

Multiagentensimulationen für die Verkehrsplanung

Kai Nagel

nagel at vsp dot tu-berlin dot de

1 Einleitung

1.1 4-Stufen-Verfahren → Multi-Agenten-Simulation

Probleme des 4-Stufen-Verfahrens:

- Menschliche Entscheidungen (Zielwahl, Mode, Route) abgekoppelt von demographischen Daten.
- Keine Zeitabhängigkeit (Rückstau, Verspätungen, Unfälle, Zeitstruktur von Tagesabläufen als Reaktion auf Staus, Variabilität und Telematik, ...)

Lösungsansatz: Lasse die Personen als “Agenten” intakt.

10 mio Personen → ist derzeit “gerade so” beherrschbar.

Viele Bezeichnungen sind damit verbunden (aber meinen nicht immer exakt das Gleiche): multi-agent, agent-based, activity-based, mikroskopisch, etc.

1.2 Ungef. Entsprechungen zw. 4-step und MA(T)SIM

Multi-Agent (Traffic) SIMulation

| | |
|--------------------------------|-------------------------------------------|
| Verkehrserzeugung | Synthetische Bevölkerung; Flächen-nutzung |
| Zielwahl | ag-basierte Aktivitäten-Ketten |
| OD-basierte Verkehrsmittelwahl | ag-basierte Verkehrsmittelwahl |
| (statische) Umlegung | ag-basierte Routenwahl; Iterationen |

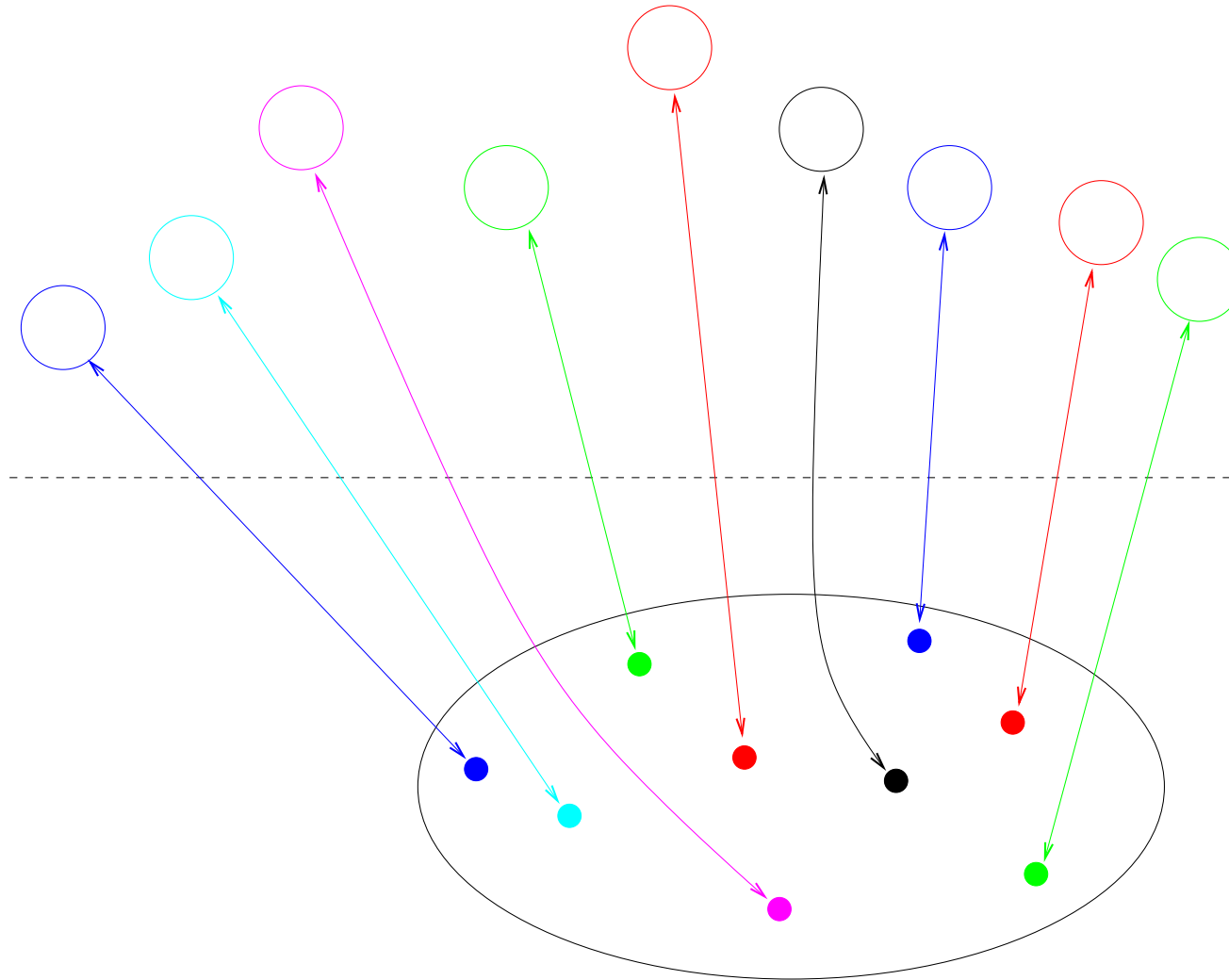
1.3 Bessere Liste von Modulen f. MATSIM

- Synthetische Bevölkerung
- Status (arbeitend; in Ausbildung; andere)
- Ort der Arbeit/der Ausbildung
- Aktivitätsketten
- Ort(e) der weiteren Aktivitäten
- Verkehrsmittel
- Zeiten
- Routen
- Mobility Simulation

Kombination von Modulen möglich (e.g. “simultaneous activity and mode choice model”).

1.4 Physikalische vs mentale Ebene

Nach einigem Nachdenken:



The mental world:

Concepts which are in someone's head.

plans
(acts,
routes,
...)

per-
for-
mance
info

The physical world:

- limits on accel/brake
- excluded volume
- veh-veh interaction
- veh-system interaction
- ped-veh interaction
- etc.

