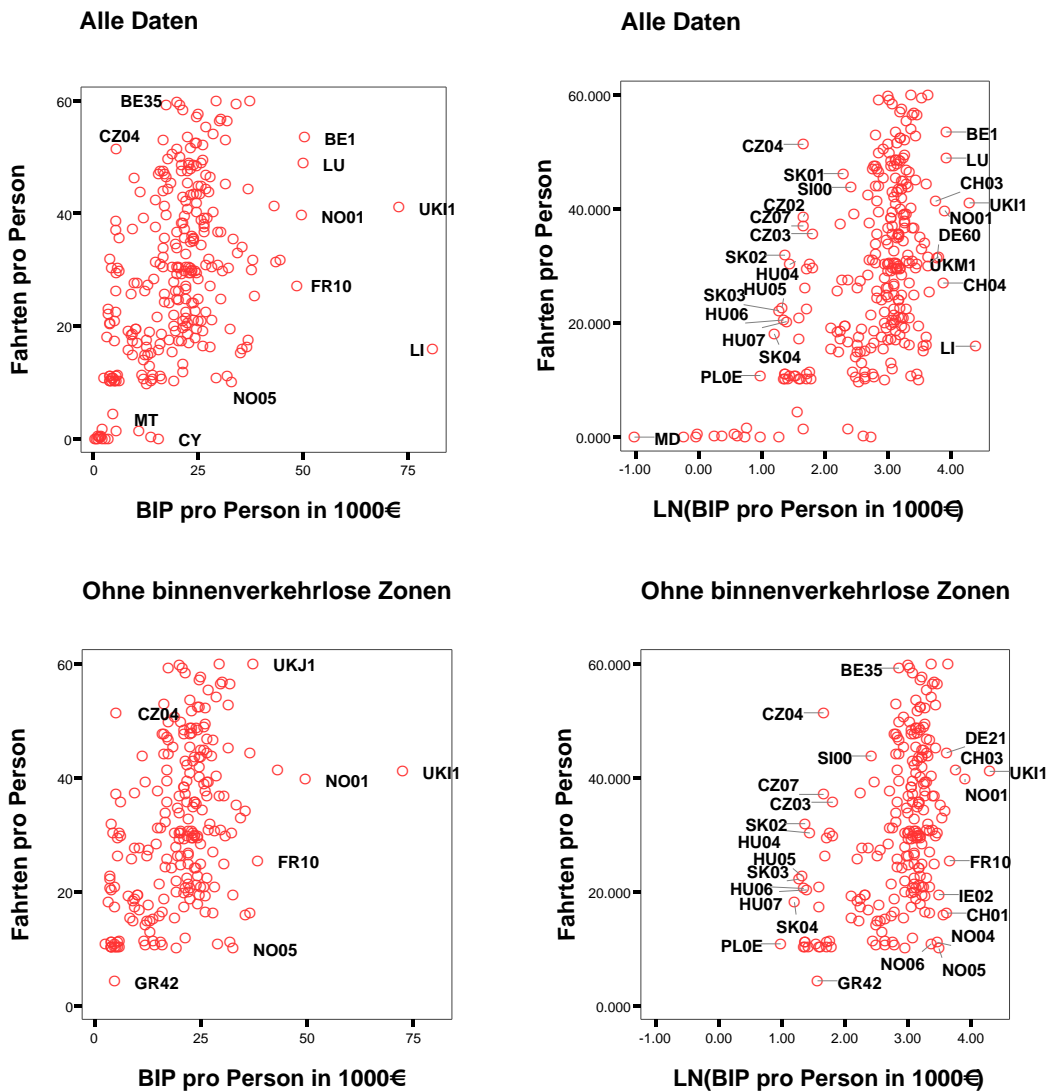
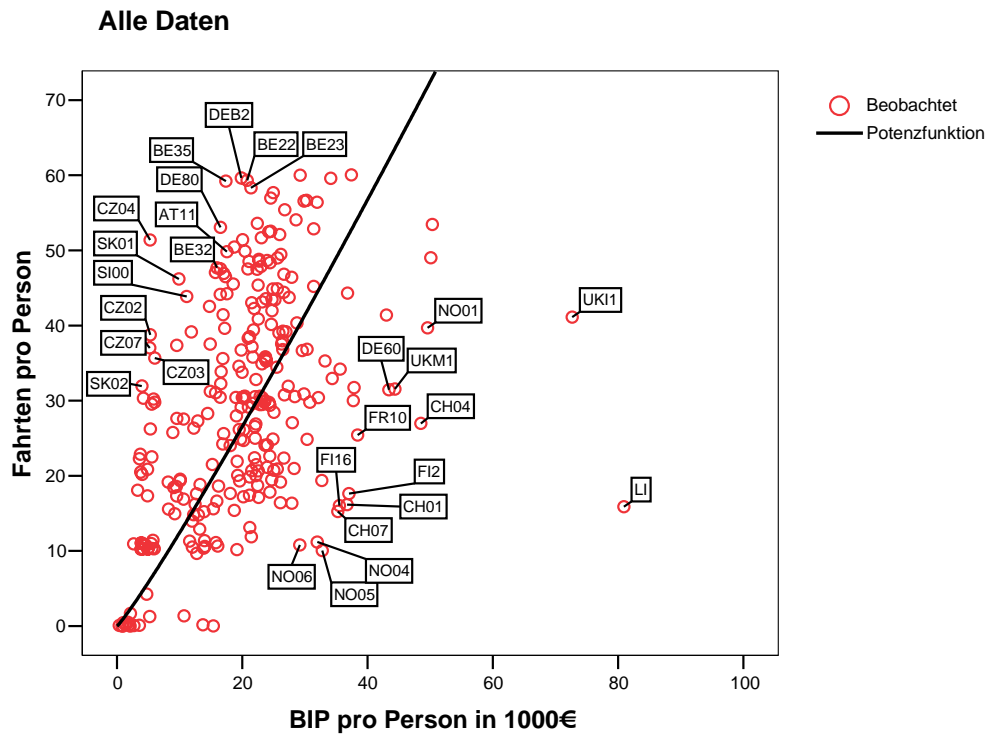
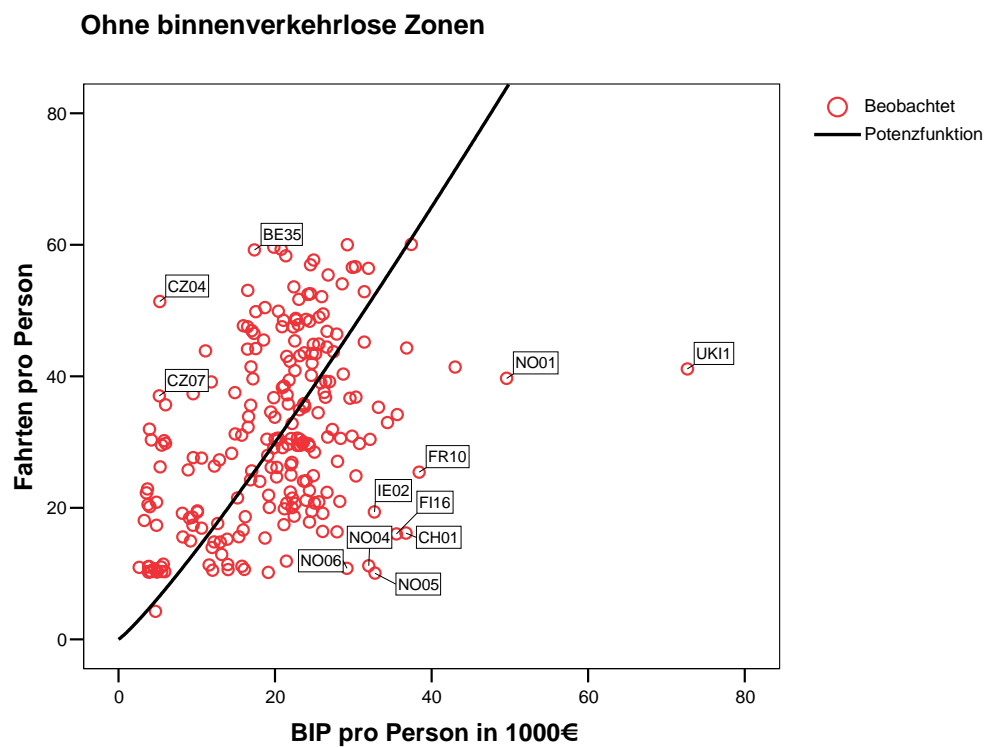


Abbildung 9 BIP vs. Fahrten mit Kurvenschätzung



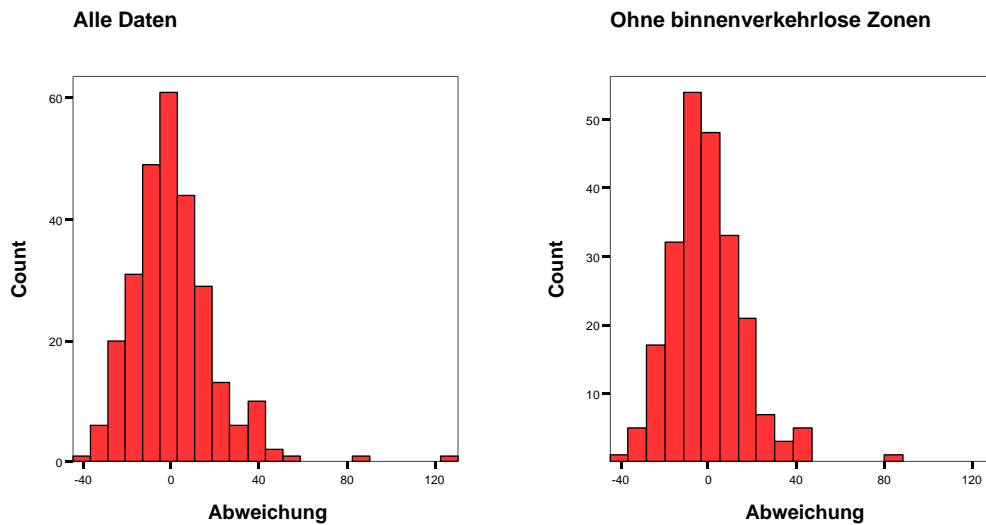
Wird dasselbe noch für die gefilterten Daten berechnet, also nur Regionen mit Binnenverkehr, ergeben sich noch bessere Resultate. Die Potenzfunktion $x^{1.135}$ erreicht ein R^2 von 0.964. Dargestellt ist die Kurve in Abbildung 10.

Abbildung 10 BIP vs. Fahrten mit Kurvenschätzung



Werden die Anzahl Fahrten mit der ermittelten Potenzfunktion $\text{Fahrten/Person} = (\text{BIP/Person})^{1.095}$ berechnet und von diesem Wert der aktuelle Wert abgezogen, ergibt sich die in Abbildung 11 dargestellte Verteilung der Fehlerwerte ε . Negative Werte bedeuten, dass die Potenzfunktion zu wenige Fahrten liefert, positive Werte, dass sie zu viele Fahrten liefert. Der Mittelwert bei „Alle Daten“ beträgt -2.44 , im Schnitt resultieren also zuwenig Fahrten. Auch bei den gefilterten Daten liegt der Mittelwert (-0.78) auf der negativen Seite. Auffälliger Punkt ist hier die maximale Abweichung von 88 bzw. 130. Es handelt sich um London bzw. Liechtenstein.

Abbildung 11 Fehlerverteilung



Um auffällige Werte besser zu erkennen, wurden oberhalb und unterhalb der Potenzfunktion Grenzen eingefügt (siehe Abbildung 12), die jeweils eine Spannweite von ± 31 Fahrten/Person haben. Immer noch ausserhalb zu liegen, kommen die Regionen in Tabelle 4. 31 Fahrten pro Person entspricht dem Mittelwert. Zudem kann man in der Abbildung sehen, dass die Grenzen etwa dort verlaufen, wo sich die Werte ausdünnen.

Abbildung 12 Grenzen alle Daten

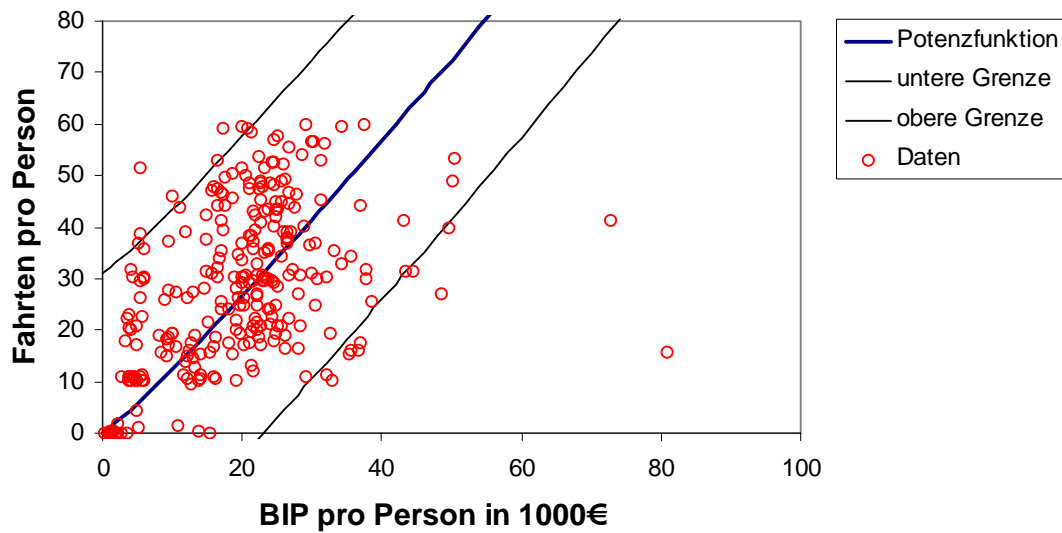


Tabelle 4 Ausreisser

Code	Name	BIP/P.	Fahrten/P.	Anmerkung
<i>Zu wenig Fahrten</i>				
LI	Liechtenstein	80.9	15.8	sehr hohes BIP, kurze Fahrten da kleines Land, kein Binnenverkehr in Matrix
UKI1	Inner London	72.6	41.1	guter ÖV, sehr hohes BIP
CH04	Zürich	48.5	26.9	guter ÖV, grösste Stadt und wirtschaftliches Zentrum der Schweiz
NO05	Vestlandet	32.7	10.0	Küstengebiete, inkl. Bergen (zweitgrösste Stadt Norwegens), Erdölförderung
CH01	Région lémanique	36.7	16.1	guter ÖV, hoher Tourismusanteil
FI2	Aland	37.0	17.6	kein Binnenverkehr in Matrix
CH07	Ticino	35.2	15.2	kein Binnenverkehr in Matrix
FI16	Uusimaa	35.5	16.0	inkl. Helsinki (Südfinnland), 1/3 des BIP des ganzen Landes entsteht hier
NO04	Agder og Rogaland	31.9	11.1	Südnorwegen
NO01	Oslo og Akershus	49.5	39.6	Oslo und Akershus sind die grössten Regionen Norwegens
UKM1	North Eastern Scotland	44.3	31.5	kein Binnenverkehr in Matrix
<i>Zuviele Fahrten</i>				
DE80	Mecklenburg-Vorpommern	16.5	53.0	lebt von Tourismus und Landwirtschaft, zweithöchste Arbeitslosigkeit in DE
BE22	Limburg	20.7	59.3	
CZ02	Stredni Cechy	5.3	38.7	kein Binnenverkehr in Matrix
DEB2	Trier	19.8	59.6	
SK01	Bratislavsky kraj	9.8	46.1	kein Binnenverkehr in Matrix, Hauptstadt
BE35	Namur	17.3	59.2	Bedeutendes Industriezentrum
CZ04	Severozapad = Karlsbad und Aussig	5.2	51.3	Tourismusgebiet, Industrie (Braunkohle)

