

## Preferred citation style for this presentation

---

K.W. Axhausen (2006) Verkehrs- und Flächennutzungsmodelle:  
Aktueller Stand, Vortrag, *Seminar des Kantons Basel-Stadt*,  
Basel, November 2006.

# Verkehrs- und Flächennutzungsmodelle: Aktueller Stand

KW Axhausen

IVT  
ETH  
Zürich

November 2006

 *Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme*  
*Institute for Transport Planning and Systems*

**ETH**

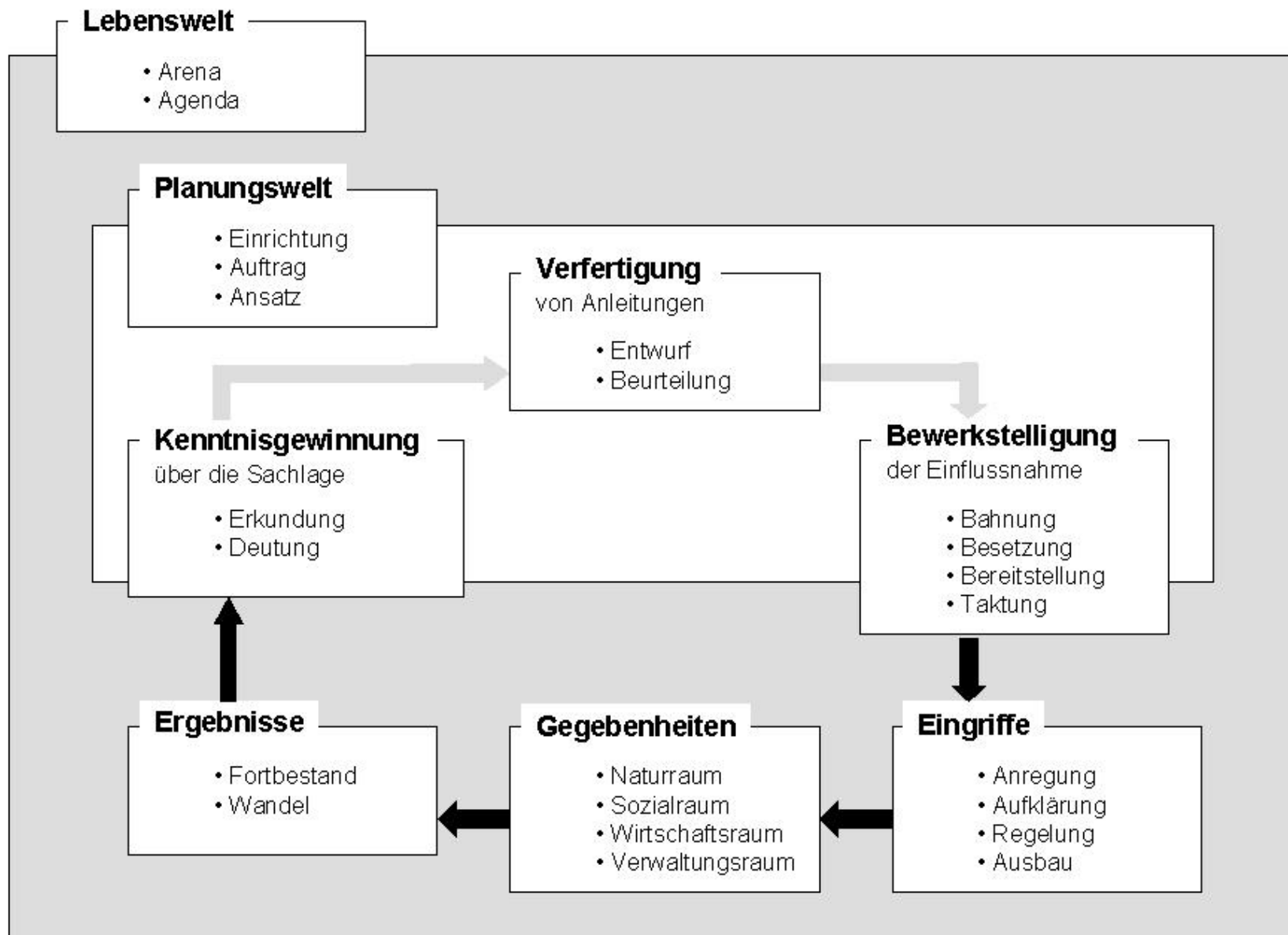
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

# Beteiligte

---

- Nationales trimodales Verkehrsmodell:
  - M. Vrtic, P. Fröhlich und N. Schüssler
  - (S. Dasen und B. Singer; Emsch & Berger)
  - D. Lohse und C. Schiller, TU Dresden)
- Genauigkeit der Modelle:
  - N. Schüssler
- UrbanSim für Zürich (mit Prof. Schmid)
  - M. Löchl, M. Bürgle, (U. Waldner)

# Planungsprozess nach Heidemann, 1985



nach Heidemann (1985)

# Rolle der Modelle (1)

---

- Offenlegung der eigenen Annahmen
- Zwang zur Eindeutigkeit
- Rechtfertigung der numerischen Annahmen
- Absteckung der Grenzen des Verständnisses
  
- Instrument zur Zusammenfassung nicht-linearer Wechselwirkungen
- Experimentelle Erkundung der Sachlage
  
- Produktion von Zahlen
- Identifikation von optimalen Strategien

## Rolle der Modelle (2)

---

Berechnung der erwarteten:

- Bodenwerte
- Nutzungsformen
- Nutzungsintensitäten
- Generalisierte Kosten nach Zeit, Ort/Strecke und Verkehrsmittel
- Nutzerzahlen und -ströme
- Umweltwirkungen

für frei wählbare Vorgaben und beliebig definierte Personengruppen

# Wie erklären wir Verkehrsverhalten ?

---

- Budgetzwänge
- Verfügbarkeit der Mobilitätswerkzeuge
- Generalisierte Kosten des Tagesplans
  - Generalisierte Kosten der Wege
  - Generalisierte Nutzen der Aktivitäten
- Risiko und komfort-bereinigte gewichtete Summe aus Zeit, Ausgaben und “sozialem Inhalt”

# Wie erklären wir die räumlichen Nutzungen ?

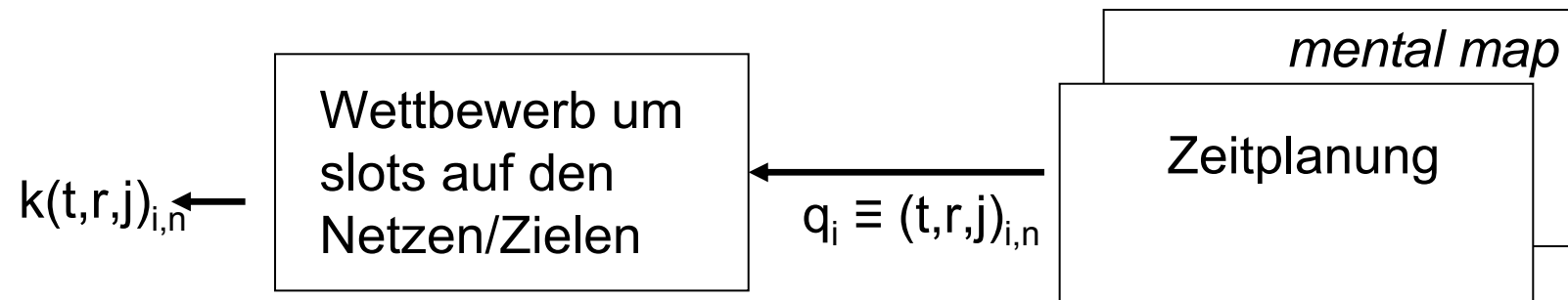
---

- Budgetzwänge
- (verhandelbare) Vorgaben für die Flächennutzung
- Verfügbarkeit der Flächen
  
- Generalisierter Nutzen über den Lebenszyklus der Nutzung
  - Generalisierte Kosten der Erstellung
  - Generalisierte Nutzen des Betriebs
  
  - Risiko und Komfort-bereinigte gewichtete Summe aus Zeit, Ausgaben, Einnahmen und “sozialem Inhalt”



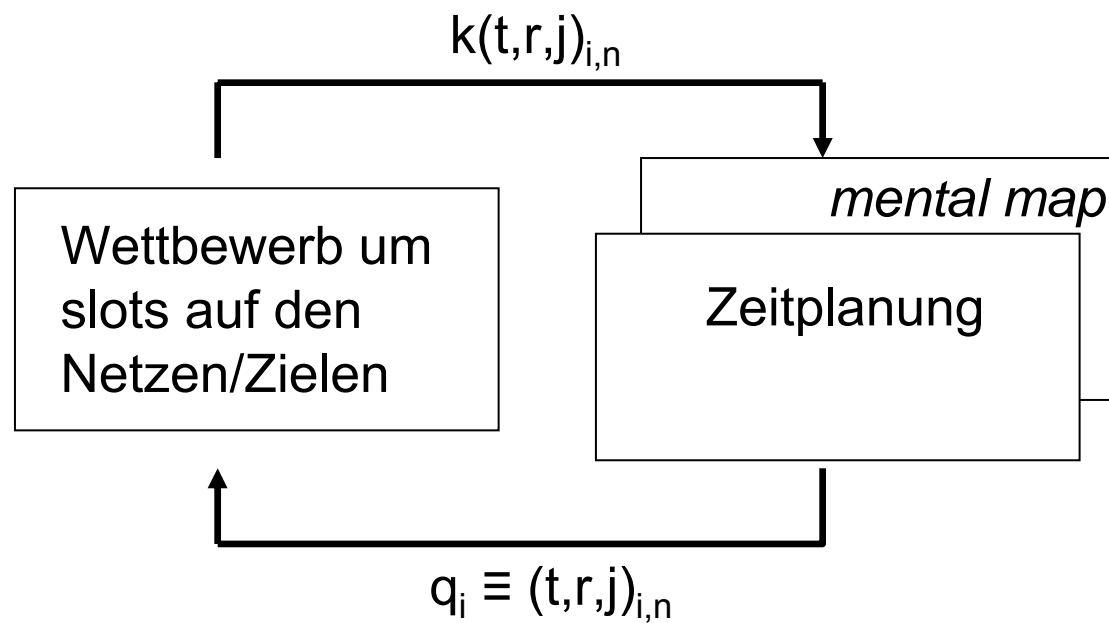
# Verkehrsmodelle: Ausgangspunkt

---



# Verkehrsmodelle: Gleichgewichte

---



# Formen des deterministischen Gleichgewichts

---

| Wahrnehmung | Kostenart  | Form                                     |
|-------------|------------|--|
| Perfekt     | Private GK | Nutzergleichgewicht (DUE)                |
|             | Soziale GK | Systemoptimum (SO)                       |
| Mit Fehlern | Private GK | Stochastisches Nutzergleichgewicht (SUE) |

# Vier-Stufen-Ansatz seit den 50'iger Jahren

---

## Motorisierungsprognose

1. {
  - Verkehrserzeugung
  - Verkehrsanziehung
$$e'_{iz} = f(B_{igz})$$
$$a'_{jz} = f(B_{jgz}, A_{jz})$$
  
2. {
  - Verkehrsverteilung
$$q'_{ijz} = f(e'_{iz}, a'_{jz}, k''_{ij,(m),z})$$
  
3. {
  - Verkehrsmittelwahl
$$q'_{ijmz} = f(q'_{ijz}, k''_{ijm,z})$$

Wahl der  
Abfahrtszeit

$$q'_{tijmz} = f(q'_{ijmz}) \text{ (z.B. Spitzenstunde)}$$
  
4. {
  - Umlegung
$$q'_{tsrijmz} = f(q'_{tijmz}, k'_{tsrijmz})$$
$$k'_{tsrijmz} = f(q'_{tsrijmz})$$

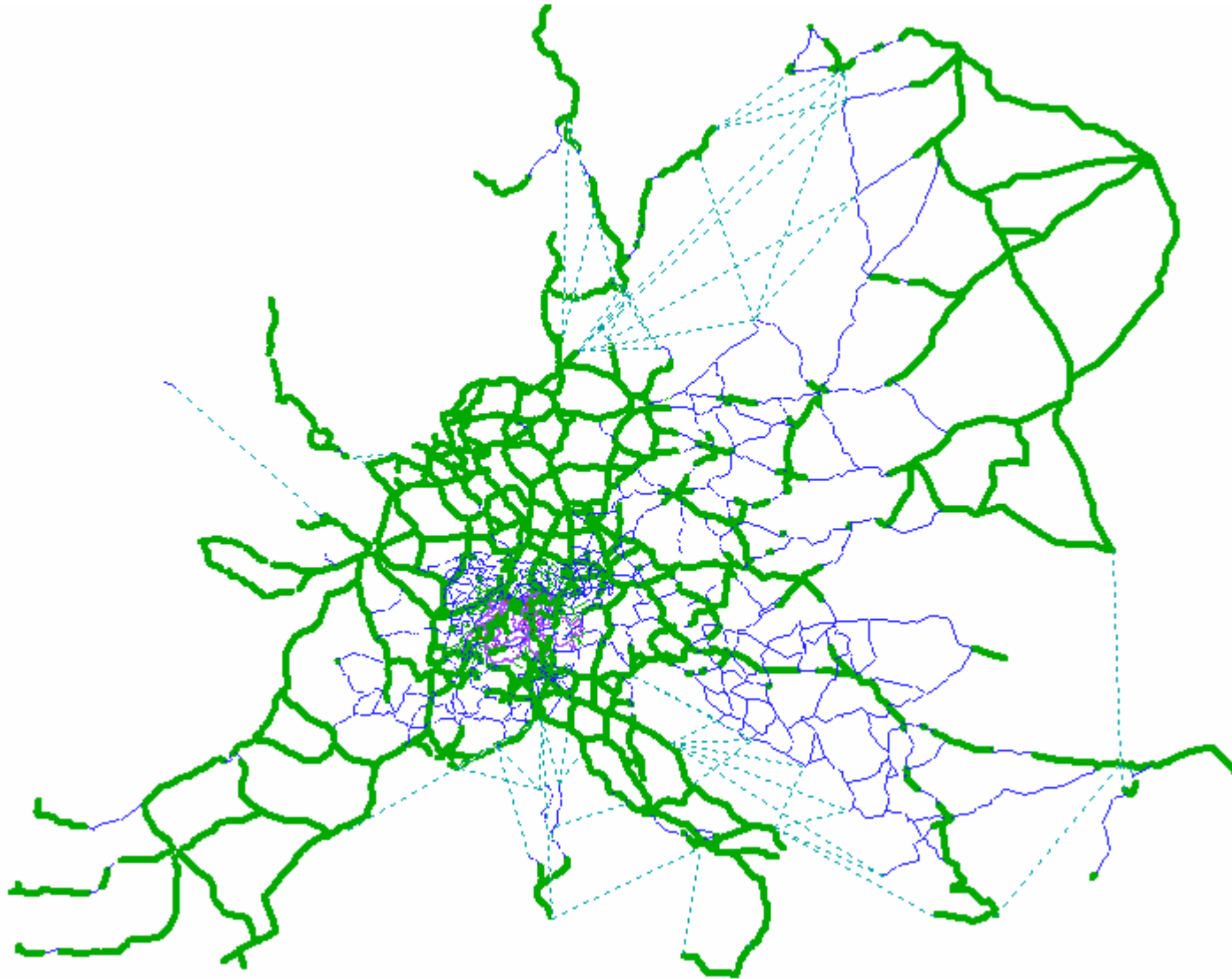
# Nationales bimodales Verkehrsmodell: Systemabgrenzung

---

- Modell für ein DWV (Strasse, ÖV, Langsamverkehr) (17 Wegetypen)
- Basisjahr 2000
- Untersuchungsgebiet (Schweiz und Ausland)
- Zonierung
  - Schweiz: Gemeindefein (Grossstädte nach Quartieren)
  - Ausland: NUT3 (Grenznähe),
  - NUT2, NUT1, NUT0 (Weiteres Ausland)