1.5 Vorschau

“Strategische” Module

Mobility Simulation

Feedback (Lernen)

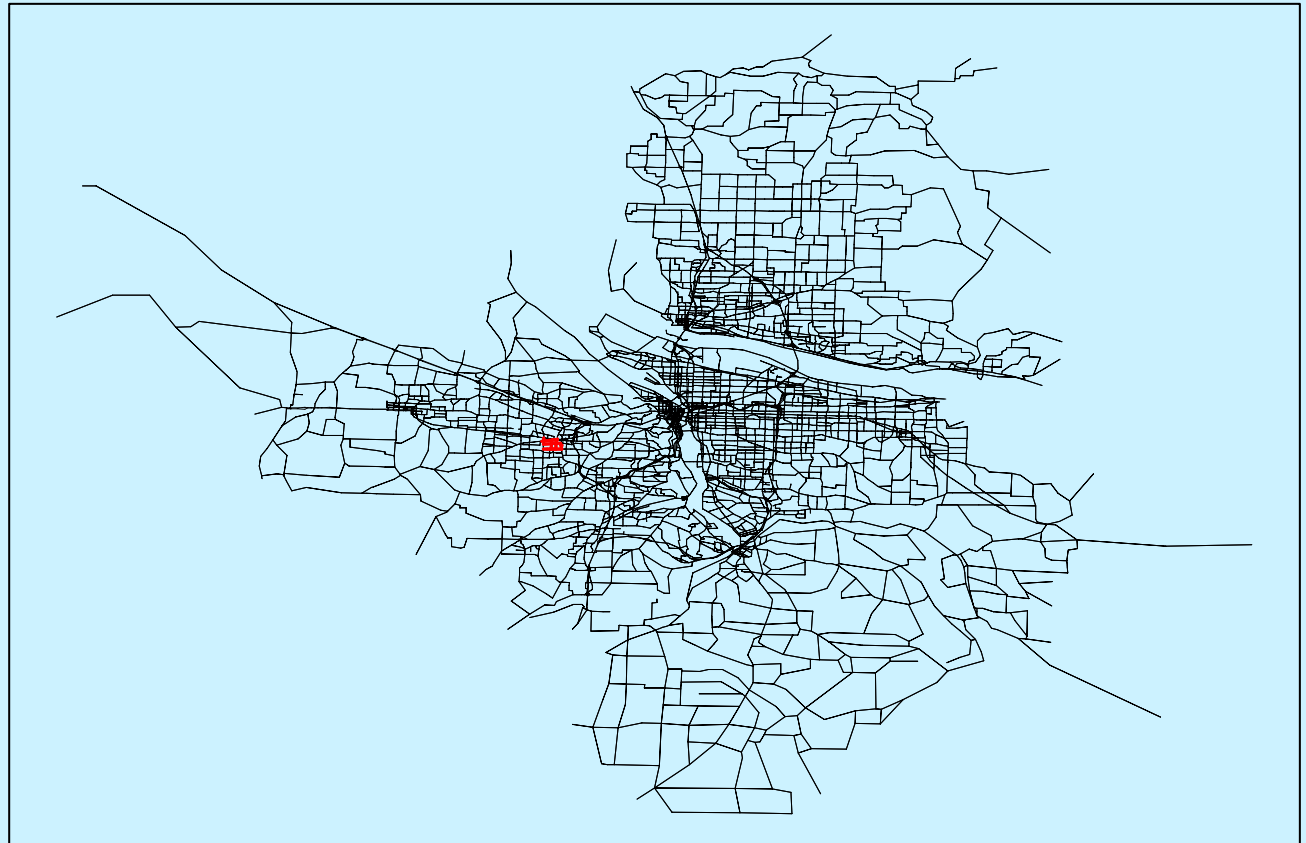
Ein real-world Szenario

2 Module

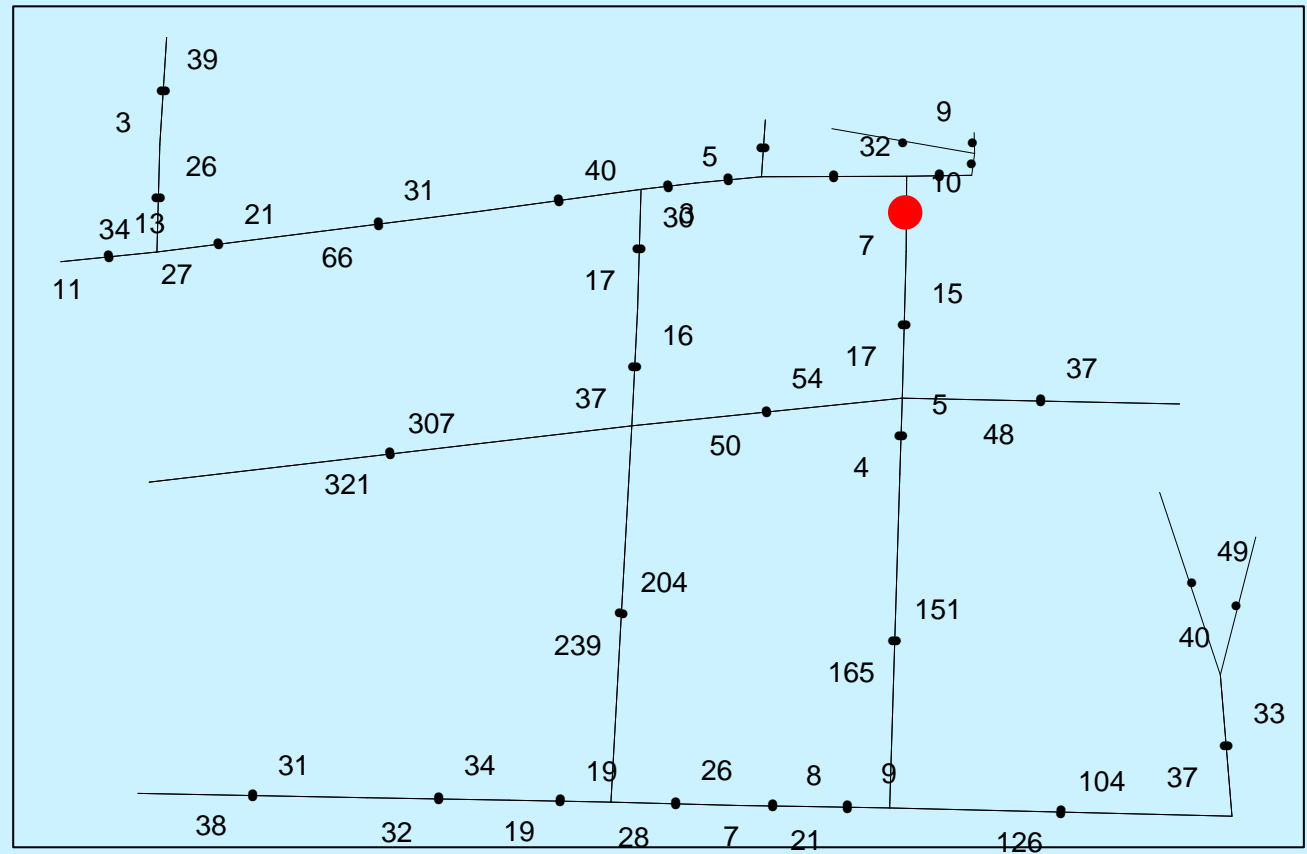
2.1 Synthetische Bevölkerung

Input: Volkszählungs-
Daten:






Portland, Block Group 321012



HOUSEHOLDS BG 312002



... mit Personen und demographischen Attributen:

| HOUSEHOLD | | | |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| |  |  |  |
| AGE | 26 | 26 | 7 |
| INCOME | \$27K | \$16K | \$0K |
| STATUS | WORKER | WORKER | SCHOOL |
| |  |  | |

2.2 Status (arbeitend; in Ausbildung; andere)

Auch aus der Volkszählung.