3.3 Umlegung

Auf Grundlage des IVT-Europamodells wurden alle Bezirke in VISUM eingelesen und angebunden. Die Nachfragematrix, die Fahrten pro Jahr beinhaltet, wurde in VISUM durch 240 Tage (Jahr minus Wochenende und Feiertage) geteilt, um so die Anzahl Fahrten pro Tag zu erhalten.

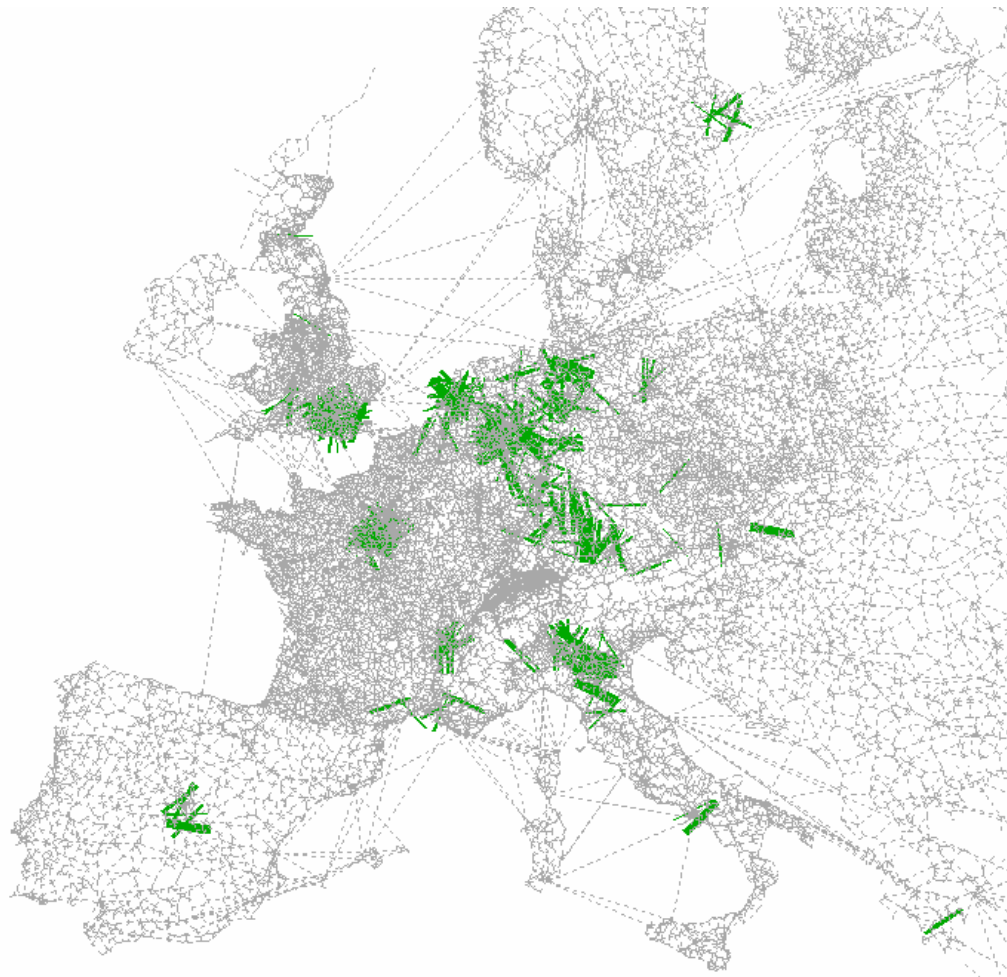
Bei den Inseln (Kanaren, Malta) erfolgte die Einbindung ins IVT-Modell mittels Anbindungen, denen die richtigen Häfen und Geschwindigkeiten, der auf der Strecke verkehrenden Fähren, zugeordnet wurden. Für Madeira und die Azoren gibt es keine Fähre. Einzige Möglichkeit mit Auto auf diese Inseln zu gelangen, ist ein unregelmässiges Containerschiff zu benützen. Laut Nachfragematrix gibt es aber Fahrten nach Madeira oder zu den Azoren. Da dies aber sehr kleine Mengen sind (entsprechen durchschnittlichen Tagesbelastungen auf gewissen Strecken!) wurden sie für die Umlegung vernachlässigt und die Bezirke nicht angebunden.

Die Umlegung wurde mit Gleichgewichtsverfahren (10 Iterationen), Lernverfahren und Sukzessivverfahren berechnet. Infolge der grossen Datenmenge hat sich aber das Sukzessivverfahren bewährt, da es die kürzeste Rechenzeit hat. Beim Sukzessivverfahren wird die gesamte Nachfrage auf Teilschritte unterteilt und simuliert so ein langsames Vollaufen des Netzes. Die Teilschritte sind zwischen 1 und 12 wählbar. Für die Umlegung der NUTS2 Matrix wurden drei gewählt mit 33%, 33% und 34%. Im ersten Schritt werden für alle Quelle-Ziel-Beziehungen die Verbindungen mit dem geringsten Widerstand im unbelasteten Netz gesucht. Auf diese Strecke werden die ersten 33% der Matrix umgelegt. Dann werden die neuen Widerstände infolge der Belastung mit der CR-Funktion berechnet. Diese dienen als Grundlage für die Umlegung des nächsten Teilschritts.

Die Umlegung erzielt vom Gesamtbild her realistische Resultate. Grundsätzlich sind alle Zufahrten zu grossen Städte (London, Milano, Paris) sehr stark belastet, nördliche Staaten wie Finnland und Norwegen weisen hingegen relativ tiefe Belastungen auf, vor allem natürlich auf Strassen ausserhalb der Hauptstädte. In Abbildung 13 sind alle Strecken mit Belastungen grösser als 80'000Fz/Tag grün markiert. Wie zu sehen ist, handelt es sich um Strecken rund um Hauptstädte und Grossstädte. Auffällig ist, dass in Deutschland im Vergleich viel mehr Strecken so stark belastet sind. Grund dafür könnte sein, dass es insgesamt 38 NUTS2 Zonen von Deutschland gibt. Dies sind bedeutend mehr als in anderen Ländern. Vergleiche auch mit Hypothese 5.

Die genauen Belastungen in Zahlen stimmen jedoch nicht so ganz. Z.B. ist die Belastung im Gotthardtunnel nach VISUM etwa 40'000 Fahrzeuge pro Tag. In Realität wird diese Belastung nur an Spitzentagen erreicht. Grund dafür ist wohl, dass nach Visum niemand die Passstrasse benutzt und durch die grobe Aufteilung nach NUTS2 eher nur die Hauptachsen befahren werden.

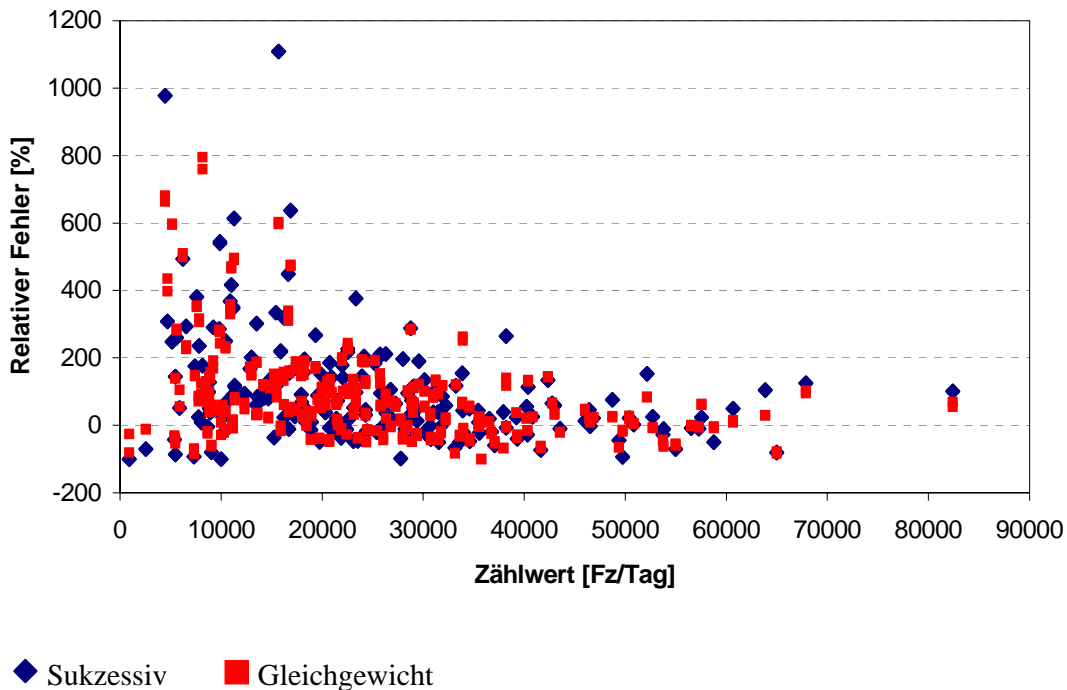
Abbildung 13 Sukzessivumlegung Belastungen grösser 80'000Fz/Tag



Ein Vergleich mit Zählstellen (siehe auch 4.4.1) nach UNECE Road Census liefert kein allzu schlechtes Resultat. Einige Streckenbelastungen weichen zwar stärker von den erwünschten Zählwerten ab, mittels Regression wird aber immer noch ein R^2 Wert von 0.86 erreicht. In Abbildung 14 sind die relativen Fehler gegenüber den Zählwerten aufgetragen; sowohl für die Gleichgewichtsumlegung als auch für die Sukzessivumlegung. Es ist zu sehen, dass die

Datenpunkte im Bereich tiefer Zählwerte (bis ca. 40000Fz/Tag) stärker vom Idealwert abweichen.

Abbildung 14 Umlegungsanalyse der NUTS2 (Gleichgewicht und Sukzessive)



Mit dem Gleichgewichts- und dem Lernverfahren wird ein leicht besseres Resultat erreicht. Der R^2 Wert beträgt bei beiden Verfahren 0.89. Ein Vergleich des Gleichgewichtnetzes mit dem Sukzessivnetz (Abbildung 15) zeigt, dass im Bereich Hauptstädte vom Sukzessivverfahren mehr Fahrten berechnet werden als vom Gleichgewichtsverfahren. Es gibt einige wenige Strecken, die mit Gleichgewicht stärker belastet werden. Auch Abbildung 14 bestätigt sich dies. Das Gleichgewichtsverfahren hat tendenziell kleinere relative Fehler als das Sukzessivverfahren. Die Unterschiede zwischen der Umlegung mit Lernverfahren und der Gleichgewichtsumlegung sind gering. Es gibt wenige Strecken bei denen der Unterschied grösser als 10'000Fz/Tag ist. Das Lernverfahren erzeugt in Hauptstädten tendenziell etwas mehr Fahrten.

