

UVEK

Eidgenössisches Departement für Umwelt,
Verkehr, Energie und Kommunikation

b a s e s a r e

Bundesamt für Raumentwicklung
Office fédéral du développement territorial
Ufficio federale dello sviluppo territoriale
Federal Office for Spatial Development

Erstellung des nationalen
Personenverkehrsmodells
für den öffentlichen und
privaten Verkehr

Modellbeschreibung

**Erstellung des nationalen
Personenverkehrsmodells
für den öffentlichen und
privaten Verkehr**

Modellbeschreibung

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)
Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation (UVEK)

Auftraggeber

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)
Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Bundesamt für Verkehr (BAV)

Auftragnehmer

IVT, ETH Zürich: Dr. Milenko Vrtic, Philipp Fröhlich, Nadine Schüssler, Prof. Dr. Kay Axhausen
Emch+Berger Zürich: Stefan Dasen, Stephan Erne, Benno Singer
Technische Universität Dresden: Prof. Dr.-Ing. habil. Dieter Lohse, Dr.-Ing. Christian Schiller

Begleitgruppe

ARE: Michael Arendt, Rolf Geiger
ASTRA: Jean-Luc Poffet
BAV: Erwin Wieland, Hans Ulrich Felber
SBB: Daria Martinoni
TBA Zürich : Nikolaus Bischofberger
Amt für ÖV Kt. Bern: Bernhard Kirsch
Baudepartement Kt. AG: Hansruedi Müller
Baudepartement Kt. BS: Philippe Oswald
Amt für Verkehr Kt. ZH: Michael Redle
TBA Kt. LU: Ernst Schmid

Produktion

ARE: Stabsstelle Information, Rudolf Menzi

Zitierweise

Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2006):
Erstellung des nationalen Personenverkehrsmodells
für den öffentlichen und privaten Verkehr - Modellbeschreibung

Anmerkung

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur die von den
Auftraggebern beauftragten Autoren

Bezugsquelle

auf Internet: www.are.admin.ch

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1 Hintergründe und Ziele der Untersuchung	3
2 Erläuterung des Arbeitsprogramms	7
3 Basisdaten und Modelle	9
4 Erstellung der Verkehrsangebote	10
4.1 Erstellung des Verkehrsangebotes im Strassenverkehr	11
4.1.1 Strecken und Knoten	11
4.1.2 Bezirke und Anbindung	21
4.1.3 Zählstellen	26
4.1.4 Prognosenetz MIV	31
4.2 Erstellung des Verkehrsangebotes im öffentlichen Verkehr	34
4.2.1 Strecken, Knoten und Linien	34
4.2.2 Bezirke und Anbindung	37
4.2.3 Zählwerte	39
4.2.2 Prognosenetz ÖV	40
5 Vorgehen zur Erstellung von Quell-Zielmatrizen	43
6 Verkehrsproduktion und Verkehrsattraktion	46
7 Schätzung der Parameter für das simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahl-Modell	57
8 Erstellung von Quell-Zielmatrizen für den Ist-Zustand	65
8.1 Binnenverkehrsmatrix	68
8.1.1 Plausibilisierung der Binnenverkehrsmatrix	72
8.1.2 Reiseweiteverteilungen	75
8.1.3 Netzbelastungen	82
8.1.4 Quell-Zielströme / Spinnenanalyse	90
8.1.5 Vergleich mit der Pendlerstatistik aus der Volkszählung 2000	99
8.2 Aussen- und Umfahrungsströme	106
9 Kalibration der Quell-Zielmatrizen auf die Querschnittszählungen	107
10 Schlussfolgerungen und Empfehlungen	164
11 Literatur	167
12 Anhang	169

Zusammenfassung

Die Schätzung der Nachfrageauswirkungen einer Massnahme kann nur durchgeführt werden, wenn es vorher gelungen ist, den Verkehr in seinen Zusammenhängen im Ist-Zustand realistisch zu erfassen und abzubilden. Dafür sind die Kenntnisse der vorhandenen Verkehrsbeziehungen zwischen festgelegten Punkten oder Zonen eine der wesentlichen Voraussetzungen. Im Rahmen von Aktualisierungsarbeiten der beim UVEK eingesetzten Modelle im Personenverkehr wurden im vorliegenden Projekt die Quell-/Zielmatrizen der übergeordneten schweizerischen Verkehrsnachfrage neu erstellt.

Da eine vollständige Erfassung oder eine grossräumige Durchführung von punktuellen Quell-Ziel-Befragungen aus verschiedenen Gründen nicht möglich bzw. nicht zu erwarten ist, wurde für die Erstellung von Quell-Ziel-Matrizen ein Verfahren angewandt, das auf mathematischen Modellen und vorhandenen Erhebungen basiert. Die Gesetzmässigkeiten des Verkehrsverhaltens wurden aus vorhandenen Erhebungsdaten abgeleitet und die ermittelten Quell-Ziel-Matrizen durch die vorhandenen Erhebungen plausibilisiert. Um eine verlässliche Struktur und eine fahrtzweckspezifische Quell-/Zielmatrix zu schätzen, mussten hier die modernsten Ansätze der Verkehrsmodellierung verwendet werden.

Als Voraussetzung für die Erzeugung von Quell-/Zielmatrizen wurde in einem ersten Schritt das Verkehrsangebot im MIV und dem ÖV neu erstellt. Die Berechnung der Quell-Ziel-Matrizen erfolgte aufbauend auf einer Einteilung der Verkehrsnachfrage in 17 Quell-Ziel-Gruppen (QZG) gemäss der Aktivitäten, welche die Personen am Quell- und Zielort ausführen. Für jede QZG wurde eine eigenständige Nachfragematrix erstellt, die anschliessend zunächst zu fahrtzweckbezogenen Matrizen und schliesslich zu Gesamtmatrizen je Verkehrsmittel (MIV, LIV und ÖV) zusammengefasst wurden. Voraussetzung für die Berechnung der Matrizen waren einerseits die aus der Verkehrserzeugung ermittelten Quell- und Zielverkehrsaufkommen für jede QZG, die Angebots- und Attraktionsdaten sowie die geschätzten Modellparameter, die das Wahlverhalten der Verkehrsteilnehmer in den einzelnen Entscheidungssituationen (Ziel-, Verkehrsmittelwahl) wiedergibt.

Für die Verteilung und Aufteilung der Verkehrsnachfrage wird ein simultanes Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell geschätzt. Dies umfasst die Modellierung und Kalibrierung eines detaillierten Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodells für die Schweiz auf Grundlage von Mikrozensus Verkehr 2000 und Stated-Preference Befragungen. Die Modellschätzungen ergeben ein simultanes Modell der Ziel- und Verkehrsmittelwahl, das in der Lage ist, die räumliche

und modale Konkurrenz angemessen abzubilden. Sie werden getrennt für die fünf Fahrtzwecke vorgenommen.

Die ermittelten Quell-Ziel-Matrizen wurden in zwei Schritte plausibilisiert:

- Überprüfung der Matrixstruktur bzw. der einzelnen Quell-Ziel-Ströme
- Überprüfung der Abweichungen gegenüber den Querschnittszählungen.

Dafür wurden alle vorhandenen Erhebungen wie der Mikrozensus Verkehr 2000, die Pendlerstatistik aus der Volkszählung 2000, die Erhebungen zum alpen- und grenzquerenden Personenverkehr 2001, Querschnittszählungen, vorhandene Studien, usw. verwendet.

Aufgrund der guten und plausiblen Struktur der Matrizen wurde bei der darauf folgenden Kalibration ganz auf die Anwendung eines automatischen Kalibrationsverfahren verzichtet. Daher war nur noch eine manuelle Eichung an einzelnen Querschnitten erforderlich. Es konnte festgestellt werden, dass die Struktur der erstellten Matrizen den aus den Erhebungen abgeleiteten Gesetzmässigkeiten entspricht und die Modelle das reale Verkehrsgeschehen gut widerspiegeln. Mit den Erhebungsdaten wurden sowohl die einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen, die Verteilung der Ströme auf einzelnen Querschnitten (Spinnenanalyse) und die Reiseweiteverteilungen als auch die Querschnittsbelastungen überprüft. Die mittleren gewichteten Abweichungen der ermittelten Streckenbelastungen gegenüber den Querschnittszählungen im MIV-Modell betragen 5.97% und im ÖV-Modell 7.68%.

Durch eine realitätsentsprechende Matrixstruktur sowie durch minimale Abweichungen gegenüber den Querschnittszählungen ist die Prognosefähigkeit der Quell-Zielmatrizen gewährleistet. Die erstellten Modelle sind damit die Grundlage sowohl für die Aktualisierung von Quell-Ziel-Matrizen als auch für die Beurteilung von Massnahmen und Verkehrsprognosen. Mit diesen ist es möglich, Veränderungen im Verkehrsangebot und den soziodemographischen und räumlichen Charakteristiken zu analysieren. Dabei können die Nachfrageauswirkungen auf allen vier Modellstufen berechnet werden: Verkehrserzeugung, Zielwahl, Verkehrsmittelwahl und Routenwahl.

1 Hintergründe und Ziele der Untersuchung

Die Schätzung der Nachfrageauswirkungen einer Massnahme kann nur durchgeführt werden, wenn es vorher gelungen ist, den Verkehr in seinen Zusammenhängen im Ist-Zustand realistisch zu erfassen und abzubilden. Die Analyse eines Ist-Zustandes kann entweder durch direkte Beobachtungen und Messungen oder in Kombination mit mathematischen Modellen durchgeführt werden. Bei der Abbildung eines Verkehrszustandes ist es selten möglich, diesen vollständig durch Messungen und Beobachtungen zu erfassen. Aus diesem Grund sind für die Schätzungen von verkehrlichen Auswirkungen von infrastruktur- und verkehrspolitischen Massnahmen netzbasierte Verkehrsmodelle die entscheidende Grundlage.

Eine der wesentlichen Voraussetzungen für die Planung oder den Betrieb von Verkehrsanlagen und damit auch für die Erstellung von Netzmodellen ist die Kenntnis der erwarteten oder der vorhandenen Verkehrsbeziehungen zwischen festgelegten Punkten oder Zonen. Diese Quell-/Ziel-Beziehungen werden in der Regel als Matrix dargestellt. Ihre wesentlichen Dimensionen sind die Verkehrsmittel, die räumliche Auflösung (Anzahl Zonen innerhalb und ausserhalb des Untersuchungsgebietes), die Fahrtzwecke und die zeitliche Auflösung (Stundengruppen, Tage der Woche, Jahreszeit). Weitere Dimensionen sind denkbar, wie zum Beispiel die verschiedenen Dimensionen aus der Soziodemographie der Reisenden. Eine spezifische Quell-/Zielmatrix gibt die Verkehrsmengen zwischen den Quell- und Zielzonen an, die in einem bestimmten Zeitintervall zu einem Fahrtzweck mit einem Verkehrsmittel und von einer bestimmten Personengruppe erzeugt werden.

Im Rahmen von Aktualisierungsarbeiten der beim UVEK eingesetzten Modelle im Personenverkehr aktualisieren die Bundesämter für Raumentwicklung, Strassen und Verkehr gemeinsam die Quell-/Zielmatrizen der übergeordneten schweizerischen Verkehrsnachfrage. Durch verlässlichere bzw. realitätsentsprechendere Quell-/Zielmatrizen sollen die Grundlagen für die Berechnungen von Nachfrageveränderungen und für die Beurteilung von Massnahmen und Verkehrsprognosen verbessert werden. Zusätzlich sind diese Daten sehr wichtige Bausteine vieler Forschungsprojekte.

Quell-/Zielmatrix im Strassenpersonenverkehr

Die für die Schweiz bisher vorhandene Quell-/Zielmatrix im Strassenverkehr wurde für das Jahr 1995 von der Arbeitsgemeinschaft Fusseis/Sigmaplan berechnet. Die aus soziodemographischen Daten und Mobilitätskennziffern berechnete Verkehrserzeugung und Verkehrsan-

ziehung (nach Fahrtzwecken) wurde mittels eines einfachen Gravitationsansatzes zwischen den Zonen verteilt und auf die Querschnittszählungen kalibriert. Hier wurde eine Annahme zur Grösse der Gravitationskonstante getroffen, ohne diese aus den Erhebungsdaten zu kalibrieren. Die Nachfrageverteilung wurde nur mit den Daten des Mikrozensus Verkehr aus dem Jahr 1994 auf die gesamte Reiseweiteverteilung geprüft und korrigiert. Dabei wurde die Distanzverteilung der Matrix nur für Fahrten mit einer Reiseweite von mehr als 7 km überprüft, ohne die inter- und intrazonalen Fahrten in den Mikrozensus Verkehr Daten eindeutig voneinander zu trennen.

Im Rahmen von mehreren Projekten, einschliesslich der Untersuchung von Vrtic, Axhausen, Rossera und Maggi 2003, hat sich gezeigt, dass die Struktur dieser Matrix geprüft, aktualisiert und verbessert werden sollte. Dies bezieht sich vor allem auf die Nachfrage für bestimmte Verkehrsbeziehungen, die Nachfrageverteilungen auf einzelnen Querschnitten, sowie auf die gesamte Reiseweiteverteilung. Es hat sich gezeigt, dass mit der angewendeten Methode bei der Matrixerzeugung und den dort verwendeten Parametern die Verkehrsbeziehungen mit kürzeren Entfernungen überbewertet und jene mit längeren Entfernungen stark unterbewertet wurden. Dies ist sehr wahrscheinlich durch die zu grosse Gravitationskonstante verursacht worden. Dadurch wurde die Nachfrageverteilung zwischen den Regionen bzw. auf einzelnen Quell-/Ziel-Beziehungen verzerrt.

Quell-/Zielmatrix im Schienenpersonenverkehr

Die SBB führen jedes Jahr an fünf Tagen Erhebungen zur Fahrausweisstruktur in den Zügen durch. Dabei werden Quell- und Zieldestinationen im In- und Ausland (952 FQ-Bahnhöfe in der Schweiz und 52 FQ-Bahnhöfe im Ausland) erfasst. Mit den Ergebnissen dieser Befragung und dem vorhandenen Fahrplan (Linienangebot) wird eine Hochrechnung auf den durchschnittlichen Werktagsverkehr durchgeführt. In einem weiteren Schritt wird die Quell-/Zielmatrix durch Umlegung und Kalibration auf die Querschnittsbelastungen (HOP– Hochrechnung Personen) geeicht.

Im Zusammenhang mit der Erarbeitung der Grundlagen für die Planungsarbeiten Bahn 2000, 2. Etappe wurde auf Basis dieser Daten für den Fahrplan 1997/98 eine Bahnmatrix für den durchschnittlichen Werktagsverkehr (DWV) erarbeitet (siehe Vrtic, Koblo und Vödisch, 1999). Sie wurde von der SBB für den Fahrplan 1999/00 und von Vrtic, Axhausen, Maggi und Rossera (2003) für den Fahrplan 1999/00 und 2001/02 aktualisiert.

Struktur und Qualität der Matrix wurden in der Untersuchung von Vrtic, Axhausen, Rossera und Maggi (2003) anhand verschiedener Kriterien geprüft. Es hat sich gezeigt, dass die Matrix in ihrer Struktur eine realitätsentsprechende Abbildung des Verkehrsgeschehens im Schienenverkehr darstellt, obwohl stochastische Schwankungen über die Zeit korrigiert werden sollten.

Ein sehr wichtiger Nachteil der Matrix ist, dass sie nicht auf Grundlage einer „gemeindefeinen“ Zonierung erstellt wurde. Dadurch besteht keine Kompatibilität mit der Strassenmatrix, was bei Verkehrsmittelwahlberechnungen zu weiteren Ungenauigkeiten führt. Wegen der fehlenden Datengrundlage werden ein Teil des Verkehrs von Privatbahnen und der übrige, nicht schienengebundene, öffentliche Verkehr nicht abgebildet. Zudem werden bei den Erhebungen der SBB keine Fahrtzwecke erfasst.

Ziele

Die Qualität einer Quell-/Zielmatrix kann am besten durch Erhebungen gesichert bzw. überprüft werden. Dabei sind folgende Erhebungstypen vorstellbar:

- Erhebungen von durchgeführten Fahrten (mit Quell-/Ziel-Beziehungen)
- Erhebungen von Querschnittsbelastungen d.h. Querschnittszählungen
- „Spinnenerhebungen“ mit Quell-/Ziel-Befragungen und Querschnittszählungen.

Da eine vollständige Erhebung der Quell-/Zielmatrix nicht möglich ist, sind die Querschnittszählungen eine notwendige Voraussetzung für ihre Eichung. Andererseits ist es nicht möglich, allein aus den Querschnittszählungen eine Quell-/Zielmatrix zu produzieren. Mit den bestehenden Hochrechnungs- und Kalibrationsmethoden können verlässliche Matrizen nur dann angemessen berechnet werden, wenn eine Ausgangsmatrix mit einer korrekten Struktur zur Verfügung steht. Um die Struktur einer Matrix zu schätzen, werden häufig Stichprobenerhebungen durchgeführt. Wenn solche Erhebungen mit einer genügend grossen Stichprobe vorhanden sind, ist es möglich auf Grundlage der Querschnittszählungen eine verlässliche Hochrechnung auf die Grundgesamtheit durchzuführen.

Aufgrund des geschilderten Zustandes der nationalen Matrizen besteht ein grosser Bedarf vor allem eine neue Strassenmatrix aber auch eine verfeinerte Schienenmatrix zu erstellen. Es bestehen hierzu grundsätzlich drei Möglichkeiten:

- Durchführung einer grossräumigen Quell-/Ziel-Befragung
- Erstellen einer Ausgangsmatrix auf Grundlage der vorhandenen räumlichen, sozio-demographischen und verkehrlichen Charakteristiken (Modellrechnung)

- Kombination aus Teilerhebungen und Modellrechnungen

Da aus verschiedenen, insbesondere finanziellen, Gründen für die bestehenden nationalen Modelle die Durchführung einer grossräumigen Quell-/Zielbefragung aus heutiger Sicht nicht erwartet werden kann, ist zurzeit die Erstellung einer neuen Quell-/Zielmatrix nur auf Grundlage von neueren und verlässlicheren Modellrechnungen möglich. An Teilerhebungen (Spinnenbefragungen) auf Basis der vorhandenen gemeindefeinen Zonierung ist bei der Netzdichte im nationalen Strassenmodell weder ein Interesse vorhanden, noch können zurzeit die finanziellen Mittel dafür bereitgestellt werden.

Daher kann die Struktur der Quell-/Zielmatrix im Strassenverkehr momentan nur durch die Anwendung von neueren und für die vorhandenen Daten geeigneten Methoden geschätzt werden. Die ermittelten Ergebnisse können anhand vorhandener Erhebungsgrundlagen plausibilisiert werden.

Die Schienenmatrix sollte vor allem in folgenden Punkten verbessert werden:

- Verfeinerung auf die „gemeindefeine“ Zonierung und dementsprechende Abbildung der Verkehrsnachfrage
- Erstellung von fahrtzweckspezifischen Matrizen

Das wesentliche Ziel dieser Untersuchung ist es, auf Basis der vorhandenen Daten und durch Schätzung und Anwendung von geeigneten Modellen fahrtzweckspezifische Quell-/Zielmatrizen des Strassen- und Schienenverkehrs für einen Ist-Zustand (2000) zu erstellen.

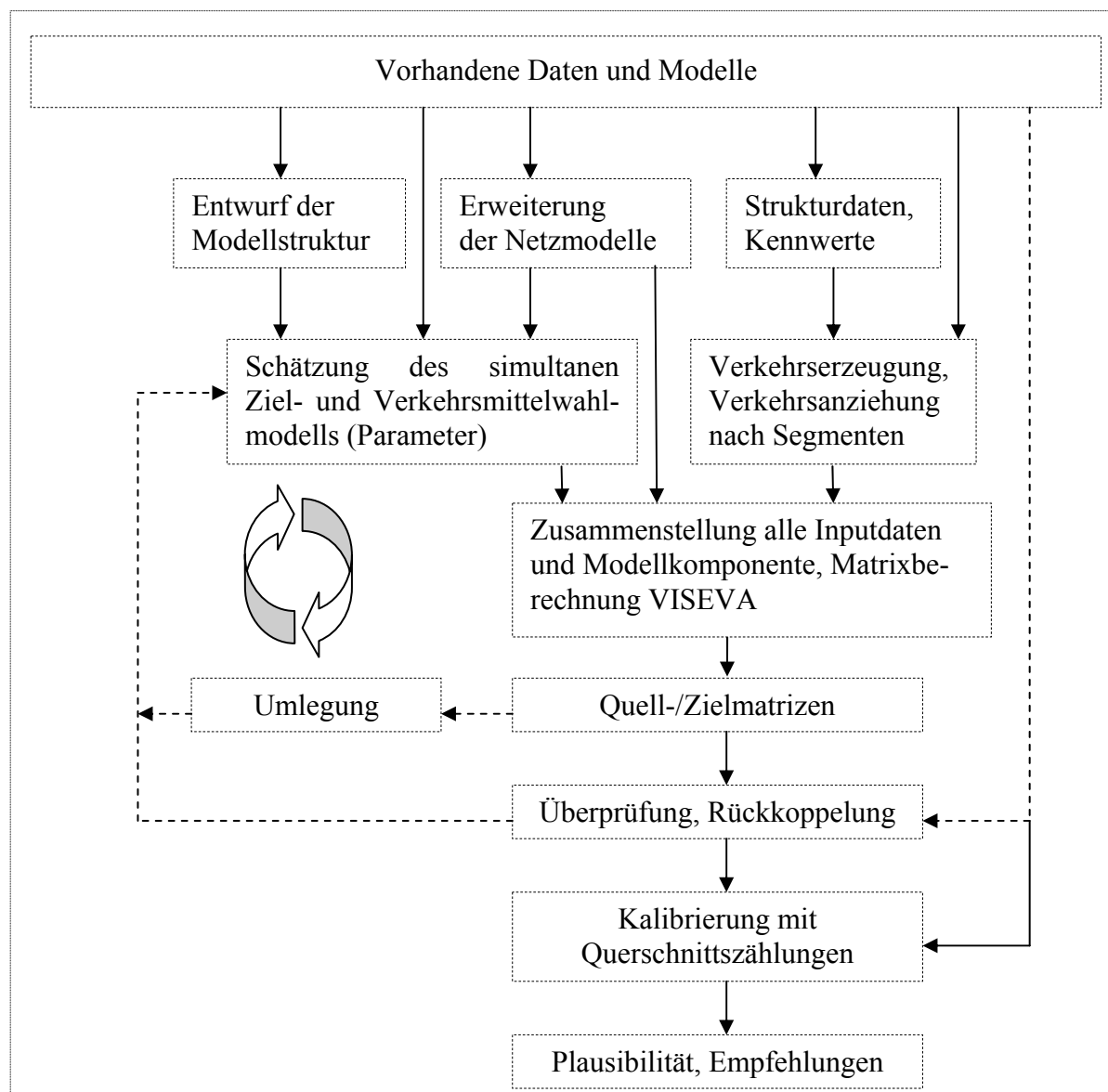
Die Querschnittszählungen, die Erhebung des alpen- und grenzquerenden Personenverkehrs 2001, der Mikrozensus Verkehr 2000, die Ergebnisse der ICN-Studie (Vrtic et al. 2003) und die Pendlerstatistik aus der Volkszählung 2000 bieten die Gelegenheit, die Güte der angewendeten Methoden und der berechneten Matrizen zu überprüfen und bei Bedarf zu korrigieren. Damit wird hier solange ein Rückkoppelungsschritt durchgeführt bis die erhobenen Matrizen genügend genau reproduziert werden.

2 Erläuterung des Arbeitsprogramms

Im ersten Teil des Projektes werden vor allem die Datenaufbereitung und die Erstellung der Verkehrsangebote im MIV und ÖV durchgeführt. Im zweiten Teil werden anhand des ermittelten Verkehrsangebotes und der vorhandenen Erhebungsdaten die Quell-Zielmatrizen erstellt und auf die Querschnittszählungen kalibriert. Wesentliche Grundlage für die Berechnung der Matrizen ist der Aufbau eines simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodells. Mit der Schätzung dieses Modells werden die Gesetzmässigkeiten der Verkehrsverteilung und Verkehrsaufteilung im Personenverkehr bestimmt. Mit geschätzten Parametern und einer berechneten Verkehrsproduktion und Verkehrsattraktion werden die fahrtzweckspezifischen Quell-Zielmatrizen im MIV und ÖV erstellt. So erstellte Matrizen werden mit Erhebungsdaten wie Querschnittszählungen, der Pendlerstatistik aus der Volkszählung 2000 und dem Mikrozensus Verkehr überprüft bzw. kalibriert.

Die wesentlichen Arbeitsschritte und das Vorgehen sind in Abbildung 1 dargestellt.

Abbildung 1 Vorgehen bei der Berechnung der Quell-/Zielmatrizen



3 Basisdaten und Modelle

In dieser Untersuchung wurde im Wesentlichen auf die folgenden Daten und Studien zurückgegriffen:

Strukturdaten:

- Räumliche, soziodemographische und wirtschaftliche Charakteristiken auf Gemeindeebene (Tschopp, Keller und Axhausen, 2003)
- Ergebnisse aus aktuell laufenden Arbeiten zu den Bevölkerungs-, Wirtschafts- und Verkehrsszenarien bis 2030 (ARE, BK, BFS)
- Einkaufszentren VCS (Einkaufszentrum kontra Einkauf im Zentrum, Verkehrs-Club der Schweiz 2001)
- Einkaufsflächen (Wüest & Partner AG, 2001)
- Mobilitätswerkzeuge und Wohnstandorte: Mobiplan stated choice Experimente, Stadt Region Land, (König, A. und K. W. Axhausen, 2001)

Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage:

- IVT: Schienenverkehrsmodell Europa (Bleisch und Fröhlich, 2003)
- IVT: Historische Verkehrsdatenbank (Fröhlich, Ph., T. Frey, S. Reubi und H.-U. Schiedt, 2004)
- HAFAS-Fahrplan der regionalen Buslinien 2003
- Pendlerstatistik aus der Volkszählung 2000
- Alpen- und grenzquerende Personenverkehrs 2001 (A+GQPV) auf Strasse und Schiene (ARE, 2003)
- Mikrozensus Verkehr zum Verkehrsverhalten 2000
- Verkehrszählungen des Bundes (ASTRA- und SSV Zählungen) und der Kantone 2000
- Ergebnisse der Untersuchung „Verifizierung von Prognosemethoden im Personenverkehr“ (IVT/ETH und USI)

4 Erstellung der Verkehrsangebote

Entsprechend der räumlichen Abgrenzung und der festgelegten Zonierung des Modells wird eine konsistente Abbildung des Verkehrsangebotes durchgeführt. Die beiden Modelle, das Strassen- und das ÖV-Modell, wurden mit der Verkehrsplanungssoftware VISUM 8.13 der PTV AG (Karlsruhe) (PTV, 2002) erstellt. Die Netze wurden so erzeugt, dass insbesondere folgende Verkehrsströme im Modell erfasst und analysiert werden können:

- Verkehrsströme zwischen schweizerischen Gemeinden/Regionen
- Quell-, Ziel- und Transitströme in, aus bzw. durch die Schweiz. Diese drei Ströme werden als Aussenströme bezeichnet.
- Umfahrungsströme der Schweiz

Die Verfeinerung der Zonen in den grossen Städten wurde vor allem wegen einer genaueren Darstellung des Routenwahlverhaltens der Ströme zwischen den Gemeinden durchgeführt. Eine genauere Abbildung der Verkehrszustände auf der lokalen Ebene sowohl im Bezug auf das Verkehrsangebot als auch auf die Verkehrsnachfrage geschieht hier nicht. Damit erfolgt auch keine Kalibration des Modells im Bereich der städtischen Netze.

In beiden Modellen wurden mehrfache Anbindungen der Zonen an das Netz modelliert. Das bedeutet, dass in Abhängigkeit vom Zielort bzw. von der Zielzone eine der verfügbaren Anbindungen benutzt wird. Für die Attributierung der Anbindungen wurde die Luftentfernung zwischen dem bevölkerungsgewichteten Zonenschwerpunkt und dem im Modell abgebildeten Netz berechnet. Die Luftentfernung wurde um einen Faktor von 1.5 korrigiert, um eine realistischen Distanz zu ermitteln. Dieser Faktor wurde aus dem Vergleich der gemessenen Distanz und der Luftdistanz im bisherigen nationalen Strassenmodell berechnet.

Im Strassenverkehrsmodell wird der motorisierte Individualverkehr (MIV) abgebildet. Im Modell des öffentlichen Verkehrs (ÖV) werden neben dem Schienenpersonenverkehr auch die regionalen Buslinien berücksichtigt. Dabei liegt der Schwerpunkt vor allem auf den Buslinien, die Gemeinden verbinden. Auf diese Art solle das ÖV-Angebot von Gemeinden ohne Schienenverkehrsanbindung dargestellt werden. Dadurch wurde es möglich, ein für MIV und ÖV kompatibles Modell zu erstellen. Dieses ist für die Schätzung von verschiedenen Nachfrageauswirkungen eine wichtige Voraussetzung.

4.1 Erstellung des Verkehrsangebotes im Strassenverkehr

Das Schweizer Strassennetz (siehe Abbildung 2) entspricht dem Stand Ende 2000 und wurde aufbauend auf dem GIS-Modell MicroDrive mit Stand 1999 (MicroGIS (2005) der Firma MicroGis erstellt. Die europäischen Strecken sind auf dem Stand Sommer 1999, wurden von der PTV erstellt und am IVT zusätzlich attribuiert (z.B. Strassennamen etc.). Die Koordinaten der Knoten sind in Schweizer Landeskoordinaten in Metern angegeben.

Aus dem ursprünglichen europäischen Strassennetzmodell wurden in einem rund 30 km breiten Ring um die Schweiz prinzipiell alle Strecken beibehalten. Nur in Gebieten mit hoher Strassendichte wurde, um Redundanzen abzubauen, das untergeordnete Strassennetz reduziert. In den Gebieten ausserhalb des Ringes wurden die wichtigsten Hochleistungsstrassen beibehalten (siehe Abbildung 3).

Das Strassennetz besteht aus:

- 24'311 Knoten
- 30'276 Strecken beziehungsweise 60'552 gerichteten Kanten
- 3'884 Anbindungen

4.1.1 Strecken und Knoten

Knoten

In Tabelle 1 ist die geographische Einteilung sowie der zugehörige Knotentyp und die Knotennummern der verwendeten Knoten angegeben. Die Koordinaten der Knoten sind im Schweizer Landeskoordinatensystem in Metern angegeben.

Tabelle 1 Knotentyp Strassenmodell

Knotentyp	Knotennummer	Geographische Einteilung	Anzahl Knoten
1	100001-100408 und 11100290-90101747	Knoten europäisches Ausland	9'167
2	1-19997	Knoten in der Schweiz	14'802
3 und 4	1100001-11000202	Knoten der Dummystrecke Schweiz – europäisches Ausland. 3=PW, 4=LKW	190
9 und 0		Knoten von geplanten Strecken 2001- 2030	152

Strecken

In Tabelle 2 ist die geographische Einteilung sowie die zugehörige Anzahl an Strecken zu sehen. Das Gesamtnetz (ohne Grenzstrecken) hat somit eine Länge von 136'374 km. Die Längen der Grenzstrecken sind nicht angegeben, da es sich nur um Dummystrecken handelt.

Tabelle 2 Streckennummern Strassenmodell

Streckennummer	Geographische Einteilung	Anzahl Strecken	Gesamtlänge (km)
1-19997	Strecken in der Schweiz	19'689	23'962.33
30000-39000	Geplante Strecken in der Schweiz 2001-2030	128	
100001-100408	Grenzstrecken Schweiz-europäisches Ausland	392	112'412.18
1000035-99119905	europäisches Ausland	10'194	

Den Strecken wurden Kapazitäten und Geschwindigkeiten zugespielt. Bei den Schweizer Strecken sind die Stundenkapazitäten nach dem Handbuch zur Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS, 2001) in Abhängigkeit vom Streckentyp und der Spuranzahl ermittelt und danach mit dem Faktor 14 für Schweizer Autobahnen und –strassen bzw. 12 für die übrigen Schweizer Streckentypen (vergleiche dazu Vrtic und Axhausen, 2003) auf ihre jeweiligen Tageskapazitäten hochgerechnet worden. Für Autobahnen und –strassen wurde ein höherer Faktor verwendet, da auf diesen Strecken der Strassengüterverkehr berücksichtigt wird. Bei zwei-streifigen Ausserortsstrassen (inkl. Autostrassen) wurde zusätzlich nach Steigungsklassen (abhängig von der Geschwindigkeit des Bemessungs-Lastwagen (B-LW)) und Kurvigkeit die Kapazität abgemindert (siehe Tabelle 3). Die Methodik zur Ermittlung dieser beiden Variablen ist in Fröhlich und Fonfara (2004) beschrieben. Bei Autobahnen wurde die Tageskapazität ab einer Steigung von 2% nach SN 640018 abgemindert. Dies erfolgte mit 1200 Fz pro Richtung bei 2% Steigung, mit 2400 Fz pro Richtung bei 3% Steigung und bei mehr als 4% Steigung mit 3000 Fz. Bei den Fähren und beim Autoverland wurden aufgrund des Fahrplans und der Ladekapazität die Streckenkapazität und die Grundgeschwindigkeit berechnet.

Tabelle 3 Tageskapazitätsannahmen für Ausserortsstrassen und Autostrassen pro Richtung

Steigungsklasse	Kurvigkeit 0-75 gon/km	Kurvigkeit 75-150 gon/km	Kurvigkeit 150-225 gon/km	Kurvigkeit > 225 gon/km
1 (B-LW > 70 km/h)	15'000	12'450	11'610	11'130
2 (B-LW 55 – 70 km/h)	15'000	12'420	11'580	11'130
3 (B-LW 40 – 55 km/h)	15'000	12'000	11'580	11'130
4 (B-LW 30 – 40 km/h)	14'400	12'000	11'580	11'130
5 (B-LW < 30 km/h)	12'000	10'800	10'800	10'770

Quelle: FGSV (2001) S. 5-19

Die Grundkapazität für die Schweizer Autobahnen wird anschliessend um den Schwerverkehr (als ZWert 3 der Strecken und als Streckenattribut Schwer-FZ gespeichert) auf der jeweiligen Strecke verringert (Grundbelastung), und zwar unter der Annahme, dass ein LKW 1.3 PW-Einheiten entspricht. Die Basismatrix für den Strassengüterverkehr (LKW und Sattelschlepper) wurde aus Frascini (2002) übernommen und auf die Zählwerte 2000 kalibriert. Die Kapazitäts- und Geschwindigkeitsannahmen der ausländischen Strecken stammen von der PTV und wurden angepasst. Die freie Geschwindigkeit wurde verringert, da auf den ausländischen Strecken nur ein Teil des Verkehrs abgebildet wird. Die Tageskapazität der Strecken wurde mit einem Faktor 12 aus der Stundenleistungsfähigkeit berechnet.

In Tabelle 4 sind die Attribute der Strecken aufgeführt.

Soweit vorhanden, wurden Strassennamen berücksichtigt. Die Schweizer Autobahnen und -strassen inkl. Autobahnauffahrten haben alle einen Namen. Auch der Grossteil der Hauptstrassen trägt eine Bezeichnung, wobei auf die Verordnung über die Hauptstrassen (Tal-, Alpen- und Jurastrassen) vom 8. April 1987 mit dem Stand vom 28. September 1999 (SR 725.116.23) zurückgegriffen wurde. Hauptstrassen, die nicht in der Verordnung aufgeführt sind, wurden einheitlich als Hauptstrassen benannt.

Die verwendeten Streckentypen sind in Tabelle 5 aufgeführt. Bei der Unterscheidung zwischen Autobahn und Autostrasse in der Schweiz wurde auf die Definition in ASTRA (2001) Bezug genommen. Als Autostrassen werden Hochleistungsstrassen mit nur einem Fahrstreifen je Richtung angesehen, die nur für Motorfahrzeuge zugelassen sind und deren Kreuzungen in der Regel planfrei ausgeführt und nur durch bestimmte Anschlussstellen zugänglich sind. Bei den übrigen Schweizer Streckentypen wurde weitgehend auf die Angaben aus dem

MicroGis-Netz zurückgegriffen. Bei Ausserortsstrecken, die mindestens zu 70% im bebauten Gebiet liegen, wurde die freie Geschwindigkeit (v_0) auf 50 km/h herabgesetzt, aber es wurde dafür kein neuer Streckentyp definiert.

Tabelle 4 Streckenattribute Strassenmodell

Abkürzung in Visum	Name	Kommentar
STRECKEN:Nr	Streckennummer	
VonKnot	von Knotennummer	
NachKnot	nach Knotennummer	
Typ	Streckentyp	siehe Tabelle 4
Laenge	reale Länge (m)	laut MicroDrive
Kap-IV	Kapazität MIV (Fz/24 h)	siehe Tabelle 4
v0-IV	Geschwindigkeit bei freiem Verkehrsfluss	siehe Tabelle 4
StrName	Strassenname	siehe Fröhlich et al. (2004a)
EROEFFNUNGSJAHRCH	Eröffnungsjahr der Strecke Schweiz	siehe Fröhlich et al. (2004a)
EROEFJAHREU	Eröffnungsjahr der Strecke Europa	siehe Fröhlich et al. (2004a)
EUSTRASSE	Europastrassennummer	siehe Fröhlich et al. (2004a)
GEWICHTSLIMIT	Gewichtslimit (t)	in der Schweiz laut MicroDrive, sonst 40 to
HOEHE	Höhe Lichtraumprofil (m)	laut MicroDrive
KURVIGKEIT	Kurvigkeit der Strecke (gon/km)	laut Fröhlich et al. (2004b)
NAT-BEZ	Nationale Bezeichnung (Betreiber)	Nationalstrasse oder sonstige laut ASTRA
STEIG_A	Steigungsprozente auf Autobahnen	laut ARE-Netz
V-BEMESSUNGS-LKW	Geschwindigkeit Bemessungs-LKW (km/h)	laut Fröhlich et al. (2004)
KOMMENTAR		
IN_BEBAU_GEB	Strecke befindet sich zu mind. 70 % im bebauten Gebiet	1 bedeutet ja, 0 bedeutet nein
ABSCHNITT	Abschnittsname	Infoplan, ARE
UNTERABSCH	Unterabschnittsname	Infoplan, ARE

Tabelle 5 Streckentypen Strassenmodell

Nr.	Name	Tages- kapazität (Fz/Tag) ¹	Anzahl Fahr- streifen je Richtung	v0-IV (km/h)	Rang
8	CH-EU Grenzstrecke PW	13'200	1	4	1
9	CH-EU Grenzstrecke LKW	13'200	1	1	1
10	CH-Autobahn 120/2-streifig	56'000	2	120	1
11	CH-Autobahn 120/3-streifig	79'800	3	120	1
12	CH-Autobahn 100/2-streifig	57'400	2	100	1
13	CH-Autobahn 100/3-streifig	81'200	3	100	1
14	CH-Autobahn 80/2-streifig	57'400	2	80	1
15	CH-Autobahn 80/3-streifig	81'200	3	80	1
16	CH-Autostrasse 120/1-streifig	17'500	1	120	1
17	CH-Autostrasse 100/1-streifig	17'500	1	100	1
18	CH-Autostrasse 80/1-streifig	17'500	1	80	1
19	CH-Autobahn Prognose 2001-2030	max.57'400	1-2	100-120	1
20	CH-Tunnel Autobahn 100/2-streifig	57'400	2	100	1
21	CH-Tunnel Autobahn 100/3-streifig	81'200	3	100	1
22	CH-Tunnel Autobahn 80/2-streifig	57'400	2	80	1
23	CH-Tunnel Autobahn 80/3-streifig	81'200	3	80	1
24	CH-Tunnel Autostrasse 100/1-streifig	17'500	1	100	1
25	CH-Tunnel Autostrasse 80/1-streifig	17'500	1	80	1
29	CH-Tunnel Autobahn Prognose 2001-2030	57'400	1-2	80-100	1
30	AB schnell/nationale	60'000	3	120	1
31	AB mittel/nationale	39'600	2	110	1
32	AB-ähnlich schnell/nationale	36'000	2	80	2
33	AB schnell/regionale	39'600	2	110	2
34	AB-ähnl mittel	36'000	2	100	2
35	AB-ähnl langsam/regional	33'600	2	80	2
36	AB-ähnl langsam/regional	31'200	2	80	2
40	CH Hauptverkehrsstrasse	15'000	1	80	2
41	CH Verbindungsstrasse	15'000	1	80	3

¹ Entsprechend der Verkehrsnachfragedynamik eines durchschnittlichen Werktags

42	CH Autobahnanschluss	15'000	1	65	4
43	B schnell/regionale	19'200	1	90	2
44	B schnell/Fernstraße	18'000	1	80	2
45	B schnell/Fernstraße	16'800	1	90	2
46	B mittel/Fernstraße	15'600	1	80	3
47	L schnell/Fernstraße	12'000	1	80	3
50	B mittel/regionale B	14'400	1	80	3
51	L schnell/regionale	13'200	1	80	4
52	B langsam/regionale	14'400	1	70	4
53	B langsam/regionale	12'000	1	60	4
54	L mittel/regionale B	10'800	1	70	4
55	L mittel/regionale B	9'600	1	60	4
56	L langsam/regionale	7'200	1	50	4
57	CH Sammelstrasse	13'200	1	70	4
58	CH Erschliessungsstrasse	13'200	1	70	5
60	CH Alpine Transitstrasse	15'000	1	80	2
61	CH Alpine Hauptverkehrsstrasse	15'000	1	80	3
62	CH Alpine Verbindungstrasse	15'000	1	80	4
63	CH Alpine Erschliessstrasse	12'000	1	60	5
70	CH Tunnel Hauptverkehrstrasse	14'400	1	80	3
71	CH Tunnel im Stadtgebiet	15'000	1	50	3
72	CH Tunnel Alpine Hauptverkehrsstrasse	14'400	1	80	3
73	CH Tunnel Alpine Verbindungstrasse	14'400	1	80	4
80	CH städtische Hauptverkehrsstrasse	13'200	1	45	3
81	CH städtische Sammelstrasse	10'800	1	40	4
83	Stadt schnell/lokale	16'800	1	40	3
84	Stadt mittel/lokale	14'400	1	40	4
85	Stadt langsam/lokale	12'000	1	30	5
86	Stadt schnell/lokale	15'600	1	40	3
87	Stadt mittel/lokale	18'000	1	35	4
88	Stadt langsam/lokale	9'600	1	30	5
90	CH Fähre	3'000	1	10	6
91	CH Autoverlad	2'000	1	30	6
92	Fähre	2'000	1	15	6
99	Dummy Strecken Ausland	15'000	1	70	7

Die Kapazität der Haupteinfallstrassen in Grossstädten wurde erhöht, wenn starke Überlastungen nach der Umlegung auftraten, da das untergeordnete Strassennetz nicht im Modell berücksichtigt wird. Bei diesen Strecken wurde im Streckenkommentar im Modell darauf hingewiesen. Die Grenzübergänge Schweiz-Ausland wurden in 2 Doppelstrecken mit jeweils 100 m Länge aufgelöst. Auf dem Streckentyp 8 ist nur Personenverkehr und auf dem Streckentyp 9 ist nur Güterverkehr gestattet. Die Kapazität für beide Doppelstrecken ist separat entsprechend der Anschlussstrecke mit der tiefsten Kapazität zugewiesen (keine Kapazitätsaufteilung). Mit der Annahme einer freien Geschwindigkeit (v_0) von 4 km/h beim Personenverkehr und von 1 km/h beim Güterverkehr ergibt sich für den Typ 8 (Personenverkehr) ein Mindestzuschlag für den Grenzübertritt von 3min bzw. für den Typ 9 (Güterverkehr) von 12 min.

Die verwendeten Parameter für die Capacity Restrain-Funktion $[t_a = t_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (q/L)^\beta)]$. q ist die Belastung, L die Leistungsfähigkeit, t_0 ist die Fahrzeit bei freiem Verkehrsfluss und t_a ist die Fahrzeit bei der aktuellen Auslastung] sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6 Parameter der Capacity Restrain-Funktion

Nr.	Streckentyp	Typ	Alpha	Beta
1	Autobahn	10-15, 19, 20-23, 29, 30-34	0.30	4.00
2	Autostrasse	16-18, 24, 25, 35, 36	0.40	3.60
3	Hauptstrasse ausserorts	40, 43-47, 60, 61, 70	1.00	3.40
4	Verbindungsstrasse ausserorts	41, 42, 50-56, 62, 72, 73	1.20	3.00
5	Sammel- und Erschliessungsstrasse ausserorts	57, 58, 63	1.40	2.60
6	Hauptstrasse innerorts	71, 80, 83, 84, 86, 87	1.00	2.40
7	Verbindungs- und Sammelstrasse innerorts	81, 85, 88	1.20	2.00
8	Grenzstrecken	8, 9	1.40	3.00
9	Fähren und Autoverlad	90-92	konst.	konst.

Quellen: PTV, Erath und Fröhlich (2003)

Abbildung 2 MIV-Netz Schweiz

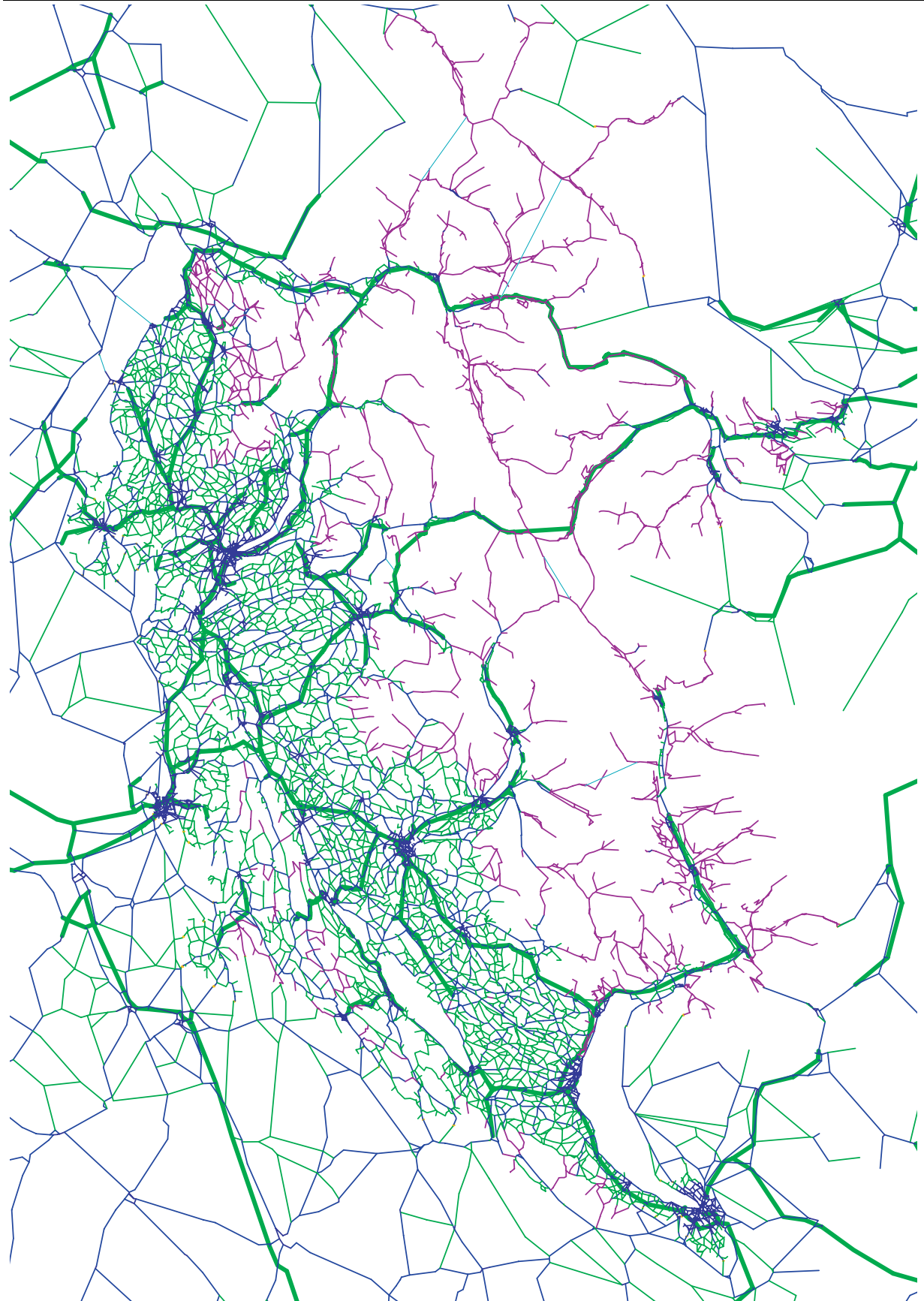
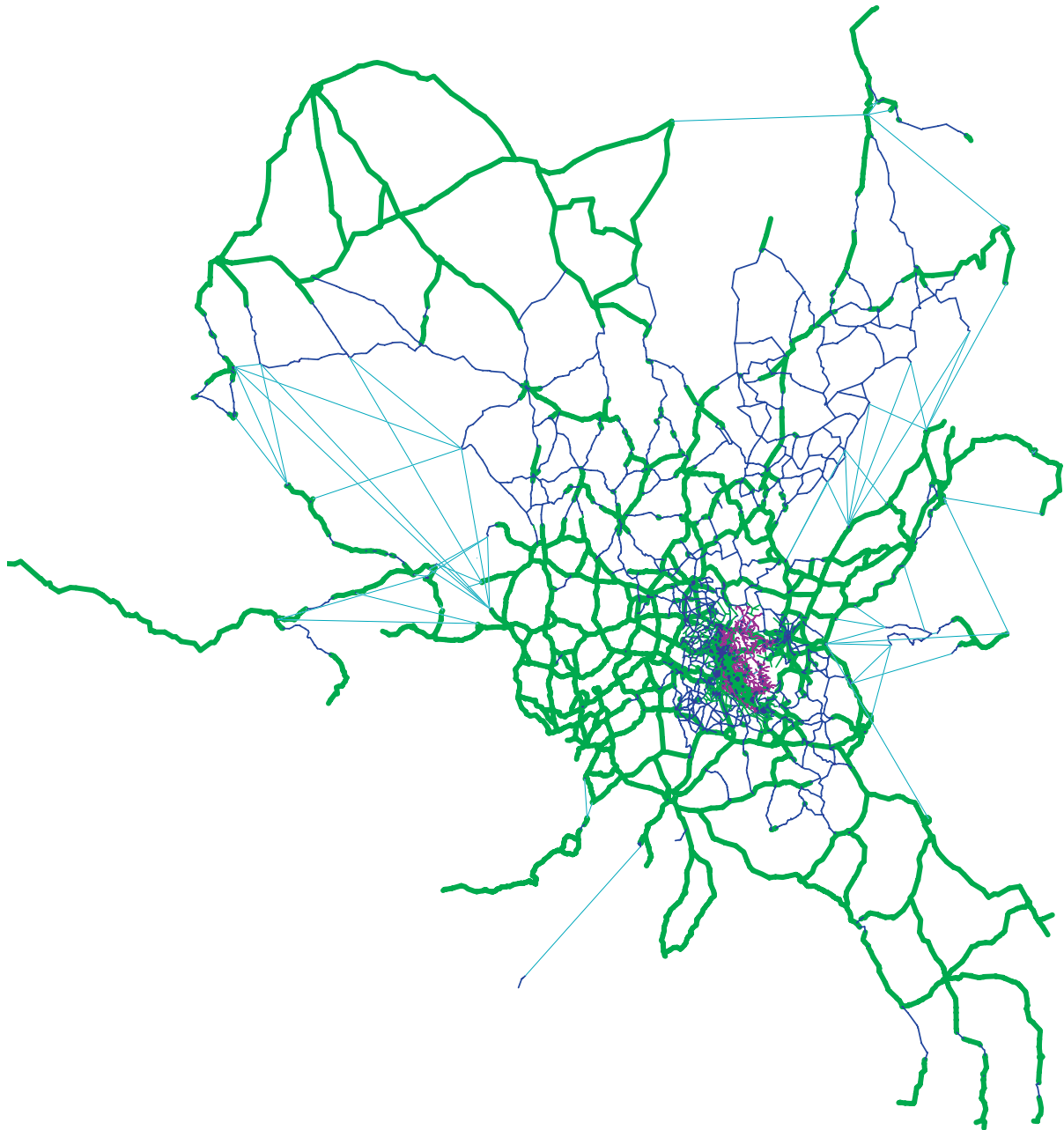


Abbildung 3 MIV-Netz Ausland



4.1.2 Bezirke und Anbindung

Bezirke (Zonen)

Die Schweizer Zonen sind gemeindefein im Netzmodell berücksichtigt, wobei die grossen Städte (Basel, Bern, Biel, Genf, Lausanne, Luzern, St. Gallen, Thun, Winterthur und Zürich) auf Stadtkreisniveau aufgeteilt wurden (siehe Abbildung 4). Die Nummerierung der Zonen folgt den Gemeindenummern des Bundesamtes für Statistik (BFS) für den Gebietsstand des Jahres 2000. Zusätzlich sind die fünf grössten Schweizer Flughäfen als eigene Zonen dargestellt (Zürich Flughafen, Genève-Aéroport, Basel Euroairport, Bern-Belpmoos und Lugano-Agno). Bei den Quartieren der Grossstädte ergibt sich die Nummer aus der ursprünglichen Gemeindenummer laut BFS und zwei angehängten Ziffern. Diese entsprechen der fortlaufenden Zahl der Zone in der betreffenden Grossstadt. (Beispiel: Das Quartier Zürich, Kreis 6 hat die Nummer 26106, wobei 261 die BFS-Nummer von Zürich ist.) Die Bezirke mit einer Nummer kleiner als 1'000'000 sind Schweizer Zonen und die mit einer grösseren Nummer als 1'000'000 sind ausländische Zonen. Die Zonierung in Europa erfolgte aufgrund der NUTS-Einteilung nach folgendem Prinzip (siehe Abbildung 5):

- Enger Ring um Schweiz: NUTS 3
- Weiter gefasster Ring um Schweiz: NUTS 2
- Rest Nachbarländer und Benelux: NUTS 1
- Alle übrigen Länder: NUTS 0

Die Einteilung der Bezirke (Zonen) in die verschiedenen Typen ist in Tabelle 7 dargestellt, die Bezirksattribute sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 7 Bezirkstypen

Nr.	Bezirktyp	Anzahl
0	Quartiere Schweizer Grossstädte	58
1	Gemeinden Schweiz	2886
2	NUTS 3 in Europa	70
3	NUTS 2 in Europa	40
4	NUTS 1 in Europa	30
5	NUTS 0 in Europa	25
9	Flughäfen in der Schweiz	5
Total		3114

Tabelle 8 Bezirksattribute

Abkürzung in Visum	Name
BEZIRK:Nr	Bezirksnummer
NAME	Bezirksname
CODE	Bezirkscode bzw. NUTS Code für Bezirke im Ausland
Typ	Bezirkstyp
BEZIRK	Name Bezirk
BEZIRK_NO	Bezirksnummer
FLAECHE_HA	Gemeindefläche in ha
GEM_NO	Gemeindenummer laut BFS
KT_KZ	Kanton
KT_NO	Kantonsnummer
NAME	Gemeindename
PLZ	Postleitzahl

Abbildung 4 Zonierung: Schweiz

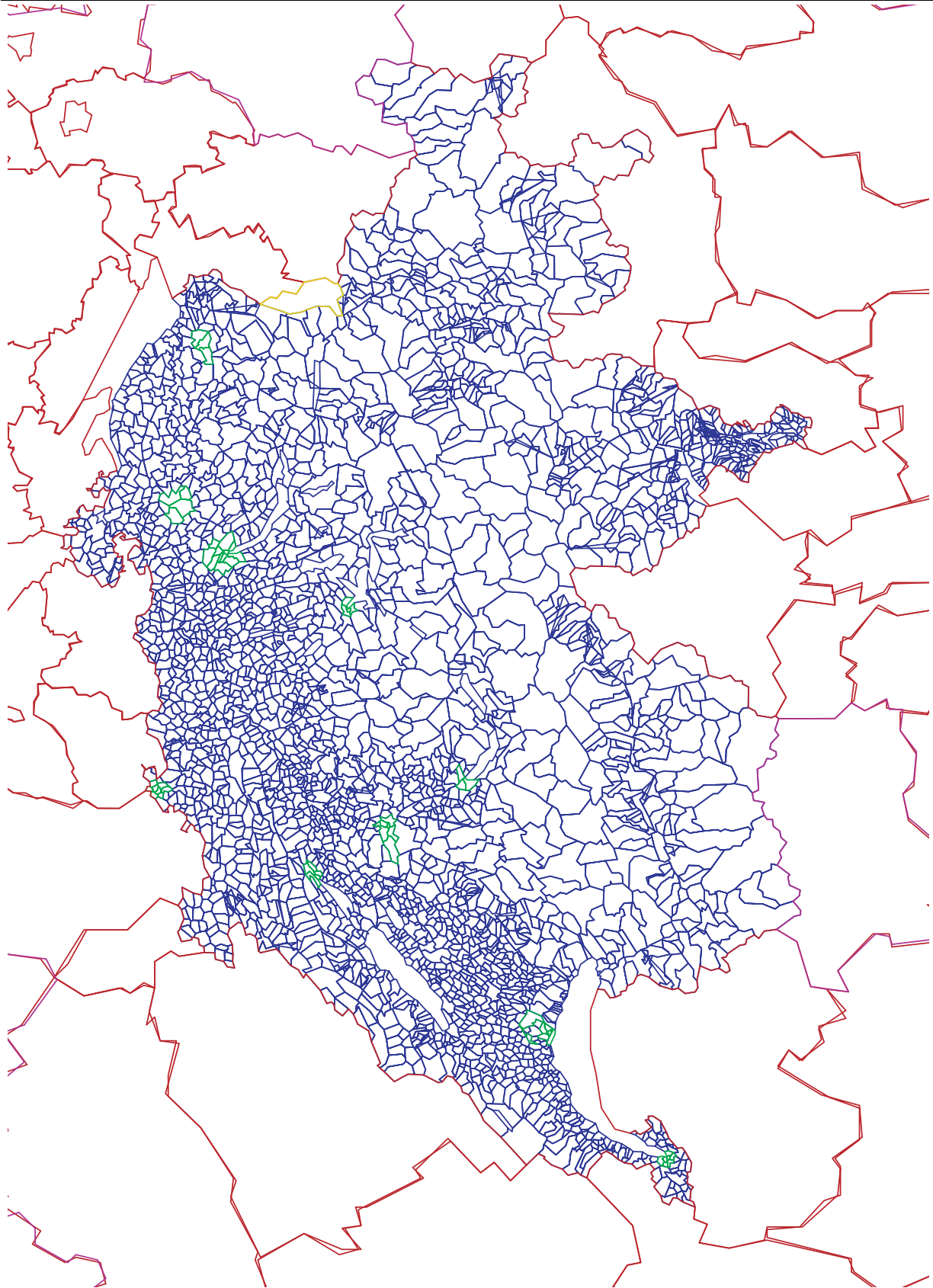
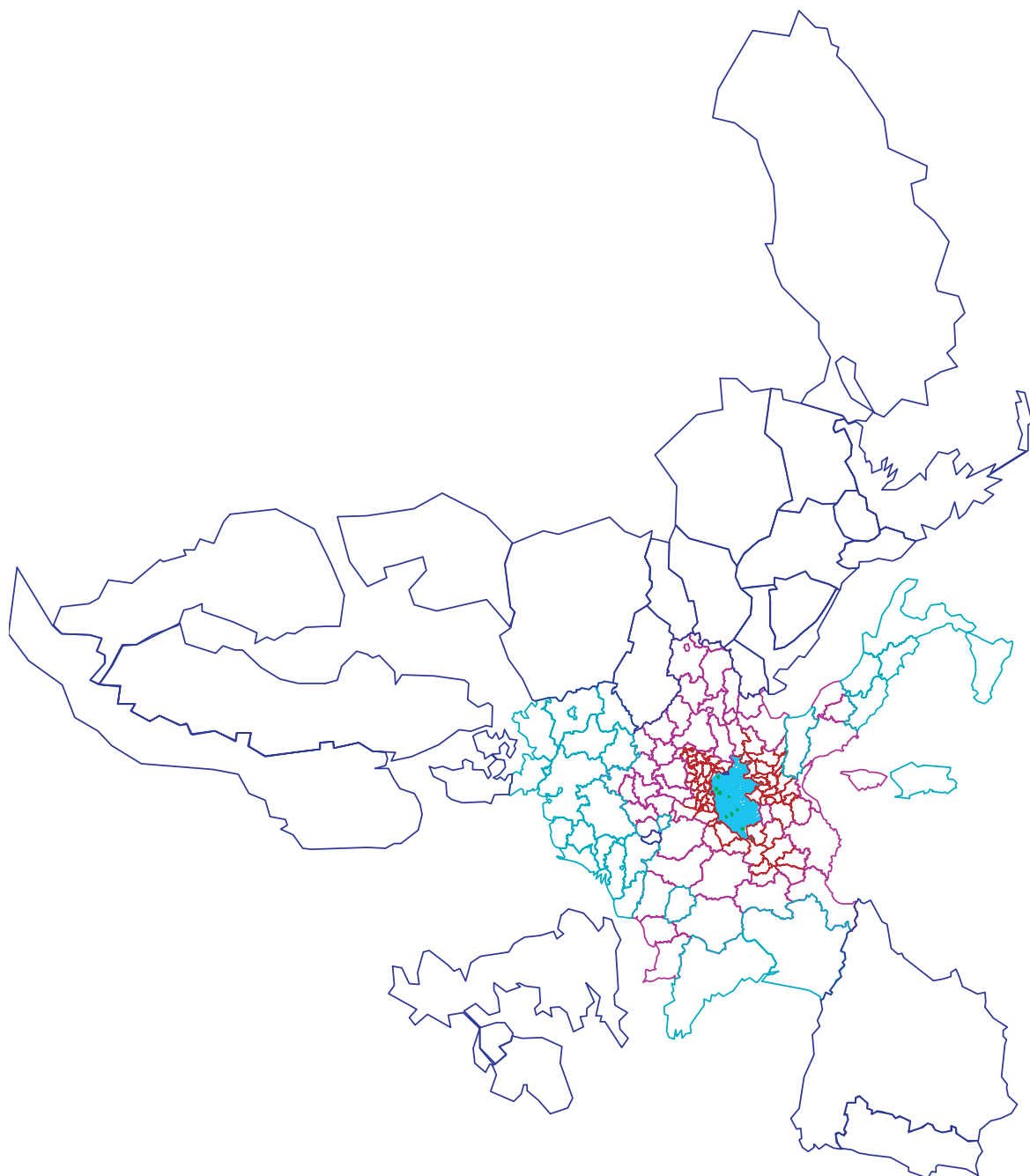


Abbildung 5 Zonierung: Ausland



Anbindungen

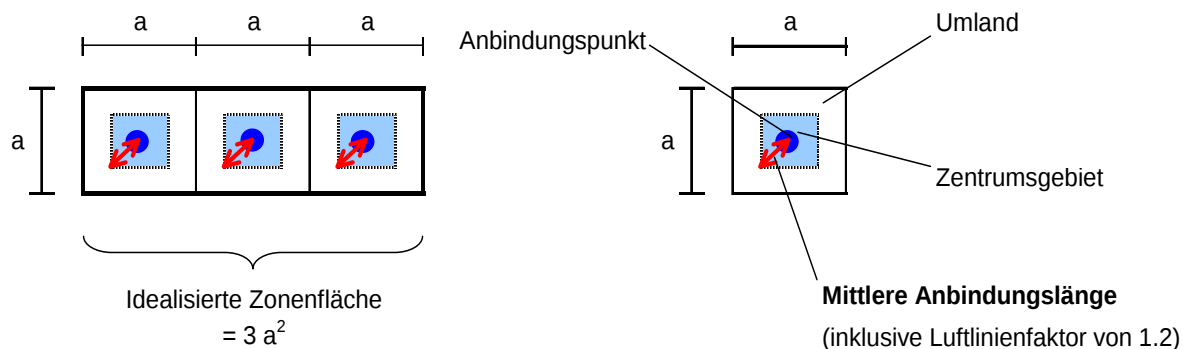
Die Anbindungen der Stadtkreise (Bezirkstyp 0) an das Strassennetz wurden mit mindestens drei Anbindungen (Anbindungstyp 5) bewerkstelligt. Die Anbindungszeit ergibt sich allgemein aus der Anbindungsgeschwindigkeit (20km/h) und der Anbindungslänge, wobei letztere mit dem Verfahren in Abbildung 6 einzeln berechnet wurde.

Die Anbindungen der Schweizer Gemeinden (Bezirkstyp 1) sowie der Flughäfen (Bezirkstyp 9) erfolgte mit folgenden Arbeitsschritten:

- Automatische Generierung einer Anbindung pro Zone in 2 Schritten (Anbindungstyp 1)
 - Anbindung an Knoten an untergeordneten Strecken (Streckentypen 5x bis 8x mit einer maximalen Entfernung von 1000m)
 - Anbindung aller im vorangegangenen Arbeitsschritt nicht angebotenen Zonen an den nächstgelegenen Knoten, unabhängig von den anliegenden Streckentypen
- Manuelle Erstellung von weiteren 1 bis 3 Anbindungen für grössere Schweizer Gemeinden (Anbindungstypen 2 bis 4)

Für die europäischen Bezirke (Bezirkstyp 2-5) wurden mindestens drei Anbindungen mit dem Typ 0 vorgesehen, wobei eine absolute Anbindung vorgegeben wurde. Die Berechnung der Anbindungslänge erfolgte über ein idealisiertes Modell, das die Bezirke in drei virtuelle quadratische Flächen einteilt und die mittlere Anbindungslänge errechnet (siehe Abbildung 6). Für die Berechnung der Anbindungszeit wurde eine Geschwindigkeit von 35 km/h angenommen.

Abbildung 6 Modell zur Ermittlung der Anbindungslänge



In Tabelle 8 sind die Anbindungstypen zusammengefasst

Tabelle 9 Anbindungstypen

Anbindungstyp	Erzeugung	Bezirke
0	manuell	Europäische Bezirke
1	automatisch	Schweizer Gemeinden und Flughäfen
2 bis 4	manuell	Zusätzliche Anbindungen für mittelgrosse Schweizer Gemeinden
5	manuell	Stadtkreise

4.1.3 Zählstellen

Zählstellen des Bundes

Unter den Zählstellennummern 1 bis 458 sind die Zählstellen der Automatischen Verkehrszählung (AVZ) sowie die LVC-Messstellen (Long Vehicle Counter) aufgeführt, ab 1001 bis 1916 die Zählstellen der Schweizer Strassenverkehrszählung (SSVZ). Es sollte daher immer ein Filter gesetzt werden.

Die angegebenen Werte beziehen sich immer auf den durchschnittlichen Werktagsverkehr (DWV). Bei den Zählstellen bedeutet der Code die Zählstellenummer laut Schweizer Strassenverkehrszählung 2000 bzw. Automatische Verkehrszählung 2000.

Da viele Zählstellen sowohl bei der AVZ bzw. LVC und SSVZ erfasst werden, wurden folgende Zählstellentypen definiert:

- Typ 1: AVZ
- Typ 2: LVC
- Typ 3: SSVZ und AVZ
- Typ 4: SSVZ und LVC
- Typ 5: SSVZ

Tabelle 10 Zählstellentypen

Zählstellentypen	AVZ ja	LVC ja	SSVZ	Code	
				Nr AVZ	Nr SSVZ
Typ 1: AVZ	✓			✓	
Typ 2: LVC	✓	✓		✓	
Typ 3: SSVZ und AVZ	✓		✓	✓	✓
Typ 4: SSVZ und LVC	✓	✓	✓	✓	✓
Typ 5: SSVZ			✓		✓

Der Zählstellenname und die Daten für die ZWerte 1-5 stammen aus AVZ 2000 und SSVZ 2000, wobei die Querschnittszählwerte (DWV) laut SVZ und AVZ mit einem Verhältnis von 50 zu 50 auf die beiden Streckenrichtungen aufgeteilt wurden. Bei LVC, Typ 2 und 4, wurden die Zählwerte richtungsabhängig erfasst und auch so beibehalten.