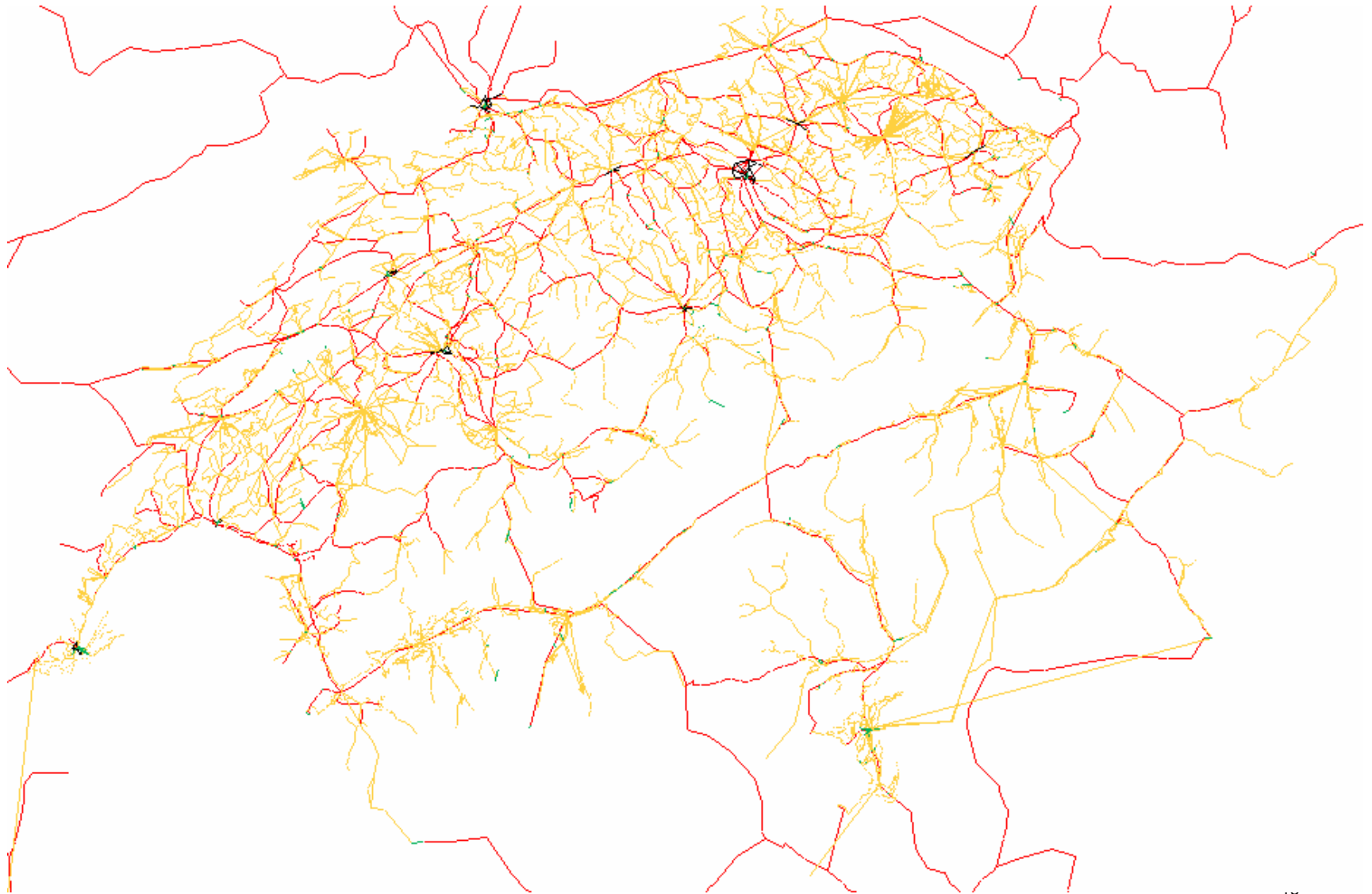
# Strassennetz

---



# ÖV-Netz

---



# Struktur- und Verhaltensdaten

---

- Soziodemographische und räumliche Charakteristiken
  - IVT Raumstruktur Datenbank (Schweiz und Ausland)
  - Volkszählung 2000
  - weitere Statistiken
- Verhaltensdaten: Die Kennwerte zum spezifischen Verkehrsaufkommen pro QZG und VHG
  - Mikrozensus 2000
  - Andere Studie



# Einflussgrößen: Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodell

---

- Verkehrsmittelwahl (Parameter aus SP-Befragung, ICN-Studie)
  - Fahrtzeit, Preis, Zugangszeit, Umsteigezahl, Bedienungshäufigkeit
  - Alter, PW Verfügbarkeit, GA, Halbtax
- Zielwahl
  - Einwohner, Beschäftigte, Auszubildende, Einkaufszentren, Verkaufsflächen, Freizeiteinrichtungen, Übernachtungen, Kulturangebot, Erholungs- und Grünanlagen, usw.

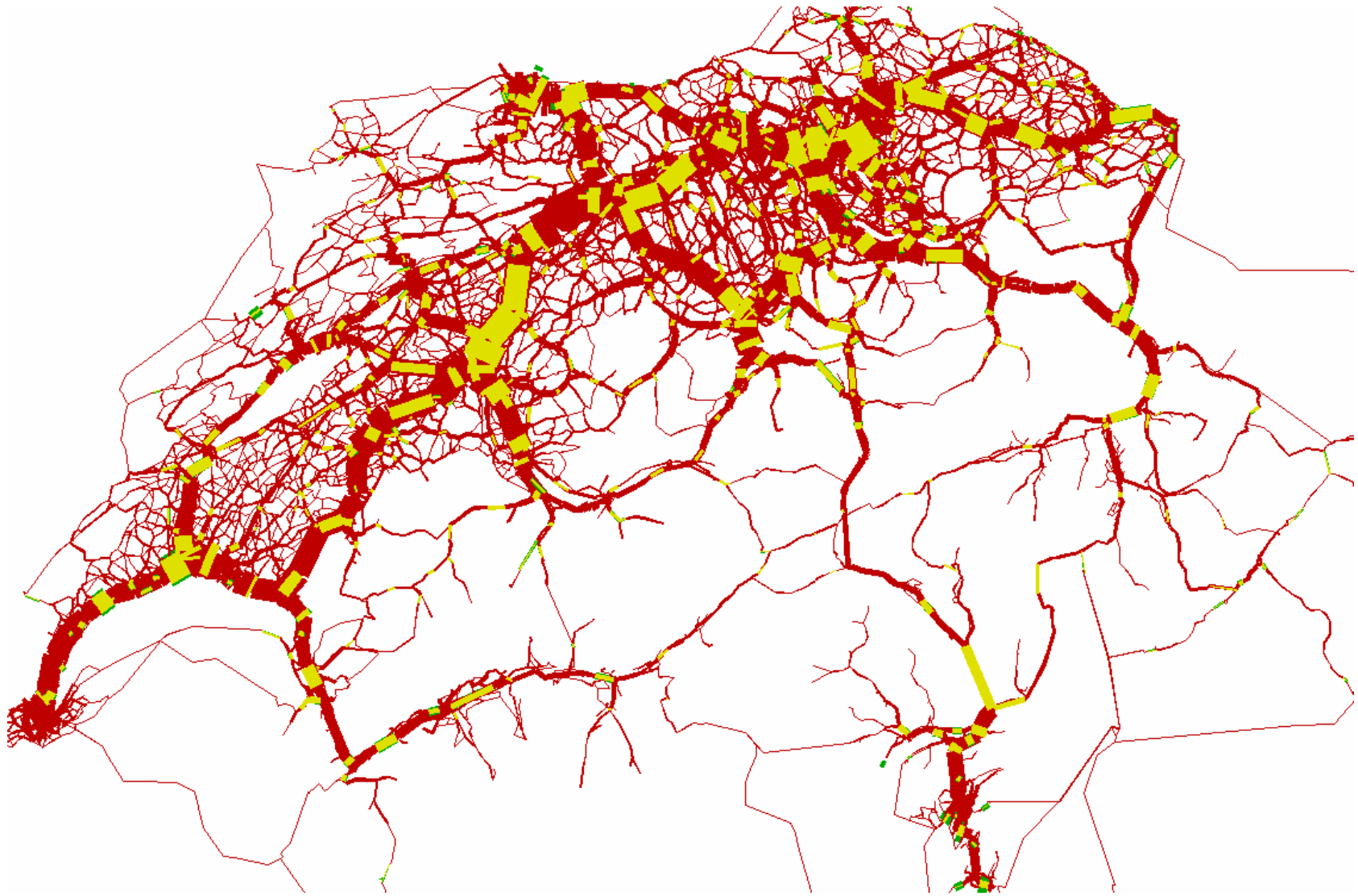
# Aussenströme

---

- Aussenmodelle für:
  - Quell-Ziel-Ströme
  - Transit- und Umfahrungsströme
- Eichung mit Strömen aus A+GQPV - Erhebung
- Quell-Ziel-und Transitströme aus A+GQPV - Erhebung
- Umfahrungsströme aus Modell

# MIV: Vor Kalibrierung

---



## Quell-Ziel-Matrizen vor und nach der Kalibrierung

---

|            | Vor<br>Kalibrierung | Nach<br>Kalibrierung | Veränderung in<br>% |
|------------|---------------------|----------------------|---------------------|
|            | 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%                |

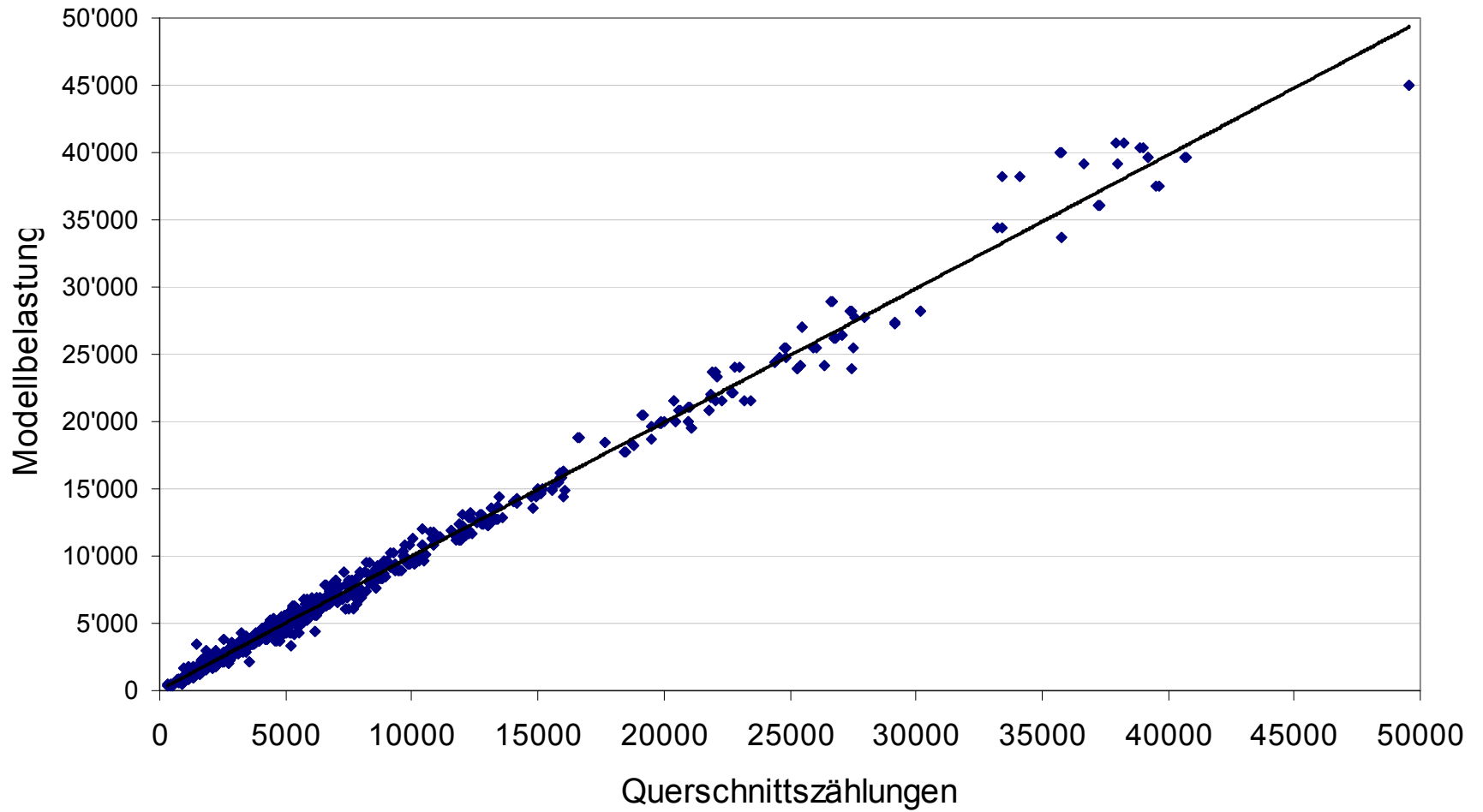
---

## Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung

|                           | Mio. Personen<br>Wege |     | Mio. Personen-km |      | Mitt. Reiseweite<br>(km) |       |
|---------------------------|-----------------------|-----|------------------|------|--------------------------|-------|
|                           | MIV                   | ÖV  | MIV              | ÖV   | MIV                      | ÖV    |
| Binnenverkehr             |                       |     |                  |      |                          |       |
| Pendler                   | 3,0                   | 1,1 | 39,5             | 20,7 | 13,4                     | 18,6  |
| Nutz.                     | 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 |                       |     |                  |      |                          |       |
| Pendler                   | 3,2                   | 1,1 | 56,0             | 20,8 | 17,5                     | 18,6  |
| Nutzf.                    | 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  |

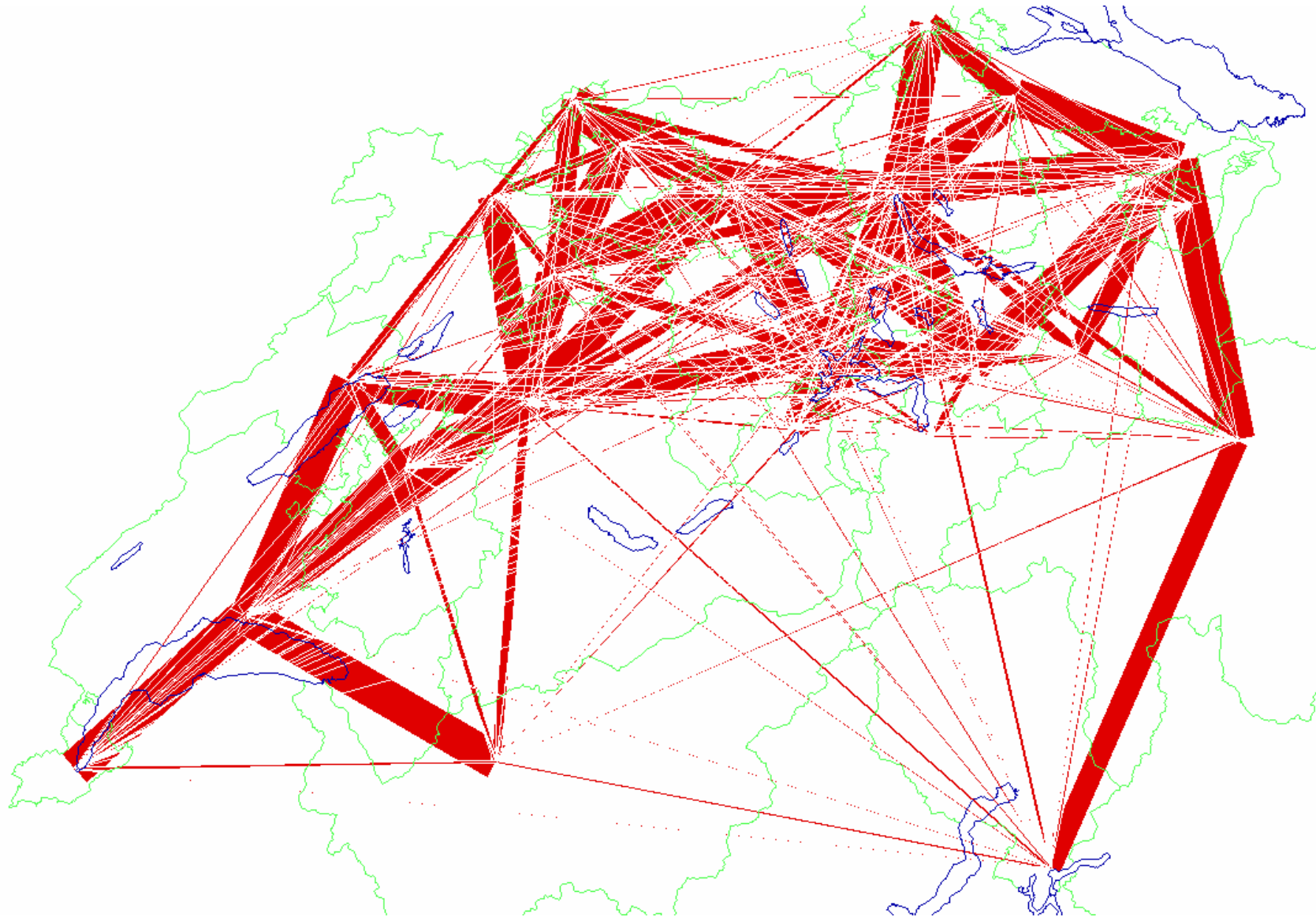
# MIV: Netzbelastungen/Querschnittszählungen