Abbildung 15 Differenznetz Sukzessive-Gleichgewicht (Belastungsunterschiede grösser als 20'000Fz/Tag und kleiner als -20'000Fz/Tag)

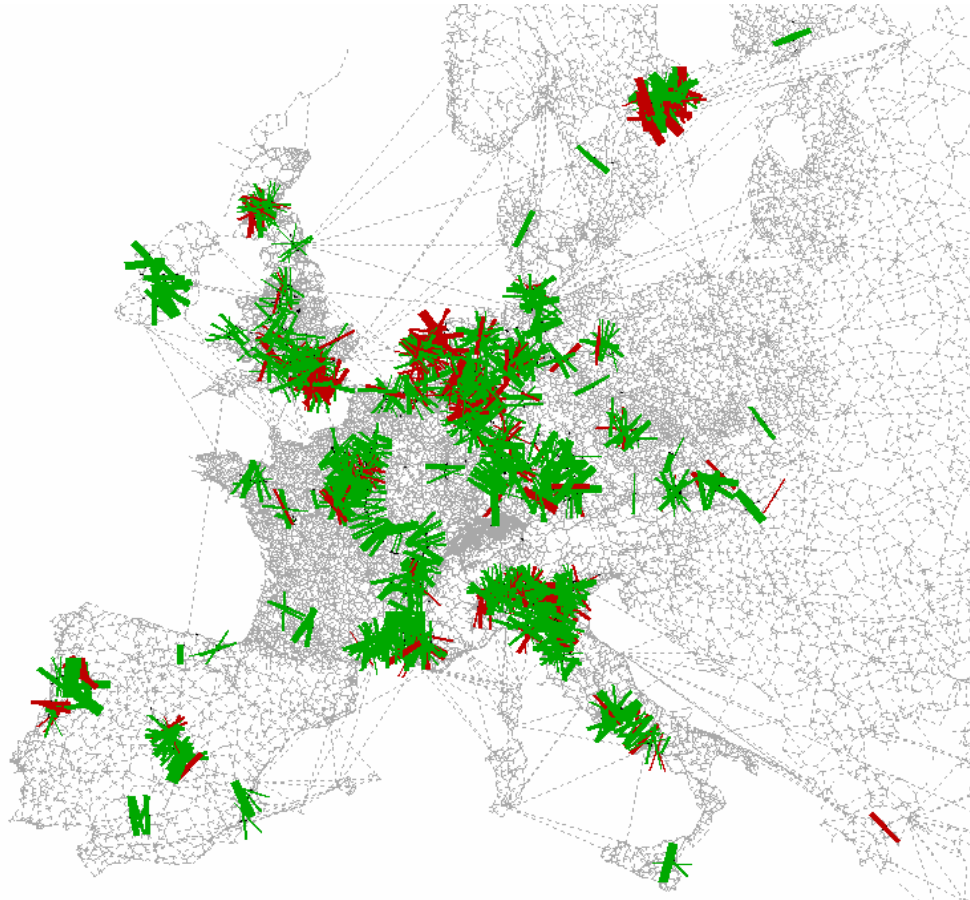
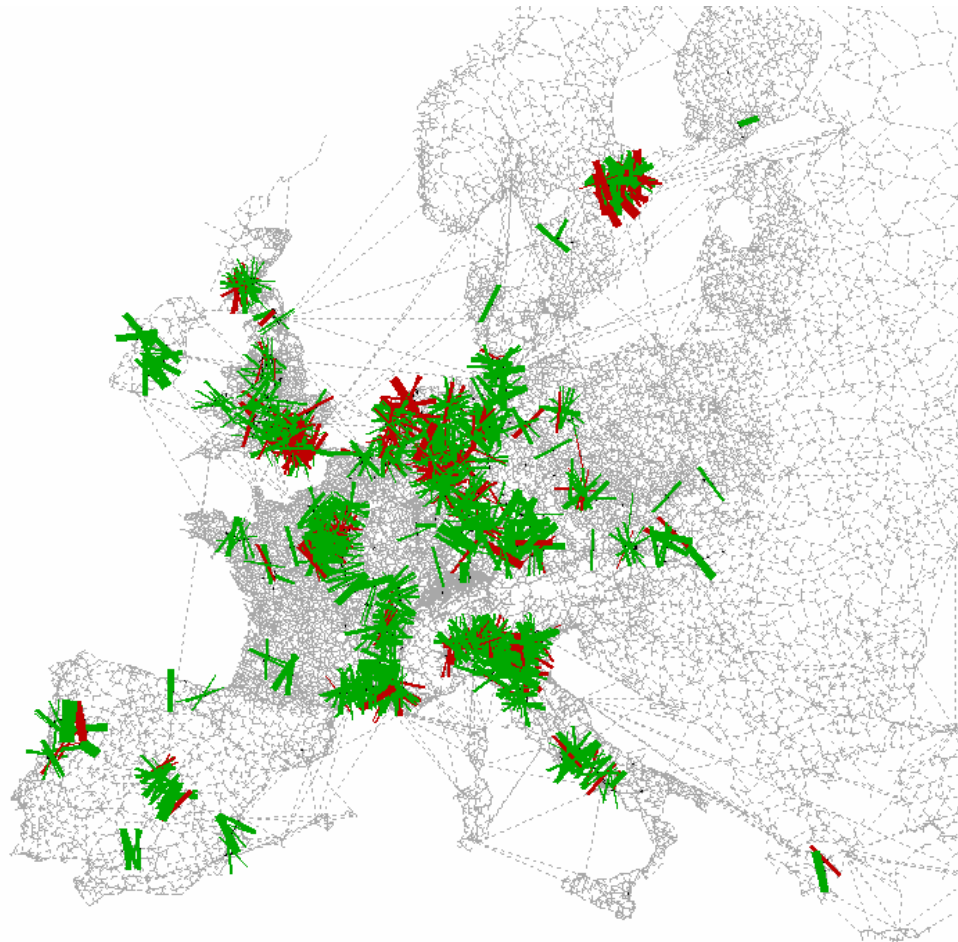


Abbildung 16 Differenznetz Sukzessive-Lernverfahren (Belastungsunterschiede grösser als 20'000Fz/Tag und kleiner als -20'000Fz/Tag)



4 NUTS 3- Matrix

4.1 Ergänzungen und Problemfälle

Bei einigen Ländern existieren keine NUTS3 Aufteilungen (z.B. Liechtenstein) oder sie sind lückenhaft und nicht ergänzbar. In diesen Fällen wurde die Zone aus der NUTS2 Aufteilung übernommen. Bei einigen Zonen traten auch Probleme auf, die vor allem mit der Neucodierung im Jahr 2003 zusammenhängen.

4.1.1 Polen

Polen ist unterteilt in 16 Wojwodschaften. Diese Wojwodschaften entsprechen den NUTS2-Regionen von 1999 (Abbildung 17). Bei den Neuerungen im Jahr 2003 wurden die 16 Regionen neu benannt (Tabelle 5).

Tabelle 5 Polen NUTS 2 (Alt-Neu)

CODE 1999	CODE 2003	CODE 1999	CODE 2003
PL01	PL51	PL09	PL32
PL02	PL61	PL0A	PL34
PL03	PL31	PL0B	PL63
PL04	PL43	PL0C	PL22
PL05	PL11	PL0D	PL33
PL06	PL21	PL0E	PL62
PL07	PL12	PL0F	PL41
PL08	PL52	PL0G	PL42

Auf Stufe der NUTS3 wurden grössere Veränderungen vorgenommen, die aber infolge Informationsmangel schlecht nachzuvollziehen bzw. zu vergleichen sind. Grösstenteils handelt es sich auch auf NUTS3 Niveau nur um Veränderungen des Namens der Zone. Bei der Unterteilung der NUTS2 Zone PL07 und PL0C (bzw. nach 2003 PL12 und PL22) gibt es aber nach Code1999 PL071 bis PL077 und PL0C1 bis PL0C7. Dies entspricht nicht der

gleichen Anzahl Zonen wie nach Code 2003. Bei der PL0C-Region, Schlesien, besteht die Zone im Code 1999 aus drei Zonen C1 bis C3. Diese Zonen bezeichnen Nord-, Süd- und Mittelschlesien. Mittelschlesien existiert auch im neuen Code als PL0C5, die anderen Zonen (C3, C4 und C6) sind neu benannt und wohl auch neu begrenzt worden. Für die Berechnung wurden die Zonen C3 bis C6 verwendet, da es sonst nicht möglich war, alle Daten zu ergänzen. Bei PL07, Mazowieckie, gibt es die Zonen 71-75 nach Eurostat und nicht noch 76 und 77. Somit geht das Ganze auch wieder auf und lässt sich auf die NUTS3 Zonen nach Code 2003 aufteilen.

Abbildung 17 NUTS Aufteilung in Polen



4.1.2 Deutschland

Berlin ist nach Code 1999 in zwei NUTS3 aufgeteilt, im Code 2003 besteht Berlin nur noch auf NUTS2 Ebene. Da die notwendigen Daten nach Code 1999 nicht mehr zu erhalten sind, wurde Berlin auf NUTS2 Ebene belassen.

Die NUTS3 Zone DE144, Ulm, enthält im vorhandenen Datensatz keine Bettenanzahl. In Eurostat ist diese Zahl als „vertraulich“ klassifiziert. Einzig die Anzahl an Betten vom Jahr 1998 ist verfügbar (2583). Die Anzahl Betriebe werden jedoch angegeben. Im Jahr 1998 waren dies 36 im Jahr 2000 35. Aus diesem Grund wird für die Matrix die gleiche Anzahl Schlafgelegenheiten wie im Jahr 1998 verwendet.

Auch bei Pforzheim, DE129, sind die Anzahl Betten nicht angegeben. Im Jahr 1998 waren es 1106 Betten. Mit einer Zählung der auf der Homepage aufgelisteten Unterkünfte ergaben sich aktuell 1195 Betten. Da 2001 doch schon einige Jahre her ist, wurde diese Zahl noch abgemindert und mit 1150 angenommen.

4.1.3 Estland und Lettland

Estland ist nur in NUTS2 Zonen aufgeteilt. Bei denen fehlen sehr viele Werte, die nicht zu ergänzen waren. Estland wurde also auf NUTS0 Niveau in die Aufspaltung einbezogen. Bei Lettland ist wiederum die NUTS2 Aufteilung unklar. Es scheint, dass infolge der Neucodierung die NUTS2 Zonen neu begrenzt wurden. Von den alten Zonen sind demzufolge keine Daten mehr zu finden.

4.2 Verteilung/Aufspaltung

Zweck der Aufspaltung ist es, aus der vorhanden Nachfragematrix zwischen NUTS2 Zonen zu einer neuen Nachfragematrix zwischen NUTS3 Zonen zu kommen.

Die Aufspaltung erfolgte auf drei verschiedene Arten. Mit einem Programm wurden alle möglichen Quell-Ziel-Beziehungen erstellt und zu diesen dann die Anzahl Fahrten berechnet. Die Anzahl Fahrten berechneten sich folgendermassen: Zuerst wurde für jede NUTS3 Zone ein Prozentsatz berechnet, der den Anteil z.B. des BIP's der NUTS3 an dem BIP der NUTS2 Zone beschreibt. Die Anteilswerte der Quell- und Ziel- NUTS3 Zone und die Fahrten aus der

bestehenden Nachfragematrix wurden miteinander multipliziert, womit sich eine Anzahl Fahrten von NUTS3 zu NUTS3 ergibt.

BIP-Matrix: Die erste Nachfragematrix entstand aus den Anteilen des BIP's der NUTS3 Zonen an den jeweiligen NUTS2 Zonen.

POP-Matrix: Für die zweite Matrix wurde die NUTS2-Matrix nach der Bevölkerung aufgesplittet.

Modell-Matrix: Für die dritte Nachfragematrix auf NUTS3-Level wurde das Modell in 3.2.1. verwendet. Die Potenzfunktion des BIP pro Person der NUTS3 Zonen wurde mit der jeweiligen Bevölkerung multipliziert. Daraus resultierte die theoretische Anzahl Fahrten dieser Zone. Daraus wurden wieder Anteile berechnet, d.h. der $POP * f(BIP)$ Wert der i-ten NUTS3 Region wurde durch die Summe aller NUTS3 Regionen der zugehörigen NUTS2 Zone geteilt.

Tabelle 6 Übersicht Matrizen

Name	Aufspaltung nach	Gleichung
BIP-Matrix	Bruttoinlandprodukt	$F_{3ij} = \frac{BIP_{3i}}{BIP_{2i}} * \frac{BIP_{3j}}{BIP_{2j}} * F_{2ij}$
POP-Matrix	Bevölkerung	$F_{3ij} = \frac{POP_{3i}}{POP_{2i}} * \frac{POP_{3j}}{POP_{2j}} * F_{2ij}$
Modell-Matrix	Theoretische Anzahl Fahrten nach Potenzfunktion	$F_{3ij} = \frac{f(BIP)_{3i} * POP_{3i}}{\sum_k f(BIP)_{3k} * POP_{3k}} * \frac{f(BIP)_{3j} * POP_{3j}}{\sum_l f(BIP)_{3l} * POP_{3l}} * F_{ij}$

F_{2ij} = Fahrten von i nach j zwischen NUTS2
 F_{3ij} = Fahrten von i nach j zwischen NUTS3
 BIP_{3i} = Bruttoinlandprodukt in der NUTS3 Region i
 BIP_{2i} = Bruttoinlandprodukt in der NUTS2 Region i
 POP_{2i} = Bevölkerung in der NUTS2 Region i
 POP_{3i} = Bevölkerung in der NUTS3 Region i
 $f(BIP)_{3i} = BIP_{3i}^{1.095}$