2.3 Ort der Arbeit/der Ausbildung

Zwei Möglichkeiten:

- Aus Daten bekannt (Volkszählung, Sozialversicherung)
- Gravitationsmodell ähnlich Zielwahl im 4-Stufen-Prozess

2.4 Aktivitäten-Ketten

Verteilung der Tagesaktivitätenketten mit über 1% Anteil an allen Ketten (Start jeweils zu Hause; in Prozent) [Mobidrive 6-Wochen-Tagebuch; K. Axhausen]

b professional business

d daily shopping

e serve passenger

h home

l leisure

o other

p private business

s school

w work

| Werktag | Karlsruhe | Halle | Sa | Karlsru. | Halle | So | Karlsru. | Halle |
|---------|-----------|-------|-------|----------|-------|--------|----------|-------|
| wh..... | 9.33 | 13.23 | lh... | 11.76 | 15.40 | lh.... | 27.72 | 30.65 |
| sh..... | 4.17 | 7.66 | dh... | 8.09 | 7.57 | lhlh.. | 8.10 | 4.64 |
| shlh... | 3.65 | 3.78 | dhlh. | 5.39 | 2.31 | l..... | 6.84 | 2.63 |
| dh..... | 3.58 | 4.29 | l.... | 5.27 | 3.34 | llh... | 3.92 | 2.48 |
| ph..... | 3.49 | 3.30 | ph... | 3.31 | 7.06 | hlh... | 3.29 | 2.63 |
| whlh... | 2.78 | 1.65 | lhlh. | 2.94 | 1.80 | ph.... | 3.16 | 2.94 |
| lh..... | 2.62 | 3.30 | phlh. | 1.84 | 1.54 | h..... | 2.91 | 15.17 |
| whph... | 1.35 | 1.19 | ll... | 1.72 | | lhl... | 2.28 | |
| l..... | 1.25 | | lllh. | 1.35 | | lhph.. | 1.52 | |
| dhlh... | 1.12 | | whlh. | 1.23 | | plh... | 1.52 | |
| dhph... | 1.07 | | phl.. | 1.10 | | hlhlh. | 1.39 | |
| wlh.... | 1.03 | | h.... | | 5.26 | lllh.. | 1.39 | |
| wph.... | 1.03 | 1.06 | wh... | | 5.13 | phlh.. | 1.27 | |
| whdh... | | 2.13 | llh.. | | 1.54 | dhlh.. | 1.14 | |
| wdh.... | | 1.28 | phl.. | | 1.28 | eh.... | 1.14 | 3.87 |
| shph... | | 1.03 | eh... | | 1.03 | hl.... | 1.14 | |
| | | | | | | ll... | 1.01 | |
| | | | | | | wh... | 1.01 | 3.10 |
| | | | | | | lhh.. | | 1.24 |
| | | | | | | hlhh. | | 1.08 |
| Summe | 36.47 | 43.92 | | 44.00 | 53.27 | | 70.76 | 70.43 |
| Anzahl | 13 | 12 | | 11 | 12 | | 18 | 11 |

Ziel sollte allerdings sein, nicht einfach die Aktivitäten-Ketten im status quo zu erfragen, sondern Modelle zu entwickeln, welche diese *generieren* (und die damit auch Veränderungen vorhersagen).

Ein möglicher Ansatz hierzu ist “discrete choice theory”. Dies würde den Rahmen dieser Einführungsvorlesung sprengen.

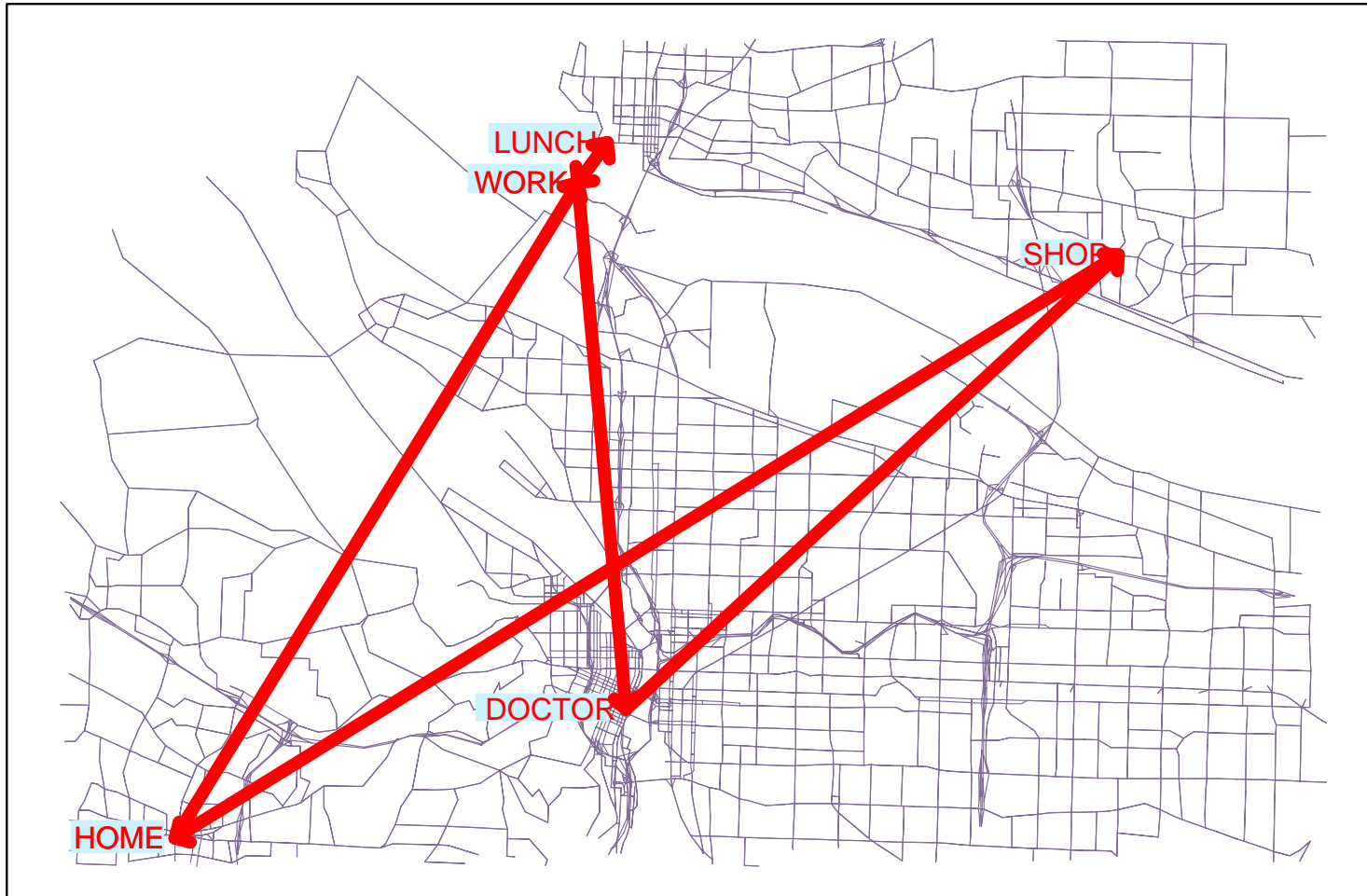
2.5 Weitere Aktivitäten-Orte

Möglichkeiten:

