

Multiagentensimulationen für die Verkehrsplanung

Kai Nagel

nagel@vsp.tu-berlin.de

1

1.2 Ungef. Entsprechungen zw. 4-step und

Multi-Agent (Traffic) SIMulation

Verkehrserzeugung	Synthetische Bevölkerung; Flächennutzung
Verkehrsverteilung	ag-basierte Aktivitäten-Ketten
OD-basierte Verkehrsmittelwahl	ag-basierte Verkehrsmittelwahl
(statische) Umlegung	ag-basierte Routenwahl; Iterationen

3

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.

2

1.3 Bessere Liste von Modulen f. MATSIM

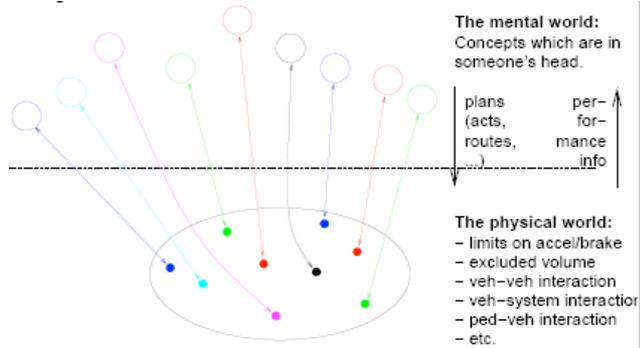
- Synthetische Bevölkerung
- Status (arbeitend; in Ausbildung; andere)
- Ort der Arbeit/der Ausbildung
- Aktivitätenketten
- Ort(e) der weiteren Aktivitäten
- Verkehrsmittel
- Routen
- Zeiten
- Mobility Simulation

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

4

1.4 Physikalische vs mentale Ebene

Nach einigem Nachdenken:

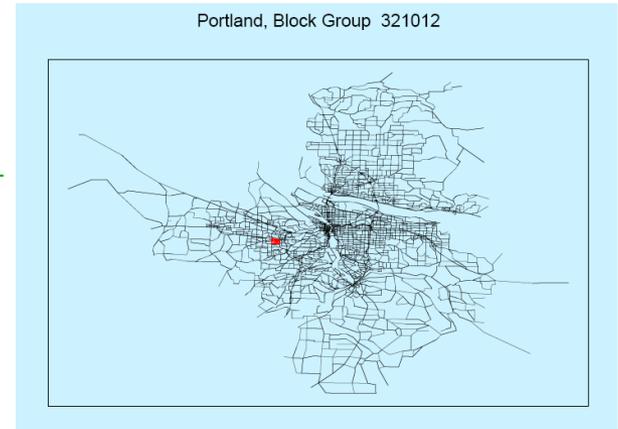


5

2 Module

2.1 Synthetische Bevölkerung

Input:
Volkszählungs-
Daten:



7

1.5 Vorschau

„Strategische“ Module

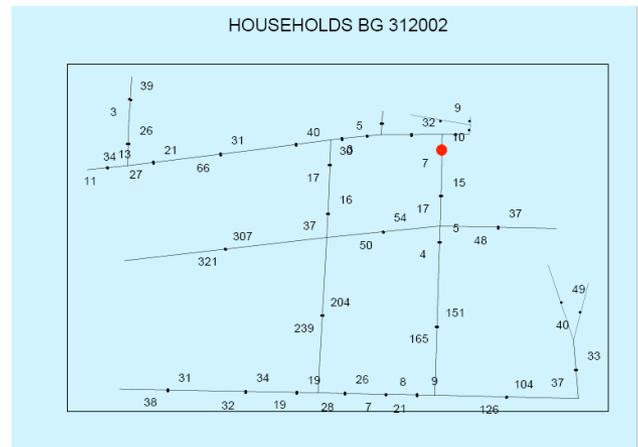
Mobility Simulation

Feedback (Lernen)

Ein real-world Szenario

6

Output: Haushalte
(lokalisiert) ...



8

... mit Personen und demographischen Attributen:

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

9

2.3 Ort der Arbeit/der Ausbildung

Zwei Möglichkeiten:

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

11

2.2 Status (arbeitend; in Ausbildung; andere)

Auch aus der Volkszählung.