4.2.1 Kurze deskriptive Analyse

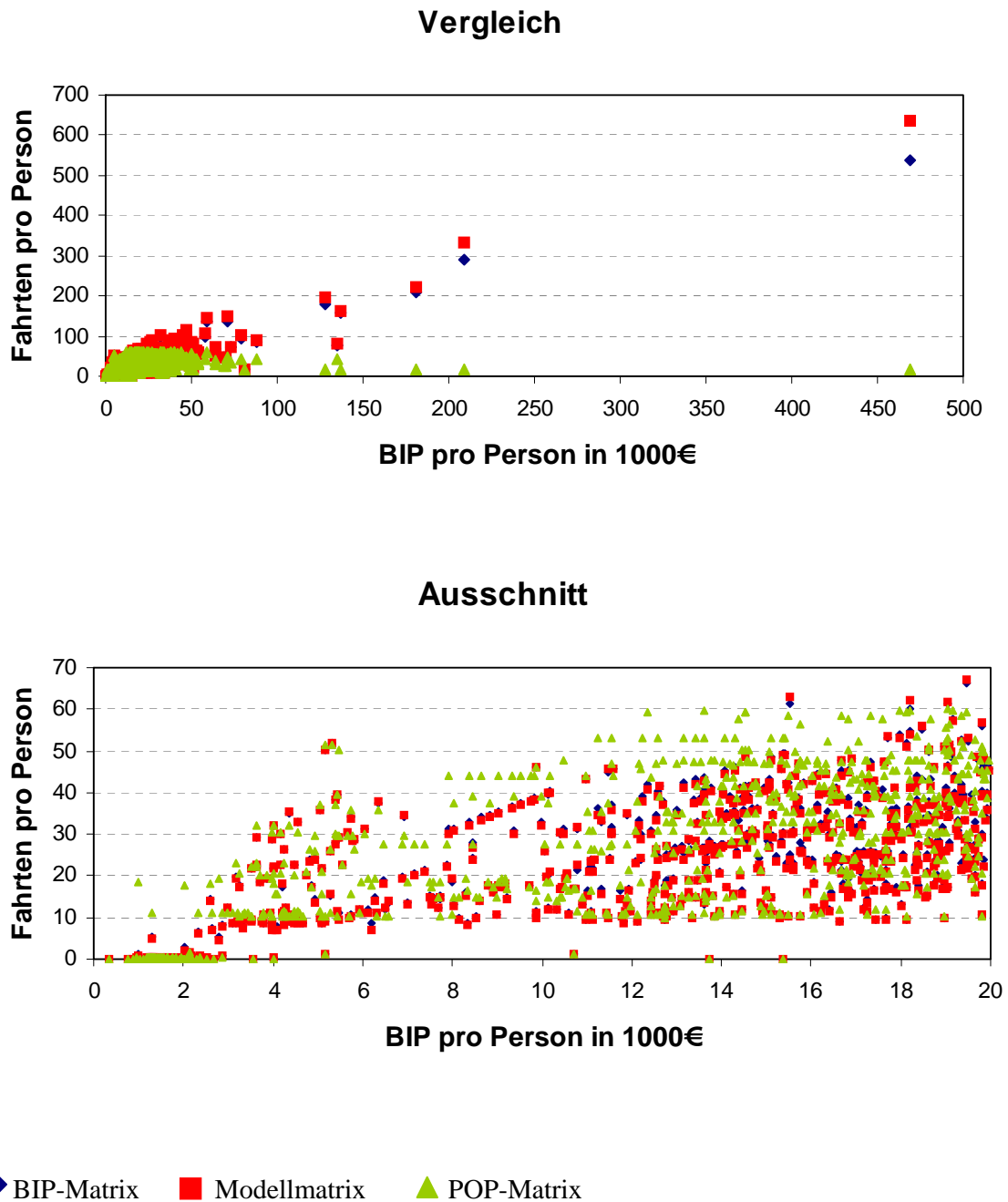
Ein Vergleich der drei Matrizen in einem Fahrten/Person vs. BIP/Person Scatterplot (Abbildung 18) zeigt, dass die BIP und die Modellmatrix sehr ähnlich sind. Die Pop-Matrix weicht dagegen stärker von den andern beiden ab. Sie widerspricht auch völlig der Hypothese 1 (Höheres BIP mehr Fahrten). Beim extremsten Punkt, UKM36 (North Lanakshire, South Western Scotland) zeigen sich nach Modellmatrix über 600 Fahrten pro Person, nach POP Matrix nur 18.6 Fahrten pro Person. Der Wert nach Modellmatrix ist sicherlich falsch. Rechnet man nur die Arbeitstage, also 240, ergibt das 2.5 Fahrten pro Tag. Hinzu kommt, dass nicht jede Person Auto fährt. In der Bevölkerungsanzahl sind auch Kinder und Personen ohne Führerausweis gezählt. Es resultieren somit unrealistisch viele Fahrten pro Person mit Führerausweis und Autoverfügbarkeit

In Tabelle 7 sind einige statistische Kennwerte der drei Matrizen aufgelistet. Es ist zu sehen, dass der Mittelwert der Modellmatrix wie erwartet zwischen den anderen zwei liegt. Die Standardabweichung ist am grössten.

Tabelle 7 Deskriptive Statistik der Fahrten/Person

Matrix	Minimalwert	Maximalwert	Mittelwert	Standardabweichung
Modellmatrix	0.0023	633.9	31.6	27.2
BIP-Matrix	0.0025	539.8	31.7	24.8
POP-Matrix	0.0023	60.0	31.2	15.0

Abbildung 18 Vergleich der drei NUTS3 Matrizen

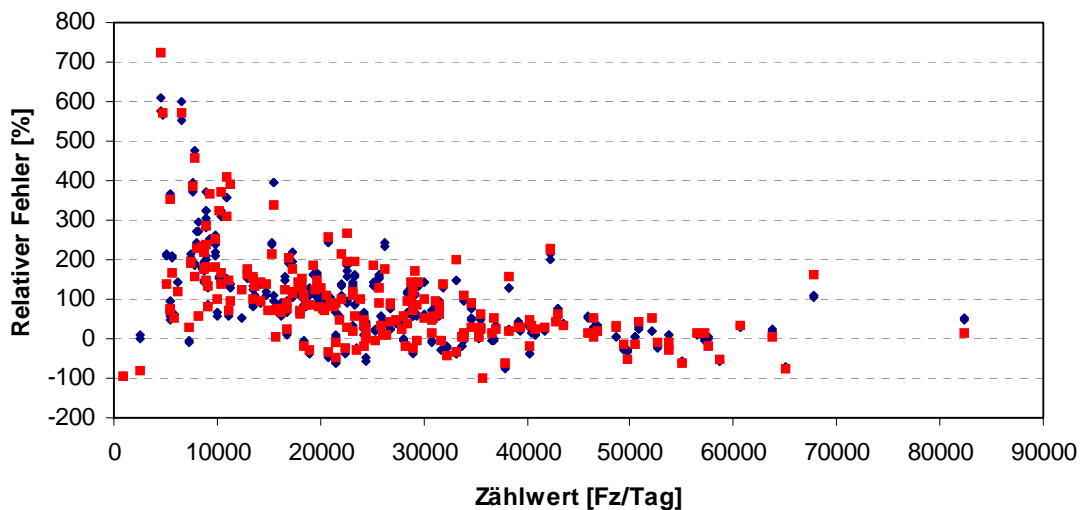


4.3 Umlegung

Das Vorgehen ist gleich wie in Kapitel 3.3. Gerechnet wurde mit den drei in Kapitel 4.2 erwähnten Nachfragematrizen.

Für die Modellmatrix wurden zwei Umlegungsverfahren verwendet (Gleichgewicht und Sukzessive) und die berechneten Belastungen mit den Zählwerten (siehe Kap. 4.4.1 und Abbildung 31) verglichen. In Abbildung 19 ist die Umlegungsanalyse der Gleichgewichtsumlegung und der Sukzessivumlegung dargestellt. Das R^2 der Regression beträgt 0.91 bzw. 0.89. Die Sukzessivumlegung liefert schlechtere Resultate als die Gleichgewichtsumlegung. Bei der Darstellung der relativen Fehler ist zu sehen, dass vor allem die Fehler im Bereich kleiner Zählwerte gross sind. Dies liegt daran, dass die Strecken mit tiefen Zählwerten auch auf Zufahrten zu Hauptstädte gemessen wurden, VISUM aber dort eine grosse Belastung berechnet hat.

Abbildung 19 Umlegungsanalyse der Modellmatrix



◆ Gleichgewicht ■ Sukzessive

Die Unterschiede zwischen der Gleichgewichtsumlegung und der Sukzessivumlegung sind noch in Abbildung 20 und Abbildung 21 dargestellt. Mit der Gleichgewichtsumgebung ergeben sich im Umfeld von Grosstädten weniger hohe Belastungen als bei der sukzessiven

Umlegung. Obwohl das Gleichgewichtsverfahren tendenziell bessere Resultate liefert, wurde das Sukzessivverfahren verwendet, um die Rechenzeit zu verkürzen.

Abbildung 20 Differenznetz Sukzessive 3 – Gleichgewicht 3 (Belastungsunterschiede grösser als 10'000Fz/Tag)

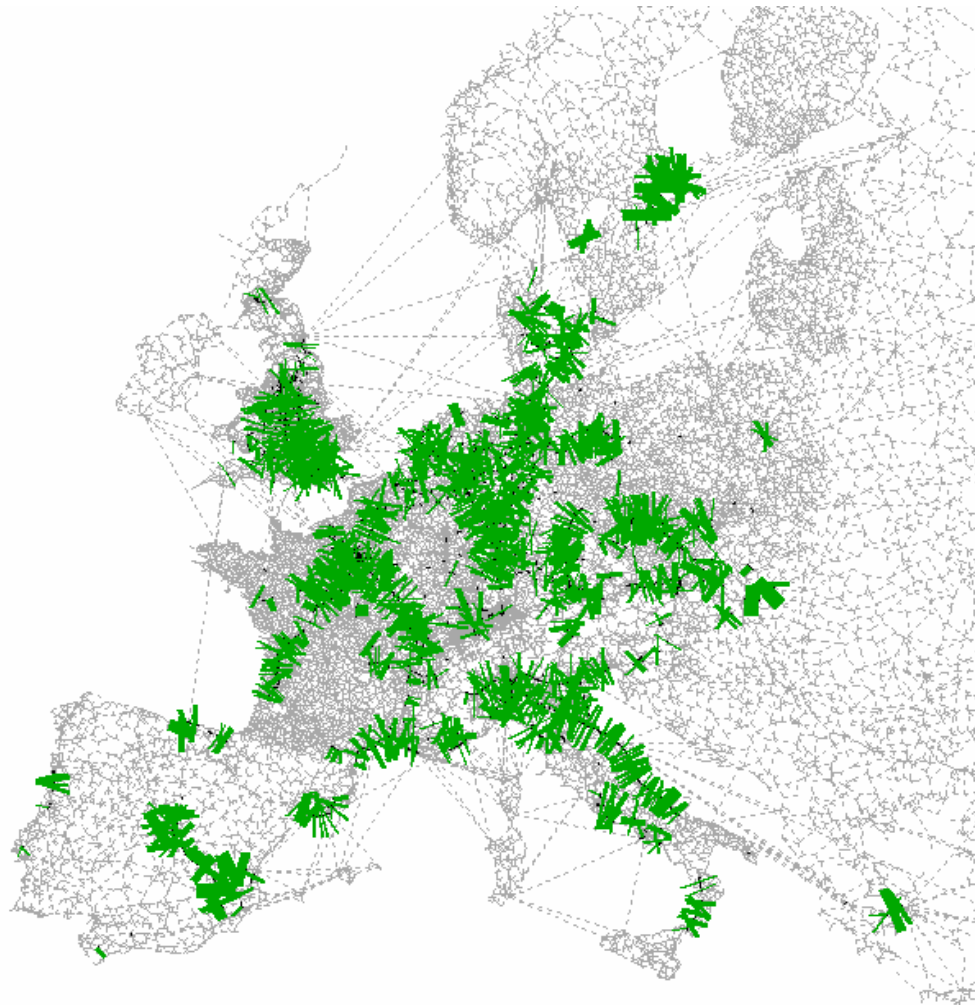
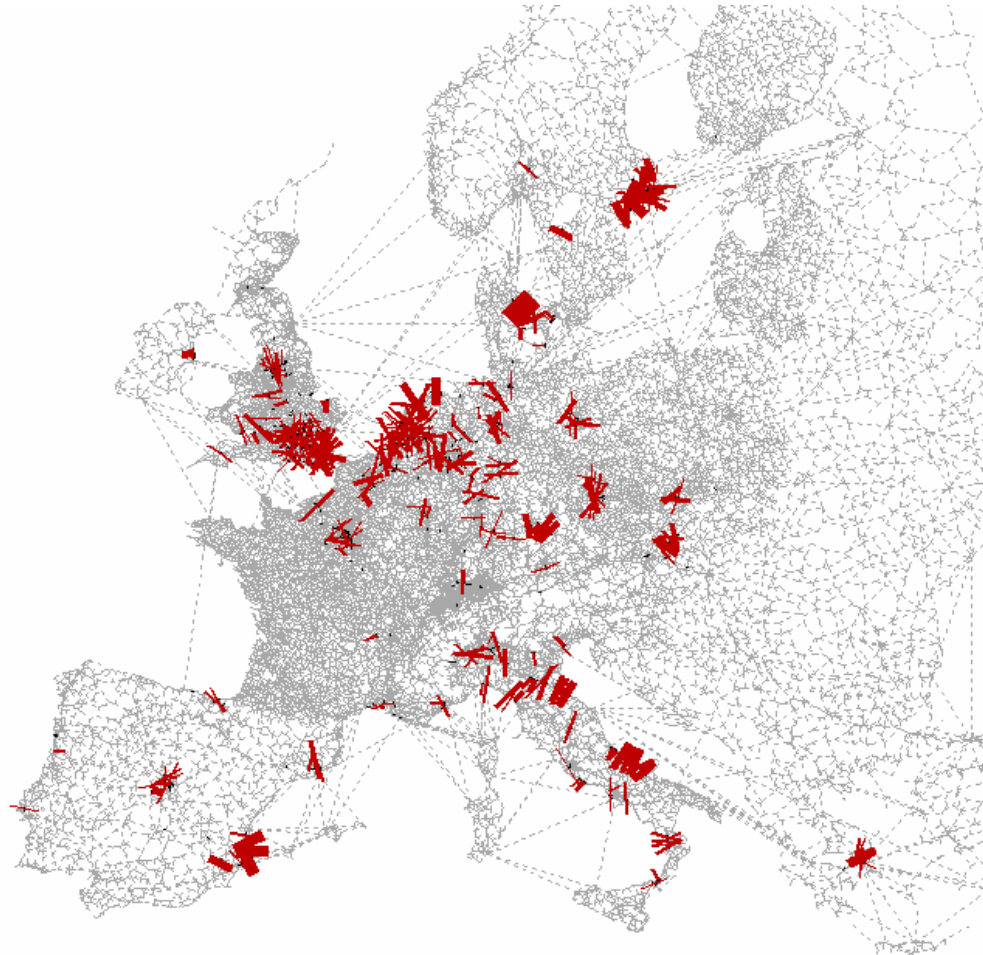
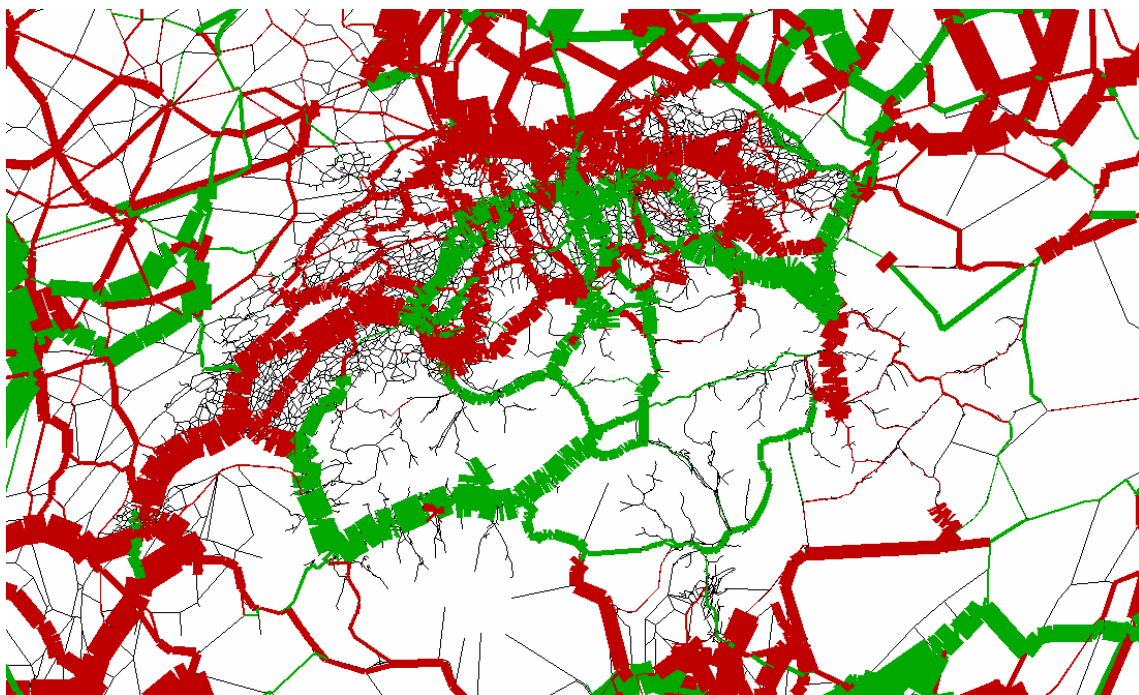