Bei den AVZ-Zählstellen wurden nur die Fahrzeuge im Totalen (ZWert 4) angegeben. Ist aber eine korrespondierende SSVZ-Zählstelle vorhanden, wurde die Aufteilung nach Fahrzeugtyp aus der SSVZ berücksichtigt und die Werte für den ZWert 1 und 5 hochrechnet (Typ 3). In Tabelle 11 sind die Einteilungen der Zählwerte nach Fahrzeugklassen aufgeführt.

Tabelle 11 Fahrzeugklassen und ZWert-Attribute

Zählstellenattribut	LVC	SVZ
ZWert 1	Längenklasse 1, 2	Personenfahrzeuge
ZWert 2	Längenklasse 3	Güterfahrzeuge
ZWert 3	Längenklasse 4	schwere Güterfahrzeuge
ZWert 4	Total	Motorfahrzeuge im Ganzen
ZWert 5	Längenklasse 3, 4	Güterfahrzeuge im Ganzen

Wenn alle Zählstellen, an denen Personenfahrzeuge erfasst bzw. hochgerechnet wurden, benötigt werden, müssen die Zählstellen von Nummer 1-999 herausgeschrieben werden. Diese ausgewählten Zählwerte sind auch als Strecken-ZWert 1 gespeichert. In Tabelle 12 sind die

Attribute der Zählstellen nochmals zusammengefasst. Die AVZ-Zählstellen 85 (Zürich, Bernerstrasse), 108 (Basel, Grenzübergang A 35) und 113 (Basel, Schwarzwaldbrücke) konnten im Strassenmodell nicht sinnvoll einer Strecke zugeordnet werden und blieben daher unberücksichtigt.

Für die Zählstellen an den Grenzübergängen wurde auf die Erhebung des alpen- und grenzquerenden Personenverkehrs 2001 auf der Strasse zurückgegriffen. Unter Zählstellentyp 80 sind die Zählstellen für den grenzquerenden Personenverkehr erfasst, wobei unter ZWert 1 die Anzahl PW vermerkt ist. Zählstellen mit dem Typ 90 sind für den Güterverkehr vorgesehen, hierfür wurden aber im Rahmen dieses Projektes keine Zählwerte eingefügt.

Tabelle 12 Zählstellenattribute

Abkürzung in Visum	Name	Kommentar
ZAESTELLE:Nr	Nummer der Zählstelle in Visum	
StrNr	Streckennummer	
VonKnot	VonKnoten	
Typ	Typ der Zählstelle	
CODE	Code der Zählstelle	laut AVZ bzw. SSVZ
NAME	Name der Zählstelle	laut AVZ bzw. SSVZ
ZWert1	Zählstellen-ZWert 1	siehe Tabelle 11
ZWert2	Zählstellen-ZWert 2	siehe Tabelle 11
ZWert3	Zählstellen-ZWert 3	siehe Tabelle 11
ZWert4	Zählstellen-ZWert 4	siehe Tabelle 11
ZWert 5	Zählstellen-ZWert 5	siehe Tabelle 11

Zählstellen der Kantone

Auf Wunsch des Auftraggebers wurden die Kantonsverwaltungen betreffend weiterem Datenmaterial zu Verkehrszählungen angefragt. Aus den erhaltenen Datenlieferungen konnte das Zählstellennetz um weitere 255 Zählquerschnitte erweitert werden. Abgeleitet aus der Zielsetzung, das Zählstellennetz des Bundes zu verdichten, wurden diese so ausgewählt, dass praktisch flächendeckend die wichtigen Verkehrsachsen mit Zählwerten abgedeckt sind (vgl. Tabelle 13).

Tabelle 13 Übersicht der verwendeten Zählstellenquerschnitte der Kantone

Kanton	Anzahl	Daten	Kanton	Anzahl	Daten
AG	22	DTV 2000 mit LW-Anteil	NW	0	-
AI	2	DWV 2000	OW	0	-
AR	6	DTV 2000 mit LW-Anteil	SG	20	DWV 2000
BE	19	DTV var. teils mit LW	SH	4	DTV 2000, LW-Anteile
BL	15	DWV 2000	SO	10	TV 2000, LW-Anteile
BS	3	DWV 2000, LW-Anteile	SZ	3	DTV 2000
FR	25	DTV 2000	TG	12	DTV 2001, teils mit LW
GE	10	DWV 2000	TI	13	(bisher nicht geliefert)
GL	0	-	UR	0	-
GR	4	DWV 2000	VD	27	DTV 2000, LW-Anteile
JU	8	DTV 2000	VS	8	DTV 2000
LU	6	DTV, DWV 2000	ZG	9	DTV 2000
NE	1	DWV 2000, LW-Anteile	ZH	28	DWV 2000

Entsprechend der Datenauswertung wurden die Zählstellen der Kantone in folgende Typen eingeteilt:

- Typ 6: DWV 2000 mit LW-Anteilen
- Typ 7: DTV 2000 mit LW-Anteilen
- Typ 8: DWV 2000
- Typ 9: DTV 2000

Die Zählstellen der Kantone tragen die Nummern 5000 bis 5513. Im Attribut ZählstellenCode ist die kantonale Kennbezeichnung aufgeführt. Für den Vergleich Zählung – Modell wurden die Querschnittswerte auf DWV umgerechnet und die LW-Anteile für die Ermittlung der Personenfahrzeuge geschätzt. Die Umrechnung erfolgte nach Strassen- und Gebietstypen auf Basis der ASTRA-Studie „Entwicklungsindizes des schweizerischen Strassenverkehrs, Fortschreibung 1990 – 2002“. Die Güterverkehrsanteile wurden auf Basis von ähnlich gelagerten Zählstellen des Bundes (LVC oder SSVZ) geschätzt (Bereich 5-12%). Die Datenbasis für die Zählstellen der Kantone sind in den meisten Fällen nur periodische Zählungen von 1-2 Wochen pro Jahr, welche auf Jahreswerte hochgerechnet wurden. Sie sind damit in der Datenqualität nicht vergleichbar mit den AVZ-Zählstellen und dienen daher generell nicht als Kalibrierungsbasis sondern als Vergleichsbasis für die Überprüfung der Qualität der Quell-/Zielmatrix.

In Abbildung 7 sind alle Zählstellen dargestellt. Tabelle 13 gibt eine Übersicht über die Anzahl Zählstellen pro Kanton und Tabelle 14 über die Anzahl Zählstellen je Typ. Es ist zu beachten, dass ein Zählstellenquerschnitt aus zwei Zählstellen besteht. Also je Fahrtrichtung eine Zählstelle.

Abbildung 7 Schweizer Netzausschnitt mit Zählstellen

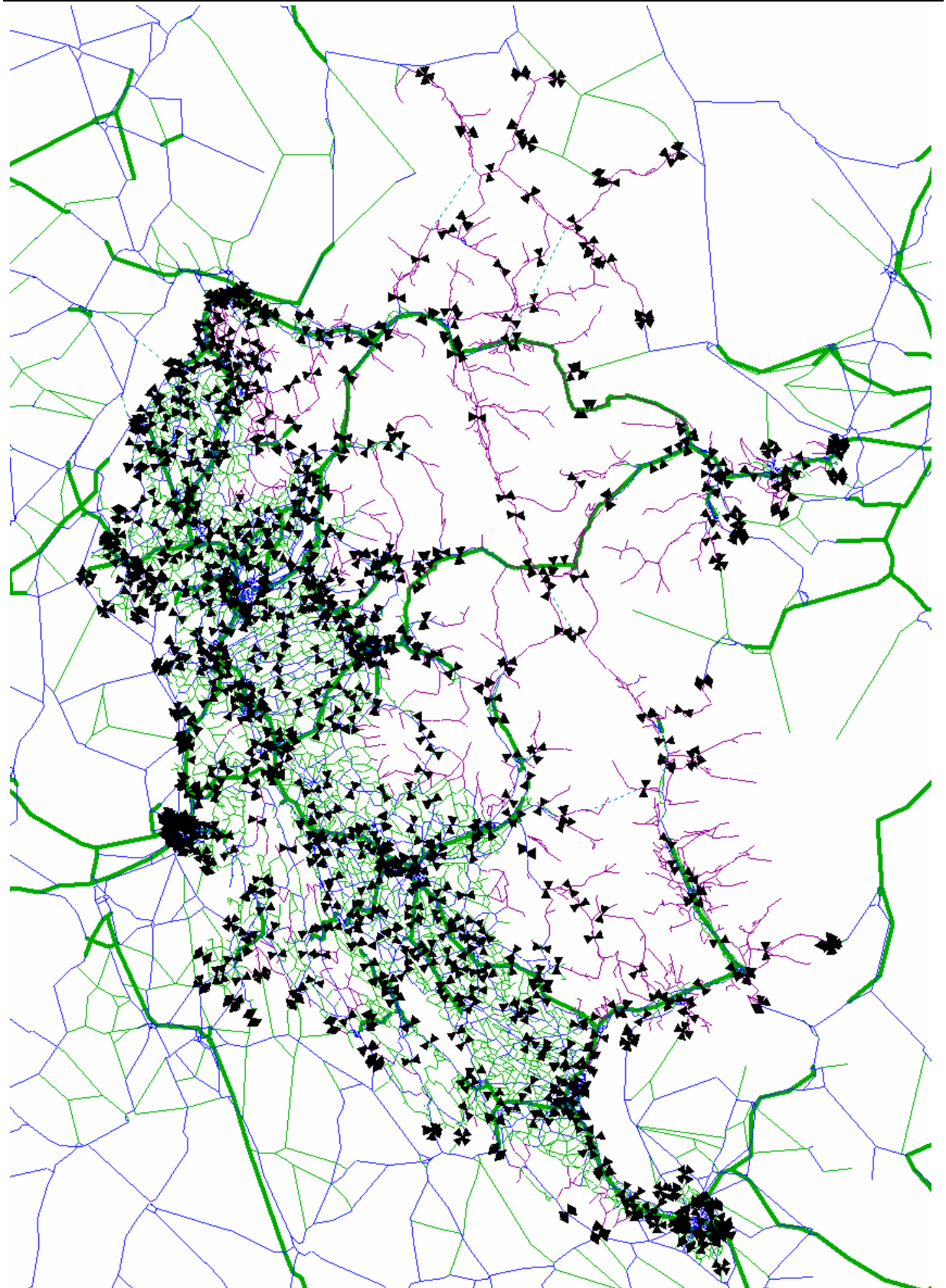


Tabelle 14 Übersicht Anzahl Zählstellen je Typ

Zählstellentyp	Anzahl Zählstellen	Zählstellentyp	Anzahl Zählstellen
1	42	7	125
2	32	8	160
3	484	9	169
4	272	80	186
5	532	90	186
6	8		

4.1.4 Prognosenetz MIV

Für das Prognosenetz wurden alle geplanten oder bereits in den letzten Jahren gebauten Abschnitte des beschlossenen Nationalstrassennetzes sowie der kantonalen Hochleistungsstrassen codiert. Namentlich sind das die folgenden Abschnitte (mit dem jeweilig codierten Eröffnungsjahr gemäss 7. Langfristprogramm):

Tabelle 15 Geplante Ausbauten des National- und Hochleistungsstrassennetzes

Nr.	Abschnitt	Eröffnung
A1:	Yverdon – Payerne	2001
	Zürich Sihlhölzli – Letten – Irchel (Stadttunnel)	2018
A2:	Spange Basel Bahnhof - Gellertdreieck	2014
	Spange Basel Wiese – französische Grenze	2001
A4:	Dreieck Zürich Süd – Cham	2010
	Zürich Brunau – Dreieck Zürich Süd (Uetlibergtunnel)	2008
	Urdorf – Dreieck Zürich Süd	2008
A5:	Solothurn – Bözingenfeld	2002
	Umfahrung Biel	2015
	Areuse (Boudry) – Yverdon	2005
A7:	Kreuzlingen Süd – Grenze D	2002
A8:	Ausbau Verzweigung Lopper (Kirchwaldtunnel)	2008
	Umfahrung Giswil	2005
	Umfahrung Lungern	2011
	Lungern – Brienzwiler	2014
A9:	Gampel – Brig	2012
	Sierre – Leuk – Gampel	2014
A16:	Boncourt – Courtedoux	2014
	Umfahrung Porrentruy	2006
	Umfahrung Delémont	2006
	Delémont – Court	2012
	Court – Tavannes	2015
A51:	Zusammenschluss Kloten	2004
A53:	Uster Ost – Betzholz	2014
H8:	Jona – Uznach	2003

Es wurde grob zwischen oberirdischen (Typ 19) und unterirdischen (Typ 29) Streckenabschnitten unabhängig von Querschnitt und Projektierungsgeschwindigkeit unterschieden. Allerdings wurden den Abschnitten entsprechend angepasste Attribute zur Geschwindigkeit und zur Kapazität zugeordnet (vergleiche Tabelle 16).

In Frankreich wurde die im Bau befindliche RN19 vom Grenzübergang Boncourt bis zum Anschluss an die französische A36 mit Typ 33 eingeführt.

Tabelle 16 Streckentypen Prognosenetz

Nr.	Name	Anzahl	Anzahl Fahr- streifen je Richtung	v0-IV (km/h)	Rang
19	CH-Autobahn Prognose	168	1-2	100-120	1
29	CH-Tu Autobahn Prognose	78	1-2	80-100	1

Die Ausbildung der Halbanschlüsse wurde gemäss den Anhängen der Normen SN 640 823 und SN 640 824 vorgenommen.

4.2 Erstellung des Verkehrsangebotes im öffentlichen Verkehr

Das ÖV-Modell besteht aus:

- 26'780 Knoten
- 17'689 Haltestellen
- 15'363 bedienten Haltestellen
- 30'530 Strecken (davon 3'222 Fusswege) bzw. 71'060 gerichteten Kanten
- 3'905 Anbindungen
- 11'748 Unterlinien

4.2.1 Strecken, Knoten und Linien

Das ÖV-Netz (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9) wurde durch Zusammenführung des europäischen Schienennetzes des IVT (Bleisch und Fröhlich, 2003), des schweizerischen ÖV-Netzes aus dem ICN Projekt (Vrtic, Axhausen, Maggi und Rossera, 2003) und dem Schweizer interzonalen Busnetz (ohne städtische Busse) aus der HAFAS Datenbank erzeugt. Die beiden Bahnnetze unterscheiden sich in der Knotennummerierung und im gewählten Koordinatensystem. Bei der Zusammenführung war daher eine Koordinatentransformation nötig. Es wurden in der Schweiz die Knoten des ICN-Netzes belassen, während im Ausland ausschliesslich die Knoten des IVT-Netzes benutzt wurden. Zwischen den beiden Netzen wurden bei der Zusammenführung Grenzstrecken eingeführt. Das LINWEG-File der Züge zwischen der Schweiz und dem Ausland musste zudem so ergänzt werden, dass im Ausland ausschliesslich Strecken des IVT-Netzes, in der Schweiz ausschliesslich Strecken des ICN-Netzes befahren werden.

Anschliessend wurde das Schienennetz in Europa reduziert. Insbesondere wurden intrazonale Bahnlinien im Ausland entfernt. Ausserhalb des NUTS3-Ringes wurde zudem das Angebot auf die wichtigsten Hauptlinien beschränkt, wobei dabei auch allfällige Redundanzen abgebaut wurden. Die Reduktion wurde so vorgenommen, dass die kürzesten Verbindungen aller Zonen untereinander und mit der Schweiz gewährleistet blieben.

Fehlende Fährlinien nach Irland, Korsika und Sardinien wurden mittels virtueller Fusswege vom Typ 02 und Widerständen aus den Fahrplänen der entsprechenden Fährunternehmen eingeführt. Zudem wurde die Bahnlinie Basel Badischer Bahnhof – Waldshut – Schaffhausen (– Lindau) mit dem entsprechenden Taktfahrplan abgebildet.

Im schweizerischen Bahnnetz wurden die Abfahrtsfahrpläne aus dem Modell für die Knoten Basel, Bern, Bellinzona, Biel, Brig, Genf, Lausanne, St. Gallen und Zürich HB mit den effektiven Abfahrtsfahrplänen der SBB 2000/2001 der entsprechenden Bahnhöfe verglichen. Damit konnten die, insbesondere im internationalen Zugsangebot, doppelt abgebildeten Linien bzw. Unterlinien erkannt und die teils leicht unterschiedlichen Fahrpläne angepasst werden. Die Netzgrafik für die Schweiz ist in Abbildung 9 und für Europa in Abbildung 10 dargestellt.

Das schweizerische Busnetz wurde aus dem HAFAS-Datensatz (2002) durch das ARE generiert und in das schweizerische Bahnnetz integriert. Darin sind keine städtischen Verkehrsbetriebe enthalten. Die restlichen intrazonalen (lokalen) Buslinien wurden entfernt (rund 390 Unterlinien). Weiter mussten die Buslinien entfernt werden, die bereits im Bahnmodell vorhanden waren (z.B. Nesslau – Buchs SG, Altdorf – Göschenen sowie Airolo – Biasca).

In den Städten Basel, Zürich, Winterthur, St. Gallen, Luzern, Bern, Lausanne, Thun und Genf wurde ein virtuelles städtisches ÖV-Netz zwischen den Quartierzonen modelliert. Die Widerstände wurden als Fahrzeit (aus effektivem städtischem ÖV-Fahrplan) + halbe Kursfolgezeit (bei hoher Taktdichte) angenommen. Im Kanton Genf wurde zudem das fehlende ÖV-Netz abgebildet: Dabei sind die Linien A – E, K, L, S, V, X, Z, 8, 9, 12, 16, 18, 20, 21, 27 – 29, 31, 42 und 46 aus dem TPG-Angebot mit ihrem Wochenfahrplan integriert worden. Zwischen Aarau und Wöschnau/Buchs/Rohr sowie zwischen Basel und Allschwil/Riehen wurden weitere virtuelle ÖV-Links eingefügt. Die Fahrverbindung Horgen-Meilen wurde ebenfalls modelliert. Weiter wurden die folgenden fehlenden, aber zonenverbindenden Agglomerationsbuslinien abgebildet:

- Zürich, Klusplatz – Maur (747); Zürich, Klusplatz – Schwerzenbach (753); Stettbach – Maur (751)
- Hüttikon – Regensdorf – Zürich, Zentenhausplatz (491)
- Otelfingen – Boppelsen (450)
- Oetwil a.L. – Geroldswil – Dietikon (301), Dietikon – Geroldswil – Weinigen – U./O.-Engstringen – Zürich Altstetten (304)
- Riehen BS – Bettingen (32)
- Baden-Obersiggenthal-Untersiggenthal (RVBW Linien 2 und 6)

Die Streckenlängen und -zeiten der Fusswege aus HAFAS für die Schweiz wurden symmetrisiert und mit einem Minimalwert von 50 Metern bzw. 50 Sekunden attribuiert. Zudem wurden alle Fusswege nur für das Verkehrssystem ÖVFuss geöffnet und für das Verkehrssystem ÖV gesperrt.

Die Bezeichnung aller Linien erfolgte nach einem einfachen Schema. Für ÖV-Linien, die nur innerhalb der Schweiz verkehren, wurde ihre Bezeichnung laut Fahrplan verwendet. Grenzüberschreitende Linien würden mit Kürzel INT markiert, das der Fahrplanbezeichnung vorangestellt wurde. Auf ähnliche Weise erfolgte die Benennung der ÖV-Linien in anderen Ländern. Vor die Bezeichnungen im entsprechenden nationalen Fahrplan wurde ein Länderkürzel gesetzt (z.B. DE für Deutschland, AT für Österreich, INT für internationale Züge, usw.).

Nach Abschluss dieser Arbeiten wurde eine neue Typisierung der Strecken vorgenommen (siehe Tabelle 17). Für die europäischen Strecken ist die Grundlage das IVT-Netz, die Schweizer Strecken wurden aufgrund des den Strecken zugeordneten Verkehrsmittels klassifiziert.

Tabelle 17 Streckentypen ÖV

Nr.	Name	VSysCode	v-ÖV(VSysCode) km/h
10	Dummystrecken EU	Z	60
11	Bahnstrecken CH	Z	60
12	Bahnstrecken EU	Z	140
13	Bahnstrecken EU	Z	100
14	Bahnstrecken EU	Z	160
15	Bahnstrecken EU	Z	160
16	Bahnstrecken EU	Z	100
17	Bahnstrecken EU	Z	40
18	Neubaustrecken EU	Z	120
19	Grenzstrecken CH-EU	Z	120
21	Fährverbindungen CH	ZF	20
22	Fährverbindungen EU	ZF	20
31	Busstrecken CH (HAFAS)	B	30
32	Busstrecken CH (EBZH)	B	30
33	Busstrecken EU	B	50
41	Städtischer ÖV CH	F	18
71	Fusswege CH	F	5
72	Fusswege EU	F	5

4.2.2 Bezirke und Anbindung

Bezirke

Die Zonierung erfolgte analog zum Strassenmodell.

Anbindung

Die Anbindungen der Schweizer Gemeinden und Quartiere (Typ 1) sowie der Flughäfen (Typ 9) erfolgte mit folgenden Arbeitsschritten:

- Anbindung an Bahnhaltestellen mit einer maximalen Entfernung von 1000m (Anbindungstyp 1)
- Anbindung aller in Punkt 1 nicht angebundenen Zonen an Haltestellen mit einer maximalen Entfernung von 2000m, unabhängig von den zugelassenen Verkehrsmitteln (Anbindungstyp 2)
- Anbindung aller in Punkt 1 und 2 nicht angebundenen Zonen an den nächstgelegenen Haltestellen, unabhängig von den zugelassenen Verkehrsmitteln (Anbindungstyp 3)

In mittelgrossen Gemeinden wurden zudem 1 bis 3 weitere Anbindungen aufgrund der Siedlungsstruktur und der Anzahl der Kurse je Haltestelle manuell erstellt (Anbindungstyp 4). Da ein Teil der Anbindungen der Typen 1 bis 3 fälschlicherweise an nicht bedienten Haltestellen bzw. wenig bediente Haltestellen angeschlossen wurde, wurden diese nachträglich korrigiert (Anbindungstyp 5).

Für Bezirkstypen wurde keine Aufteilung des erzeugten/angezogenen Verkehrs auf die Anbindungen vorgegeben (absolute Anbindung).

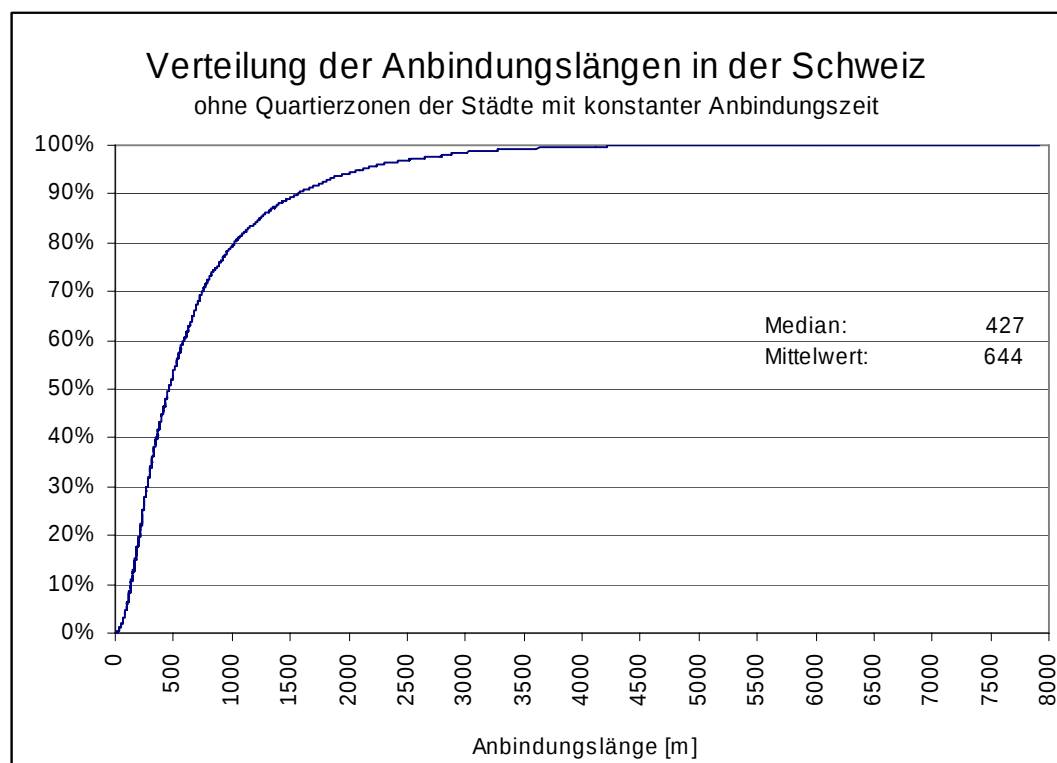
Die Anbindungszeiten wurden wie folgt angenommen:

- **Quartierzonen:** Generell 5 min Anbindungszeit, unabhängig von der Anbindungsdistanz (städtisches öV-Netz ist viel feiner als codiertes Zugangsnetz); das entspricht einer durchschnittlichen Zugangszeit zu Fuss zum städtischem ÖV-Netz bei üblicher ÖV-Erschliessungsqualität (Luftliniendistanz < 300 m). Damit werden 128 Anbindungen erfasst (3.7% der Anbindungen in der Schweiz).
- **Gemeindezonen mit Anbindungen bis 800 m Luftlinie:** Die Anbindungszeit wird mit einer Fussgängergeschwindigkeit von 4 km/h berechnet; auf diese Distanz ist der örtliche Nahverkehr mit Warte- und Umsteigezeit sowie Bike+Ride bzw. Park+Ride

durch Zeitverluste bei der Abstellung nicht schneller. Damit werden 2384 Anbindungen erfasst (68% der Anbindungen in der Schweiz).

- **Gemeindezonen mit Anbindungen von 800 m bis 3400 m Luftlinie:** Die Anbindungszeit wird mit einem kontinuierlichen Übergang von Fussgängergeschwindigkeit 4km/h zu einem Mittelwert von Fahrrad-/PW-Geschwindigkeit mit 17 km/h berechnet. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass in diesem Entfernungsbereich zunehmend Bike+Ride und Park+Ride von Bedeutung sind, oder der örtliche, öffentliche Nahverkehr benutzt wird. Damit werden 863 Anbindungen erfasst (25% der Anbindungen in der Schweiz)
- **Gemeindezonen mit Anbindungen über 3400 m Luftlinie:** Die Anbindungszeit wird mit einer Geschwindigkeit von 17 km/h berechnet, womit sowohl Bike+Ride, Park+Ride und im Modell nicht abgebildeter Nahverkehr repräsentiert wird. Damit werden nur 27 Anbindungen erfasst (0.8% der Anbindungen in der Schweiz)

Abbildung 8 Verteilung der Anbindungslängen



Für die europäischen Bezirke (Bezirkstyp 2-5) wurden die Anbindungen pro Bezirk mit dem Typ 0 in folgenden Arbeitsschritten bestimmt:

- Luftlinie < 20 km, Knoten mit mehr als 20 Unterlinien

- Luftlinie < 50 km, Knoten mit mehr als 20 Unterlinien, Bezirksnummer > 4'000'000 (NUTS 0 bis 1)
- Luftlinie < 50 km, Knoten mit mehr als 10 Unterlinien, Bezirksnummer > 3'000'000 (NUTS 0 bis 2)
- Luftlinie < 20 km, Knoten mit mehr als 10 Unterlinien, Bezirksnummer > 2'000'000 (NUTS 0 bis 3)

Anschliessend wurden manuell bei grösseren Bezirken (bzw. Bezirken mit einer hohen Verkehrsdichte) weitere Anbindungen eingeführt, wobei für alle Anbindungen eine absolute Verteilung vorgegeben wurde. Die Berechnung der Anbindungslänge erfolgte über dasselbe idealisierte Modell wie beim Strassenmodell (vgl. Abbildung 6).

4.2.3 Zählwerte

Im Gegensatz zum MIV-Modell sind im ÖV-Modell keine Zählstellen definiert, da sich hierbei nicht um punktmässige Zählungen sondern um Abschnittszählungen handelt. Für die Zählwerte für den SBB Schienenverkehr in der Schweiz wurden die Querschnittsbelastungen aus der Untersuchung von Vrtic et al. (2003) für den Fahrplan 1999/2000 übernommen. Als Querschnittszählungen werden dabei die auf die SBB-Zählwerte (Zählperiode Juni 1999-Juni 2000) vollständig geeichten Umlegungsbelastungen betrachtet. Die Streckennummern wurden gemäss der neuen Nummerierung transformiert und die Daten anschliessend in das ÖV-Modell als Strecken-ZWert 1 importiert.

Zusätzlich wurden die von den Kantonen gelieferten Daten und die Daten aus Strecken-ZWert 1 als Strecken-ZWert 3 eingefügt, die die Belastungen von Bussen, regionalen Bahnlinien und SBB-Bahnlinien abbilden. Die Strecken-ZWert 3 dienen nicht zum Kalibrieren der Nachfragematrix sondern zum Überprüfen der Streckenbelastungen. Die DTV-Werte wurden mittels eines Faktors, der aus dem Mikrozensus Verkehr 2000 hergeleitet wurde, in DWV-Werte umgerechnet ($DWV = 1.093 * DTV$). Die verwendeten Querschnitte sind in der folgenden Tabelle 18 beschrieben:

Tabelle 18 Übersicht der verwendeten ÖV-Zählquerschnitte der Kantone

Kanton	Anzahl	Zählwert	Herkunft	Betreiber
AG	6 Bus, 4 Bahn	DWV 2003	Konzessionsangaben	Postauto, WSB
BE	12 Bahn	DWV 2000	BAV-Werte	ASm, BOB, RBS
BL	1 Tram, 2 Bus	DWV 2000	Zählungen	BLT
GE	11 Bus	DWV 2000	Zählungen	TPG
GR	12 Bahn, 1 Bus	DTV 2002	„Mobilität in Graubünden“	RhB, Postauto
SH	5 Bus	DTV 2000	Kalibration KVM SH	Postauto
TI	10 Bus	DWV 2001-2003	Zählungen	Postauto
VD	8 Bahn	DWV/DTV 2003	Zählungen	LEB, BAM
VS	5 Bahn, 3 Bus	DTV 2000	Grobübersicht	MGB, TMR
ZG	3 Bus	DWV 1999	Befragung zur Stadtbahn	ZVB
ZH	6 Bahn	DWV 2000	Fahrgastauswertung	SZU, FB, BD

4.2.2 Prognosenetz ÖV

In der Schweiz wurden die beiden Achsen der Neuen Eisenbahn-Alpentranservsale NEAT mit dem Strecken-Typ 02 eingegeben.

Für das Prognosenetz wurden zudem die Ausbauten des europäischen Hochgeschwindigkeitsnetzes (HGV) bis 2030 mit Typ 01 codiert. Dabei wurden die Übersichtskarte der UIC und die Objektliste (Stand Oktober 2004) als Grundlage verwendet.

Aufgrund der sehr groben Angaben war es zum Teil nicht möglich, die Anschlüsse an das bestehende Netz zweifelsfrei vorzunehmen. Dadurch ist auch eine Bestimmung der Reisezeitveränderungen zwischen den verschiedenen Knoten nicht vollständig möglich. Da insbesondere für den europäischen Bahnverkehr keine Angaben über das zukünftige Angebot (Unterlinien, Fahrpläne) vorliegen, kann die Verbesserung des Angebots im Bahnverkehr noch nicht ausgewiesen und dargestellt werden.

Abbildung 9 ÖV-Netz Schweiz

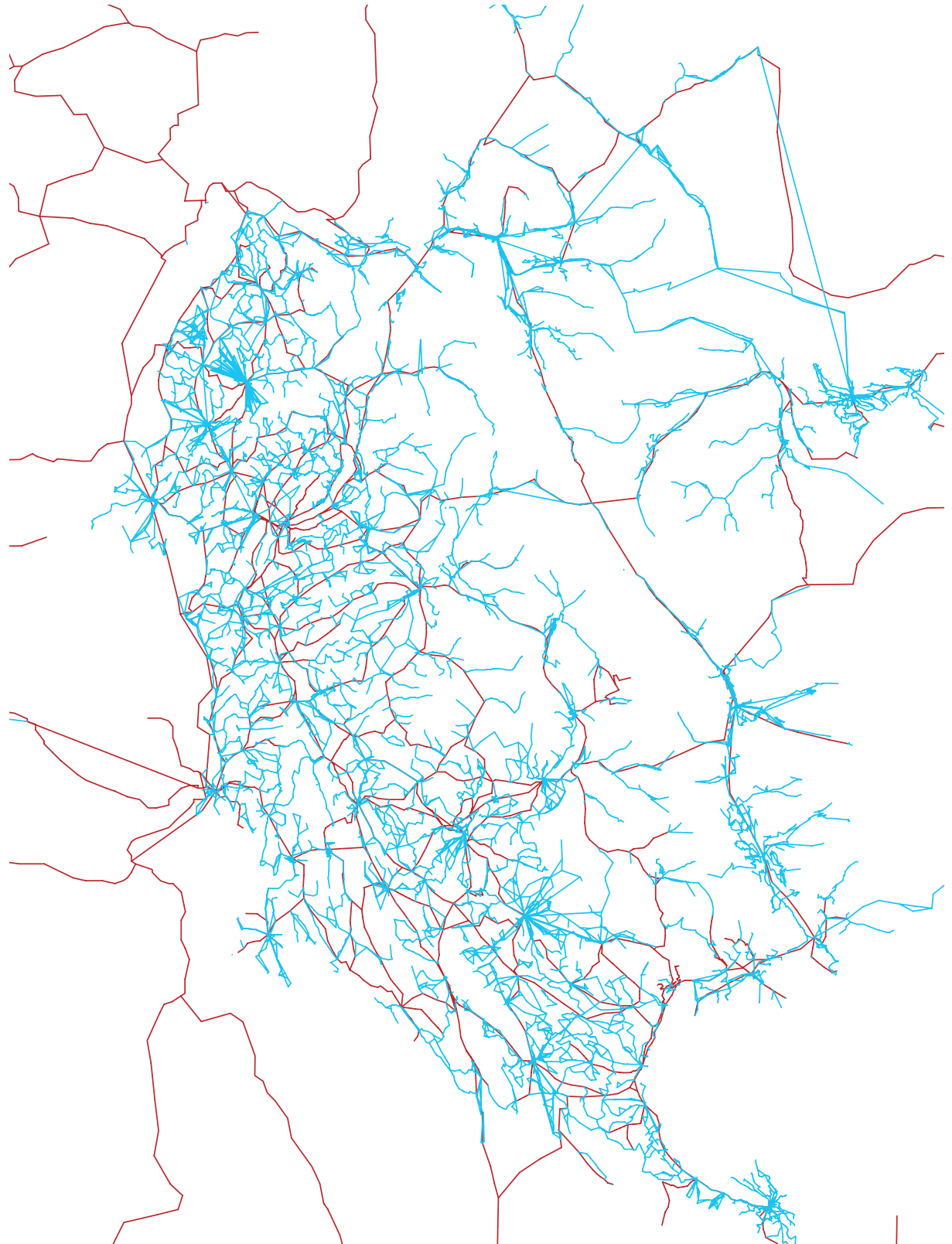
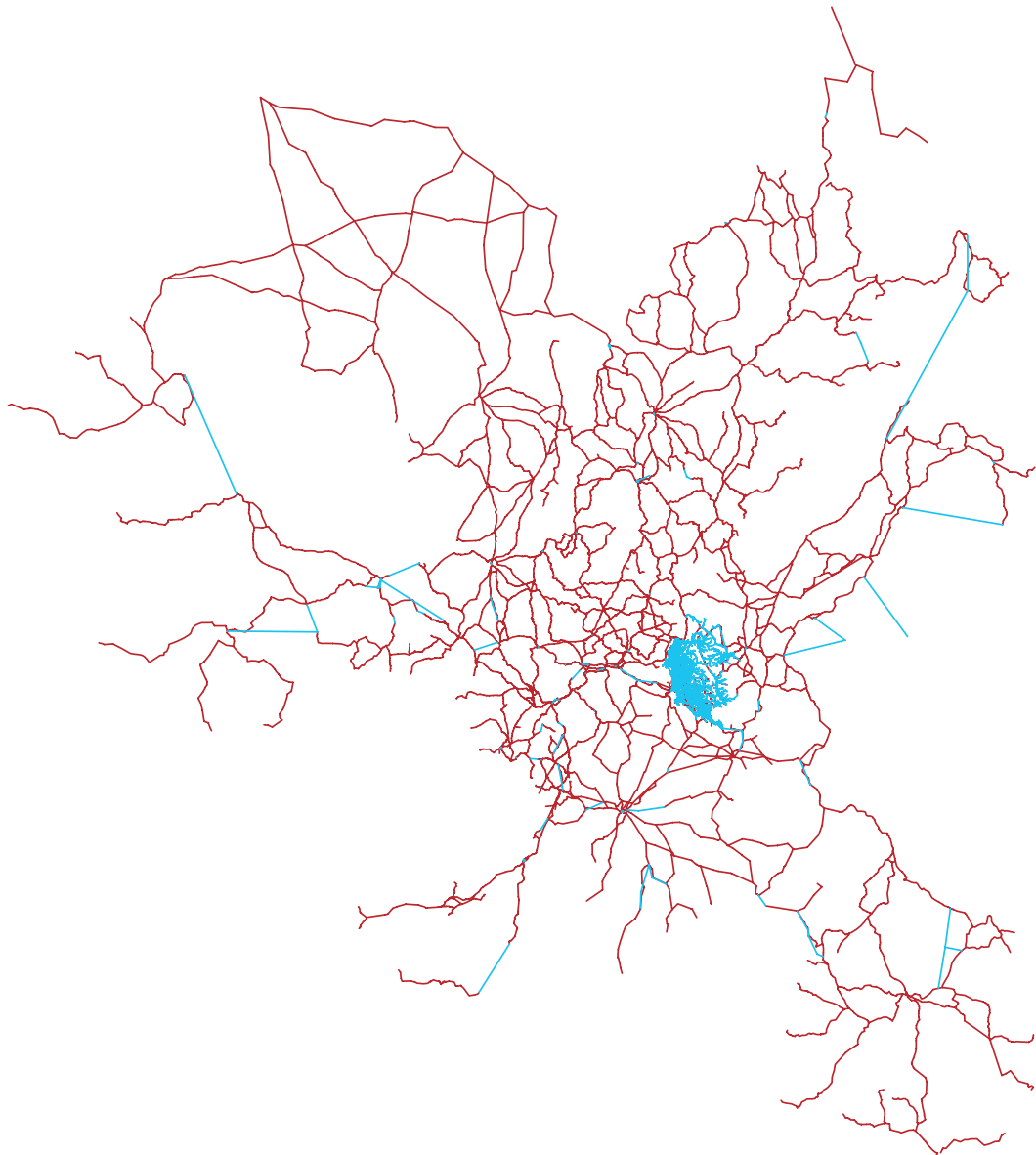


Abbildung 10 ÖV-Netz Ausland



5 Vorgehen zur Erstellung von Quell-Zielmatrizen

Um eine verlässliche Struktur und eine fahrtzweckspezifische Quell-/Zielmatrix zu schätzen, müssen die modernen Ansätze der Verkehrsmodellierung verwendet werden. In einem ersten Schritt werden, auf Grundlage der vorhandenen soziodemographischen und räumlichen Charakteristiken und der aus dem Mikrozensus Verkehr berechneten Kennwerte, die Verkehrserzeugung und -anziehung der einzelnen Zonen berechnet. Dies erfolgt fahrtzweckspezifisch und in Abhängigkeit von den räumlichen Charakteristiken des betrachteten Wohnortes. Es werden, mit Hilfe der massgebenden Strukturgrößen und der Kennwerte für alle definierten Quell-Ziel-Gruppen, die Quell- und Zielverkehrsaufkommen ermittelt. Bei besonderen Zonen, wie z.B. den Flughäfen, können auch Erhebungsdaten und Statistiken übernommen werden. Es werden folgende Fahrtzwecke unterschieden:

- Arbeit
- Ausbildung
- Nutzfahrt
- Einkauf
- Freizeit- und Tourismus, Sonstiges

Für die Verteilung und Aufteilung der Verkehrsnachfrage wird ein simultanes Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell geschätzt. Dies umfasst die Modellierung und Kalibrierung eines detaillierten Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodells für die Schweiz auf Grundlage des Mikrozensus Verkehrs 2000, der Pendlerstatistik aus der Volkszählung 2000 sowie der Stated-Preference (SP)-Befragungen von Vrtic et al. (2003). Die Befragungsergebnisse werden um aktuelle Strukturdaten und Schätzungen der generalisierten Kosten der Wege (Reisezeit, Reisekosten, Umsteigehäufigkeit usw.) ergänzt. Diese generalisierten Kosten werden mit den hier erstellten Netzmodellen für den MIV und den ÖV berechnet.

Die Modellschätzungen ergeben ein simultanes Modell der Ziel- und Verkehrsmittelwahl, das in der Lage ist, die **räumliche und modale Konkurrenz** angemessen abzubilden. Sie werden getrennt für die fünf Fahrtzwecke vorgenommen. Um eine höhere Qualität der Modellschätzungen zu erreichen, werden die aus der nationalen Stated-Preference-Befragung von Vrtic et al. (2003) ermittelten Verkehrsmittelwahl-Parameter für die betrachteten Einflussvariablen übernommen. Es werden an dieser Stelle vor allem die Parameter der Verkehrsverteilung zusätzlich neu geschätzt.

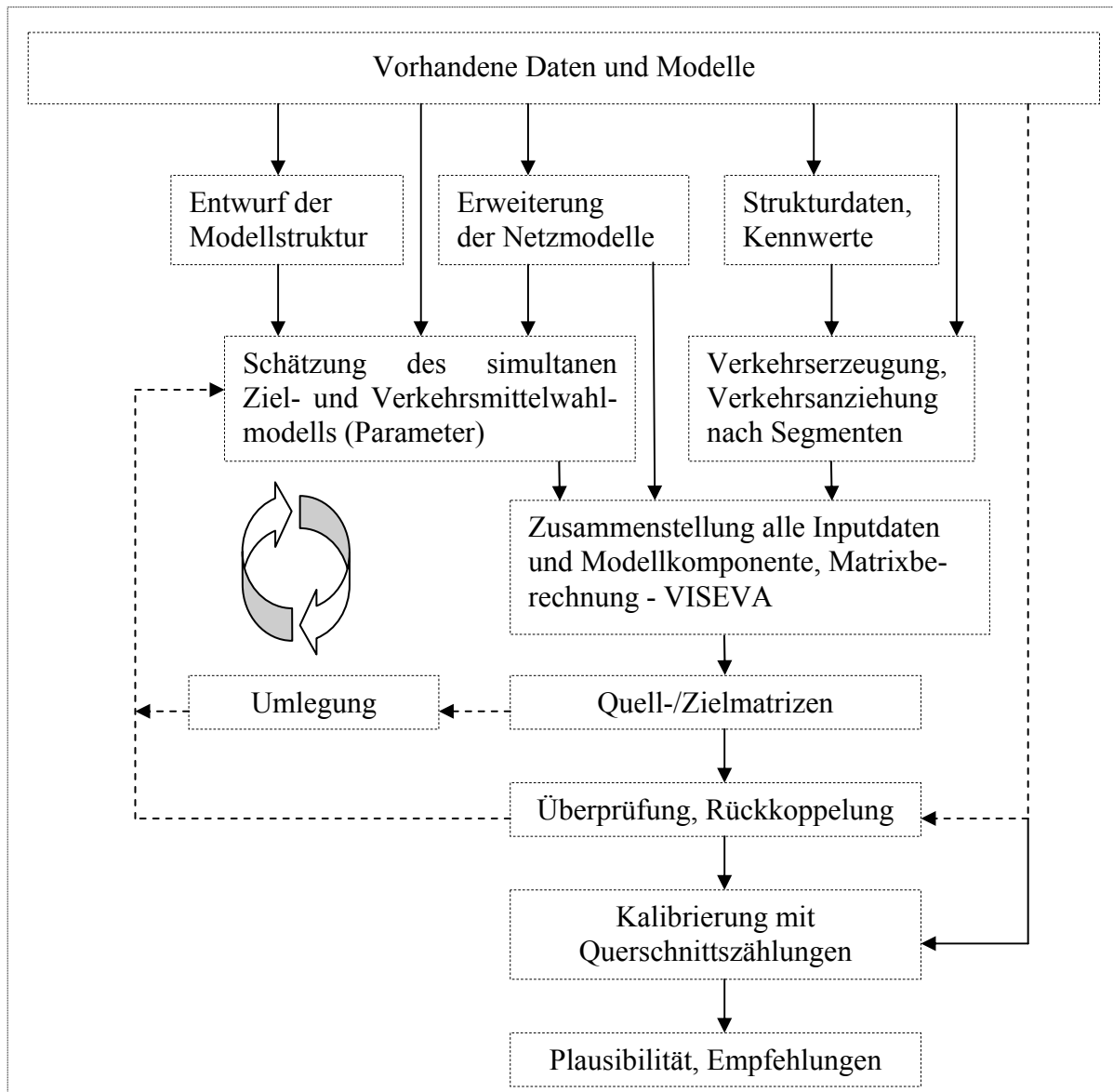
Die geschätzten Modelle werden entsprechend umgesetzt und angewendet. Die ermittelten Parameter dienen als Input für die Berechnung der Verkehrsnachfrage nach Verkehrsmitteln und nach einzelnen Verkehrsbeziehungen. Dafür wird als Software das Nachfragemodell VISEVA angewendet (siehe www.viseva.de).

Die unter Anwendung von VISEVA berechneten Matrizen werden in einem weiteren Schritt anhand von vorhandenen Erhebungsdaten überprüft. Dazu werden neben der Schienenverkehrsmatrix und der Pendlerstatistik aus der Volkszählung 2000 auch die Mikrozensus Verkehr 2000 Daten sowie die Erhebung des alpen- und grenzquerenden Verkehrs von 2001 herangezogen. Aus dieser Analyse folgt die Rückkoppelung und Korrektur der Modellparameter und Eingangsgrößen der zuvor berechneten Quell-/Zielmatrizen. Der Schwerpunkt liegt auf der Plausibilität der geschätzten Modellparameter. Die Matrix der Berufs- und Ausbildungspendler wird aus der Volkszählung 2000 übernommen. Durch die hier erstellte Pendlermatrix und den Vergleich mit der erhobenen Matrix aus der Volkszählung werden die Modellparameter und die Eingangsdaten plausibilisiert.

Danach wird die Summe der verschiedenen fahrtzweckspezifischen Matrizen auf die Netze umgelegt und anhand der erhobenen Streckenzählwerte geeicht.

Die wesentlichen Arbeitsschritte und das Vorgehen sind in Abbildung 11 dargestellt.

Abbildung 11 Vorgehen bei der Berechnung der Quell-/Zielmatrizen



6 Verkehrsproduktion und Verkehrsattraktion

Für die Berechnung von Quell-Zielmatrizen ist die Kenntnis der Verkehrserzeugung und Verkehrsanziehung der Zonen die wesentliche Voraussetzung. Daher wird als erster Baustein für die Berechnung der Quell-Zielmatrizen das gesamte Verkehrsaufkommen der Zonen, unterteilt nach Verkehrserzeugung (Produktionsaufkommen) und Verkehrsanziehung (Attraktionsaufkommen), ermittelt. Die Verkehrserzeugung wird auch als Quell-Verkehrsaufkommen und die Verkehrsanziehung als Ziel-Verkehrsaufkommen bezeichnet.

Das Verkehrsaufkommen einer Zone ist vor allem von der Flächennutzung, den Strukturgrößen (z.B. wie Einwohnerzahl, Arbeitsplätze oder Verkaufsflächen), den soziodemographischen Merkmalen (z.B. Altersstruktur, PW-Besitz oder ÖV-Abonnemente) und der Lagegunst bzw. Erschließungsqualität der Zone abhängig. Dabei sind die räumlichen Strukturgrößen und die soziodemographischen Charakteristiken, die das Verkehrsverhalten beschreiben, die entscheidenden Merkmale. Bei einer entsprechenden Segmentierung der Strukturgrößen und des spezifischen Verkehrsaufkommens bzw. der Erzeugungsraten lassen sich die räumlichen und die das Verkehrsverhalten beschreibenden Charakteristiken der Zone durch die berechnete Verkehrserzeugung bzw. Verkehrsanziehung quantifizieren.

Die hier verwendete Methodik für die Verkehrserzeugung basiert auf dem EVA Modell von Lohse (Schnabel und Lohse, 1997), welches in der Software VISEVA implementiert ist. Mit diesem Modell werden die ersten drei Modellstufen (Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung und Verkehrsaufteilung) berechnet. Es versucht, reales Verkehrsverhalten von Menschen in Verkehrssystemen weitgehend adäquat nachzubilden. Das Modell gehört zu den disaggregierten, makroskopischen Gruppenverhaltens- und Verkehrsstrommodellen. Das zu modellierende Verkehrsgeschehen wird sachlich stark differenziert, das heisst, es wird bezüglich verhaltenshomogener Personengruppen, Aktivitäten usw. verfeinert. Unter den konkreten Bedingungen des Raum-Zeit-Systems erfolgt die Abbildung des zu erwartenden mittleren Verkehrsgeschehens in allen Schichten unmittelbar durch speziell abgeleitete und begründete mathematische Algorithmen und mittels Wahrscheinlichkeitsaussagen bezüglich der Aktivitäten der verhaltenshomogenen Personengruppen mit ihren typischen Merkmalen.

In diesem Projekt wird das Verkehrsaufkommen für einen durchschnittlichen Werktag berechnet. Die Auswahl der betrachteten Strukturgrößen steht in engem Zusammenhang mit der Einteilung in **Quell-Ziel-Gruppen**. Wesentlich ist eine Zerlegung der Menge aller Ver-

kehrsteilnehmer in weitgehend elementare und homogene Schichten (Personengruppen bzw. Bezugspersonengruppen). Jeder Quell-Ziel-Gruppe sind eine oder mehrere Personengruppen als „massgebende Bezugspersonengruppen“ zugeordnet.

Die Berechnungen des Quellverkehrsaufkommens Q_i sowie des Zielverkehrsaufkommens Z_j werden für die einzelnen Quell-Ziel-Gruppen getrennt vorgenommen und erst im Arbeitsschritt „Umlegung“ wieder zusammengefügt. Die Einteilung ist von den vorhandenen Datengrundlagen und den entsprechenden Segmentierungen abhängig. Dabei wird zwischen drei Typen von Quell-Ziel-Gruppen unterschieden:

Typ 1: Beginn (Quelle) der Ortsveränderung am "Heimatstandort"

Typ 2: Ende (Ziel) der Ortsveränderung am "Heimatstandort"

Typ 3: Beginn und Ende der Ortsveränderung **nicht** am "Heimatstandort"

Der Heimatstandort kann dabei die eigene Wohnung (1. Priorität) oder die eigene Arbeitsstätte (2. Priorität) sein.

Grundlage für die Einteilung der Quell-Ziel-Gruppen bilden die Aktivitäten, die jeweils am Quell- oder Zielort von den Personen durchgeführt werden und die mit der betrachteten Ortsveränderung im Zusammenhang stehen. Aus der Kombination dieser Aktivitäten und teilweiser Aggregation ergeben sich insgesamt 17 Quell-Ziel-Gruppen, die in Tabelle 19 dargestellt sind. Der Gruppen-Typ jeder Quell-Ziel-Gruppe ist in Klammern aufgeführt. Für jede Quell-Ziel-Gruppe wurden entsprechende Strukturdaten und Erzeugungsraten definiert.

Tabelle 19 Definition von Quell-Ziel-Gruppen

		Wohnung W	Arbeit A	Bildung B	Nutzfahrt N	Einkauf E	Freizeit S
Wohnung	W	-	WA (1)	WB (1)	WN (1)	WE (1)	WS (1)
Arbeit	A	AW (2)	AS, NS, ES SA, SN, SE, SS (3)				
Bildung	B	BW (2)					
Nutzfahrt	N	NW (2)					
Einkauf	E	EW (2)					
Freizeit	S	SW (2)					

Jede Quell-Ziel-Gruppe wurde so definiert, dass sie einem definierten Fahrtzweck zugeordnet werden kann. Die Zuordnung zu den Fahrtzwecken geschieht wie folgt:

- Arbeit: WA, AW, AS, SA
- Ausbildung: WB, BW
- Nutzfahrt: WN, NW, NS, SN
- Einkauf: WE, EW, ES, SE
- Freizeit, Sonstiges: WS, SW, SS

Durch die Bildung von Quell-Ziel-Gruppen werden die wesentlichen Verkehrsnachfrage- bzw. Verkehrsmarktsegmente im Personenverkehr berücksichtigt. Sie können weiter differenziert werden, sind für die Marktanalyse und -prognose bzw. die verkehrsplanerischen Verkehrsnachfrageberechnungen unerlässlich und bilden die Grundlage für die Dynamisierung der Quell-Ziel-Matrizen.

Die Bestimmung der Verkehrsaufkommen Q_i und Z_j sowie der Verkehrsströme v_{ij} bzw. v_{ijk} zwischen den Quellen i und Zielen j mit dem Verkehrsmittel k ist stets getrennt nach den Marktsegmenten bzw. Quell-Ziel-Gruppen durchzuführen, um systematische Fehler zu vermeiden. Durch die Quell-Ziel-Gruppen-Einteilung wird der Personenverkehr in weitgehend elementare und homogene Teilmengen zerlegt, die folgende Merkmale enthalten:

- einen räumlich-funktionellen Bezug der Quellen und Ziele der Ortsveränderungen zur Flächennutzung,
- einen soziodemographischen Bezug zu wesentlichen Personengruppen und
- einen verkehrssoziologischen Bezug zum Verkehrsgeschehen (Mobilitätsanforderungen).

So ist für die Quell-Ziel-Gruppen Wohnen-Arbeit (WA) und Arbeit-Wohnen (AW) allein die Bezugspersonengruppe „Erwerbstätige“, die allerdings in weitere Untergruppen zerlegt werden kann, massgebend, während für die Quell-Ziel-Gruppen Wohnen-Einkauf (WE) und Einkauf-Wohnen (EW) im Allgemeinen alle Personengruppen berücksichtigt werden können. Die Grössen aller massgebenden Personengruppen in den einzelnen Zonen bilden einen Teil der Strukturgrössen, die für die Betrachtung einer bestimmten Quell-Ziel-Gruppe wesentlich sind. Weitere massgebende Strukturgrössen werden durch die Aktivitäten an den Quellen oder Zielen festgelegt. Die Zuordnung der gewählten Strukturgrössen zu den einzelnen Quell-Ziel-Gruppen ist in Tabelle 20 dargestellt.

Tabelle 20 Massgebende Strukturgrössen und Quell-Ziel-Gruppen (QZG)

QZG	Quell-Ziel-Gruppe	Strukturgrösse SQi der Quellverkehrszone i	Strukturgrösse SZj der Zielver- kehrszone j
WA	Wohnen - Arbeit	Erwerbstätige	Arbeitsplätze
WB	Wohnen - Bildung	Einwohner	Ausbildungsplätze
WN	Wohnen - Nutzfahrt	Erwerbstätige	Arbeitsplätze
WS	Wohnen – Freizeit	Einwohner nach Altersklassen	Kulturangebot, Erholungs- und Grünanlagen, Übernachtungen, Freizeitparks, Einwohner
WE	Wohnen - Einkauf	Einwohner nach Altersklassen	Verkaufsfläche, Einkaufszentren
AW	Arbeit – Wohnen	Arbeitsplätze	Erwerbstätige
BW	Bildung - Wohnen	Ausbildungsplätze	Einwohner
NW	Nutzfahrt - Wohnen	Arbeitsplätze	Erwerbstätige
SW	Freizeit - Wohnen	Kulturangebot, Erholungs- und Grünanlagen, Über- nachtungen, Freizeitparks, Einwohner	Einwohner nach Altersklassen
EW	Einkauf - Wohnen	Verkaufsfläche, Einkaufszentren	Einwohner nach Altersklassen
AS	Arbeit - Sonstiges	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Kulturangebot, Erholungs-, Grünanlagen
SA	Sonstiges - Arbeit	Arbeitsplätze, Einwohner, Verkaufsfläche, Kultur- angebot, Erholungs-, Grün- anlagen	Arbeitsplätze
ES	Einkauf - Sonstiges	Verkaufsfläche, Einkaufszentren	Arbeitsplätze, Einwohner Verkaufsfläche, Kulturangebot, Erholungs- und Grünanlagen
SE	Sonstiges – Einkauf	Arbeitsplätze, Einwohner Verkaufsfläche, Kultur- angebot, Erholungs- und Grünanlagen	Verkaufsfläche, Einkaufszentren
NS	Nutzfahrt – Sonstiges	Arbeitsplätze	Arbeitsplätze, Einwohner Verkaufsfläche
SN	Sonstiges - Nutzfahrt	Arbeitsplätze, Einwohner Verkaufsfläche	Arbeitsplätze
SS	Sonstiges - Sonstiges	Arbeitsplätze, Einwohner Verkaufsfläche	Arbeitsplätze, Einwohner Verkaufsfläche

Die Strukturdaten sind für die nachfolgend erläuterte Berechnung der Erzeugungsraten von grosser Bedeutung. Daher müssen für jede Zone alle massgebenden Strukturdaten erstellt werden. Massgebende Strukturgrössen sind diejenigen Struktureinheiten, die die von Personen durchgeführten Ortsveränderungen verursachen. Für die Schweizer Gemeinden können diese Daten aus der IVT Gemeindedatenbank und weiteren Statistiken übernommen werden. Für die Auslandszonen stehen die Einwohnerzahl und die Zahl der Beschäftigten der einzelnen Länder nach Zonen zur Verfügung. Die übrigen Strukturdaten für Auslandszonen wurden anhand der spezifischen Verhältnisse in der Schweiz und der Einwohnerzahl hochgerechnet.

Die Erzeugungsraten (oft auch spezifische Verkehrsaufkommen genannt) werden für jede Quell-Ziel-Gruppe für die massgebenden Strukturgrössen festgelegt bzw. geschätzt. Erzeugungsraten sind definiert als die Anzahl an Ortsveränderungen pro Tag und Einheit der Strukturgrösse. Sie werden berechnet aus der Anzahl der in einer Quell-Ziel-Gruppe durch die Strukturgrössen verursachten Wege, geteilt durch die Zahl der massgebenden Strukturgrössen der Quell-Ziel-Gruppe.

Zur Bestimmung der Erzeugungsraten können empirische Erhebungen oder vorliegende Erfahrungswerte herangezogen werden. Für das Quellaufkommen werden diese Grössen aus den Mikrozensus Verkehr Verkehr 2000-Daten abgeleitet. Diese wurden in einem ersten Schritt nur fahrtzweckspezifisch und für einen Teil der Strukturdaten ermittelt. Für bestimmte Strukturgrössen, die vor allem den Einkaufs- und Freizeitverkehr betreffen, wurden die Erzeugungsraten aus Bosserhoff (2000) übernommen oder aus den Statistiken berechnet.

Im Einkaufsverkehr wird die Attraktion einer Zone durch die Verkaufsfläche beschrieben. Für die Verkehrserzeugung ist jedoch die Anzahl der Kunden die massgebende Grösse. Daher wurden in diesem Fall die entsprechenden Erzeugungsraten aus Untersuchungen in Deutschland (siehe ebenfalls Bosserhoff, 2000) übernommen. Für einen Werktag werden 0.1538 Kunden/qm Verkaufsfläche ausserhalb von Einkaufszentren und den 0.5 Kunden/qm Verkaufsfläche in einem Einkaufszentrum angesetzt.

Im Freizeitverkehr können die Anzahl von Übernachtungen und die Zahl der Besucher von Freizeitparks, Grosseinrichtungen und Kinos aus den Statistiken der Betreiber übernommen werden. Neben den Kinobesuchern wurde die Erzeugungsrate für das Kulturangebot mit einem Zuschlag für Theater und Museen ergänzt. Die Erzeugungsrate für Erholungs- und Grünanlagen wurde aus dem Abgleich mit dem Quellaufkommen im Freizeitverkehr kalibriert, da für diesen Fahrtzweck die Summen des Quell- und des Zielaufkommens gleich sein müssen. Weil die Summe der gesamten Quell- und Zielaufkommen des betrachteten Untersuchungs-

gebietes gleich sein muss, sollten für das Ziel- bzw. Attraktionsaufkommen die Strukturdaten der Zone plausibel sein. Wenn die Erzeugungsraten zwischen den Zonen gleich sind, können diese aus dem Abgleich des Quell- mit dem Zielaufkommen kalibriert werden. Für die Quell-Ziel-Gruppen des Typs 3 (nicht wohnungsgebundene Wege) wurde eine Gewichtung der Strukturgrößen definiert.

Die berechneten Erzeugungsraten aus den Mikrozensus Verkehr 2000 Daten, geordnet nach Quell-Zielgruppen, sind in Tabelle 21 dargestellt.

Tabelle 21 Erzeugungsraten nach Quell-Ziel-Gruppen

Erzeugungsraten [Wege pro Werktag und Person]					
QZG	Einwohner	Einwohner <25 J.	Einwohner 25<55 J.	Einwohner >55 J.	Erwerbstätige
WA, AW					0.884
WB, BW	0.200				
WN, NW					0.169
WE, EW		0.162	0.302	0.369	
WS, SW		0.632	0.596	0.553	
AS, SA					0.165
ES, ES		0.033	0.062	0.076	
NS, SN					0.066
SS		0.310	0.292	0.271	

Dies bedeutet, dass im Durchschnitt laut Mikrozensus Verkehr

- 2.097 Arbeitswege pro Erwerbstätigem und Werktag
- 0.368 Ausbildungswege pro Einwohner und Werktag
- 0.47 Nutzfahrtwege pro Erwerbstätigem und Werktag
- 0.67 Einkaufswege pro Einwohner und Werktag
- 1.48 Freizeitwege pro Einwohner und Werktag

durchgeführt werden. Insgesamt werden 3.86 Wege pro Werktag und Einwohner durchgeführt.

Die Differenzierung nach Quell-Ziel-Gruppen und das beschriebene Vorgehen ermöglichen im Rahmen von Verkehrsprognosen die Berechnung der Auswirkungen von Angebots- und Verhaltensänderungen unter Berücksichtigung von Veränderungen aller hier einbezogenen Einflussgrößen. Die Veränderungen von Siedlungs- und soziodemografischen Charakteristi-

ken und die sich daraus ergebenden Nachfrageveränderungen können damit im Erzeugungsmodell vollständig berücksichtigt werden.

Im nächsten Schritt werden für jede Quell-Ziel-Gruppe aus den massgebenden Strukturdaten und den Erzeugungsraten die Quell- und Zielverkehrsaufkommen berechnet. Dabei müssen die Erzeugungsraten kalibriert werden, so dass die Summe der Quellaufkommen gleich der Summe der Zielaufkommen ist. Weiterhin muss zwischen den Quell- und Zielverkehrsaufkommen von zwei gegensätzlichen Quell-Ziel-Gruppen, z.B. WA und AW, Konsistenz hergestellt werden. In diesem Beispiel ist sicherzustellen, dass das Quellaufkommen der Quell-Ziel-Gruppe WA gleich dem Zielaufkommen der Quell-Ziel-Gruppe AW ist.

Ansatz

Die Ermittlung der Verkehrsaufkommen erfolgt für jede Quell-Ziel-Gruppe c stufenweise. Zunächst wird die Anzahl der durch die Bezugspersonen r der Verkehrsbezirke verursachten Ortsveränderungen bzw. das Quell-Verkehrsaufkommen (Verkehrsproduktion) nach folgenden Formeln ermittelt:

QZG c des Typs 1 mit quellseitig heimgebundenen Ortsveränderungen:

$$Q_e^c = \sum_r SV_{er}^c \cdot BP_{er}^c \cdot u_{er}^c \quad V = \sum_e Q_e^c = \sum_e \sum_r SV_{er}^c \cdot BP_{er}^c \cdot u_{er}^c$$

QZG c des Typs 2 mit zielseitig heimgebundenen Ortsveränderungen:

$$Z_e^c = \sum_r SV_{er}^c \cdot BP_{er}^c \cdot u_{er}^c \quad V = \sum_e Z_e^c = \sum_e \sum_r SV_{er}^c \cdot BP_{er}^c \cdot u_{er}^c$$

QZG c des Typs 3 mit nicht heimgebundenen Ortsveränderungen:

$$V^c = \sum_e \sum_r SV_{er}^c \cdot BP_{er}^c \cdot u_{er}^c$$

Q	Quellverkehrsaufkommen
Z	Zielverkehrsaufkommen
V	Gesamtverkehrsaufkommen
c	Index für Quell-Ziel-Gruppe (QZG)
e	Index für Verkehrsbezirke
r	Index für Personengruppen
SV	Spezifisches Verkehrsaufkommen (Mobilitätsrate oder Erzeugungsraten) der Bezugsperson BP für die betrachtete QZG c in [OV/(Pers., Zeiteinheit)]
BP	Anzahl der Personen in der massgebenden Bezugspersonengruppe p
u	Binnenverkehrsanteil (Faktor, der angibt, wie hoch der Anteil der Ortsveränderungen ist, welche im betrachteten Untersuchungsgebiet verbleiben, für die hier verwendete Segmentierung immer 1).

Das Gesamtverkehrsaufkommen V wird auf die nicht heimgebundenen Zielverkehrsaufkommen und/oder auf die nicht heimgebundenen Quellverkehrsaufkommen der Verkehrsbezirke „konkurrierend“ je nach „Verkehrsattraktion“ aufgeteilt. Dafür wird zunächst das Attraktionspotential SP_e^c des jeweiligen Verkehrsbezirkes e bestimmt

$$SP_e^c = \sum_s ER_{es}^c \cdot SG_{es}^c \cdot v_{es}^c \quad SP_{\max_e}^c = \sum_s \ddot{U}_{es}^c \cdot ER_{es}^c \cdot SG_{es}^c \cdot v_{es}^c$$

und anschließend das Verkehrsaufkommen für harte und weiche Randsummenbedingungen (RSB) ermittelt.

Bei **harten** Randsummenbedingungen ergibt sich das Verkehrsaufkommen direkt aus den Strukturpotentialen. Die Lagegunst spielt für die Bestimmung der Verkehrsaufkommen keine Rolle. Dies trifft für diejenigen Quell-Ziel-Gruppen zu, bei den „Pflichtaktivitäten“ realisiert werden (zur Arbeit, zur Schule usw.).

Bei **weichen** Randsummenbedingungen nimmt die konkurrierende Lagegunst zusätzlich Einfluss auf die Größe der Verkehrsaufkommen. Allerdings können die maximal möglichen Verkehrsaufkommensmengen – trotz sehr guter Erreichbarkeit – nicht überschritten werden (z.B. beim Einkaufsverkehr bei den Einkaufsstätten). Die „weichen“ Verkehrsaufkommen können erst mittels des Modellschritts Verkehrsverteilung/Verkehrsaufteilung bestimmt werden.

Offene Randsummenbedingungen realisieren sich ebenfalls erst im Zusammenhang mit der Verkehrsverteilung/Verkehrsaufteilung. Die Verkehrsaufkommen sind nur von der gemeinsamen Wirkung der Attraktionspotentiale und der Lagegunst abhängig. Restriktive Randsummenbedingungen wirken nicht (= „offene“ RSB). Die Bestimmung der Potentiale entspricht der Vorgehensweise bei harten Randsummenbedingungen.

Das erzeugte Verkehrsaufkommen gilt zunächst allgemein für alle Verkehrsarten gemeinsam, wenn nicht a priori eine Einschränkung vorgenommen wurde. Wie groß die einzelnen Aufkommen der Verkehrsarten der Verkehrsbezirke sind, ergibt sich erst im Modellschritt Verkehrsverteilung/Verkehrsaufteilung aus den konkurrierenden Angeboten der Verkehrsarten.

Damit ist die Erstellung des Quellaufkommens Grundlage für die Berechnung des Verkehrsaufkommens. Anhand der Strukturgrößen der Quellzone und der spezifischen Verkehrsaufkommen wird das Quellaufkommen einer Zone berechnet. Die Summe des Quell- und Zielverkehrsaufkommen einer Quell-Ziel-Gruppe muss gleich sein. Die für die einzelnen Quell-Ziel-Gruppen berechneten Quell- und Zielverkehrsaufkommen für die Schweiz (ohne Flughäfen), das Ausland und das gesamte Modell sind in der Tabelle 22 dargestellt. Aus dieser Tabelle ist zu ersehen, dass durch in der Schweiz lebende Personen an einem durchschnittlichen Werktag insgesamt 28.39 Millionen Wege erzeugt werden. Daraus ergibt sich ein spe-

zifisches Verkehrsaufkommen von 3.86 Wegen pro Person. Dies entspricht den Ergebnissen des Mikrozensus Verkehr 2000.