---



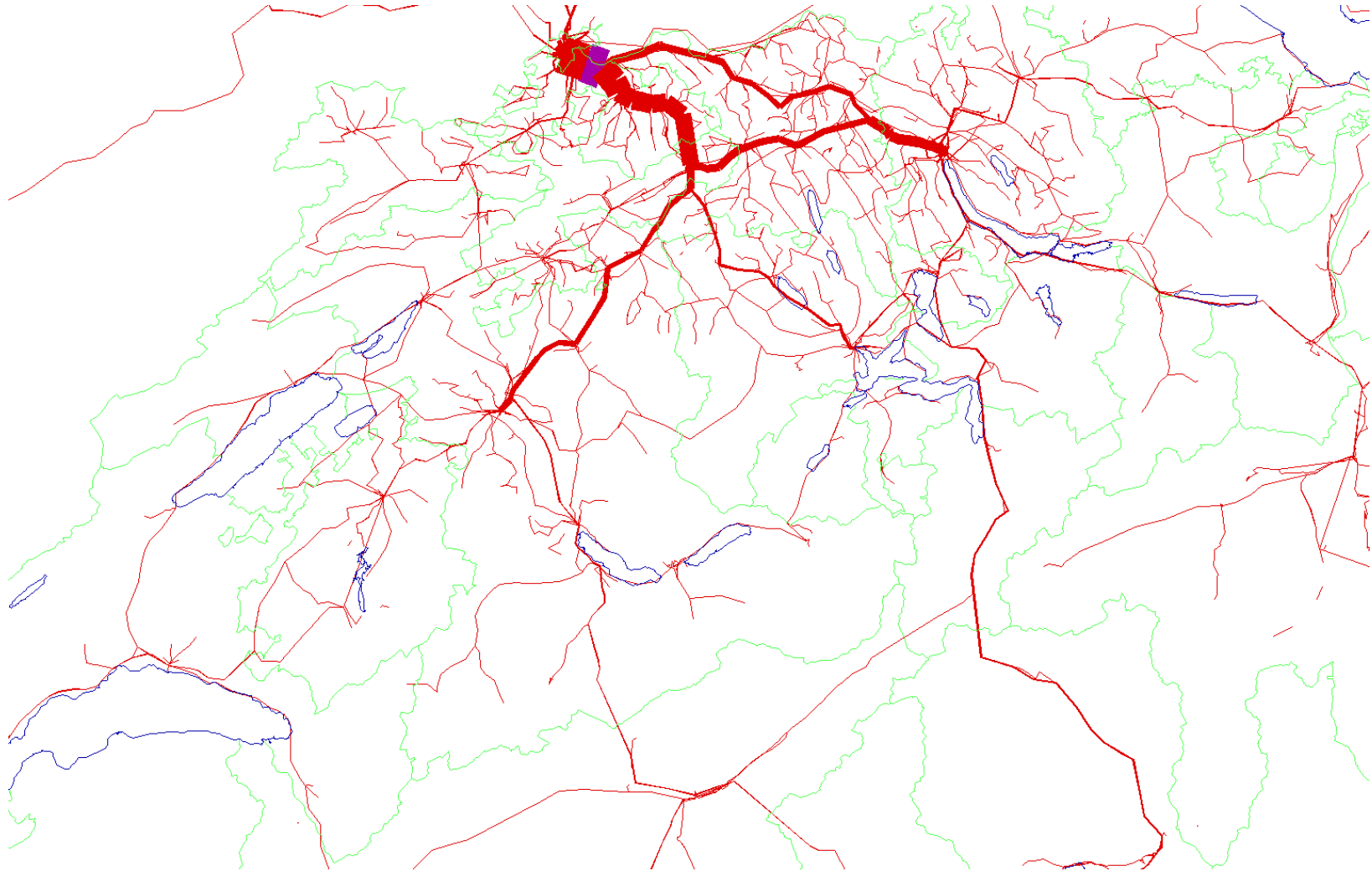
# MIV-Verkehrsströme zwischen Kantonen

---



# ÖV: Pratteln (29'000 Person/Tag & Richtung)

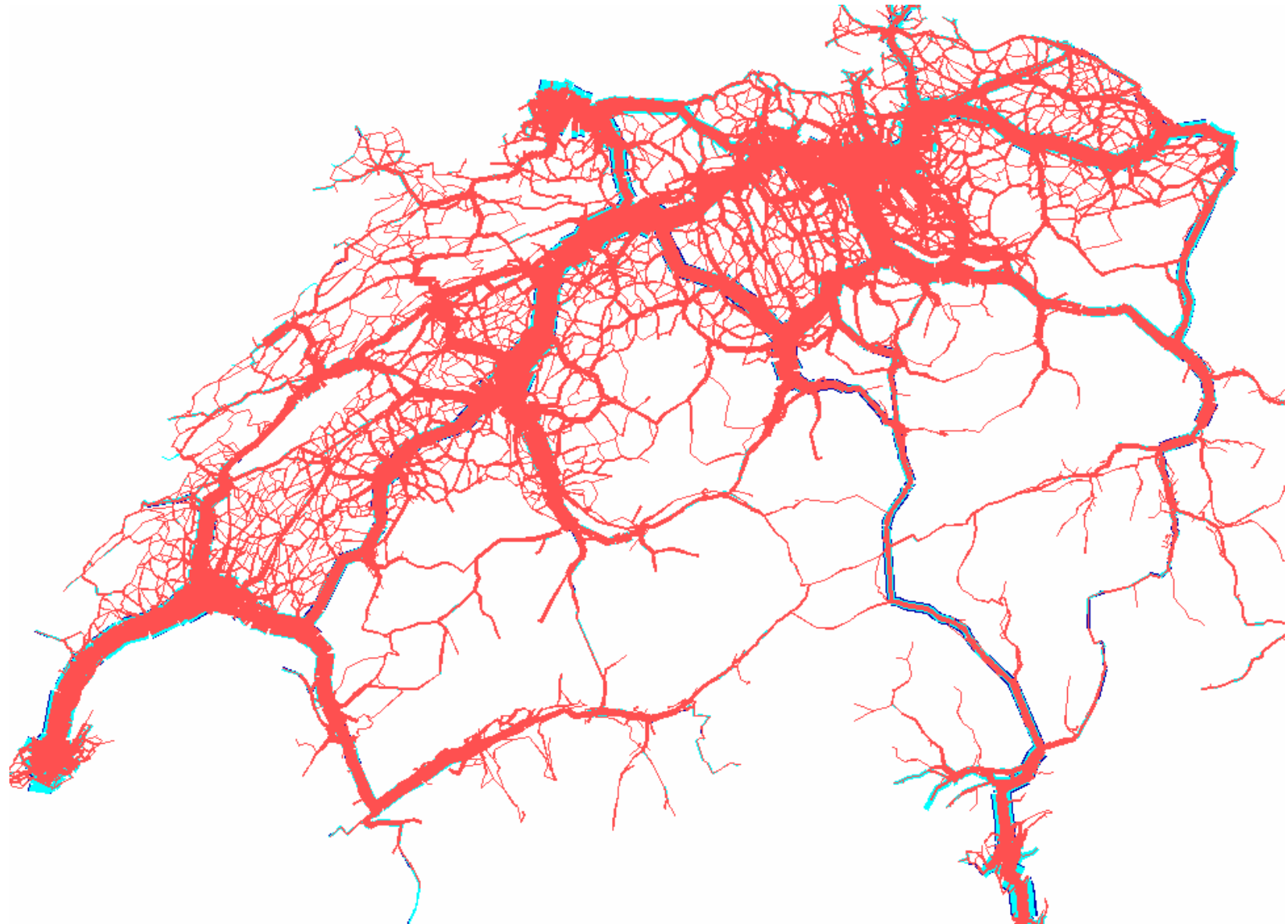
---





# MIV: Binnen-, Quell/Ziel- und Transitverkehr

---



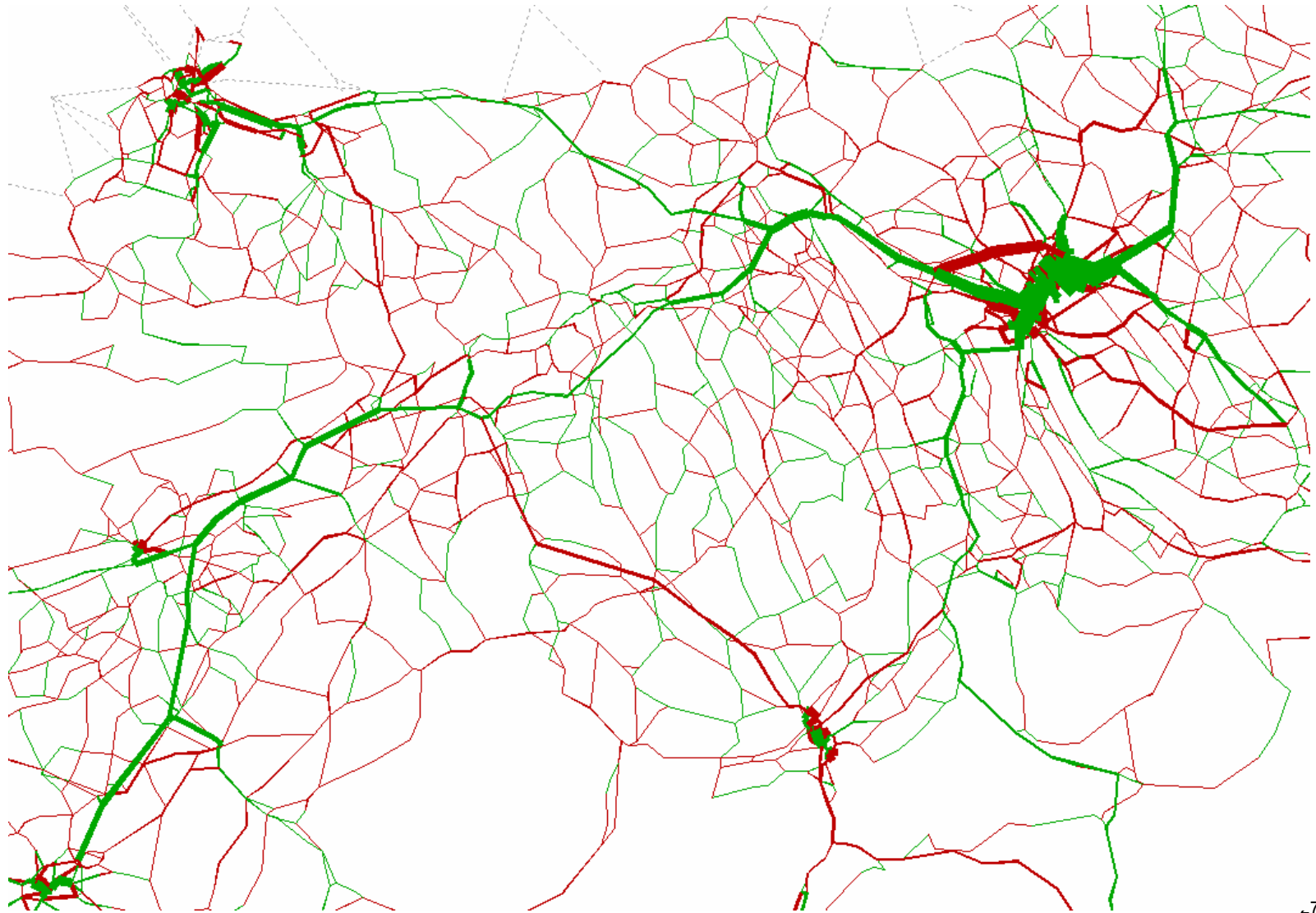
# Präzision der Verfahren

---

- Unterschiede durch die Gleichgewichtsarten
- Wirkung der Präzision des Gleichgewichts
- Vollständigkeit der Rückkoppelungen

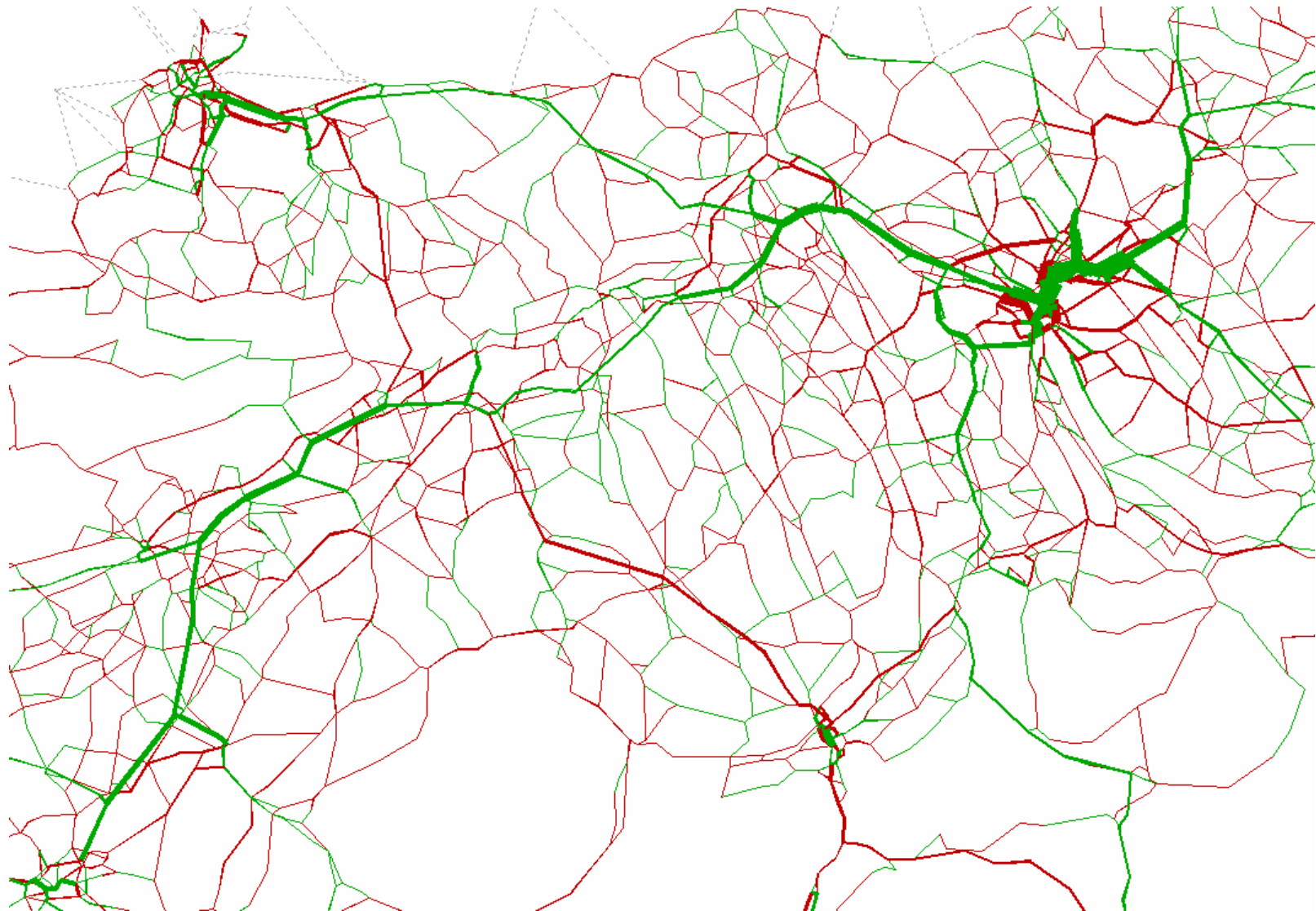
# Gleichgewichtsart: Alles oder Nichts/DUE

---



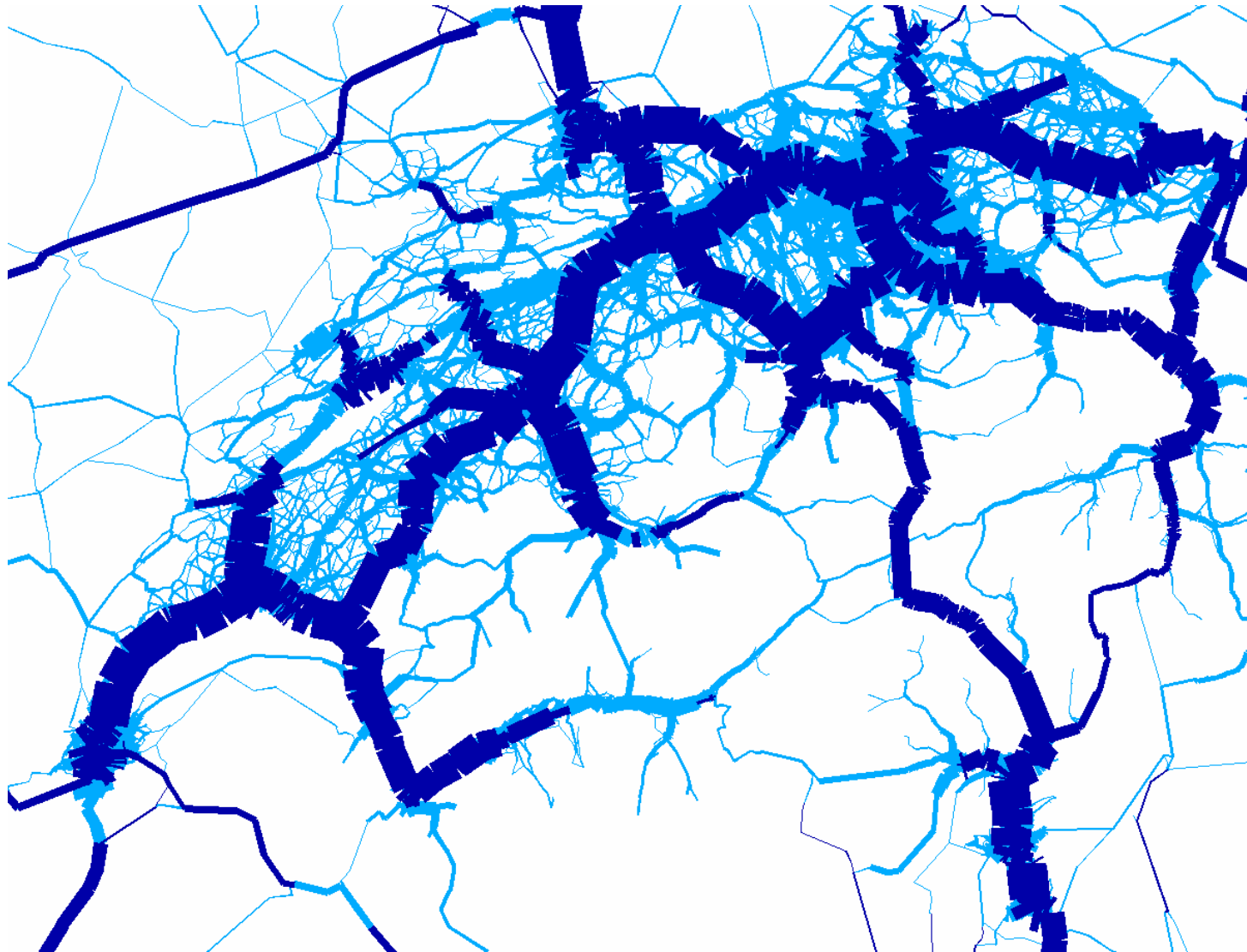
# Gleichgewichtsart: Nach 3 Iterationen/DUE