10

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

12

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	
dph...	1.07		phl..	1.10		hlhlh.	1.39	
wh....	1.03		h....		5.26	llh...	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	plh...		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

13

2.5 Weitere Aktivitäten-Orte

Möglichkeiten:

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

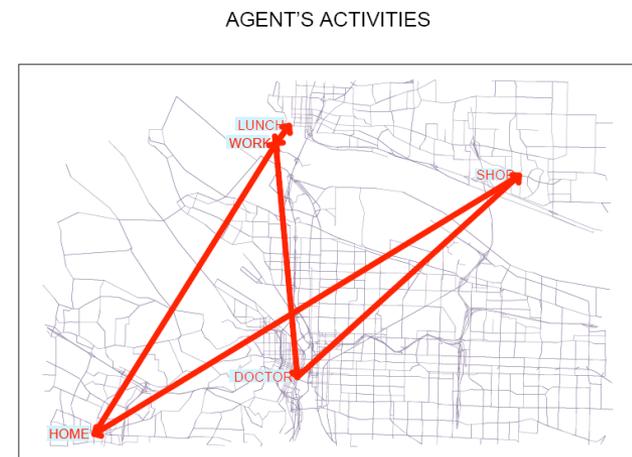
15

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.

14

Bild:



16

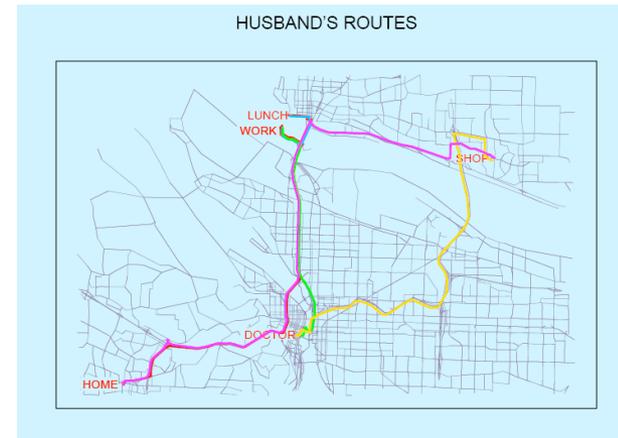
2.6 Verkehrsmittelwahl

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

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

17

Bild:



19

2.7 Routen

Recht gut: Schnellster Weg.