Tabelle 22 Quell- und Zielverkehrsaufkommen nach QZG

QZG	Schweiz		Ausland		Gesamtsumme	
	Quellverkehr	Zielverkehr	Quellverkehr	Zielverkehr	Quellverkehr	Zielverkehr
WA	3'365'878	3'365'878	256'074'159	256'058'156	259'423'863	259'423'863
AW	3'365'878	3'365'878	256'058'156	256'074'159	259'423'863	259'423'863
WB	1'457'576	1'457'576	111'430'334	111'446'288	112'904'116	112'904'116
BW	1'457'576	1'457'576	111'446'288	111'430'334	112'904'116	112'904'116
WN	643'059	643'059	49'004'066	49'001'003	49'645'088	49'645'088
NW	643'059	643'059	49'001'003	49'004'066	49'645'088	49'645'088
WE	2'037'303	2'037'375	155'749'341	155'749'341	157'786'697	157'786'697
EW	2'037'375	2'037'303	155'749'341	155'749'341	157'786'697	157'786'697
WS	4'301'560	4'371'912	331'529'490	331'469'444	335'866'225	335'866'225
SW	4'371'912	4'301'560	331'469'444	331'529'490	335'866'225	335'866'225
AS	625'029	622'665	47'688'174	47'690'544	48'315'002	48'315'002
SA	622'665	625'029	47'690'544	47'688'174	48'315'002	48'315'002
NS	249'759	248'814	19'055'946	19'056'893	19'306'423	19'306'423
SN	248'814	249'759	19'056'893	19'055'946	19'306'423	19'306'423
ES	416'908	417'672	31'900'467	31'899'703	32'317'757	32'317'757
SE	417'672	416'908	31'899'703	31'900'467	32'317'757	32'317'757
SS	2'127'862	2'127'862	162'663'876	162'663'876	164'796'130	164'796'130
Total	28'389'885	28'389'885	2'167'467'225	2'167'467'225	2'195'926'472	2'195'926'472

Durch die Zuordnung des Verkehrsaufkommens der Quell-Ziel-Gruppen zu den einzelnen Fahrtzwecken wurden die Fahrtzweck-Anteile ermittelt und mit den Ergebnissen des Mikrozensus Verkehr überprüft. Dieser Vergleich ist in Tabelle 23 dargestellt. Es ist zu sehen, dass die anhand der Verkehrsaufkommen der Quell-Ziel-Gruppen ermittelten Fahrtzweckanteile den Ergebnissen des Mikrozensus Verkehr entsprechen. Die kleinere Abweichung beim Fahrtzweck Nutzfahrt ist vor allem auf die nicht ganz identische Zuordnung der einzelnen Aktivitäten zu den Fahrtzwecken zurückzuführen. So wurde beispielsweise die Aktivität „Begleiten“ im Mikrozensus Verkehr dem Fahrtzweck Freizeit zugeordnet.

Tabelle 23 Vergleich der ermittelten Fahrtzweckanteile mit dem MZ 2000

	Berechnete Wege in Mio. und [%]	MZ 2000 [%]
Arbeit	7.98 Mio. [28.1 %]	28.2
Ausbildung	2.91 Mio. [10.3 %]	10.3
Nutzfahrt	1.78 Mio. [6.3 %]	5.1
Einkauf	4.91 Mio. [17.3 %]	17.9
Freizeit, Sonstiges	10.80 Mio. [38.0 %]	38.5
Total	28.39 Mio. [100%]	100.0

In einem weiteren Schritt wurden die aus dem Verkehrsaufkommen berechneten spezifischen Quell- und Zielverkehrsaufkommen der Zonen analysiert. Aufgrund der unterschiedlichen Strukturcharakteristiken der Zonen ergeben sich auch unterschiedliche Produktions- und Attraktionspotentiale. Für diese Analyse wurde aus dem gesamten Verkehrsaufkommen einer Zone und der entsprechenden Einwohnerzahl das spezifische Quell- und Zielverkehrsaufkommen der Zone berechnet. Dies entspricht dem spezifischen Produktion- und Attraktionsfaktor der Zone. Grosse Unterschiede zwischen den Zonen zeigen sich vor allem auf der Attraktionsseite. Besondere Attraktion weisen vor allem die Gemeinden mit grösseren Einkaufszentren oder Freizeitmöglichkeiten auf. Damit variiert das spezifische Zielaufkommen der Zonen zwischen 1.1 und 53 Wege pro Einwohner (Abbildung 12). Die Unterschiede in der Produktion sind vor allem auf die Standortbedeutung sowie die verkehrliche Charakteristiken der Zonen zurückzuführen. Hier ist das spezifische Quellaufkommen relativ stabil und variiert zwischen 3.2 und 4.4 Wegen pro Einwohner (Abbildung 13).

Abbildung 12 Spezifisches Verkehrsaufkommen – wohnungsgebundene (Quell-) Wege

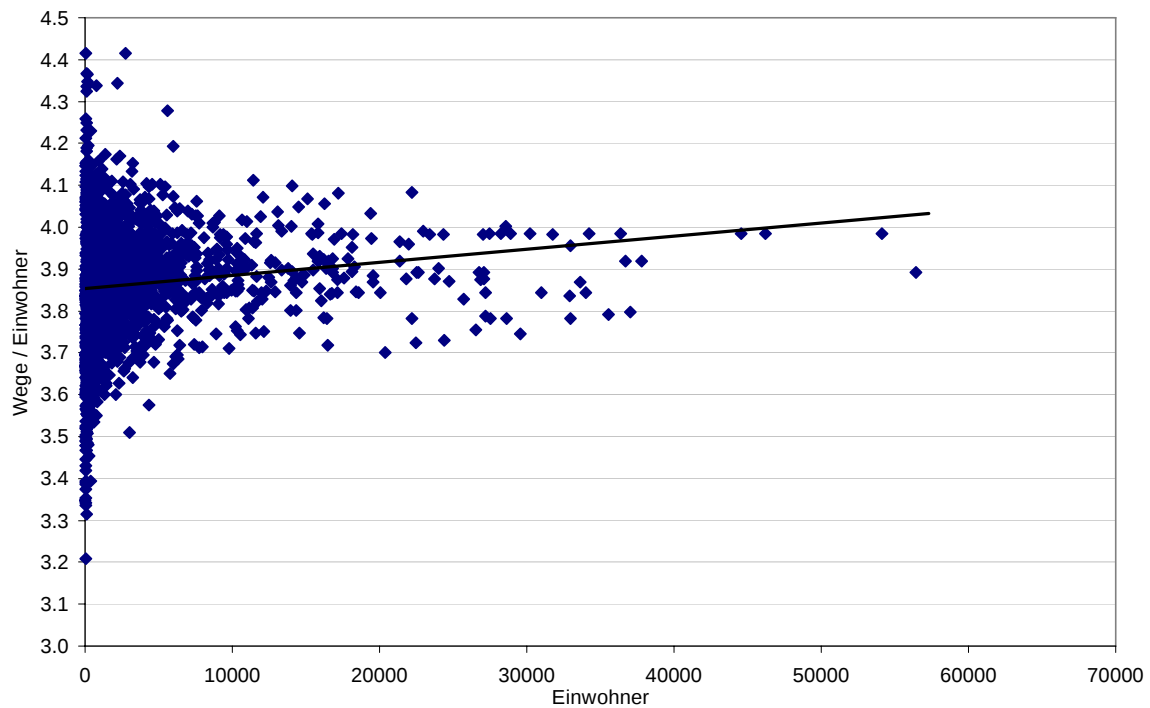
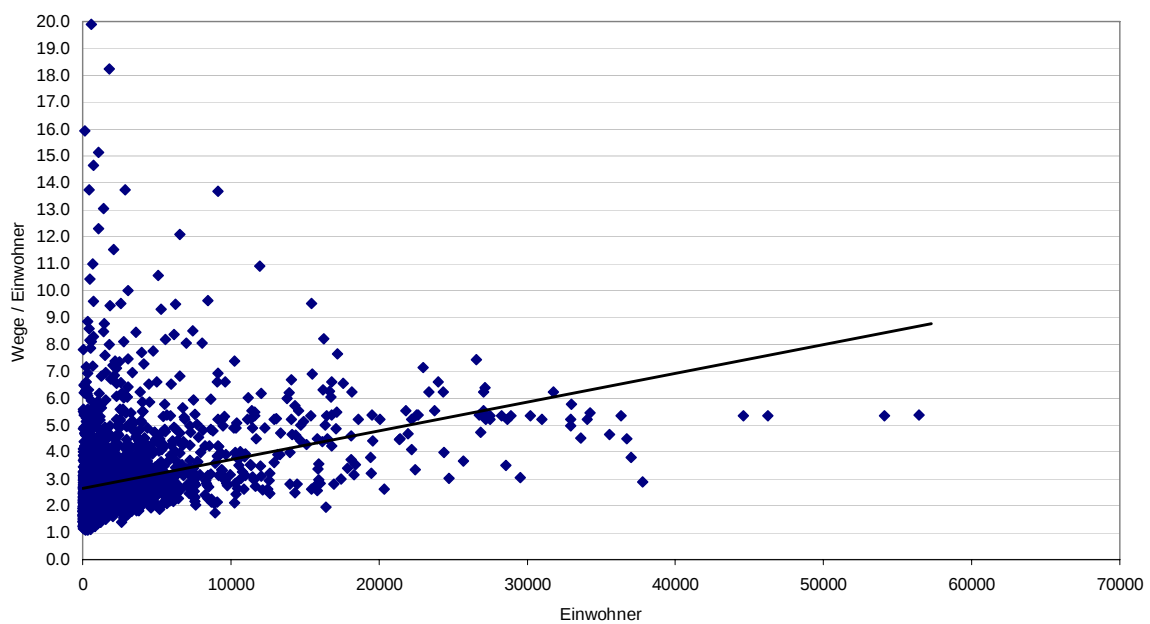


Abbildung 13 Spezifisches Verkehrsaufkommen – attraktionsgebundene (Ziel-) Wege



7 Schätzung der Parameter für das simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahl-Modell

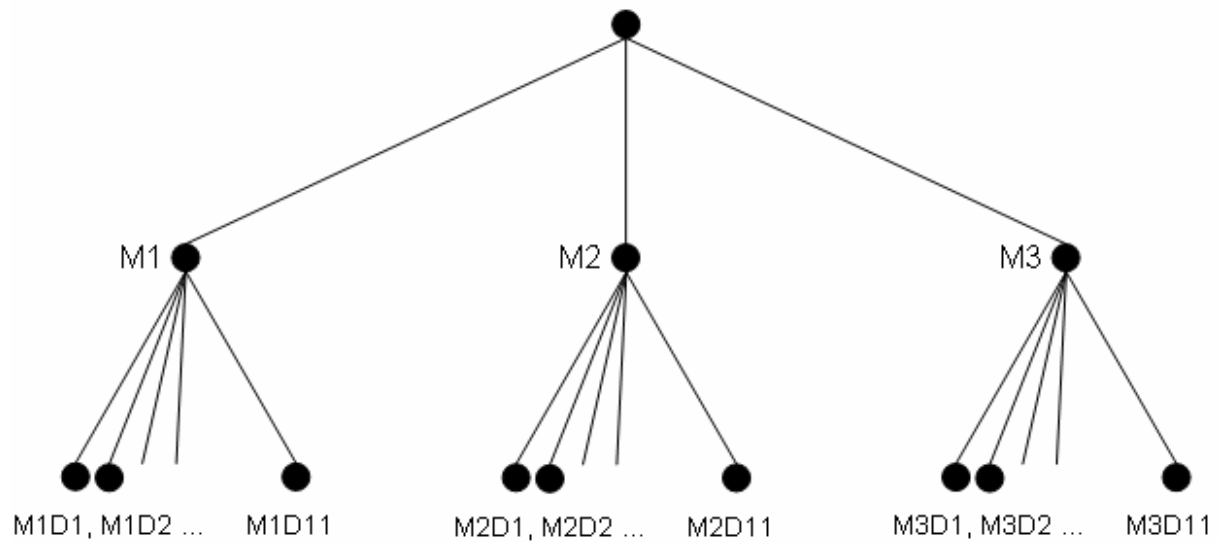
Die durch die Verkehrserzeugung berechneten Quell- und Zielverkehrsaufkommen werden in einem weiteren Schritt auf die Verkehrsmittel und die Zonen verteilt. Die Modelle der **Verkehrsverteilung** und **Verkehrsaufteilung** dienen der Ermittlung der Verkehrsströme v_{ijk} zwischen allen möglichen Quellen i und Zielen j mit den Verkehrsmitteln k . Dafür müssen zunächst die Gesetzmässigkeiten der Verkehrsverteilung (Zielwahl) und Verkehrsaufteilung (Verkehrsmittelwahl) bestimmt werden. Da die Zielwahl auch von der Verkehrsmittelverfügbarkeit und dem Verkehrsangebot abhängig ist, können diese zwei Modellschritte nicht getrennt behandelt werden. Aus diesem Grund muss bei einem sequentiellen Verfahren eine Rückkoppelung zwischen der Ziel- und der Verkehrsmittelwahl stattfinden. Da diese Rückkoppelungsschritte zu einer sehr komplexen Modellstruktur und zumeist auch nicht zu einer konsistenten Lösung führen, werden die Quell-Zielmatrizen mit Hilfe eines simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodells erstellt.

Bei diesem Vorgehen werden aus einem Ziel durch Verknüpfung mit den Verkehrsmitteln mehrere Alternativen erzeugt und ein Modellansatz mit Neststruktur verwendet. Dabei wird jede Ziel-Verkehrsmittel-Kombination als eine eigenständige Alternative betrachtet. Es wird das Nested-Logit-Modell angewandt, in dem auf der ersten Stufe die Verkehrsmittelwahl und auf der zweiten Stufe die Zielwahl betrachtet wird.

Das Nested-Logit-Modell stellt gemeinsam mit dem Multinomialen-Logit-Modell das populärste und am häufigsten angewandte Modell der Logitfamilie dar. Diese Modelle werden auch „strukturierte“, „sequentielle“, „tree“ oder „hierarchische“ Modelle genannt (Ortuzar und Willumsen, 2001). Das Nested-Logit-Modell erlaubt die Modellierung von mehrstufigen Entscheidungen durch die Bildung von Untergruppen von Entscheidungs-alternativen, den sogenannten Nestern.

Der Fall einer mehrdimensionalen Alternativenmenge ist in Abbildung 14 dargestellt. Auf der oberen Ebene wird das Verkehrsmittel (M für Mode) für eine Fahrt ausgewählt und auf der unteren Ebene wird die Entscheidung bezüglich des Ziels (D für Destination) gefällt. Die Alternativenmenge besteht aus drei Nestern, eines für jedes Verkehrsmittel, und jedes Nest enthält elf Zielwahlalternativen. Somit sind in diesem Beispiel insgesamt 33 Ziel-Verkehrsmittel-Kombinationen gegeben, von denen eine die tatsächlich gewählte Alternative ist.

Abbildung 14 Mehrdimensionale Alternativenmenge



Der Gesamtnutzen der multidimensionalen Alternativenmenge lässt sich aufteilen in:

$$U_{dm} = V_d + V_m + V_{dm} + \varepsilon_d + \varepsilon_m + \varepsilon_{dm}$$

Der Ansatz des Nested-Logit-Modells verlangt nun, dass entweder die Varianz von ε_d oder von ε_m sehr klein relativ zu den anderen Störtermen ist und damit vernachlässigt werden kann. Hier wird nun angenommen, dass ε_m klein genug ist, um ignoriert werden zu können.

$$U_{dm} = V_d + V_m + V_{dm} + \varepsilon_d + \varepsilon_{dm}$$

Die Auswahlwahrscheinlichkeit der sinnvollen Kombinationen von d und m , P_{dm} , kann nun aufgeteilt werden in eine bedingte Entscheidung $P(d|m)$, die angibt welches Ziel gewählt wird wenn das Verkehrsmittel vorgegeben ist sowie in eine marginale Entscheidung $P(m)$. Damit gilt:

$$P_{dm} = P_{d|m} * P_m$$

Die bedingte Wahrscheinlichkeit wird bestimmt mit:

$$P_{d|m} = \frac{\exp(\mu V_{dm})}{\sum_{\forall d'} \exp(\mu V_{dm'})}$$

Die marginale Wahrscheinlichkeit wird bestimmt mit:

$$P_m = \frac{\exp(\mu^m I_m)}{\sum_{\forall m'} \exp(\mu^m I_{m'})}$$

Für den Inklusivwert (I_m) sind auch andere Bezeichnungen in Verwendung: *logsum-term*, *inclusiv price*, *measure of accessibility* oder *expected maximum perceived utility*. Für den Inklusivwert wird angenommen, dass der Entscheider aus der Alternativenmenge bzw. dem Nest die Alternative mit dem grössten erwarteten Nutzen auswählt.

$$I_m = E(\max_{m'} U_{m'})$$

Der Inklusivwert stellt daher den erwarteten maximalen systematischen Nutzen aller Alternativen in einer Alternativenmenge bzw. in einem Nest dar:

$$I_m = \frac{1}{\mu} \ln \sum \exp(\mu V_{dm})$$

Die Berechnung der Entscheidung bzw. der Wahl der Ziel-Verkehrsmittelwahl-Kombination erfolgt anhand der ermittelten Nutzendifferenz. Dafür wird eine dreistufige Nutzenfunktion mit soziodemographischen, Verkehrsmittel- und Attraktionscharakteristiken erstellt. Die folgenden Einflussfaktoren werden berücksichtigt:

- PW-Verfügbarkeit, Jahresabonnement – Besitz (GA), Halbtax-Besitz (HT), Alter, Geschlecht
- MIV-Reisezeit, MIV-Kosten, ÖV-Reisezeit, ÖV-Kosten, Umsteigehäufigkeit, Angebotsintervall, Zugangszeit, LIV-Reisezeit
- Einwohnerzahl, Erwerbstätige, Arbeitsplätze, Ausbildungsplätze, Kulturangebot, Erholungs- und Grünanlagen, Freizeitpark und Grosseinrichtungen, Verkaufsflächen, Einkaufszentren

Es wurde jeweils ein fahrtzweckspezifisches Modell für die folgenden fünf Fahrtzwecke geschätzt: Arbeit, Ausbildung, Nutzfahrt, Einkauf und Freizeit. Für die Modellschätzung wurden die Daten des Mikrozensus Verkehr 2000 verwendet. Aus diesen Daten wurden anhand der berichteten Wege die Angaben über die gewählten Quell-Ziel-Beziehungen (nach Postleitzahlen) und die benutzten Verkehrsmittel übernommen.

Um die Modellschätzung durchzuführen, müssen neben den gewählten Alternativen auch andere, nicht gewählte Alternativen beschrieben und dargestellt werden. Dafür wurden aus den Netzmodellen zu jedem gewählten Ziel weitere zehn, nicht gewählte Ziele zugespielt. Diese Ziele wurden nach bestimmten Distanzklassen ausgewählt. Die Distanz der ersten drei Ziele

liegt unter 70% der Distanz des berichteten Ziels, die Distanz der nächsten drei Ziele zwischen 70% und 130% der Distanz des berichteten Ziels und die Distanz der letzten drei Ziele ist grösser als 130% der Distanz des berichteten Ziels. Eines der zehn Ziele liegt innerhalb der Quell-Gemeinde.

Für jede der elf Alternativen wurden die Angebotsvariablen für die drei Verkehrsmitteln MIV, ÖV und LIV ermittelt. Damit wurden zu jeder gewählten Alternative (Ziel-Verkehrsmittel-Kombination) 32 nicht gewählte Alternativen zugespielt. Daraus wurde ein Modell mit drei Nestern (MIV, ÖV und LIV) mit jeweils elf Alternativen formuliert (siehe Abbildung 14). In der Modellschätzung wurden die Parameter gesucht, die die tatsächliche Entscheidung mit genügender Signifikanz erklären.

Aus den Mikrozensus Verkehr Daten stehen 100'185 Beobachtungen mit gewählten Alternativen zur Verfügung. Für die Modellschätzung wurde das Statistik-Programm Biogeme Version 07 (Bierlaire, 2003) verwendet.

Da die Mikrozensus Verkehr Daten wegen der vorhandenen Korrelation zwischen den Variablen und der ungenügenden Variation für eine vollständige Modellschätzung nicht geeignet sind, werden nur die Attraktionsparameter (Zielwahl) und die LIV-Parameter neu geschätzt. Die soziodemographischen und Angebotsparameter werden aus der Untersuchung von Vrtic et al. (2002) übernommen. Diese Parameter wurden für die Schätzung des Verkehrsmittelwahlmodells aus einer Stated-Preference-Befragung ermittelt und werden bei der Schätzung der simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahl als fix definiert (siehe Anhang).

Die Nutzenfunktion wird je nach Fahrtzweck unterschiedlich aufgestellt. Es sind sowohl die Parameter für das Verkehrsangebot und die Soziodemographie als auch die Attraktionsvariablen unterschiedlich. In der Nutzenfunktion wurden für die einzelnen Fahrtzwecke folgende Attraktionsvariablen betrachtet:

- Arbeit: Erwerbstätige und Arbeitsplätze
- Ausbildung: Einwohner und Ausbildungsplätze
- Nutzfahrt: Erwerbstätige und Arbeitsplätze
- Einkauf: Einwohner, Verkaufsflächen, Einkaufszentren
- Freizeit, Sonstiges: Einwohner, Kulturangebot, Erholungs- und Grünanlagen, Freizeitparks und Grosseinrichtungen

Die Nutzenfunktionen werden am Beispiel des Fahrtzwecks Arbeit wie folgt definiert:

$$\begin{aligned} \text{Nutzen}_{PW} = & \text{Constante}_{PW} + \text{Zeit}_{PW} * \beta_{PW-\text{Zeit}} + \text{Preis}_{PW} * \beta_{PW-\text{Preis}} \\ & + \text{Verfügbarkeit}_{PW} * \beta_{PKW-\text{Verfügbarkeit}} + \text{Erwerbstätige} * \beta_{\text{Erwerbstätige}} \\ & + \text{Arbeitsplätze} * \beta_{\text{Arbeitsplätze}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nutzen}_{\text{ÖV}} = & \text{Zeit}_{\text{ÖV}} * \beta_{\text{ÖV}-\text{Zeit}} + \text{Preis}_{\text{ÖV}} * \beta_{\text{ÖV}-\text{Preis}} + \text{Zugangszeit} * \beta_{\text{Zugangszeit}} + \text{Umsteigezahl} * \beta_{\text{Umsteige}} \\ & + \text{Intervall} * \beta_{\text{Intervall}} + \text{Alter} * \beta_{\text{Alter}} + \text{GA}_{\text{Besitz}} * \beta_{\text{GA}} + \text{Halbtax}_{\text{Besitz}} * \beta_{\text{HT}} + \\ & \text{Erwerbstätige} * \beta_{\text{Erwerbstätige}} + \text{Arbeitsplätze} * \beta_{\text{Arbeitsplätze}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nutzen}_{LIV} = & \text{Constante}_{LIV} + \text{Zeit}_{LIV} * \beta_{LIV-\text{Zeit}} \\ & + \text{Erwerbstätige} * \beta_{\text{Erwerbstätige}} + \text{Arbeitsplätze} * \beta_{\text{Arbeitsplätze}} \end{aligned}$$

Dabei werden hier, wie zuvor erwähnt, nur die Parameter für die Attraktionsvariablen und den LIV neu geschätzt. Die Parameter für die MIV- und ÖV- Angebots- und soziodemographischen Variablen wurden fix gesetzt. Das Ergebnis für die betrachteten Fahrtzwecke mit zusätzlicher Differenzierung von bzw. nach Wohnung ist in Tabelle 24 dargestellt. Die Parameter der nicht wohnungsgebundenen Quell-Ziel-Gruppen erhalten in Abhängigkeit von ihrer Zielaktivität den gleichen Wert wie der quellseitig wohnungsgebundene Parameter mit der gleichen Zielaktivität. Sie sind hier nicht dargestellt.

Im ersten Schritt wurden für jeden Fahrtzweck zwei getrennte Modelle (für die Wege von bzw. nach Wohnung) geschätzt. Dabei unterscheiden sich die zwei Modelle nur durch die Attraktionsvariablen. Die Anzahl der betrachteten Wege ist gleich. Damit sind die Unterschiede in der ermittelten Bedeutung der Attraktion wegen der symmetrischen Wegezahl sehr marginal. Diese sind nur auf die Unterschiede in den absoluten Werten der Variable zurückzuführen. Bei den Quell-Ziel-Gruppen mit ähnlichen Attraktionsgrößen wie z.B. Wohnen-Arbeit/Arbeit-Wohnen und Wohnen-Nutzfahrt/Nutzfahrt-Wohnen (Quellgröße: Erwerbstätige, Zielgröße: Arbeitsplätze), bei denen ein ähnliches Verhältnis zwischen der Wegezahl und dem Variablenwert (Attraktion) vorhanden ist, sind auch die Modellparameter sehr ähnlich.

Die Attraktionsvariablen sind in den folgenden Einheiten definiert:

- Einwohner, Arbeitsplätze, Erwerbstätige, Ausbildungsplätze als [Anzahl]
- Verkaufsfläche und Einkaufszentren in [m²]
- Freizeitangebot als [Anzahl Besucher]

Für die Modellschätzung wurden die Attraktionsvariablen zusätzlich durch Tausend geteilt und logarithmiert, um den abnehmenden Grenznutzen abzubilden.

Tabelle 24 Ergebnisse der Modellschätzung für die simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahl nach Quell-Ziel-Gruppen

Variable(1)	Modellparameter (β)									
	WA	AW	WB	BW	WN	NW	WE	EW	WS	SW
Konstante PW	0.46	0.46	-0.82	0.82	3.37	3.37	1.60	1.70	1.64	1.63
Fahrzeit PW	-2.916	-2.916	-2.916	-2.916	-1.858	-1.858	-3.189	-3.189	-1.236	-1.236
PW-Verfügbarkeit	1.118	1.118	1.118	1.118	1.153	1.153	1.257	1.257	0.715	0.715
Kosten	-0.191	-0.191	-0.191	-0.191	-0.025	-0.025	-0.126	-0.126	-0.049	-0.049
Fahrzeit ÖV	-1.661	-1.661	-1.661	-1.661	-1.390	-1.390	-2.014	-2.014	-0.817	-0.817
Zugangszeit	-3.354	-3.354	-3.354	-3.354	-2.023	-2.023	-4.489	-4.489	-1.946	-1.946
Intervall	-0.868	-0.868	-0.868	-0.868	-0.591	-0.591	-0.387	-0.387	-0.321	-0.321
Umsteigezahl	-0.502	-0.502	-0.502	-0.502	-0.524	-0.524	-0.492	-0.492	-0.351	-0.351
GA Besitz	0.801	0.801	0.801	0.801	1.752	1.752	1.193	1.193	1.787	1.787
Halbtax Besitz	0.894	0.894	0.894	0.894	0.874	0.874	1.036	1.036	1.028	1.028
Alter	0.001	0.001	0.001	0.001	0.035	0.035	0.010	0.010	0.007	0.007
Zeit LIV	-0.944	-0.941	-0.554	-0.513	-1.622	-1.622	-0.89	-0.91	-0.81	-0.84
Konstante LIV	0.506	0.507	0.69	0.65	3.51	3.51	2.40	2.39	2.364	2.392
Arbeitsplätze	0.266				0.339					
Erwerbstätige		0.322				0.413				
Ausbildungsplatz			0.094							
Einwohner				0.296				0.384		0.156
Verkaufsfläche							0.175			
Einkaufszentrum							0.000023			
Freizeitangebot*									0.166	
N-	23043	23043	7717	7717	6879	6879	19782	19782	42764	42764
ρ^2	0.03	0.03	0.34	0.34	0.143	0.142	0.22	0.22	0.187	0.174

(*) Kulturangebot, Erholungs- und Grünanlagen, Freizeitpark und Grosseinrichtungen

(1) Attraktionsvariablen = $\ln(\text{Attraktionsvariable}/1000)$

die gelb unterlegten Parameter wurden mit dem simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell neu geschätzt

Da hier eine simultane Modellschätzung mit gleichzeitiger Erklärung der Ziel- und Verkehrsmittelwahl angewendet wird, ist die ermittelte Signifikanz und Erklärungskraft des Modells mit Ausnahme des Fahrtzwecks Arbeit (Wohnen/Arbeit und Arbeit/Wohnen) genügend. Die ermittelten ρ^2 sind durchweg kleiner als R^2 ; ein ρ^2 von 0.3 stellt im Allgemeinen schon eine sehr gute Übereinstimmung dar. Es ist zu berücksichtigen, dass für die beiden Quell-Ziel-Gruppen eines Fahrtzwecks (z.B. WA und AW) die gesamte Stichprobe eines Fahrtzwecks verwendet wurde. Damit wird bei der Modellschätzung der Rückweg durch die Attraktionsgrösse nicht erklärt. Die Berücksichtigung beider Variablen (z.B. Arbeitsplätze und Erwerbstätige) war wegen Korrelationen nicht möglich.

Beim Fahrtzweck Arbeit ist es offensichtlich, dass sehr viele Wege innerhalb der Gemeinden stattfinden, die für die Modellschätzung nur sehr ungenau attribuiert sind. Die genaue Attributierung der intrazonalen Wege (Wege mit Quelle und Ziel innerhalb der gleichen Gemeinde) war in dieser Untersuchung nicht möglich. Hier wurde die Distanz grob in Abhängigkeit von der Zonengrösse und den im Mikrozensus Verkehr berichteten Binnenwegen geschätzt. Weiterhin sind die Angebotsvariablen bei diesem Fahrtzweck für die Zielwahl offensichtlich weniger bedeutend als bei anderen Fahrtzwecken. Unabhängig von dem sehr kleinem ρ^2 waren die Parameter auch bei diesem Fahrtzweck für die neu geschätzte Variable beim t-Test auf 95%-Niveau signifikant.

In erstem Schritt wurde eine plausible Kombination der Variablen für die Modellschätzung gesucht. Wegen der vorhandenen Korrelationen zwischen den Attraktionsvariablen musste die Einwohnerzahl als Attraktionsvariable der Heimatzone bei der Modellschätzung ausgeschlossen werden. Alle geschätzten Parameter zeigen die richtigen Vorzeichen und haben eine ausreichende Signifikanz. Die Parameter der Verkehrsmittelwahl und die Bewertung der Angebots- und soziodemographischen Variablen ist in Vrtic et al. (2003) erklärt.

Die ermittelten Attraktionsparameter sind stark abhängig vom Absolutwert der entsprechenden Variablen. Bei allen Attraktionsparametern führt eine Erhöhung der Variable zu einer Erhöhung der Verkehrsnachfrage.

Bei der Berechnung des Attraktionsnutzens zur Erstellung der Quell-Zielmatrizen in VISEVA sind zwischen einzelnen Quell-Ziel-Gruppen Abhängigkeiten vorhanden. So wird z.B. sowohl bei der Quell-Ziel-Gruppe Wohnen-Arbeiten (WA) als auch bei der Quell-Ziel-Gruppe Arbeiten-Wohnen (AW) die Anzahl der Arbeitsplätze als Attraktionsgrösse betrachtet, weil diese Strukturgrösse der Verursacher sowohl für die Wege Wohnen-Arbeit als auch für die Wege Arbeit-Wohnen ist. Dieses Prinzip gilt auch bei anderen Quell-Ziel-Gruppen. Da die Verkehrsmittelwahlparameter sowie das Verkehrsverhalten bezüglich fünf betrachteter Fahrtzwecke spezifiziert sind, wurden für die Erstellung der Quell-Zielmatrizen die fahrtzweckspezifischen Parameter verwendet. Damit wurde, wie zuvor ausgeführt, jede Quell-Ziel-Gruppe einem Fahrtzweck zugeordnet. Für die Erstellung der Quell-Zielmatrizen wurden dann Modelle für die fünf verschiedenen Fahrtzwecke benutzt. Die verwendeten Modellparameter sind in der Tabelle 25 dargestellt.

Tabelle 25 Ergebnisse der Modellschätzung für die simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahl nach Fahrtzwecken

	Modell Parameter (β)				
	Arbeit	Ausbildung	Nutzfahrt	Einkauf	Freizeit
Konstante PW	0.460	-0.837	3.369	1.582	1.814
Fahrzeit PW	-2.916	-2.916	-1.858	-3.189	-1.236
PW-Verfügbarkeit	1.118	1.118	1.153	1.257	0.715
Kosten	-0.191	-0.191	-0.025	-0.126	-0.049
Fahrzeit ÖV	-1.661	-1.661	-1.390	-2.014	-0.817
Zugangszeit	-3.354	-3.354	-2.023	-4.489	-1.946
Intervall	-0.868	-0.868	-0.591	-0.387	-0.321
Umsteigezahl	-0.502	-0.502	-0.524	-0.492	-0.351
GA Besitz	0.801	0.801	1.752	1.193	1.787
Halbtax Besitz	0.894	0.894	0.874	1.036	1.028
Alter	0.001	0.001	0.035	0.010	0.007
Zeit LIV	-2.916	-2.916	-1.858	-3.189	-1.236
Konstante LIV	1.510	1.87	3.623	3.494	2.865
Ln(Arbeitsplatz/1000)	0.260		0.339		
Ln(Ausbildungsplatz/1000)		0.078			
Ln(Verkaufsfläche/1000)				0.169	
Ln(Einkaufszentrum/1000)				0.000023	
Ln(Freizeitangebot/1000)*					0.164
N-Beobachtungen	23043	7717	6879	19782	42764
ρ^2	0.020	0.270	0.143	0.199	0.181

(*) Kulturangebot, Erholungs- und Grünanlagen, Freizeitpark und Grosseinrichtungen

Die Schätzung des LIV-Zeitparameters aus den Mikrozensus Verkehr Daten – es handelt sich um Revealed Preferences (RP) Daten – führte zu einem kleineren Parameter als die Parameter für die ÖV- und MIV-Zeiten, die aus den SP-Daten ermittelt wurden. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die meisten LIV-Wege intrazonale Wege sind und daher nur mit sehr ungenauen und groben Zeitattributen definiert sind. Um ein plausibleres Modell für die Berechnung der Quell-Zielmatrizen zu erhalten, wurde der LIV-Zeitparameter gleich dem MIV-Zeitparameter festgesetzt. Ein gegenüber den MIV- und ÖV-Zeitparametern kleinerer LIV-Zeitparameter würde zu einer höheren und unrealistischen Bewertung der LIV-Zeit führen. Die hätte eine Überbewertung von längeren Fusswegen zur Folge.

8 Erstellung von Quell-Zielmatrizen für den Ist-Zustand

Anhand der aus der Verkehrserzeugung ermittelten Quell- und Zielverkehrsaufkommen, der Angebots- und Attraktionsdaten sowie der geschätzten Modellparameter werden in einem weiteren Schritt mit der Planungssoftware VISEVA die Quell-Zielmatrizen bzw. die Verkehrsströme für die drei betrachteten Verkehrsmittel MIV, ÖV und LIV erstellt.

Um von den in der Erzeugung berechneten Quell- und Zielverkehrsaufkommen zu Verkehrsströmen "von i nach j mit Verkehrsmittel k" zu gelangen, ist eine Bewertung der Wege nach Verkehrsmitteln notwendig. Diese Bewertung bzw. Berechnung des Nutzens für alle Quell-Ziel-Beziehungen und Verkehrsmittel erfolgt anhand der im vorherigen Schritt ermittelten Modellparameter und der abgeleiteten Angebots-, soziodemographischen und Attraktionsvariablen. Die Erstellung der Verkehrsströme erfolgt unter Beachtung von Randsummen- und Gleichgewichtsbedingungen.

Damit werden in VISEVA neben den Quell-, Ziel- und Heimatverkehrsaufkommen auch die Angebots-, soziodemographischen und Attraktionsvariablen sowie die geschätzten Modellparameter für das simultane Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell importiert. Die Angebotsvariablen werden aus den zuvor erstellten Strassen- und ÖV-Netzen abgeleitet.

Charakteristisch für das Modell ist, dass die Verkehrsverteilung und die Verkehrsaufteilung simultan und nach gleichen Grundsätzen vorgenommen werden. In allen Fällen ergeben sich für die gesuchten Verkehrsströme n-lineare Gleichungssysteme (bei harten Randsummenbedingungen) oder Ungleichungen (bei weichen Randsummenbedingungen), die mit geeigneten Iterationsverfahren zu lösen sind. Die Beschreibung des Programms ist unter <http://www.viseva.de/> zu finden.

Die Berechnung der Verkehrsströme wird für alle 17 Quell-Ziel-Gruppen und die drei Verkehrsmittel durchgeführt. Damit werden insgesamt 51 Verkehrsstrommatrizen erstellt. Da zwischen einzelnen Quell-Ziel-Gruppen Abhängigkeiten vorhanden sind, werden die jeweiligen Verkehrsströme teilweise mit harten oder weichen Randsummenbedingung berechnet (siehe Tabelle 26).

Tabelle 26 Randsummenbedingungen bei der Berechnung der Quell-Ziel-Ströme

QZG	Quell-Ziel-Gruppe	Quellverkehr	Zielverkehr
WA	Wohnen - Arbeit	hart	hart
WB	Wohnen - Bildung	hart	hart
WN	Wohnen - Nutzfahrt	hart	hart
WS	Wohnen – Freizeit	hart	weich
WE	Wohnen - Einkauf	hart	weich
AW	Arbeit – Wohnen	hart	hart
BW	Bildung - Wohnen	hart	hart
NW	Nutzfahrt - Wohnen	hart	hart
SW	Freizeit - Wohnen	weich	hart
EW	Einkauf - Wohnen	weich	hart
AS	Arbeit - Sonstiges	hart	weich
SA	Sonstiges - Arbeit	weich	hart
ES	Einkauf - Sonstiges	hart	weich
SE	Sonstiges – Einkauf	weich	hart
NS	Nutzfahrt – Sonstiges	hart	weich
SN	Sonstiges - Nutzfahrt	weich	hart
SS	Sonstiges - Sonstiges	weich	weich

Vor der Erstellung der endgültigen Matrizen war es notwendig, verschiedene Testläufe durchzuführen. Diese sollten prüfen, wie plausibel die Eingangsdaten sind, und welcher Ansatz bei der Eichung des Modells die besten Ergebnisse liefert. Dabei wurde festgestellt, dass eine Eichung des gesamten Modells einschliesslich der Auslandszonen nicht möglich ist. Es zeigte sich, dass die unterschiedliche räumliche Verteilung der Zonen (sehr grobe Zonierung im Ausland, im Gegensatz zu den schweizerischen Gemeinde) und die daraus abgeleiteten Angebotsvariablen auch zu unterschiedlichen Gesetzmässigkeiten bei der Erstellung der Verkehrsströme führten. Damit konnte eine Eichung des Modells aller Verkehrsströme in der Schweiz nicht erreicht werden. Aus diesem Grund wurde das Gesamtmodell in drei Einzelmodelle unterteilt:

- ein schweizerisches Binnenverkehrsmodell (ohne Ausland)
- ein Modell mit den Quell-Ziel-Strömen bezogen auf die Schweiz
- ein Modell mit den Transit- und Umfahrungsströmen

Mit dem schweizerischen Binnenverkehrsmodell werden die Verkehrsströme abgebildet, die nur innerhalb der Schweiz stattfinden. Die Ströme, deren Quelle oder Ziel in der Schweiz liegt, oder die die Schweiz für den Transit nutzen, werden Aussenströme genannt. Diese

Ströme werden in zwei getrennten Modellen, eines für den Quell-Ziel-Verkehr und eines für den Transitverkehr, betrachtet und auf die Erhebungsdaten geeicht. Das Modell für den Transitverkehr umfasst darüber hinaus die Umfahrungsströme. Dabei handelt es sich um Verkehrsströme zwischen Aussenzonen, die nicht durch die Schweiz führen.

Da für die Berechnung von Aussenströmen entsprechende Modellparameter nicht zur Verfügung standen, wurden sowohl die Quell-Ziel- als auch die Transitströme zunächst mit den Modellparametern aus dem schweizerischen Binnenverkehrsmodell berechnet. Wie erwartet zeigte sich, dass mit diesen Parametern die aus der Erhebung des alpen- und grenzquerenden Verkehrs ermittelten Verkehrsströme nicht genügend plausibel reproduziert werden können. Dies wird vor allem durch sehr unterschiedliche Weg- (deutlich längere Wege im Aussenverkehr) und Personencharakteristiken verursacht. Es wurde versucht, durch das erstellte Modell die gesamten Verkehrsströme im Quell-Ziel- und Transitverkehr, sowie deren Aufteilung auf die verschiedenen Verkehrsmittel und die Quell-Ziel-Länder zu eichen. Dabei stellte sich jedoch heraus, dass bei Anwendung der Modellparameter aus dem Binnenverkehr vor allem die Verkehrsverteilung auf die Zonen bzw. die Zielwahl nicht ausreichend plausibel ist.

Aus diesem Grund wurden die Quell-Ziel- und Transitverkehre durch die Schweiz nicht eigenständig geschätzt sondern aus der Erhebung des alpen- und grenzquerenden Verkehrs (A+GQPV) übernommen.

Um die Aussenströme im Modell vollständig abzubilden, wurden darüber hinaus aus dem oben erwähnten Modell der Transit- und Umfahrungsströme die Umfahrungsströme übernommen. Sie wurden auf die Querschnittsbelastungen auf den Alpenübergängen geeicht. Eine weitere Überprüfung dieser Ströme bezüglich Verkehrsverteilung und Quell-Ziel-Beziehungen war wegen fehlender Datengrundlagen nicht möglich.

Damit wird die gesamte Quell-Ziel-Matrix aus drei Teilmatrizen erstellt:

- Binnenverkehrsmatrix (Modell)
- Quell-, Ziel- und Transitmatrix aus der Erhebung zum alpen- und grenzquerenden Personenverkehr
- Umfahrmatrix (Modell)

8.1 Binnenverkehrsmatrix

Die erste Eichung des Binnenverkehrsmodells wurde anhand der Mikrozensus Verkehr 2000 Daten und der Pendlerstatistik (Arbeit und Ausbildung) aus der Volkszählung 2000 durchgeführt. Die für diese Überprüfung aus dem Mikrozensus Verkehr und dem Erzeugungsmodell hochgerechneten Fahrtzweck- und Verkehrsmittelwahl-Anteile sind in Tabelle 27 dargestellt.

Tabelle 27 Eckwerte der anhand des Mikrozensus Verkehr hochgerechneten Verkehrsmittel- und Fahrtzweckanteile

	MIV-Wege	ÖV - Wege	LIV - Wege	Summe
Alle Wege [in Mio.]				
Arbeit	5.002	1.122	1.854	7.979
Ausbildung	0.378	0.629	1.907	2.915
Nutzfahrt	1'364	0.113	0.308	1.783
Einkauf	2.409	0.510	1.990	4.909
Freizeit	5.385	1.062	4.354	10.801
Summe	14.539	3.437	10.414	28.390

Im nächsten Schritt wurde die erstellte Matrix mit den Ergebnissen der Volkszählung 2000 plausibilisiert und geeicht. Die Eichung des Modells erfolgte durch die Pendler- und Schülermatrix aus der Volkszählung sowie die Reiseweiteverteilung aus dem Mikrozensus Verkehr. Es zeigte sich, dass zwischen den Mikrozensus Verkehr Daten und der Pendlerstatistik aus der Volkszählung vor allem bei den ÖV-Anteilen Unstimmigkeiten bestehen. Da die Volkszählung eine Vollerhebung ist, wurde angenommen, dass diese Ergebnisse genauer sind. Dementsprechend wurden die berechneten Verkehrsmittelwahlanteile aus dem Mikrozensus Verkehr 2000 bei den Fahrtzwecken Arbeit und Ausbildung den Ergebnissen der Volkszählung angepasst. In der weiteren Bearbeitung werden für die Eichung des Modells auch die Quell-Ziel-Ströme aus der ICN-Untersuchung (auf SBB-Erhebungen kalibrierte Schienenmatrix) sowie die Erhebung des alpen- und grenzquerenden Verkehrs (ARE, 2001) berücksichtigt. Um die erhobene Reiseweiteverteilung im Modell zu erreichen, mussten die Reisezeit- und Preisparameter teilweise angepasst werden. Dieses wurde durch ein Iterativverfahren umgesetzt.

Die folgende Tabelle 28 zeigt die Eckwerte der mit VISEVA berechneten interzonalen Matrix im Binnenverkehr für alle drei Verkehrsmittel und nach Fahrtzwecken geordnet.

Tabelle 28 Hochgerechnete Eckwerte der erstellten Binnenverkehrsmatrix und der gezeichneten interzonalen Verkehrsströme

	MIV-Wege	ÖV - Wege	LIV - Wege	Summe
Alle Wege [in Mio.]				
Arbeit	4.698	1.838	1.443	7.979
Ausbildung	0.201	0.766	1.948	2.915
Nutzfahrt	1.364	0.112	0.308	1.785
Einkauf	2.409	0.510	1.990	4.909
Freizeit	5.385	1.069	4.354	10.801
Summe	14.056	4.290	10.043	28.390
Interzonale Wege [in Mio.]				
Arbeit	3.769	1.368	0.190	5.327
Ausbildung	0.095	0.561	0.144	0.800
Nutzfahrt	0.949	0.086	0.056	1.092
Einkauf	1.678	0.346	0.371	2.395
Freizeit	4.142	0.853	1.046	6.042
Summe	10.633	3.214	1.808	15.656

(*) Der Anteil des interzonalen LIV-Verkehrs wurde aus dem MZ 2000 und VZ 2000 übernommen.

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass die ÖV- und MIV-Wege überwiegen interzonale Wege bzw. Wege zwischen Gemeinden und/oder Stadtquartieren darstellen. Der Anteil der einzelnen Verkehrsmittel an den intrazonalen Verkehrsströmen ist relativ stabil in Bezug auf die Fahrtzwecke. Eine Ausnahme bilden die mit dem MIV durchgeführten Ausbildungswege. Hier ist der Anteil der MIV-Wege innerhalb einer Zone höher als bei anderen Fahrtzwecken. Dieses Ergebnis entspricht den Erhebungen der Pendlerstatistik aus der Volkszählung 2000, nicht aber denen des Mikrozensus Verkehr 2000, nach welchen 33% der MIV-Ausbildungswege intrazonale Wege sind.

Die berechneten Verkehrsleistungen zeigen, dass ca. 83% der Personenkilometer im interzonalen Verkehr stattfinden. Die ermittelten Personenkilometer und die mittlere Reiseweite nach Fahrtzwecken und Verkehrsmitteln sind in den folgenden zwei Tabellen dargestellt. Die Analyse der mittleren Reiseweite zeigt, wie erwartet, dass mit ÖV im Durchschnitt längere Wege durchgeführt werden als mit MIV. Besonders starke Unterschiede zeigen sich bei Nutzfahrten (Geschäftsverkehre), aber auch bei Freizeitwegen. Dabei sollte aber beachtet werden, dass das MIV-Aufkommen bei allen Fahrtzwecken deutlich grösser ist. Dies bedeutet, dass mit dem MIV neben den kürzeren Fahrten auch längere Fahrten durchgeführt werden, diese haben im gesamten MIV-Aufkommen bzw. MIV-Leistung jedoch einen kleineren Anteil als beim ÖV.

Tabelle 29 Verkehrsleistung der erstellten Quell-Zielmatrizen nach Fahrtzwecken und Verkehrsmitteln

	MIV-Wege	ÖV - Wege	LIV – Wege	Summe
Alle Wege [Mio. Pkm]				
Arbeit	60.1	27.3	2.3	89.8
Ausbildung	2.3	11.5	3.7	17.5
Nutzfahrt	31.7	8.7	0.7	41.1
Einkauf	26.4	5.4	1.5	33.3
Freizeit	87.8	26.5	6.8	121.1
Summe	208.2	79.5	15.0	302.7
Interzonale Wege [Mio. Pkm]				
Arbeit	53.5	23.6	0.6	77.7
Ausbildung	1.2	9.6	0.5	11.4
Nutzfahrt	24.9	6.9	0.2	32.1
Einkauf	19.6	3.9	0.7	24.2
Freizeit	77.7	24.4	3.5	105.5
Summe	176.8	68.4	5.6	250.8

Aus der Analyse der Reiseweite der einzelnen Fahrtzwecke lassen sich teilweise die Gesetzmässigkeiten der Zielwahl ableiten. Wie erwartet zeigt sich, dass vor allem im Ausbildungs- und Einkaufsverkehr kürzere Wege durchgeführt werden. Diese Wege sind vor allem LIV- und intrazonale Wege. Im interzonalen Verkehr sind die Arbeits- und Ausbildungswege durch die Konzentration der Arbeit- und Ausbildungsplätze in den grösseren Zentren gleich weit entfernt. Die Einkaufswege sind im interzonalen Verkehr kürzer als die Wege der anderen Fahrtzwecke. Dieses wird auch durch die Verteilung der Einkaufszentren beeinflusst. Die grösste Differenz in der mittleren Reiseweite nach Verkehrsmittel ergibt sich bei den Nutzfahrten. Es ist festzustellen, dass Dienstfahrten vor allem mit dem ÖV (81 km) und Servicefahrten vorzugsweise mit dem MIV (26 km) durchgeführt werden. Auch die Freizeitwege im ÖV sind in der Regel längere Fahrten.

Tabelle 30 Mittlere Reiseweite der erstellten Quell-Zielmatrizen nach Fahrtzwecken und Verkehrsmitteln

	MIV-Wege	ÖV - Wege	LIV – Wege	Summe
Alle Wege: Mittlere Reiseweite in km				
Arbeit	12.8	14.9	1.6	11.2
Ausbildung	11.3	15.1	1.9	6.0
Nutzfahrt	23.2	77.5	2.3	23.0
Einkauf	10.9	10.6	0.7	6.8
Freizeit	16.3	25.0	1.6	11.2
Summe	12.8	14.9	1.6	11.2
Interzonale Wege: Mittlere Reiseweite in km				
Arbeit	14.2	17.2	3.2	14.6
Ausbildung	12.5	17.2	3.7	14.2
Nutzfahrt	26.3	80.8	4.0	29.4
Einkauf	11.7	11.3	1.8	10.1
Freizeit	18.8	28.6	3.4	17.5
Summe	16.6	21.3	3.1	16.0

Die gesamte Eichung des Modells wurde nur für die MIV- und ÖV-Ströme durchgeführt. Die Eichung der LIV-Ströme auf intra- und interzonale Wege ist in dieser Untersuchung nicht vorgesehen. Für eine verlässliche LIV-Matrix wäre eine genauere Schätzung der LIV-Zeiten (feineres Strassennetz) und LIV-Parameter notwendig. Die Eichung der LIV-Verkehrsmittelwahlanteile ist für die Erstellung der MIV- und ÖV-Matrizen ausreichend. Zu Analysezwecken werden die Verhältnisse der intra- und interzonalen LIV-Wege aus dem Mikrozensus Verkehr 2000 übernommen. Die Anteile der intrazonalen Fahrten am gesamten Verkehrsaufkommen sind in Tabelle 31 dargestellt.

Tabelle 31 Anteile des intrazonalen Verkehrs [Wege innerhalb Zone; in %]

[%]	MIV-Wege	ÖV - Wege	LIV – Wege*	Summe
Arbeit	19.8	25.6	86.8	33.2
Ausbildung	52.8	26.8	92.6	72.5
Nutzfahrt	30.4	23.7	81.7	38.8
Einkauf	30.4	32.1	81.3	51.2
Freizeit	23.1	19.7	76.0	44.1
Summe	24.4	25.1	82.0	44.9

(*) Aus Mikrozensus Verkehr 2000, Volkszählung 2000

8.1.1 Plausibilisierung der Binnenverkehrsmatrix

Im Anschluss an die Eichung werden die Struktur und die Qualität der erstellten Quell-Zielmatrizen im Binnenverkehr mit folgendem Vorgehen und den nachstehenden Erhebungsdaten überprüft:

- Vergleich der Verkehrsmittel- und Fahrtzweckanteile mit dem Mikrozensus Verkehr 2000
- Überprüfung der Reiseweiteverteilung nach Fahrtzwecken und Verkehrsmitteln anhand des Mikrozensus Verkehr 2000
- Abgleich der Verkehrsaufkommen nach Verkehrsmitteln für Arbeits- und Ausbildungswege mit denen der Pendlerstatistik aus der Volkszählung 2000
- Analyse der Reiseweiteverteilung nach Verkehrsmittel der Arbeits- und Ausbildungswege verglichen mit der Pendlerstatistik aus der Volkszählung 2000
- Gegenüberstellung der ermittelten Querschnittsbelastungen und der Querschnittszählungen im Strassen- und Schienenverkehr
- Vergleich der Netzbelastungen der umgelegten Quell-Zielmatrix für den Fahrtzweck Arbeit aus dem Modell und der Pendlerstatistik aus der Volkszählung 2000
- Abgleich der Quell-Ziel-Ströme (Spinnenanalyse) auf einzelnen Querschnitten für den Fahrtzweck Arbeit aus dem Modell und der Pendlerstatistik aus der Volkszählung 2000
- Abgleich der Quell-Ziel-Ströme (Spinnenanalyse) auf einzelnen Querschnitten im Schienenverkehr aus dem Modell und ICN Untersuchung
- Analyse der Quell-Ziel-Ströme (Spinnenanalyse) auf einzelnen Querschnitten

Der Vergleich der ermittelten Verkehrsströme mit den aus dem Mikrozensus Verkehr 2000 hochgerechneten Verkehrsmittel- und Fahrtzweckanteilen im interzonalen Verkehr ist in Tabelle 32 aufgezeigt. Da im hier berechneten Verkehrsmodell die grössten Städte in zusätzliche Zonen aufgeteilt sind (siehe Kapitel 4), wurden auch im Mikrozensus Verkehr die zwischen unterschiedlichen Postleitzahlen berichteten Wege als interzonale Wege definiert.

Tabelle 32 Vergleich der Modellergebnisse und des MZ: Anzahl interzonale Wege

	MIV - Wege		ÖV - Wege		MIV + ÖV - Wege	
	MZ	Modell	MZ	Modell	MZ	Modell
Interzonale Wege [in Mio.]						
Arbeit	3.851	3.766	1.031	1.367	4.882	5.137
Ausbildung	0.253	0.095	0.538	0.562	0.792	0.656
Nutzfahrt	0.911	0.949	0.096	0.086	1.007	1.035
Einkauf	1.622	1.677	0.409	0.346	2.031	2.024
Freizeit	3.885	4.142	0.891	0.853	4.775	4.995
Summe	10.522	10.633	2.965	3.214	13.487	13.847

Diese Auswertung zeigt, dass mit den ermittelten Verkehrsströmen die erhobenen Verkehrsmittel- und Fahrtzweckanteile sowie die gesamte Anzahl der Wege sehr genau reproduziert werden konnten. Die Abweichungen entsprechen den Abweichungen des Mikrozensus Verkehr gegenüber der Volkszählung 2000. Insgesamt werden ca. 13.8 Millionen MIV- und ÖV-Wege zwischen unterschiedlichen Zonen bzw. Postleitzahlen durchgeführt. Dies entspricht 48% der gesamten Anzahl an Wegen an einem Werktag. Die prozentuelle Aufteilung der interzonalen Wege auf die Fahrtzwecke und Verkehrsmittel sowie der Vergleich mit dem Mikrozensus Verkehr 2000 ist in Tabelle 33 dargestellt.

Tabelle 33 Vergleich der Modellergebnisse und des MZ: Fahrtzweck- und Verkehrsmittelwahlanteile im interzonalen Verkehr [%]

	MIV - Wege		ÖV - Wege		LIV - Wege		Alle - Wege	
	MZ	Modell	MZ	Modell	MZ	Modell	MZ	Modell
Interzonale Wege [%]								
Arbeit	24.2	24.1	6.5	8.7	3.1	1.2	33.9	34.0
Ausbildung	1.6	0.6	3.4	3.6	2.7	0.9	7.7	5.1
Nutzfahrt	5.7	6.1	0.6	0.5	0.4	0.4	6.7	7.0
Einkauf	10.2	10.7	2.6	2.2	2.3	2.4	15.1	15.3
Freizeit	24.5	26.5	5.6	5.4	6.6	6.7	36.7	38.6
Summe	66.2	67.9	18.7	20.5	15.1	11.6	100.0	100.0

Eine weitere und noch präzisere Beurteilung der Modellergebnisse lässt sich anhand des Vergleichs mit der Pendler- und Schülermatrix aus der Volkszählung 2000 durchführen (Tabelle 34). Hier sind die Differenzen zwischen der ermittelten Anzahl an Wegen im MIV und ÖV und den erhobenen Verkehrsströmen sehr klein. Die Unterschiede im Bereich der interzonalen Wege sind vor allem auf die verfeinerte Zonierung der grossen Städte zurückzuführen. Diese Städte sind bei der Volkszählung als eine Gemeinde kodiert worden, so dass die Fahrten in-

nerhalb dieser Städte, im Gegensatz zu der Zuordnung im hier verwendeten Modell, als intra-zonale Fahrten gezählt werden.

Tabelle 34 Vergleich der Modellergebnisse und der Volkszählung: Anzahl Wege

	MIV – Wege		ÖV – Wege		LIV – Wege		Alle – Wege	
	VZ	Modell	VZ	Modell	VZ	Modell*	VZ	Modell
Alle Wege [Mio.]								
Arbeit	4.576	4.698	1.810	1.838	1.416	1.443	7.802	7.979
Ausbildung	0.219	0.201	0.835	0.766	2.124	1.948	3.178	2.915
Interzonale Wege [Mio.]								
Arbeit	3.334	3.769	1.213	1.368	0.186	0.190	4.733	5.327
Ausbildung	0.082	0.095	0.504	0.561	0.157	0.144	0.744	0.800

(*) Der Anteil des interzonalen LIV-Verkehrs wurde aus dem VZ 2000 übernommen.

Die ermittelten Verkehrsmittelwahlanteile in Bezug auf das Verkehrsaufkommen und die Verkehrsleistung sind in Tabelle 35 dargestellt. Aus dieser Tabelle können die Unterschiede in der Verkehrsmittelwahl sowie der Reiseweite zwischen den Fahrtzwecken abgelesen werden. Es ist zu sehen, dass bei allen Fahrtzwecken, sowohl im interzonalen Verkehr als auch unter Berücksichtigung aller Wege, die ÖV-Wege länger sind als die MIV-Wege. Dieser Unterschied ist vor allem im Geschäftsverkehr sehr stark ausgeprägt. Im interzonalen Verkehr sind mit Ausnahme des Einkaufsverkehrs die verkehrsleistungsbezogenen MIV-Anteile kleiner als die aufkommensbezogenen Anteile. Dementsprechend sind die auf die Verkehrsleistung bezogenen ÖV-Anteile höher.

Tabelle 35 Verkehrsmittelwahlanteile und Verkehrsleistung nach Fahrtzwecken (in %)

	Personen Wege			Personen Kilometer (Pkm)		
	MIV	ÖV	LIV	MIV	ÖV	LIV
Alle Wege						
Arbeit	58.9	23.0	18.1	67.0	30.4	2.6
Ausbildung	6.9	26.3	66.8	13.0	65.9	21.1
Nutzfahrt	76.4	6.3	17.3	77.1	21.2	1.7
Einkauf	49.1	10.4	40.5	79.3	16.3	4.5
Freizeit	49.9	9.8	40.3	72.5	21.9	5.6
Summe	49.5	15.1	35.4	68.8	26.3	5.0
Interzonale Wege						
Arbeit	70.8	25.7	3.6	68.9	30.4	0.8
Ausbildung	11.8	70.1	18.0	10.4	84.9	4.7
Nutzfahrt	87.0	7.9	5.2	77.7	21.6	0.7
Einkauf	70.0	14.5	15.5	81.0	16.2	2.8
Freizeit	68.6	14.1	17.3	73.6	23.1	3.3
Summe	67.9	20.5	11.6	70.5	27.3	2.2

8.1.2 Reiseweiteverteilungen

Für die Beurteilung der ermittelten Matrizen ist die Reiseweiteverteilung ein weiterer wichtiger Indikator. Sie gibt einen ersten Überblick über die räumliche Verteilung und Struktur der Verkehrsstrommatrix, die für die Qualität der Quell-Zielmatrix entscheiden ist. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle ein Vergleich der Reiseweiteverteilung der interzonalen Verkehrsströme mit der Reiseweiteverteilung dieser Ströme im Mikrozensus Verkehr 2000 und in der Volkszählung 2000 durchgeführt. Dieser Vergleich ist für alle fünf Fahrtzwecke in den folgenden Abbildungen (Abbildung 15 bis Abbildung 20) dargestellt.