---



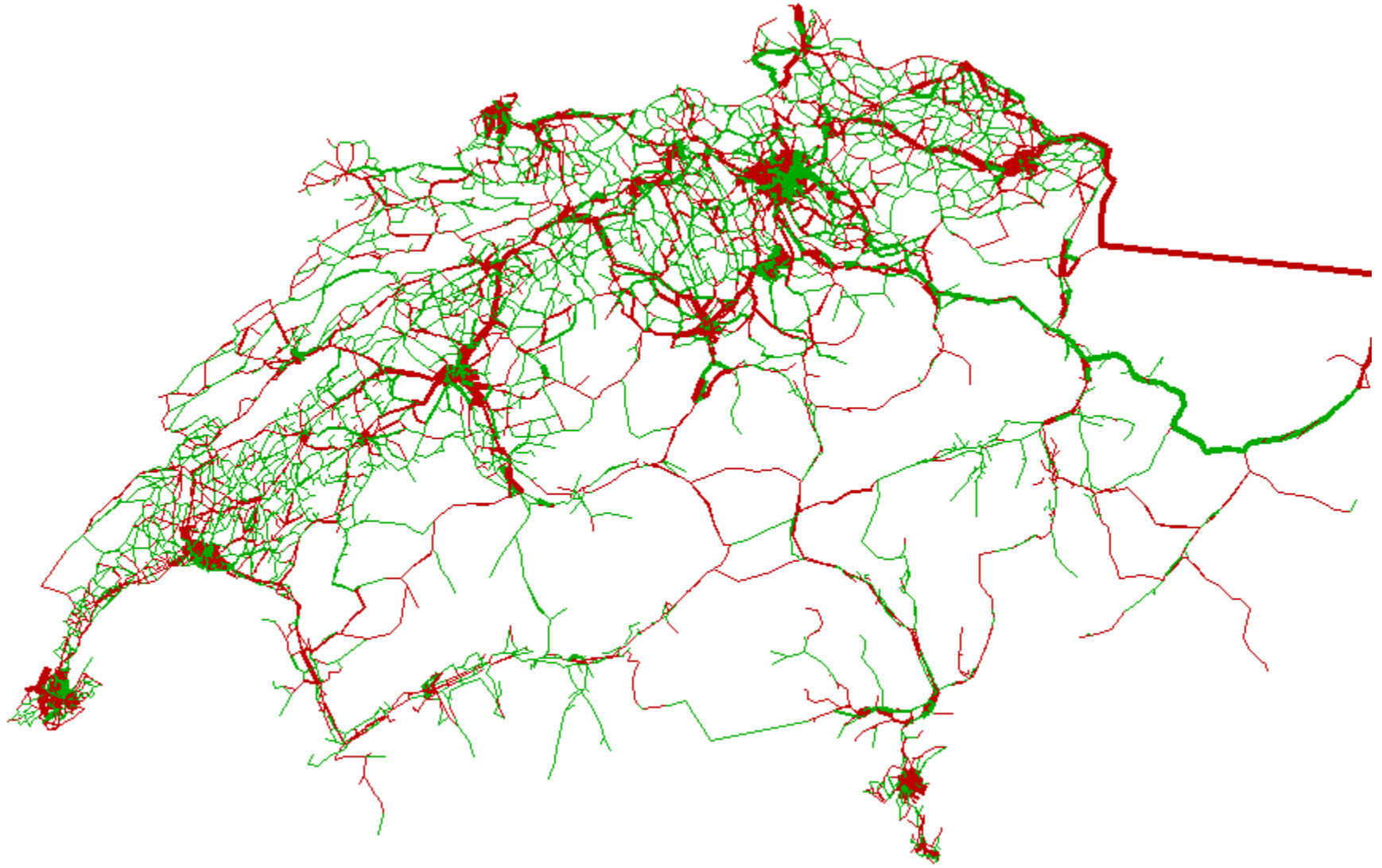
# Gleichgewichtsart: Deterministisches Nutzergleichgewicht

---



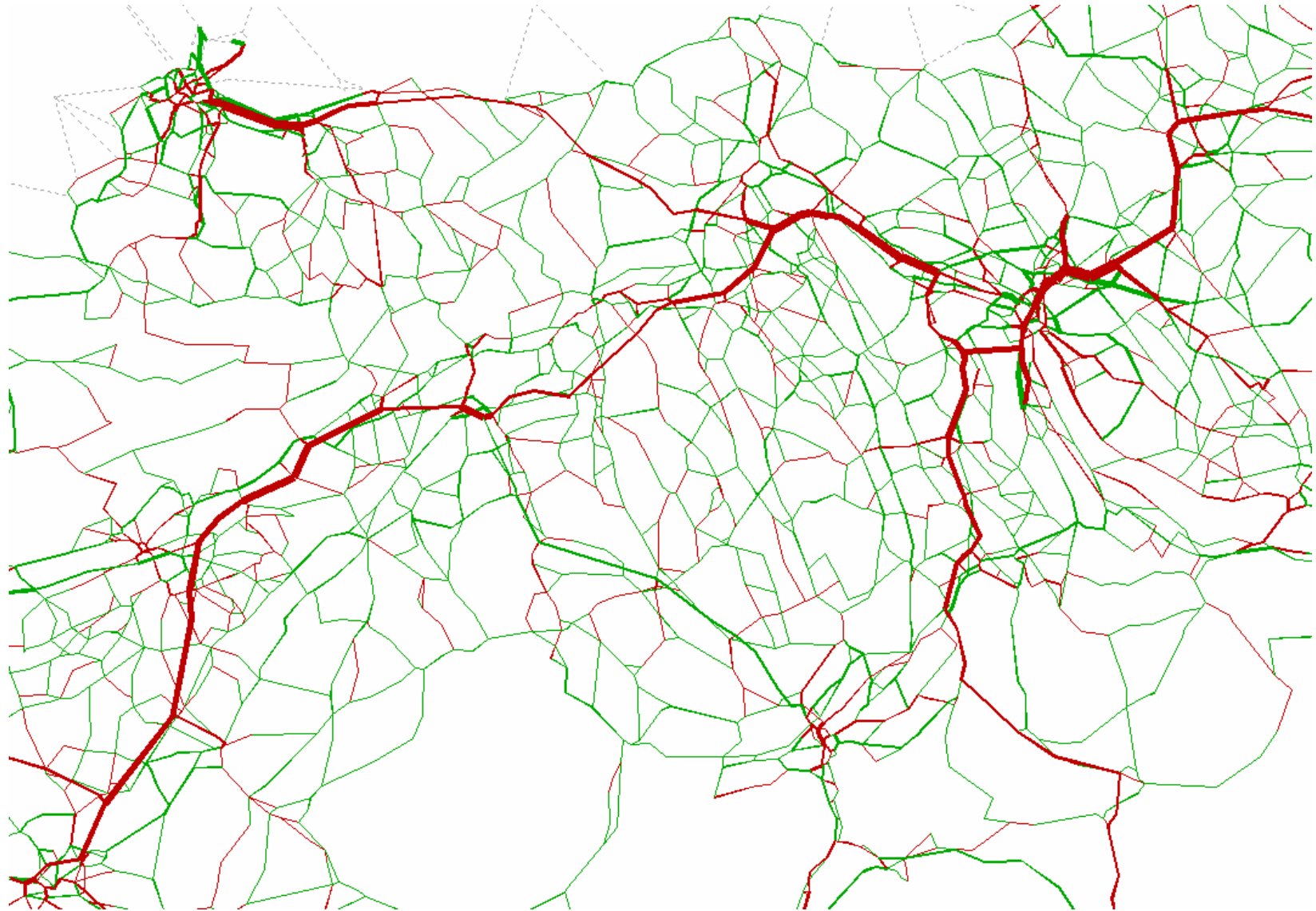
# Gleichgewichtsart: SUE/DUE

---



# Gleichgewichtsart: SO/DUE

---



# Flächennutzungsmodelle

---

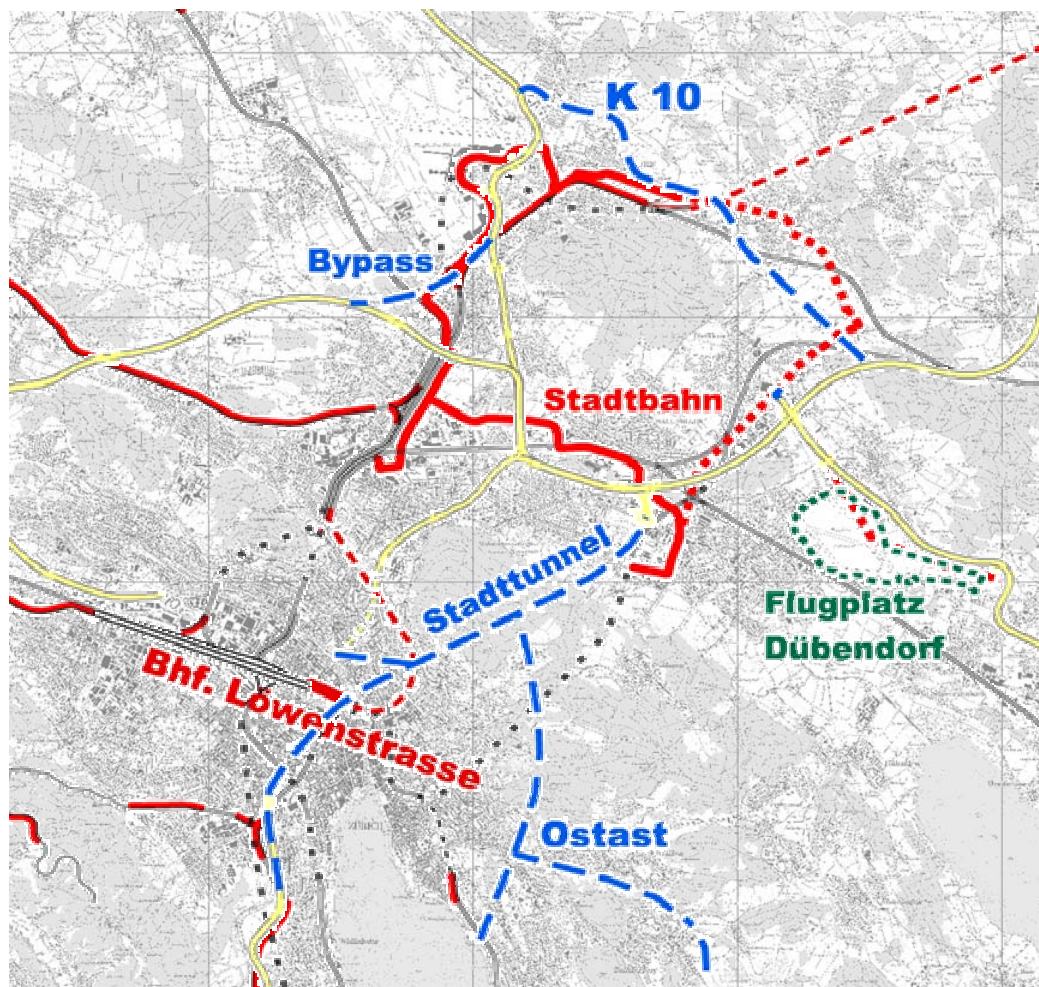
Stadtbahn Glattal

Durchgangsbahnhof  
Löwenstrasse

S-Bahn - Ausbau

Autobahnausbauten

Umnutzung Flugplatz  
Dübendorf





# Flächennutzungsmodelle

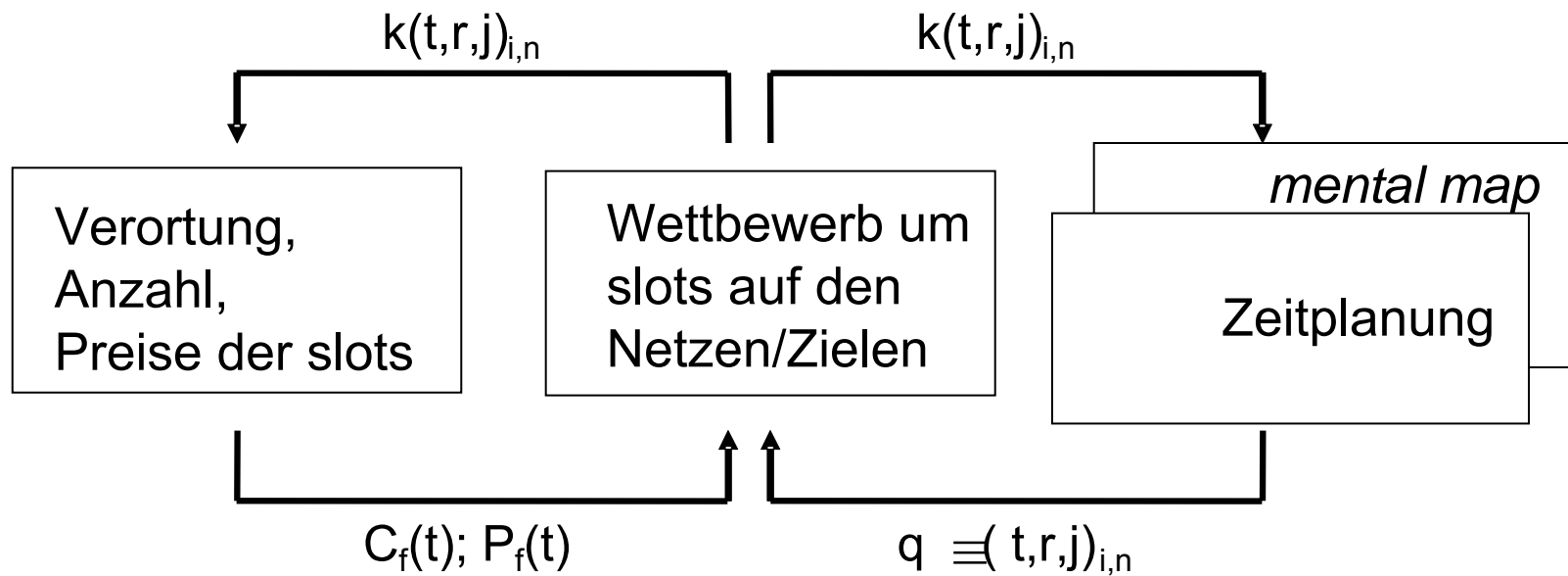
---

Wichtigste Systeme:

- CGE (Bröker und andere)
- MEPLAN/Tranus
- Delta
- MUSSA
  
- Wegener DORTMUND
  
- OPUS – UrbanSim
- (ILUTE)