Abbildung 21 Differenznetz Sukzessive 3 – Gleichgewicht 3 (Belastungsunterschiede kleiner als -10^6 Fz/Tag)



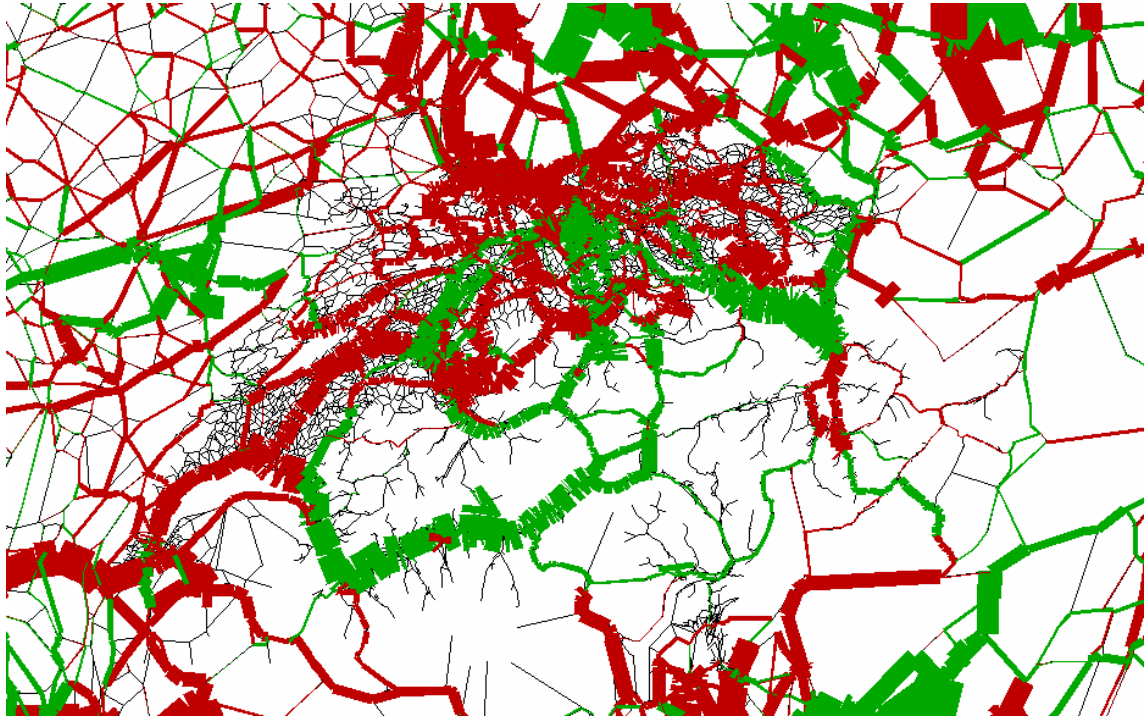
NUTS2 vs. NUTS3(Modell): Das Differenznetz NUTS2-NUTS3 der Sukzessivumlegungen (Abbildung 22) zeigt, welche Strecken infolge der Aufspaltung stärker befahren werden und welche weniger stark. Rote Strecken bedeuten, dass die Belastung mit der NUTS3 Matrix grösser ist als mit der NUTS2 Matrix, grüne Strecken das Gegenteil. Mit der Umlegung der NUTS3-Matrix werden nicht nur grosse Nationalstrassen benützt, sondern auch untergeordnete Strassen. Diese Umlagerung auf kleinere Strassen vermindert die Belastung auf den Autobahnen (z.B. A1 Zürich-Bern). Die kleineren Strassen werden auch mehr verwendet, da das ganze Gebiet mit den NUTS3 feiner aufgeteilt ist. Liegt die Quellregion auf NUTS3-Ebene z.B. am Rande der NUTS2 Zone und die Zielregion auch, ist der Weg entsprechend kürzer als bei der NUTS2-Matrix, wo das nicht aufgeteilt ist. Es werden vermehrt untergeordnete Strassen verwendet.

Abbildung 22 Differenznetz NUTS2-NUTS3 Ausschnitt Schweiz (Sukzessive)



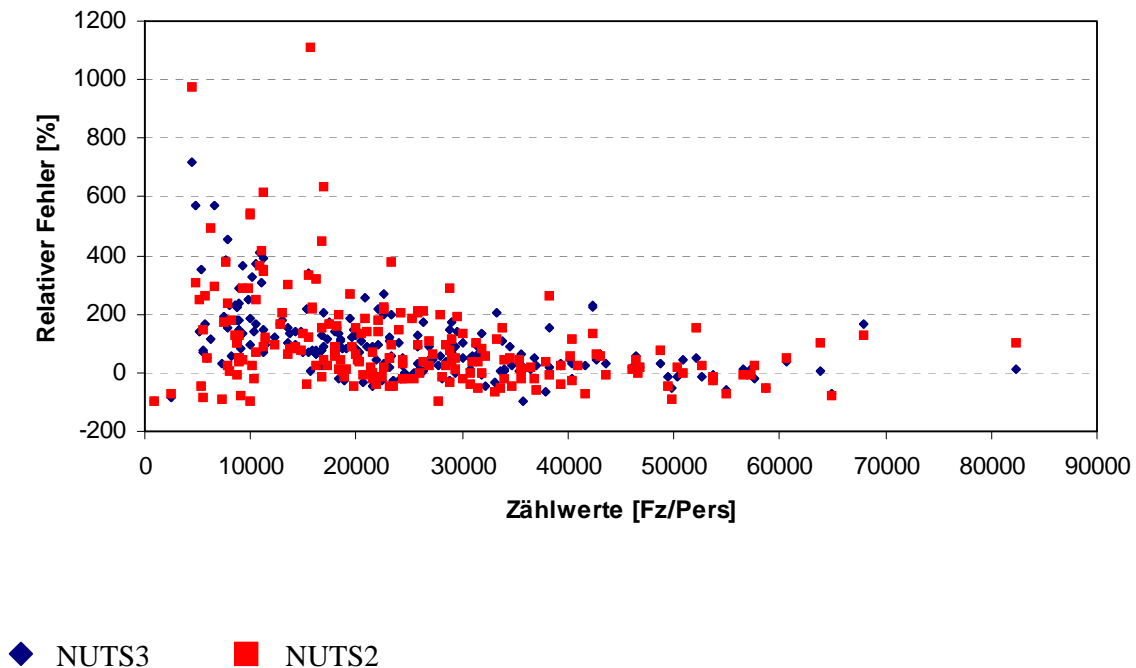
Ein Vergleich mit dem Differenznetz der Gleichgewichtsumlegungen (Abbildung 23) zeigt kleine Unterschiede, vor allem bei der Grösse der Belastung kleinerer Strassen. Im Gleichgewichtsverfahren werden eher Alternativrouten verwendet.

Abbildung 23 Differenznetz NUTS2-NUTS3 Ausschnitt Schweiz (Gleichgewicht)



Die Umlegungsanalyse in Abbildung 24 zeigt, dass die Umlegung der NUTS3-Matrix bessere Resultate liefert als diejenige der NUTS2. Die relativen Fehler liegen näher bei 0 mit der NUTS3 Modell-Matrix näher bei Null und zeigen auch nicht mehr so grosse Abweichungen wie in der NUTS2 Matrix. Das Ziel der Aufsplittung, eine Verbesserung bzw. Verfeinerung der Umlegung, konnte erreicht werden.

Abbildung 24 Umlegungsanalyse NUTS3 und NUTS2 (Sukzessive)



BIP vs. POP: Bei dem Differenznetz der BIP-Matrix minus der Bevölkerungsmatrix sind die Unterschiede leicht erklärbar. In Abbildung 25 sind die Belastungsdifferenzen grösser als 10'000Fz/Tag dargestellt. Das heisst, dass bei jenen Stellen die BIP-Matrix um 10'000Fz/Tag grössere Belastungen liefert als die Bevölkerungsmatrix. Die grünen Balken zeigen also Zonen an, die ein hohes BIP haben, jedoch verhältnismässig wenig Bevölkerung z.B. Finnland (FI16). Rote Balken zeigen vor allem Gebiete mit sehr hohen Bevölkerungszahlen (Abbildung 26).

Es ist jedoch auch erkennbar, dass viele Grossstädte (London, Paris) sowohl negative als auch positive Differenzen haben. Da ein grosser Anteil aller Fahrten in Zentren führen, summieren sich hier auch die Fehler der Aufspaltung und es kommt zu positiven und auch negativen Werten.

Abbildung 25 Differenznetz BIP-POP (Belastungsunterschiede grösser als 10'000Fz/Tag)