- Z.B. als guter oder optimaler Ort “am Weg”.
- Aktivitätenräume

Bild:

AGENT'S ACTIVITIES



2.6 Verkehrsmittelwahl

Z.B. discrete choice model, wie bei 4-Stufen-Prozess.

Neu: Bewertung (“utility”) kann sich auf gesamten Tagesplan beziehen, nicht nur auf spezifische Fahrt.

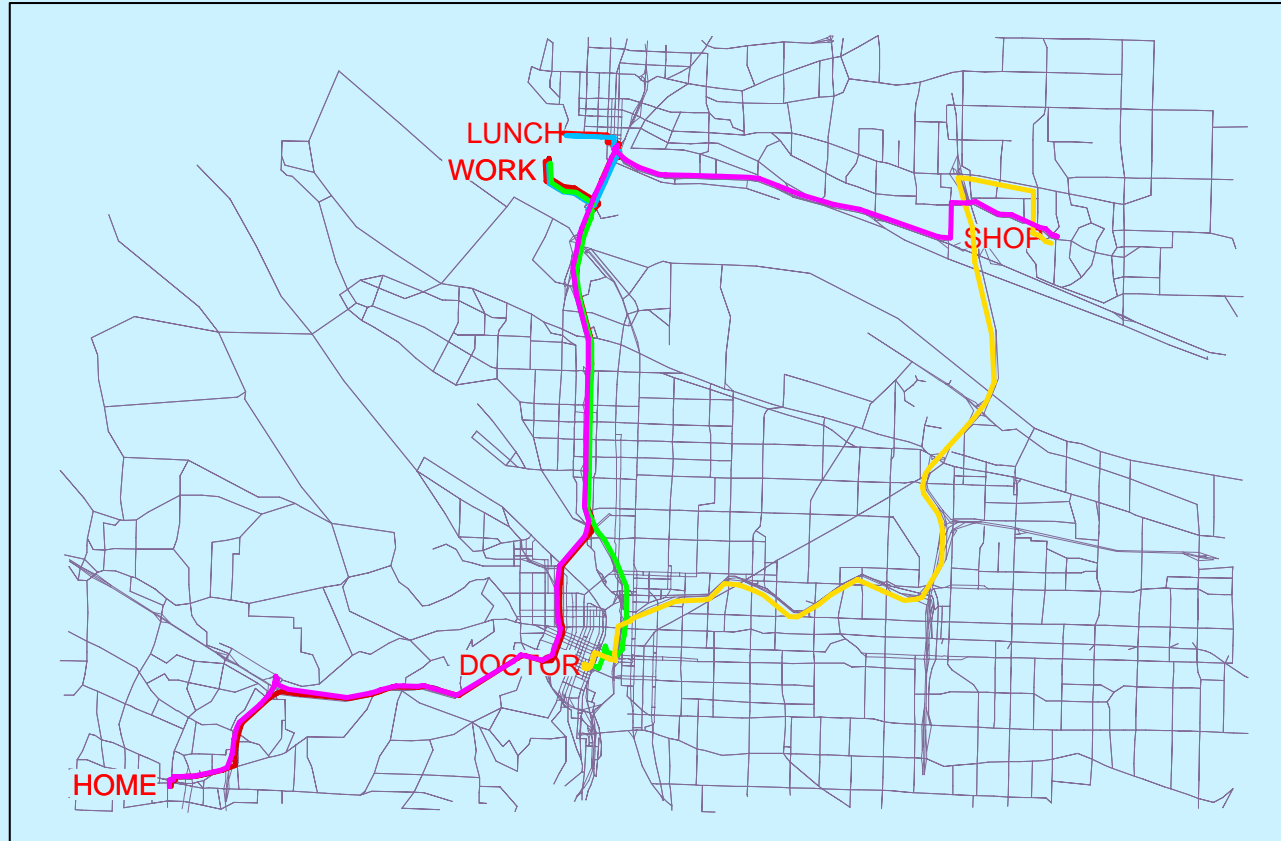
2.7 Routen

Recht gut: Schnellster Weg.

Methoden aus Informatik (z.B. Dijkstra Algorithmus für kürzeste Wege).

Bild:

HUSBAND'S ROUTES



2.8 Tagespläne im Computer: XML

```
<person id="241" income="50000">
  <plan score="123">
    <act type="h" end_time="07:00" x="7150" y="2790" link="5834" />
    <leg mode="car" trav_time="00:25">
      <route>1932 1933 1934 1947</route>
    </leg>
    <act type="w" end_time="17:00" x="0650" y="3980" link="5844" />
    <leg mode="car" trav_time="00:14">
      <route>1934 1933</route>
    </leg>
    <act type="h" x="7150" y="2790" link="5834" />
  </plan>
</person>
```

2.9 Zusammenfassung mentale Module

Wichtig: Alles auf der Ebene individueller Personen.

Im einzelnen noch viel Verbesserungspotential.