Abbildung 15 Reiseweiteverteilung: Modell und MZ 2000 (Alle Wege)

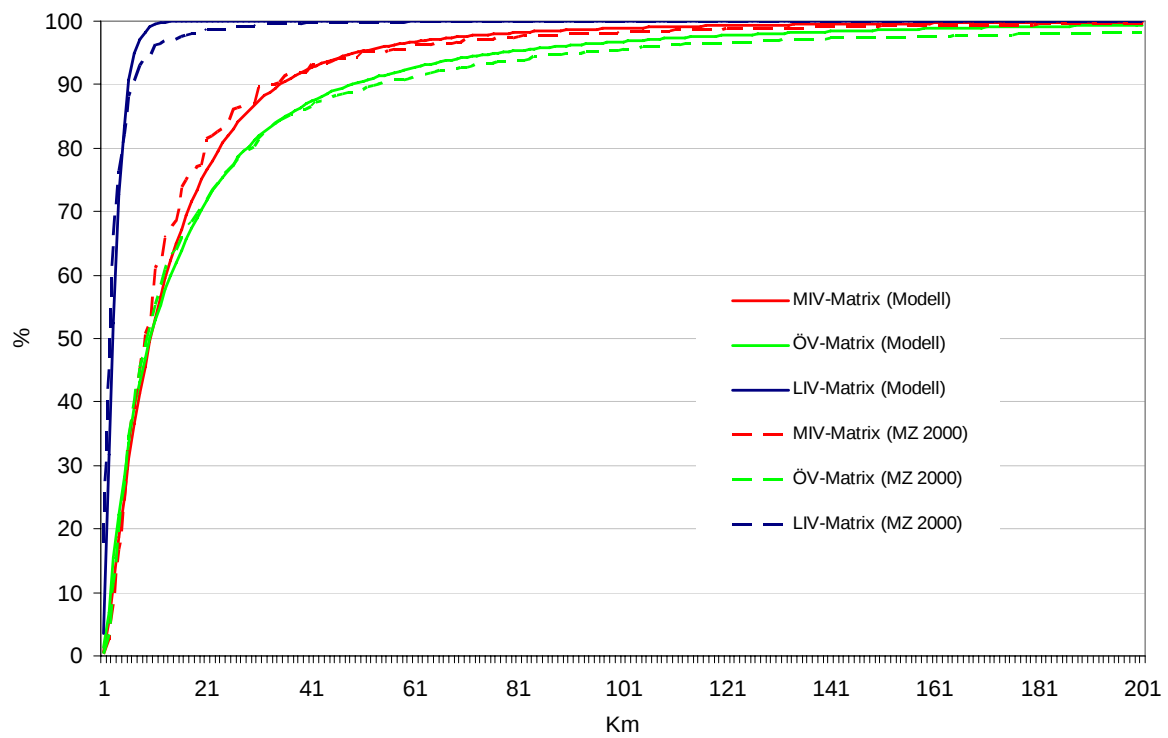


Abbildung 16 Reiseweiteverteilung: Modell und Volkszählung 2000 (Pendler)

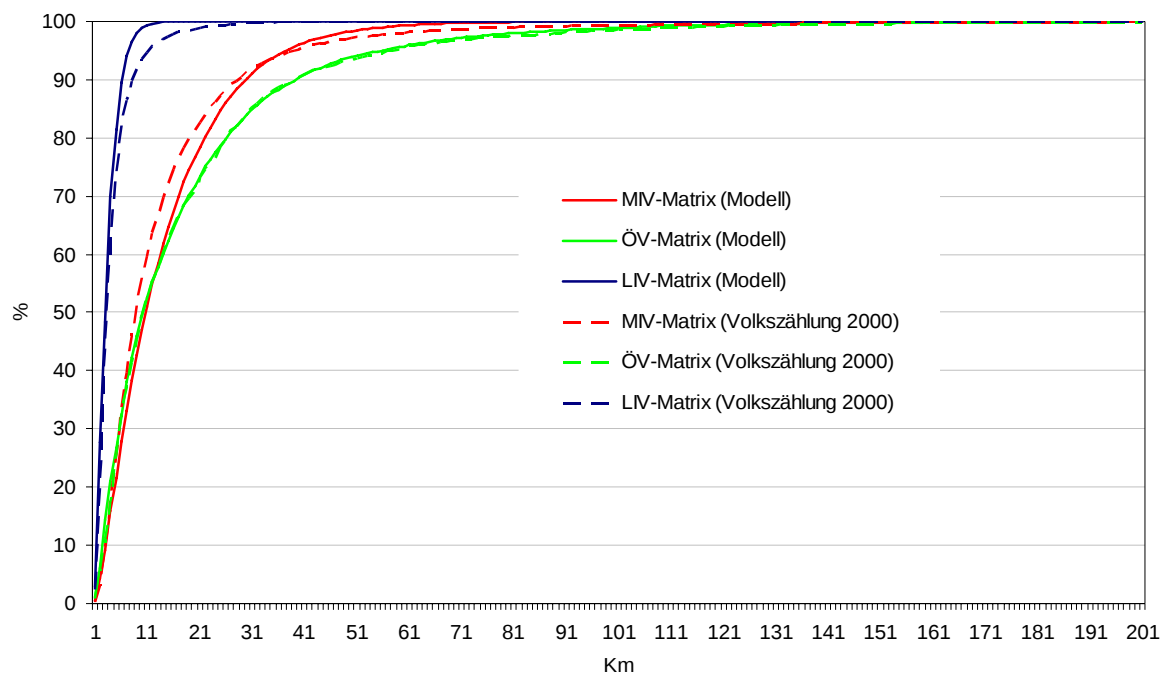


Abbildung 17 Reiseweiteverteilung: Modell und MZ 2000: Fahrtzweck Nutzfahrt

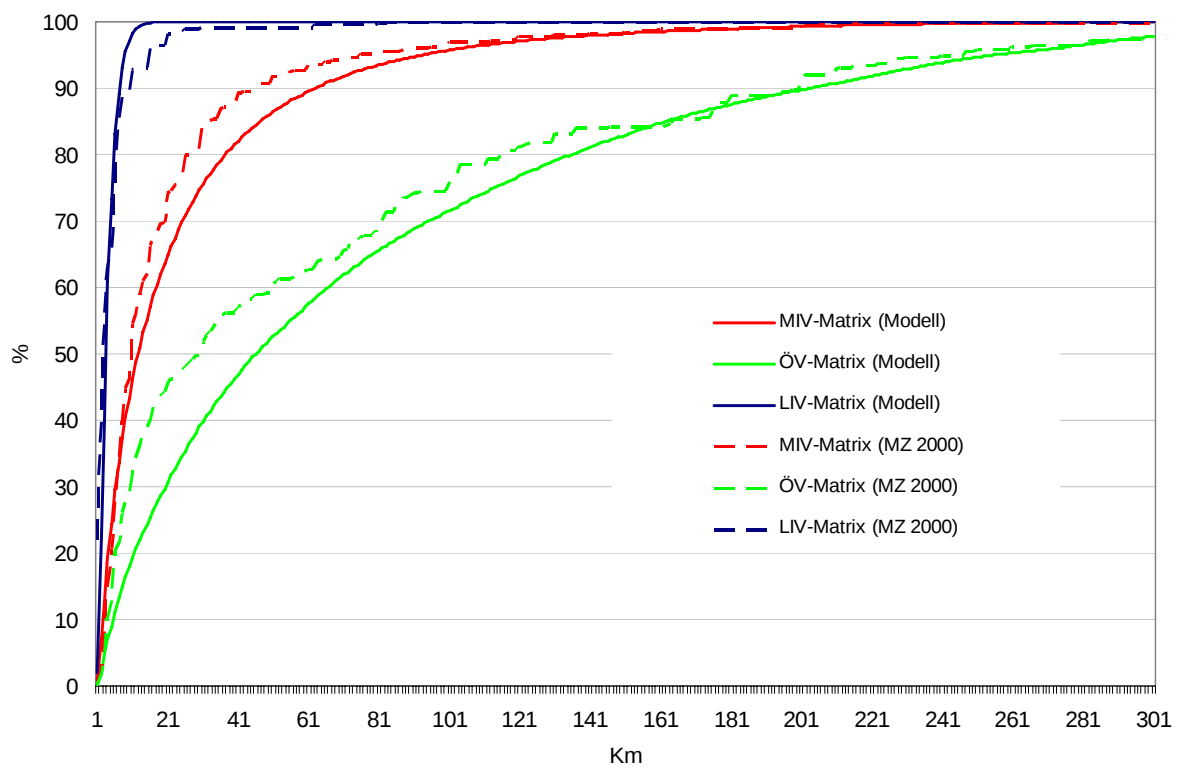


Abbildung 18 Reiseweiteverteilung: Modell und MZ 2000: Fahrtzweck Einkauf

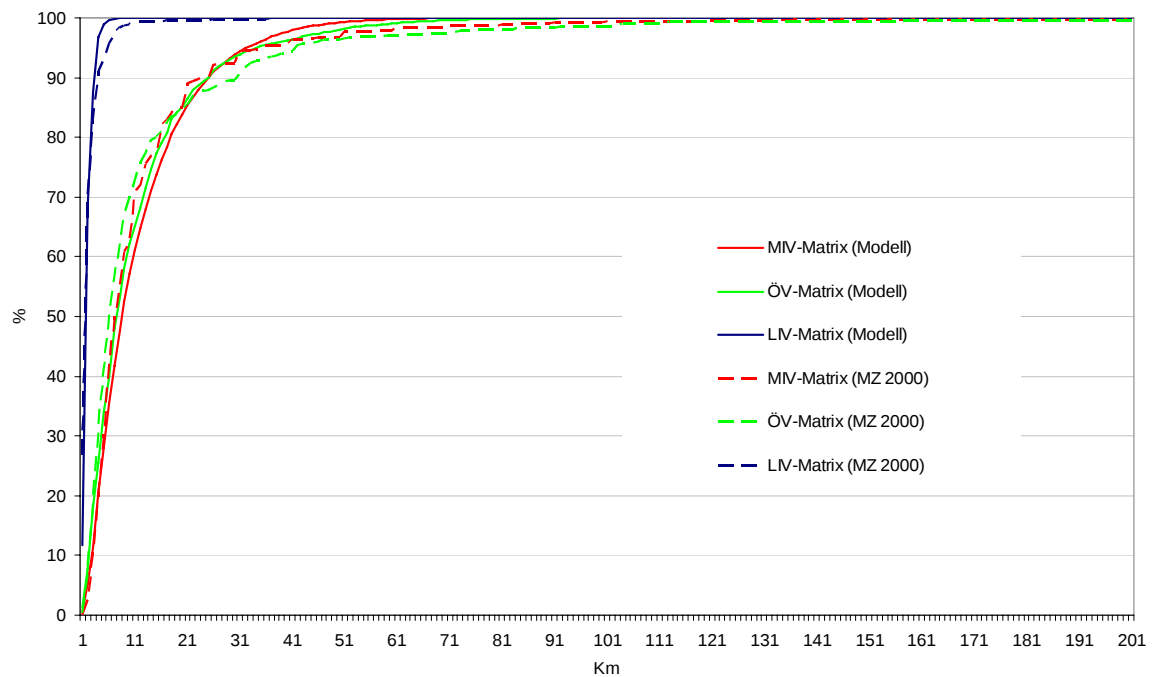
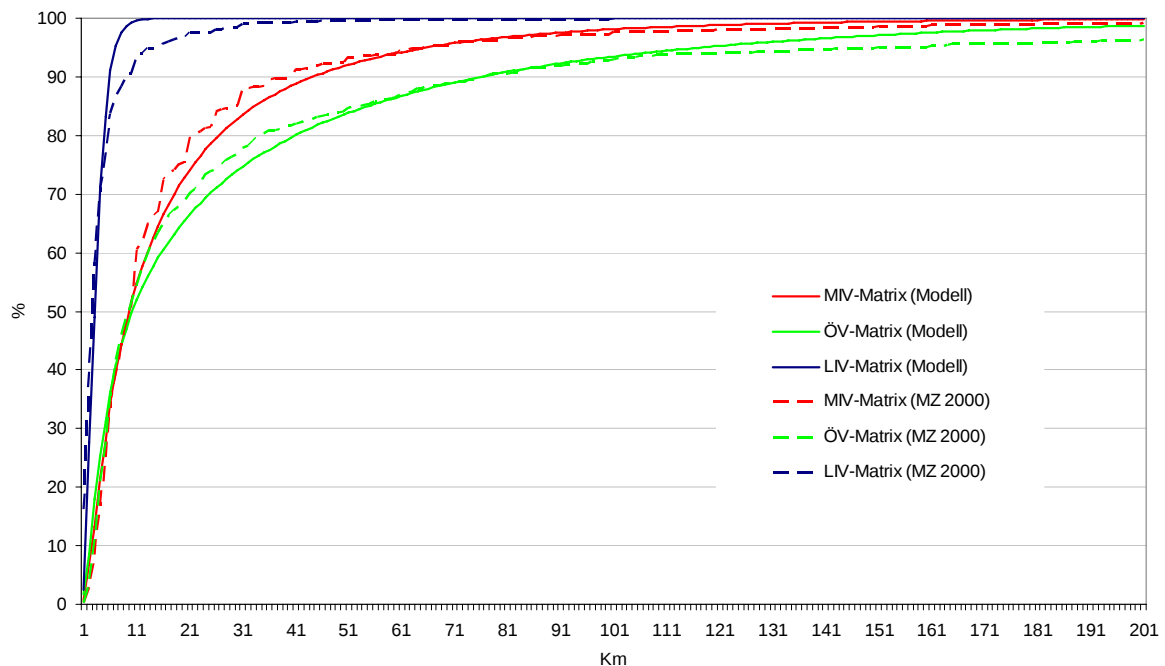


Abbildung 19 Reiseweiteverteilung: Modell und MZ 2000: Fahrtzweck Freizeit



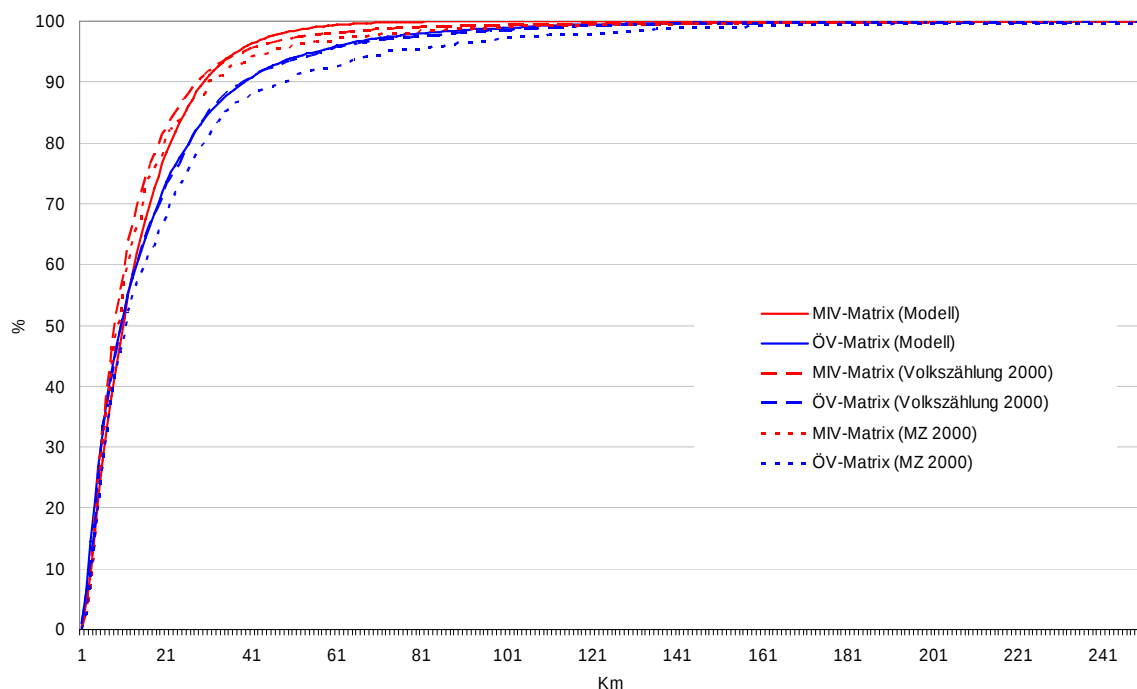
Es ist festzustellen, dass die hier ermittelten Verkehrsstrommatrizen die gleiche Struktur haben wie die Matrizen aus dem Mikrozensus Verkehr 2000 bzw. der Volkszählung 2000. Sowohl für die Fahrtzwecke Nutzfahrt, Einkauf und Freizeit als auch für die Summe aller Wege weisen die Verläufe der Reiseweiteverteilungen der interzonalen Verkehrsströme des Mikrozensus Verkehr und die der hier ermittelten Matrizen grosse Ähnlichkeiten auf.

Für die Fahrtzwecke Arbeit und Ausbildung wurde neben dem Mikrozensus Verkehr 2000 auch die Pendlerströme aus der Volkszählung 2000 als Vergleich benutzt. Der Vergleich der Reiseweiteverteilungen aus der hier ermittelten Matrix, dem Mikrozensus Verkehr und der Pendlerstatistik der Volkszählung für diese Fahrtzwecke ist in Abbildung 20 dargestellt. Wie in dieser Abbildung und in Abbildung 16 zu sehen ist, stimmt die Reiseweiteverteilung der ermittelten Pendlerströme mit der Volkszählung vollständig überein. Daraus kann abgeleitet werden, dass im Mikrozensus Verkehr 2000 ein überschätzter Anteil an längeren Fahrten erhoben wurde.

Um eine solche Übereinstimmung mit den Erhebungsdaten zu erreichen, müssen mehrere Iterationen bei der Erstellung der Matrizen durchgeführt werden. Durch diese Iterationen wurden sowohl die Modellstruktur (harte- und weiche Randsummenbedingungen, Lösungsverfahren,...) und Modellfunktionen, als auch die Widerstände innerhalb Zone optimiert. Bei bestimmten Quell-Ziel-Gruppen wurde auch eine sog. Box-Tukey-Transformation eingefügt, um eine nichtlineare Modellfunktion – und damit eine bessere Anpassung an die Realität – zu erreichen. Diese lässt sich durch die Einführung von zusätzlichen Modellparametern in VI-SEVA sehr flexibel einbauen.

Durch die Iterationsschritte und die Modelloptimierung war es möglich, sowohl die Verkehrsmittelwahlanteile als auch die Reiseweiteverteilung der Matrizen auf die Erhebungsdaten zu eichen.

Abbildung 20 Reiseweiteverteilung für den Fahrtzweck Pendler (Arbeit und Ausbildung): Vergleich MZ, Volkszählung und Modell



8.1.3 Netzbelastungen

Die Quell-Zielmatrizen für den Binnenverkehr wurden im nächsten Schritt mit den Netzmodellen auf das Verkehrsangebot umgelegt und anhand von Querschnittszählungen überprüft. Die Umlegungsergebnisse und Querschnittsbelastungen zeigen ein sehr plausibles Ergebnis, vor allem da es sich hier um eine auf die Querschnittszählungen nicht kalibrierte Matrix handelt. Diese Aussage wurde durch einen Vergleich der Umlegungsergebnisse mit den Querschnittszählungen nochmals bestätigt. Im Strassenverkehr wurden die automatischen- (ASTRA) und schweizerischen Strassenverkehrszählungen (SSVZ) berücksichtigt. Im Schienenverkehr wurden die Querschnittsbelastungen aus der Untersuchung von Vrtic et al. (2003) für den Fahrplan 1999/2000 übernommen. Als Querschnittszählungen werden dabei die auf die SBB-Zählwerte vollständig geeichten Umlegungsbelastungen betrachtet. Zusätzlich werden für die weitere Überprüfung und Kalibrierung der MIV-Matrizen auch die kantonalen Zählungen berücksichtigt. Im ÖV konnten die Zählzeiten der Privatbahnen sowie einiger ÖV-Unternehmen verwendet werden.

Die Umlegungsergebnisse zeigen eine plausible Netzbelastung. Wie in den folgenden Abbildungen (Abbildung 21 bis Abbildung 38) zu sehen ist, ist die Nachfrageverteilung im Strassen- und Schienennetz korrekt abgebildet. Die ermittelten Netzbelastungen entsprechen den Verhältnissen, die aus Erhebungen (Querschnittszählungen und erhobene Quell-Ziel-Beziehungen) und früheren Untersuchungen bekannt sind. Damit wird gezeigt, dass mit dem erstellten Modell und den ermittelten Quell-Zielmatrizen die Gesetzmässigkeiten der Verkehrsnachfrage realitätsentsprechend abgebildet worden sind und kein grundlegender Fehler im Modellaufbau vorhanden ist.

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass die Abweichungen einer modellmässig erstellten und auf die Querschnittszählungen nicht kalibrierten Matrix in der Regel deutlich grösser sind als die hier ermittelten Abweichungen. Die höhere Genauigkeit ist vor allem auf eine sehr detaillierte Segmentierung des Modells durch die Bildung von Quell-Ziel-Gruppen und die dementsprechend genau erstellten Erzeugungs-, Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodelle zurückzuführen. Mit den durchgeführten Modellschätzungen werden die räumliche und modale Konkurrenz und damit auch die Verteilung und Aufteilung der Verkehrsströme angemessen abgebildet. Dieses wurde durch die Überprüfung und Eichung der Reiseweiteverteilung nochmals optimiert. Damit kann festgestellt werden, dass die erstellte Modellstruktur das Verkehrsverhalten sehr gut widerspiegelt.

Der Vergleich der mit dem Umlegungsmodell ermittelten Querschnittsbelastungen mit den Querschnittszählungen im MIV ergibt, dass die Abweichungen auf den meisten stark belaste-

ten Zählstrecken unter 20% liegen. Dort wo höhere Abweichungen vorhanden sind, handelt sich in den meisten Fällen um schwach belastete Strecken mit höheren Anteilen an intrazonalem Verkehr, der mit der interzonalen Matrix nicht abgebildet wird. In solchen Fällen ist es nötig zu überprüfen, ob die Zählzeiten konsistent und verlässlich sind, um eine Verfälschung der Quell-Zielmatrix durch die Kalibration zu verhindern.

Die genaue Beurteilung der ÖV-Umlegungsergebnisse wird teilweise erschwert durch die unsicherere Qualität und Verlässlichkeit der vorhandenen Querschnittszählungen. Die Querschnittsbelastungen, die hier verwendet werden, wurden im Rahmen der ICN-Studie (Vrtic et al. 2003) durch die SBB-Zählzeiten ohne Abweichungen geeicht. Bei der in diesem Projekt durchgeführten Analyse der Zählzeiten, sowie nach den Aussagen der SBB-Vertreter in der Begleitkommission, zeigte sich aber, dass die erhobenen Zählzeiten teilweise mit Unsicherheiten verbunden sind. Diese Unsicherheiten beschränken sich aber vor allem auf die Bahnstrecken in Agglomerationen mit höherem Anteil an Regionalverkehr. Die Analyse der Pendlerstatistik aus der Volkszählung sowie der soziodemographischen Charakteristiken der Gemeinden und der hier erstellten Matrix zeigen, dass bei einigen Streckenabschnitten der Anteil des Regionalverkehrs in den Zählzeiten zu wenig berücksichtigt wird. Das heisst, dass die Streckenbelastungen durch die Regionalbahnhöfe kaum verändert werden und die Zahl der Fahrten von diesen Bahnhöfen oft deutlich unter der Anzahl Fahrten aus der Pendlerstatistik liegt. Die Ursachen hierfür können sowohl bei den Erhebungen als auch bei den Hochrechnungen liegen.

Die Güte der ÖV-Matrix entspricht ungefähr der Qualität der MIV-Matrix. Es zeigte sich aber, dass die Strukturen dieser zwei Matrizen wegen der unterschiedlichen Angebotsqualitäten bei einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen nicht identisch sind. Anders gesagt bedeutet dies, dass die relative Verteilung der Verkehrsströme zwischen den Zonen ähnlich, nicht aber vollständig identisch ist. Dies zeigte sich auch in der Analyse der Reiseweitenverteilung des Mikrozensus Verkehr, der Volkszählung sowie der hier erstellten Matrix.

Die hier ermittelten Umlegungsergebnisse der ÖV-Matrix zeigen insgesamt eine sehr gute Übereinstimmung mit den Querschnittszählungen. Die höheren, aber relativ betrachtet sehr ausgeglichenen Abweichungen sind vor allem in den grossen Agglomerationen von Zürich, Genf und Lausanne, sowie auf dem Abschnitt Lausanne- Neuchâtel vorhanden. Die wesentliche Ursache für diese Abweichungen, neben den vorher erwähnten tieferen Zählzeiten in den Agglomerationen, ist das im Modell nicht abgebildete ÖV-Verkehrsangebot im Bereich der grossen Städten wie z.B. die Tramlinien Basel-Allschwil oder Basel-Birsfelden. Diese Gemeinden und auch die Stadtquartiere sind im Modell als einzelne Zonen abgebildet und beinhalten somit auch die Verkehrsnachfrage zwischen diesen Zonen. Eine weitere Unsicherheit

ist die Abbildung der ÖV-Attribute für die Wege innerhalb der Zonen. Da intrazonale Netze im Modell nicht abgebildet sind, werden die Attribute für diese Wege sehr grob über einen Mittelwert geschätzt. Weil im ÖV neben den Reisezeiten und Kosten auch die Zugangszeiten, Umsteige- und Bedingungshäufigkeiten betrachtet werden, ist die Fehlermöglichkeit und die Wirkung der Angebotsgrößen bei der Schätzung des intrazonalen Verkehrs deutlich grösser als beim MIV. Aus diesem Grund besteht die Möglichkeit, dass der Anteil der intrazonalen Wege im ÖV bei der aus VISEVA erstellten Matrix überschätzt wird. Wenn aber die ermittelten Matrizen in Bezug auf die Reiseweiteverteilung korrekt erstellt worden sind, hat dieser Fehler auf die Qualität der interzonalen Matrix keinen Einfluss. Die Matrix enthält stattdessen über alle Quell-Ziel-Beziehungen ein gleichmässig höheres Aufkommen, das durch einen einheitlichen Korrekturfaktor korrigiert werden muss.

Vor der Eichung der ÖV-Matrix auf die Querschnittszählungen wurde eine solche Analyse und Korrektur durchgeführt. Wie in Abbildung 24 zu sehen ist, sind die ursprünglichen Umlegungsergebnisse im gesamten Netz und auf allen Strecken höher als die Querschnittszählungen. Aus den Differenzen gegenüber der Querschnittszählung wurde ein einheitlicher Korrekturfaktor abgeleitet, mit dem die Ausgangsmatrix korrigiert wurde. Auf diese Weise wurden die Abweichungen gegenüber den Querschnittszählungen weiter minimiert und die Struktur der Ausgangsmatrix beibehalten (siehe Abbildung 25). Bei der MIV-Matrix waren die Abweichungen der Ausgangsmatrix deutlich kleiner, so dass eine solche Korrektur nicht nötig war.

Abbildung 21 Umlegungsergebnisse: MIV-Matrix (ohne Kalibration)

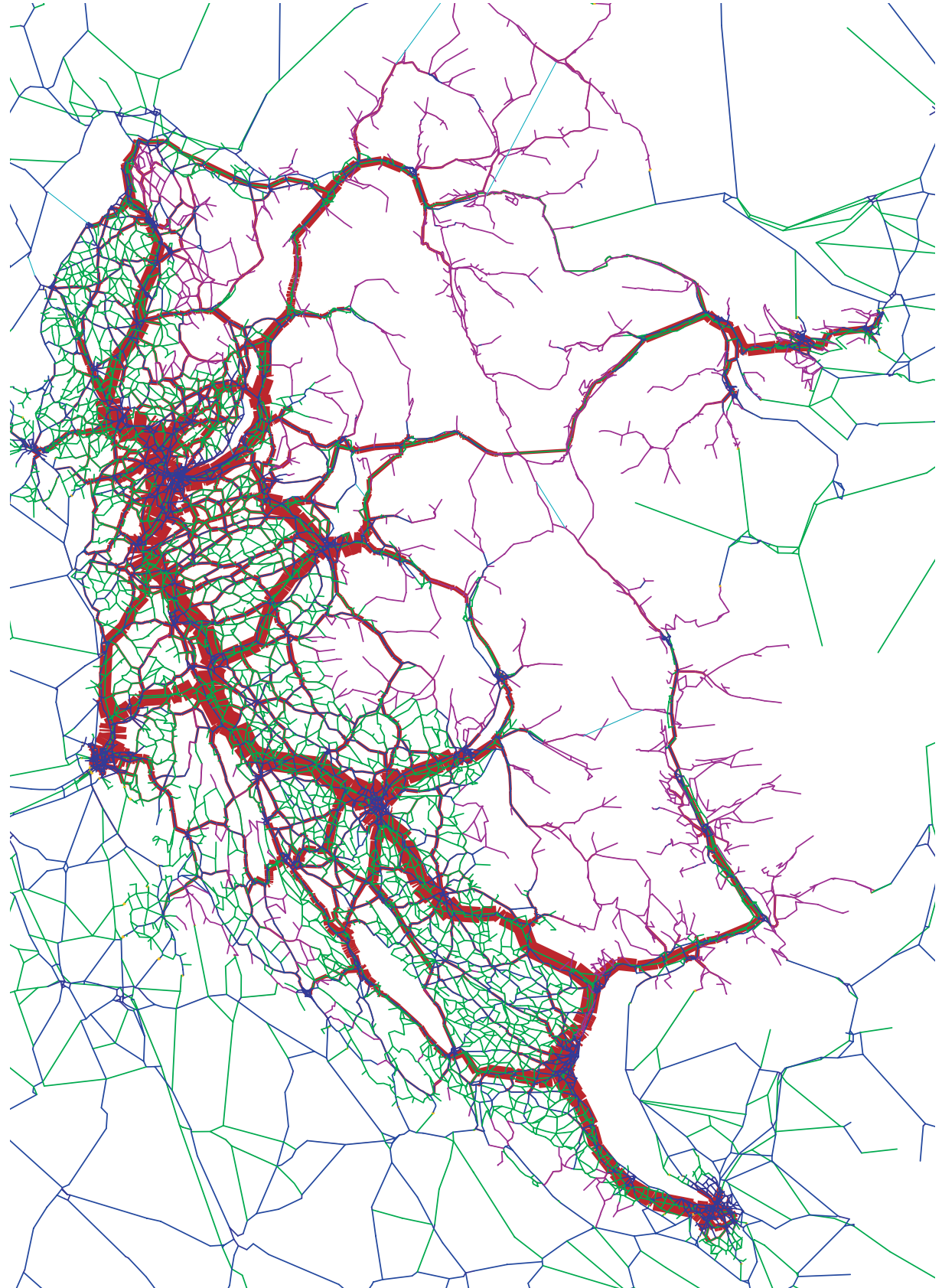
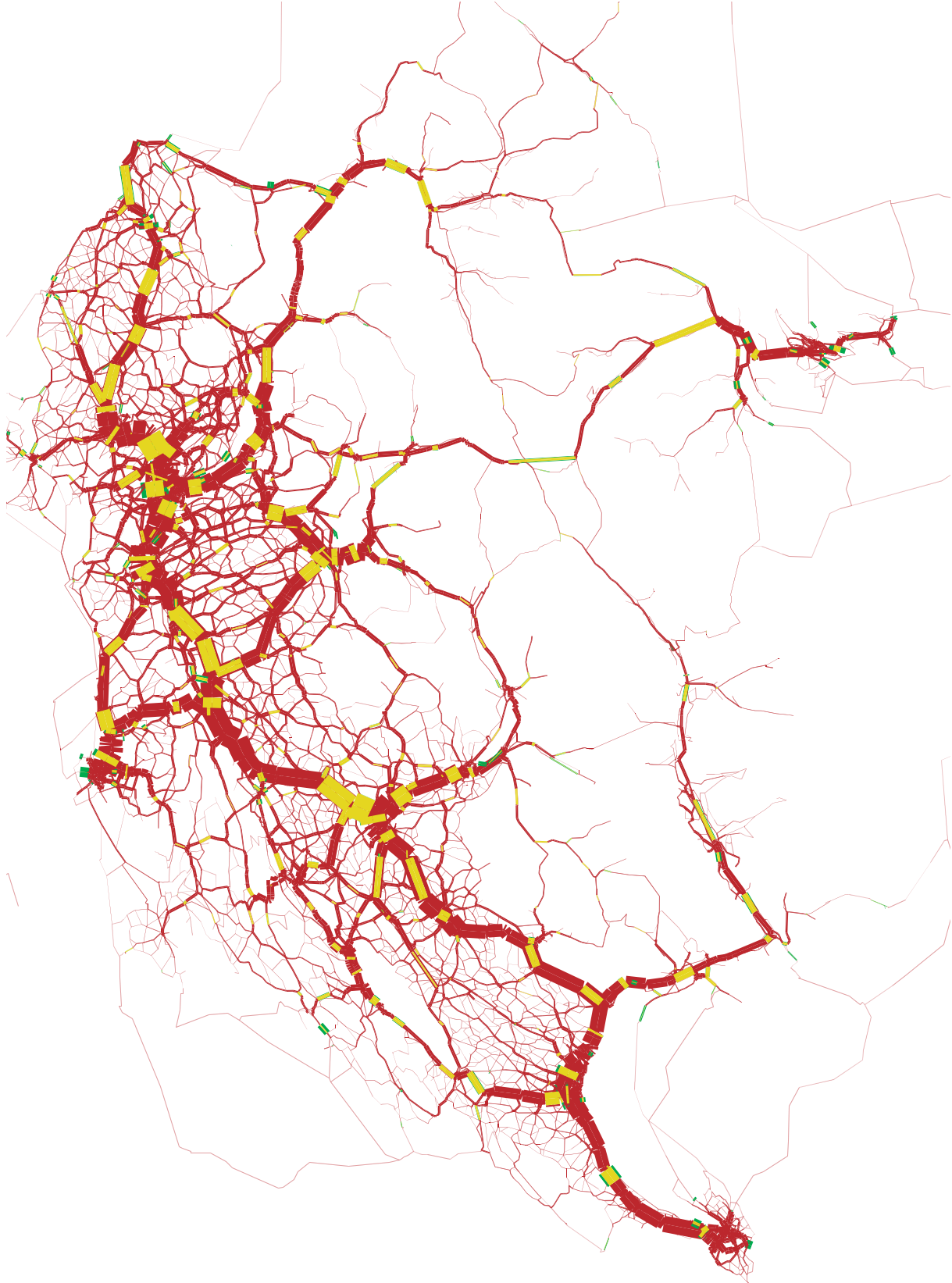


Abbildung 22 Vergleich Modell/Zählwerte: MIV-Matrix (ohne Kalibration)



gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 23 Umlegungsergebnisse: ÖV-Matrix (ohne Kalibration)

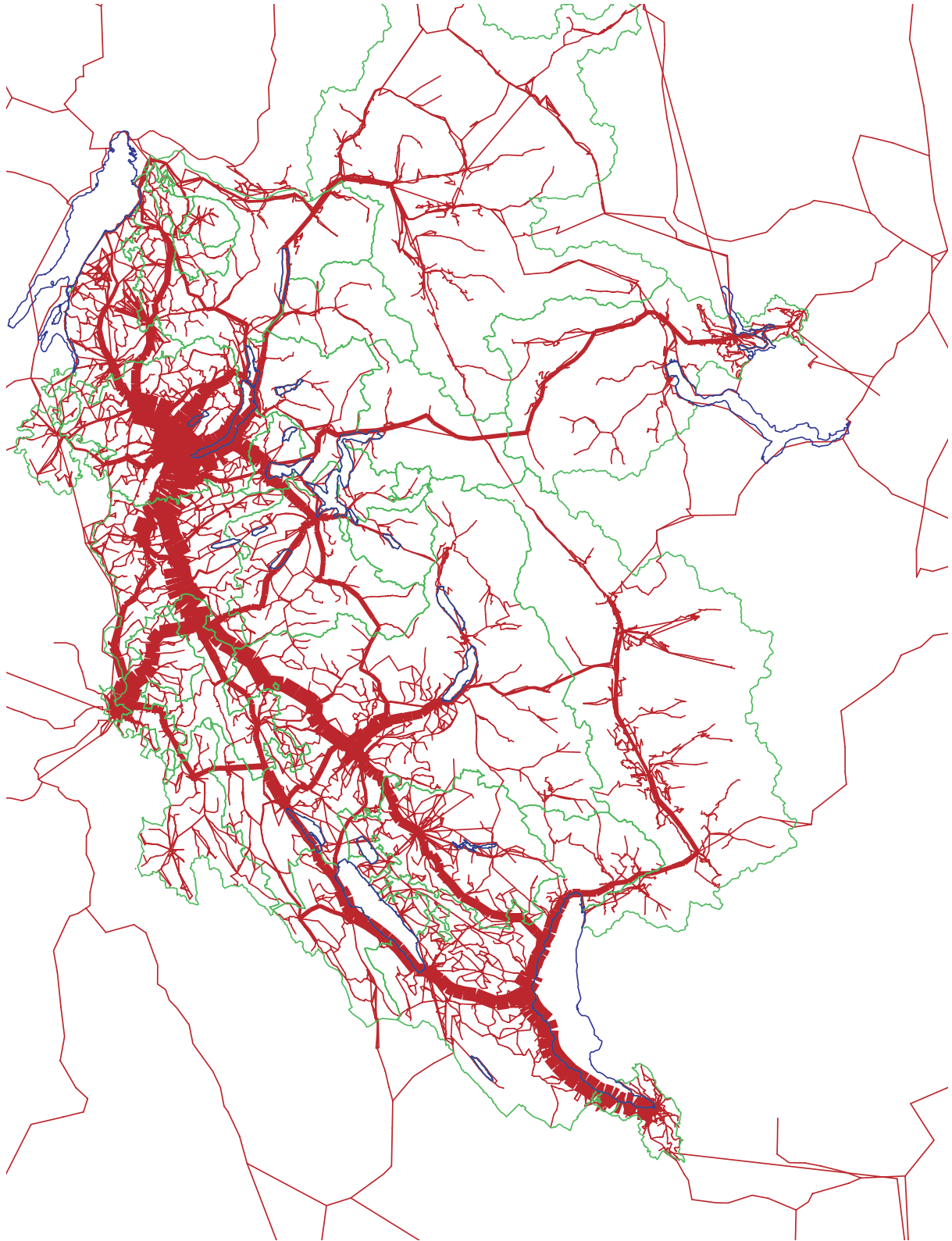
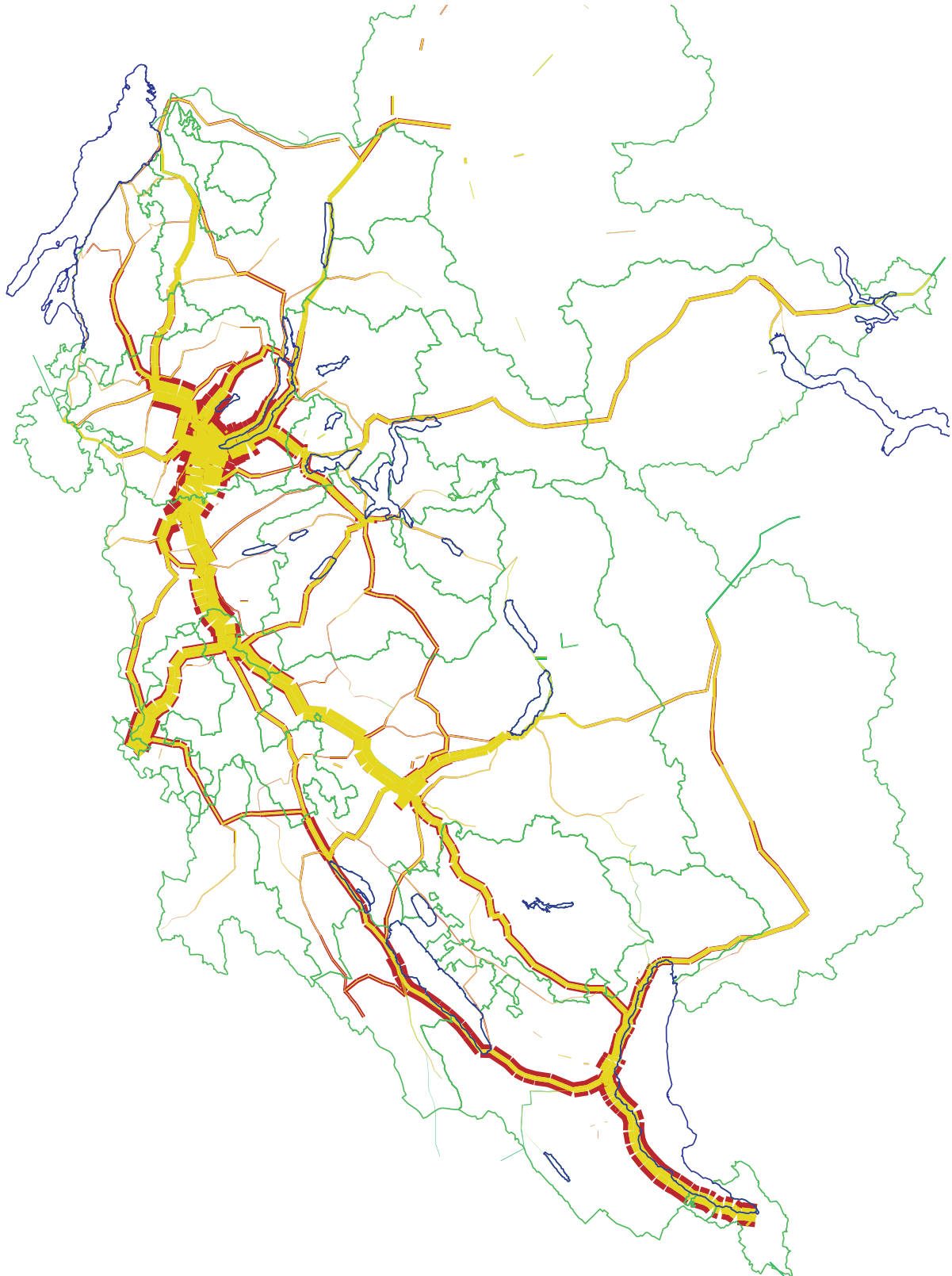
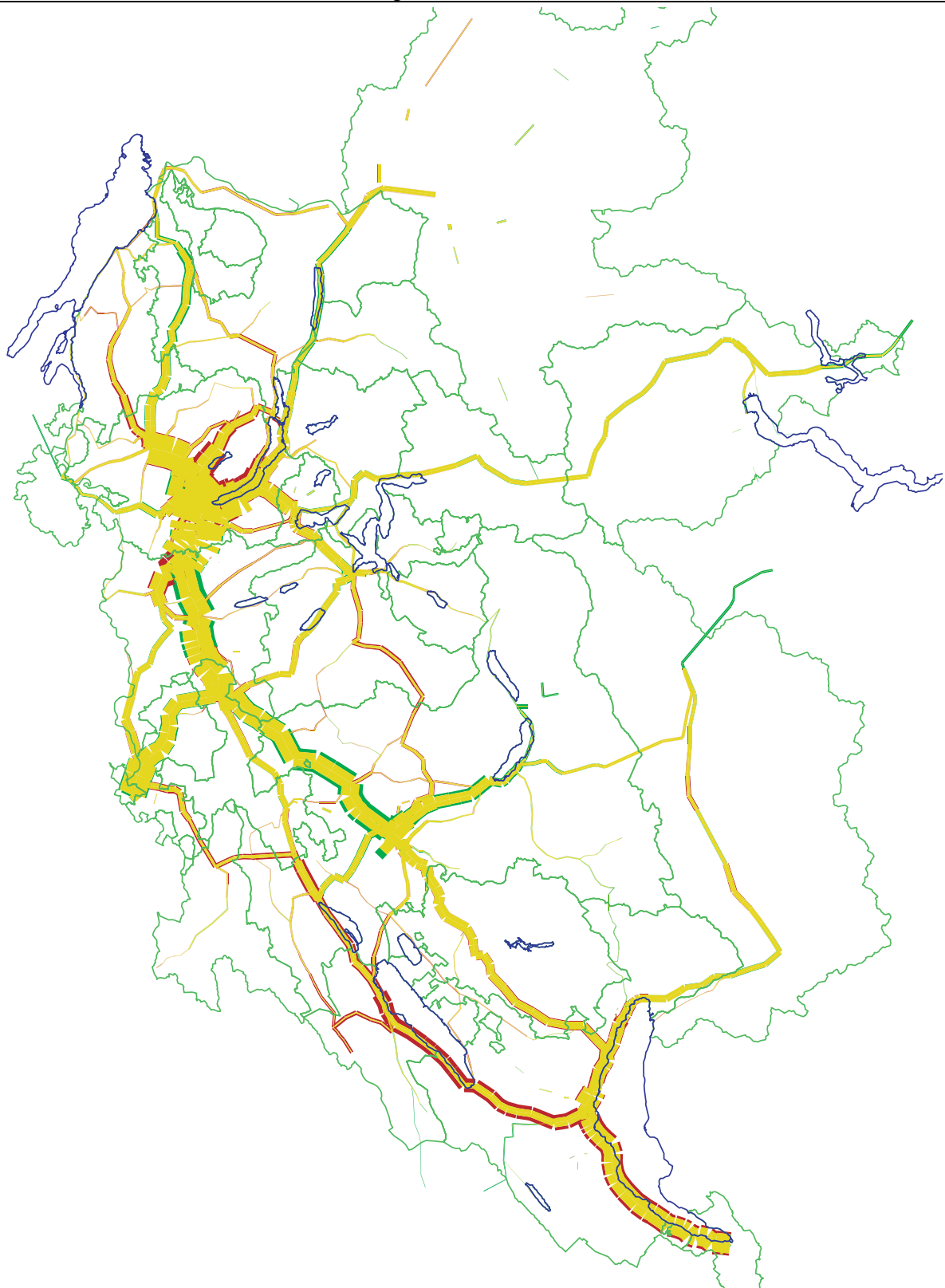


Abbildung 24 Vergleich Modell/Zählwerte: ÖV-Matrix (ohne Kalibration)



gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 25 Vergleich Modell/Zählwerte: ÖV-Matrix (ohne Kalibration); Mit einem einheitlichen Faktor korrigiert



gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

8.1.4 Quell-Zielströme / Spinnenanalyse

Ein weiteres und für die Beurteilung der Matrixstruktur sehr wichtiges Kriterium ist die Analyse der Quell-Zielströme auf den einzelnen Querschnitten, die sogenannte Spinnenanalyse. Dafür wurden mehrere Querschnitte analysiert und mit Erhebungsdaten verglichen. Als Erhebungsdaten wurden neben der Pendlerstatistik aus der Volkszählung 2000 auch die Ergebnisse der ICN-Studie sowie die Erhebung des alpen- und grenzquerenden Personenverkehrs verwendet.

Im MIV konnte ein Vergleich der Quell-Ziel-Ströme mit der Erhebung des alpen- und grenzquerenden Personenverkehrs auf dem Gotthard durchgeführt werden (Abbildung 27). Dazu wurden aus der Erhebungsmatrix die Aussenströme entfernt und nur die Binnenströme analysiert. Der Vergleich zeigt, dass die Aufteilung der modellierten Binnenströme derjenigen der erhobenen Binnenströmen entspricht.

Weitere Spinnenanalysen der MIV-Matrix sind in Abbildung 26 dargestellt und zeigen im Bezug auf die regionalen Charakteristiken und die dementsprechende Nachfrageverteilung eine plausible Verkehrsstromverteilung.

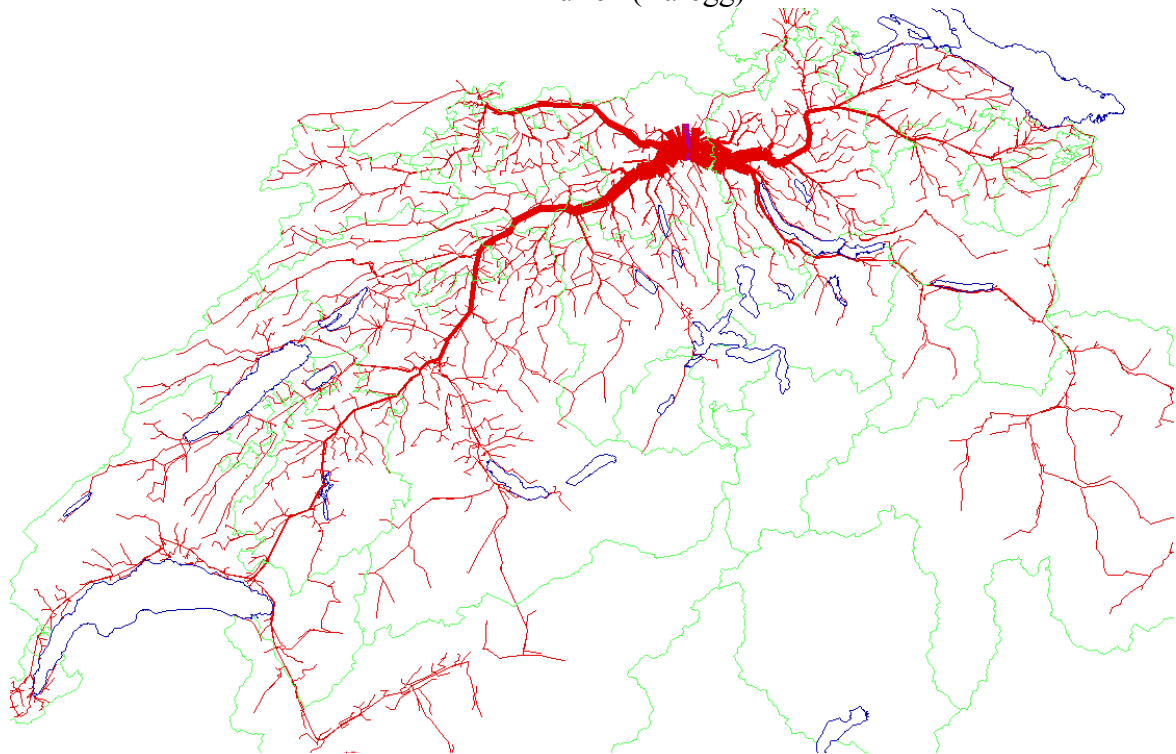
Grundlage für die Überprüfung der hier erstellten ÖV-Ströme war die im Rahmen der ICN-Studie erstellte Quell-Zielmatrix. Die SBB führen jedes Jahr an 5 Tagen Erhebungen zur Fahrausweisstruktur in den Zügen durch. Dabei werden Quell-Ziel-Beziehungen im In- und Ausland erfasst. Aus dieser Befragung und dem vorhandenen Fahrplan (Linienangebot) wird eine Hochrechnung auf den durchschnittlichen Werktagsverkehr (DWV) durchgeführt. Die Matrix wurde in Rahmen der ICN-Studie auf die Querschnittszählungen geeicht. Die so aufbereitete Matrix wurde im vorliegenden Projekt für die Plausibilisierung der ermittelten Quell-Ziel-Ströme im ÖV verwendet.

Für die hier durchgeführte Analyse wurde die Verteilung der Quell-Ziel-Ströme auf mehreren Querschnitten ausgewertet und verglichen. Der Vergleich und die Verteilung der Ströme im Netz sind für die ausgewählten Abschnitte in den Abbildungen 28, 29, 30, 31 und 32 dargestellt. Bei allen vier betrachteten Querschnitten zeigte sich, dass die aus der ICN-Studie ermittelten Quell-Ziel-Ströme durch die erzeugte Quell-Zielmatrix sehr genau reproduziert werden. Die aus den Erhebungen für diese Querschnitte ermittelte Quell-Ziel-Strom-Verteilung sowie die daraus ermittelte Netzbelastung unterscheiden sich kaum von den Quell-Zielströmen und Netzbelastungen der hier erstellten Quell-Zielmatrix. Da die SBB-Matrix auf 1108 Zonen aggregiert ist und nur auf das Bahnnetz umgelegt wurde, ist die räumliche Verteilung dieser

Ströme auf die Bahnhöfe beschränkt. Die aus den beiden Matrizen ermittelten Schienennetzbelastungen zeigen jedoch die gleichen Ergebnisse. Durch die Spinnenanalyse am Gotthard und dem Vergleich mit der Erhebung des alpen- und grenzquerenden Personenverkehrs konnte die Verlässlichkeit und Struktur der Matrix noch einmal bestätigt werden (siehe Abbildung 33).

Abbildung 26 Spinnenanalyse: MIV-Ausgangsmatrix

Zürich (Baregg)



Bern (Schönbühl – Kirchberg)

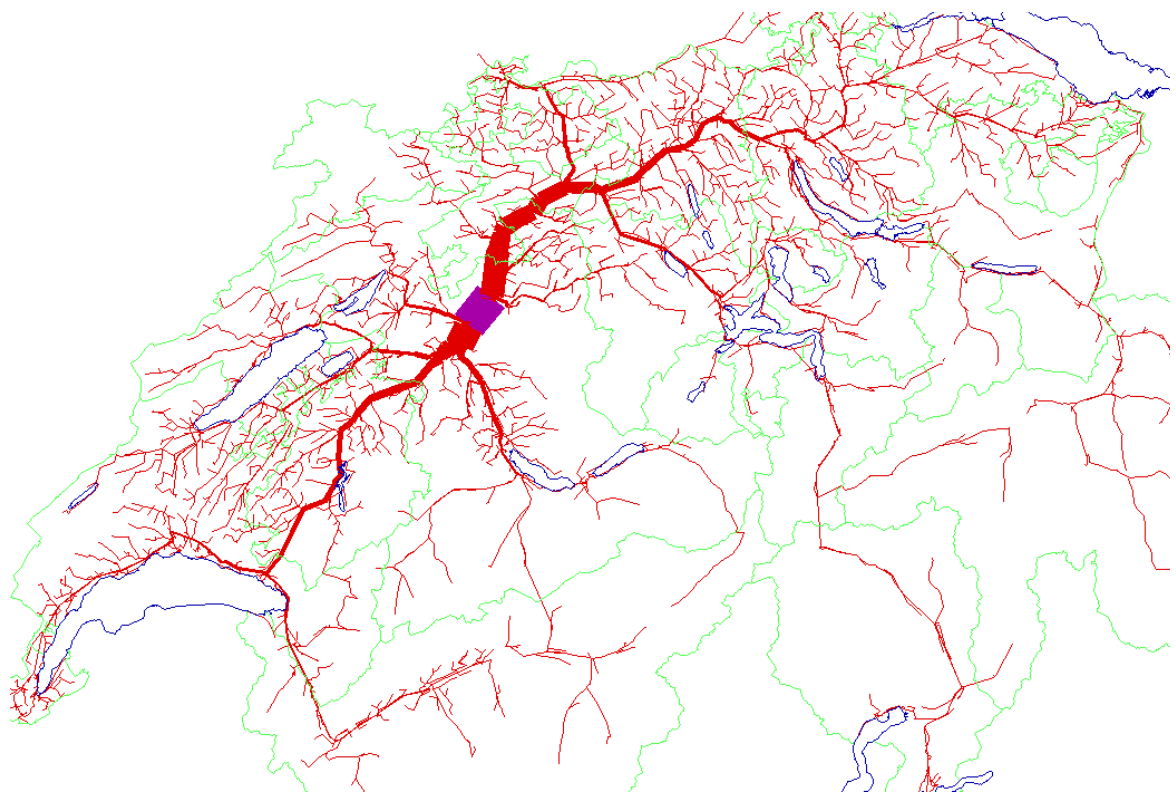
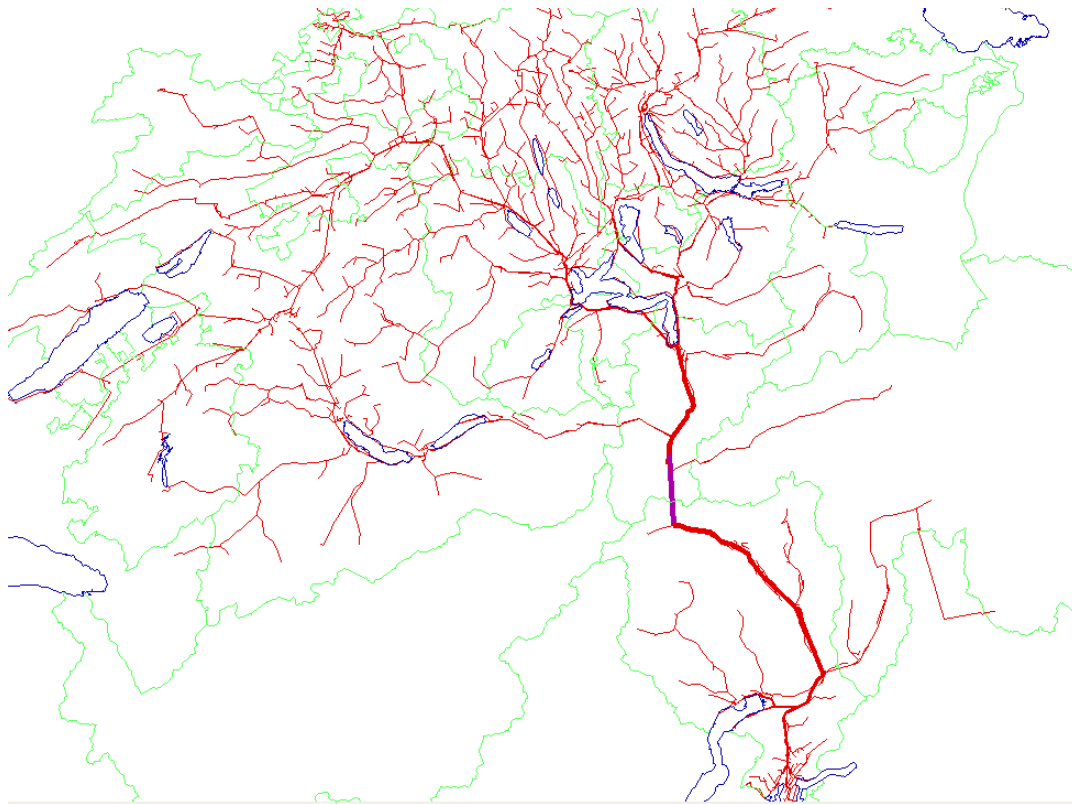


Abbildung 27 MIV-Spinnenanalyse Gotthard: Vergleich Modell/Erhebung A+GQPV

Modell (nur Binnenverkehr)



A+GQPV (nur Binnenverkehr)

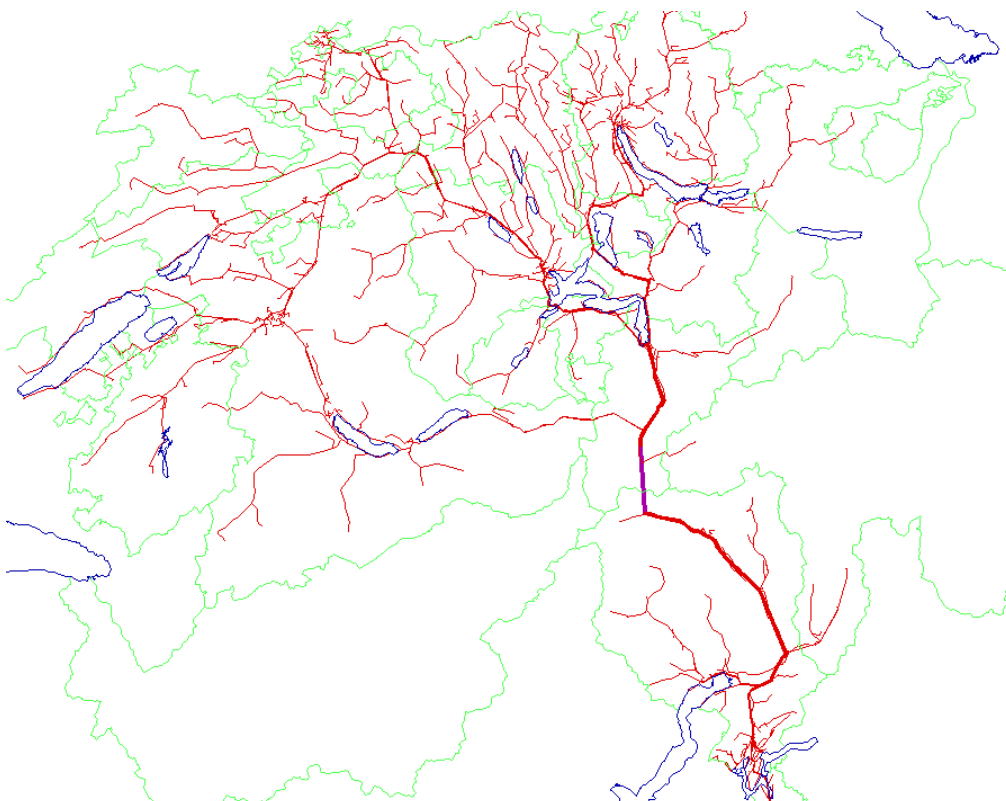
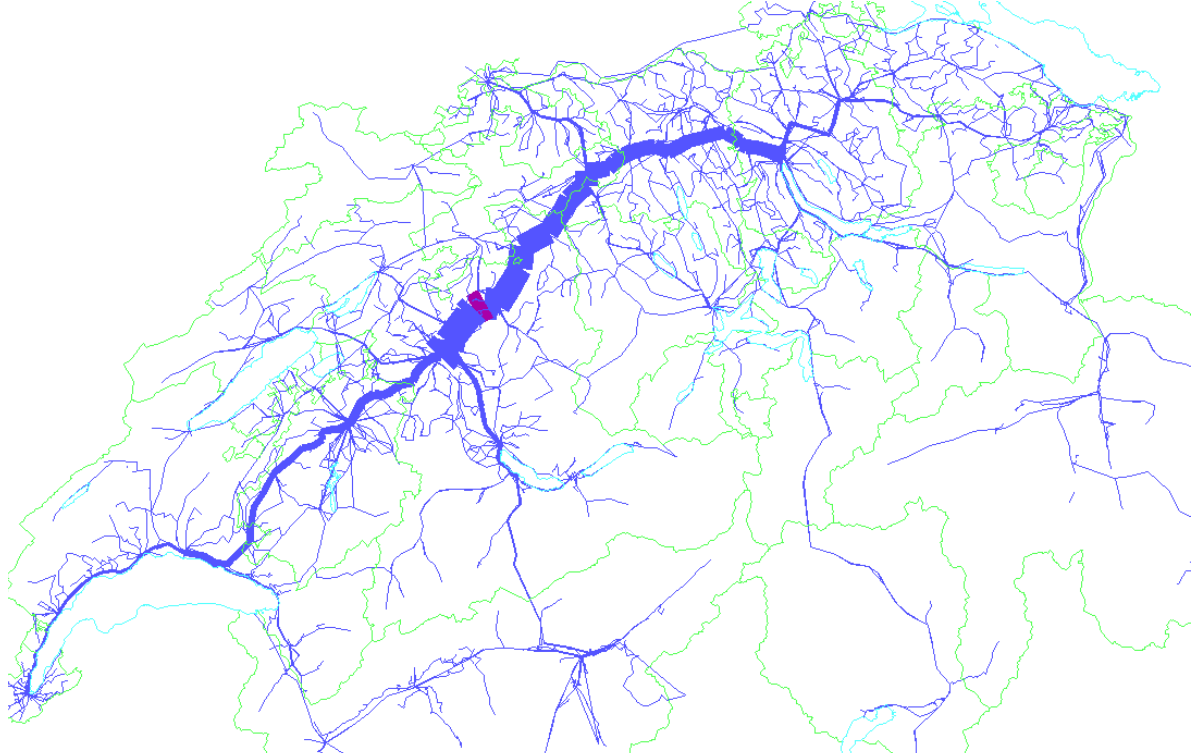


Abbildung 28 ÖV-Spinnenanalyse: Vergleich Modell / ICN - Matrix

Bern – Burgdorf: Modellmatrix (ohne Quell-, Ziel- und Transitströme)

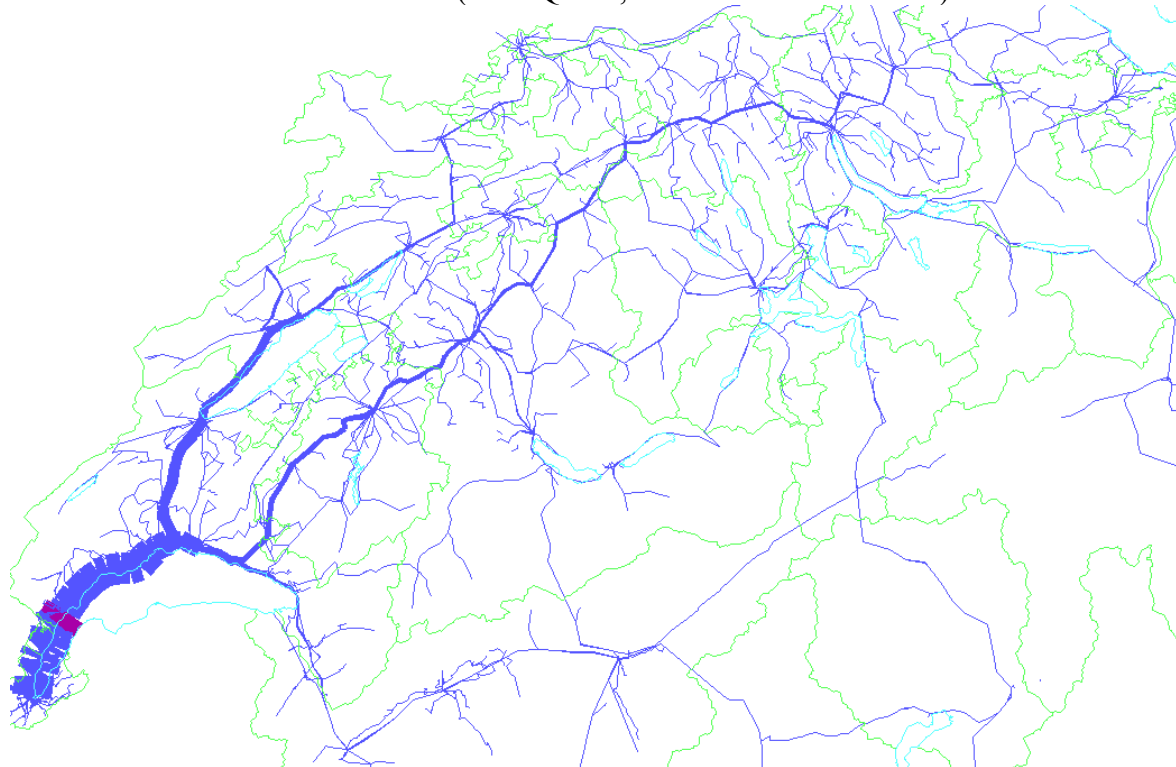


Bern – Burgdorf: ICN - Matrix mit 1108 Zonen (inkl. Quell-, Ziel- und Transitströme)



Abbildung 29 ÖV-Spinnenanalyse: Vergleich Modell / ICN - Matrix

Genf - Lausanne: Modellmatrix (ohne Quell-, Ziel- und Transitströme)

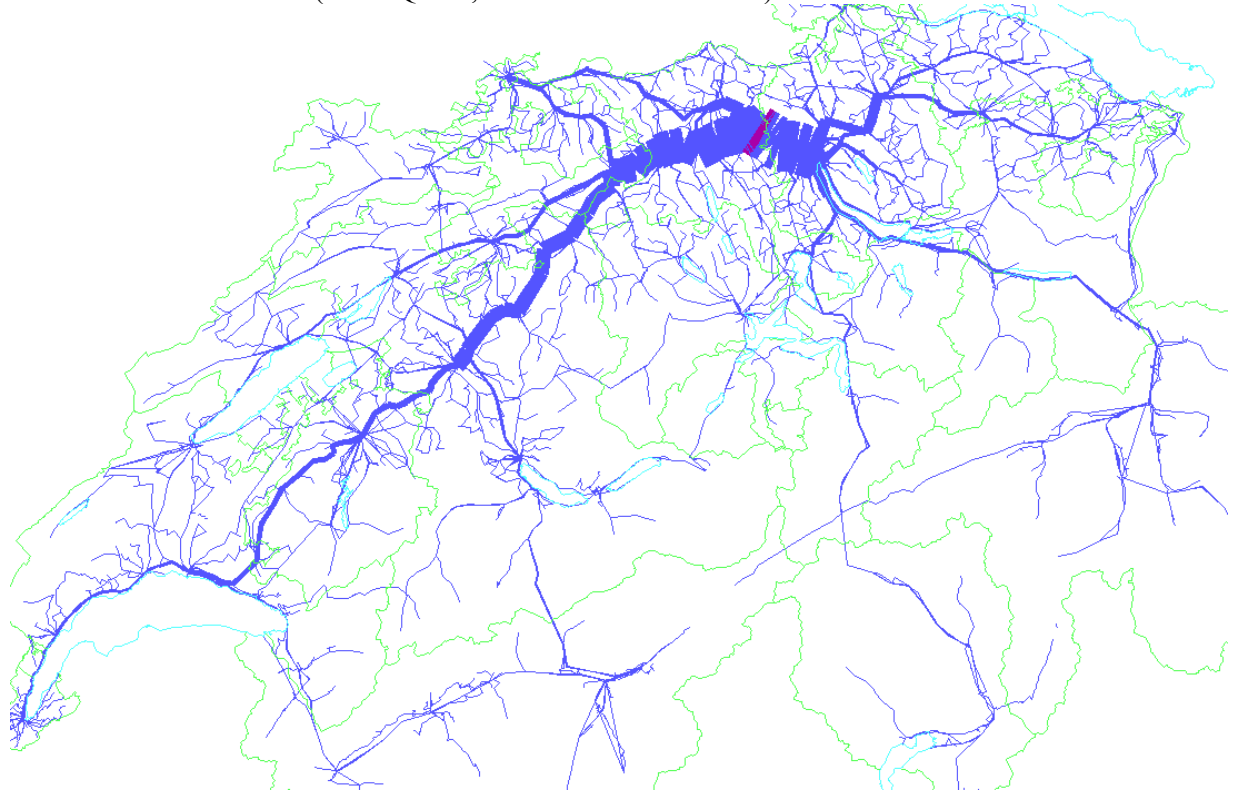


Genf - Lausanne: ICN - Matrix mit 1108 Zonen (inkl. Quell-, Ziel- und Transitströme)



Abbildung 30 ÖV-Spinnenanalyse: Vergleich Modell / ICN - Matrix

Schlieren: Modellmatrix (ohne. Quell-, Ziel- und Transitströme)



Schlieren : ICN - Matrix mit 1108 Zonen (inkl. Quell-, Ziel- und Transitströme)

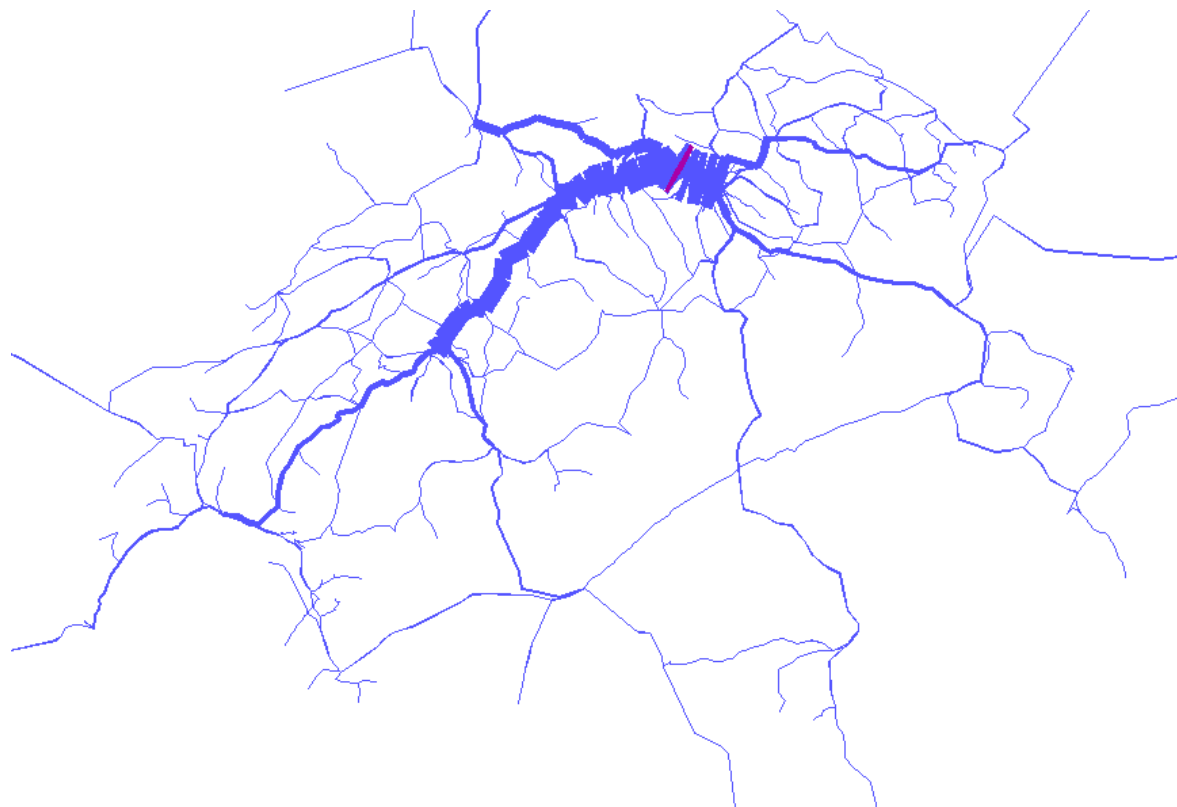
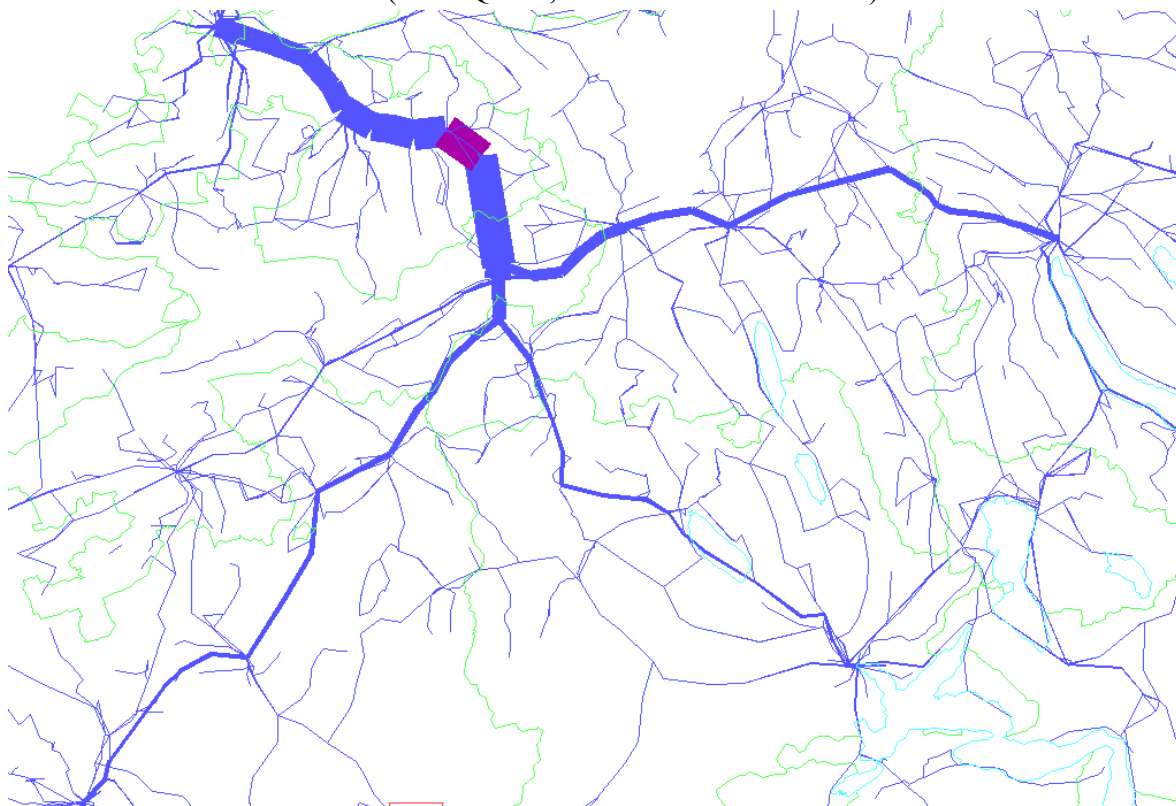