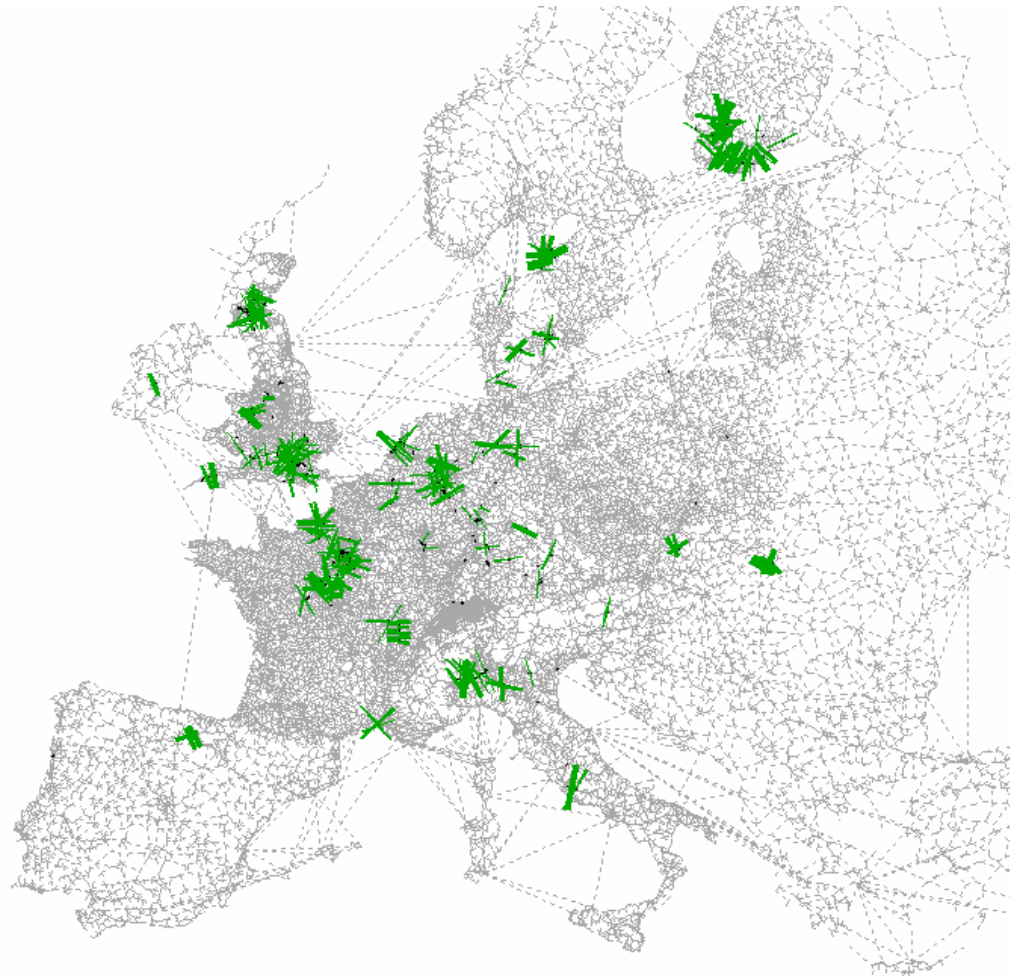
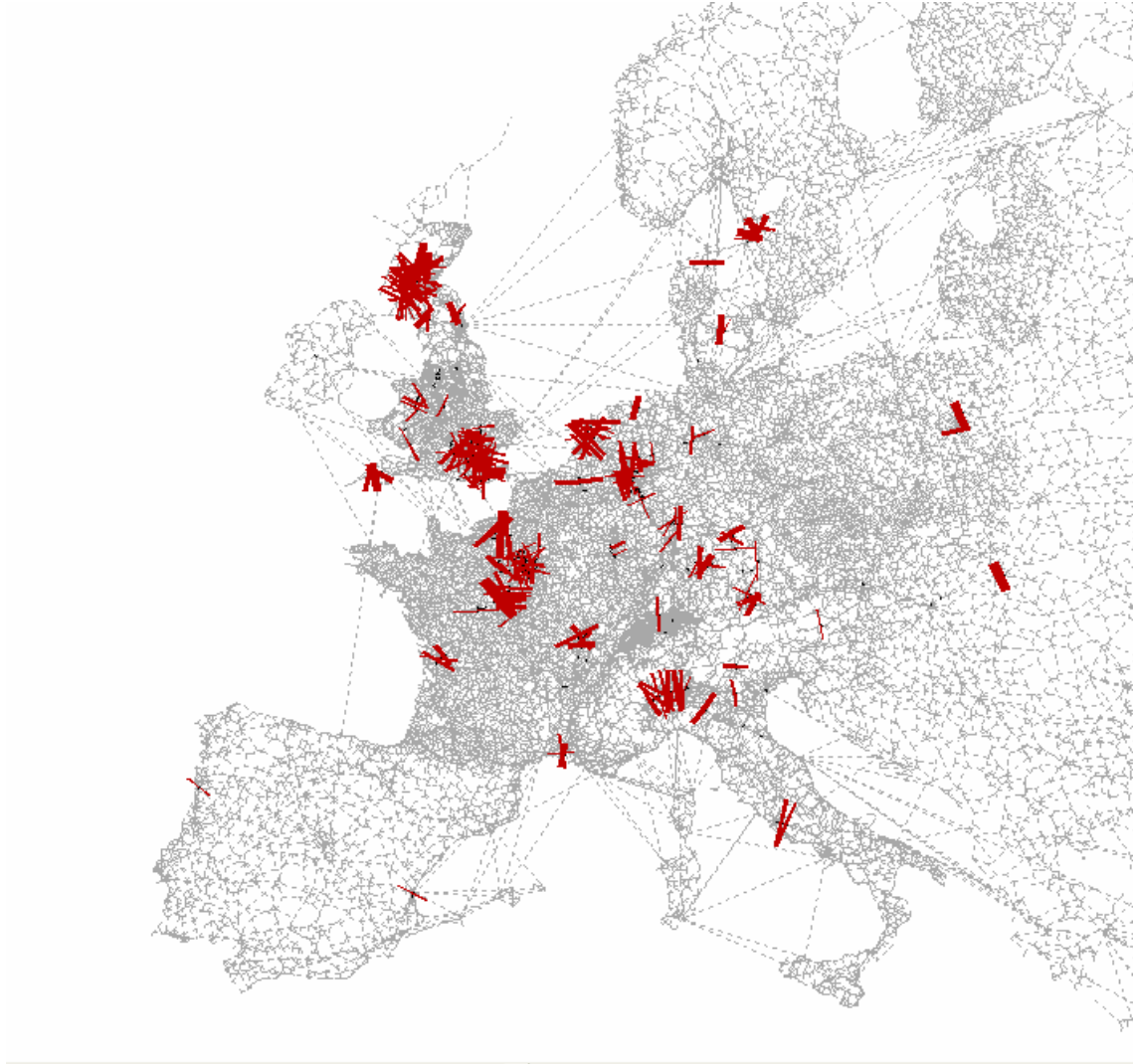
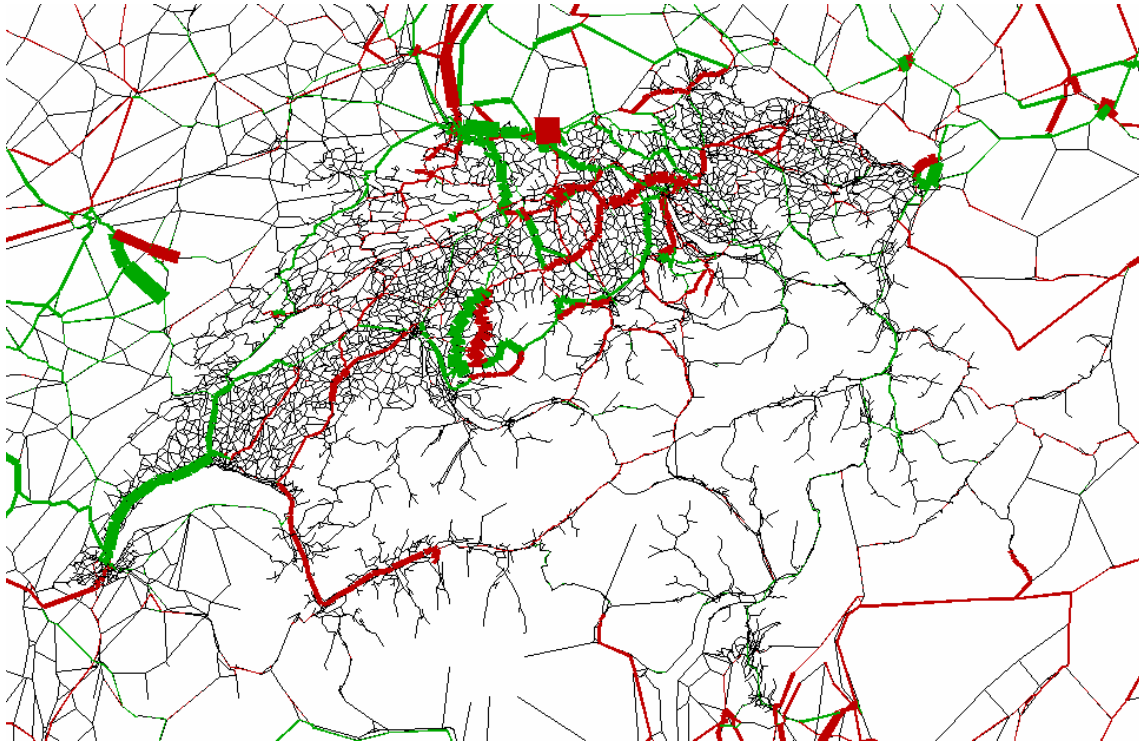


Abbildung 26 Differenznetz BIP-POP (Belastungsunterschiede kleiner als $-10'000\text{Fz/Tag}$)

In der Schweiz sind die Differenzen auch gut erklärbar (Abbildung 27). Im Umkreis Zürich ergibt die Bevölkerungsmatrix ca. 6000Fz/Tag mehr. Dies ist damit zu erklären, dass CH04 (Zürich) nur auf NUTS2 Niveau besteht und mit 1.2 Mio Einwohner auch am meisten Einwohner hat von allen Schweizer NUTS3 Zonen.

Auffällig ist, dass es eigentlich nur auf der Alpennordseite grössere Differenzen gibt. Der Gotthard erhält nach Bevölkerungsmatrix ca. 1300 Fz/Tag mehr. Dies hängt wohl damit zusammen, dass im Süden der Schweiz das BIP und die Bevölkerung besser ausgeglichen sind als im Norden.

Abbildung 27 Differenznetz BIP-POP Ausschnitt Schweiz



Modell vs. BIP: Im Differenznetz Modell-BIP (Abbildung 28) sind klar die „Fehler“ im Modell zu erkennen. Finnland z.B. hat, wird das Modell angewendet, zu wenig Fahrten auf NUTS2 für sein BIP. Es wird somit nach der Modellaufspaltung Finnland zwar mit der Funktion mehr Fahrten zugeordnet, als in der Nachfragematrix auf NUTS2 Niveau. Durch die geringe Bevölkerung wird das aber wieder abgemindert. In Norwegen (Oslo) ist dasselbe zu beobachten.

Auffallend bei den Belastungsdifferenzen kleiner als -5000 und grösser als 5000Fz/Tag ist, dass häufig zwar der selbe Ziel und Quellknoten betroffen ist, die dazwischenliegenden Strecken aber unterschiedlich sind (Abbildung 29). Die zwei Nachfragematrizen liefern also nicht so unterschiedliche Resultate, mit Ausnahme jener Zonen, die vom Modell „falsch“ beschrieben werden.

Abbildung 28 Differenznetz Modell-BIP (alle Belastungsunterschiede)

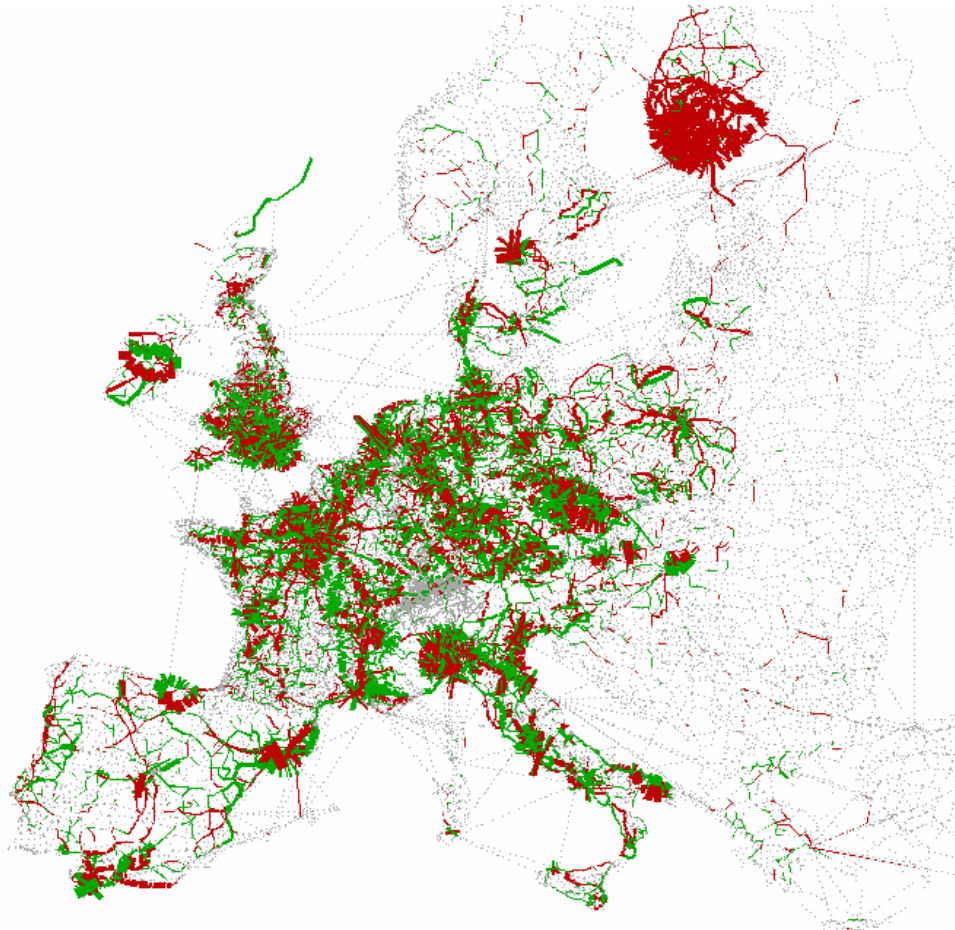
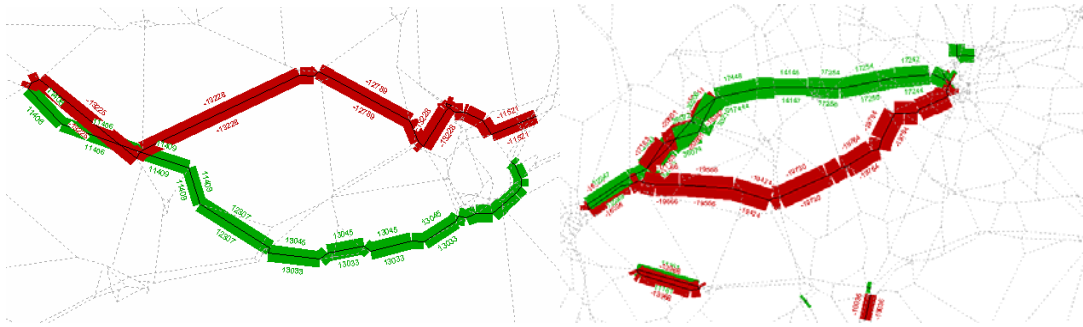
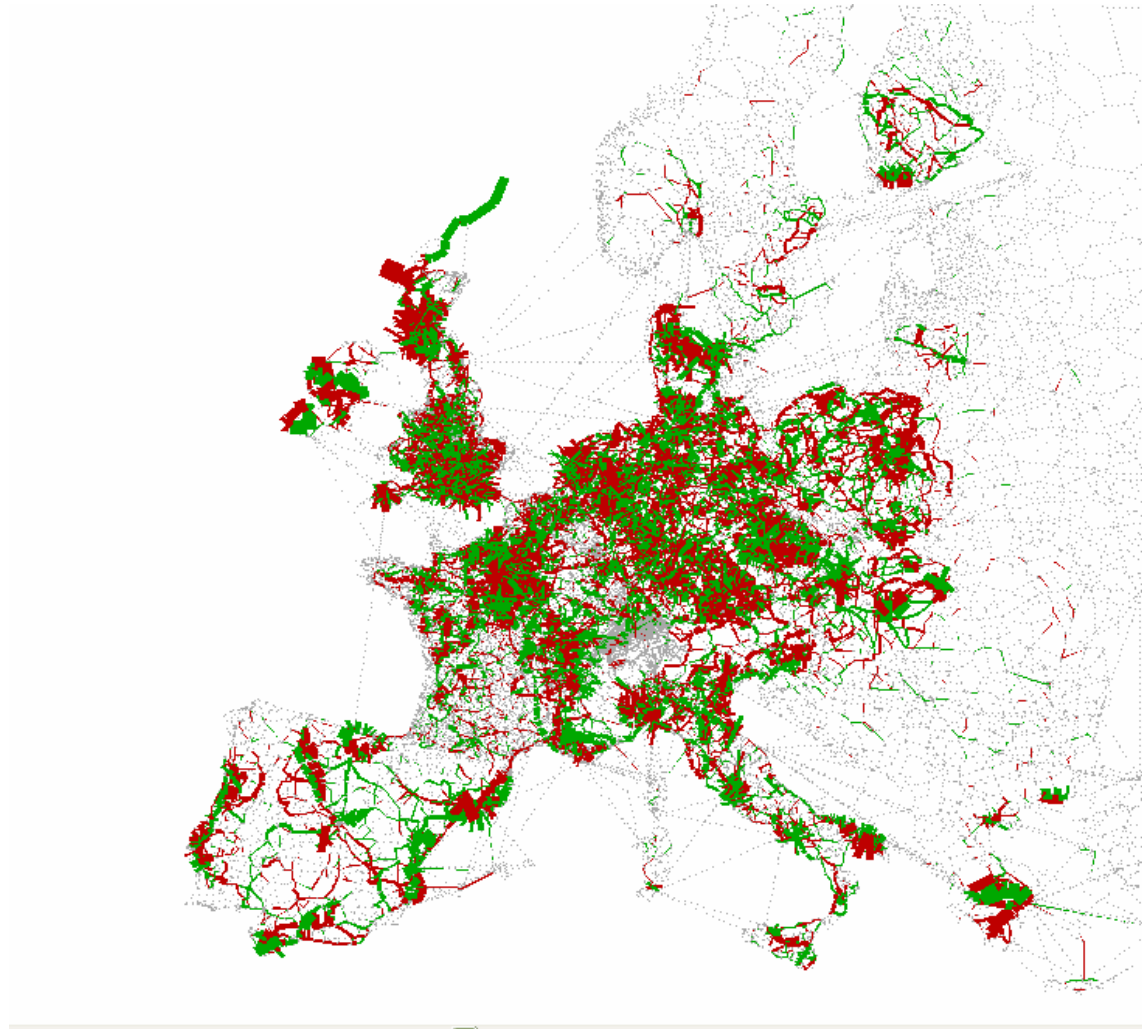