3 Mobility simulation

3.1 Einleitung

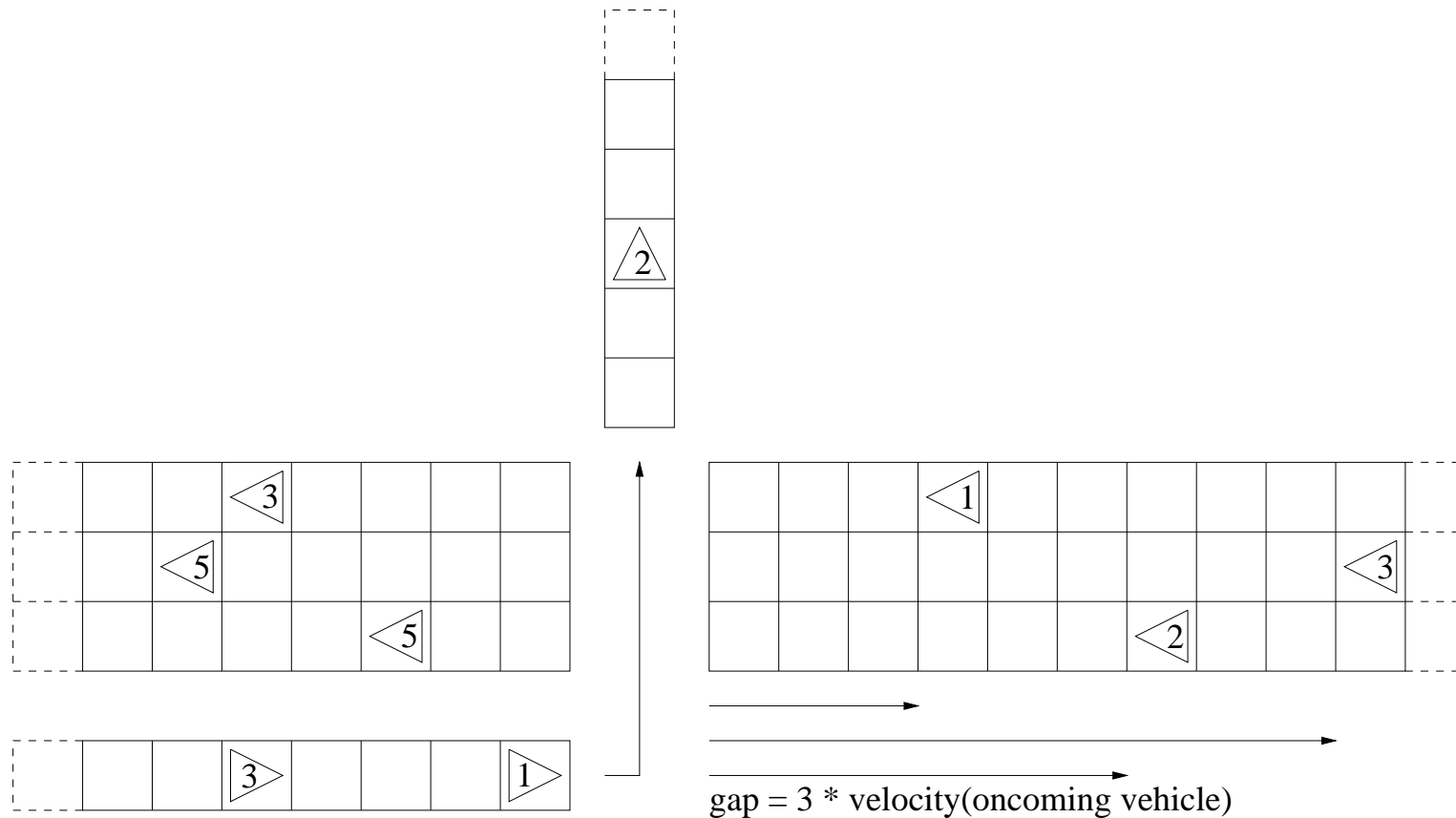
Viele verschiedene Methoden, mit Einflüssen aus Physik, Operations Research, Informatik, etc.

Hier: Eher “intuitive” Beispiele.

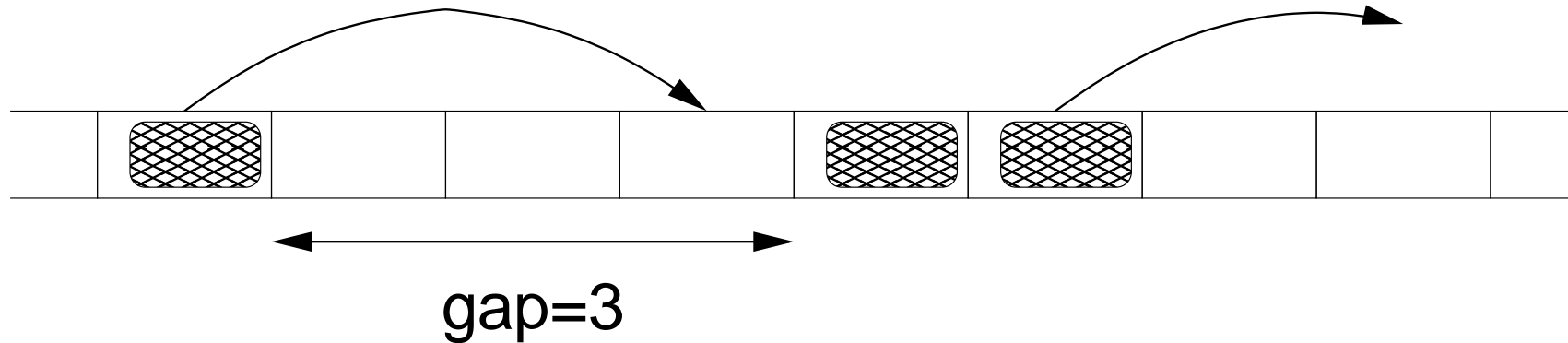
3.2 Verkehr in Dallas (Zellularautomat)

[[transims mov (bigfiles/movies)]] w/ Chris Barrett, Richard Beckman, Steen Rasmussen, Marcus Rickert, and many others (TRANSIMS team, ~ 30 people)

Method: **Cellular automata:**



Zellularautomat einspurig

**(Cells!)**

For all cars do *in parallel* (CA!)

- Accelerate, follow leader, obey speed limit:

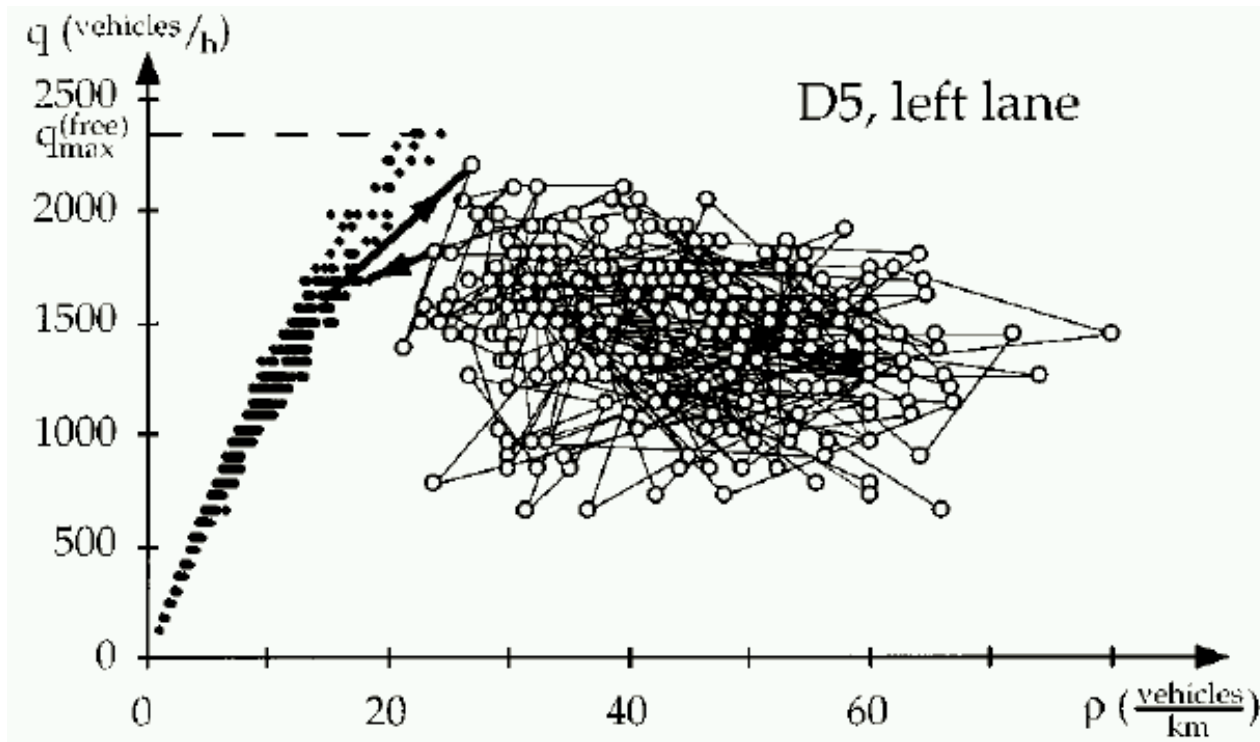
$$v' \leftarrow \min[v + 1, \text{gap}, v_{max}] \quad (1)$$