# Integration der Flächennutzungsentscheidungen

---



# Implementierung UrbanSim (OPUS)

---

- Software
- Datenzusammenstellung
- Datenerhebung
- Modellschätzung

# Was wird simuliert?

---

## **Exogen**

*wird vorgegeben für  
Prognosezeitraum*

- Zonenplan
- Konjunkturprognosen
- Verkehrsangebot
- Bevölkerungsprognosen

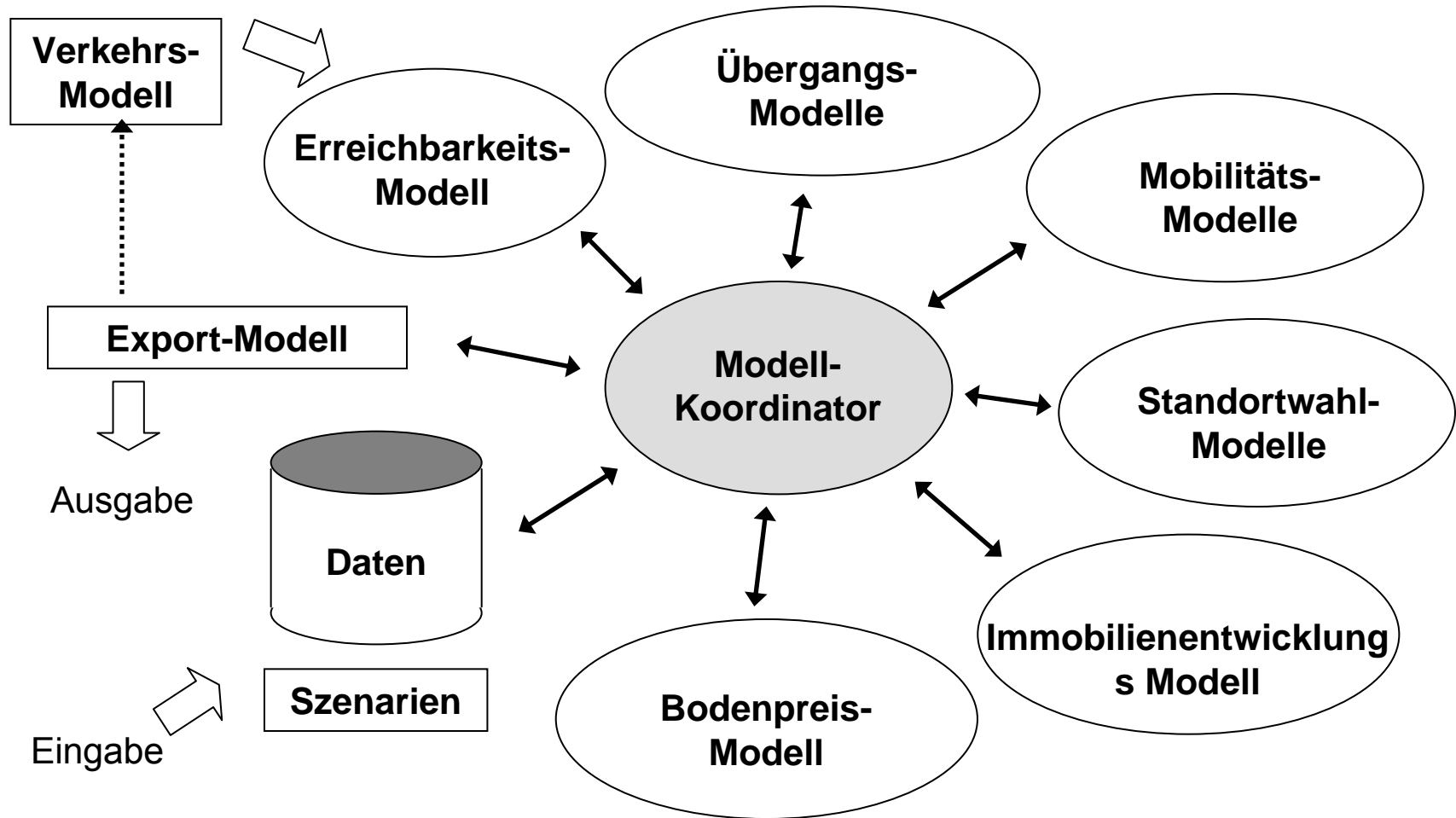
## **Endogen**

*wird modelliert für den  
Prognosezeitraum*

- Haushalte
- Arbeitsplätze
- Gebäude
- Bodenpreise
- Verkehrsflüsse

# UrbanSim - Struktur

---



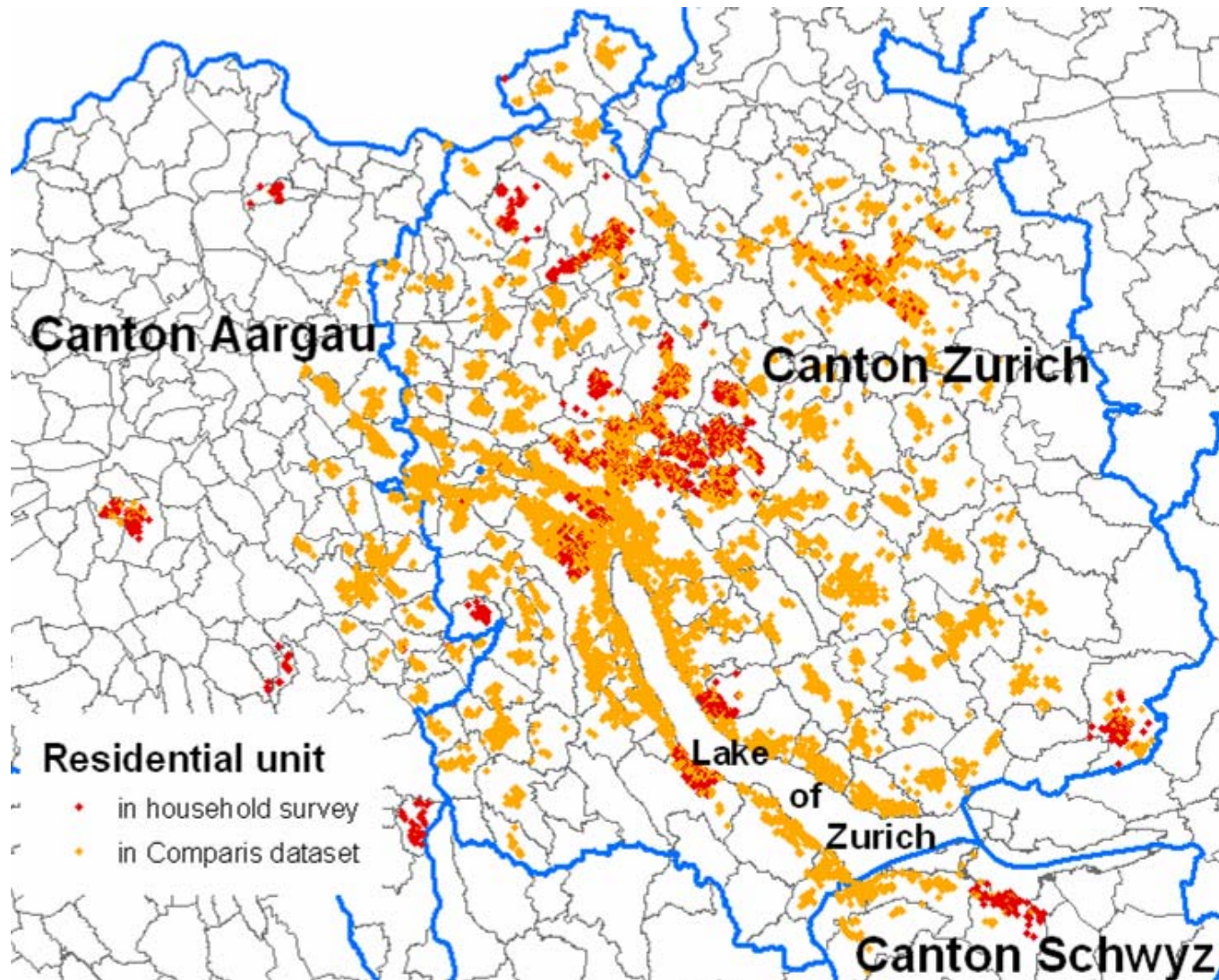
# Untersuchungsgebiet

---



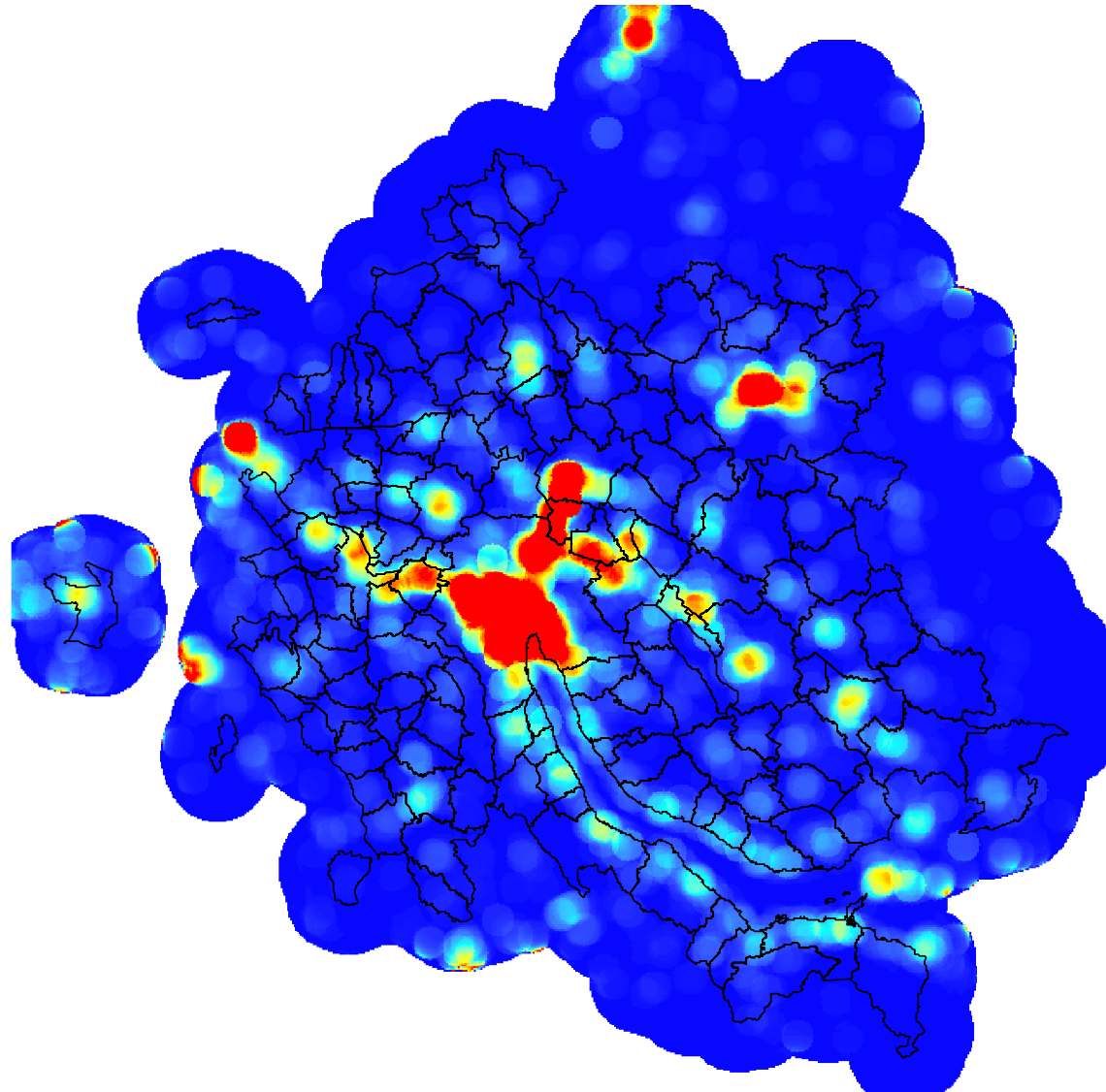
# Verteilung der Objekte: Befragung und [www.comparis.ch](http://www.comparis.ch)

---



# GIS-erzeugte erklärende Variable: Beschäftigte (r=1km)

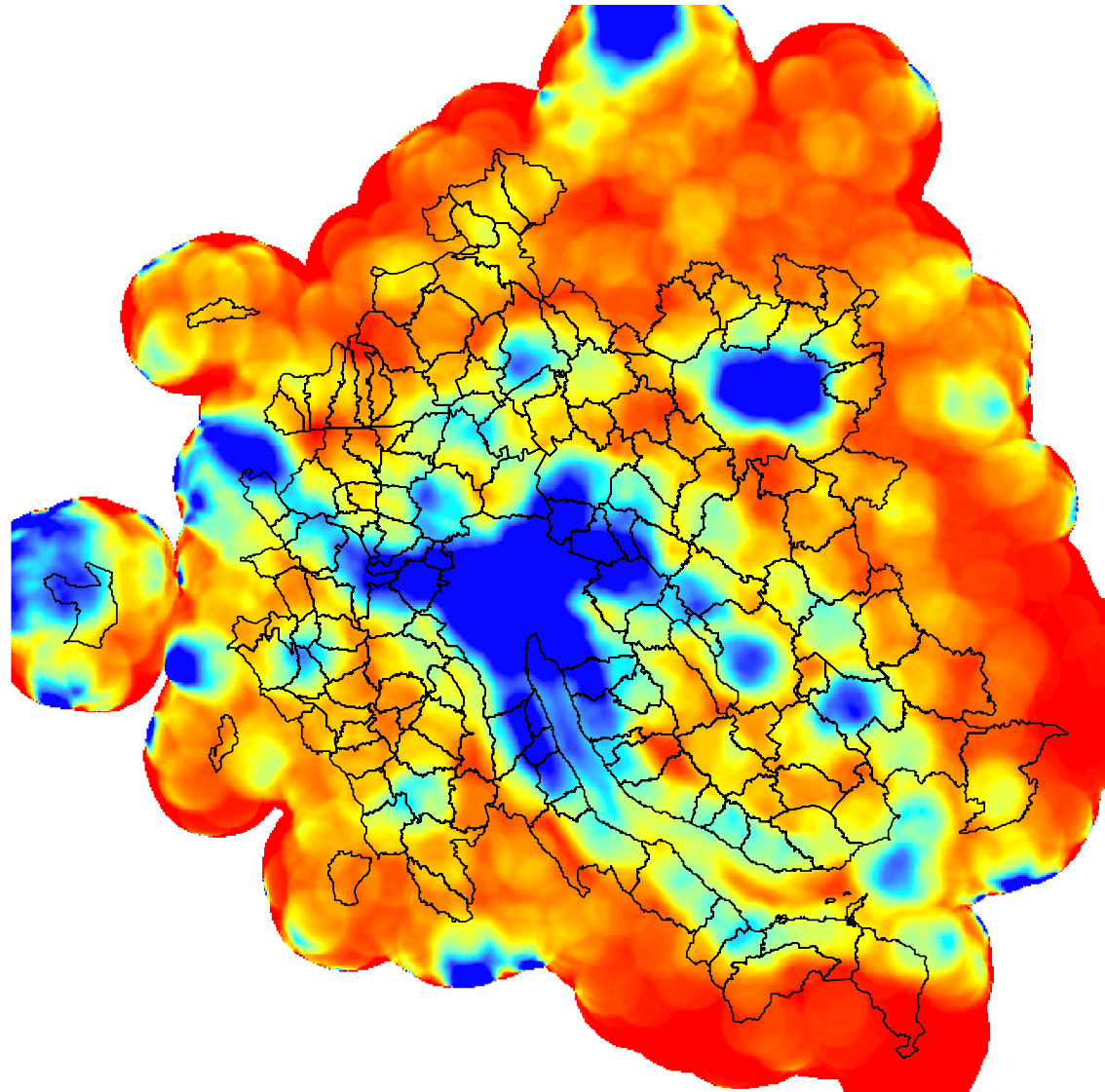
---





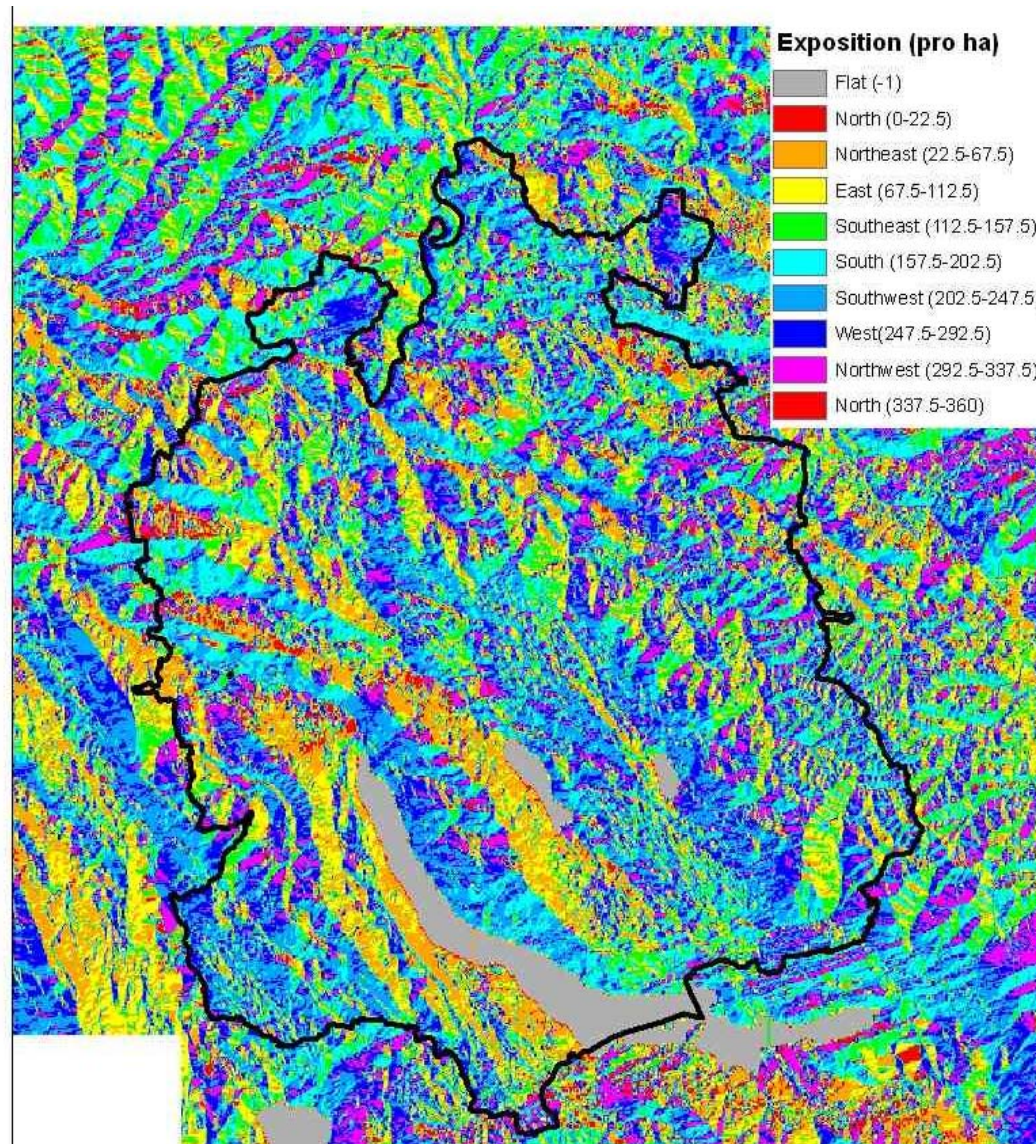
## GIS-erzeugte erklärende Variable: Grünflächen (r=2km)