Abbildung 29 Differenznetz Modell-BIP (Belastungsunterschiede grösser als 5000Fz/Tag und kleiner als -5000Fz/Tag)
links: Barcelona, rechts: Mailand



Modell vs. POP: In Abbildung 30 ist das Differenznetz der Modellmatrix minus der Bevölkerungsmatrix dargestellt. Im Vergleich mit Abbildung 28, dem Differenznetz Modell-BIP, sind vor allem die Orte auffällig, die nach Modellmatrix entweder zu viel oder zu wenig Fahrten im Vergleich zu ihrem BIP erhalten haben. Als gutes Beispiel lässt sich Finnland nennen. Finnland hätte nach der Potenzfunktion mehr Fahrten, als ihm mit der Nachfragematrix auf NUTS2 zugeordnet werden. Nach BIP-Aufspaltung erhält Finnland somit viele Fahrten (roter Bereich Abbildung 28), nach POP-Aufspaltung eher wenig. Die Modellfunktion liegt zwischen den beiden Extremen.

Abbildung 30 Differenznetz Modell- POP (alle Belastungsunterschiede)



4.4 Versuch Kalibration

4.4.1 Vorarbeiten

Für den Versuch einer Kalibration der NUTS3-Nachfragematrix mussten zuerst genauer Zählstellen im Netzmodell eingegeben werden. Die Schwierigkeit bestand darin, die richtige Zählstelle der richtigen Strecke zuzuordnen. Die Zählstellen sind nach UNECE Road Census mit Zahlen und/oder Buchstaben bezeichnet und befinden sich nur auf E-Roads. Es heisst also zuerst die passende E-Road im Netz zu finden und danach noch die richtige Stelle, wo die Zählstelle einzufügen war. Mittels Strassenplänen von UNECE, in denen die jeweiligen Zählstellen eingetragen sind, wurde versucht durch Vergleiche mit den Modellstrecken etwa die richtige Stelle für den Eintrag zu finden. Die Werte im Road Census sind „average annual daily traffic (AADT)“ Werte. Das heisst die Summe aller Fahrten in einem Jahr, geteilt durch die Anzahl Tage im Jahr. Die angegebenen Werte wurden halbiert und im Visum als Hin- bzw. Rückverkehr eingegeben.

Für Frankreich sind im Census 2000 gar keine Daten vorhanden. Daher wurden die Zählungen von 1995 hochgerechnet. Als Grundlage wurde der durchschnittliche Verkehrswachstum von 1995 bis 2000 aus den Road Census Daten für einige Länder berechnet. Daraus wurde mittels einer Schätzung für Frankreich der Wert 12% festgelegt.

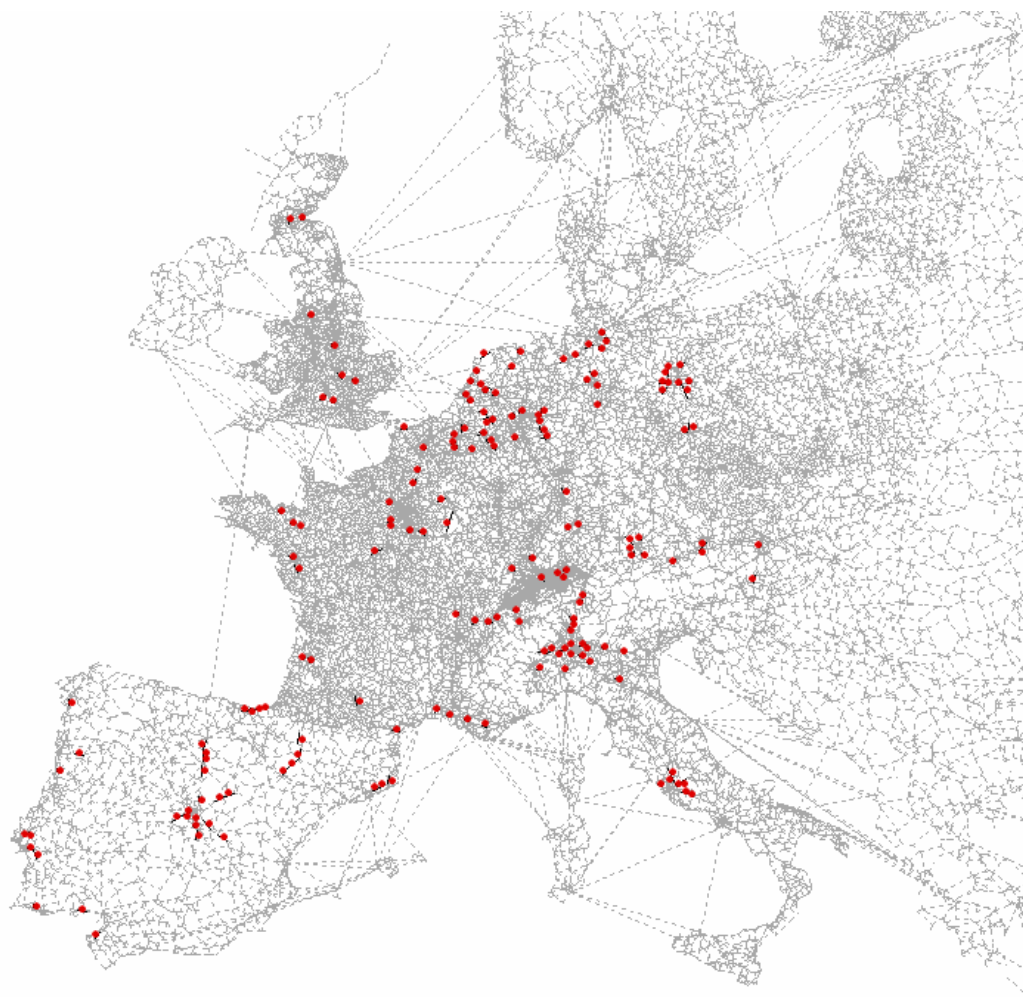
Tabelle 8 Verkehrswachstum

Land	Wachstum (1995-2000)
Portugal	49.5%
Niederlande	12%
Schweiz	13.8 %
Deutschland	11.2%
Rumänien	7.9%
Österreich	18.1%
Belgien	19.2%
Tschechische Republik	32.1%

Quelle: UNECE Road Census 2000

Bei Spanien mussten die Werte auch hochgerechnet werden, da die Pläne mit den Zählstellenorten aus 1995 veraltet sind. Im Census von 2000 gibt es 87 Zählstellen mehr. Die ganze Nummerierung der Zählstellen hat sich verschoben und es ist nicht mehr nachvollziehbar, welche Zählstelle welche ist. Wie in Tabelle 8 zu sehen ist, hat in Portugal ein sehr starker Verkehrszuwachs stattgefunden zwischen 1995 und 2000. Es ist anzunehmen, dass auch Spanien eher über dem europäischen Durchschnitt liegt. Geschätzt wird ein Prozentsatz von 25%. Alle eingegebenen Zählstellen sind in Abbildung 31 dargestellt.

Abbildung 31 Zählstellen



4.4.2 Verfahren nach Lohse

Für das Verfahren „Kali“, eine Kalibration die nur für IV-Matrizen möglich ist, sind ein Umlegungsergebnis und Zählstellen nötig. Das Verfahren ermittelt Hochrechnungsfaktoren für den Quell- und Zielverkehr. Anschliessend wird mit einem Ausgleichsverfahren die Matrix auf annähernd richtige Summenwerte hochgerechnet. Für diese Hochrechnung wird ein iteratives Verfahren, das Multiverfahren nach Lohse, benutzt. Es sucht jene Lösung, die dem Sollwert am nächsten kommt.

Das Verfahren nach Lohse funktioniert folgendermassen: In jedem Iterationsschritt wird eine neue Quell-Ziel-Beziehung F_{ij} aus der vorherigen F_{ij} Beziehung berechnet, wobei sich der Wert immer näher dem Sollwert annähert.

$$F_{ij}(n+1) = F_{ij}(n) * q_i(n) * z_j(n) * f(n)$$

$$\text{Mit } q_i(n) = \frac{Q_{ip}}{\sum_j F_{ij} * \frac{Z_{jp}}{Z_j(n)}}, \quad z_j(n) = \frac{Z_{jp}}{\sum_i F_{ij} * \frac{Q_{ip}}{Q_i(n)}} \quad \text{und} \quad f(n) = \frac{G_p}{G(n)}$$

Q_{ip} = Gewünschter Quellverkehr Bezirk i

Z_{jp} = Gewünschter Zielverkehr Bezirk j

G_p = Gewünschter Gesamtverkehr

$F_{ij}(n)$ = Verkehrsstrom von Bezirk i nach Bezirk j in Iteration n

$Q_i(n)$ = Quellverkehr von Bezirk i in Iteration n

$Z_j(n)$ = Zielverkehr von Bezirk j in Iteration n

$G(n)$ = Gesamtverkehr in Iteration n

Die Berechnung wird solange durchgeführt, bis die Quell- und Zielwerte folgende Randbedingung erreichen:

$$\frac{Q_i(n)}{Q_{ip}} - 1 \leq \varepsilon \quad \text{und} \quad \frac{Z_j(n)}{Z_{jp}} - 1 \leq \varepsilon$$

für ε gilt nach Lohse

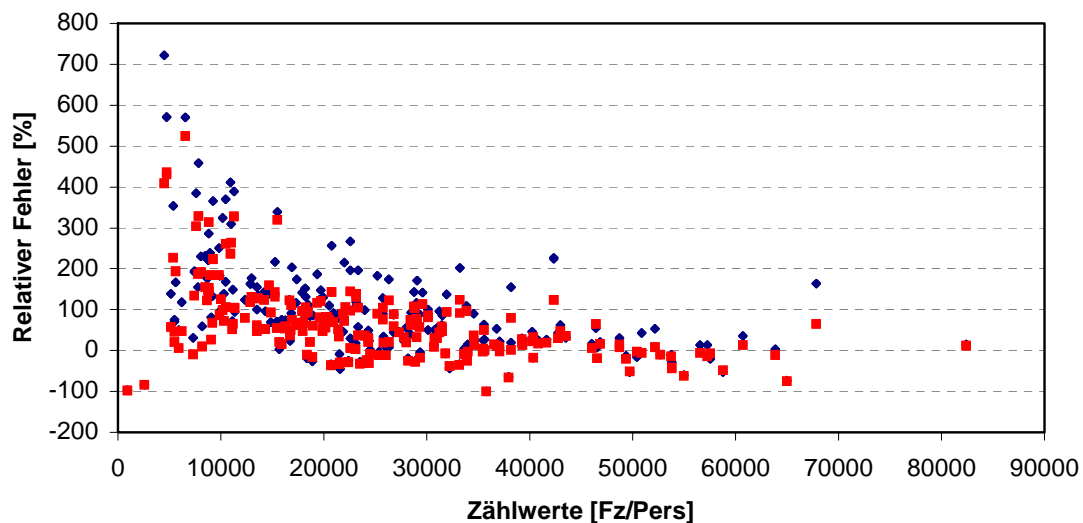
$$\varepsilon = \frac{1}{\langle GF \rangle + \sqrt{Q_{ip}}} \quad \text{und} \quad \varepsilon = \frac{1}{\langle GF \rangle + \sqrt{Z_{jp}}}$$

$\langle GF \rangle$ bestimmt die Genauigkeitsschranke. In Visum ist der Wert zwischen 1 und 99 wählbar. Je höher dieser Wert gewählt wird desto genauer wird die Kalibration und desto höher der Rechenaufwand.

4.4.3 Resultate

Für die erste Kalibration der Modellmatrix betrug die Anzahl Iterationsschritte 10 und $\langle GF \rangle$ 3 (Voreinstellungen in Visum). Mit diesen Parametern ergaben sich neu 39'160'016 Fahrten (Vorher waren es 54'308'014). Der Vergleich zwischen den Zählstellen und den berechneten Belastungen, zeigt aber, dass die Annäherung nur gering ist. Die Grafik dazu ist in Abbildung 32 dargestellt. Die 400 Messwerte weichen immer noch recht stark vom gewünschten Wert (0%) ab.