- Sometimes, be slower than that (when plausible):

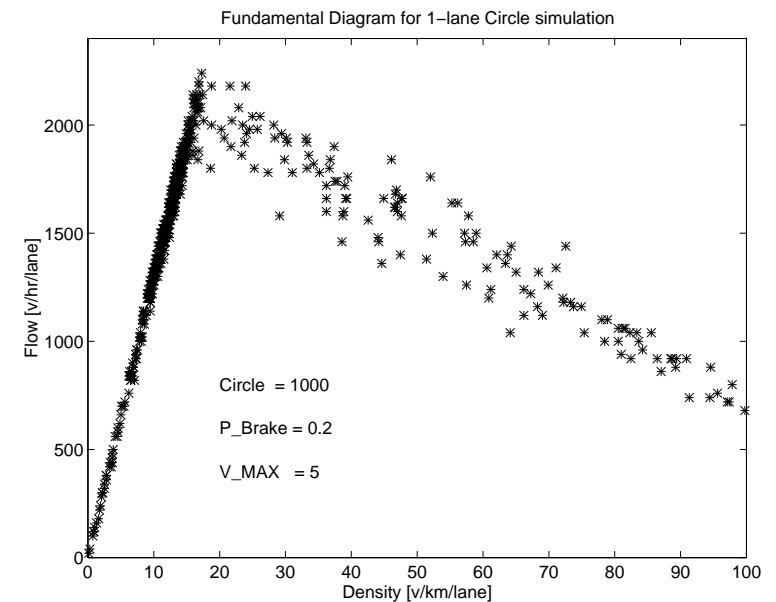
$$v' \leftarrow v' - 1 \text{ w/ proba } p_{noise} \quad (2)$$

Cell-based model, small number of states per cell, local parallel update \Rightarrow **Cellular automaton (CA)**

The above model is already enough to get a plausible fundamental diagram (flow vs density):



(Reality, from B. Kerner)



(Simulation)

The above model is nearly enough to get nice **jams-out-of-nowhere**. (Additional ingredient: “slow-to-start” (Barlovic et al)).

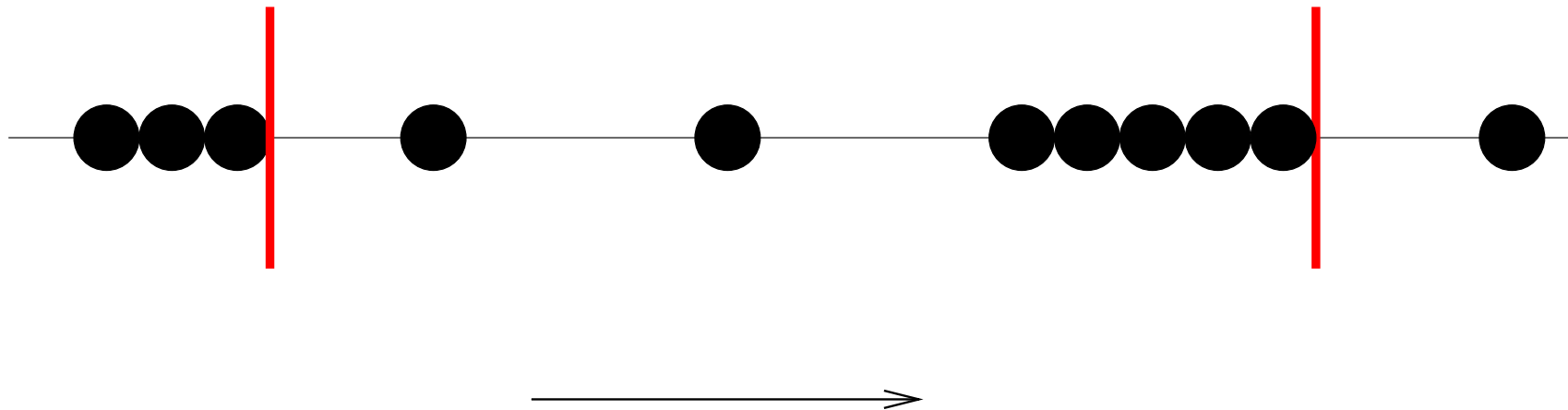
[[Vis (bigfiles/demos/transims-calib)]]

3.3 Verkehr in Zurich (Queue model)

[[vis zrh]]

w/ Kay Axhausen, Fabrice Marchal, Bryan Raney, Nurhan Cetin, Michael Balmer

Method: Queue(ing) simulation:



3.4 Fußgänger in Zürich Hbf (gekoppelte DGLn)

[[open -a /Applications/MPlayer... MainStation.avi]]

w/ Ludger Hovestadt, Karsten Droste, Bryan Raney, Christian Gloor, Pascal Stucki, Res Voellmy

Method: Molecular dynamics (\approx : time-stepped coupled differential equations)

$$\underline{a}_i(t) = \frac{\underline{v}_{des,i} - \underline{v}_i}{\tau} + \sum_{Objects\ j} \underline{f}_{ij} + \sum_{Peds\ k} \underline{f}_{ik} \cdot \quad (3)$$

Social force model of Helbing; not without problems.

3.5 Wanderer in den Alpen

[[ped movies]]

w/ Willy Schmid, Eckart Lange, Christian Gloor, Duncan Cavens

Same method as “Zrh Main Station”.

4 Feedback/Lernen

4.1 Einleitung

Staus resultieren aus Ausführung der Pläne . . .