Abbildung 31 ÖV-Spinnenanalyse: Vergleich Modell / ICN - Matrix

Liestal-Olten: Modellmatrix (ohne Quell-, Ziel- und Transitströme)



Liestal-Olten: ICN - Matrix mit 1108 Zonen (inkl. Quell-, Ziel- und Transitströme)

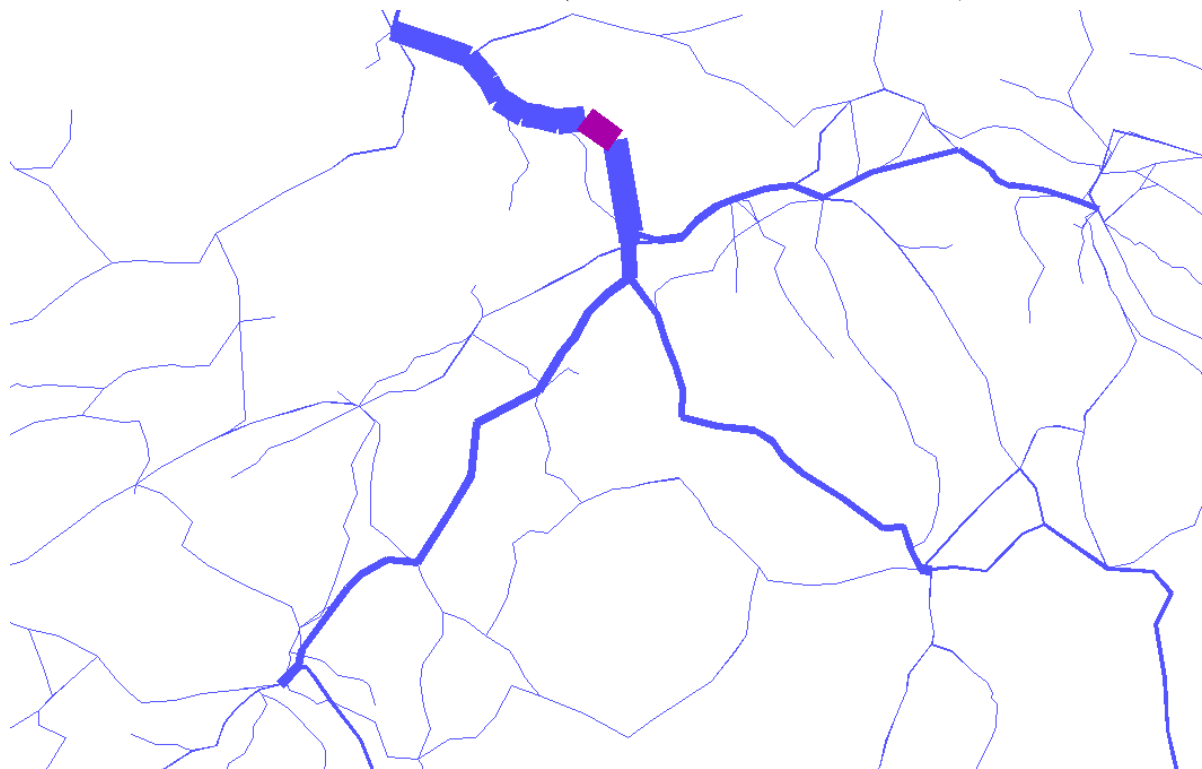
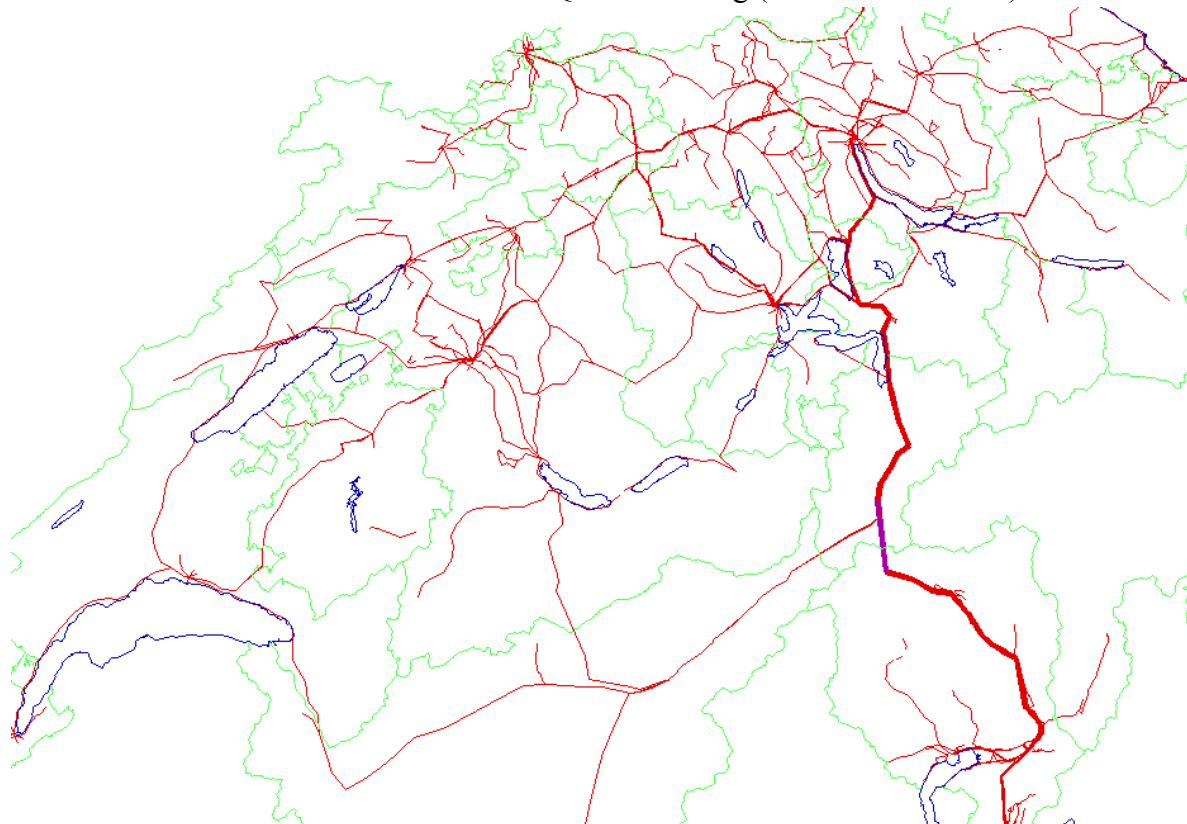
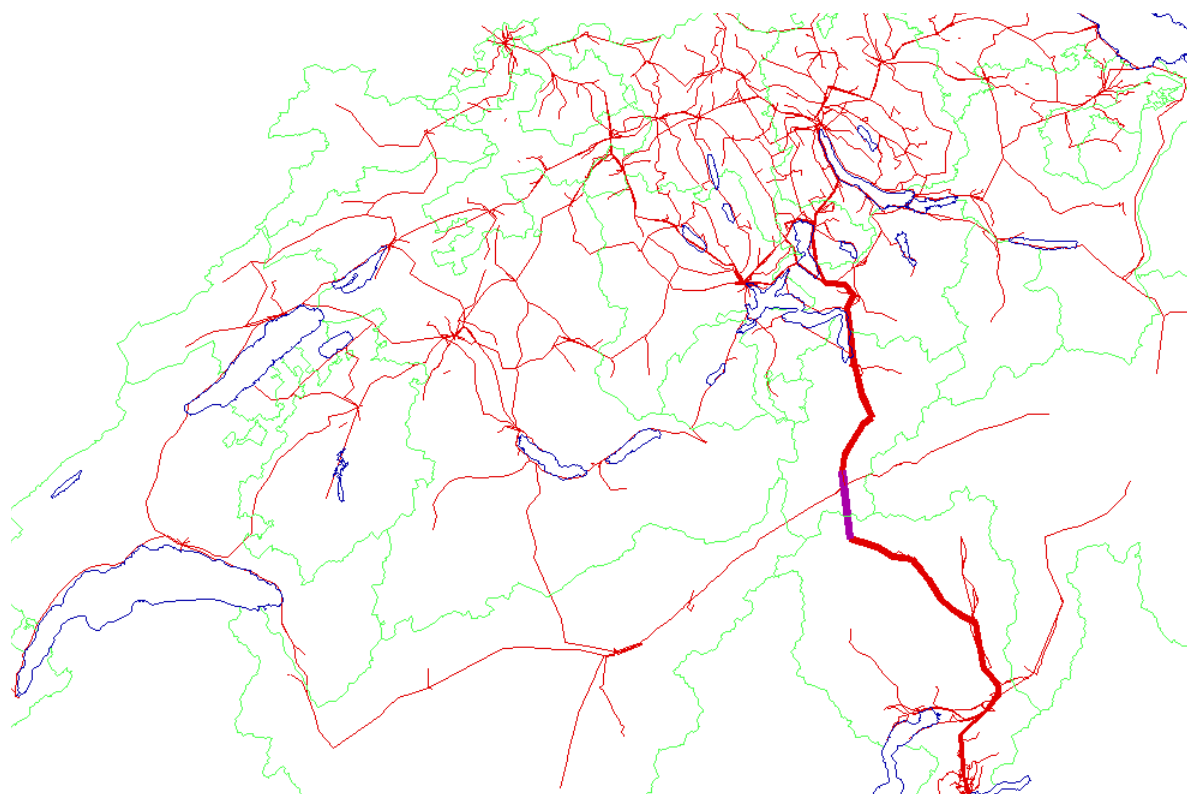


Abbildung 32 ÖV-Spinnenanalyse: Vergleich Modell / A+GQPV-Erhebung

Gotthard: A+GQPV-Erhebung (nur Binnenverkehr)



Gotthard: Modellmatrix (nur Binnenverkehr)



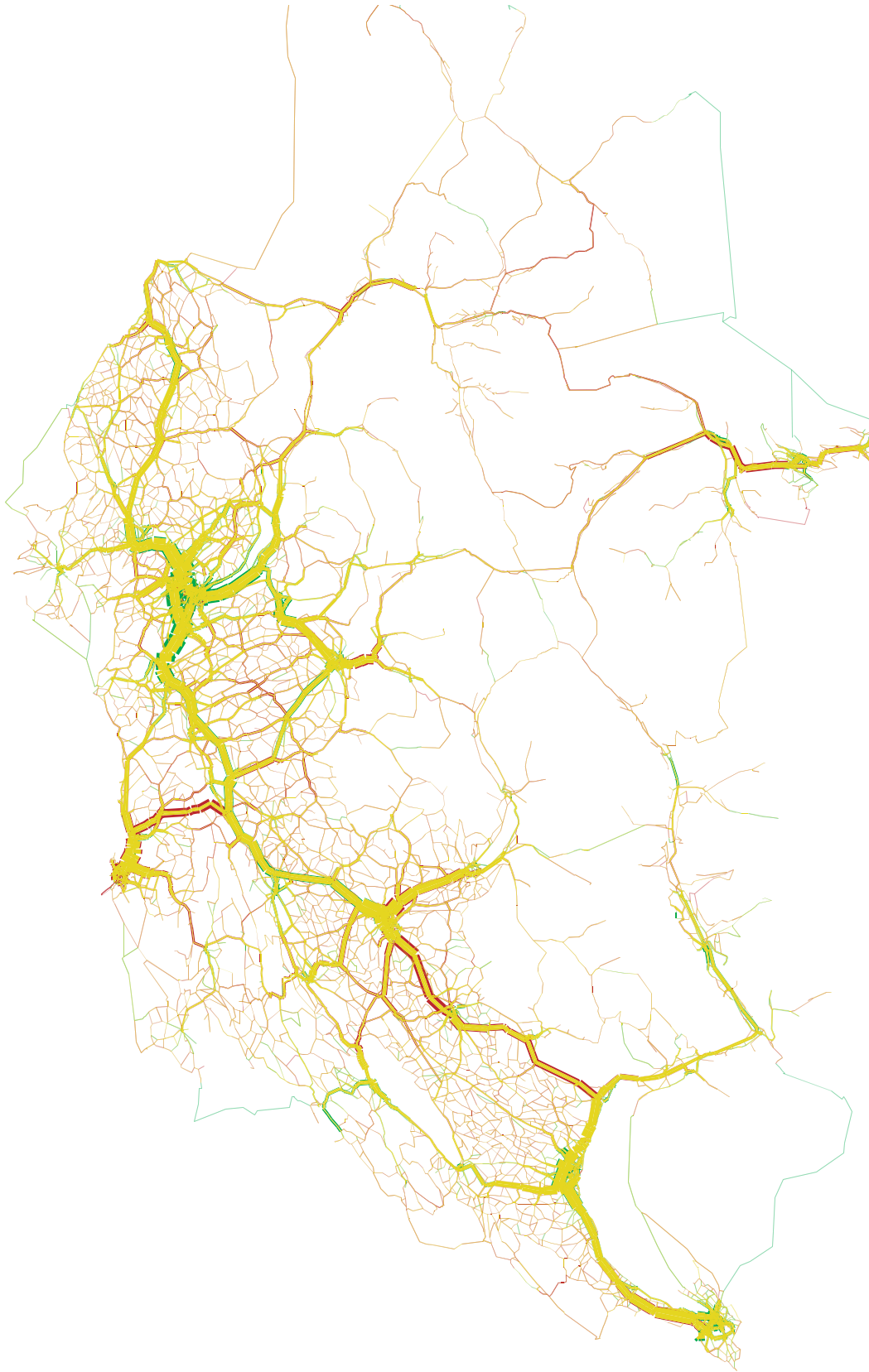
8.1.5 Vergleich mit der Pendlerstatistik aus der Volkszählung 2000

Die weitere Überprüfung der erstellten Matrixstruktur erfolgte durch Umlegung und Vergleich der Pendlerstatistik (Fahrtzweck Arbeit) aus der Volkszählung mit der hier erstellten Matrix. Dafür wurden sowohl die MIV- als auch die ÖV-Matrizen mit den bestehenden Netzmodellen umgelegt und verglichen. Diese Vergleiche sind in Abbildung 33 und Abbildung 34 dargestellt. Auch diese Analyse zeigt eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der erhobenen und der erstellten Matrix. Kleinere Differenzen zeigen sich bei spezifischen räumlichen Charakteristiken wie den Sprachgrenzen zwischen den französisch- bzw. italienischsprachigen und den deutschsprachigen Kantonen oder der Agglomeration Zürich. Diese Faktoren konnten bei der Modellschätzung nicht berücksichtigt werden und führen bei der Erstellung der Matrix zur Überschätzung der Pendler-Ströme zwischen dem Tessin bzw. der Westschweiz und den deutschsprachigen Gemeinden.

Weiterhin zeigte die Auswertung der Quell-Ziel-Beziehungen auf einzelnen Querschnitten, dass die Pendler-Matrix aus der Volkszählung teilweise „unerklärbar“ lange Ströme, wie z.B. Lugano-Bern oder Lausanne-Wil usw., beinhaltet. Diese können unter anderem durch eine mangelhafte Plausibilisierung der Pendlerstatistik aus der Volkszählung (Wochenendpendler) verursacht worden sein. Da mit der Modellschätzung ein „mittleres“ Verhalten der Verkehrsteilnehmer beschrieben wird, können solche Ausreisser bei der erstellten Matrix nicht vorkommen. Darüber hinaus zeigte sich, dass mit dem erstellten Modell die Streckenbelastungen in spezifischen Agglomerationen, vor allem Zürich, nicht vollständig reproduziert werden können. Hier wurden die interzonalen Pendlerströme teilweise unterschätzt. Andererseits sind die ermittelten Ströme bzw. daraus erstellten Querschnittsbelastungen auf den übrigen Teilen des Netzes sehr genau reproduziert worden.

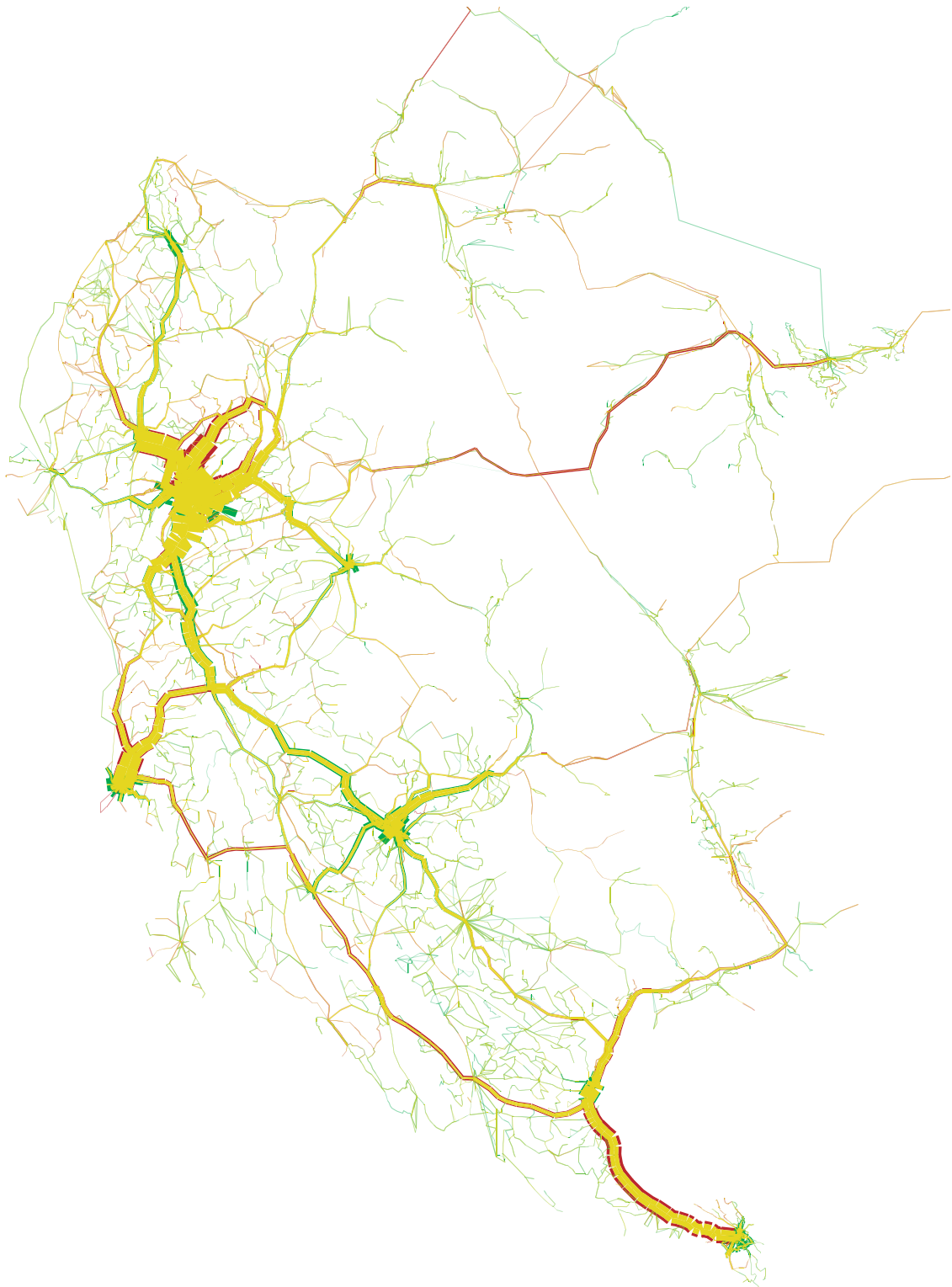
Neben der Überprüfung der ermittelten Streckenbelastung wurden auch die Quell-Ziel-Ströme auf einzelnen Querschnitten ausgewertet. Dafür wurde eine sogenannte „Spinnenanalyse“ der einzelnen Strecken durchgeführt. Es zeigte sich, dass die ermittelten Pendler-Ströme mit den erhobenen Strömen zum grössten Teil übereinstimmen. Die Differenzen zeigen sich zu einem gewissen Anteil durch die in der Volkszählung erfassten sehr langen und für die Pendlerströme nicht „typischen“ Fahrten. Der Vergleich der „Spinnenanalysen“ aus der Volkszählung und dem Modell ist in den Abbildungen Abbildung 35 bis Abbildung 38 dargestellt.

Abbildung 33 Vergleich Modell/Volkszählung: Streckenbelastungen MIV (Arbeit)



gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

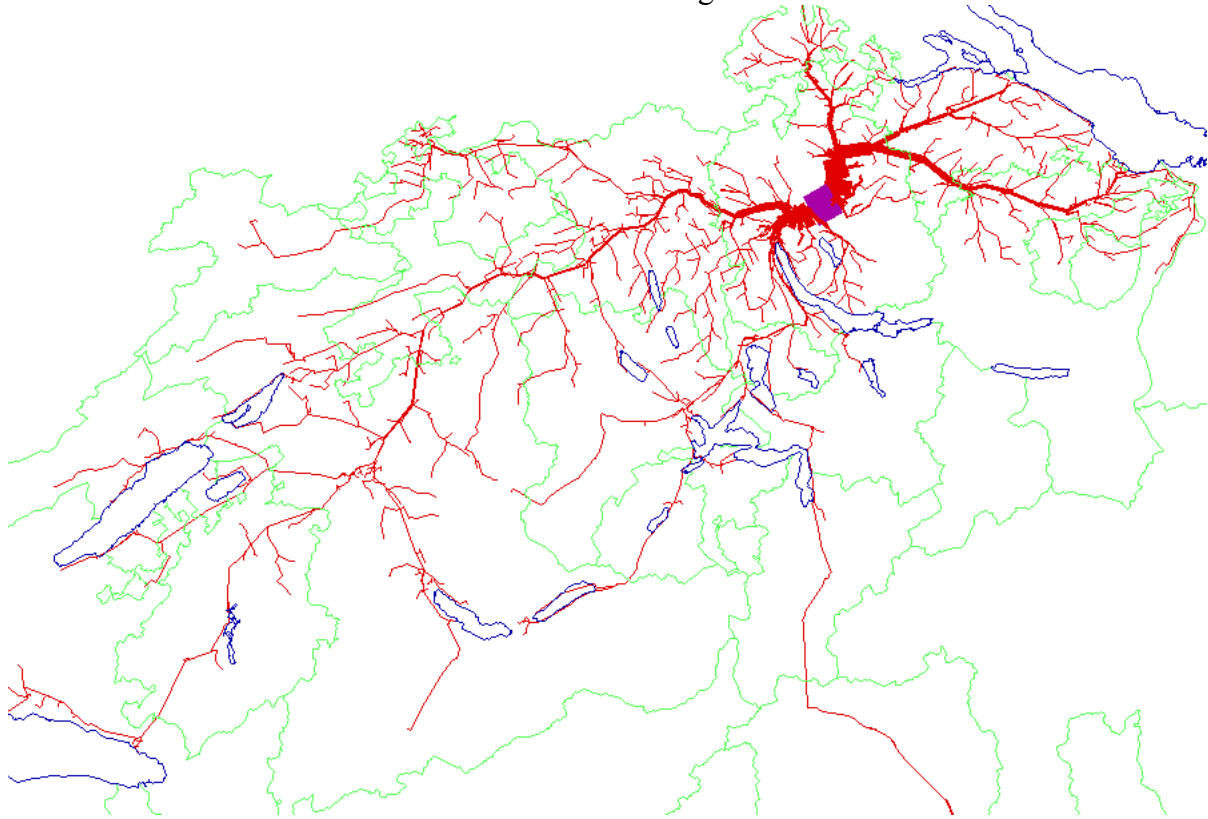
Abbildung 34 Vergleich Modell/Volkszählung: Streckenbelastungen aus der ÖV-Matrix



gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 35 Vergleich Pendlerströme MIV Volkszählung/Modell: Spinnenanalyse (Zürich)

Volkszählung 2000



Modell

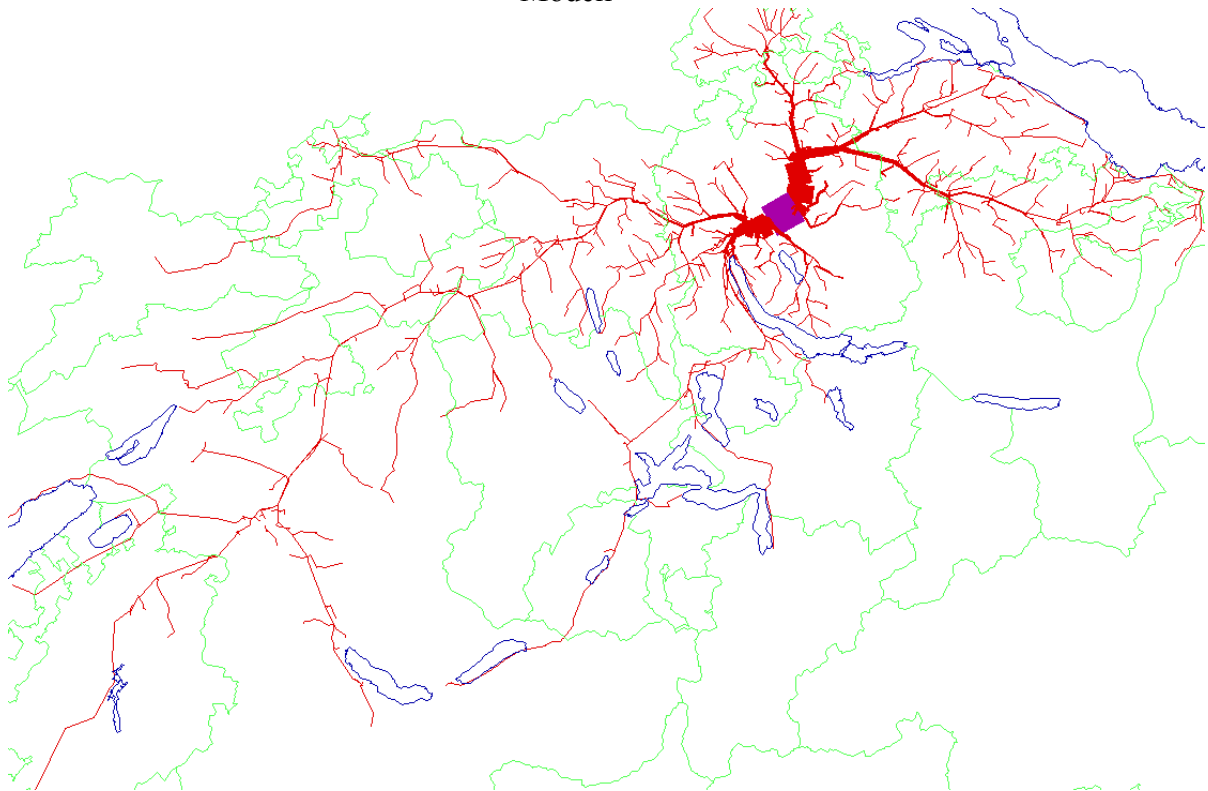


Abbildung 36 Vergleich Pendlerströme MIV Volkszählung/Modell: Spinnenanalyse (Basel)

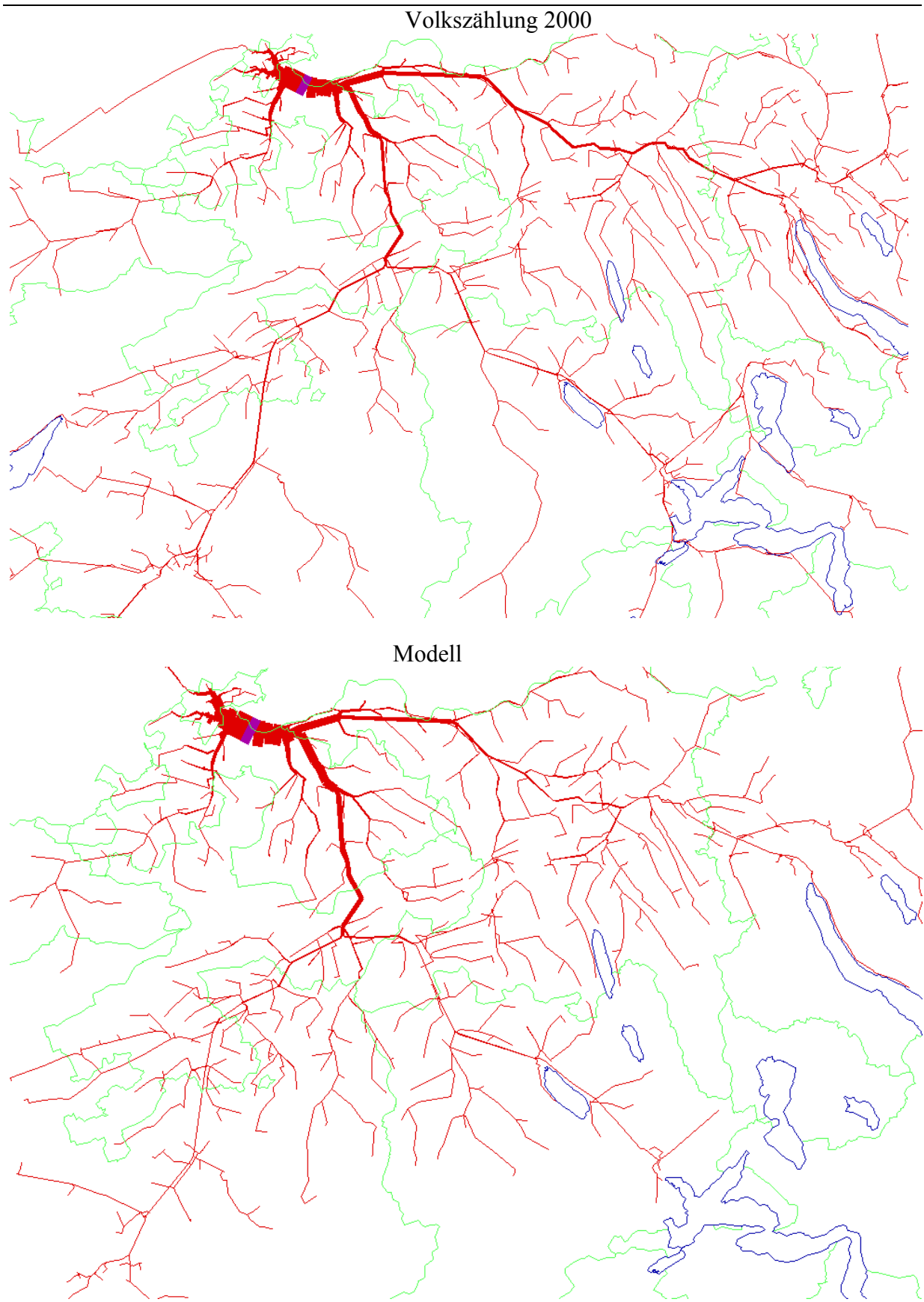
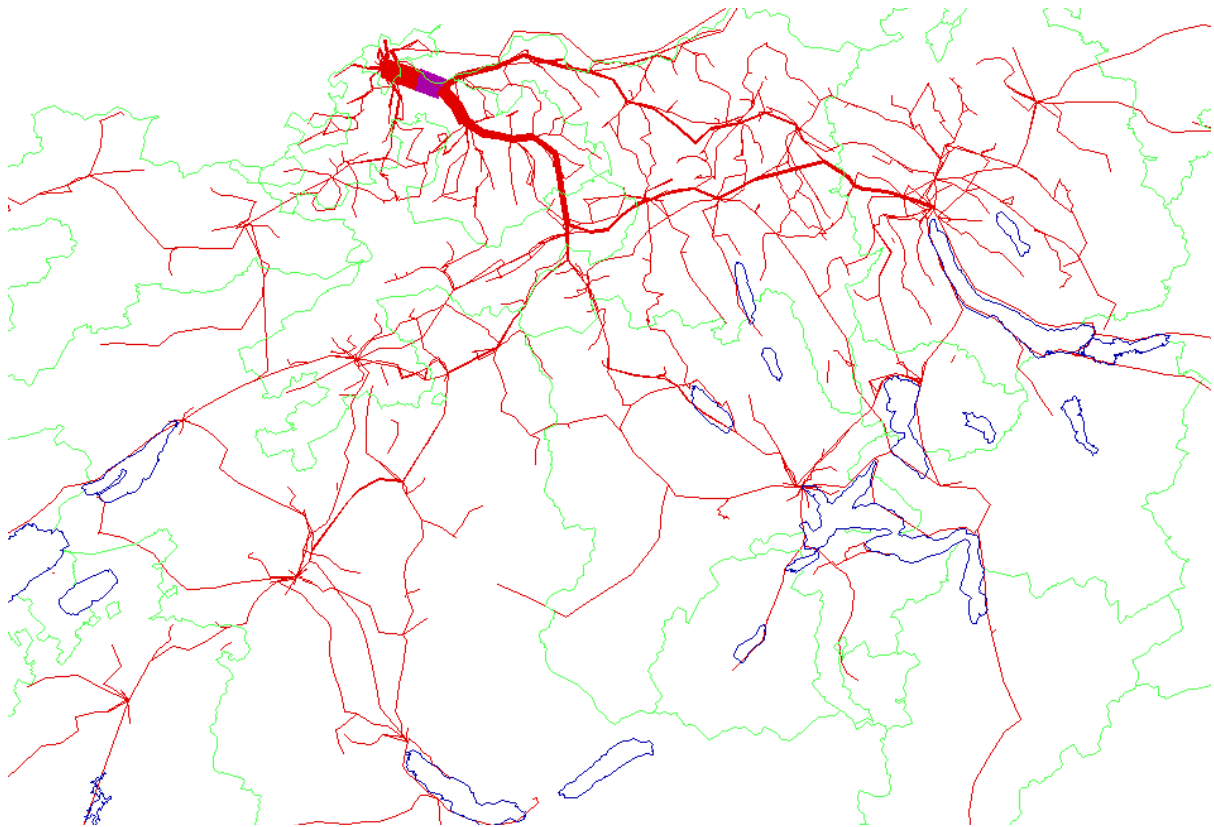


Abbildung 37 Vergleich Pendlerströme ÖV Volkszählung/Modell: Spinnenanalyse (Basel)

Volkszählung 2000



Modell

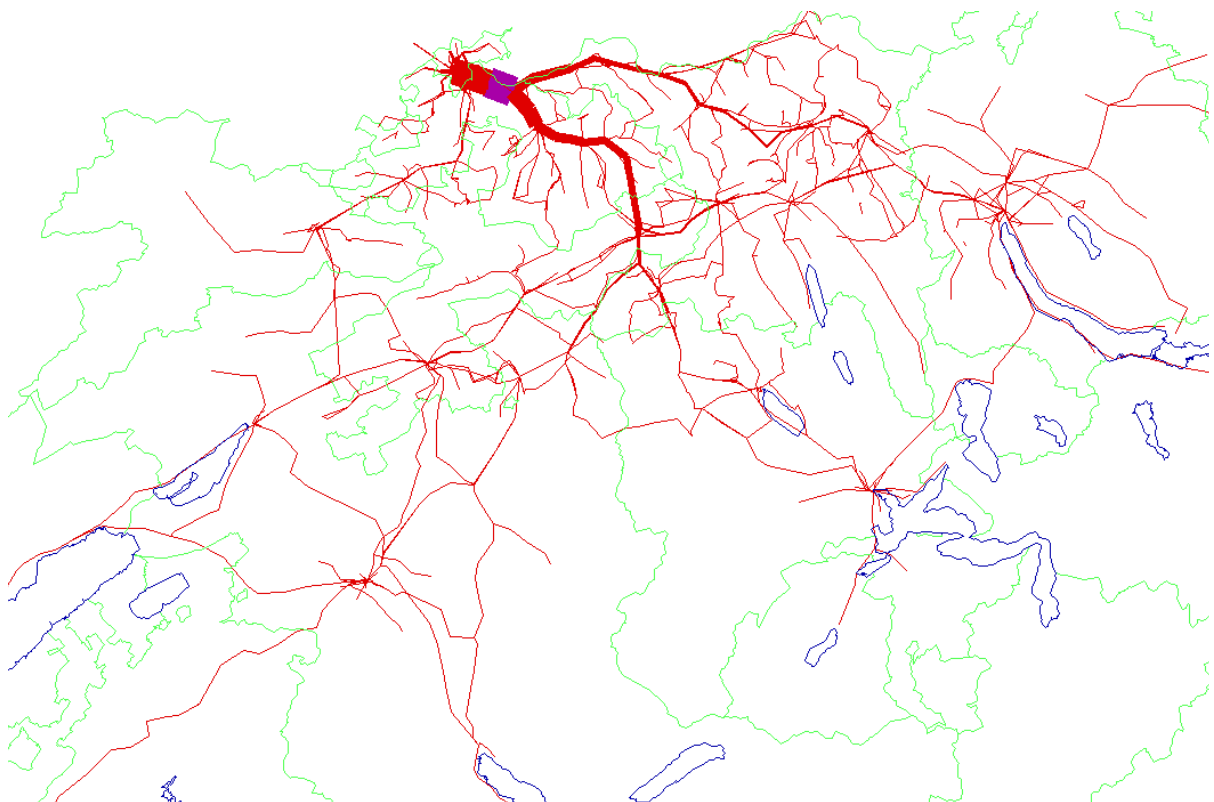
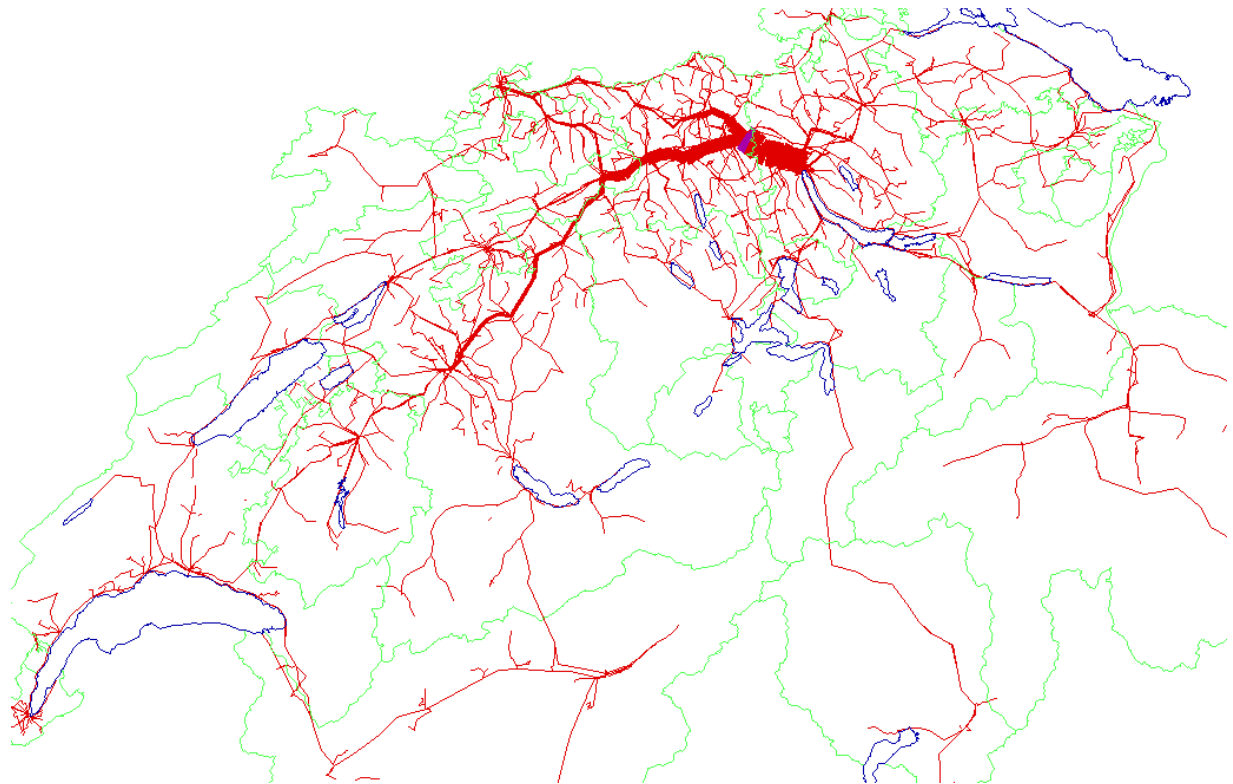
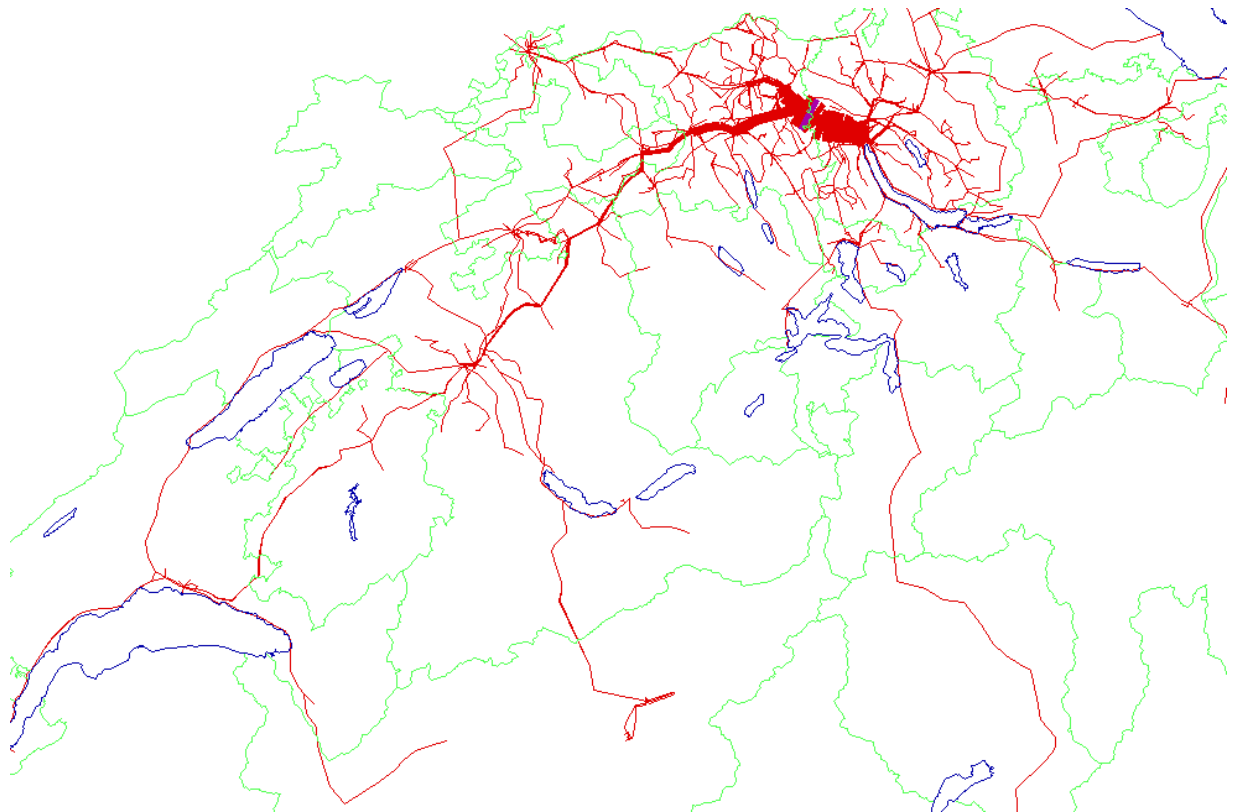


Abbildung 38 Vergleich Pendlerströme ÖV Volkszählung/Modell: Spinnenanalyse (Zürich)

Volkszählung 2000



Modell



8.2 Aussen- und Umfahrungsströme

Die aus der Erhebung des alpen- und grenzquerenden Personenverkehrs übernommene Quell-Ziel-Matrix beinhaltet nur den MIV und den Schienenpersonenverkehr. Die Eckwerte dieser Matrix sind in der Tabelle 36 dargestellt.

Tabelle 36 Aussenströme (Quell-, Ziel- und Transitverkehr)

	MIV(PW-Fahrten)	MIV (Personen)*	ÖV (Personen)	Total (Personen)
Pendler	223'929	255'279	523	255'802
Nutzfahrt	53'137	67'484	4'811	72'295
Einkauf	121'168	196'292	865	197'157
Freizeit	226'168	395'705	34'558	430'263
Summe	624'351	914'760	40'757	955'517

(*) Multipliziert mit den im Binnenverkehr verwendeten Besetzungsgraden.

Quelle: ARE, 2003

Aus dem Transit- und Umfahrungsmodell wurden die Verkehrsströme für die Fahrtzwecke Nutzfahrt und Freizeit berechnet. Es wurden für die weitere Bearbeitung jedoch nur die Umfahrungsströme verwendet. Die Transitströme durch die Schweiz wurden, wie oben erläutert, aus der Erhebung des alpen- und grenzquerenden Personenverkehrs übernommen. Dabei wurde die Struktur des Modells so geeicht, dass die Transitverkehre durch die Schweiz den Transitströmen aus der Erhebung des grenzquerenden Personenverkehrs entsprechen. Die Umfahrungsströme wurden in einem weiteren Schritt auf die Querschnittsbelastungen an der Alpenübergänge (Brenner, Mont Blanc, Fréjus) geeicht. Dafür wurden die verfügbaren Studien und Erhebungen (siehe Fahlbusch et al. (2003), Koblo et al. (1997)) und die Internetseiten der Tunnelbetreiber verwendet. Die Eckwerte der Quell-Zielmatrizen für den Umfahrungsverkehr sind in der Tabelle 37 dargestellt.

Tabelle 37 Umfahrungsströme

	MIV (Personen)	ÖV (Personen)	Total (Personen)
Nutzfahrt	45'070	5'439	50'509
Freizeit	326'046	41'854	367'900
Summe	371'116	47'293	418'409

9 Kalibration der Quell-Zielmatrizen auf die Querschnittszählungen

Die in den vorherigen Arbeitsschritten erstellten und plausibilisierten Matrizen werden nun auf die Querschnittszählungen geeicht. Die wesentliche Voraussetzung für die Eichung der Matrix ist eine plausible bzw. fehlerfreie Abbildung des Routenwahlverhaltens. Ein verfälschtes Routenwahlverhalten wird in der Regel durch folgende Faktoren verursacht:

- Fehler im abgebildeten Verkehrsangebot
- Nicht der Realität entsprechende Zonenanbindungen auf die abgebildeten Netze
- Inkonsistenz in Netzgrösse und Zonendichte
- Unplausible Routenwahlparameter und Ansätze für die Nachfrageaufteilung

In dieser Untersuchung hat sich die Fehlersuche vor allem auf die Korrektur der ersten beiden Faktoren konzentriert: Verkehrsangebot und Zonenanbindungen. Im MIV-Modell wurden Angebotsfehler vor allem durch die Festlegung der Anfangsgeschwindigkeit und der Leistungsfähigkeit der spezifischen Streckenabschnitte verursacht. Diese Probleme wurden besonders in Agglomerationen und auf Innerortsstrassen festgestellt und korrigiert.

Die Korrektur der Angebots- und Anbindungsfehler im ÖV-Netz verlangte einen deutlich grösseren Zeitaufwand als im MIV-Netz. Hier haben die Angebotsfehler zu Asymmetrien bei der Routenwahl und damit auch zu asymmetrischen Netzbelastungen geführt. Dies wurde sowohl durch Fehler bei den Fahrt- und Haltezeiten und den Abfahrtzeiten als auch durch die Anzahl der Verbindungen und die Zuordnung der Linien zu bestimmten Strecken verursacht.

Als Umlegungsmethode wurde im Strassenverkehr das deterministische Nutzergleichgewicht und im ÖV das fahrplanfeine Verfahren angewendet. Die Modellparameter für die Bewertung der einzelnen Einflussfaktoren wie Fahrzeit, Umsteige- und Bedingungshäufigkeit usw. wurden aus der ICN-Studie übernommen. In dieser Untersuchung wurde eine Stated-Preference Befragung zum Routenwahlverhalten im ÖV durchgeführt, um daraus die ÖV-Routenwahlparameter zu schätzen. Die nachfolgende Tabelle 38 zeigt zum Vergleich die Ergebnisse dieser Routenwahlschätzung.

Tabelle 38 Parameter für das ÖV-Routenwahlmodell (MNL)

Variable	Modell Parameter (β)				
	Alle Fahrt- zwecke	Pendler	Einkauf	Freizeit/ Urlaub	Geschäft
ÖV					
Konstante	0.233	0.224	0.364	0.203	0.278
Fahrzeit	-2.398	-5.524	-4.250	-2.079	-3.665
Preis	-0.140	-0.466	-0.211	-0.132	-0.070
Intervall	-0.622	-1.650	-0.859	-0.473	-0.073
Umsteigezahl	-0.749	-0.708	-0.416	-0.782	-0.315
Umsteigezeit	-1.174	-3.608	-5.271	-0.858	-3.072
Komfort IR- Doppelstock	0.493	0.567	0.859	0.481	0.189
Komfort IC/EC	0.580	0.546	0.611	0.559	0.553
Komfort ICN	0.664	0.865	0.821	0.604	0.194
N – Beobachtungen	7964	1133	802	5370	659
Adj Pseudo R ²	0.104	0.138	0.106	0.094	0.139
Log-likelihood Function	-4943	-671	-491	-3365	-393
Quelle: Vrtic et al. (2003)					

Eine weitere Voraussetzung für die Eichung der Matrix sind verlässliche und konsistente Querschnittszählungen. Dafür wurden die gesammelten Zählungen im Strassenverkehr aus der automatischen Strassenverkehrszählung (SSVZ) und die kantonalen Verkehrszählungen auf ihre Konsistenz, Position und den Anteil des intrazonalen Verkehrs überprüft. Im ÖV-Modell konnten neben den Streckenbelastungen für das SBB-Netz auch die Zählungen der Privatbahnen und einiger weniger Buslinien verwendet werden. Die Querschnittsbelastungen des SBB-Netzes wurden aus der ICN-Studie übernommen. Bei der hier durchgeführten Plausibilisierung hat sich gezeigt, dass diese Werte auf einigen Streckenabschnitten noch korrigiert werden müssen. Diese Korrekturen können aus der Konsistenzanalyse der Querschnittsbelastungen für den Fahrplan 1999/2000 und 2001/2002 auf den Strecken ohne Angebotsveränderungen (ausserhalb ICN-Korridor; St-Gallen-Zürich-Genf) durchgeführt werden. Die Inkonsistenz bzw. Fehler, die festgestellt wurden, (Beispiele: falsche Zuordnung der Linie zur Strecke, nicht oder zu wenig berücksichtigte Nachfrage von Regionalbahnhöfen, Inkonsistenz in den Querschnittswerten 1999/2001 usw.) sind sehr wahrscheinlich auf die Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik zurückzuführen.

Da die inhaltliche Struktur der erstellten Matrizen den Erhebungsdaten sehr gut entspricht und die Abweichungen gegenüber den Querschnittszählungen sehr ausgeglichen und relativ klein

sind, wurde in diesem Projekt auf die Anwendung von automatischen Kalibrationsverfahren verzichtet. Die Differenzen zwischen den Umlegungsergebnissen und den Querschnittszählungen wurden stattdessen durch eine manuelle Eichung an einzelnen Querschnitten korrigiert. Ein solches Vorgehen hat den wesentlichen Vorteil, dass die strukturellen Veränderungen der Matrix kontrolliert werden können. Damit kann eine Veränderung der Matrixstruktur verhindert werden.

Diese Art des Vorgehens ist allerdings nur möglich, wenn die Ausgangsstruktur der Matrix korrekt ist und die Differenzen zwischen den Umlegungsbelastungen und den Querschnittszählungen über das gesamte Netz konsistent sind. Dies bedeutet, dass durch die Korrektur der Teilmatrix auf einem Querschnitt die Differenzen zwischen der Umlegungsbelastung und dem Zählwert auf einem anderen Querschnitt nicht erhöht werden dürfen. Der Nachteil eines solchen Vorgehens ist, dass es einen sehr grossen Zeitaufwand verlangt.

Die Eichung der Matrix wurde für die Binnen- und Umfahrungsströme durchgeführt. Die Aussenströme (die Ströme aus der Erhebung des grenzen- und alpenquerenden Verkehrs) wurden nicht weiter kalibriert.

Für die Eichung der Binnenverkehrsmatrix wurden die Streckenbelastungen, die sich aus den Grenz- und Alpenquerendenströmen ergeben, als Vorbelastungen definiert. Dazu wurden diese Ströme in einem ersten Schritt auf die Netze umgelegt und die daraus ermittelten Streckenbelastungen in das Binnenverkehrsmodell als Vorbelastungen übernommen. Die aus der Binnenverkehrsmatrix ermittelten Streckenbelastungen und diese Vorbelastungen ergeben die gesamte Streckenbelastung, die mit den Zählwerten verglichen wird. Die Verkehrsströme über die Alpenübergänge wurden aus der Binnenverkehrsmatrix entfernt.

Nachdem alle Fehler im Verkehrsangebot und in den Zonenanbindungen korrigiert worden waren, war ersichtlich auf welchen Querschnitten die Matrix geeicht werden musste. Die Ursachen für die Differenzen auf den betroffenen Querschnitten waren in der Regel Abweichungen in den Modal-Split Verhältnissen bei einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen. Diese Abweichungen können bei Makromodellen, in denen mit einem durchschnittlichen Verkehrsverhalten (nur ein Modellparameter für alle Quell-Ziel-Beziehungen) gerechnet wird, nicht verhindert werden. Wegen der unterschiedlichen soziodemographischen Charakteristiken und der Unterschiede bei den Verkehrsangebotscharakteristiken ist zu erwarten, dass Abweichungen in den Gesetzmässigkeiten zwischen einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen vorhanden sind. Diese Abweichungen lassen sich aber durch Eichungsverfahren sehr plausibel korrigieren.

Da die Aussenzonen in den Grenzregionen deutlich grösser sind als die Binnenzonen in der Schweiz, mussten die Anbindungen der in Grenznähe liegenden Zonen zusätzlich überarbeitet

werden. Hier wurden die Mehrfachanbindungen und die Anbindungszeiten sowie die Nachfrageverteilung pro Anbindung neu festgelegt, so dass die Nachfrageverteilung bzw. die Routenwahl über die Grenzübergänge den Streckenbelastungen aus der Erhebung des alpen- und grenzquerenden Verkehrs entspricht. Im MIV-Modell konnte die Aufteilung der Nachfrage aus der Quellzone auf die Anbindungen in VISUM prozentual festgelegt werden. Da diese Möglichkeit im ÖV-Modell nicht vorhanden ist, musste die Nachfrageverteilung zwischen den Anbindungen durch die Anbindungszeiten definiert werden.

Daran anschliessend wurde zur Korrektur der vorhandenen Differenzen zwischen den Umlegungsbelastungen und den Zählwerten eine Spinnenanalyse der einzelnen Querschnitte durchgeführt. Aus der Analyse der Verkehrsstromverteilung und dem Vergleich der Abweichungen auf anderen Zählstellen über den die Spinnenströme verlaufen, ist es möglich zu bestimmen, welche Ströme unter- bzw. überschätzt sind. Bei einer korrekten Matrixstruktur sollte, wie vorher bereits erwähnt wurde, durch die Korrektur aller über den Querschnitt fahrenden Ströme die Abweichungen auf anderen Querschnitten nicht erhöht werden. Wäre dies der Fall, dürften nur die Teilströme korrigiert werden.

Das folgende Vorgehen wurde hierzu angewendet: Für die Querschnitte mit Abweichungen wurde eine Spinnenmatrix erstellt und entsprechend der Differenz zwischen der Umlegungsbelastung und dem Zählwert korrigiert. Welche Ströme korrigiert werden sollten und mit welchem Korrekturfaktor dies geschehen sollte, wurde aus den Abweichungen am betrachteten Querschnitt und aus der Stromverteilung der betroffenen Zählstellen ermittelt. In den meisten Fällen konnten alle Ströme auf einem Querschnitt mit dem Faktor, der sich aus der Umlegungsbelastung und dem Zählwert ergab, korrigiert werden. Die Korrektur von Teilströmen war in den wenigsten Fällen notwendig. Da die Umlegungsergebnisse der aus VISEVA erstellten ÖV-Matrix über das gesamte Netz höher waren als die Querschnittsbelastungen, wurde diese Matrix zunächst mit einem einheitlichen Korrekturfaktor reduziert und erst danach durch die Spinnenanalyse geeicht. Die Eichung der MIV-Matrix erfolgte nur durch die Spinnenanalyse.

Ergebnisse der Kalibration

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Kalibration sowie die dadurch ermittelten Veränderungen der Matrix und der Querschnittsbelastungen dargestellt. Dafür wurden die nachstehenden Auswertungen der kalibrierten Matrizen durchgeführt:

- Eckwerte der einzelnen Matrizen
- Reiseweiteverteilungen vor und nach der Kalibration
- Netzbelastungen und Abweichungen gegenüber den Querschnittszählungen
- Analyse der Quell-Ziel-Ströme
- Spinnenanalyse auf einzelnen Querschnitten

Eckwerte der einzelnen Matrizen

Kalibriert wurde die gesamte Quell-Ziel-Matrix ohne Unterscheidung des Fahrtzwecks. Aus der kalibrierten Matrix wurden dann in einem weiteren Schritt die Matrizen nach Fahrtzweck berechnet. Die Fahrtzweckanteile einer Quell-Ziel-Beziehung wurden aus der Ausgangsmatrix übernommen. Die Eckwerte der Ausgangs- sowie der kalibrierten Binnenverkehrsmatrix sind in Tabelle 39 dargestellt.

Tabelle 39 Quell-Zielmatrizen vor und nach der Kalibration

	Vor Kalibration	Nach Kalibration	Veränderung in %
	In Mio. Wege		
MIV-Matrix	10.184	10'060	1.2%
ÖV-Matrix*	2.133	1.797	15.7%
Summe	12.317	11.857	3.7%

(*) Die Ausgangsmatrix (3.2 Mio. Wege) wurde in einem ersten Schritt mit einem einheitlichen Korrekturfaktor reduziert.

Wie in Tabelle 39 zu sehen ist, wurde die MIV-Matrix durch die Kalibration deutlich weniger verändert als die ÖV-Matrix. Dies entspricht den Abweichungen der Ausgangsmatrizen von den Querschnittszählungen. Obwohl die Struktur der ÖV-Matrix ungefähr die gleiche Qualität wie die der MIV-Matrix gehabt hat, waren die Belastungen auf dem Abschnitt Biel-Lausanne-Genf und im Raum Zürich bei den Querschnittszählungen überschätzt, so dass die Verkehrsströme über diese Abschnitte reduziert werden mussten.

Tabelle 40 weist die Kennzahlen des MIV-Binnennetzes (MIV Netz in der Schweiz) aus. Dazu gehören die Anzahl von Strecken, die Länge und die Personenkilometer nach Streckentypen. Die Personenkilometer umfassen dabei alle auf dem Schweizer Netz zurückgelegten Fahrten, einschliesslich der Aussen- und Transitströme.

Tabelle 40 Kennzahlen des kalibrierten Binnennetzes (MIV)

	Anzahl	Länge (km)	Personen-km
Gesamtnetz Schweiz	19'689	23'962	165'972'036
Autobahnen	780	1'372	65'583'232
Autostrassen	327	381	6'192'337
Hauptstrassen ausserorts	4'131	5'363	42'007'473
Verbindungsstrasse ausserorts	4'462	5'620	17'274'132
Sammel- und Erschliessungsstrasse ausserorts	7'142	9'544	14'354'308
Hauptstrasse innerorts	1'564	837	10'444'199
Verbindungs- und Sammelstrasse innerorts	1'257	746	3'418'032
Fähren und Autoverlad	6,00	99	95'341

Analog sind die Kennzahlen für das ÖV-Binnennetz (ÖV-Netz in der Schweiz) in Tabelle 41 aufgeführt.

Tabelle 41 Kennzahlen des kalibrierten Binnennetzes (ÖV)

	Anzahl	Länge (km)	Personen-km
Gesamtnetz Schweiz	16'282	21'584	44'735'720
Bahnstrecken	1'916	5'147	40'013'086
Fährverbindungen	1	2.5	316
Busstrecken	14'365	16'435	4'722'318

Die gesamte Anzahl an Wegen sowie die berechneten Personenkilometer nach Fahrtzwecken im Binnen- und Aussenverkehr (im Bezug auf die Quell-Ziel-Matrix) sind in Tabelle 42 dargestellt.

Tabelle 42 Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung der kalibrierten Quell-Zielmatrix

Mio. Personen Wege			Mio. Personen-km		Mitt. Reiseweite (km)		
MIV		ÖV	MIV		ÖV	MIV	ÖV
Binnenverkehr, DWV							
Pendler	3.0	1.1	39.5		20.7	13.4	18.6
Nutzfahrt	0.7	0.0	16.0		3.3	22.8	73.0
Einkauf	1.5	0.2	18.6		1.9	12.1	11.8
Freizeit	4.9	0.5	81.8		15.2	16.8	32.2
Summe	10.1	1.8	155.9		41.2	15.5	22.9
Binnen- und Aussenverkehr, DWV							
Pendler	3.2	1.1	56.0		20.8	17.5	18.6
Nutzfahrt	0.8	0.0	27.9		5.5	36.3	111.1
Einkauf	1.7	0.2	29.8		2.1	17.1	13.1
Freizeit	5.3	0.5	138.3		26.4	26.3	52.1
Summe	11.0	1.8	252.0		54.9	23.0	29.9

Zur Berechnung der PW-Fahrten für das MIV-Modell wurden die in Tabelle 43 dargestellten Besetzungsgrade verwendet. Die daraus berechneten Fahrzeugfahrten und Fahrzeugkilometer für die gesamten Ströme (Binnen- und Aussenströme) sind ebenfalls in dieser Tabelle dargestellt.