Abbildung 32 Umlegungsanalyse Kalibration - Modellmatrix



◆ Modellmatrix ■ Modellmatrix, kalibriert

Das resultierende R^2 beträgt 0.89, also gleichviel wie bei der unkalibrierten Modellmatrix. Im Mittelwert verringerte die Kalibration den relativen Fehler um 30%. Die maximale Verbesserung des relativen Fehlers erreichte 313%, der schlechteste Wert vergrösserte den Fehler um 44%. Eine geringe Verschiebung in die richtige Richtung ist erkennbar, aber das Resultat ist nicht wirklich überzeugend.

Für eine zweite Kalibration wurden 20 Iterationsschritte verwendet und ein GF von 50. Diese Kalibration ergab ein Total von 39'161'529 Fahrten. Die Regressionsgerade änderte sich aber kaum und auch der R^2 Wert blieb gleich.

Infolge der geringeren totalen Fahrten ist zu erwarten, dass ein Vergleich der beiden Umlegungen (Modellmatrix-Kalibration) mehrheitlich positive Werte liefern wird. Näher betrachtet werden demzufolge nur sehr grosse Differenzen ab 20'000Fz/Tag. Wie in Abbildung 33 zu sehen ist, sind die stark positiven Werte hauptsächlich rund um Haupt- und Grossstädte zu finden.

In Abbildung 34 sind alle Strecken mit Belastungen kleiner als $-10'000\text{Fz/Tag}$ rot dargestellt. Das sind jene Strecken, die mit der kalibrierten Matrix eine grössere Belastung erhalten haben als mit der Modellmatrix. Es handelt sich hauptsächlich um Zufahrten zu Hauptstädten oder Grosstädten (Wien, Frankfurt am Main, Paris, Antwerpen, Amsterdam, Manchester nach London, Stockholm, Prag).

Abbildung 33 Differenznetz Modell-Kalibration (Belastungsunterschiede grösser als 20'000Fz/Tag)

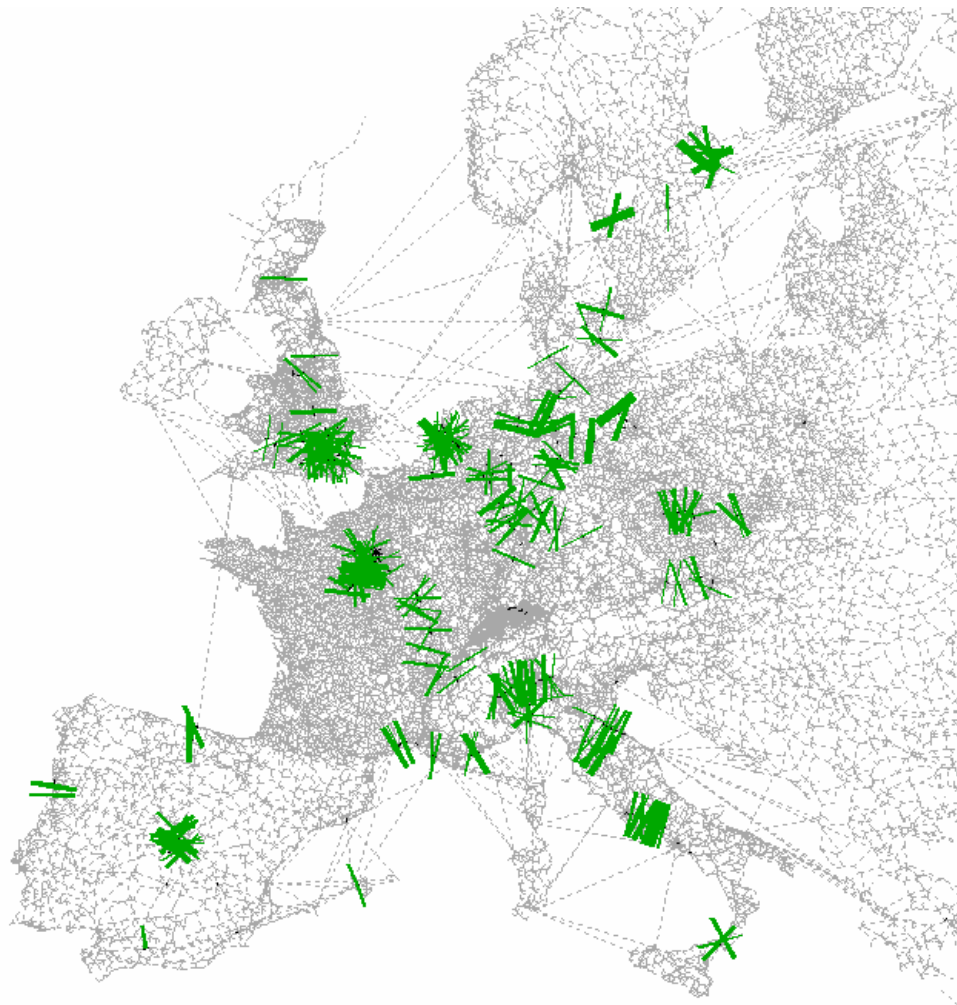
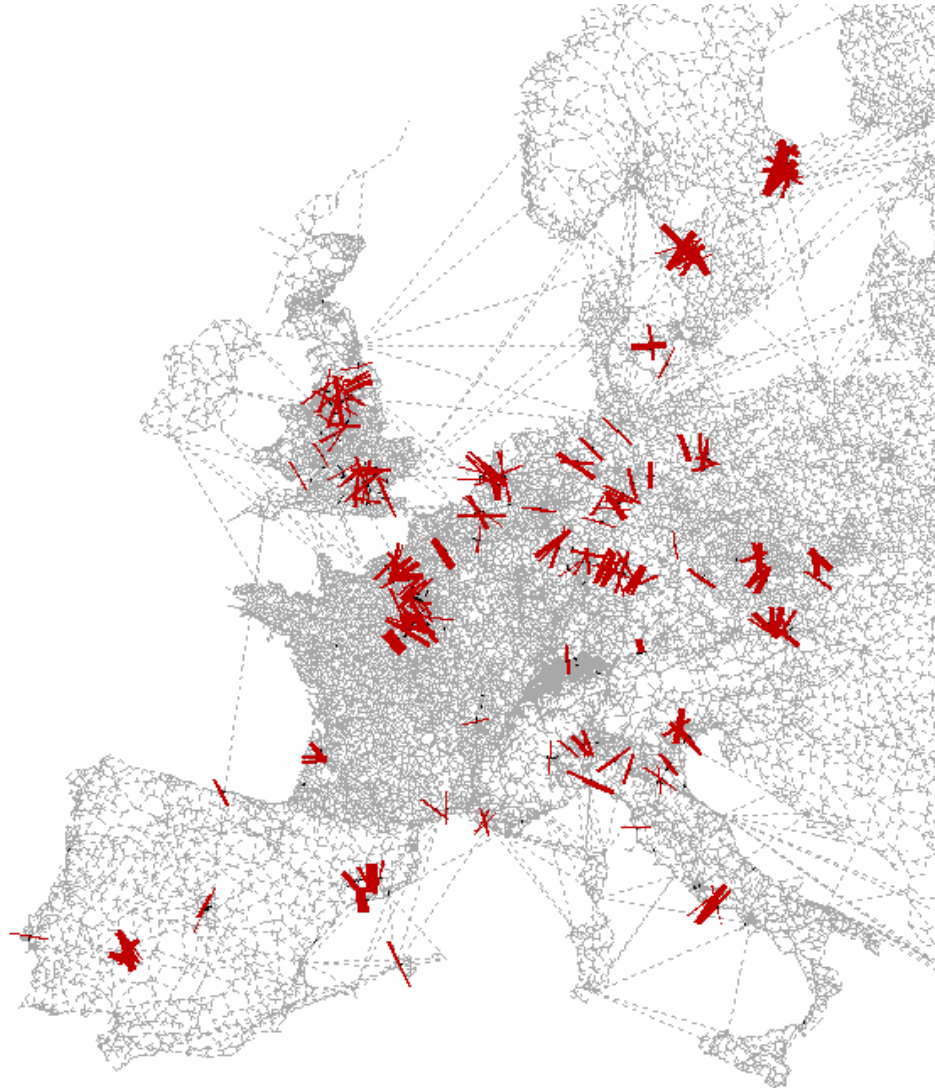


Abbildung 34 Differenznetz Modell-Kalibration (Belastungsunterschiede kleiner als $10'000\text{Fz}/\text{Tag}$)



Als Versuch wurde mit dem gleichen Verfahren noch die BIP-Matrix kalibriert. Es ergaben sich total 39'291'802 Fahrten. Für einen Vergleich zwischen dem Zählwert und der aus der Umlegung resultierenden Belastung, wurde wiederum eine Umlegungsanalyse durchgeführt. Das R^2 der Regressionsgeraden ist bei dieser kalibrierten Matrix mit 0.9 leicht besser als vorher. Der Unterschied ist aber sehr klein.

5 Bewertung und Ausblick

Das Ziel der Semesterarbeit ist insofern erreicht, als dass mehrere Nachfragematrizen auf NUTS3 Niveau erstellt wurde. Die Umlegungen der Matrizen zeigen im Vergleich mit Zählstellen bessere Resultate, als die Matrix auf NUTS2-Niveau. Um genauere Aussagen über die Richtigkeit der Resultate zu machen, müssten wohl noch mehr Zählstellen als Vergleich eingegeben werden. Zusätzlich müsste man die richtigen Zählwerte von Frankreich und Spanien zur Verfügung haben und am besten das Einfügen der Zählstellen automatisieren. Es wäre z.B. sehr nützlich die Koordinaten der Zählstellen zu haben. So könnte man alle Zählstellen einlesen und die Zählstellen würden sicher am richtigen Ort eingefügt. Im Gegensatz dazu ist die Eingabe von Hand fehleranfälliger.

Die Kalibration zeigt ein, um es nur an dem R^2 Wert zu beurteilen, gleich gutes Resultat an wie die Modellmatrix. Die Übereinstimmung zwischen Zählstelle und Belastung wurde nur gering verbessert. Interessant wäre es, die Kalibration nach Lohse mit einer VStromFuzzy Kalibration zu vergleichen. Daraus liesse sich auch eher beurteilen, wie falsch bzw. richtig die Resultate sind.

Auffallend ist, dass egal bei welcher aufgesplitteten Matrix, die grössten Differenzen bzw. auffälligsten Werte immer etwa an den gleichen Orten liegen und zwar rund um Grossstädte. Es wäre daher sinnvoll für alle NUTS3 Zonen, die solche Bereiche beinhalten, ein neues Aufsplittungsmodell zu erstellen, das folgende Punkte berücksichtigt:

- Höhere Bevölkerungsdichte als Umgebung
- Ziel vieler Fahrten. Einbau eines Faktors, der die damit verbundenen Fehler minimiert oder zumindest abmindert
- Meist höheres BIP als Umgebung

Eine weitere Fehlerquelle könnte auch die Wahl des Umlegungsverfahrens sein. Das Sukzessivverfahren ist zwar von der Rechenzeit her eindeutig besser, die Resultate scheinen aber im Gleichgewichtsverfahren besser zu sein. Ein Vergleich auf NUTS2-Niveau und NUTS3 zeigte, dass die Unterschiede hauptsächlich um Grosstädte liegen. Das Sukzessivverfahren ergibt dort grössere Belastungen.

Es ist schwierig zu sagen, welche Art der Aufsplittung nun das beste Resultat geliefert hat. Die Aufsplittung nach Bevölkerung scheint sinnvoll, da es Personen braucht die überhaupt fahren. Der Einfluss des BIP's ist auch nicht abzuwerten, da ohne Geld kein Auto, keine Ferien etc. Z.B. Norwegen, hat stellenweise eine sehr geringe Bevölkerungsdichte, aber trotzdem ein hohes BIP. Da wird eine Aufsplittung natürlich schwieriger. Die Modellmatrix beinhaltet sowohl BIP als auch Bevölkerung und ergibt an sich gute Resultate. Ausnahmen bilden jene Regionen, denen mit der Modellmatrix (und auch der BIP-Matrix) extrem hohe Fahrtenanzahlen zugeordnet werden. Bei der POP-Matrix sind solche Extremwerte nicht vorhanden.

Natürlich wird eine Umlegung nie genau die Realität wiedergeben. Abweichungen hängen nicht nur von der Quell-Zielmatrix ab, sondern auch vom Netz (Strecken mit falschen Geschwindigkeiten, falschen Distanzen, Genauigkeit im Allgemeinen...) und den verwendeten Funktionen und ihren Parametern. Von diesem Standpunkt aus gesehen sind die drei Matrizen eine gute Annäherung an die wirklichen Verhältnisse und auch für weitere Arbeiten verwendbar.

6 Literatur und URL's

Mott, P. und Nökel, K. (1999) Fortschreibung von Nachfragematrizen: ein neues Verfahren und seine praktische Erprobung, Heureka '99 Tagungsbericht, Karlsruhe

Ortúzar, J. de Dios und Willumsen, L.G. (2001) Modelling Transport, 3. Auflage, John Wiley & Sons, Chichester

www.destatis.de, Bundesamt für Statistik Deutschland, URL, Mai 2006

<http://epp.eurostat.cec.eu.int>, Eurostat, URL, April 2006

www.europa.eu.int/comm/eurostat/ramon/nuts/home_regions_de.html, URL, April 2006

www.vsp.tu-berlin.de/teach/LV/WS0506/L021/ex/skript_ex_03.pdf, URL, Mai 2006

www.wegweiserdemografie.de, URL, Mai 2006

www.wikipedia.org, URL, April 2006 bis Mai 2006

www.wko.at/statistik/eu/europa-bevoelkerungsentwicklung.pdf, URL, Mai 2006