. . . aber Pläne müssten Staus antizipieren.

Generelles Problem in der quantitativen Sozialwissenschaft.

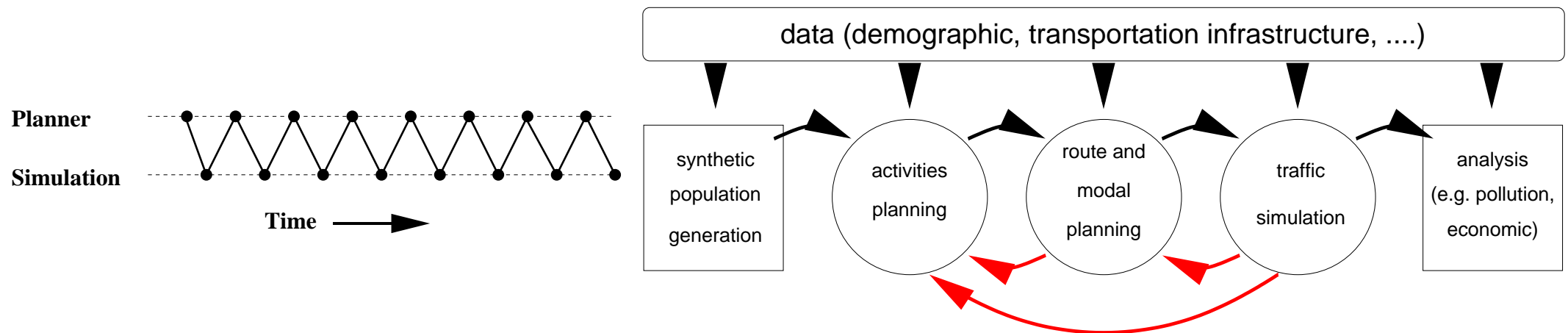
Traditionelle Lösung: **rationales Verhalten (Nash Gleichgewicht)** (s. statisches Assignment).

Menschen sind allerdings nicht rational.

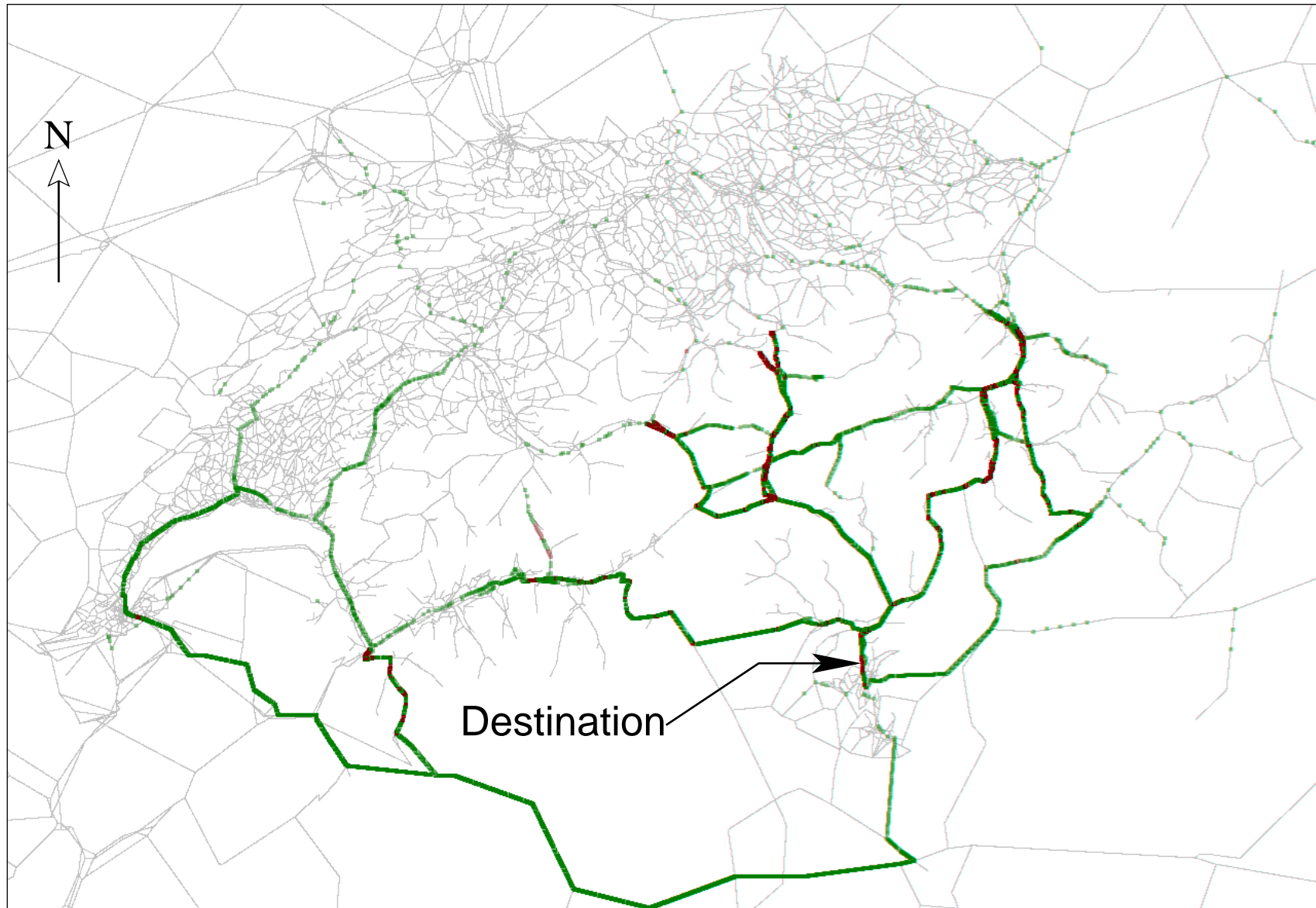
Lösung hier: **Iteration zwischen Modulen = simuliertes Lernen.**

1. Alle Reisenden machen Pläne.
2. Alle Reisenden führen sie simultan aus.
3. Ein Teil der Reisenden revidiert die Pläne aufgrund gemachter Erfahrungen (z.B. Staus). Then **goto 2.**

⇒ Alle Module laufen viele, viele Male.



Nach dem Lernen besserer Pläne:



“Breitere” Ausnutzung des Verkehrssystems.

[[Auch: it.0 vs. it.XXX in a current scenario]]

4.2 Simulation von Lernverhalten, Bemerkungen

Agenten können fast beliebige Dinge lernen:

- Zeiten
- Routen
- Verkehrsmittel
- Orte
- Aktivitäten-Ketten
- Wohnorte
- Arbeitsplätze
- Etc.

Somit müssen alle mentalen Module in die Lern-Iterationen einbezogen werden. →
derzeitige Forschung

5 Kalibrierung/Validierung

Kalibrierung: Justierung von Modellparametern, bis Modellresultate möglichst nahe an vorgegebenem Datensatz.