---



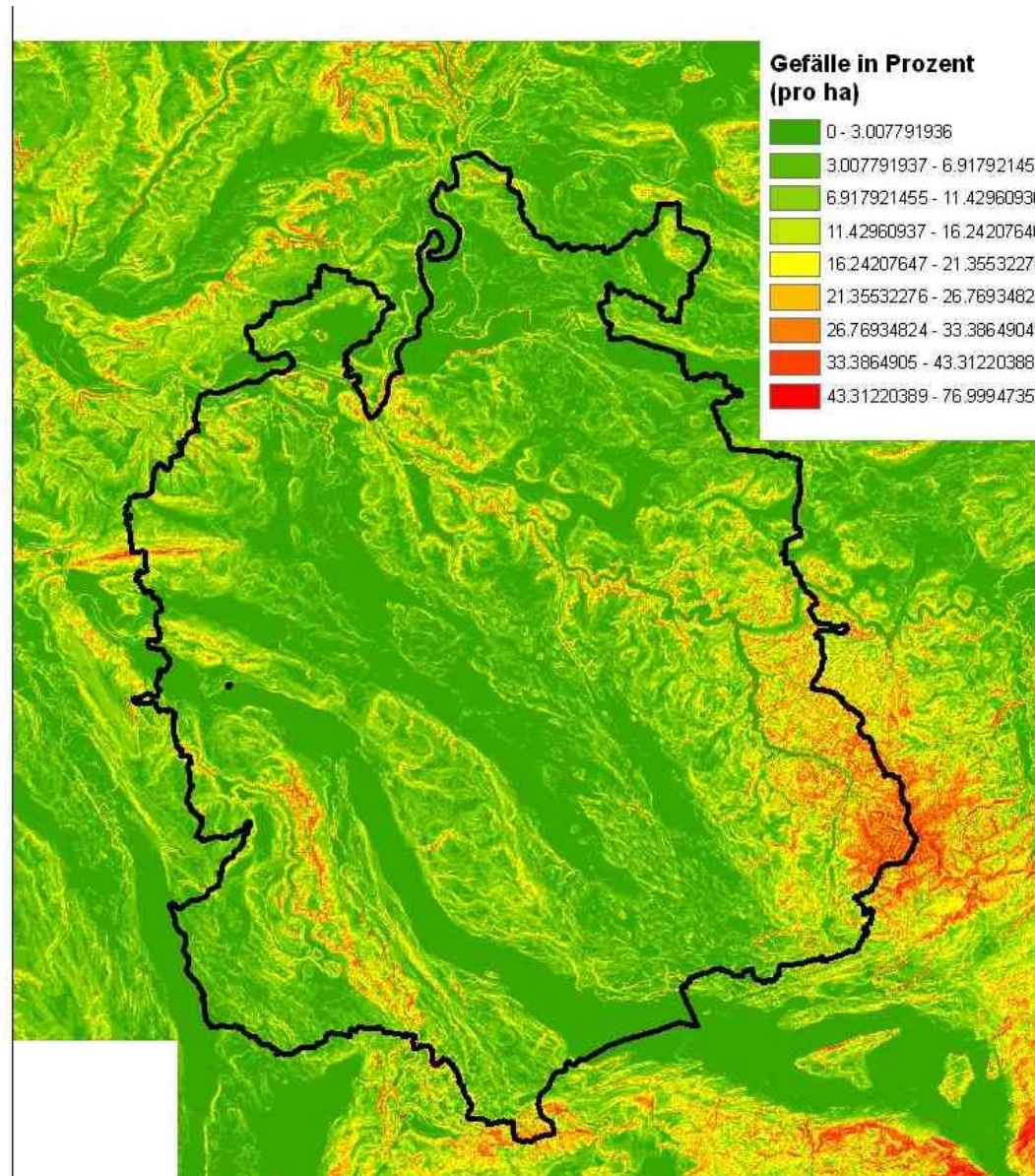
# GIS-erzeugte erklärende Variable: Orientierung

---



# GIS-erzeugte erklärende Variable: Neigung

---



## Vergleich der Datensätze

---

|                            | Befragung (N=1488) |         |         | Comparis (N=9764) |         |          |
|----------------------------|--------------------|---------|---------|-------------------|---------|----------|
|                            | Mittel             | Median  | Std.Abw | Mittel            | Median  | Std.Abw. |
| Miete (CHF)                | 1426.92            | 1375.00 | 563.11  | 1857.19           | 1667.00 | 901.81   |
| Miete/m <sup>2</sup> (CHF) | 16.73              | 16.50   | 4.97    | 20.56             | 19.34   | 5.68     |
| Grösse (m <sup>2</sup> )   | 88.84              | 85.00   | 34.52   | 92.54             | 90.00   | 37.53    |
| Anzahl Zimmer              | 3.48               | 3.50    | 1.13    | 3.68              | 3.50    | 1.23     |

## Modellvergleich (Teil 1)

---

| Variable   | Hedonisches Mietpreismodell | Standortwahlmodell      |
|--|-----------------------------|-------------------------|
| Ln (Autoreisezeit zum Bürkliplatz)                             | -0,349                      | 0,018                   |
| Ln (Erreichbarkeit von Bevölkerung mit ÖV) * Dummy „kein Auto“ |                             | 0,570                   |
| Entfernung zum Arbeitsort [km]                                 |                             | -5,459 <sup>0,167</sup> |
| Ln (Distanz zur nächsten Autobahnausfahrt) [km]                | 0,080                       |                         |
| Ln (Distanz zur nächsten Bahnstation) [km]                     | -0,033                      |                         |

## Modellvergleich (Teil 2)

---

| Variable   | Hedonisches Mietpreismodell | Standortwahlmodell |
|--|-----------------------------|--------------------|
| Befahrene Bahnstrecke innerhalb von 50m  | -0,027                      |                    |
| Autobahn innerhalb von 100m  | -0,017                      |                    |
| Erhöhtes Lärmniveau  |                             | -0,236             |
| Haushalte gleicher Grösse in 1km Umkreis   |                             | 0,0004             |
| Anzahl Arbeitsplätze in Hotel- und Gaststätten-gewerbe in 1km Umkreis (dividiert durch 1000) | 0,193                       |                    |
| Ln (Distanz zum nächsten grösseren See in km)  | -0,101                      |                    |
| Sonnenbestrahlungsindex  | 0,090                       |                    |
| Gefälle (Prozent)  | 0,064                       |                    |

## Modellvergleich (Teil 3)

---

| Variable  | Hedonisches Mietpreismodell          | Standortwahlmodell                |
|---|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Bundessteuereinnahmen pro Kopf in der Gemeinde (geteilt durch 1000) | 0,169                                | -0,026                            |
| Anteil von Gebäude vor 1971 gebaut in Gemeinde                      | 0,146                                |                                   |
| Mietleerstand in der Gemeinde                                       |                                      | -0,224                            |
| Verhältnis Miete zu Haushaltseinkommen                              |                                      | -0,546                            |
| Wohnfläche / Wurzel der Haushaltsmitglieder                         |                                      | -0,289                            |
|   | n = 9199<br>adj.R <sup>2</sup> =0,45 | n = 877<br>rho <sup>2</sup> =0,26 |

# Zusammenfassung

---

- Umfassende Modellierung der Verkehrsnachfrage ist Stand-der-Technik
- Erfolgreiche Modelle der Verhaltensentscheidungen für die Schweiz verfügbar
- Umfassende Flächennutzungs- und Verkehrsmodelle sind vorhanden (Stand-der-Kunst)



# Ausblick

---

- Disaggregation durch agenten-basierte Mikrosimulation
- Endogenisierung der Ausbauentscheidungen
- Integration der städtebaulichen Entwurfsgrammatiken
- Modellierung der sozialen Netze

# Arbeitsberichte des IVT

---

<http://www.ivt.ethz.ch/vpl/publications/reports>

## Literature: Allgemein

---

- Arentze, T.A. and H.J.P. Timmermans (2000) Albatross: A Learning-Based Transportation Oriented Simulation System, EIRASS, Eindhoven.
- Bradley, M. and J. Bowman (2006) A summary of design features of activity-based micro simulation models for US MPOs, paper presented at the *TRB Conference on Innovations in Travel Demand Modelling*, Austin, May 2006.
- Nagel, K, P Wagner and R Woesler (2003) Still flowing: Approaches to traffic flow and traffic jam modeling, *Operations Research*, **51** (5) 681-710.
- Raney, B., N. Cetin, A. Voellmy, M. Vrtic, K.W. Axhausen and K Nagel(2003) An agent-based microsimulation model of Swiss travel: First results, *Networks and Spatial Economics*, **3** (1) 23-41.
- Miller, E.J., P.A. Salvini (2002) Activity-Based Travel Behavior Modeling in a Microsimulation Framework, in H.S. Mahmassani (ed.) *In Perpetual Motion, Travel Behavior Research Opportunities and Application Challenges*, 533-558, Pergamon, Amsterdam.
- Wegener, M (1994) Operational Urban Models: State of the Art, *Journal of the American Planning Association*, **60** (1) 17-30.
- Wegener, M. (2004) Overview of land use transport models, in D.A. Hensher and K.J. Button, K.E. Haynes and P.R. Stopher (eds.) *Handbook of Transport Geography and Spatial Systems*, 127-146, Elsevier, Oxford.

# Literatur: Nationales Modell und UrbanSim

---

- Bürgle, M., M. Löchl and U. Waldner (2005) Entwicklung eines Simulationsmodells - Infrastruktur, Erreichbarkeit und Raumentwicklung, *DISP*, **160**, 94-95.
- Löchl, M. (2006) Land use effects of road pricing – a literature review, paper presented at the *6th Swiss Transport Research Conference*, Ascona, March 2006.
- Vrtic, M., P. Fröhlich, N. Schüssler, K.W. Axhausen, S. Dasen, S. Erne, B. Singer, D. Lohse and C. Schiller (2005) Erzeugung neuer Quell-/Zielmatrizen im Personenverkehr, report to the Bundesämter für Raumentwicklung, für Strassen und für Verkehr, IVT, Emch und Berger and TU Dresden, Zürich.
- Vrtic, M. und P. Fröhlich (2006) Was beeinflusst die Wahl der Verkehrsmittel?, *Der Nahverkehr*, **24** (4) 52-57.
- Waldner, U., M. Löchl, M. Bürgle and K.W. Axhausen (2005) Haushaltsbefragung zur Wohnsituation im Grossraum Zürich – Feldbericht, *Arbeitsberichte Polyprojekt Zukunft urbane Kulturlandschaften*, **1**, NSL, ETH Zürich, Zürich.

## Literatur: Ausblick

---

- Axhausen, K.W. (Forthcoming) Activity spaces, biographies, social networks and their welfare gains and externalities: Some hypotheses and empirical results, *Mobilities*.
- Axhausen, K.W. (2006) Neue Modellansätze der Verkehrsnachfragesimulation: Entwicklungslinien, Stand der Forschung, Forschungsperspektiven, *Stadt Region Land*, **81**, 149-164.
- Axhausen, K.W., A. Frei and T. Ohnmacht (2006) Networks, biographies and travel: First empirical and methodological results, paper presented at the *11th International Conference on Travel Behaviour Research*, Kyoto, August 2006
- Balmer, M., K.W. Axhausen and K. Nagel (Forthcoming) A demand generation framework for large scale micro-simulations, *Transportation Research Record*.
- Charypar, D., K. W. Axhausen and K. Nagel (2006) An event-driven queue-based microsimulation of traffic flow, paper presented at the *86th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., January 2007.
- Meister, K., M. Frick and K.W. Axhausen (2005) A GA-based household scheduler, *Transportation*, **32** (5) 473 – 494.

# Anhang

---

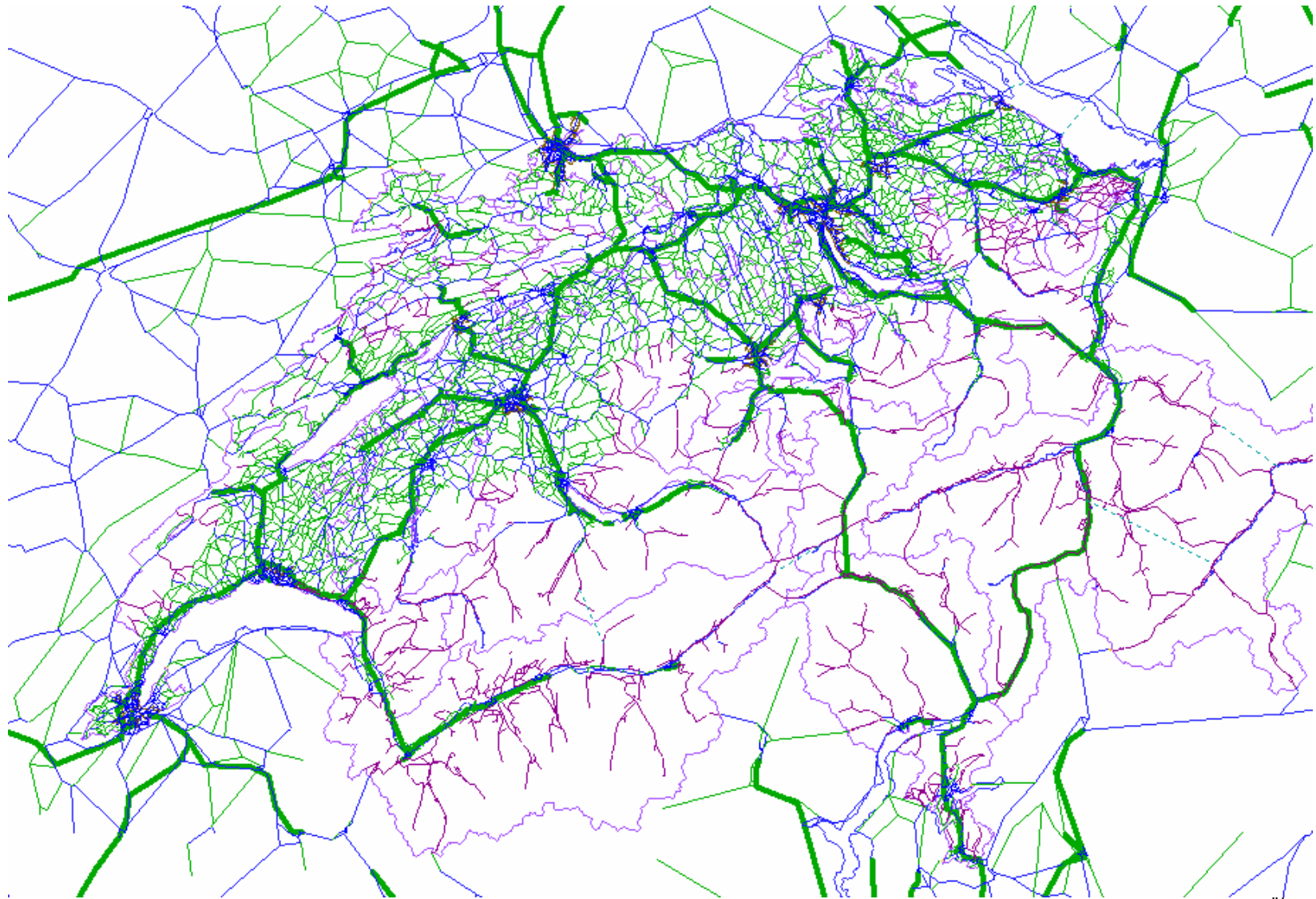
# Erzeugung

---

|           | Wohnen | Arbeit | Bildung | Nutzfahrt | Einkauf | Sonstiges |
|-----------|--------|--------|---------|-----------|---------|-----------|
| Wohnen    | -      | WA     | WB      | WN        | WE      | WS        |
| Arbeit    | AW     | -      | AS      |           |         |           |
| Bildung   | BW     | SA     | SS      |           |         | BS        |
| Nutzfahrt | NW     |        |         |           |         | NS        |
| Einkauf   | EW     |        |         |           |         | ES        |
| Sonstiges | SW     |        |         |           |         |           |
|           |        |        | SB      | SN        | SE      |           |