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

18

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>
```

20

2.9 Zusammenfassung mentale Module

Wichtig: Alles auf der Ebene individueller Personen.

Im einzelnen noch viel Verbesserungspotential.

21

Einleitung

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

Hier: Eher „intuitive“ Beispiele.

23

Mobility simulation

(auch: Bewegungs-Simulation, Verkehrsfluss-Simulation, "Network Loading")

22

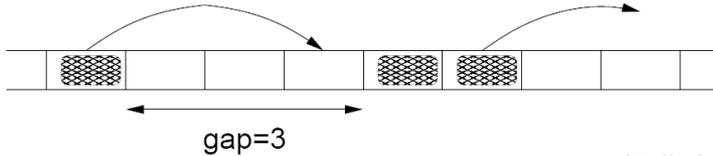
Verkehr in Dallas (Zellularautomat)

[[transims mov]] mit Chris Barrett, Richard Beckman, Steen Rasmussen, Marcus Rickert, und vielen anderen (TRANSIMS team, ≈ 30 Personen)

Methode: Zellularautomat

24

Zellularautomat, einspurig



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

- Accelerate, follow leader, obey speed limit: (1)

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

- Sometimes, be slower than that (when plausible): (2)

$$v' \leftarrow v' - 1 \text{ w/ proba } p_{noise}$$

25

Zellularautomat: Staus aus dem Nichts

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

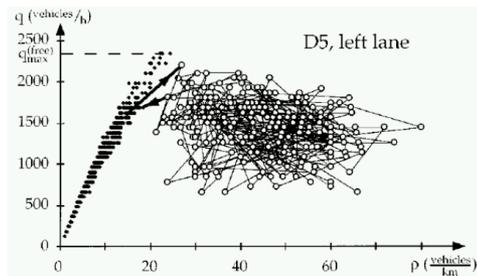
[[transims-calib:
myOTFVis jam-out-of-nowhere/test.veh network/net.xml]]

27

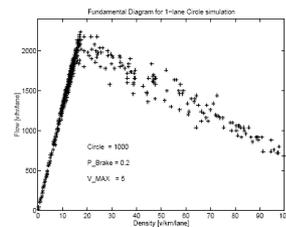
Zellularautomat, einspurig, Forts.

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

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



(Reality, from B. Kerner)

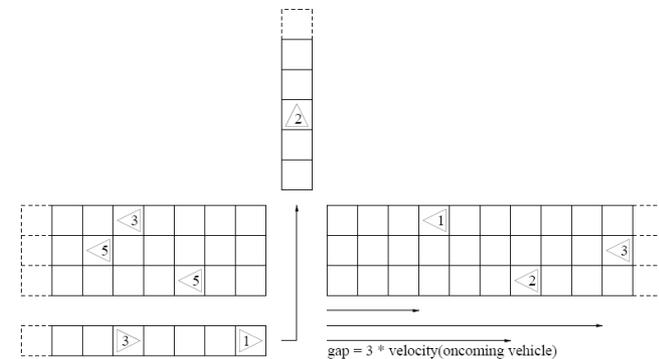


(Simulation)

26

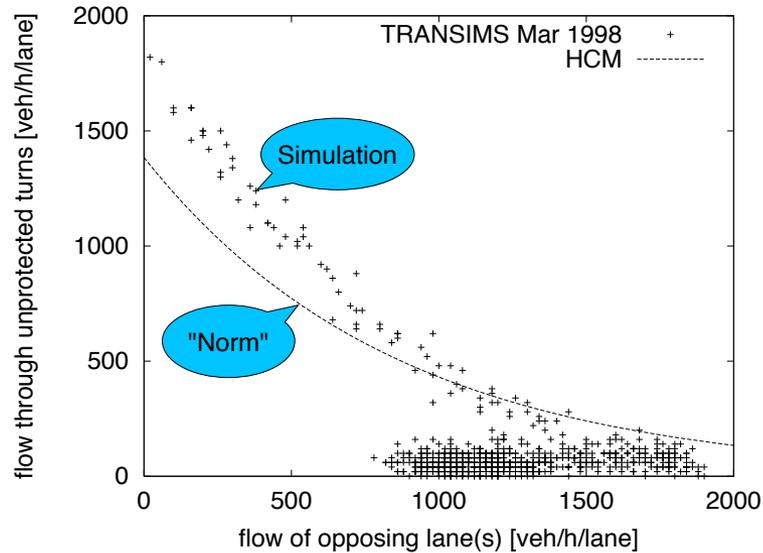
Zellularautomat: Vorfahrt

Vorfahrtsregelung durch "Abzählen" freier Kästchen:



28

Zellularautomat: Vorfahrt, Forts. (1-Spur in 2-Spur)



29

Fußgänger in Zürich Hbf (gekoppelte DGLn)

[[MainStation.avi]]