Tabelle 43 Besetzungsgrade, Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung (Binnen- und Aussenverkehre) im MIV

	Besetzungsgrad*	Mio. Personen Wege	Mio. PW-Fahrten	Mio. PW-Km
Binnen- und Aussenverkehr				
Pendler	1.14	3.2	2.8	49.1
Nutzfahrt	1.27	0.8	0.6	22.0
Einkauf	1.62	1.7	1.1	18.4
Freizeit	1.75	5.3	3.0	79.0
Summe	1.46	11.0	7.5	168.5

(*) Besetzungsgrade für DWV, entsprechend MZ Verkehr 2000

Reiseweiteverteilung

Für die Überprüfung der Matrixstruktur bzw. für die Analyse der Veränderung der Matrixstruktur durch die Kalibration, wurde ein Vergleich der Reiseweiteverteilungen vor und nach der Kalibration durchgeführt. Dieser Vergleich ist in den Abbildung 39 bis Abbildung 43 dargestellt. Aus diesen Abbildungen ist ersichtlich, dass sich die Struktur der Matrix bei allen Fahrtzwecken durch die Kalibration nicht verändert hat. Vielmehr wurde durch die Eichung der Matrix die Differenz in der Reiseweiteverteilung zwischen den Erhebungsdaten (hier Mikrozensus Verkehr und Pendlerstatistik aus der Volkszählung) und der Modellmatrix weiter minimiert. Damit wurde das Ziel dieses Arbeitsschrittes erreicht: die Qualität der Quell-Ziel-Matrix wurde sowohl durch die reduzierten Abweichungen zwischen den Querschnittszählungen und den Umlegungsbelastungen als auch durch die zusätzliche Eichung der Matrixstruktur mit den Erhebungsdaten erhöht

Abbildung 39 Reiseweiteverteilung: Alle Fahrtzwecke

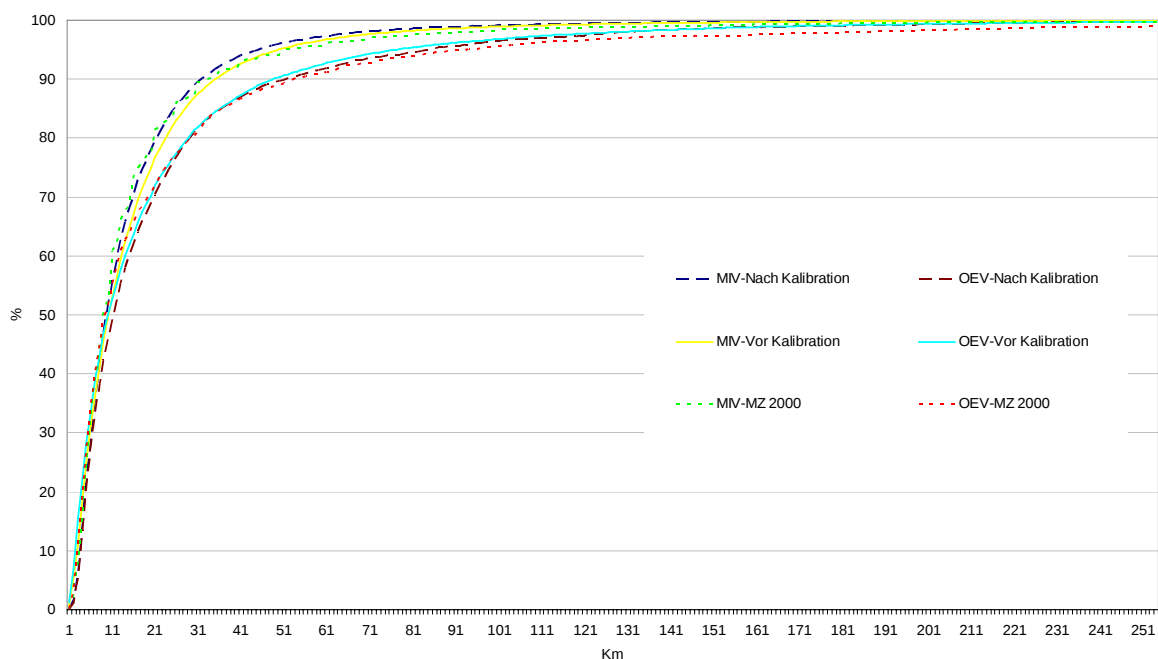


Abbildung 40 Reiseweiteverteilung: Fahrtzweck Pendler

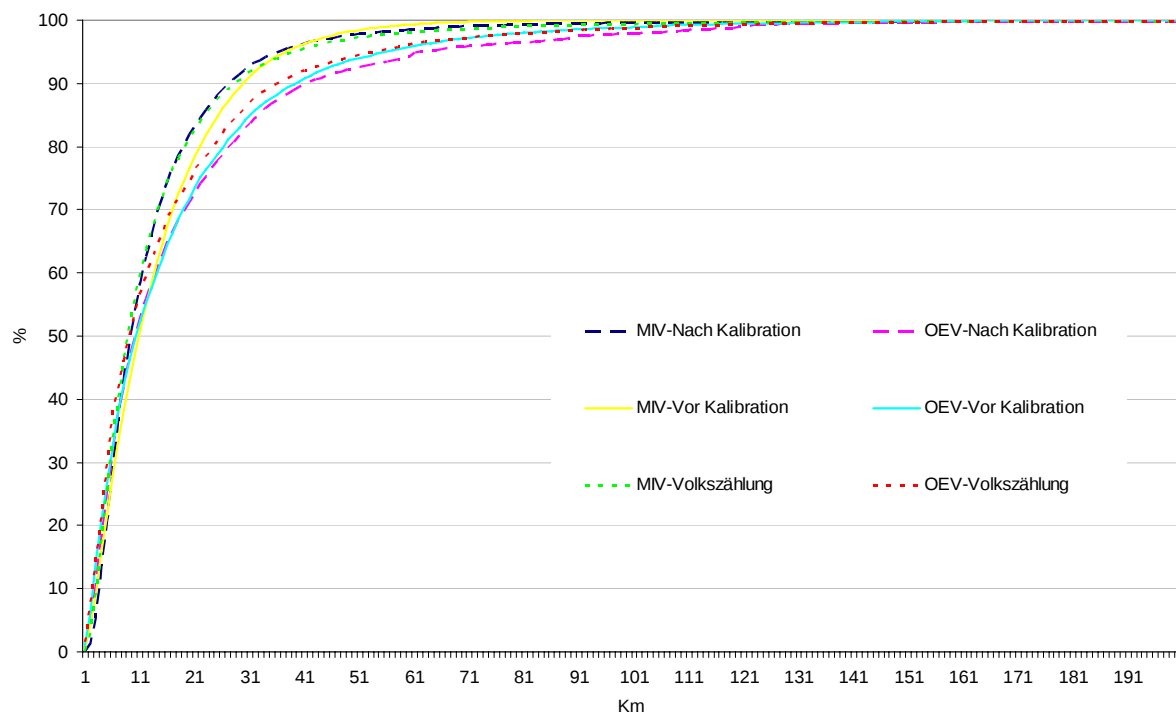


Abbildung 41 Reiseweiteverteilung: Fahrtzweck Nutzfahrt

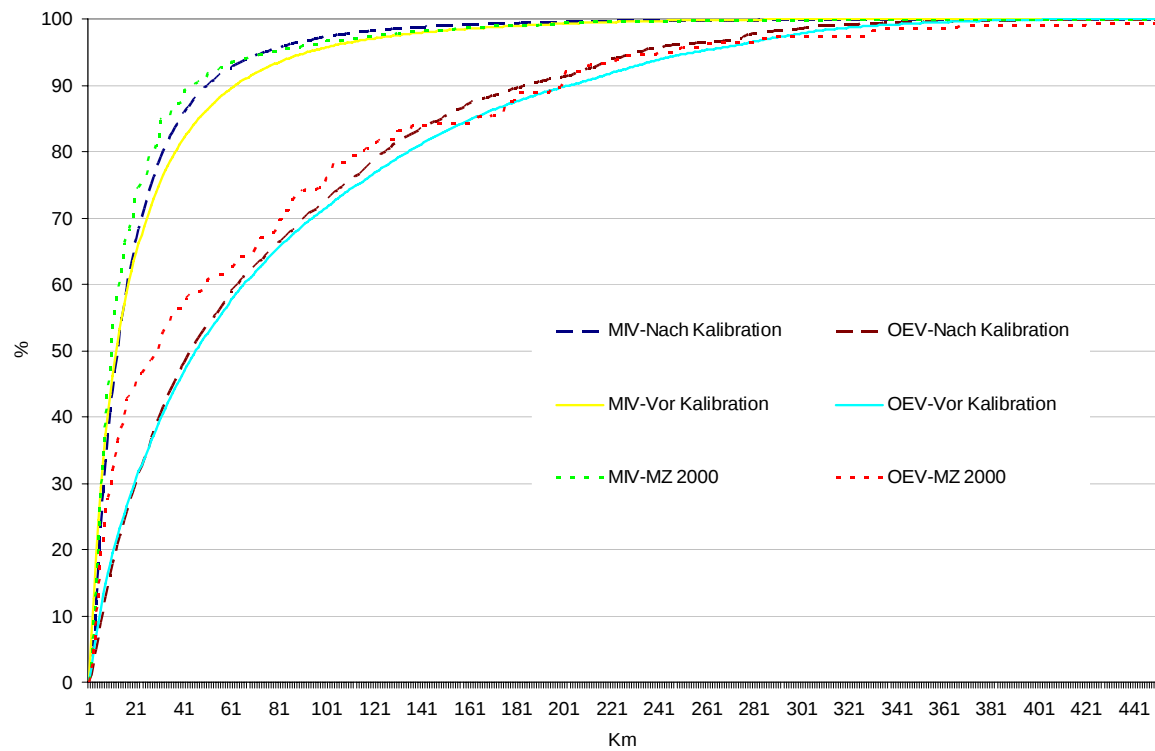


Abbildung 42 Reiseweiteverteilung: Fahrtzweck Einkauf

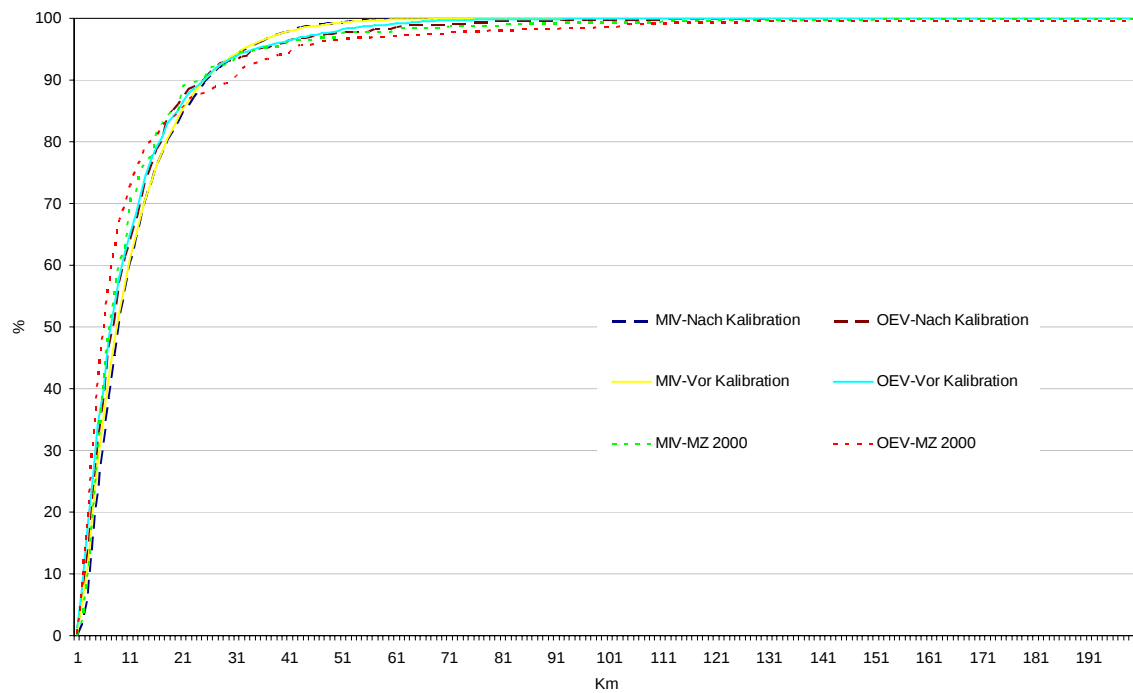
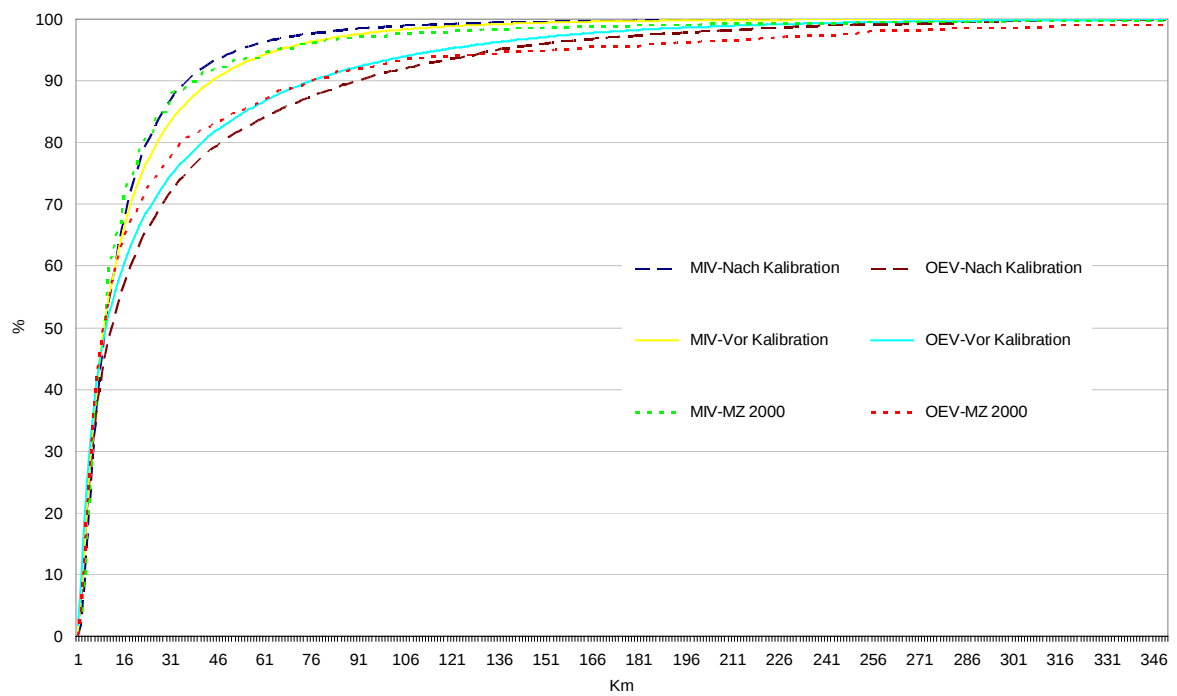


Abbildung 43 Reiseweiteverteilung: Fahrtzweck Freizeit



Vergleich der Netzbelastungen mit den Querschnittszählungen

Die Umlegung der geeichten Quell-Ziel-Matrix und der Vergleich der daraus ermittelten Streckenbelastungen mit den Querschnittszählungen ist ein weiteres Kriterium um die Qualität der Quell-Ziel-Matrix zu beurteilen. Für eine verlässliche Modellanwendung ist es neben einer realitätsentsprechenden Matrixstruktur wichtig, dass die Abweichungen gegenüber den Zähl-daten minimal sind und damit bei der Schätzung von Nachfrageauswirkungen die vollständige Verkehrsnachfrage betrachtet werden kann.

Die statistische Analyse der Modellbelastungen und den Zähl-daten ist in Tabelle 44 ersicht-lich.

Tabelle 44 Statistische Analyse: Modellbelastungen und Zähl-daten

	MIV-Modell	ÖV-Modell
Anzahl Zählstellen	602	1210
Mittlere gewichtete Abweichung der Absolutwerte in %	5.97	7.68
Korrelationskoeffizient	0.99	0.99
Wurzel aus mittlerer quadrati- scher Abweichung (RMSE)	841.98	683.53

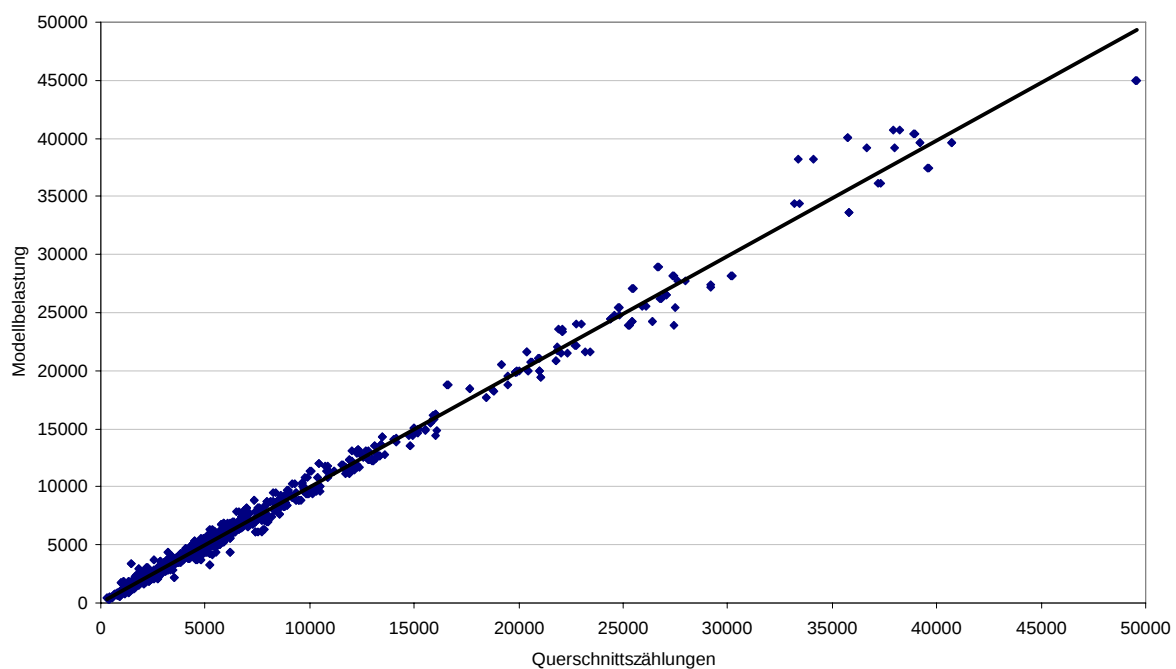
Bei der Erstellung von Netzmodellen sind niedrigere Abweichungen als die hier berechneten selten möglich. Die Unsicherheiten und die Fehler bei den Erhebungsdaten (sowohl bei den Zähl-daten als auch bei den Angebots- und anderen Nachfragedaten) führen dazu, dass eine vollständige Konsistenz kaum zu erreichen ist. Dabei muss beachtet werden, dass bei der Ei-chung des Modells alle Modellkomponenten soweit wie möglich realitätsentsprechend darge-stellt werden sollen. Dies bedeutet, dass sowohl Inputdaten wie Netzattribute und Modellpa-rameter als auch die Matrixstruktur und daraus abgeleitete Streckenbelastungen korrekt abge-bildet werden sollen. Die hier berechneten Differenzen sind eine weitere Bestätigung der Konsistenz des gesamten Modells.

Die verbleibenden Abweichungen im MIV-Modell sind vor allem auf die Zählstellen in In-nerortsnetzen und auf den in den Zählwerten beinhalteten intrazonalen Verkehr zurückzufüh-ren. Im ÖV-Modell sind die Abweichungen auf einigen Strecken mit regionalem Verkehr vor allem durch die offensichtlich nicht vollständigen Zähl-daten verursacht worden. Wie im vor-herigen Kapitel erwähnt, wurde bei der Analyse der Pendlerstatistik aus der Volkszählung und der Strukturdaten der Gemeinden festgestellt, dass in den vorhandenen Zähl-daten auf einigen

Strecken das Verkehrsaufkommen von Regionalbahnhöfen nicht korrekt berücksichtigt wurde. Dies hat dazu geführt, dass die Streckenbelastungen im Verkehrsmodell auf diesen Strecken über den Zählwerten liegen.

Der Vergleich der Modellbelastungen mit den Zählwerten im MIV ist in Abbildung 44 dargestellt. In dieser Abbildung ist zu sehen, dass bei den meisten Strecken die Abweichungen zwischen Modellbelastung und Zählwert minimal sind. Bei ca. 80% der Strecken sind die Abweichungen kleiner als 10% und bei 95% der Strecken kleiner als 20%. Die 5% der Strecken, die eine grössere Abweichung als 20% aufweisen, sind vor allem innerorts auf Strassen mit intra-zonalem Verkehr, welcher im Modell nicht abgebildet wird, zu finden.

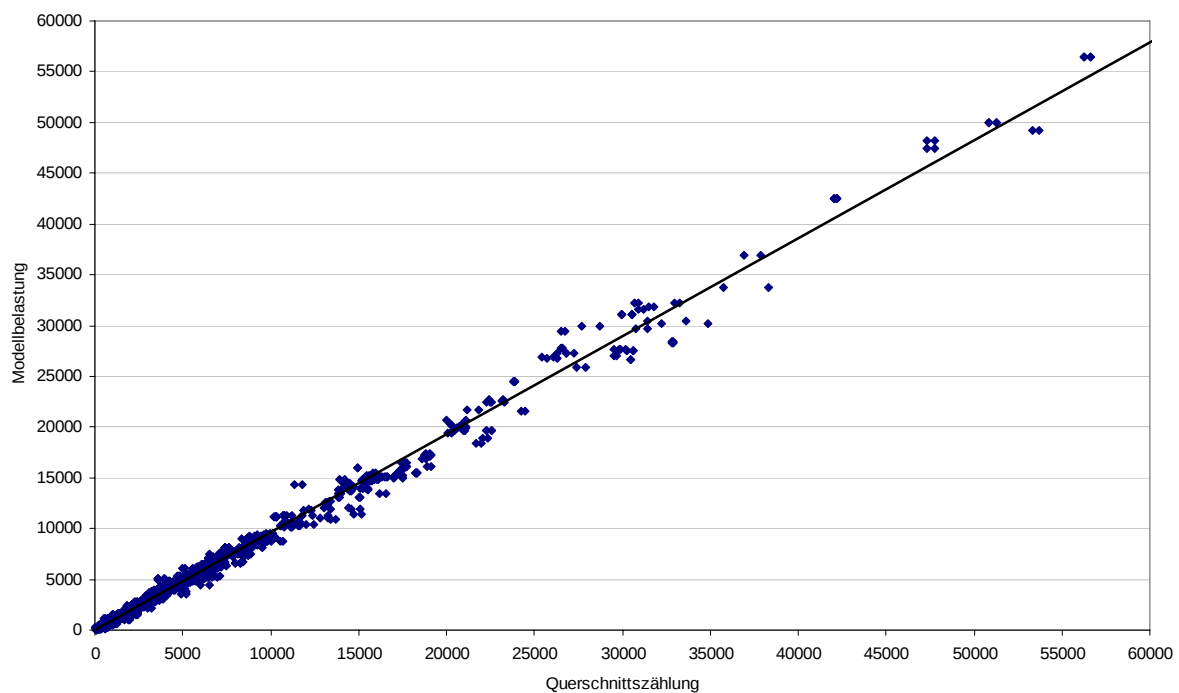
Abbildung 44 Vergleich der Streckenbelastungen aus Modell und Zählung - MIV



Der Vergleich der Streckenbelastungen aus dem ÖV-Modell mit den betrachteten Querschnittswerten ist in Abbildung 45 dargestellt. Die relativen Abweichungen unterscheiden sich nur unwesentlich von den Abweichungen im MIV-Modell. Dabei ist zu bemerken, dass durch die vorher erwähnten Unsicherheiten bei den Querschnittsdaten die Anzahl der Querschnitte mit Abweichungen >10% höher ist als im MIV-Modell. Diese Abweichungen sollten aber nicht als Schwäche des Modells verstanden werden, sondern als Lücke in den Datener-

hebungen. Insgesamt sind bei 82% der Strecken die Abweichungen kleiner als 20%. Bei ca. 10% der Strecken sind die Differenzen höher als 30%. Bei diesen Strecken handelt es sich vor allem um die Strecken in Agglomerationen mit unterschätzten Zählwerten (siehe unten, sowie Kapitel 7).

Abbildung 45 Vergleich der Streckenbelastungen aus Modell und Zählung - ÖV



Die räumliche Verteilung der Abweichungen zwischen den Netzbelastungen mit geeichten Quell-Zielmatrizen und den Querschnittszählungen ist für den MIV in Abbildung 46 bis Abbildung 56 dargestellt. Abbildung 57 bis Abbildung 66 zeigen dies für den ÖV. Es ist festzustellen, dass die relativen Abweichungen im MIV insgesamt nur gering sind. Sie betreffen vor allem Strassen mit höheren Anteilen an intrazonalem Verkehr. Im ÖV-Modell hingegen sind die Differenzen gegenüber den Zähldaten vor allem auf den Agglomerationsstrecken mit einem höheren Anteil an regionalem Verkehr grösser. Wie in Kapitel 8 erläutert, sind die Streckenbelastungen im Modell auf diesen Strecken korrekterweise höher als die Zähldaten.

Abbildung 46 Streckenbelastungen aus der MIV-Matrix

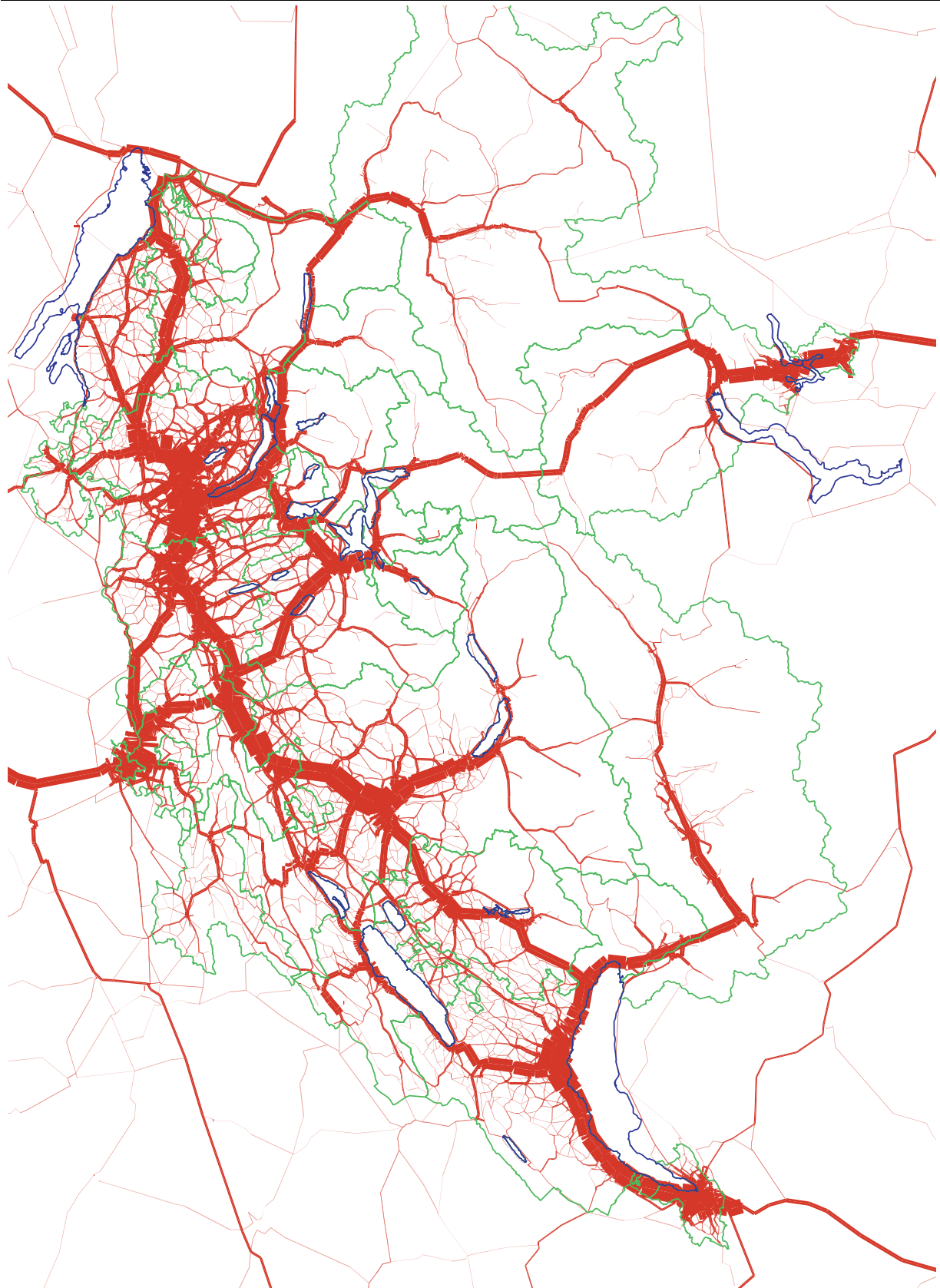
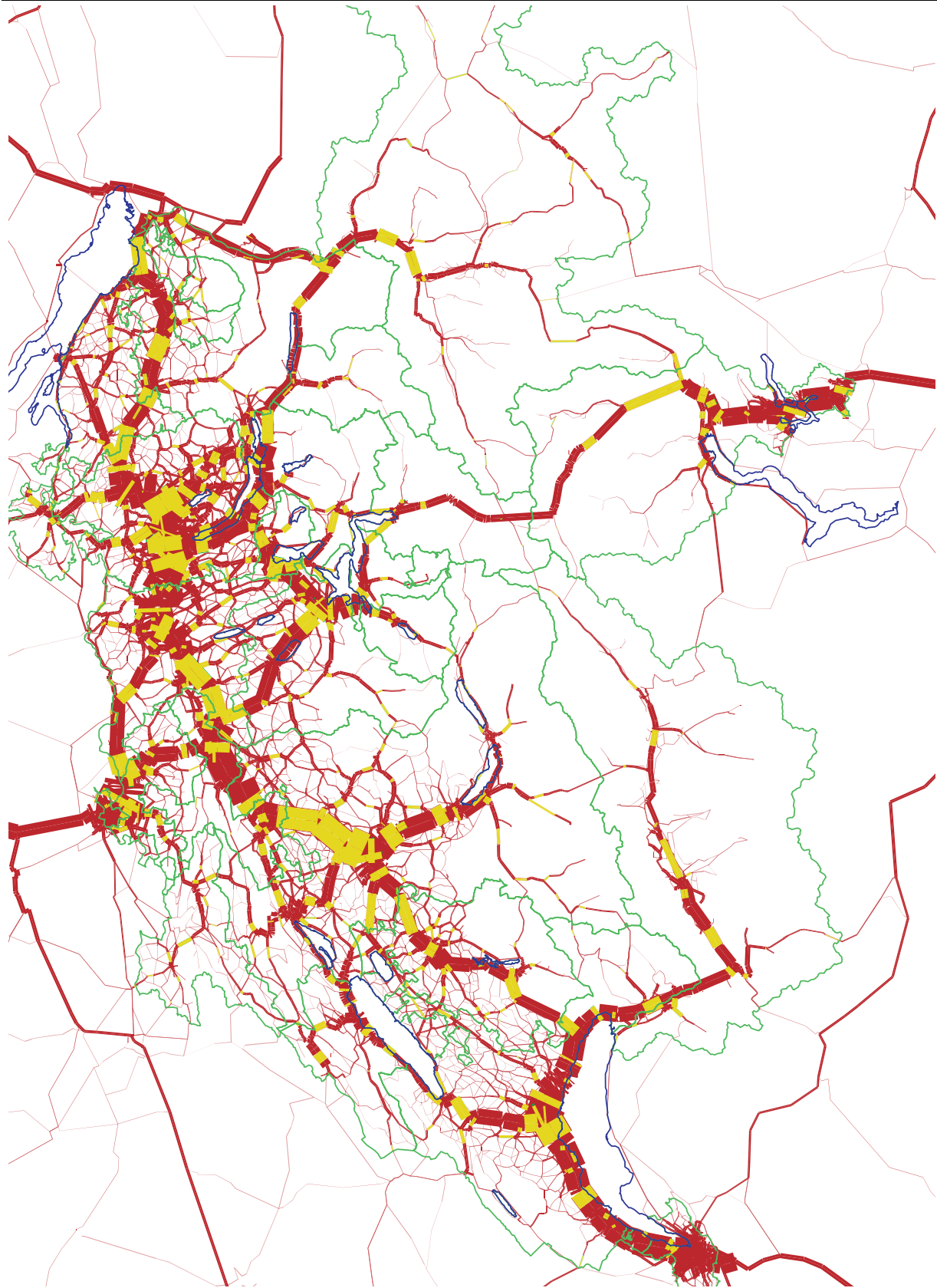
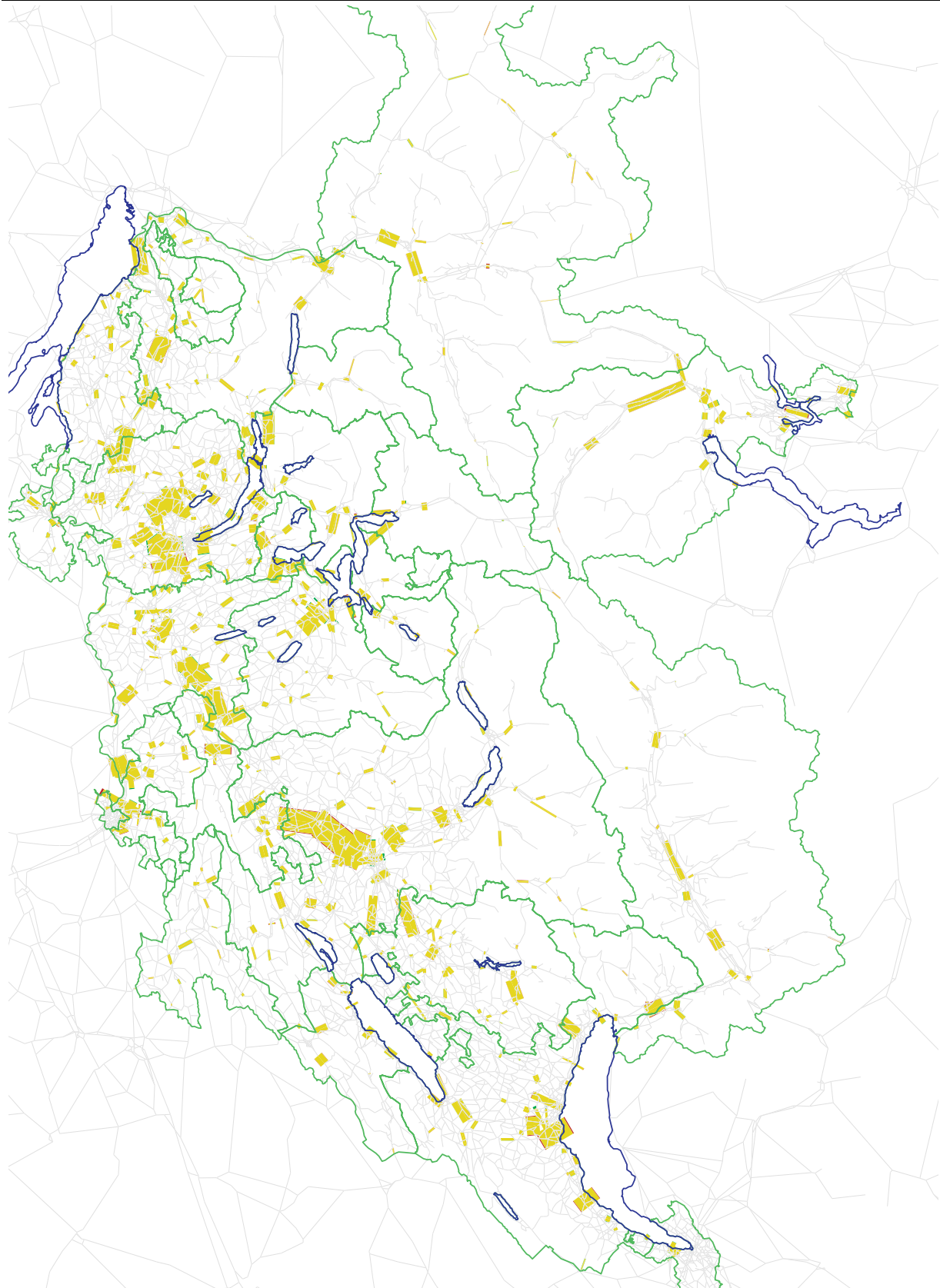


Abbildung 47 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen aus der MIV-Matrix



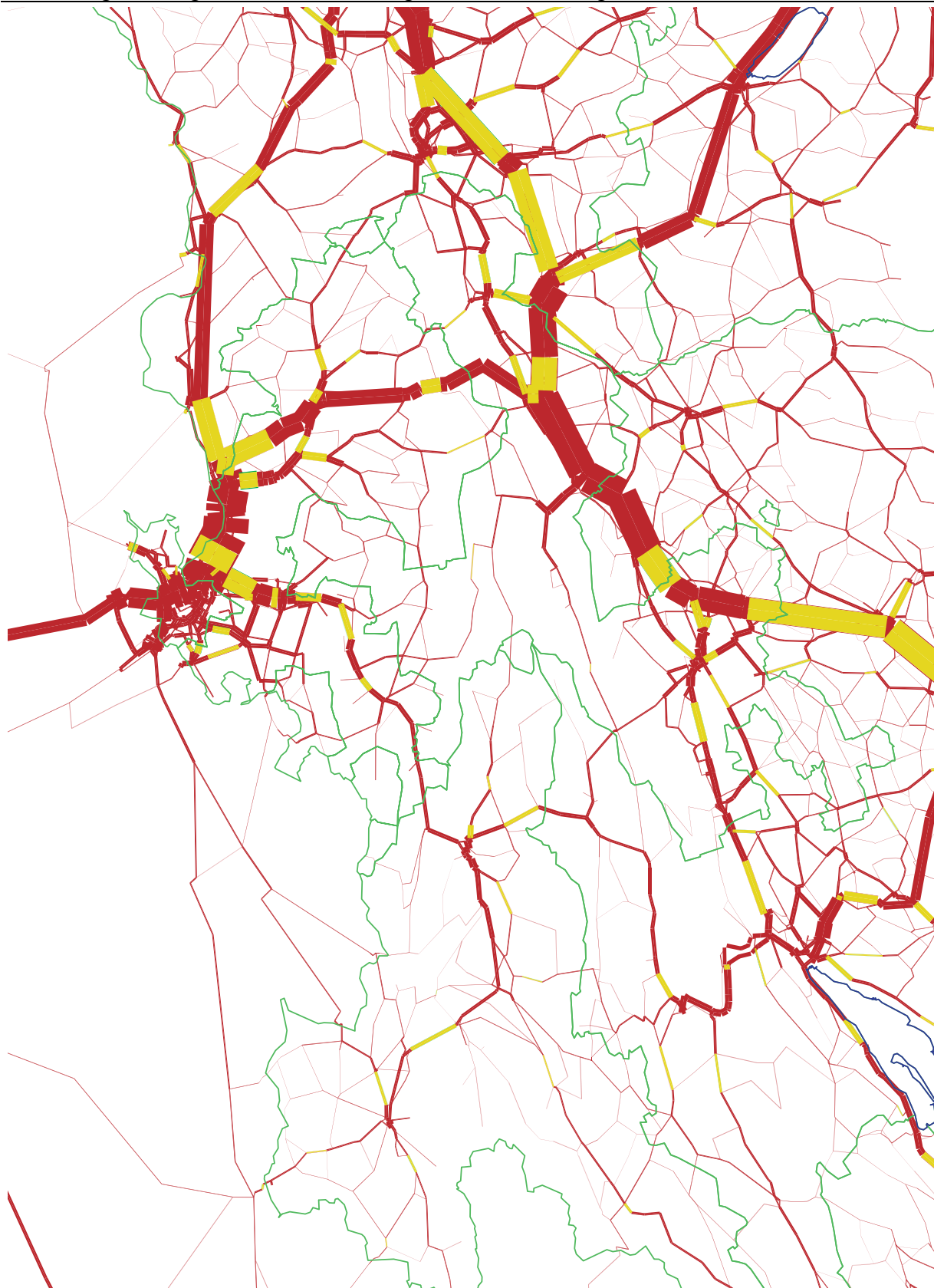
gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zu viel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 48 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen MIV (nur Zählstellen)



gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 49 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen aus der MIV-Matrix : Basel



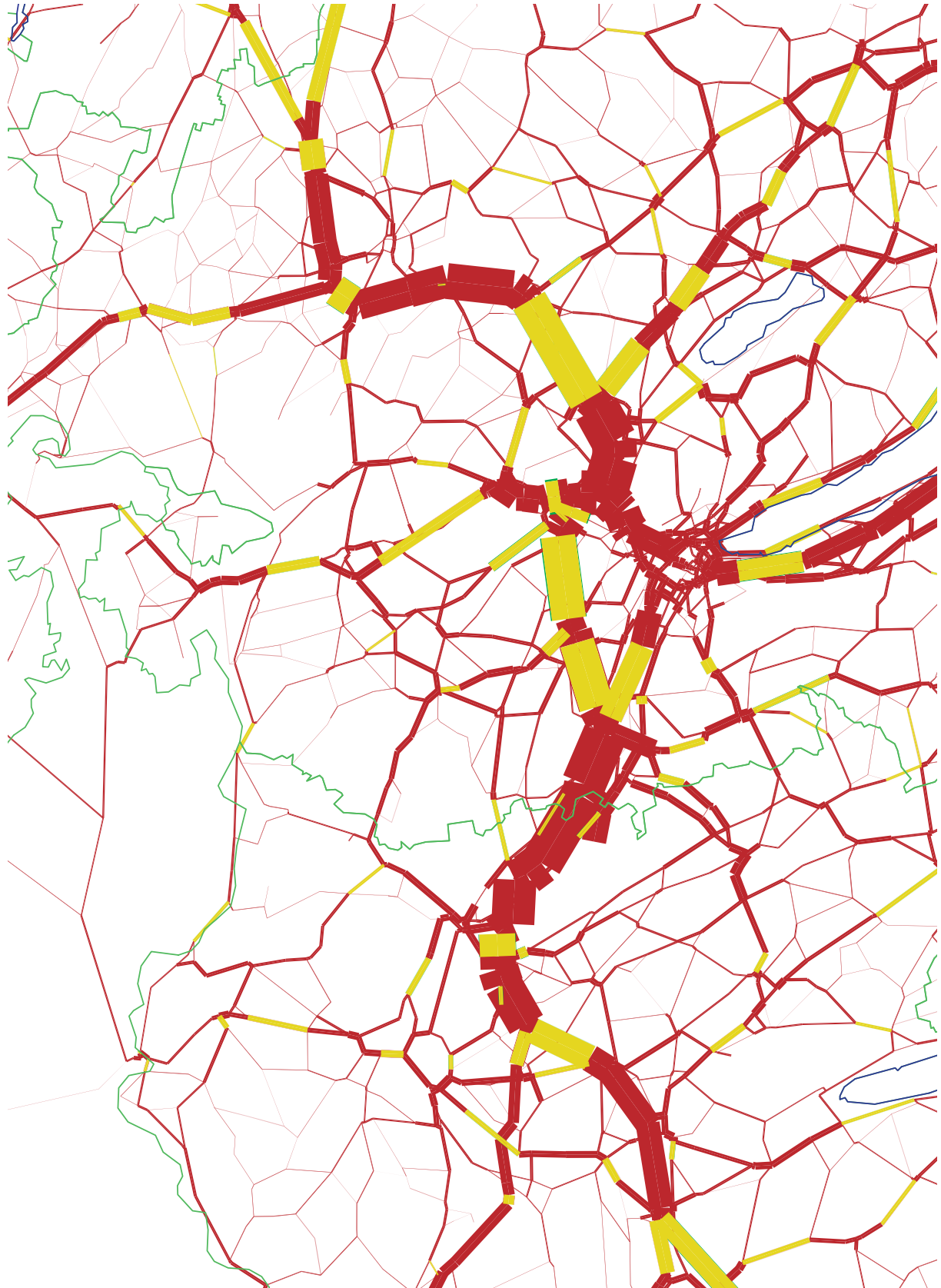
gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 50 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen aus der MIV-Matrix: Bern



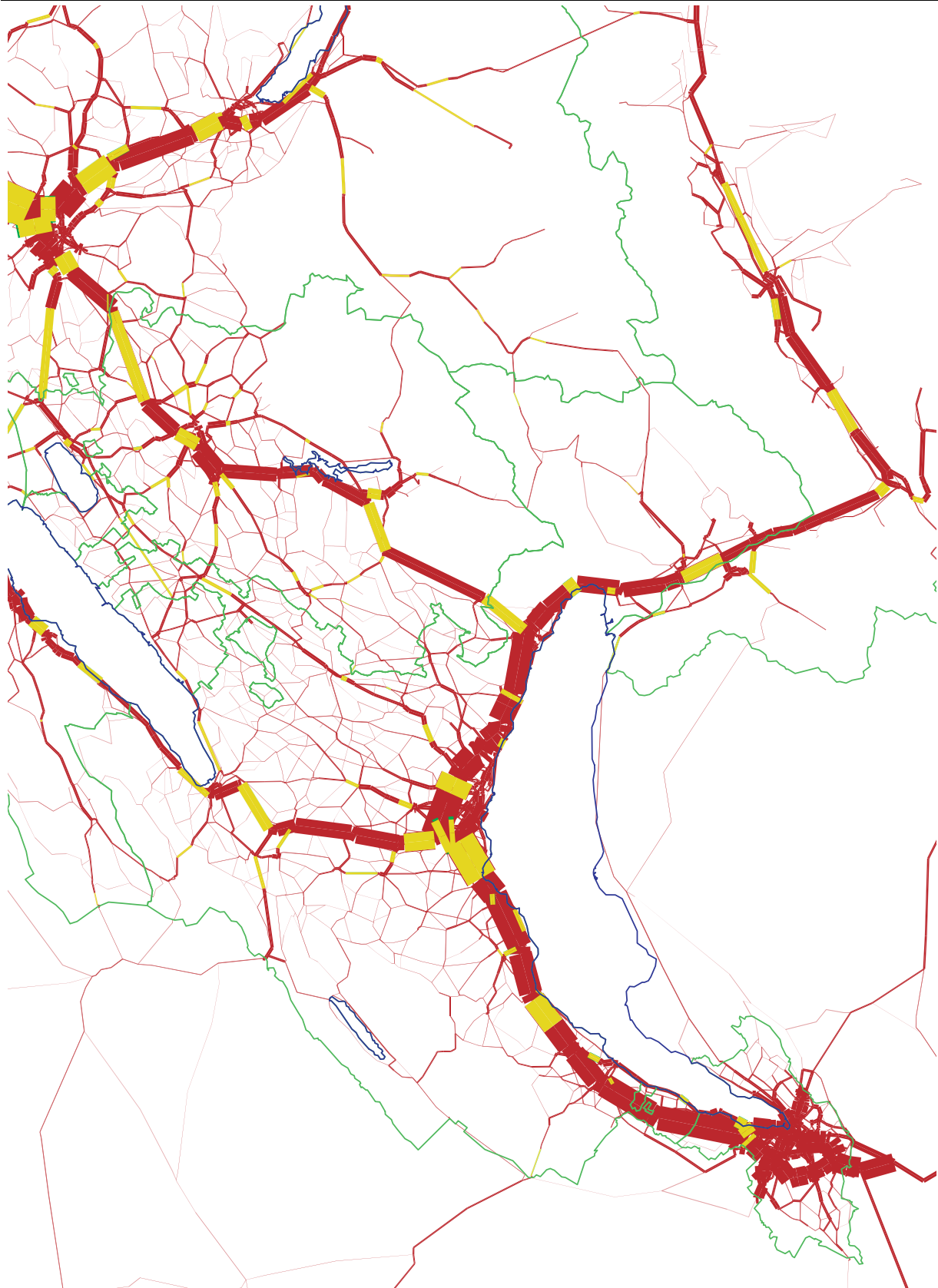
gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 51 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen aus der MIV-Matrix: Zürich



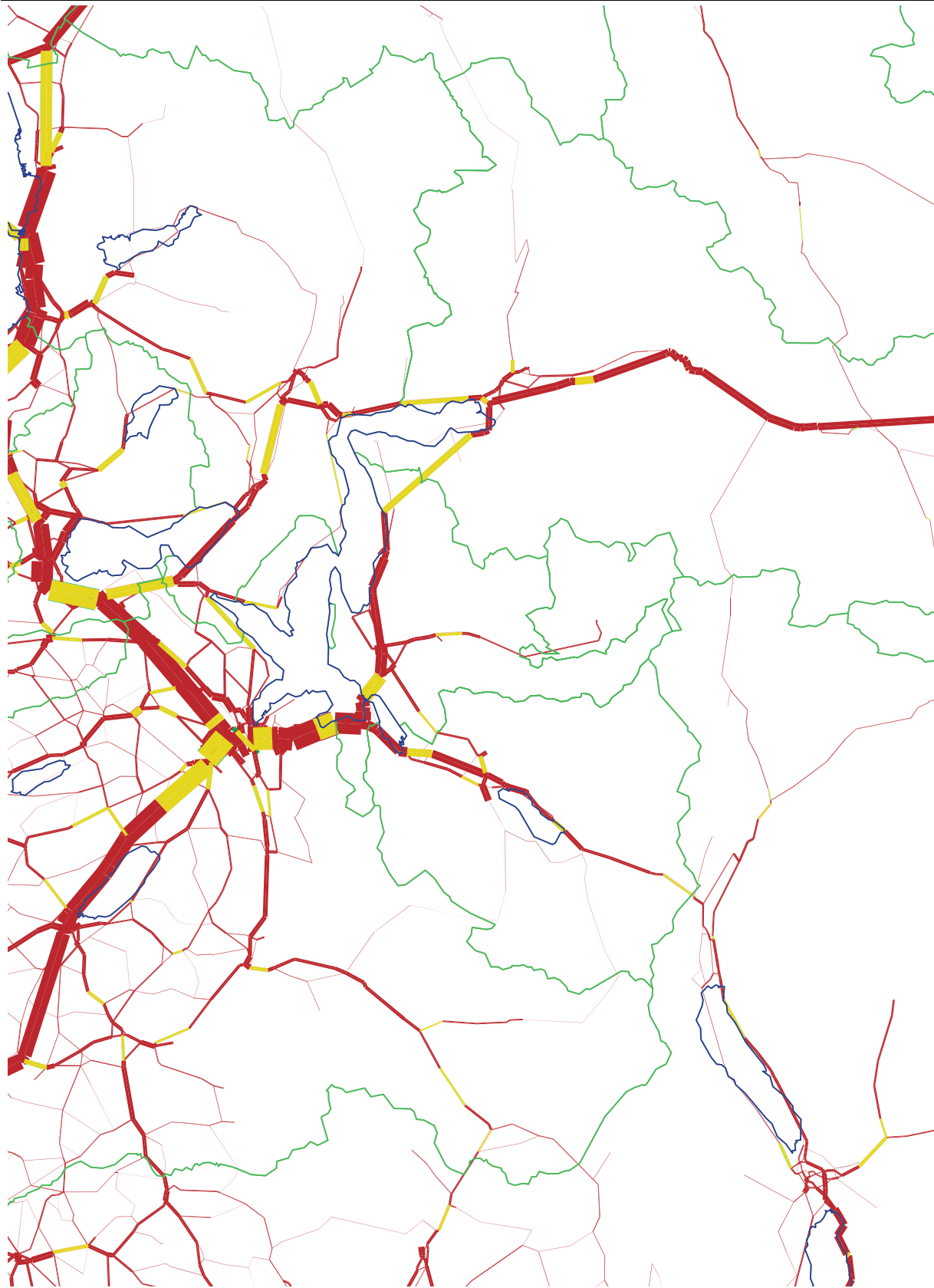
gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 52 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen aus der MIV-Matrix: Genf



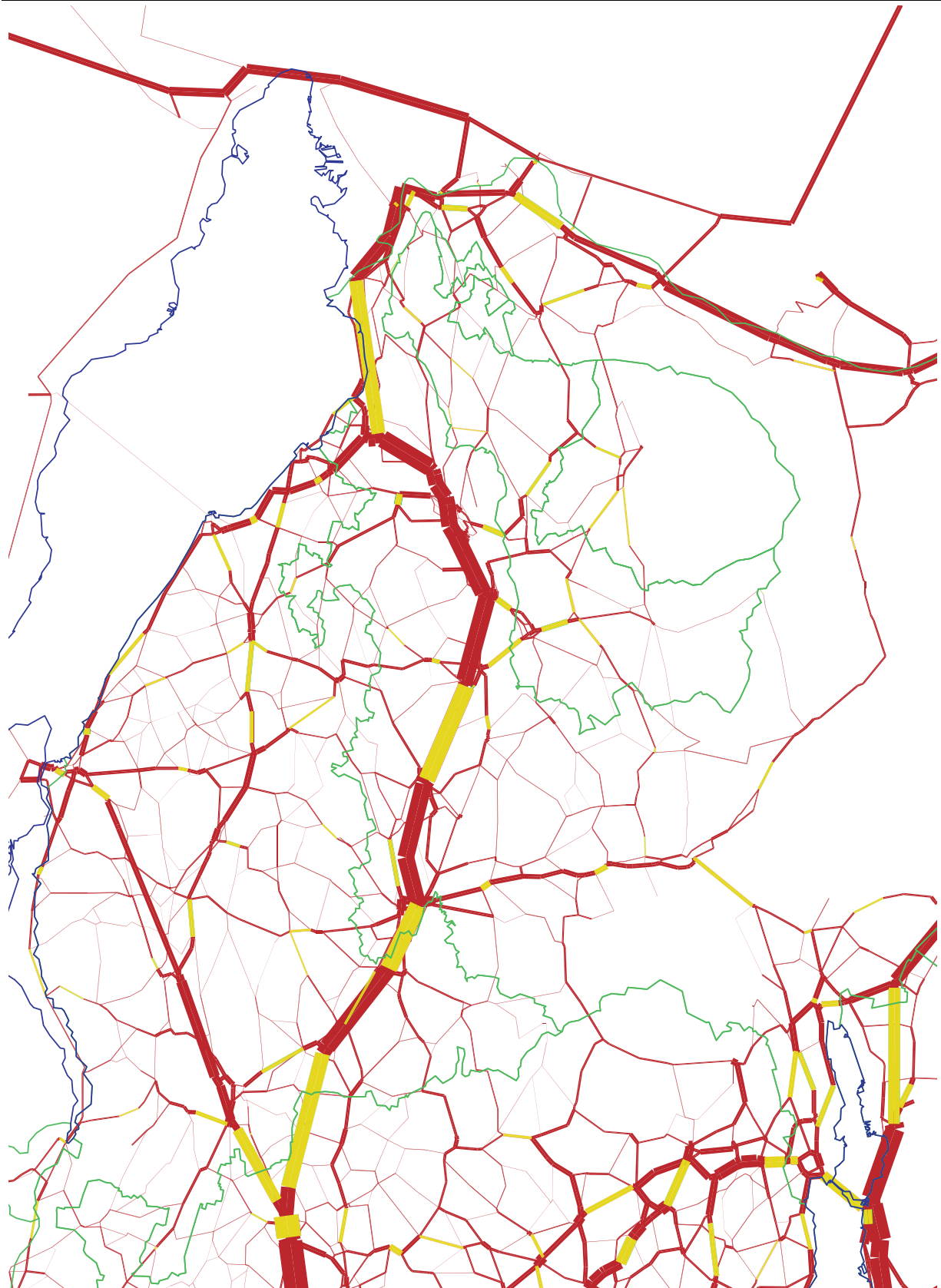
gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 53 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen aus der MIV-Matrix: Luzern



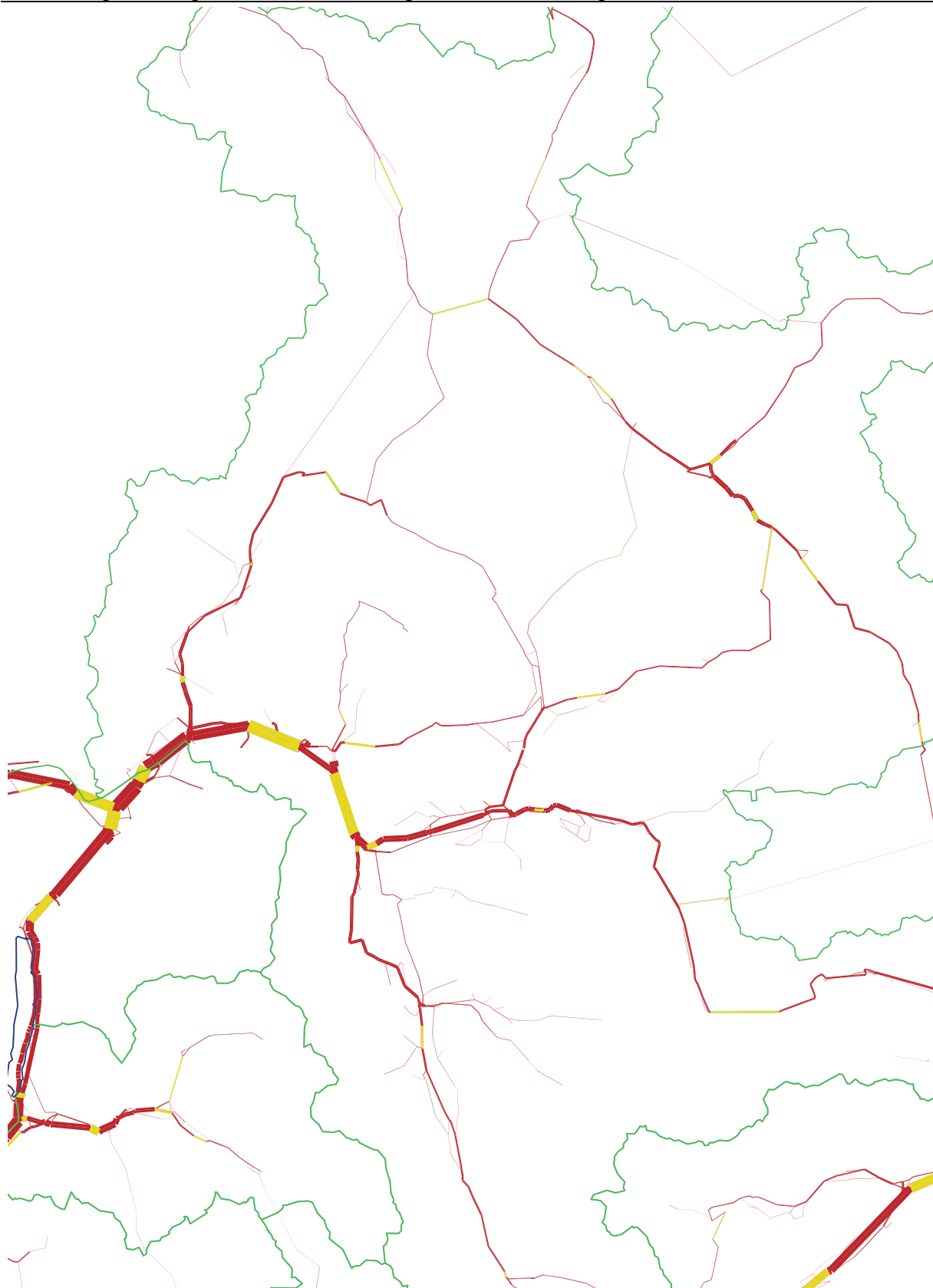
gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 54 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen aus der MIV-Matrix: St.Gallen



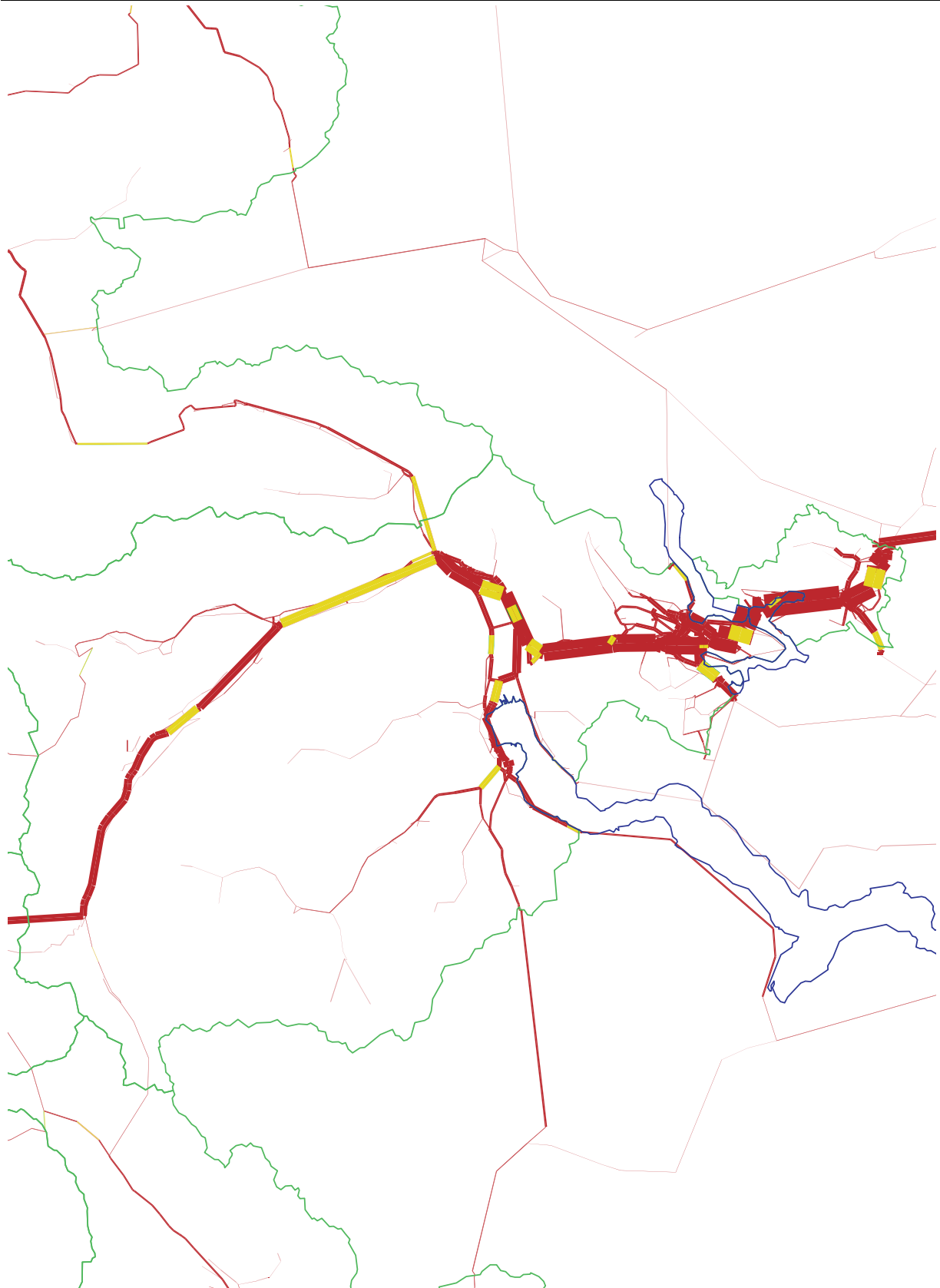
gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 55 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen aus der MIV-Matrix: Chur



gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 56 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen aus der MIV-Matrix: Tessin



gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 57 Streckenbelastungen aus der ÖV-Matrix

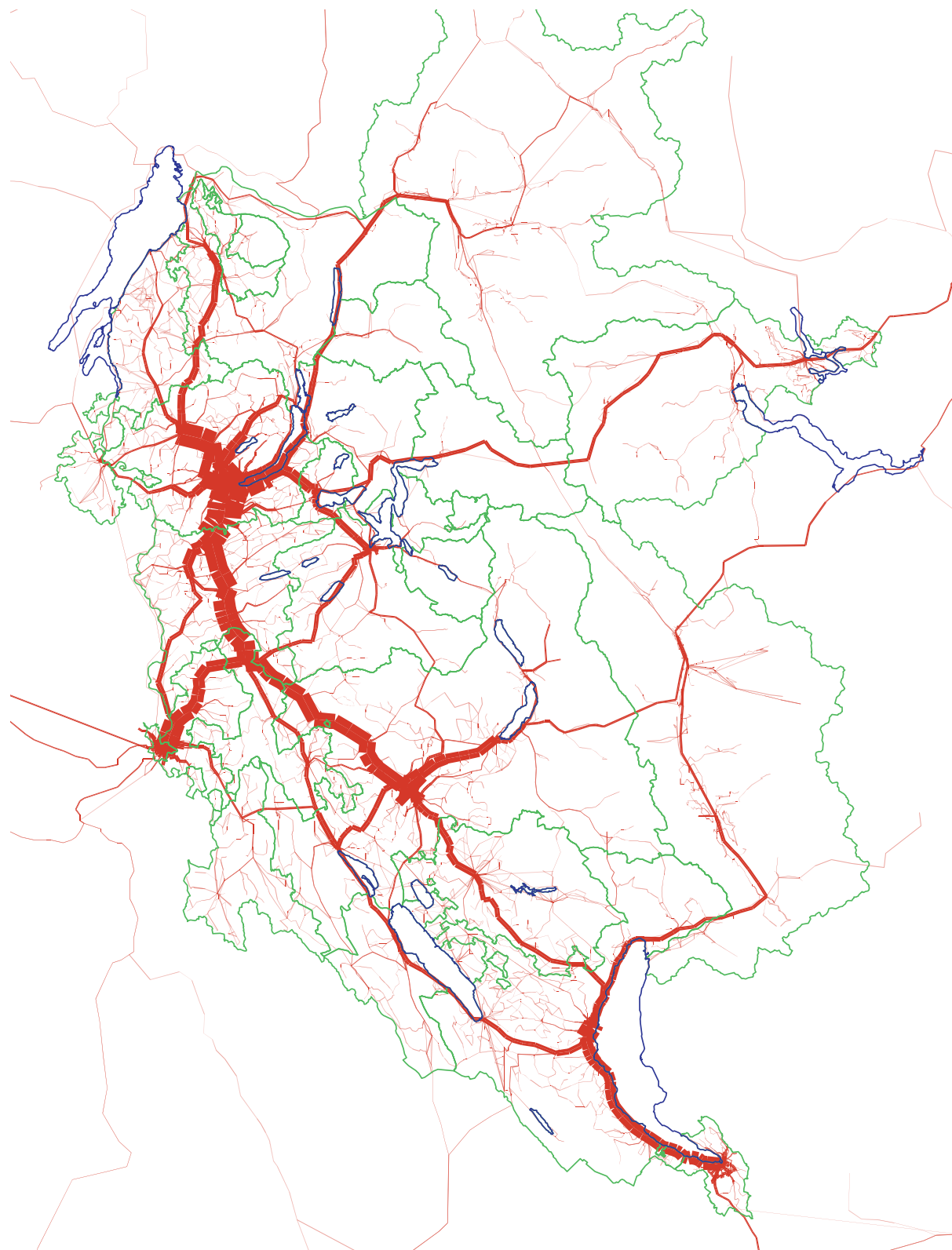
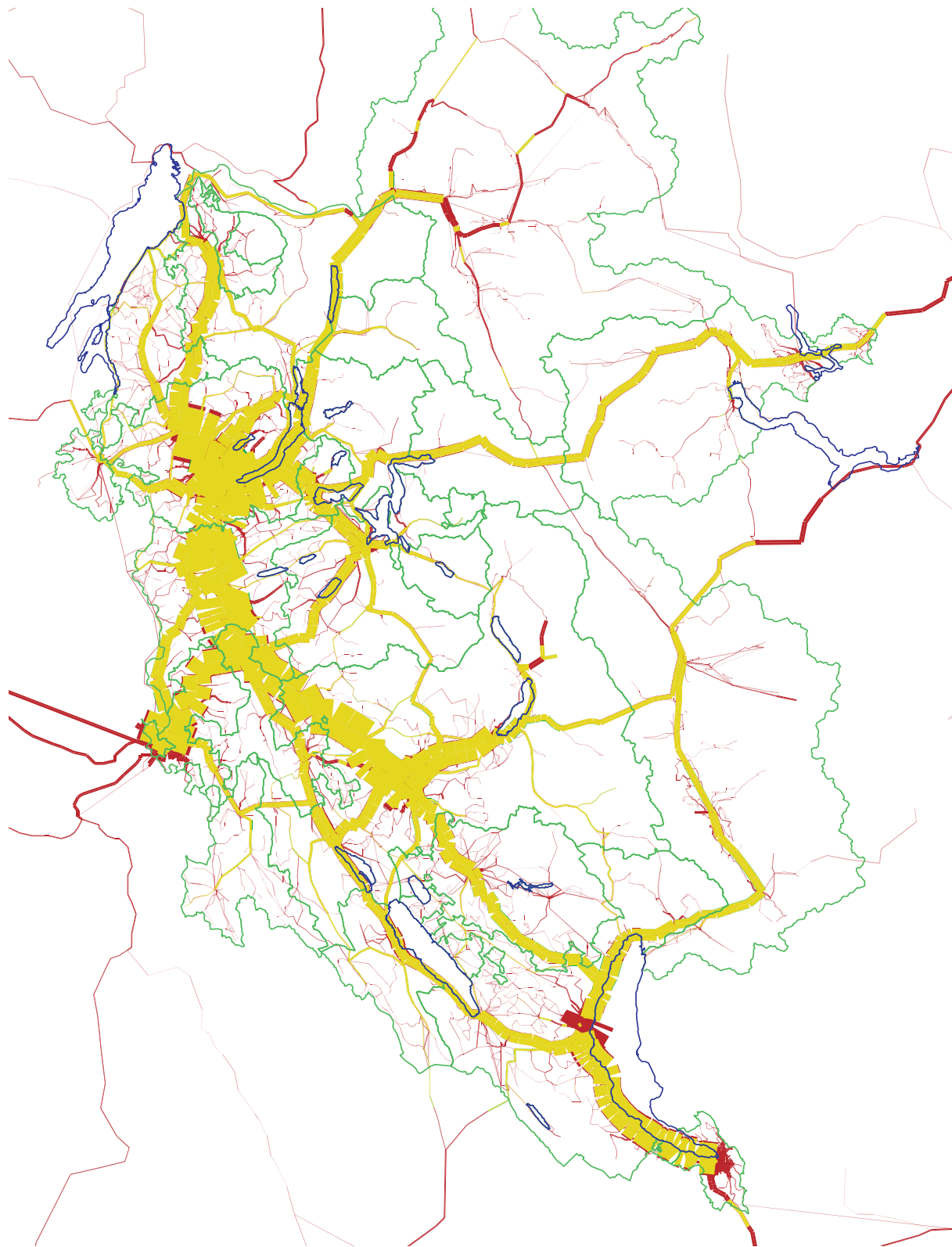
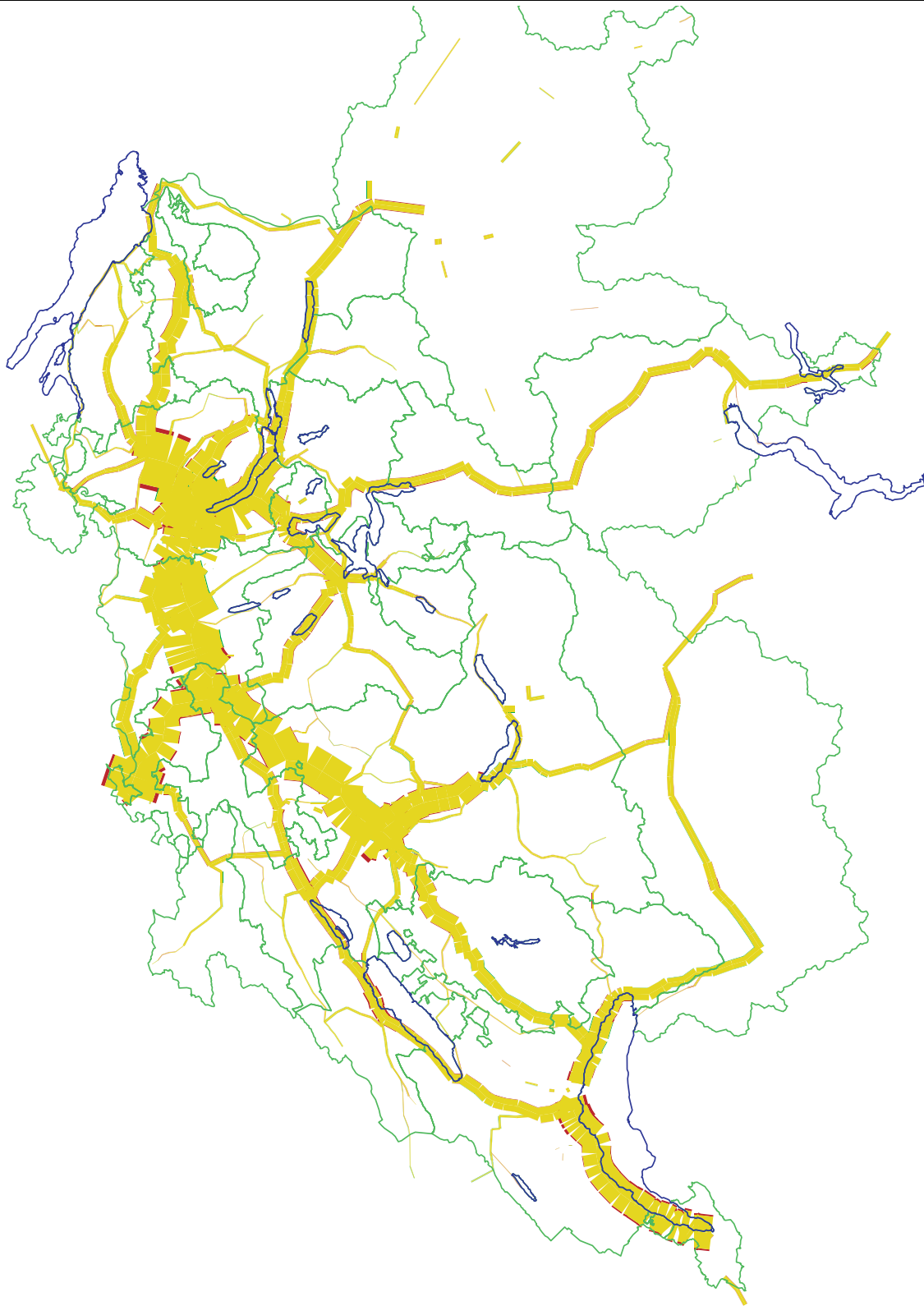


Abbildung 58 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen aus der ÖV-Matrix