# Strassennetz

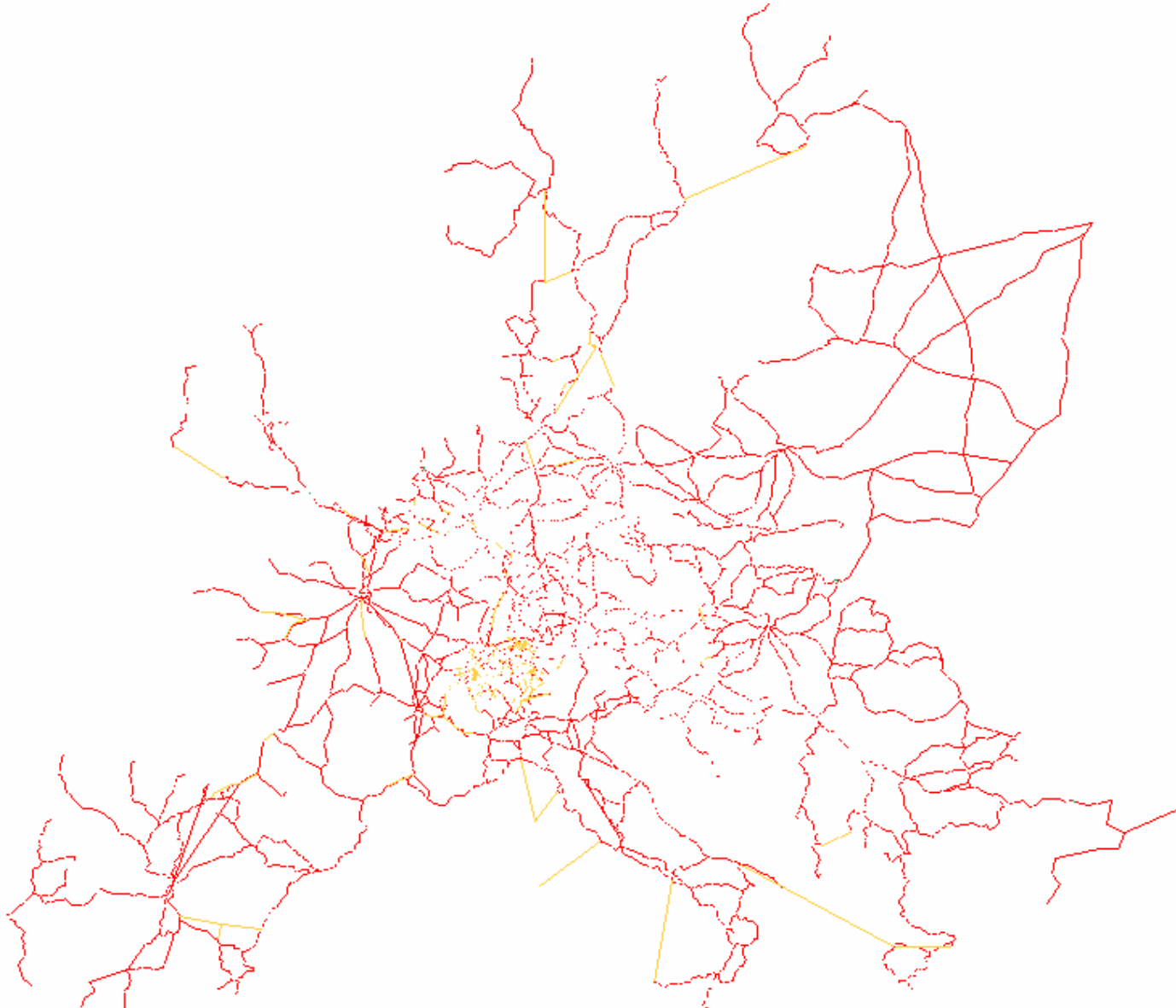
---





# ÖV - Netz

---



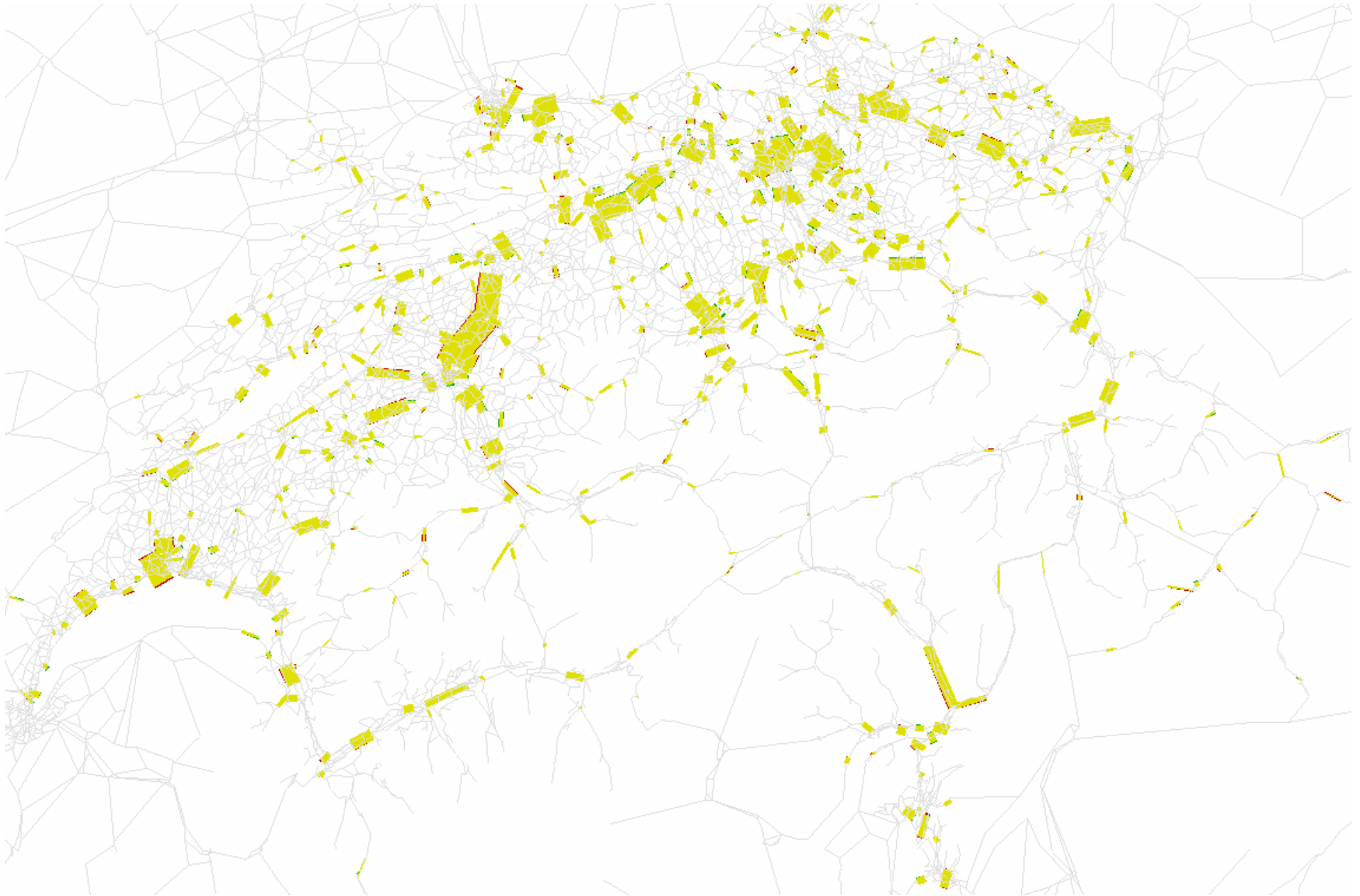
# Vergleich: Netzbelastungen/Querschnittszählungen

---

- Abweichungen:
  - MIV – Modell (602 Querschnitten) **5,97%**
  - ÖV – Modell (1210 Querschnitten) **7,68%**
- Korrelationskoeffizient
  - MIV – Modell **0,9938**
  - ÖV – Modell **0,9968**

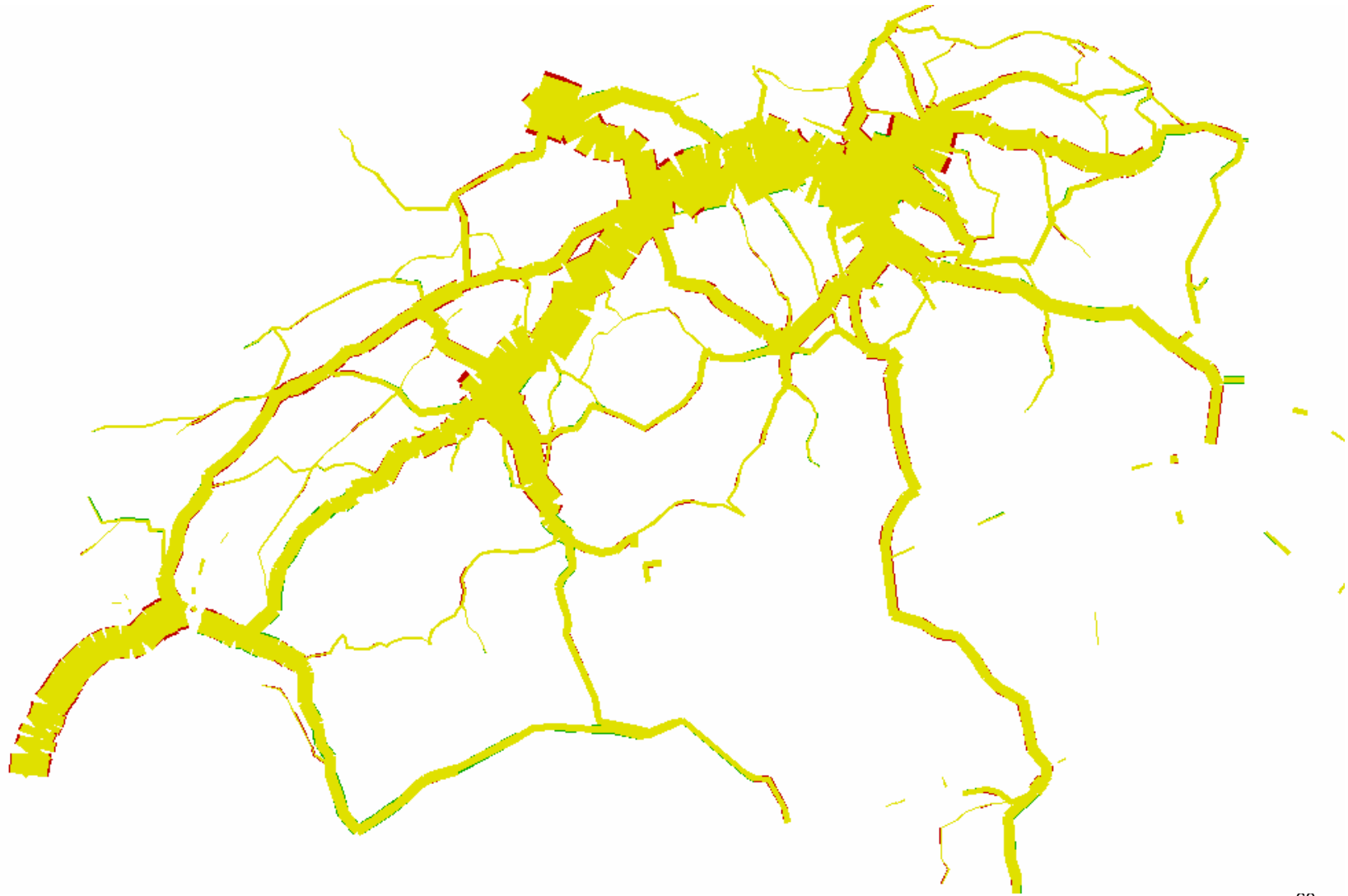
# MIV: Umlegung / Zählung

---



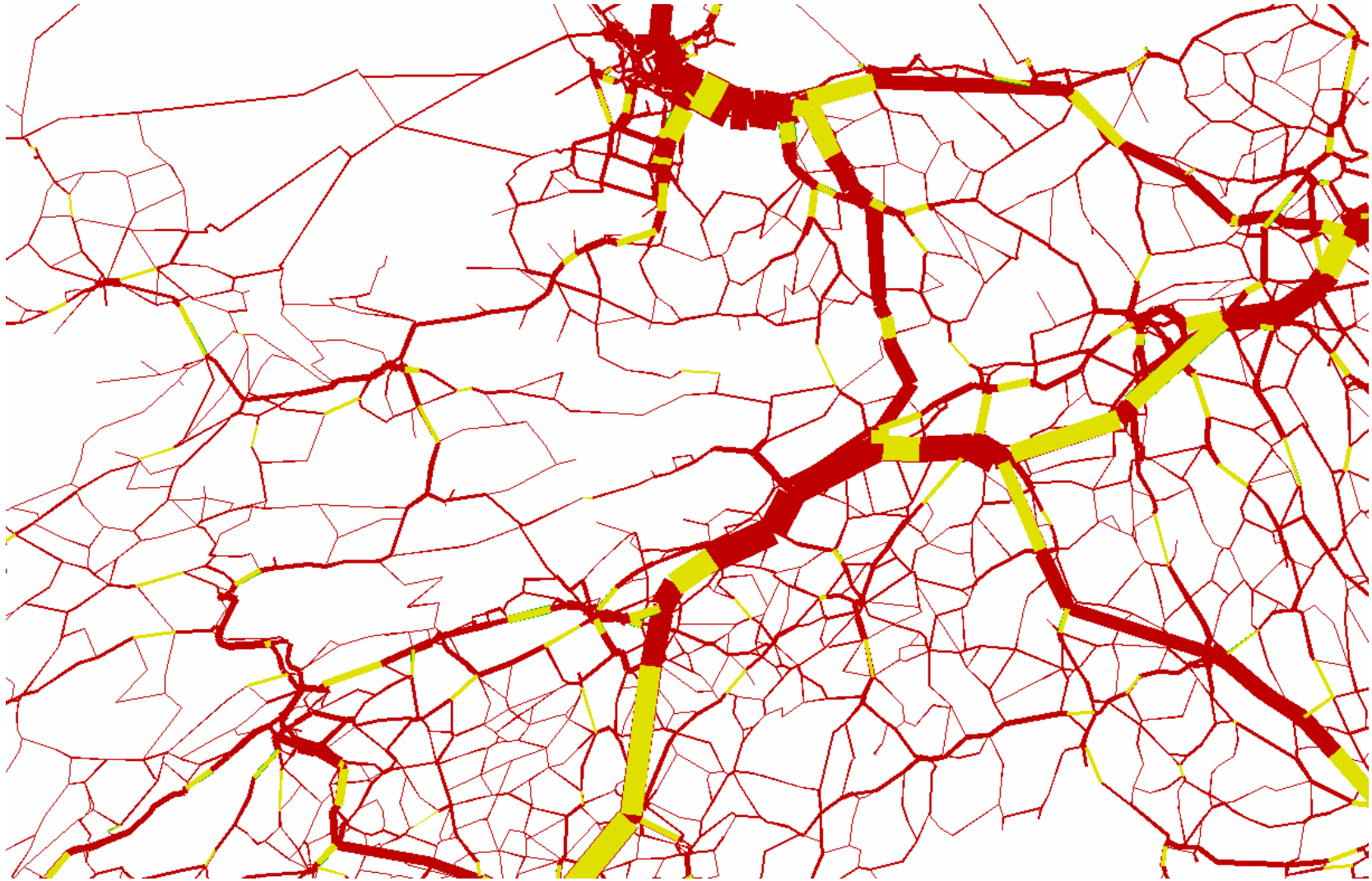
# ÖV: Umlegung / Zählung nach der Kalibrierung