Validierung: Test, ob Modell “gültig” ist.

5.1 Verkehrsfluss-Eigenschaften

Erster Anfang: Fundamentaldiagramm, s.o.

Weiter: Abbiegeverhalten, vor allem wenn keine Vorfahrt.

5.2 Robustheit gegenüber Auswechselln der Module

Werde ich nicht zeigen; Hauptresultat: Verkehrserzeugung derzeit größere Fehlerquelle als Mikro-Simulation

5.3 Realistische Szenarien

Ein Beispiel: Großraum Zürich.

- Digitales **Straßennetz** der Schweiz mit 60 000 Kanten (nur die größeren Straßen).
- **Nachfrage**: Vollständige Aktivitäten-Ketten für 180 000 Personen (10% Sample), Großraum Zürich
Einschl. Durchgangsverkehr
- **Wahldimensionen:**
 - Routen
 - Zeiten
 - Verkehrsmittel (Auto vs. “sonstiges”)

Resultate

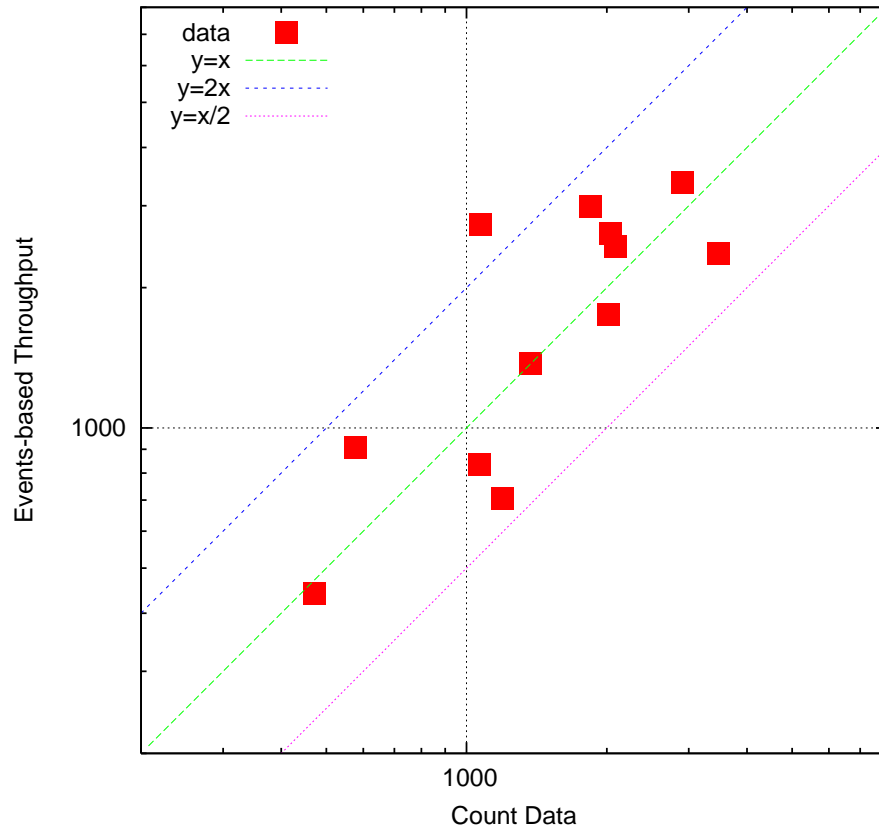
[[run465, vis]]

[[run465, google earth]]

Vergleich mit 4-Stufen-Prozess (altes Resultat; leider nur selten möglich)

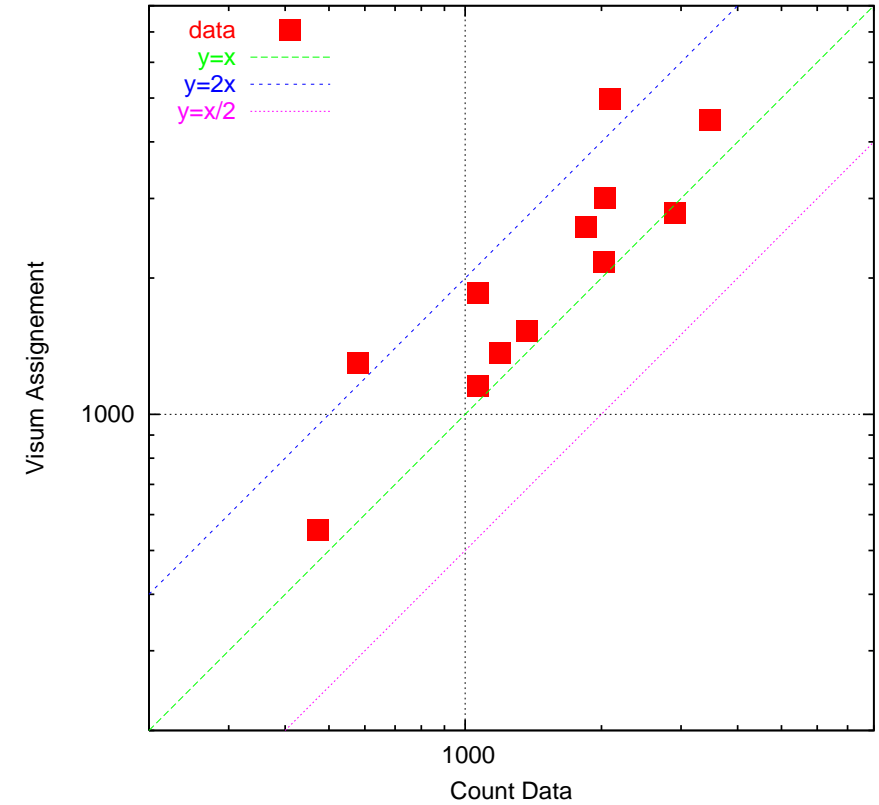
Our study:

counts_vs_350.acts-routes_all6am_hrs7-8.out



VISUM ("best effort"):

count_vs_visum_hrs7-8.out



| | This study:. | VISUM:. |
|------------------|--------------|---------|
| Mean Rel. Bias: | +9.4% | +42.4% |
| Mean Rel. Error: | 30.4% | 42.1% |

(Vorsichtige) Schlussfolgerung

(auch aus weiteren, ähnlichen Tests)

Agenten-Methode mindestens so gut wie 4-Stufen-Prozess.

Weitere Arbeiten nötig.

6 Westumfahrung

[[other slides]]

7 Zusammenfassung

Ersatz des klassischen 4-Stufen-Verfahrens durch agenten-basierte Simulation ist technologisch machbar.

Vom theoretischen Standpunkt deutlich besserer Ansatz (identifizierbare Personen).

Resultate sehen recht vielversprechend aus.

Weitere Forschung nötig.