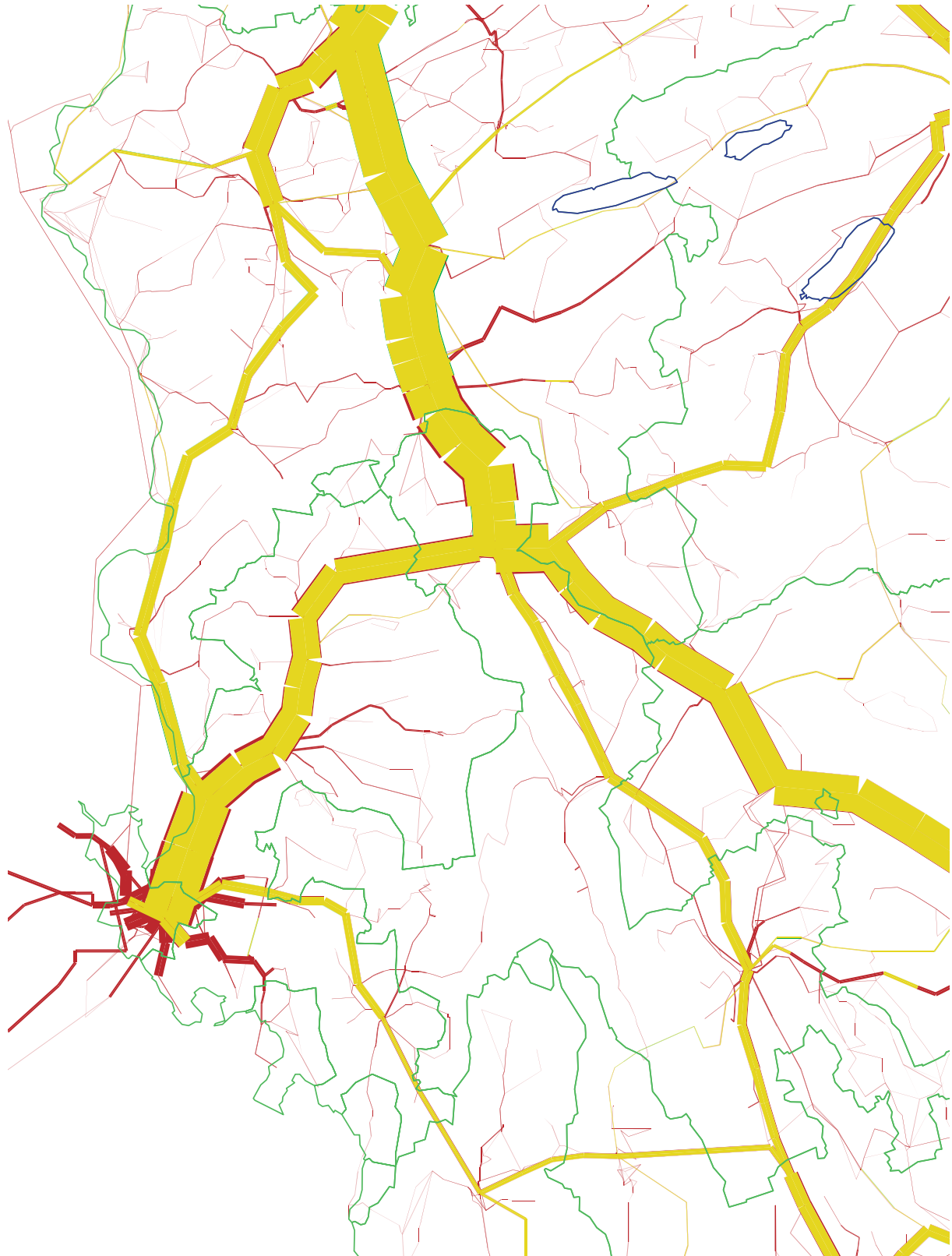
gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 59 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen ÖV (nur Zählstellen)



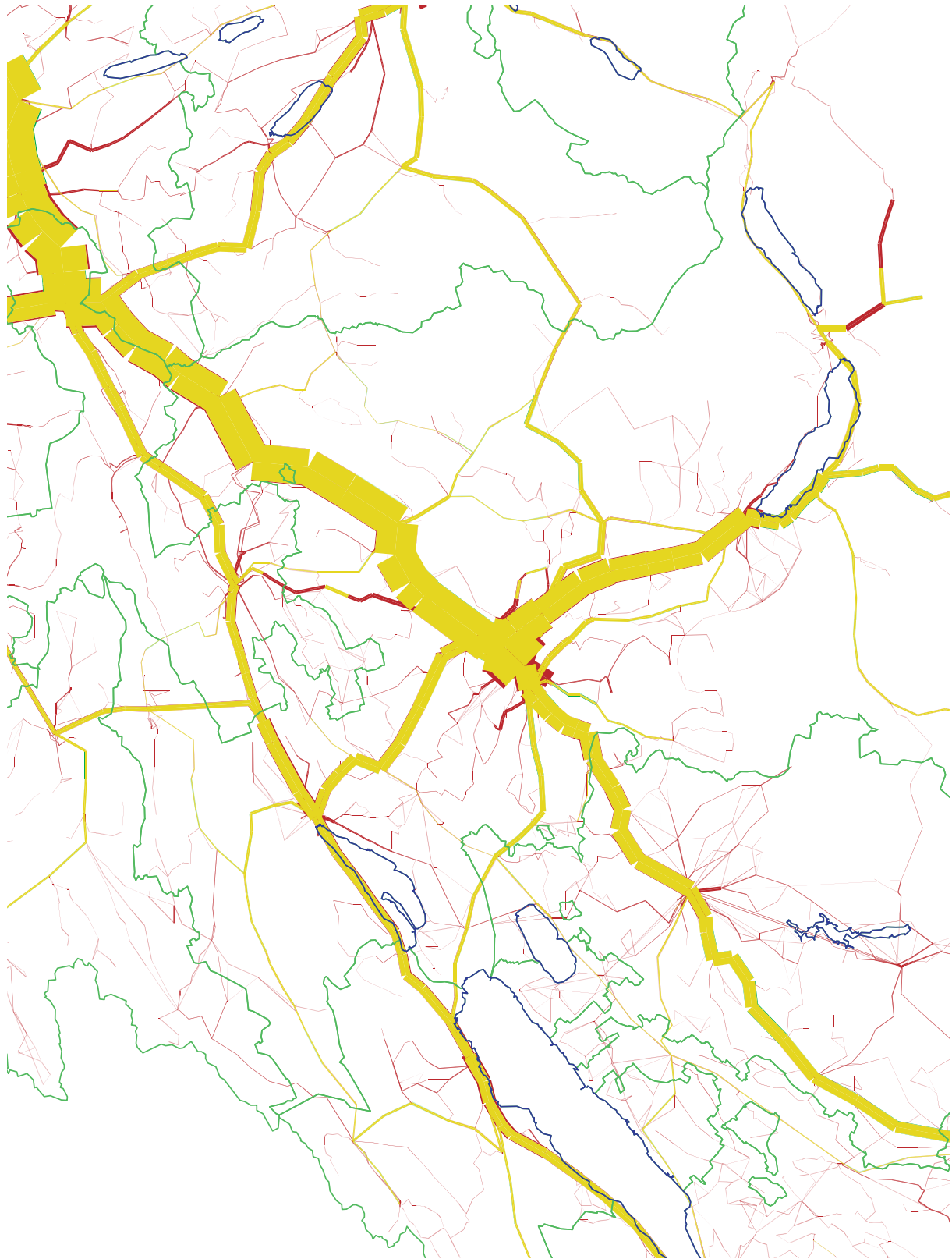
gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zu viel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 60 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen aus der ÖV-Matrix: Basel



gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zu viel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 61 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen aus der ÖV-Matrix: Bern



gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zu viel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 62 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen aus der ÖV-Matrix: Zürich



gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 63 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen aus der ÖV-Matrix: Genf

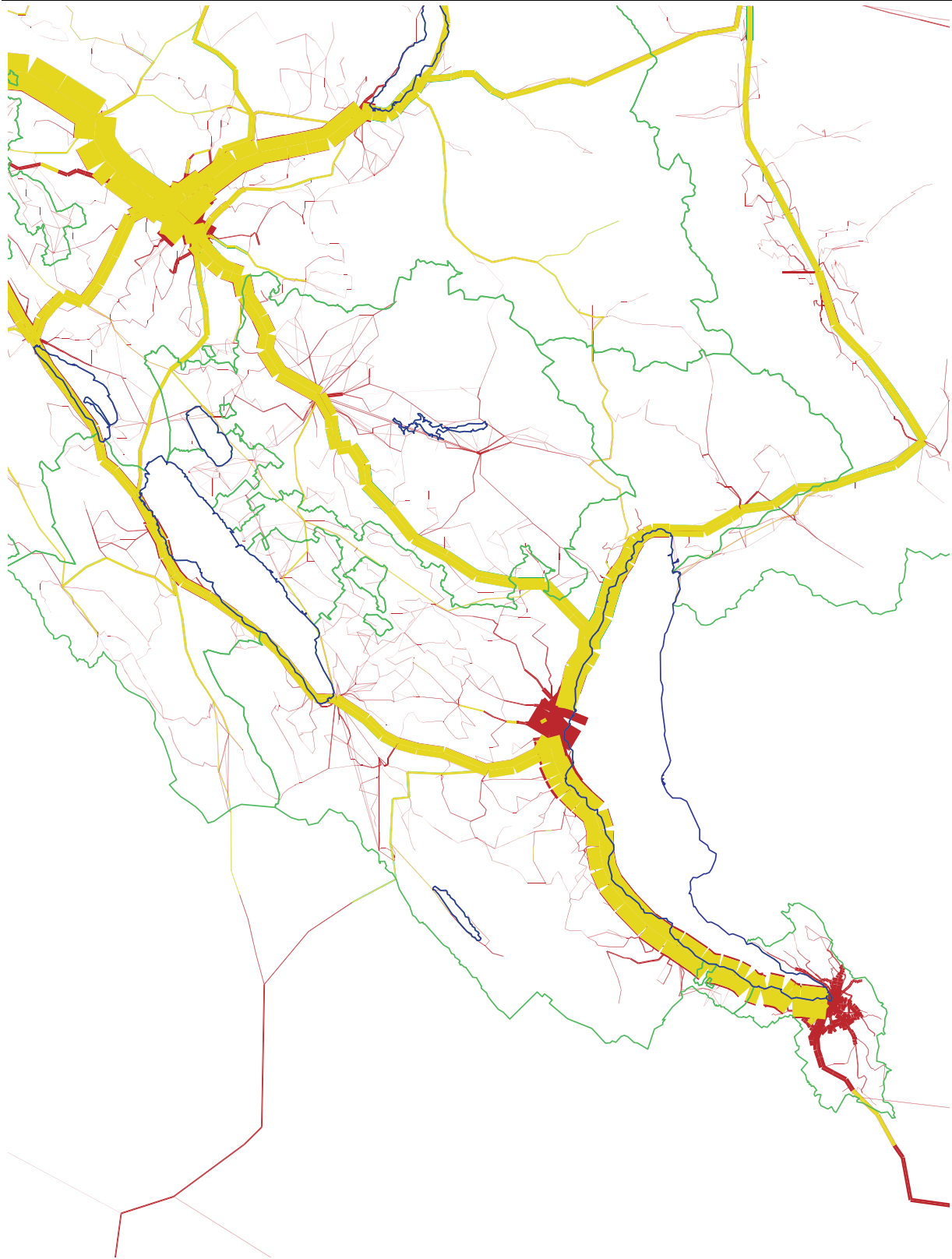
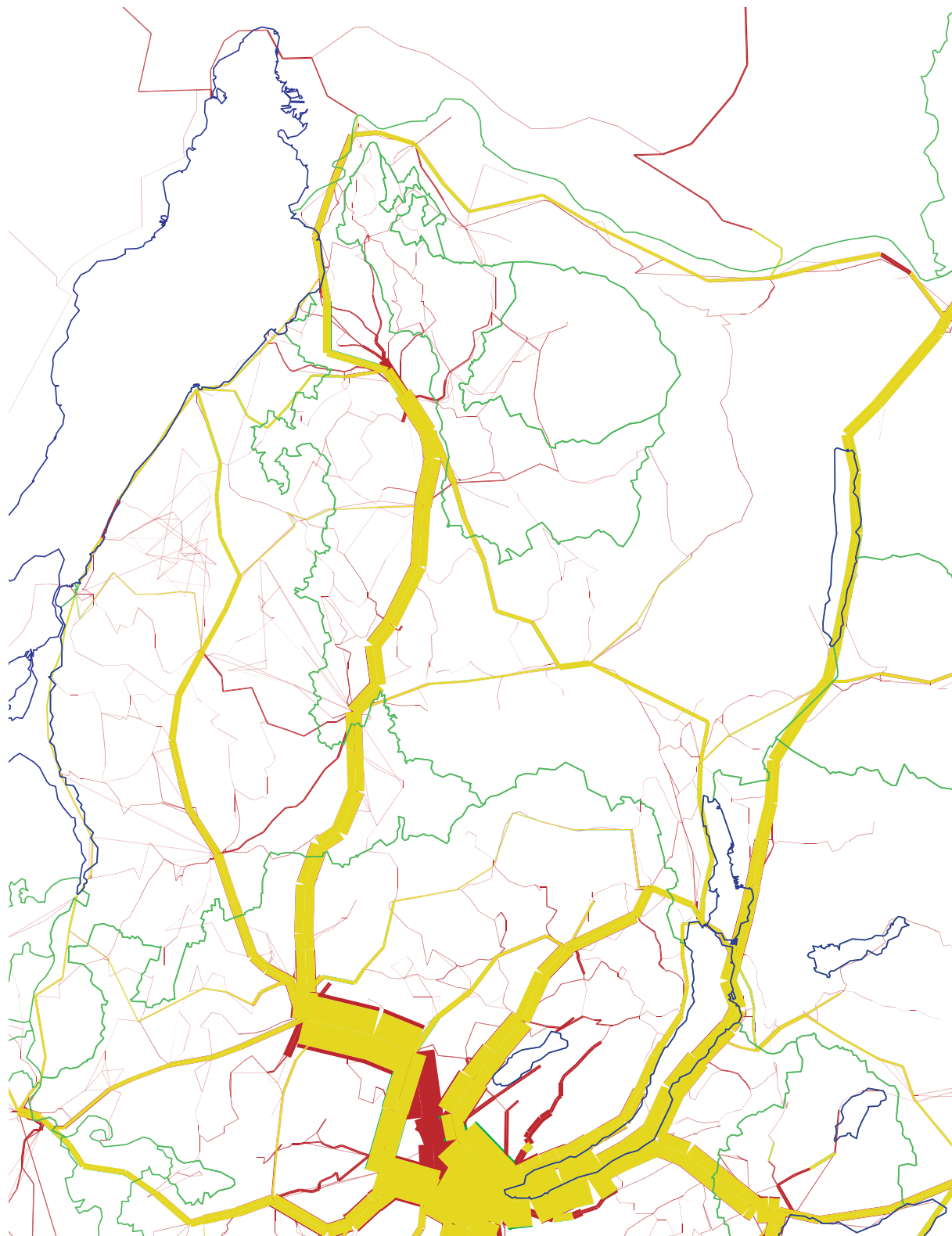
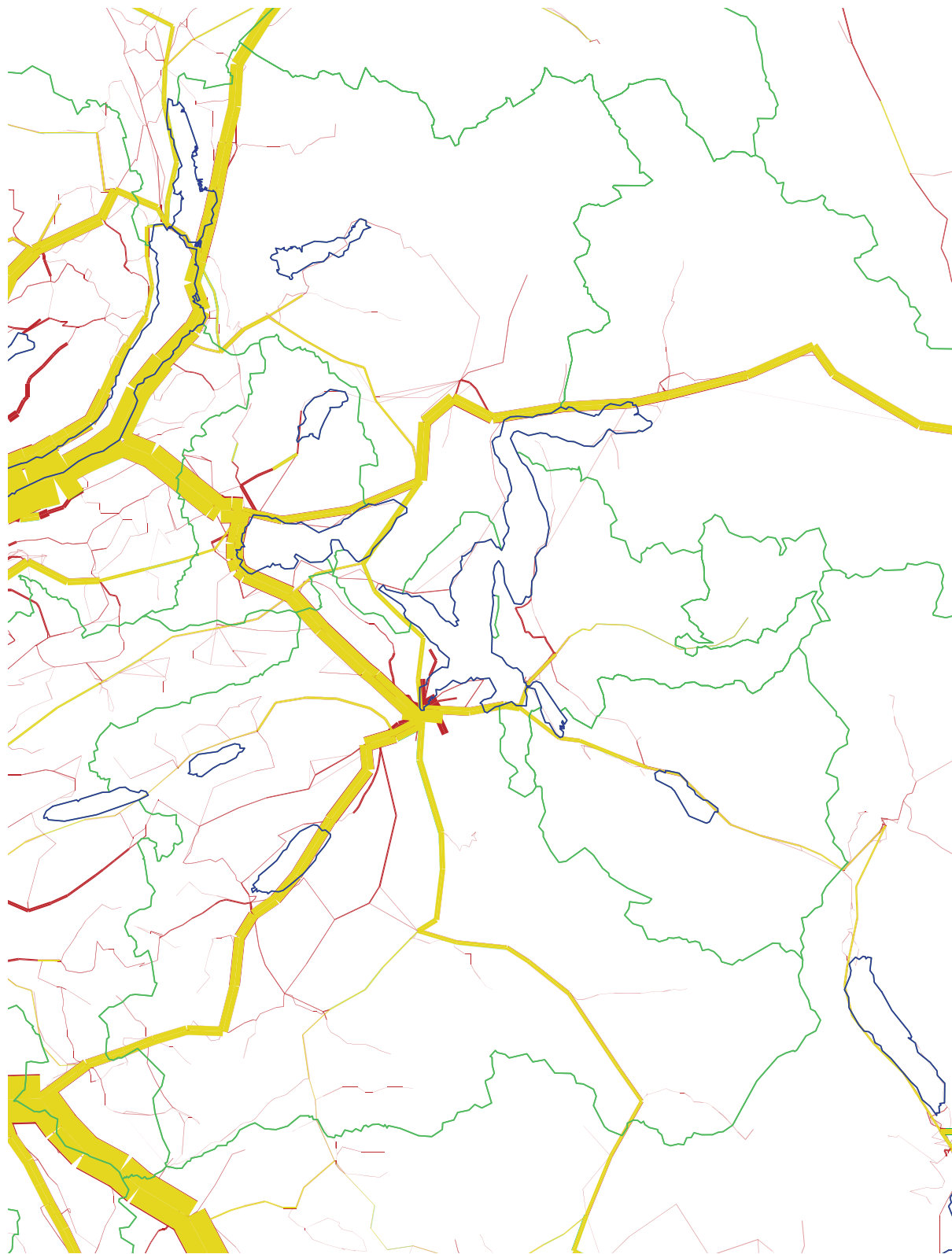


Abbildung 64 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen aus der ÖV-Matrix: St. Gallen



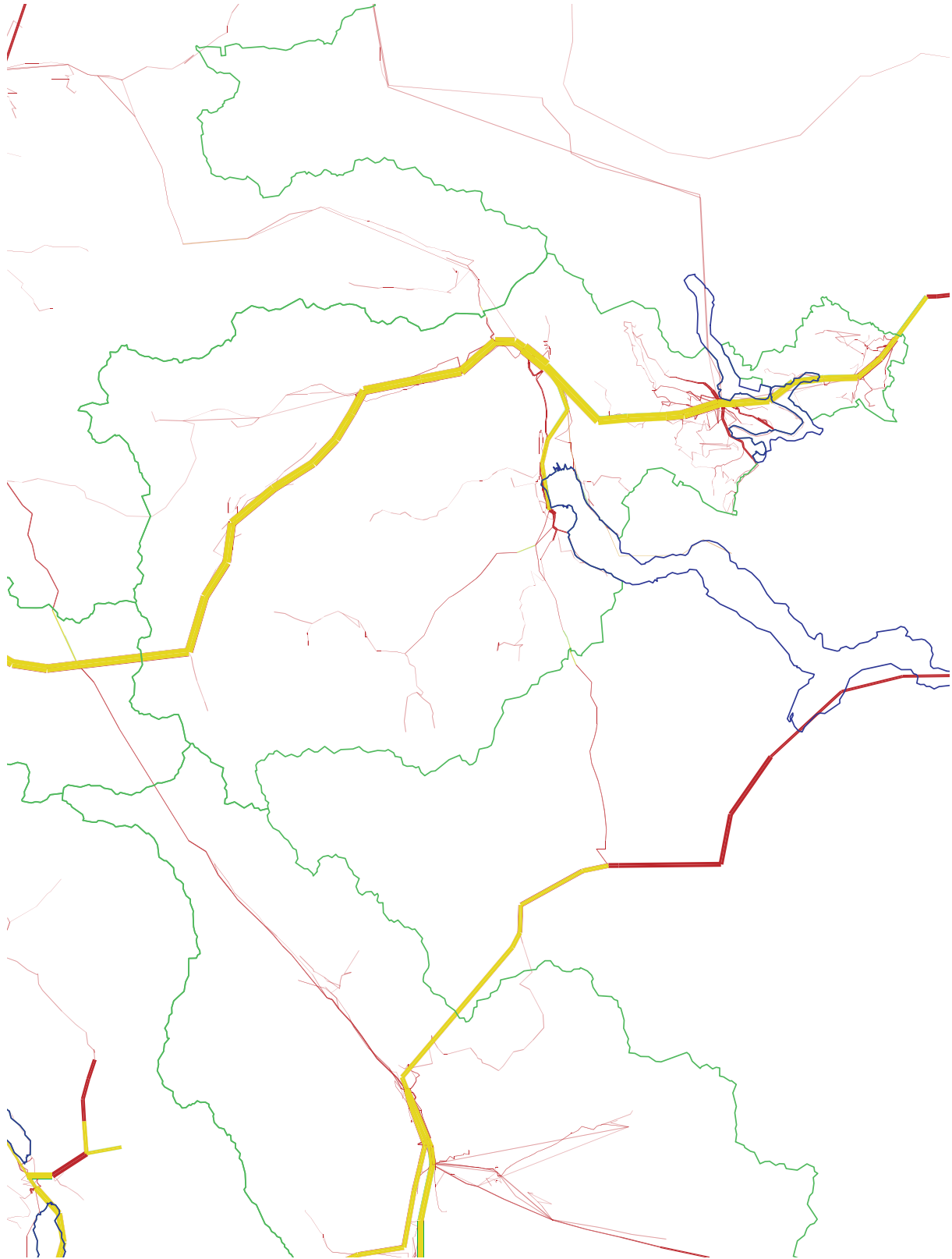
gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 65 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen aus der ÖV-Matrix: Luzern



gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Abbildung 66 Vergleich Modell/Zählung: Streckenbelastungen aus der ÖV-Matrix: Tessin



gelb= Grundbelastung (keine Differenz), rot= + (zuviel im Modell), grün= - (zu wenig im Modell)

Analyse der Quell-Ziel-Ströme

Für die Verkehrsprognosen und andere Modellanwendungen ist die Struktur der Quell-Zielmatrix die entscheidende Komponente. Diese kann durch die Anzahl der Quell-Ziel-Ströme zwischen einzelnen Quell-Ziel-Beziehungen dargestellt werden. Das wesentliche Problem bei der Erstellung von Verkehrsmodellen und Quell-Zielmatrizen ist, dass in der Regel zu wenig Erhebungsdaten über die Verteilung der Quell-Ziel-Ströme zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund können die Modellgrundlagen und die Modellergebnisse bzw. die ermittelten Quell-Zielmatrizen nicht vollständig plausibilisiert werden.

Die hier ermittelten Quell-Zielmatrizen wurden, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, mit allen vorhandenen Erhebungsdaten plausibilisiert. Neben den Querschnittszählungen wurde ein Vergleich mit den Pendlermatrizen aus der Volkszählung, mit der aus den SBB-Erhebungen hochgerechneten und kalibrierten Bahnmatrix, der Erhebung des grenzen- und alpenquerenden Verkehrs und dem Mikrozensus Verkehr 2000 durchgeführt.

Die vorhergehenden Analysen haben gezeigt, dass die erstellten Matrizen mit allen Erhebungsdaten sehr gut übereinstimmen. Eine weitere Möglichkeit zur Überprüfung der Quell-Zielmatrizen stellt die Auswertung einzelner Quell-Ziel-Ströme dar. Durch diese können insbesondere die Struktur der Quell-Ziel-Ströme näher beleuchtet werden.

Aus diesem Grund zeigt die nachfolgende Tabelle 45 die Verkehrsströme an einem durchschnittlichen Werktag zwischen den schweizerischen Grossstädten für den ÖV und den MIV. Daraus kann abgelesen werden, dass auf den meisten Relationen das ÖV-Aufkommen höher ist als das MIV-Aufkommen. Die Analyse der Erhebungsdaten zeigt, dass dieses Ergebnis der Realität entspricht. Auf kürzeren Distanzen sind hingegen die MIV-Anteile höher als die ÖV-Anteile. Das Verhältnis der Verkehrsmittelwahl-Anteile ist also abhängig von der Reiseweite.

Tabelle 45 Verkehrsströme zwischen Grossstädten

Von/Nach	Zürich	Basel	Bern	Lausanne	Genf	Winterthur	St. Gallen	Luzern	Biel	Thun
ÖV (in Personenfahrten / Werktag)										
Zürich	0	2934	2666	226	223	10303	1977	2036	302	92
Basel	2934	0	2029	84	73	131	246	377	180	119
Bern	2666	2029	0	579	222	82	191	460	2328	3731
Lausanne	226	84	579	0	3410	16	48	45	178	20
Genf	223	73	222	3410	0	26	38	50	100	22
Winterthur	10303	131	82	16	26	0	314	101	29	15
St. Gallen	1977	246	191	48	38	314	0	116	48	13
Luzern	2036	377	460	45	50	101	116	0	68	56
Biel	302	180	2328	178	100	29	48	68	0	75
Thun	92	119	3731	20	22	15	13	56	75	0
MIV (in PW - Fahrten / Werktag)										
Zürich	0	1530	1274	185	107	5374	1527	1240	207	59
Basel	1530	0	1063	62	31	79	123	383	121	22
Bern	1274	1063	0	643	360	41	95	325	2417	2100
Lausanne	185	62	643	0	3213	40	35	62	89	30
Genf	107	31	360	3213	0	32	33	46	58	18
Winterthur	5374	79	41	40	32	0	477	47	14	8
St. Gallen	1527	123	95	35	33	477	0	127	25	4
Luzern	1240	383	325	62	46	47	127	0	43	23
Biel	207	121	2417	89	58	14	25	43	0	54
Thun	59	22	2100	30	18	8	4	23	54	0

Neben den Verkehrsströmen zwischen den einzelnen Städten ist auch die Auswertung der Ströme zwischen den Kantonen von Interesse. Sie sind in Abbildung 67 und Abbildung 68 dargestellt. Der Vergleich dieser Abbildungen zeigt, dass die MIV-Ströme auf allen Relationen stärker sind als die ÖV-Ströme. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass ein grosser Teil der MIV-Ströme zwischen den Kantonen auf kürzeren Entfernungen stattfindet, auf denen der MIV-Anteil insgesamt grösser ist.

Abbildung 67 MIV-Verkehrsströme zwischen Kantonen

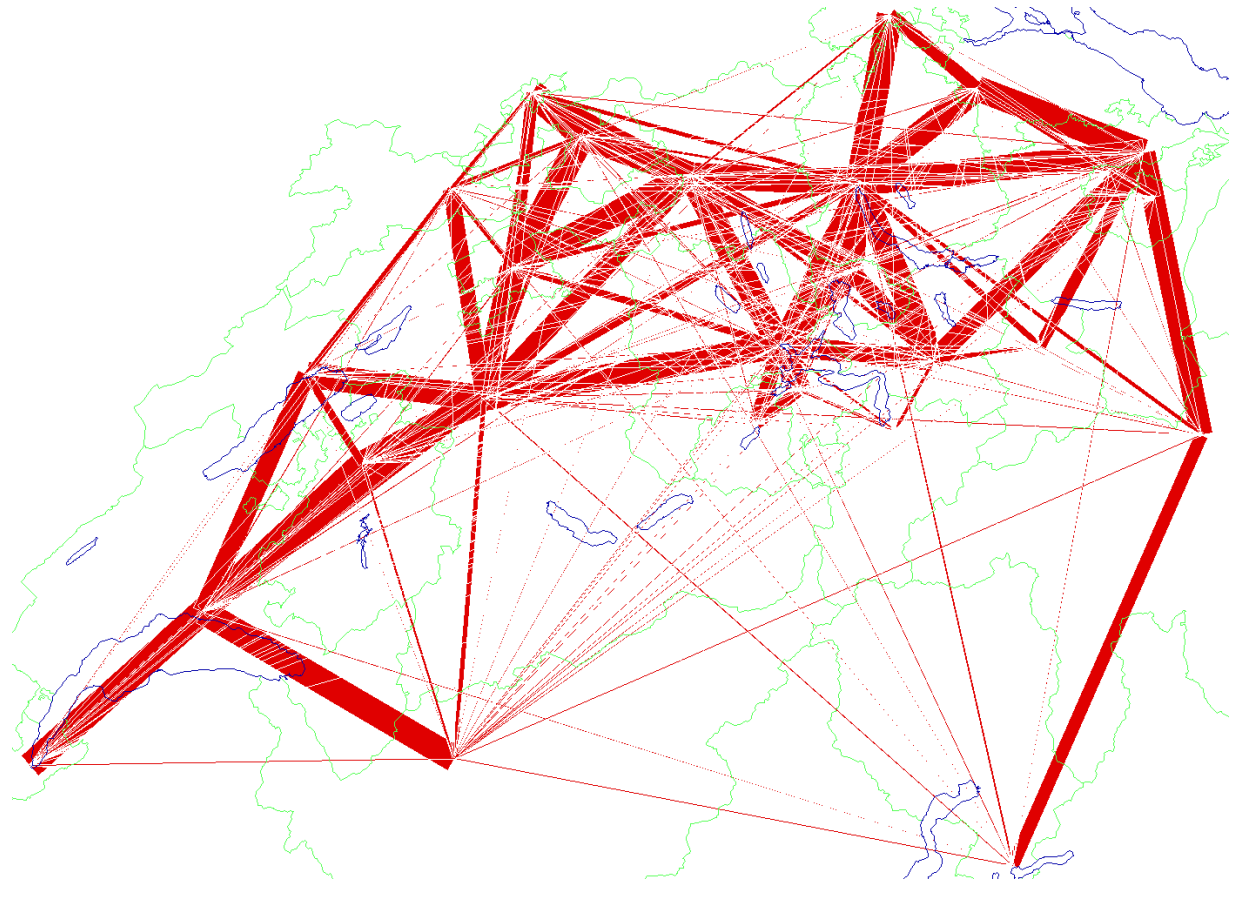
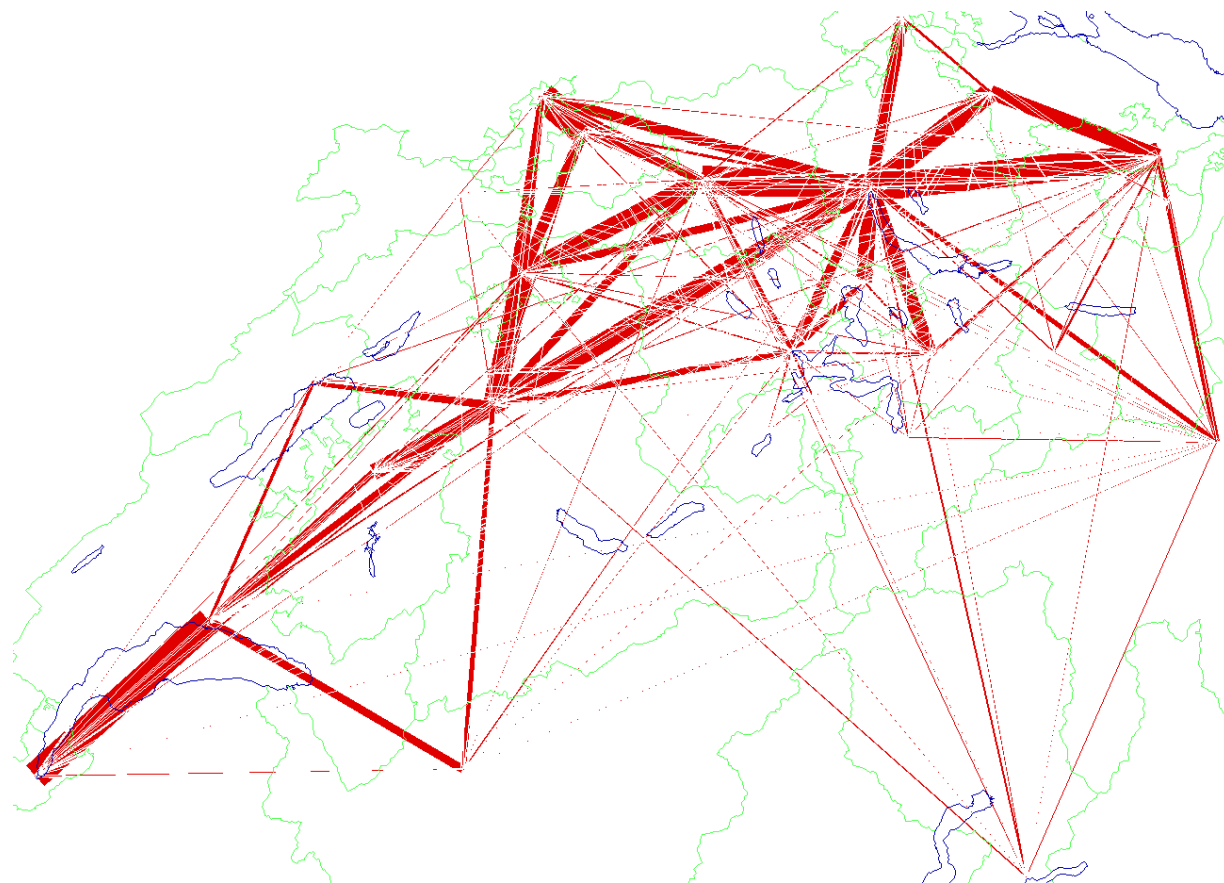


Abbildung 68 ÖV-Verkehrsströme zwischen Kantonen



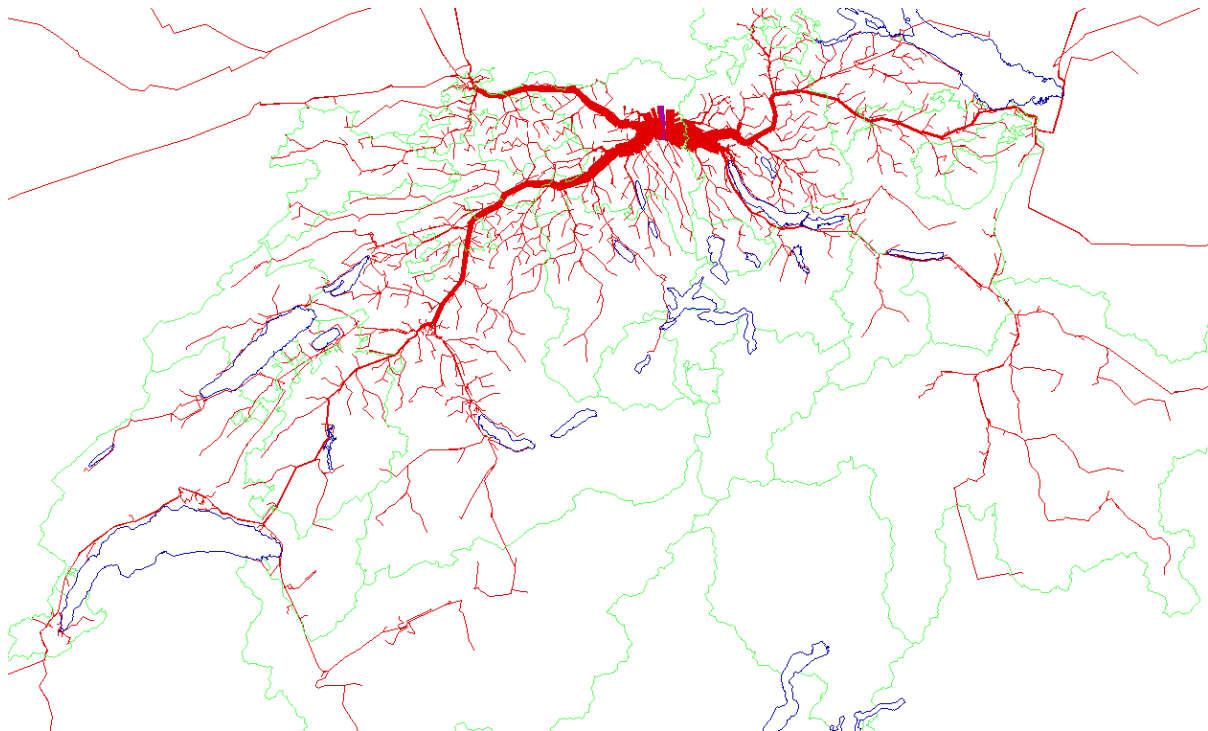
Wie in Kapitel 8 beschrieben, sind Spinnenanalysen, also die Betrachtung der räumlichen Verteilung der Quell-Ziel-Ströme, die über einen bestimmten Querschnitt führen, eine gute Methode, um die Struktur und räumliche Verteilung der Matrix zu bewerten. Es ist eine der wichtigsten Nebenbedingungen der Kalibration, dass diese nicht mehr verändert werden, nachdem bei der Plausibilisierung der Matrix festgestellt worden ist, dass sie realitätsentsprechend sind.

Die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 69 bis Abbildung 82) zeigen die Spinnen für die wichtigsten Querschnitte im MIV und ÖV-Modell. In Abbildung 83 und Abbildung 84 sind in sogenannten Knotenanalysen die Verteilungen der Ströme über die Bahnhöfe Zürich HB, Basel SBB, Bern HB und Lausanne dargestellt.

Durch den Vergleich der Spinnenanalysen mit denjenigen auf dem gleichen Querschnitt vor der Kalibration (Abbildung 26 bis Abbildung 32) kann festgestellt werden, dass die Struktur der Quell-Ziel-Ströme durch die Kalibration unverändert geblieben ist. Dies konnte insbesondere dadurch sichergestellt werden, dass keine automatische sondern ausschliesslich eine manuelle Kalibration vorgenommen wurde.

Abbildung 69 Spinnenanalyse MIV

Baregg (39'000 PW/Tag und Richtung)



A1 Brüttisellen (39'200 PW/Tag und Richtung)

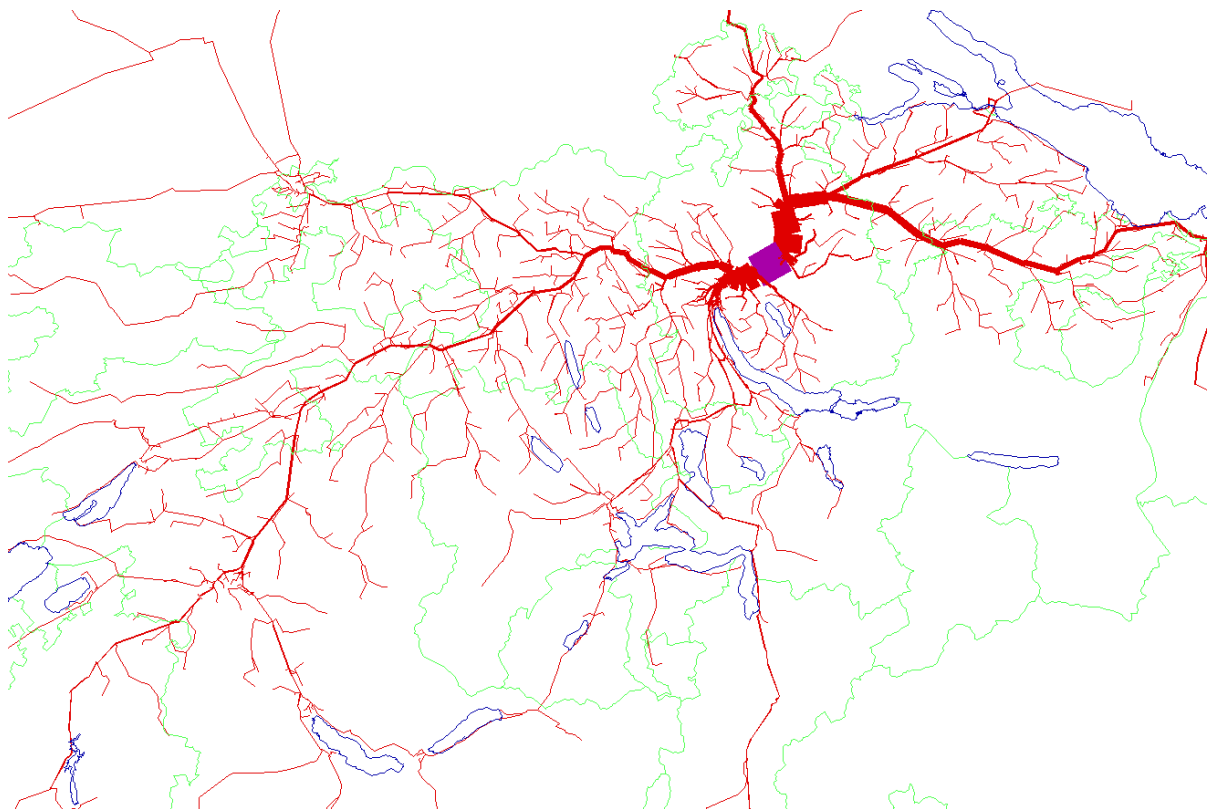
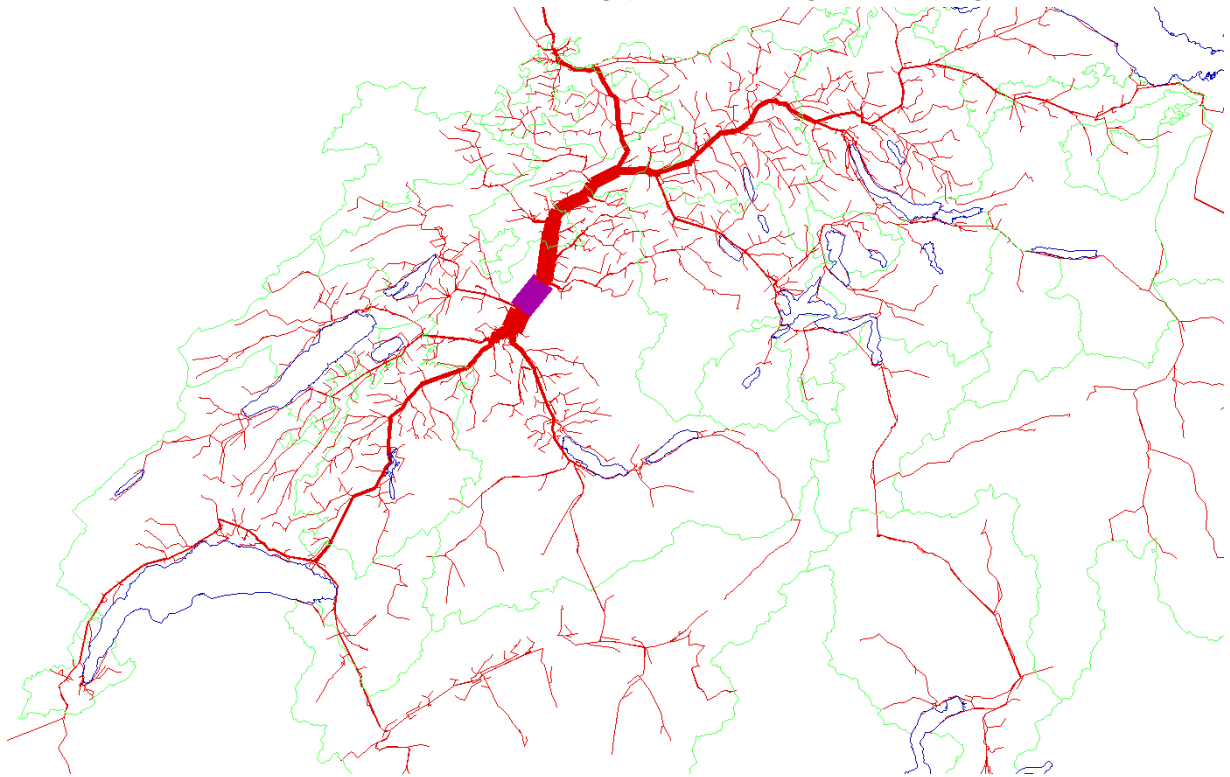


Abbildung 70 Spinnenanalyse MIV

Schönbühl-Kirchberg (30'000 PW/Tag und Richtung)



Härkingen (29'000 PW/Tag und Richtung)

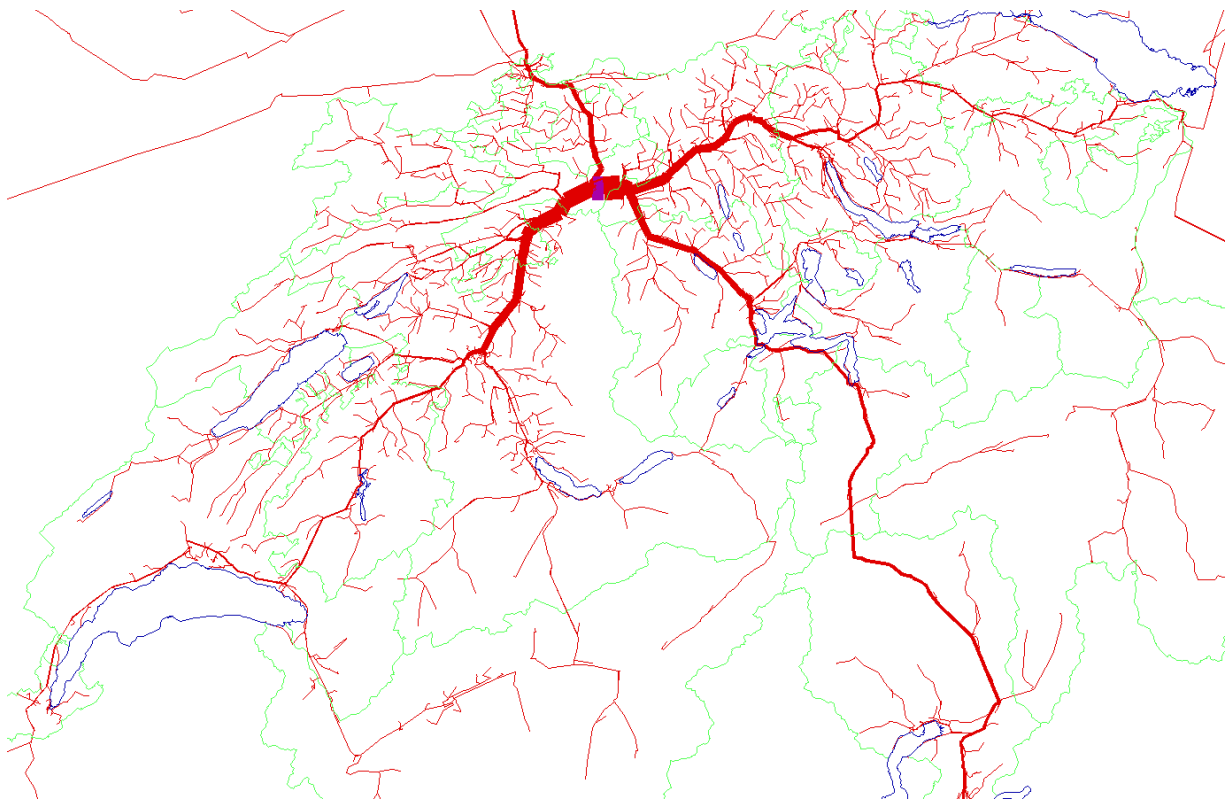
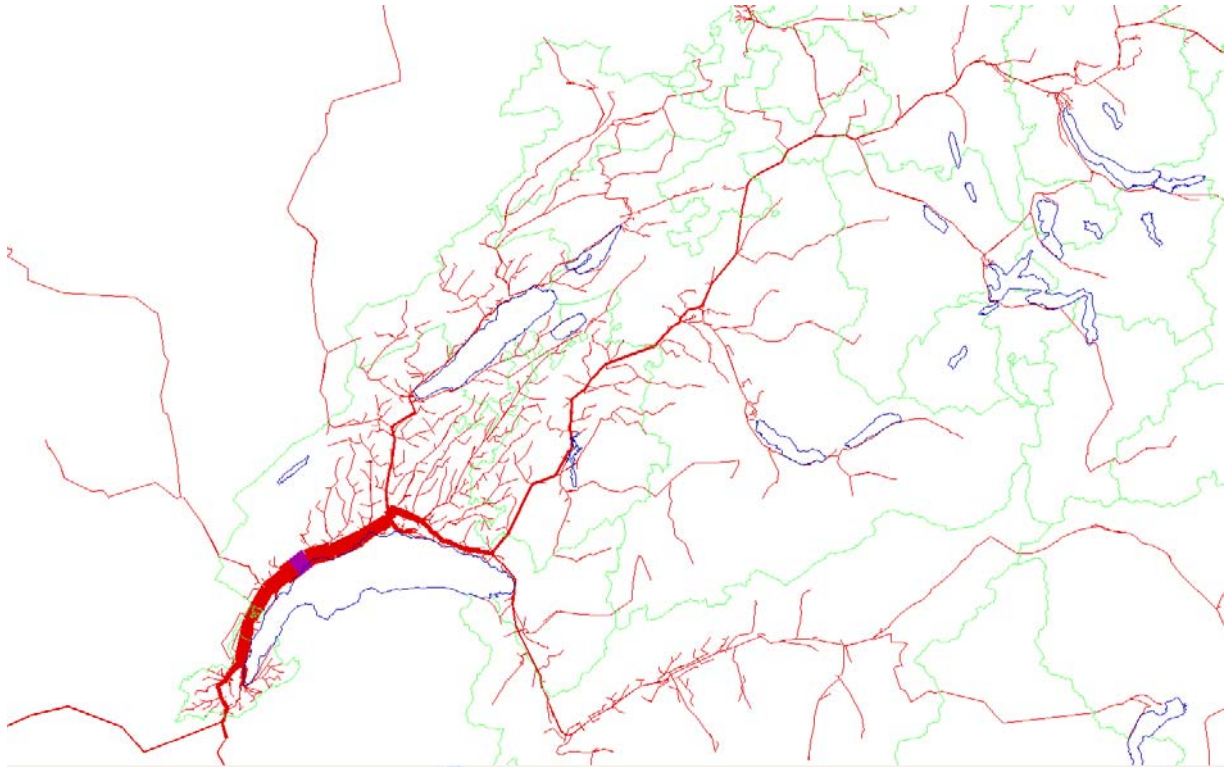


Abbildung 71 Spinnenanalyse MIV

Genf - Lausanne (25'000 PW/Tag und Richtung)



Lausanne - Vevey (26'000 PW/Tag und Richtung)

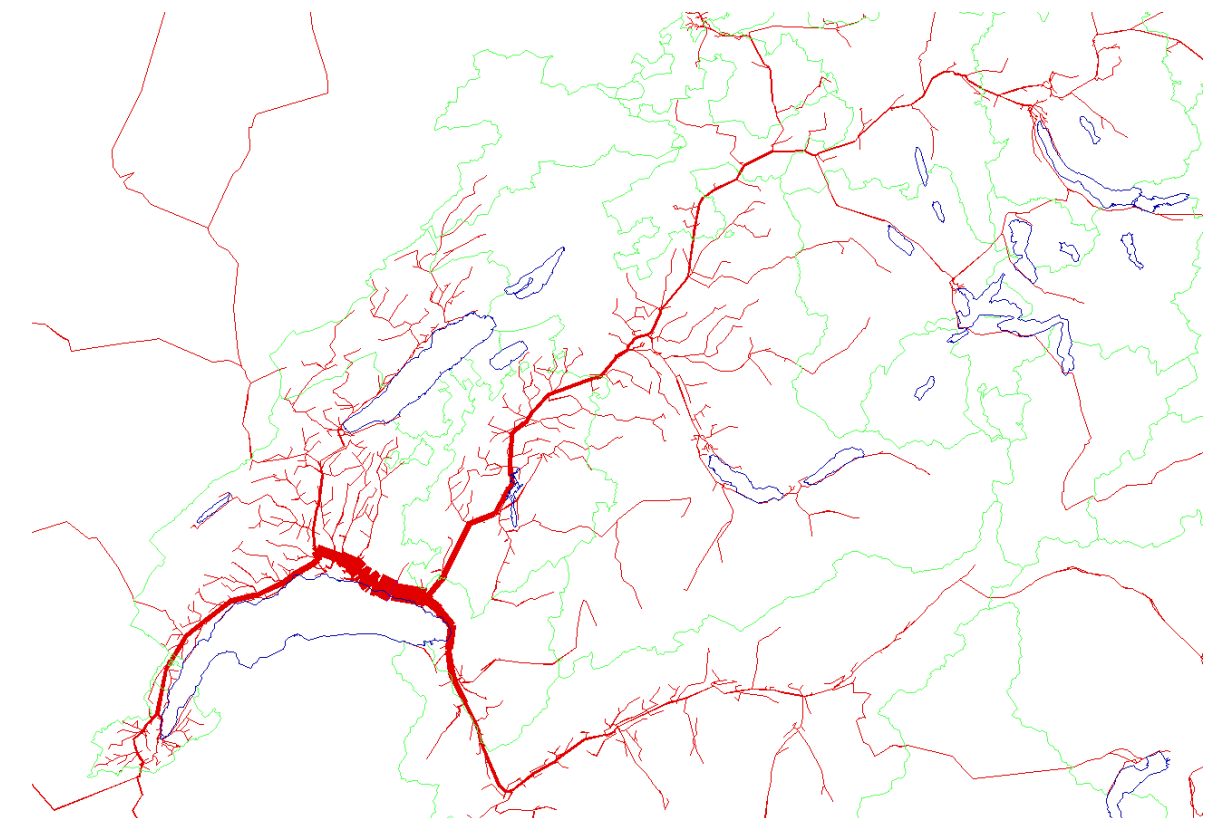
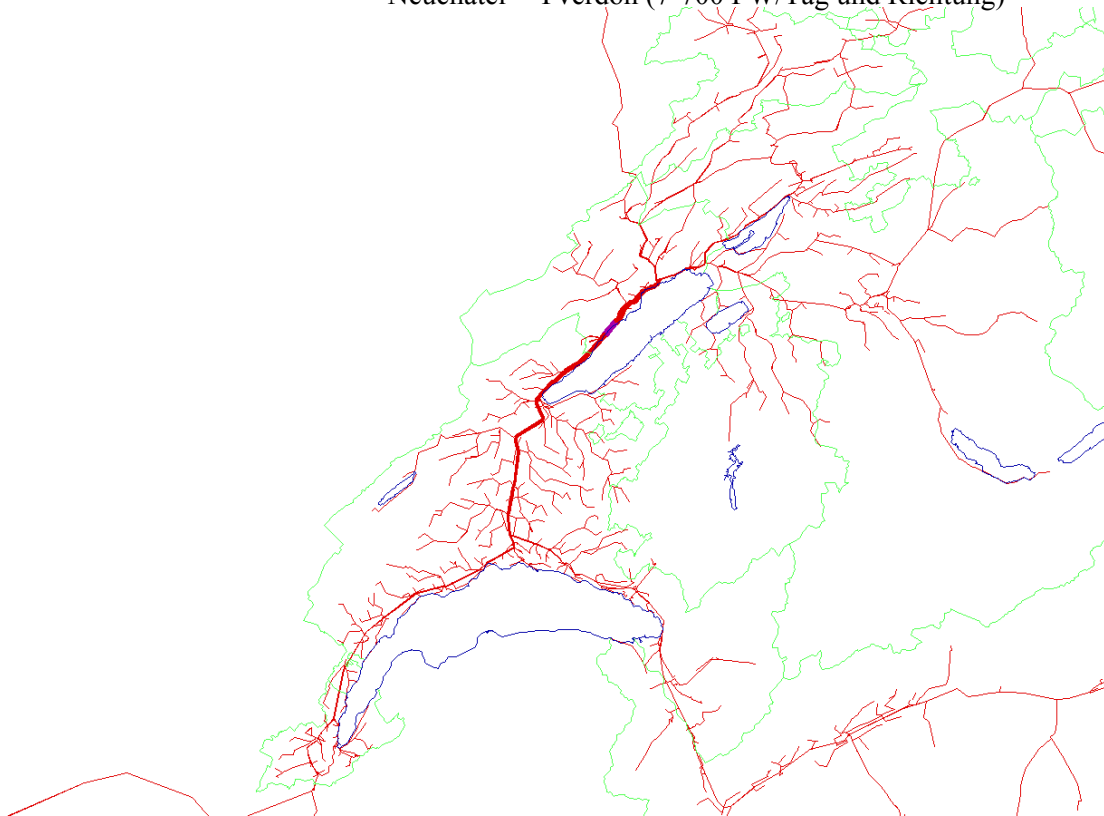


Abbildung 72 Spinnenanalyse MIV

Neuchâtel – Yverdon (7'700 PW/Tag und Richtung)



Bern – Fribourg (13'000 PW/Tag und Richtung)

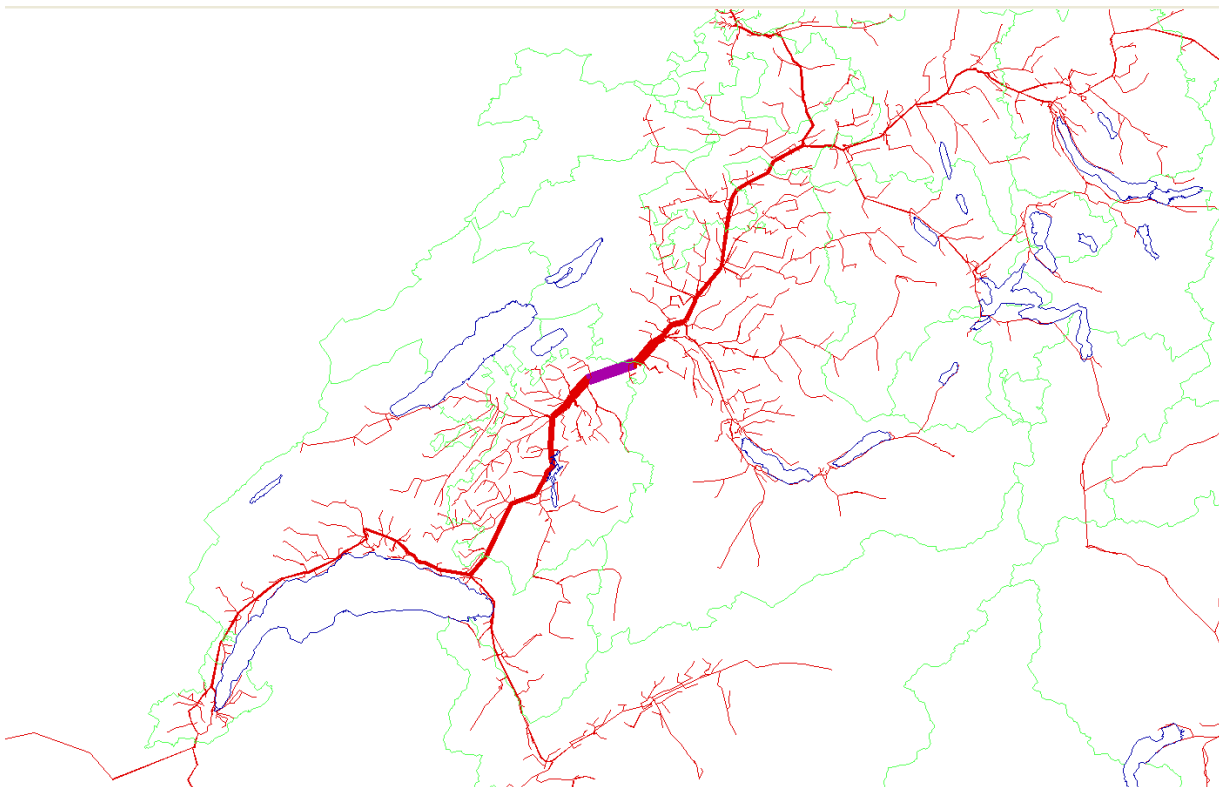


Abbildung 73 Spinnenanalyse MIV

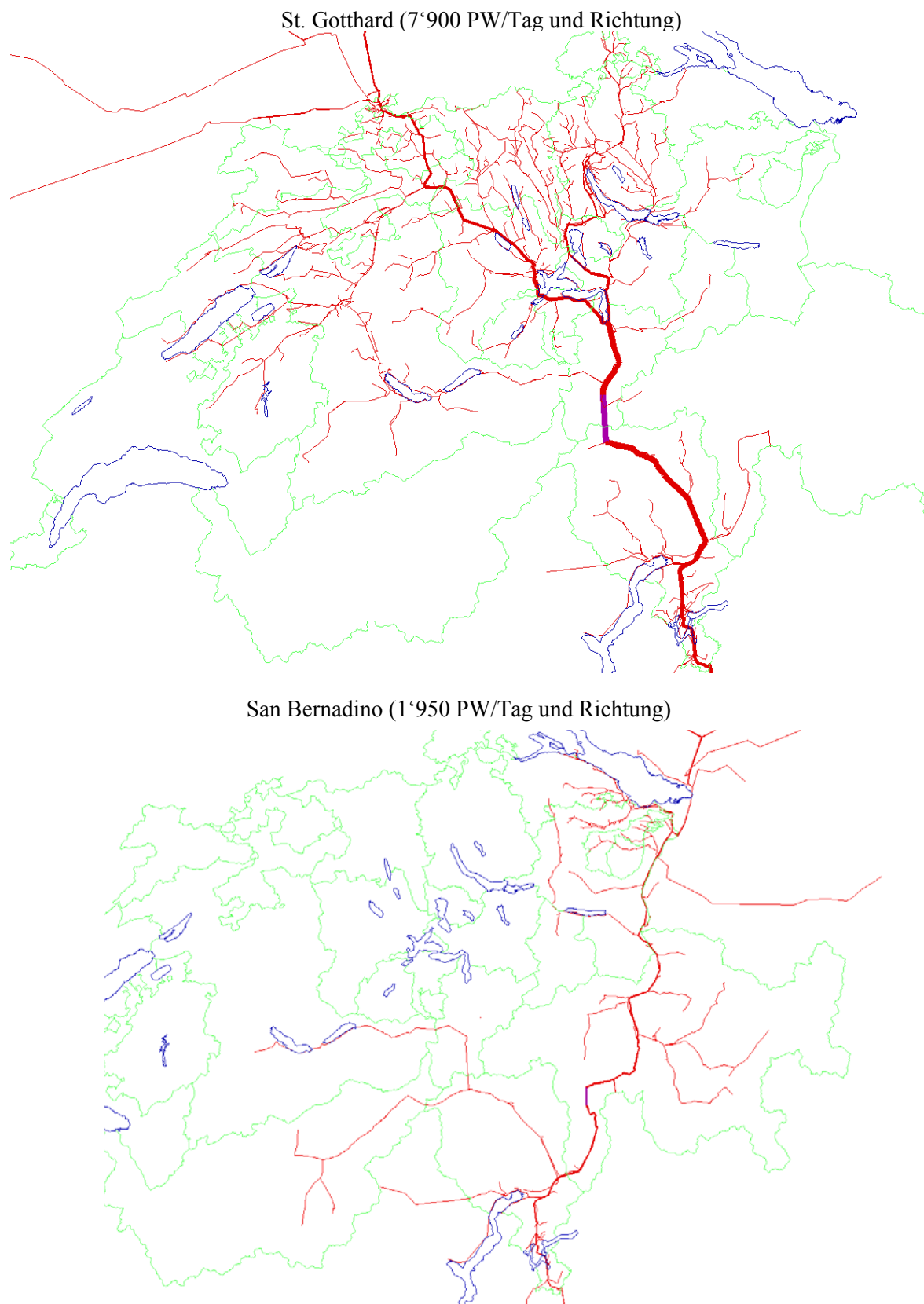


Abbildung 74 Spinnenanalyse MIV

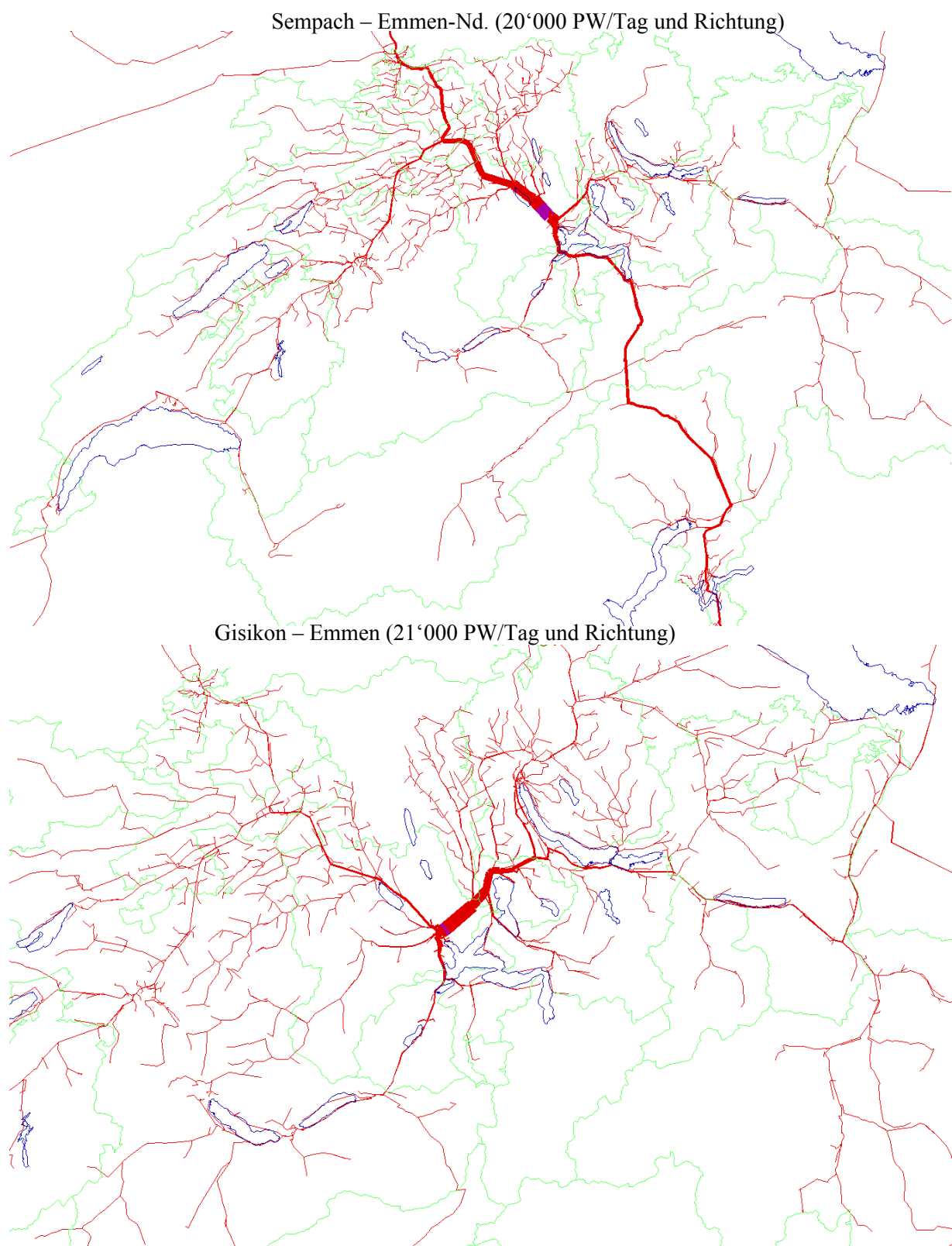


Abbildung 75 Spinnenanalyse MIV

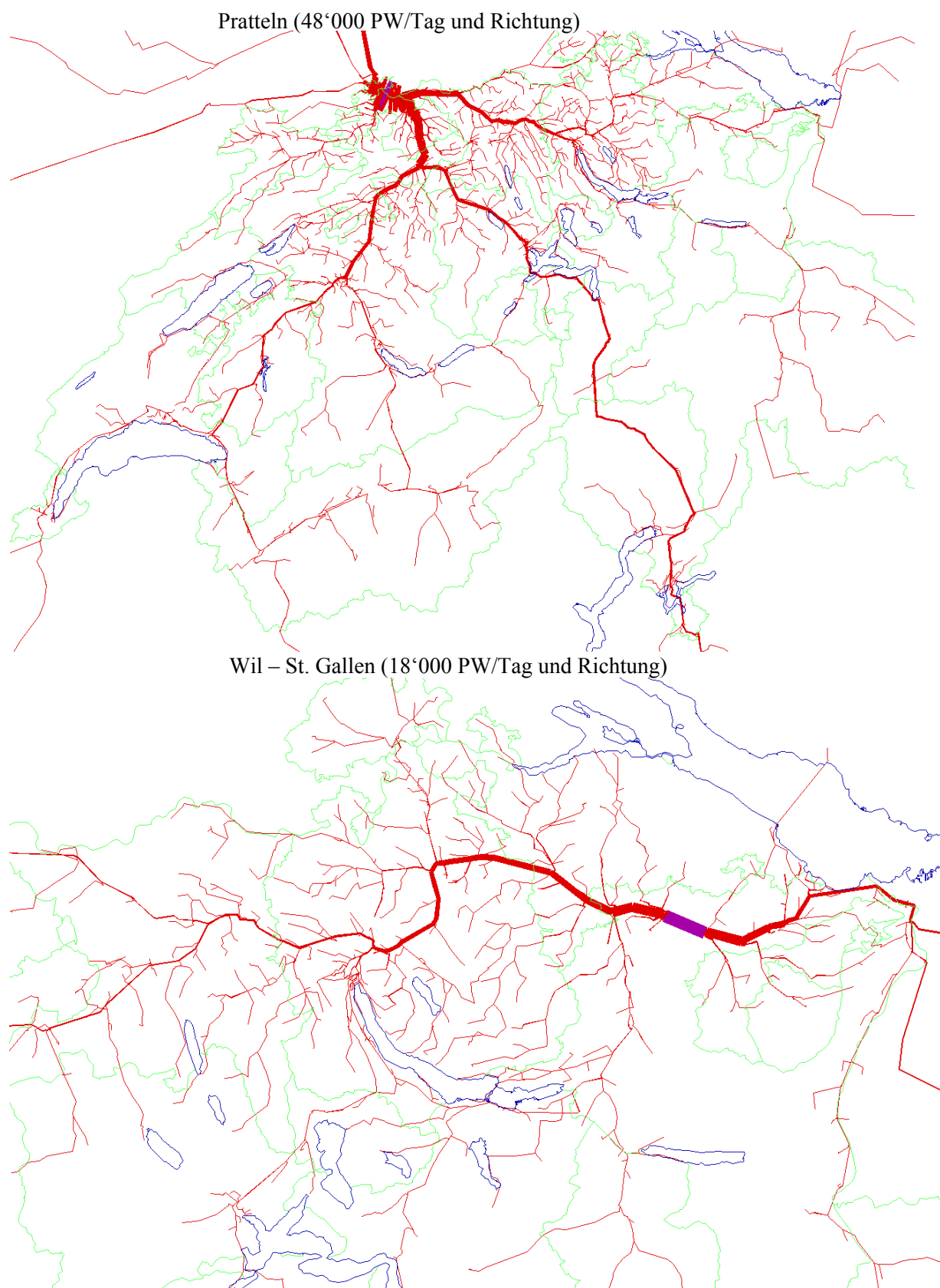
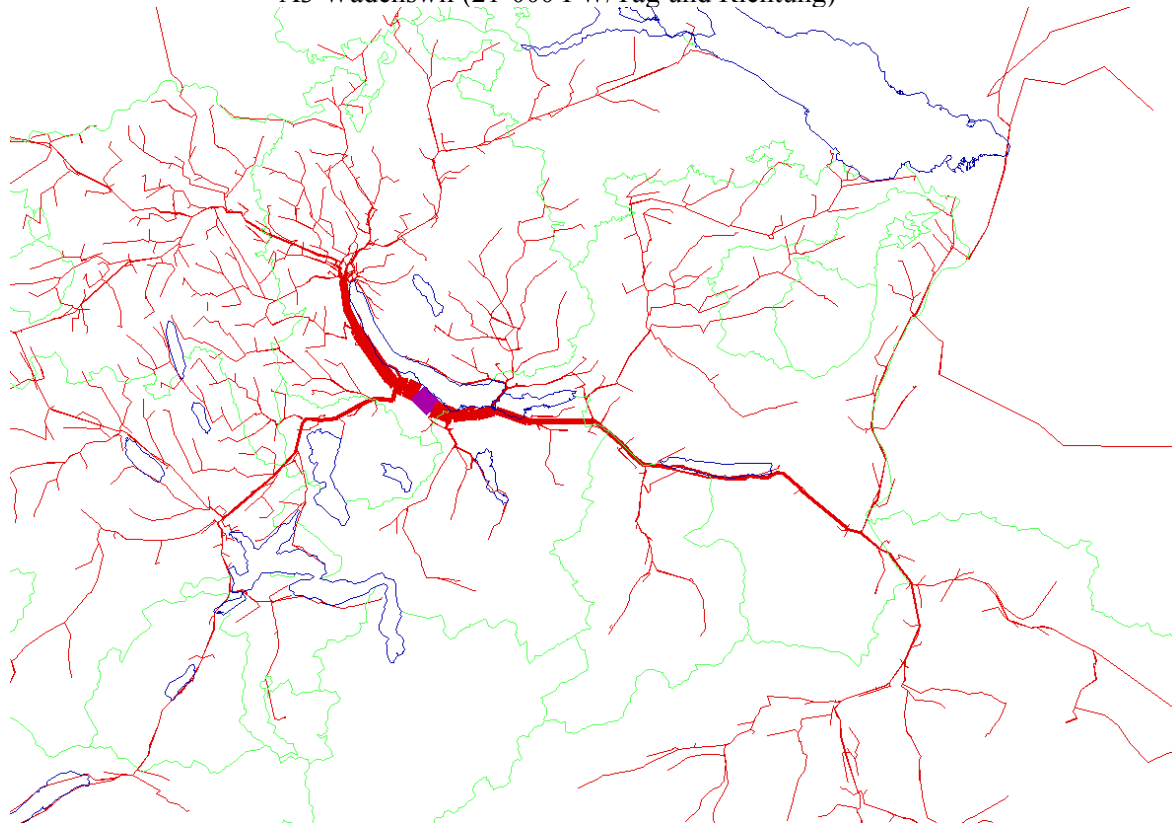