---



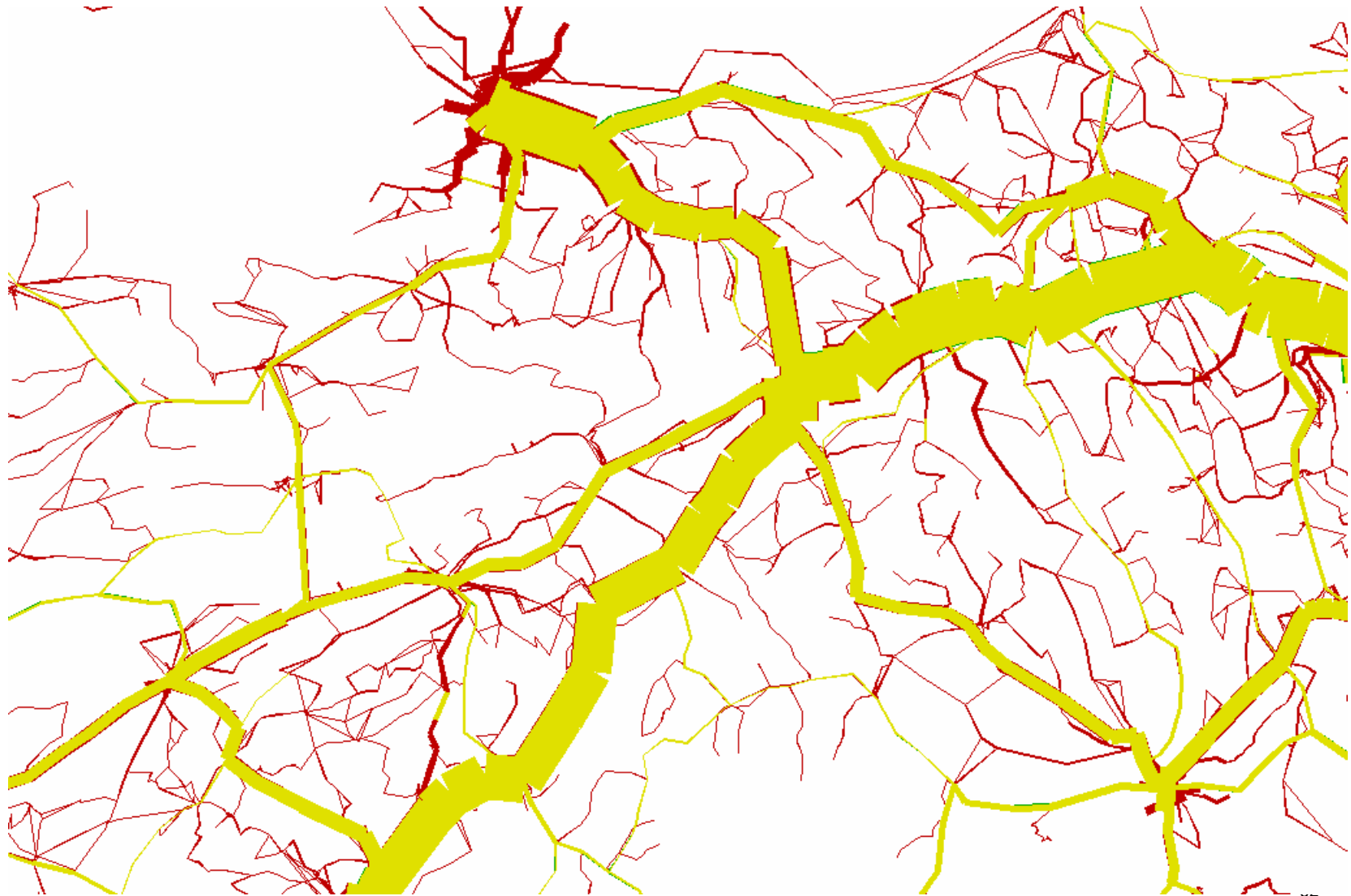
# MIV: Umlegung / Zählung

---



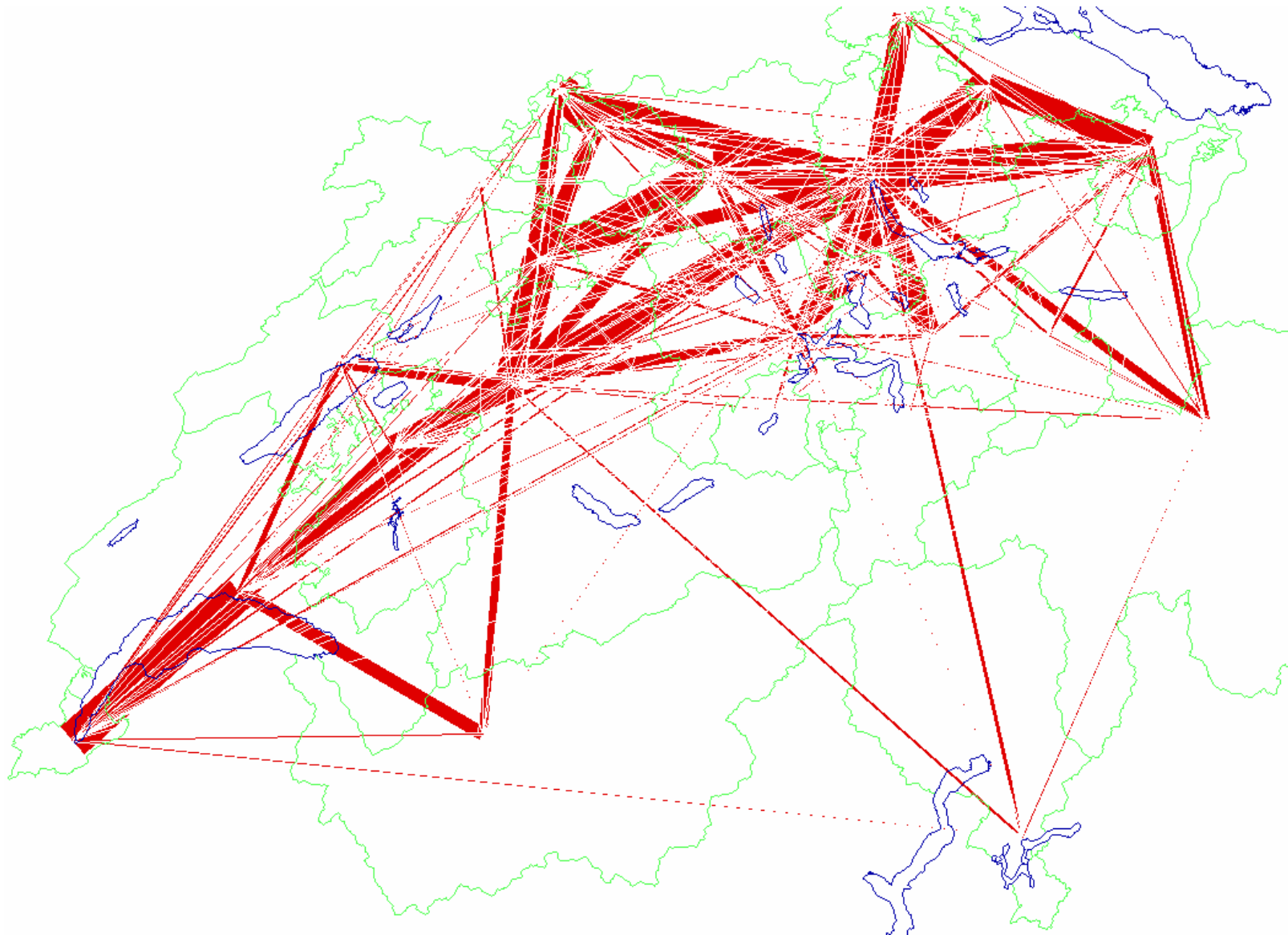
# ÖV: Umlegung / Zählung

---



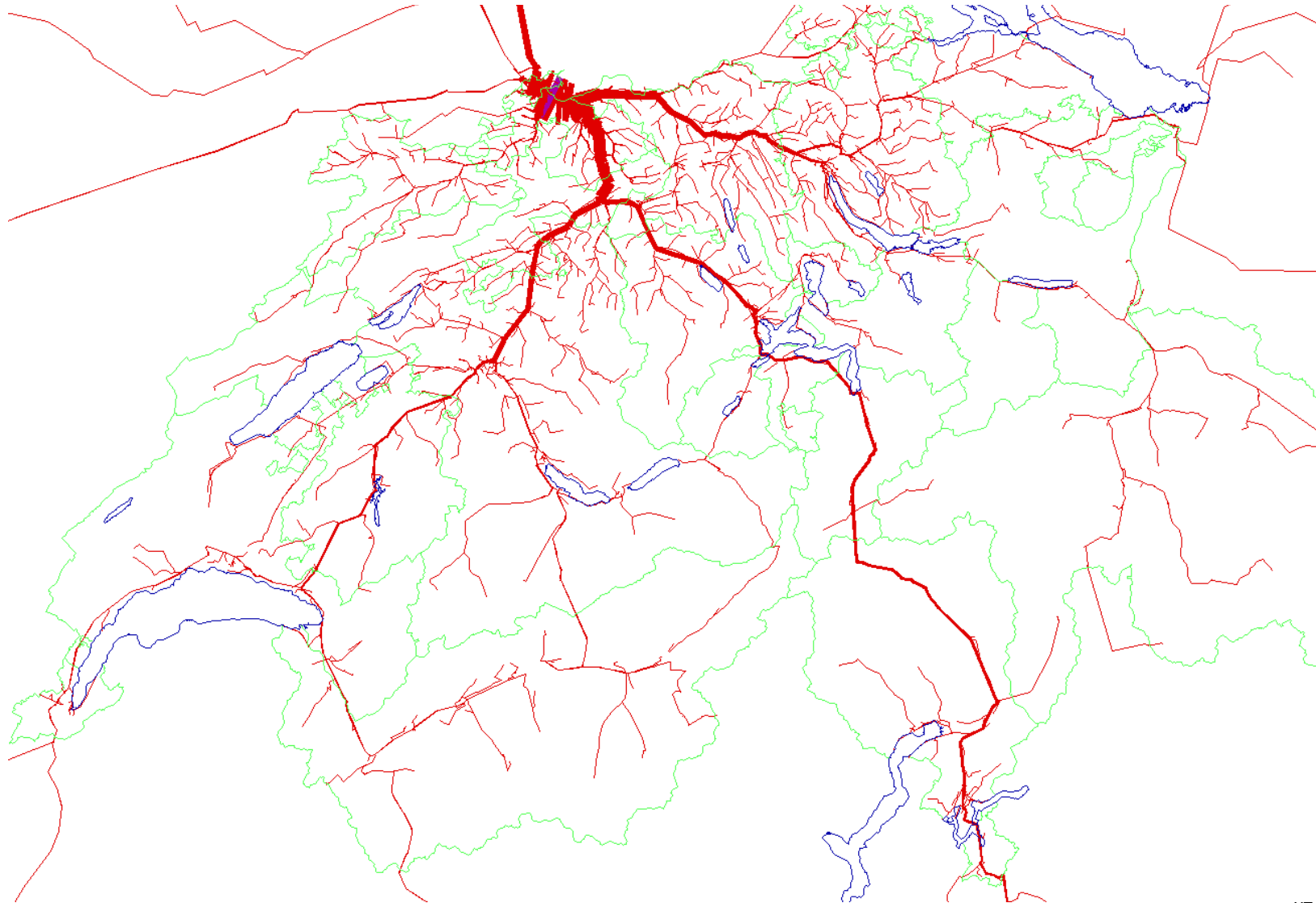
# ÖV-Verkehrsströme zwischen Kantonen

---



# MIV: Pratteln (48'000 PW/Tag & Richtung)

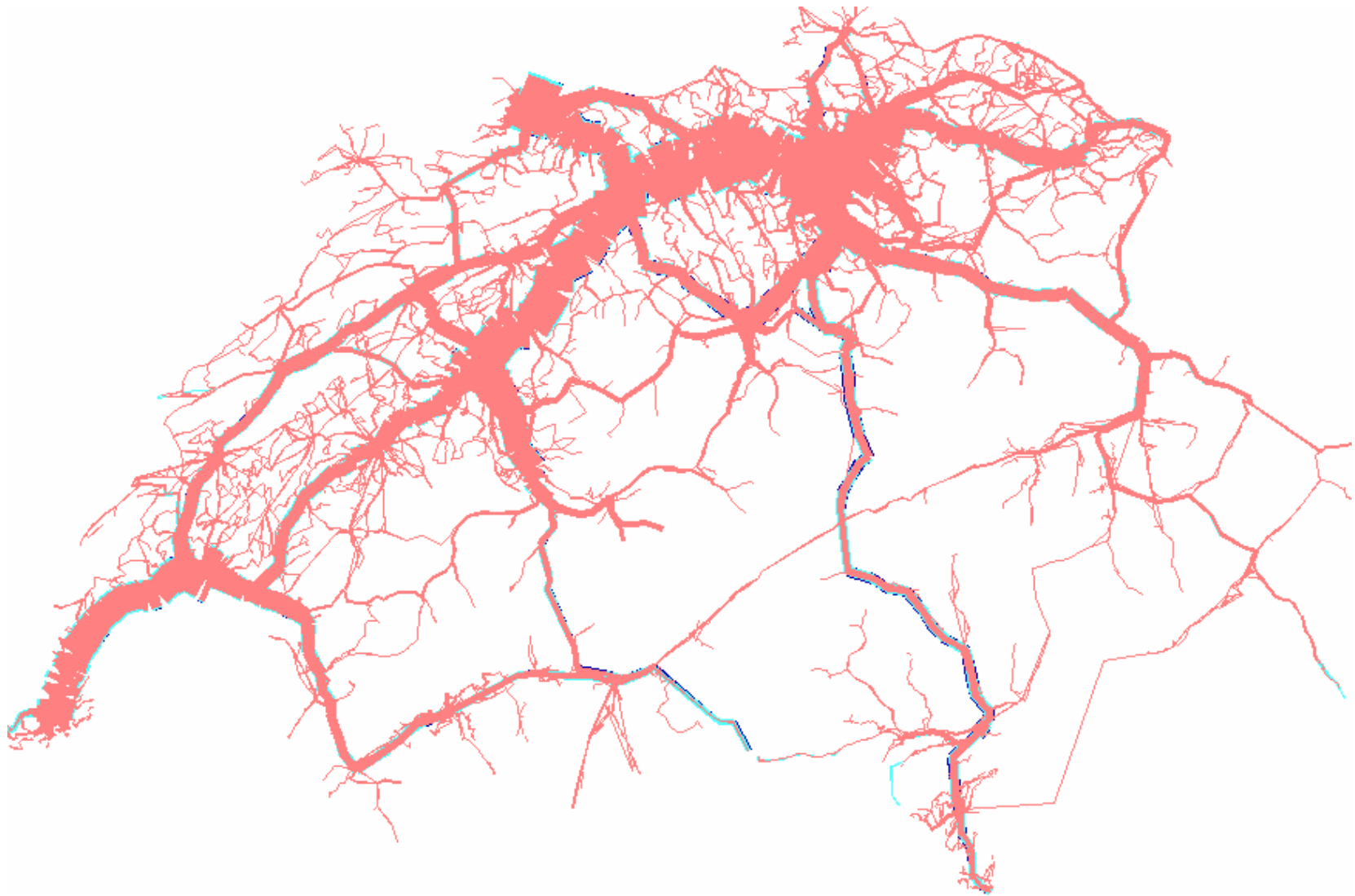
---





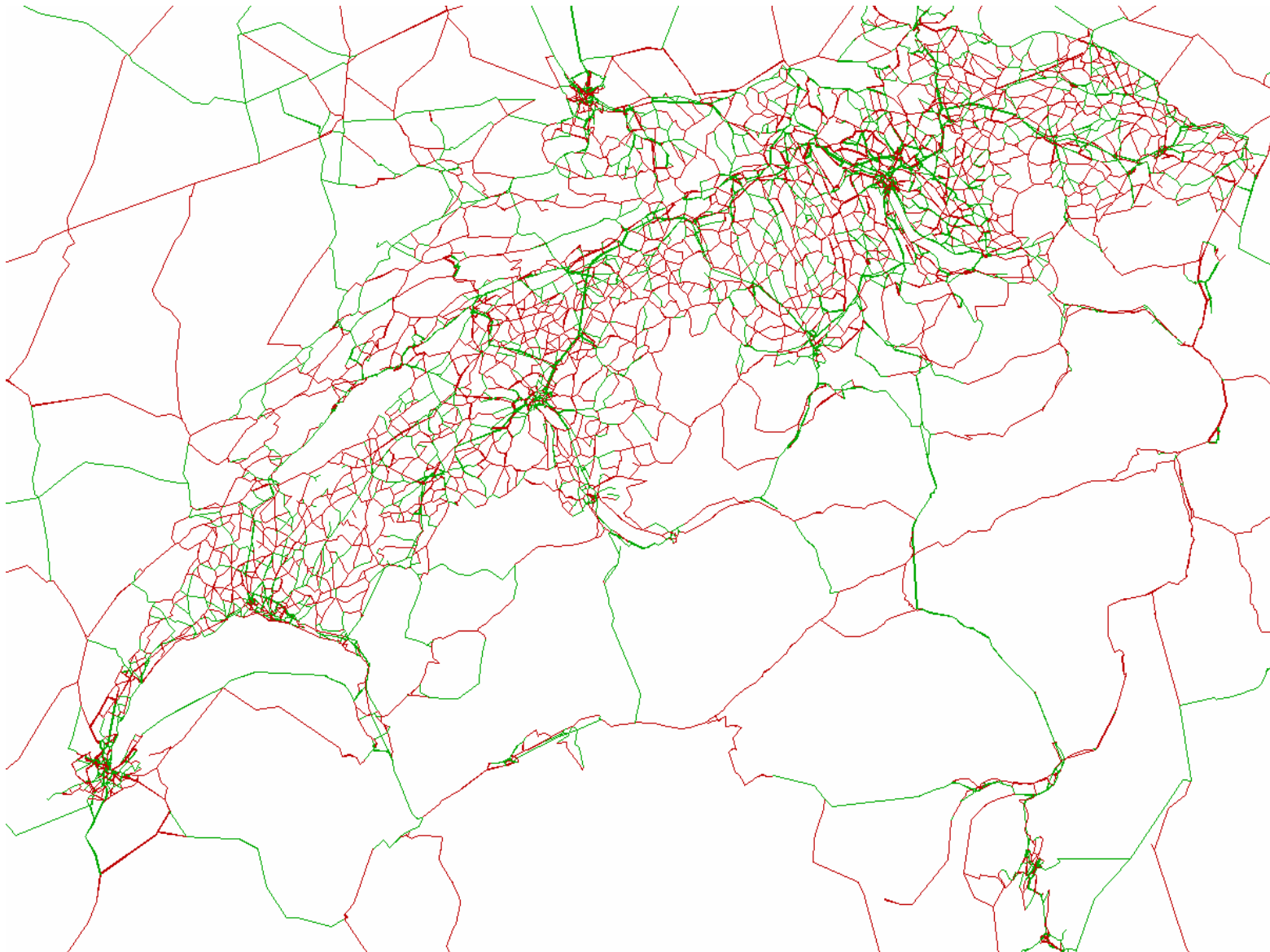
# ÖV: Binnen-, Quell/Ziel- und Transitverkehr

---



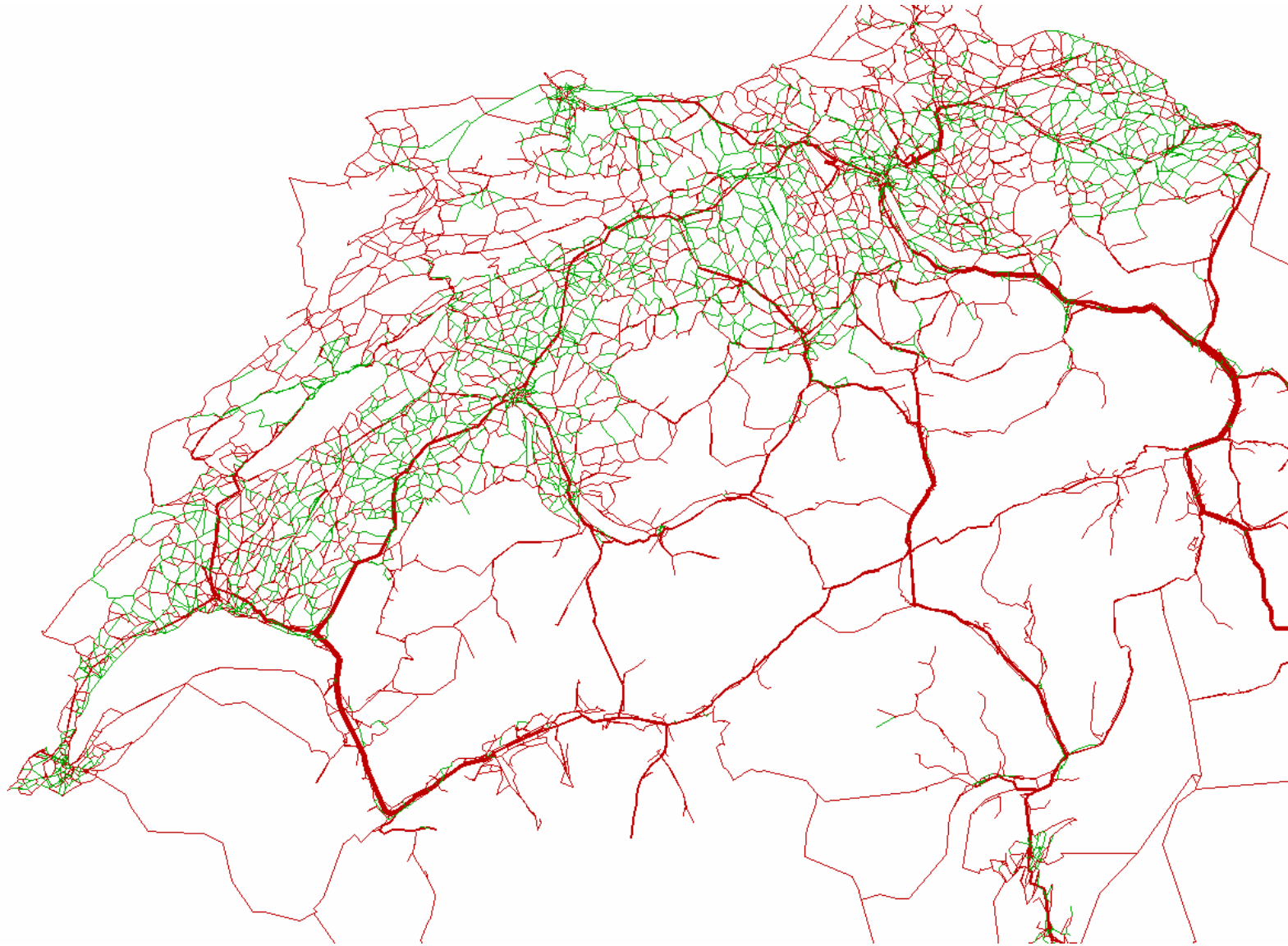
# Präzision DUE (0.001% zu 3%): Absolute Unterschiede

---



## Nach erster Rückkoppelung (Umlegung, VM-Wahl)

---



# Beispiel Karten im Fragebogen