Abbildung 76 Spinnenanalyse MIV

A3 Wädenswil (21'000 PW/Tag und Richtung)



Landquart-Chur (13'400 PW/Tag und Richtung)

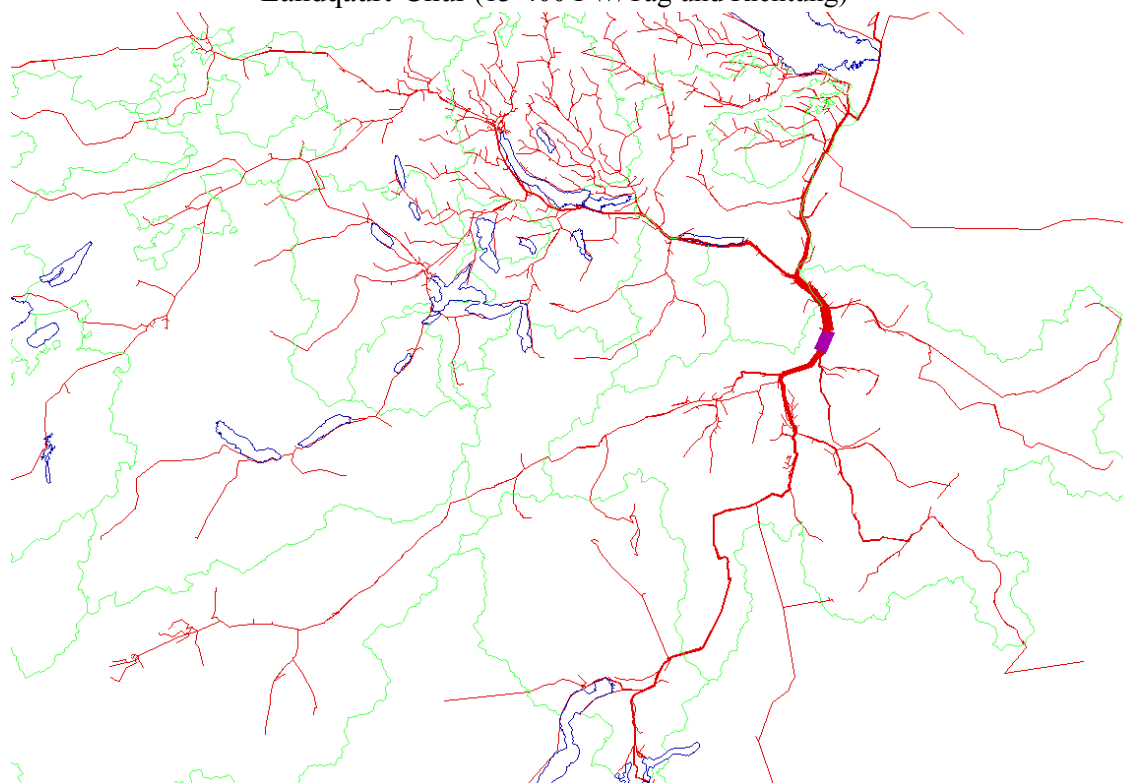


Abbildung 77 Spinnenanalyse ÖV

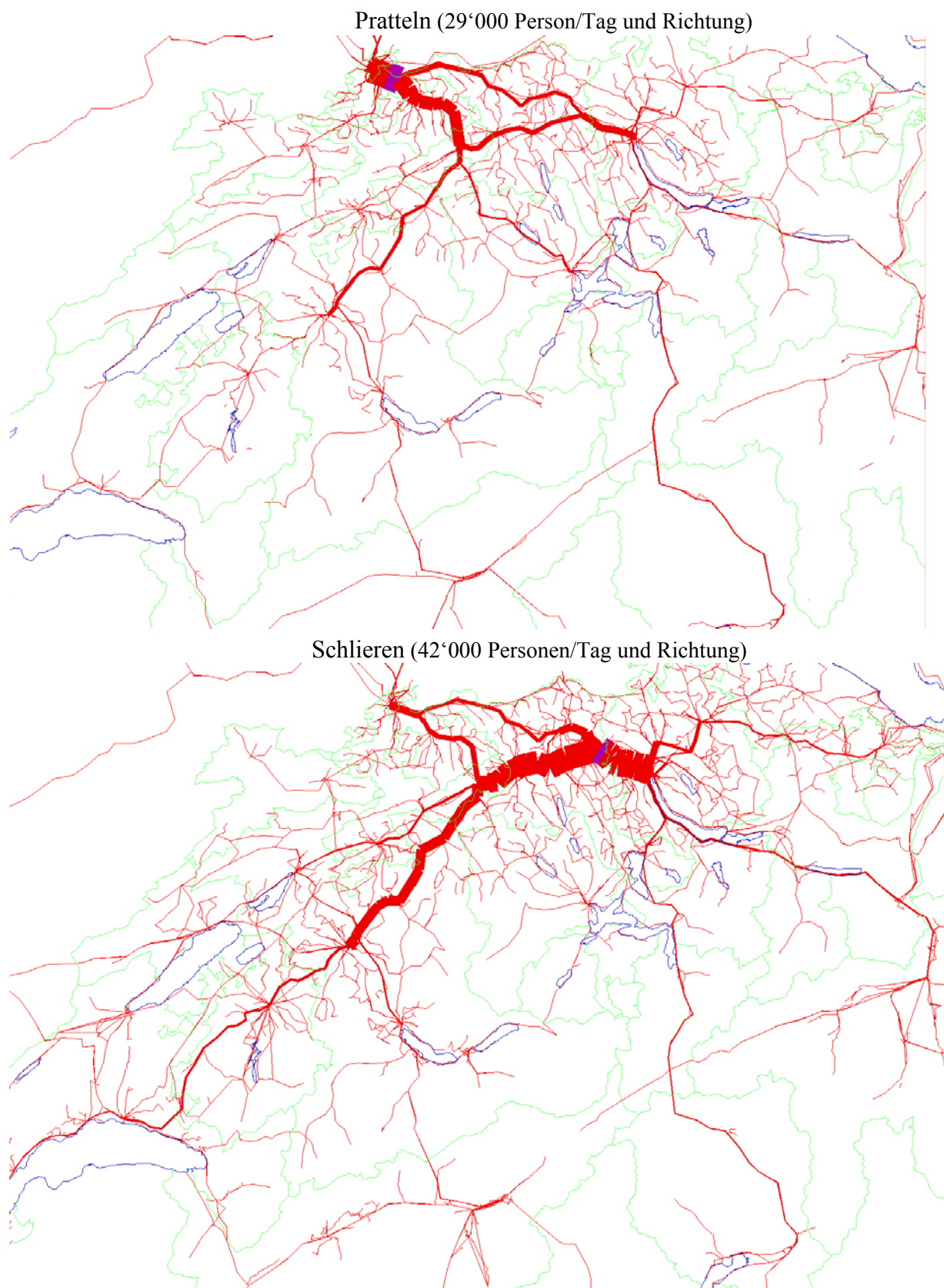


Abbildung 78 Spinnenanalyse ÖV

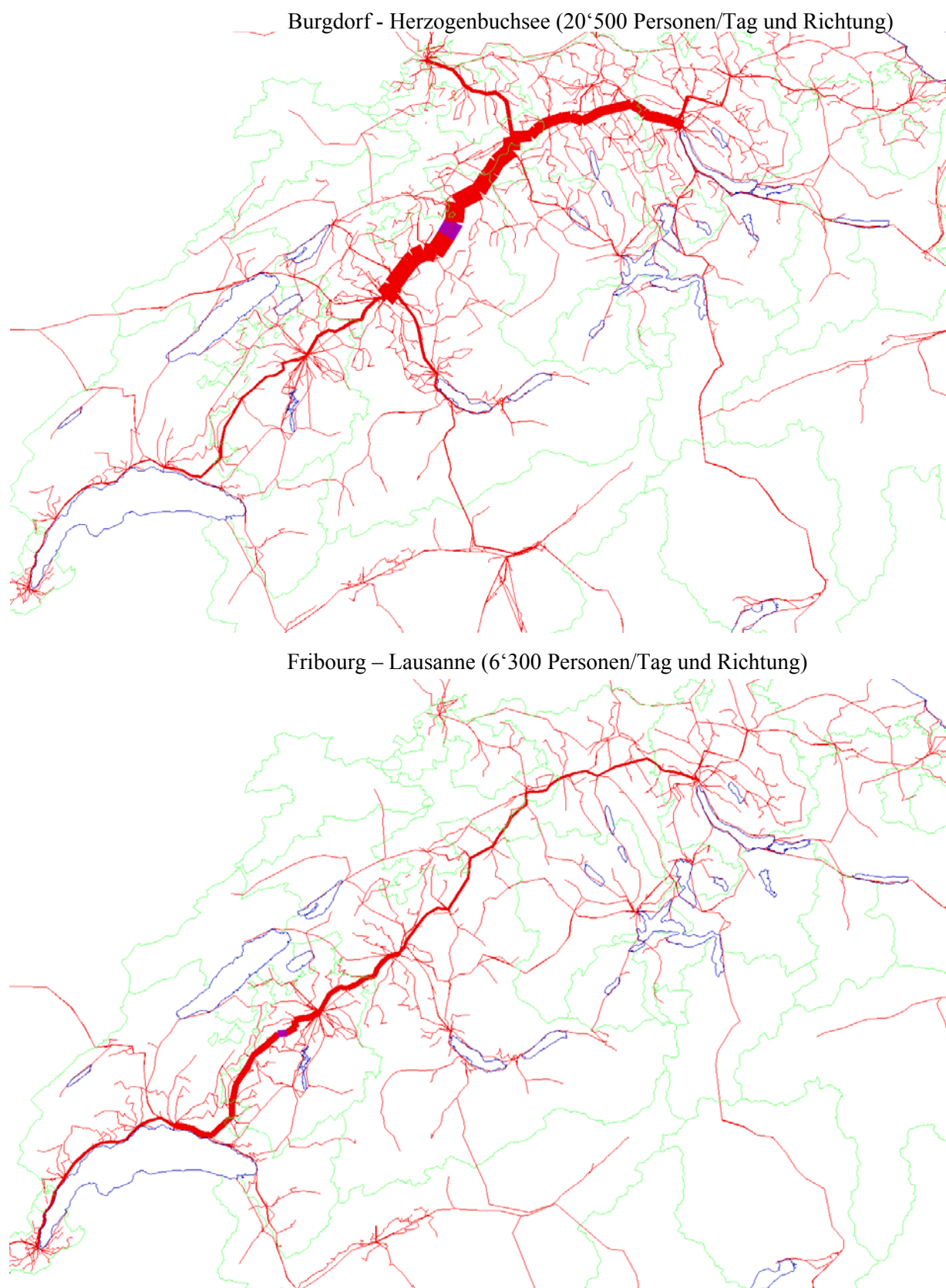
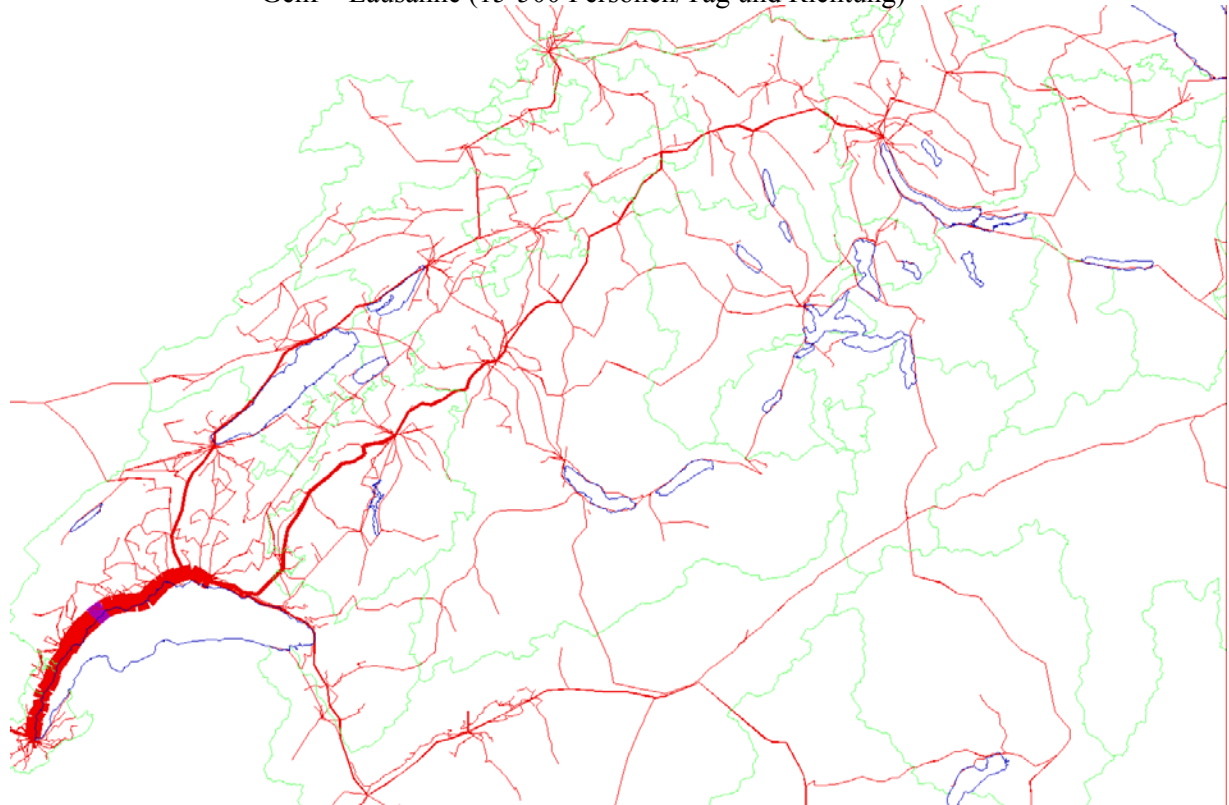


Abbildung 79 Spinnenanalyse ÖV

Genf – Lausanne (15'500 Personen/Tag und Richtung)



Neuchâtel - Yverdon (5'400 Personen/Tag und Richtung)

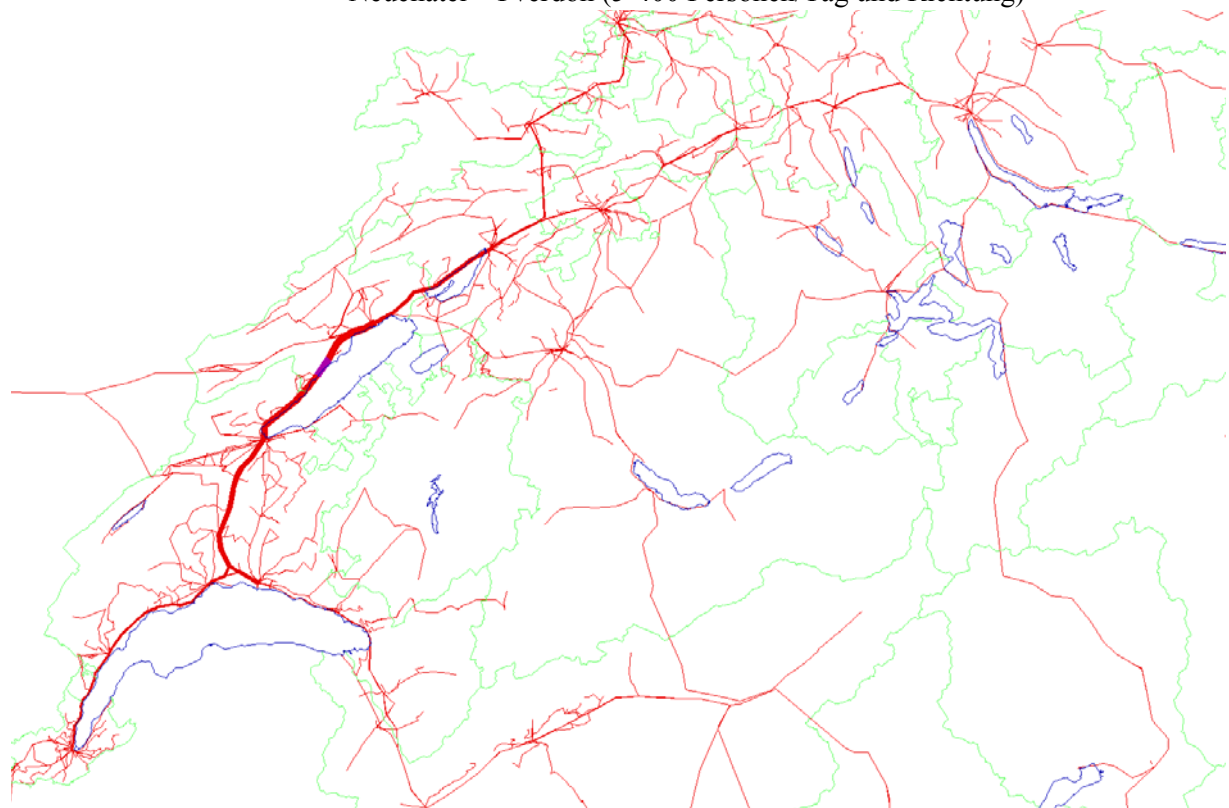
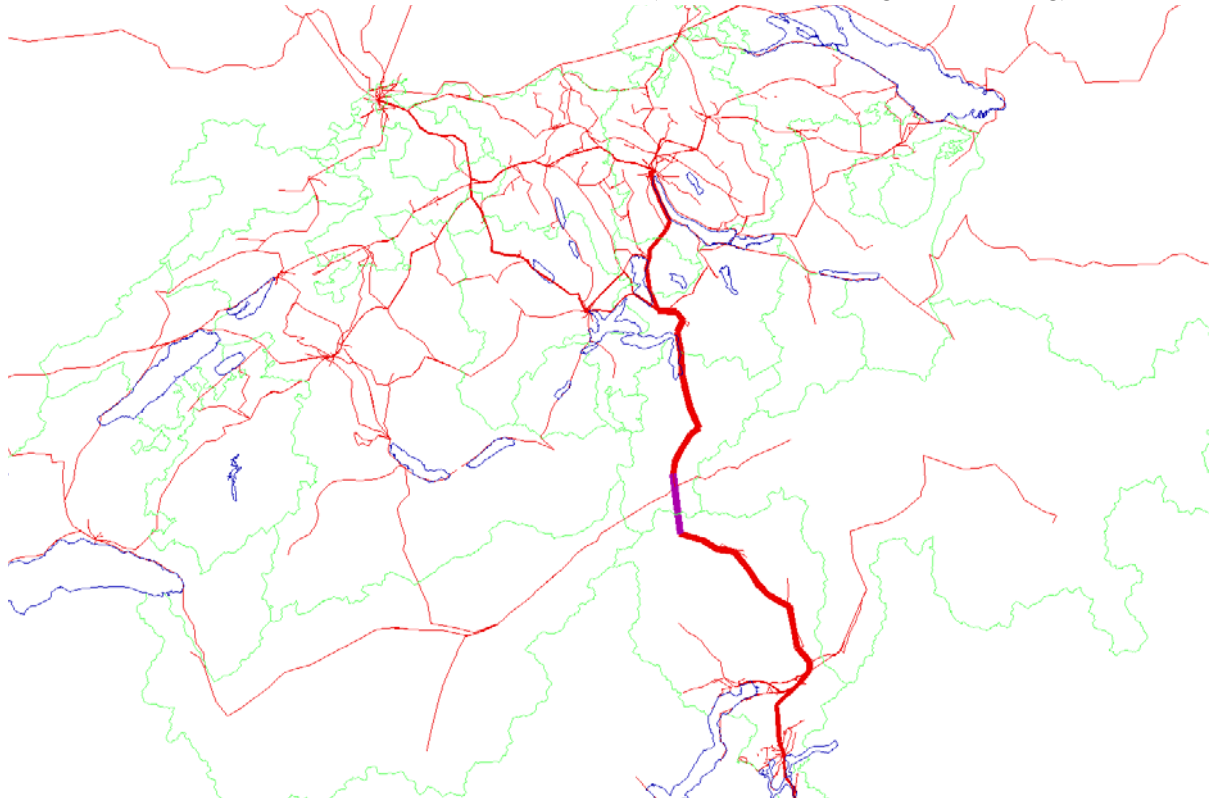


Abbildung 80 Spinnenanalyse ÖV

Airolo – Göschenen (4'500 Personen/Tag und Richtung)



Zürich – Thalwil (31'500 Personen/Tag und Richtung)

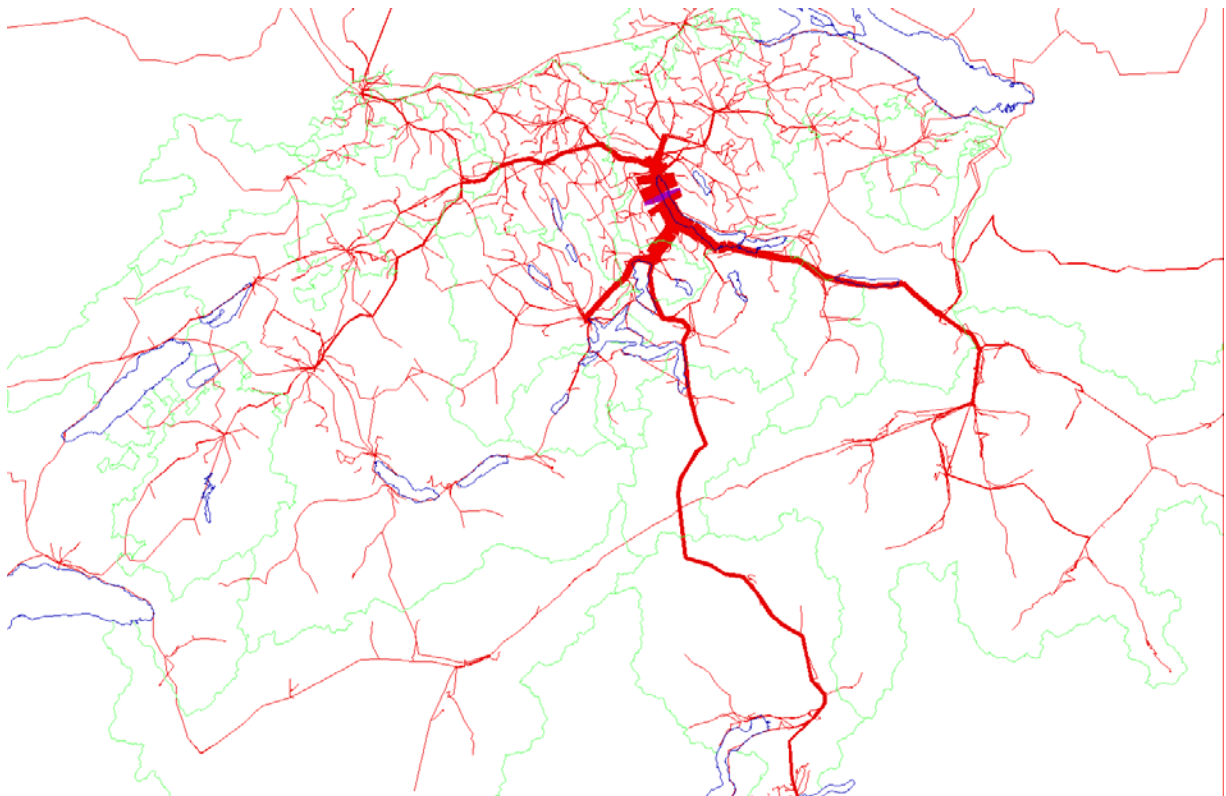
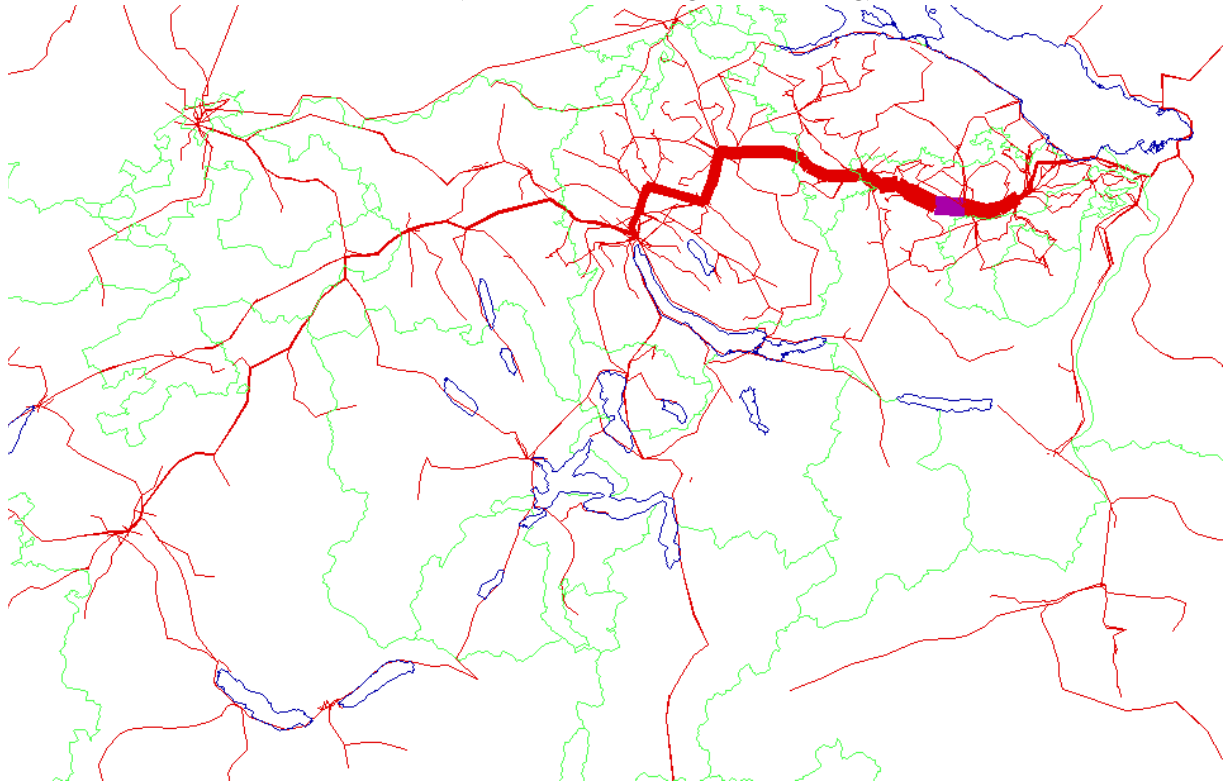


Abbildung 81 Spinnenanalyse ÖV

Gossau – Wil (9'000 Personen/Tag und Richtung)



Luzern – Root (9'300 Personen/Tag und Richtung)

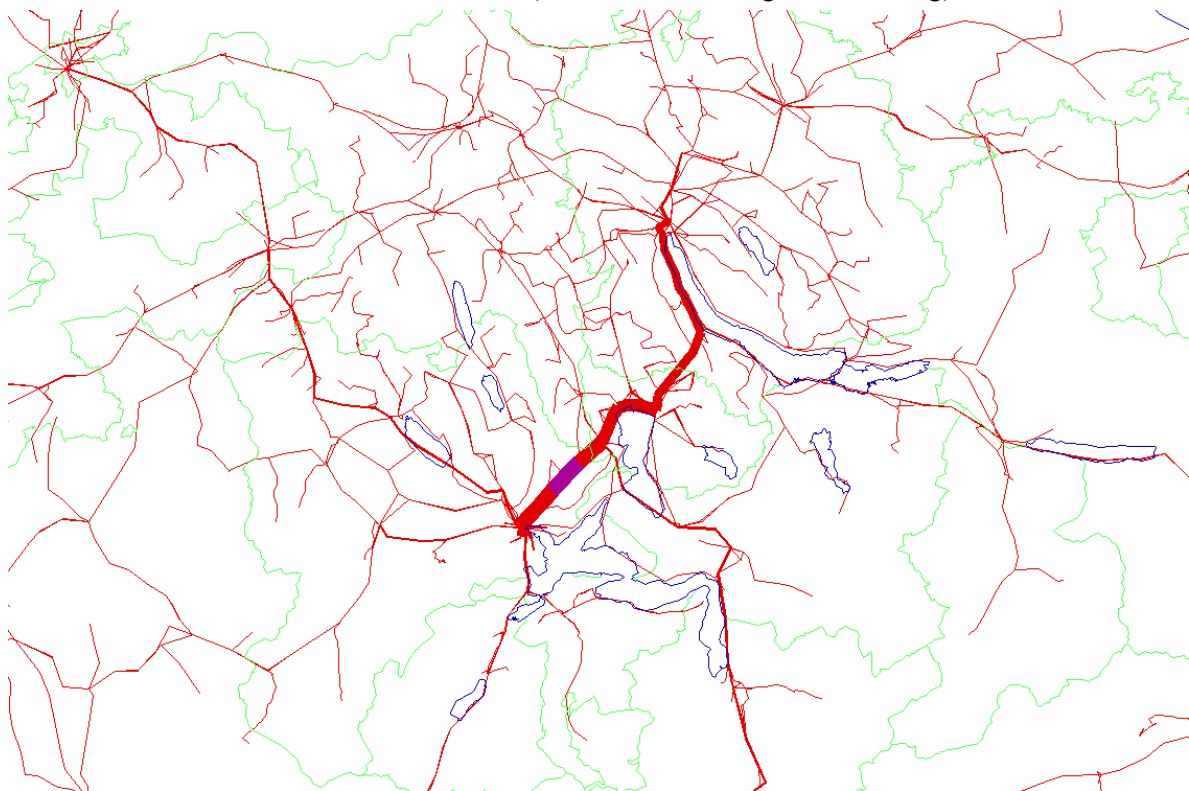


Abbildung 82 Spinnenanalyse ÖV

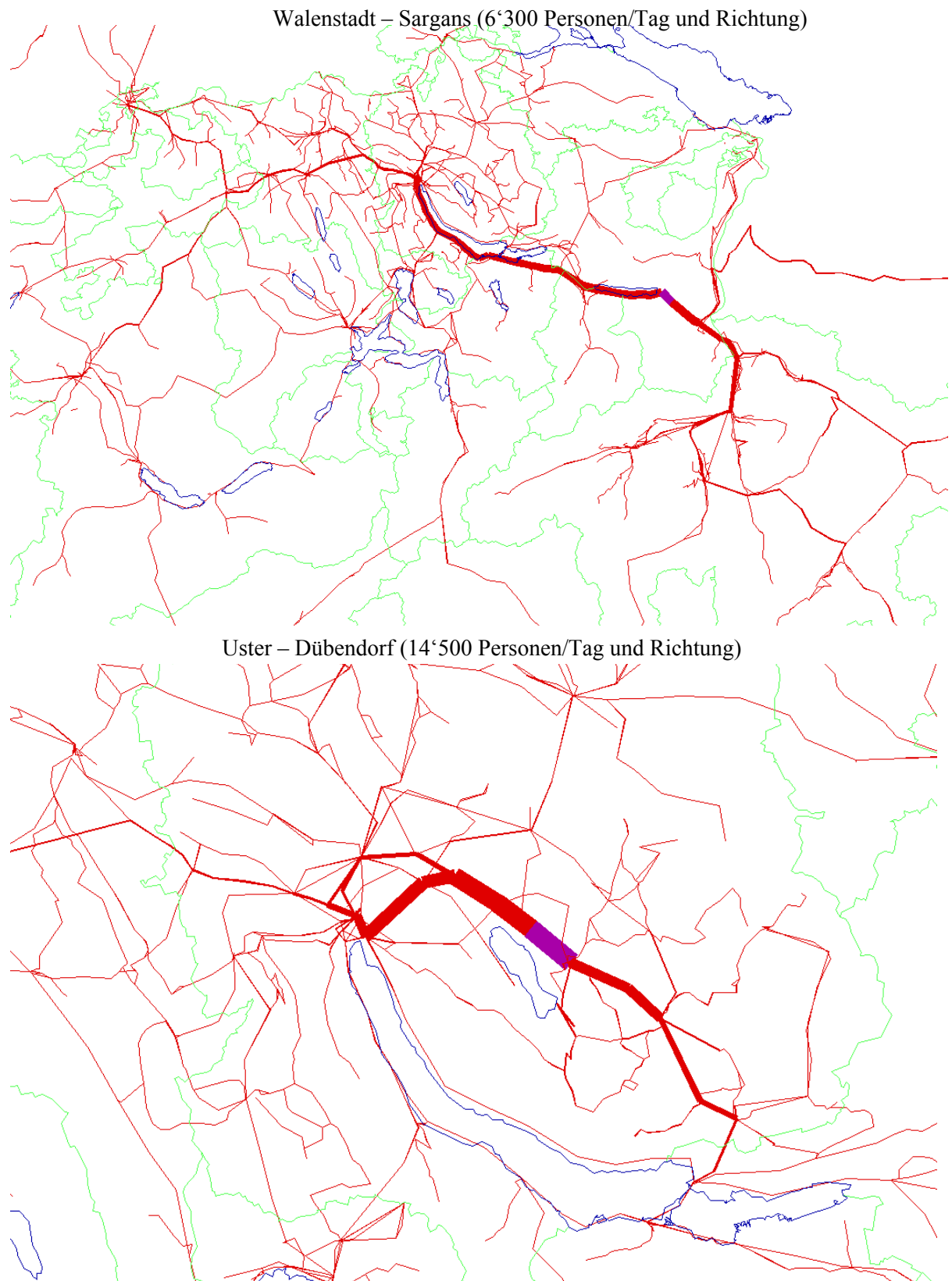


Abbildung 83 Knotenanalyse ÖV

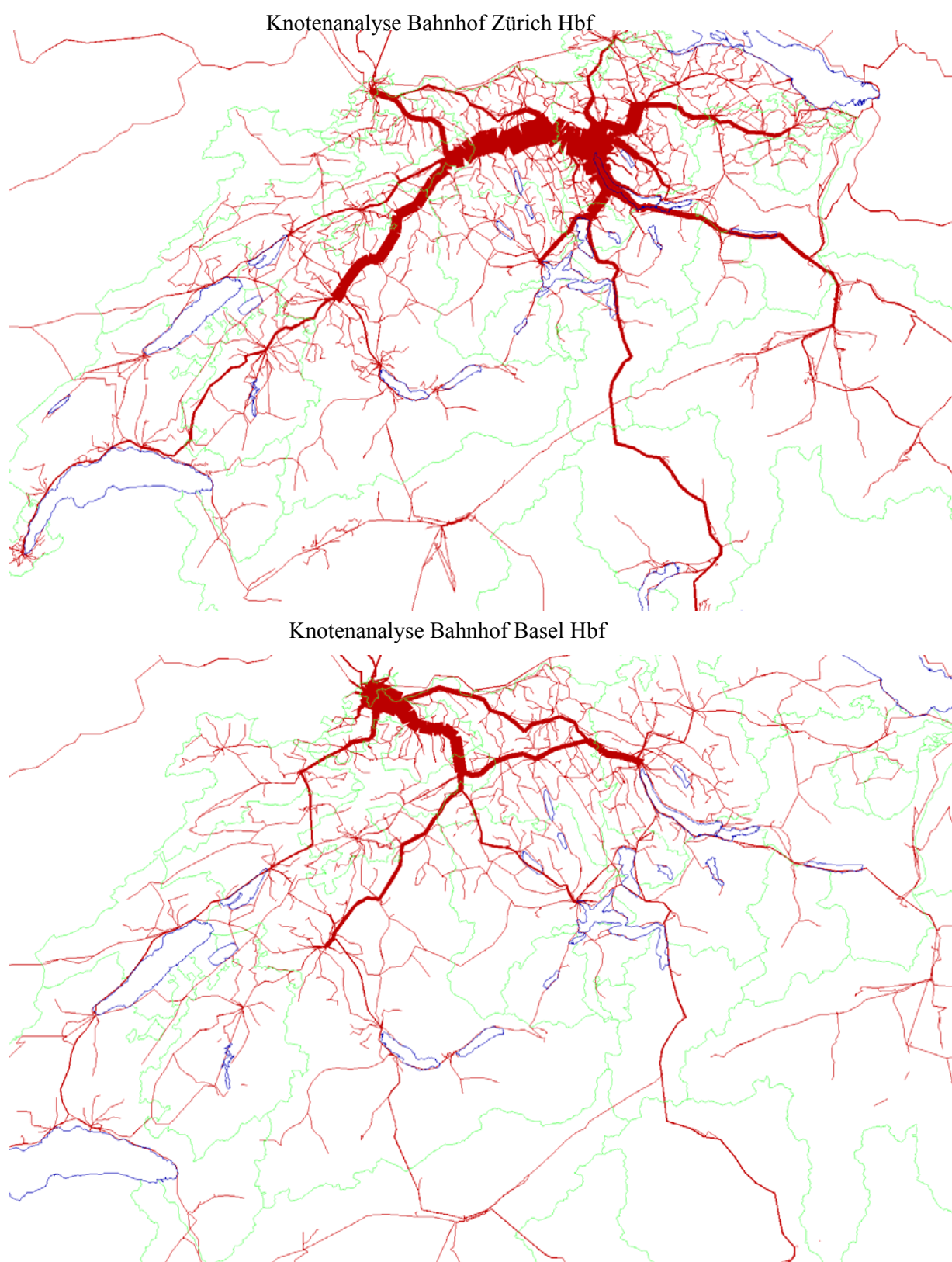
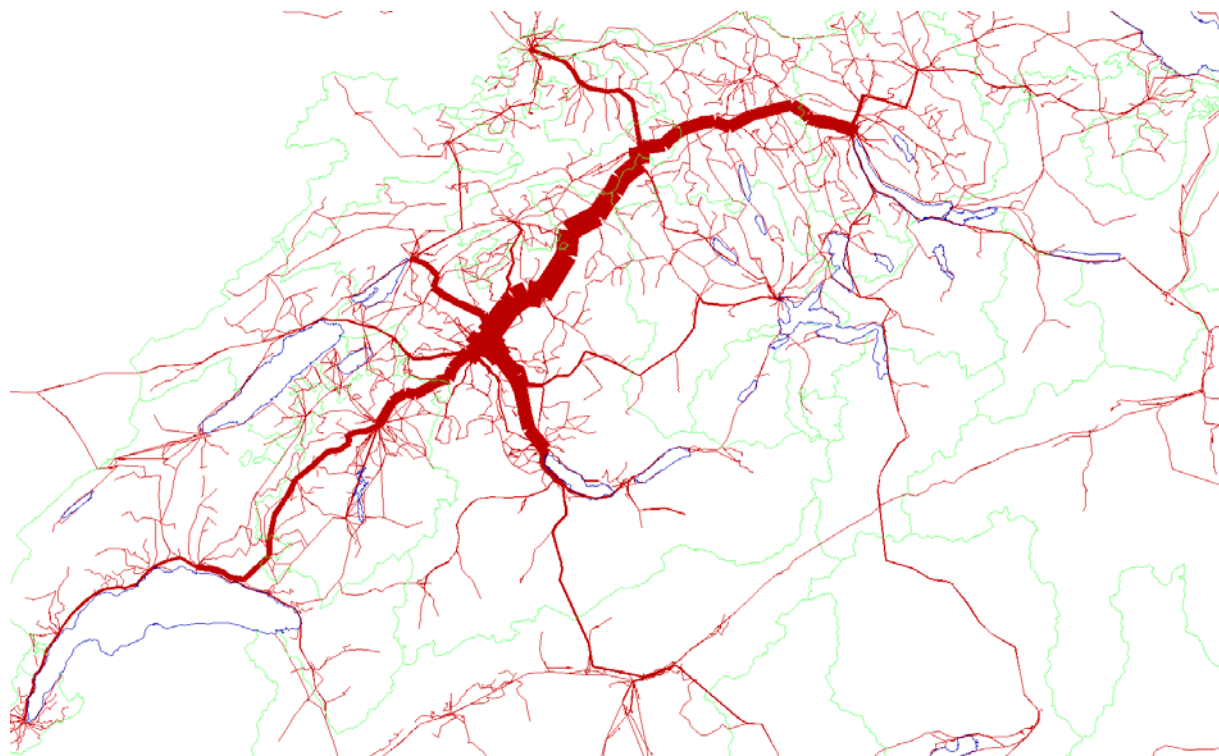
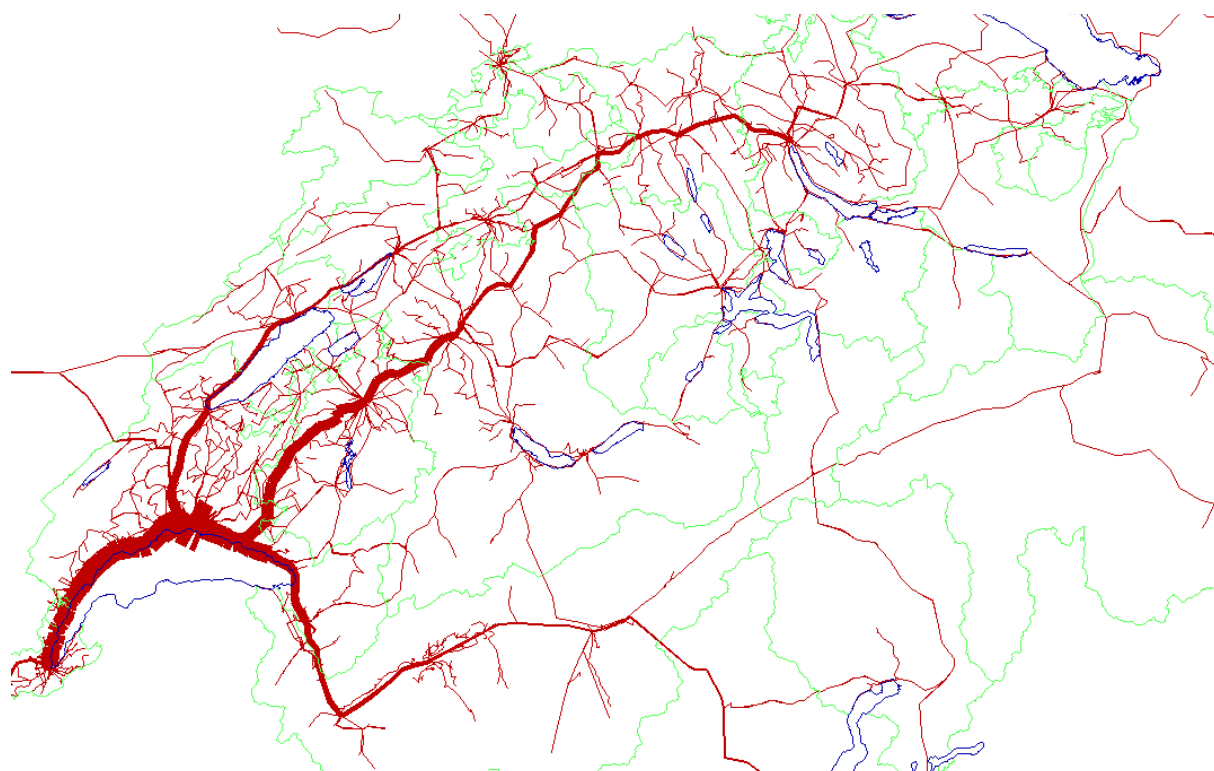


Abbildung 84 Knotenanalyse ÖV

Knotenanalyse Bahnhof Bern Hbf (ohne RBS)



Knotenanalyse Bahnhof Lausanne



10 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Aus der durchgeführten Analyse der hier erstellten Quell-Zielmatrizen und dem Vergleich mit den vorhandenen Erhebungsdaten konnte festgestellt werden, dass die Struktur der erstellten Matrizen den aus den Erhebungen abgeleiteten Gesetzmässigkeiten entspricht. Dafür wurden die ermittelten Matrizen mit allen zur Verfügung stehenden Erhebungsdaten überprüft. Die Eichung der Matrix wurde sowohl auf der Ebene der Matrixstruktur als auch auf der Ebene der Querschnittsbelastungen durchgeführt. Bei der Matrixstruktur wurden sowohl die Quell-Ziel-Ströme einzelner Quell-Ziel-Beziehungen und die Verteilung der Ströme auf einzelnen Querschnitten (Spinnenanalyse) als auch die Reiseweitenverteilungen und die ermittelten Querschnittsbelastungen mit den Erhebungen verglichen.

Die Eichung der Matrix auf die Querschnittszählungen wurde mittels eines manuellen Vorgehens durchgeführt. Mit diesem Verfahren konnten die ermittelte Matrixstruktur bei der Eichung beibehalten und die Abweichungen zwischen den Streckenbelastungen aus der ermittelten Matrix und den Querschnittszählungen minimiert werden.

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass die Abweichungen einer modellmässig erstellten und auf die Querschnittszählungen nicht kalibrierten Matrix in der Regel deutlich grösser sind als die hier ermittelten Abweichungen. Die höhere Genauigkeit ist vor allem auf eine sehr detaillierte Segmentierung des Modells durch die Bildung von Quell-Ziel-Gruppen und die dementsprechend genau erstellten Erzeugungs-, Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodelle zurückzuführen. Mit den durchgeführten Modellschätzungen werden die räumliche und modale Konkurrenz und damit auch die Verteilung und Aufteilung der Verkehrsströme angemessen abgebildet. Dies wurde durch die Überprüfung und Eichung der Matrixstruktur nochmals optimiert. Damit kann festgestellt werden, dass die erstellte Modellstruktur das Verkehrsverhalten sehr gut widerspiegelt.

Durch eine realitätsentsprechende Matrixstruktur sowie minimale Abweichungen gegenüber Querschnittszählungen ist die Prognosefähigkeit der Quell-Zielmatrizen gewährleistet. Die erstellten Modelle sind damit die Grundlage sowohl für die Aktualisierung von Quell-Ziel-Matrizen als auch für die Beurteilung von Massnahmen und Verkehrsprognosen. Mit diesen ist es möglich, die Veränderungen im Verkehrsangebot und den soziodemographischen und räumlichen Charakteristiken zu analysieren. Dabei können die Nachfrageauswirkungen auf allen vier Modellstufen berechnet werden: Verkehrserzeugung, Zielwahl, Verkehrsmittelwahl und Routenwahl.

Weiterentwicklung

- Bei der Aktualisierung und Weiterentwicklung des Modells könnten bestimmte Modellteile verbessert und zusätzlich überprüft werden. Hier wäre in einem ersten Schritt ein vollständiger ÖV-Fahrplan (aus der HAFAS) zu implementieren. Aus modelltechnischen und zeitlichen Gründen wurde in diesem Projekt ein vertaktetes Schienenverkehrsangebot implementiert. Zusätzlich sollte im Schienenverkehr auch die Verlässlichkeit und Kontinuität der Querschnittszählungen überprüft werden.
- Für die modellmässige Erstellung der Verkehrsströme im Aussenverkehr wäre eine Schätzung des Ziel- und Verkehrsmittelwahl-Modells sehr wichtig. Dafür könnte die Erhebung des alpen- und grenzquerenden Verkehrs verwendet werden.
- Es wäre zu überprüfen, ob im grenznahen Ausland eine feinere Zonierung (als NUT3) anhand von vorhandenen empirischen Daten möglich ist.
- Anhand der räumlichen Verteilung der Bevölkerung und des berücksichtigten Verkehrsnetzes könnten bei Zonenanbindungen und der Verteilung der Nachfrage über die Anbindungen eine höhere Genauigkeit erreichen.
- Für die Abbildung der Nachfragedynamik während des Tages und die korrektere Abbildung der Stauzeiten im MIV würde eine Dynamisierung der Quell-Zielmatrizen eine weitere Steigerung der Genauigkeit bei der Schätzung von Nachfrageauswirkungen bewirken.
- Für die Aktualisierung und Verifizierung des Modells sind neben den festgestellten Unsicherheiten und der Verfügbarkeit der Querschnittszählungen im ÖV, vor allem zusätzliche Erhebungen der Quell-Ziel-Ströme an ausgewählten Querschnitten (Spinnenerhebungen) zu empfehlen. Unter der Voraussetzung, dass die bisherigen Erhebungen (A+GQPV, Pendlerstatistik aus der Volkszählung, Mikrozensus Verkehr,...) weiter stattfinden, könnten durch die zusätzlichen Spinnenerhebungen an ausgewählten Querschnitten die Qualität und die Sicherheit bei der Erstellung und der Anwendung des Modells erhöht werden. Die Anzahl der Querschnitte sollte in Abhängigkeit der vorhandenen Finanzmittel und der bestehenden Netz- und Zonendichte gewählt werden.
- Für das MIV-Modell ist die Berechnung der Reisezeit einer Strecke durch die erhöhte Belastung bzw. Auslastung der Leistungsfähigkeit eine wichtige Modellkomponente. Um die Parameter der Geschwindigkeitsfunktion und die Reisezeiten des Modells zu prüfen, sind Q/V-Messungen (Verkehrsstärke/Geschwindigkeit) eine wichtige Komponente in den Erhebungsdaten. Es ist zu empfehlen, diese Messungen auf unterschiedlichen Streckentypen und stark

belasteten Strecken durchzuführen, um damit eine weitere Verifizierung des Modells zu ermöglichen.

- Für die Beurteilung von Massnahmen bei denen der Wochenendverkehr eine wichtige Rolle spielt wäre es wichtig, aus dem erstellten DWV-Modell auch ein Modell für den Wochenendverkehr aufzubauen. Ein solches Modell verlangt jedoch die Erstellung von Quell-Zielmatrizen und deren Eichung auf die Querschnittszählungen. Es wäre sinnvoll in einem ersten Schritt zu überprüfen, ob in den nächsten Jahren Bedarf nach einem Modell für den Wochenendverkehr besteht. Darüber hinaus ist die Datenverfügbarkeit (Verkehrsverhalten am Wochenende, Querschnittszählungen, elektronische Fahrpläne usw.) abzuklären.
- Durch die Anwendung des stochastischen Nutzergleichgewichts als Umlegungsmethode würde im MIV-Modell eine realistischere Modellierung der Routenwahl erreicht. Im Verlauf des Projekts war dieses Umlegungsverfahren in Visum nicht vorhanden, so dass die Umlegung mit dem Ansatz des deterministischen Nutzergleichgewichts durchgeführt wurde. Es ist zu erwarten, dass das in VISUM 9.2 implementierte stochastische Nutzergleichgewicht in den folgenden Versionen weiter optimiert wird und eine ähnliche Flexibilität und Schnelligkeit erreicht wie andere in VISUM vorhandene Umlegungsverfahren. Dieses Verfahren berücksichtigt die unterschiedliche Wahrnehmung der Reisekosten (Zahlungsbereitschaft) und ist für die Abschätzung von Nachfrageauswirkungen bei der Einführung von zusätzlichen Gebühren wie Road Pricing besonders geeignet.

11 Literatur

- Abay, G. and K.W. Axhausen (2001) Zeitkostenansätze im Personenverkehr: Vorstudie, *SVI Forschungsberichte*, **42/00**, Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI), Zürich.
- ARE (2003) Alpen- und grenzquerender Personenverkehr 2001, Schlussbericht, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.
- ARE, BFS (2001) Mobilität in der Schweiz, Ergebnisse des Mikrozensus 2000 zum Verkehrsverhalten, Bern und Neuenburg.
- ASTRA (2001) Info 2001-Schweizerische Nationalstrassen, Bundesamt für Strassen, Bern.
- ASTRA (2003) Entwicklungsindizes des schweizerischen Strassenverkehrs, Fortschreibung 1990 – 2002, Bern.
- Axhausen, K.W., S. Beige, M. Bernard und J. Jerman (2003) Grundlagenbericht für die Perspektiven des Schweizer Personenverkehrs bis 2030 – Prognose über Besitz und Nutzenintensität von Mobilitätswerkzeugen im Personenverkehr, Schlussbericht für das Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.
- Bierlaire, M. (2003) BIOGEME: a free package for the estimation of discrete choice models, paper presented at the 3rd Swiss Transport Research Conference, Ascona, March 2003.
- Bleisch, A. und Ph. Fröhlich (2003) Die Erreichbarkeit von Regionen, IBC Modul Erreichbarkeit Phase 1, Schlussbericht, (Hg.) BAK Basel Economics, Basel.
- Bosserhoff, D. (2000) Integration von Verkehrsplanung und räumlicher Planung, Teil 1: Grundsätze und Umsetzung, Schriftreihe der Hessischen Strassen- und Verkehrsverwaltung, Hessische Landesamt für Strassen- und Verkehrswesen, Wiesbaden.
- Cascetta, E. (2001) Transportation Systems Engineering: Theory and Methods, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Erath, A. und Ph. Fröhlich (2004) Geschwindigkeiten im PW-Verkehr und Leistungsfähigkeiten von Strassen über den Zeitraum von 1950-2000, Arbeitsbericht Verkehr- und Raumplanung, **183**, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- Fahlbusch, M., G. Christen, K. Haker, K. Janisch, S. Jens, M. Vödisch, T. Weiss und C. Zuber (2003), Verkehrsprognosen / Externe Kosten, im Auftrag der Europäische Wirtschaftliche Interessensvereinigung Brenner Basistunnel, Basel.
- FGSV (2001) Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Köln.
- Francini, A. (2002) Nachfrageauswirkungen von Angebotsveränderungen am Gotthard, Diplomarbeit, IVT, ETH Zürich.
- Fröhlich, Ph. und T. Fonfara (2004b) A method for estimating highway gradients and curvatures for capacity determination, paper presented at the 4th Swiss Transport Research Conference, Ascona, March 2004.
- Fröhlich, Ph., T. Frey, S. Reubi und H.-U. Schiedt (2004a) Entwicklung des Transitverkehrs-Systems und deren Auswirkung auf die Raumnutzung in der Schweiz (COST 340):

- Verkehrsnetz-Datenbank, Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung, **208**, IVT, ETH Zürich, Zürich.
- Fusseis / Sigmaplan (1998), Grundlagenuntersuchung zu Bahn 2000, Bericht an die SBB und den Dienst GVF, Bern.
- Keller M., R. Frick, R. Zbinden, P. Leyboldt, U. Matthes und S. Rommerskirchen (2004) Perspektiven des Schweizerischen Personenverkehrs bis 2030, Entwurf Schlussbericht für das ARE, ASTRA, BAV und BFE, Bern.
- König, A. und K. W. Axhausen, (2001) Mobilitätswerkzeuge und Wohnstandorte: Mobiplan stated choice Experimente, Stadt Region Land, 71, 185-194.
- Koblo, R., S. Rommerskirchen, M. Vödisch, M. Hery, S. Judmayr, N. Sedlacek und A. Gorisse (1997), Study of the Development of Transalpine Traffic (Goods and Passengers) Horizon 2010, European Commission for Transport DG VII, Basel.
- Lohse, D. H. Teichert, und B. Dugge, Programmsystem VISEVA (Verkehr in Städten und Regionen – Erzeugung, Verteilung, Aufteilung). Entwickelt an der TU Dresden, vertrieben durch PTV AG Karlsruhe.
- Lohse, D., H. Teichert, B. Dugge und G. Bachner(1997) Ermittlung von Verkehrsströmen mit n-linearen Gleichungssystemen unter Beachtung von Nebenbedingungen einschließlich Parameterschätzung (Verkehrsnachfragemodellierung: Erzeugung, Verteilung, Aufteilung). Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, H. 5/1997, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Technische Universität Dresden.
- microGIS (2005) MicroDrive, das Schweizer Strassennetz, www.microgis.ch/de/microdrive/index.htm, St-Sulpic, Mai 2005.
- Schnabel, W. und D. Lohse(1997), Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und Straßenverkehrsplanung, Band 2. Verlag für Bauwesen, Berlin.
- Ortuzar, J. de D. und L.G. Willumsen (2001) Modelling Transport, 3. Auflage, Wiley, Chichester.
- PTV (2002) Benutzerhandbuch VISUM 8.0, Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe.
- ProgTrans (2004) European Transport Report 2004, Basel.
- Tschopp, M., P. Keller und K.W. Axhausen (2003) Demographie und Raum in der Schweiz: Eine historische Raumstrukturdatenbank, *Arbeitsbericht* 165, IVT ETH Zürich
- Vrtic, M. und K. W. Axhausen (2003) Experiment mit einem dynamischen Umlegungsverfahren, Strassenverkehrstechnik, **47** (3) 121-126.
- Vrtic, M., K.W. Axhausen, M. Bell und S. Grosso (2004) Methoden zum Erstellen und Aktualisieren von Wunschlinienmatrizen im motorisierter Individualverkehr, *SVI Forschungsberichte*, **2000/379**, Bundesamt für Strassen, Bern.
- Vrtic, M., K.W. Axhausen, F. Rossera und R. Maggi (2003) Verifizierung von Prognosemethoden im Personenverkehr, im Auftrag der SBB und dem Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), IVT, ETH Zürich und USI Lugano, Zürich und Lugano.
- Vrtic, M., R. Koblo und M.Vödisch (1999) Entwicklung eines bimodalen Personenverkehrsmodells als Grundlage für Bahn2000, 2 Etappe , Modellierungsauftrag 1, im Auftrag der SBB und dem Dienst für Gesamtverkehrsfragen, Prognos AG.

12 Anhang

Modellergebnisse – Verkehrsmittelwahl (SP-Modell)

Quelle: Vrtic, M., K.W. Axhausen, F. Rossera und R. Maggi (2003)

SP-Modell

Die Modellparameter wurden mit und ohne Berücksichtigung des Fahrtzwecks geschätzt. Die Ergebnisse der SP-Schätzung für das MNL Modell sind in Tabelle 46 dargestellt. Die geschätzten Modellparameter zeigen das richtige Vorzeichen und sind vergleichbar mit Untersuchungen in anderen Ländern (Abay und Axhausen, 2001). Bei der Schätzung der Modellparameter wurde die Annahme getroffen, dass die Preisvariable gleiche Bedeutung für ÖV- und MIV-Nutzer hat. Hinter dieser Annahme steht die Voraussetzung, dass das Geld unabhängig von der Verkehrsmittelwahl und den soziodemografischen Charakteristika gleichen Wert hat. Einkommen steht als Variable nicht zur Verfügung. Diese Annahme führte zu einer höheren Plausibilität der Modellergebnisse.

Tabelle 46 Verkehrsmittelwahl: Ergebnisse der SP-Schätzung (MNL)

Variable	Modell Parameter (β)				
	Alle Fahrtzwecke	Pendler	Geschäft	Einkauf	Freizeit/ Urlaub
MIV					
Konstante	0.185 *	-0.839 *	0.287 *	0.137 *	0.445 *
Fahrzeit	-1.383 *	-2.916 *	-1.858 *	-3.189 *	-1.236 *
Preis	-0.050 *	-0.191 *	-0.025 *	-0.126 *	-0.049 *
Verlässlichkeit	-0.006		-0.017		-0.005
PKW-Verfügbarkeit	0.828 *	1.118 *	1.153 *	1.257 *	0.715 *
ÖV					
Fahrzeit	-0.921 *	-1.661 *	-1.390 *	-2.014 *	-0.817 *
Preis	-0.050 *	-0.191 *	-0.025 *	-0.126 *	-0.049 *
Zugangszeit	-2.493 *	-3.354 *	-2.023	-4.489 *	-1.946 *
Verlässlichkeit	-0.005		-0.015		-0.005
Intervall	-0.414 *	-0.868 *	-0.591 *	-0.387 *	-0.321 *
Umsteigezahl	-0.378 *	-0.502 *	-0.524 *	-0.492 *	-0.351 *
Komfort IR-Doppelstock	0.146 *	0.188 *	0.032	0.389 *	0.127
Komfort IC/EC	0.314 *	0.330	0.023	0.397 *	0.339 *
Komfort ICN	0.246 *	0.448 *	0.353	0.196	0.209 *
Männlich	0.046	0.191	-0.994 *	0.295 *	-0.075
Alter	0.007 *	0.001	0.035 *	0.010 *	0.007 *
GA Besitz	1.657 *	0.801 *	1.752 *	1.193 *	1.787 *
Halbtax Besitz	1.001 *	0.894 *	0.874 *	1.036 *	1.028 *
Erwerbstätig	-0.064	-0.094 *			-0.131 *
Anzahl Beobachtungen	9027	1080	650	1181	6116
Adj Pseudo R ²	0.252	0.247	0.270	0.398	0.237
Log-likelihood Function	-4671	-555	-320	-494	-3224

(*) $\alpha < 0.10$

Modellergebnisse – Routenwahl

Quelle: Vrtic, M., K.W. Axhausen, F. Rossera und R. Maggi (2003)

SP-Modell

Die Parameter für das Routenwahlmodell wurden auch hier mit dem MNL Modell geschätzt. Die Schätzung dieser Parameter gibt eine Grundlage für das Umlegungsmodell. Wie bei der Verkehrsmittelwahlschätzung wurden auch hier die Modelle mit und ohne Berücksichtigung der Fahrtzwecke ermittelt. Wie bereits beschrieben wurde die Datengrundlage für die Modellschätzung zusammen mit den SP-Befragungen über die Verkehrsmittelwahl erhoben. Damit sind die soziodemografischen Charakteristiken der Befragten auch ähnlich zu denjenigen bei der SP-Verkehrsmittelwahl. Die Ergebnisse der SP-Schätzung sind in Abbildung 47 dargestellt. Bei der Schätzung der Modellparameter wurden in diesem Modell die Umsteigezahl und Umsteigezeit getrennt betrachtet.

Tabelle 47 Routenwahlmodell: Ergebnisse der SP-Schätzung (MNL)

Variable	Modell Parameter (β)					
	Alle Fahrtzwecke	Pendler	Einkauf	Freizeit/Urlaub	Geschäft (1)	Geschäft (2)
ÖV						
Konstante	0.233 *	0.224 *	0.364 *	0.203 *	0.278 *	0.270 *
Fahrzeit	-2.398 *	-5.524 *	-4.250 *	-2.079 *	-3.665 *	-4.320 *
Preis	-0.140 *	-0.466 *	-0.211 *	-0.132 *	-0.070 *	
Intervall	-0.622 *	-1.650 *	-0.859 *	-0.473 *	-0.073	-0.258
Umsteigezahl	-0.749 *	-0.708 *	-0.416 *	-0.782 *	-0.315 *	-0.425 *
Umsteigezeit	-1.174 *	-3.608 *	-5.271 *	-0.858 *	-3.072 *	-3.015 *
Komfort IR-Doppelstock	0.493 *	0.567 *	0.859 *	0.481 *	0.189	0.227
Komfort IC/EC	0.580 *	0.546 *	0.611 *	0.559 *	0.553 *	0.642 *
Komfort ICN	0.664 *	0.865 *	0.821 *	0.604 *	0.194	0.389
N – Beobachtungen	7964	1133	802	5370	659	659
Adj Pseudo R ²	0.104	0.138	0.106	0.094	0.139	0.18
Log-likelihood Function	-4943	-671	-491	-3365	-393	-374

(*) $\alpha < 0.10$, (1) Preisvariable auf Grundlage des relativen Verhältnisses der Zeit- und Preisparameter beim Verkehrsmittelwahlmodell geschätzt, (2) Ohne Berücksichtigung der Preisvariable