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

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

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

Social force model of Helbing; not without problems.

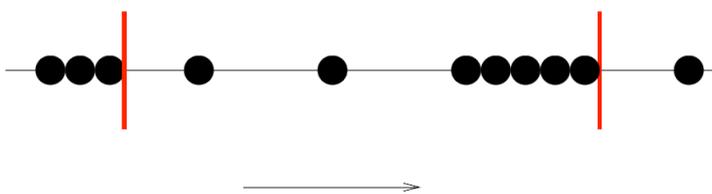
31

Verkehr in Zürich (Warteschlangen-Modell)

[[vis zrh]]

mit Marcel Rieser, Dominik Grether, Kay Axhausen, Fabrice Marchal, Michael Balmer, und anderen

Method: Queue(ing) simulation



30

Wanderer in den Alpen

[[ped movies]]

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

Same method as "Zrh Main Station".

32

Feedback/Lernen

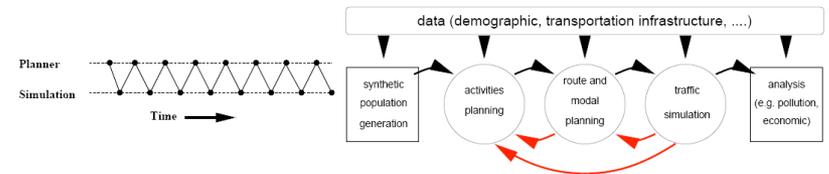
33

Iterationen

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.



35

Einleitung

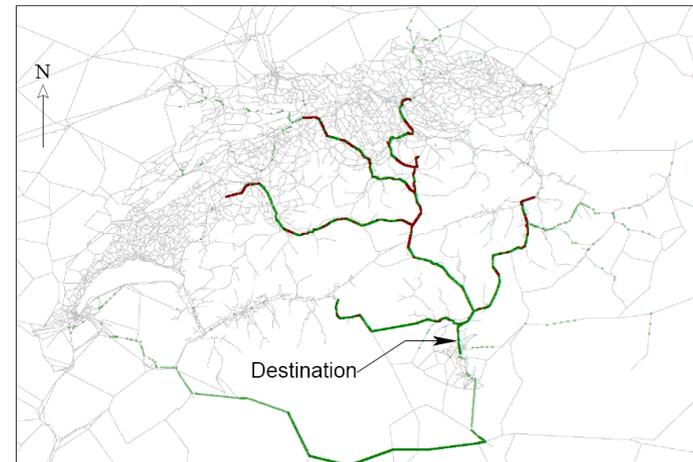
Staus resultieren aus Ausführung der Pläne . . .
. . . aber Pläne müssten Staus antizipieren.

Generelles Problem in der quantitativen Sozialwissenschaft.

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

34

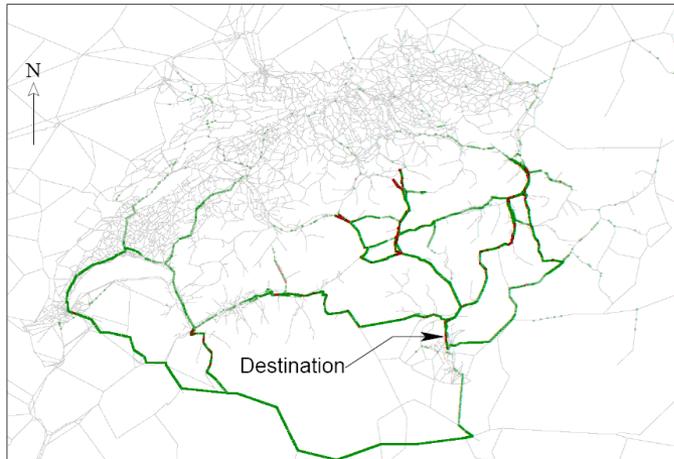
Basierend auf den initialen Plänen:



Jeder fährt auf Route, die bei leerem System am schnellsten wäre.

36

Nach dem Lernen besserer Pläne:



„Breitere“ Ausnutzung des Verkehrssystems.

37

Anpassung der Abfahrtszeiten

[[dp-time-distributions]]

39

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

38

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

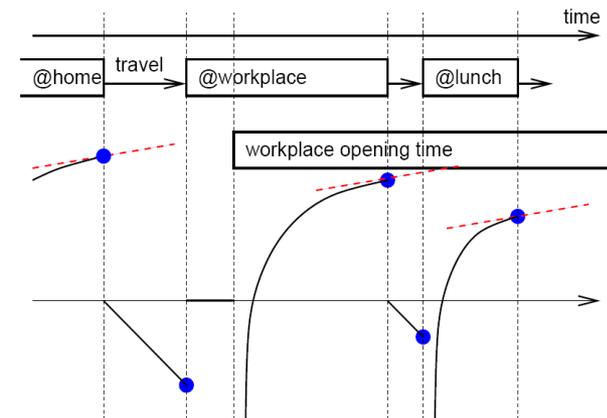
40

Nutzenfunktion

(mit K. Axhausen, D. Charypar, D. Grether, B. Kickhöfer)

41

Nutzenfunktion, Beispiel



Bem:
Blaue Punkte = Werte, die aufaddiert werden.
Marginaler Nutzen (rot) identisch bei optimaler Lösung.

43

Nutzenfunktion

Agenten müssen Pläne vergleichen können.

Derzeit:

- Positiver Nutzen für Durchführung einer Aktivität
- Negativer Nutzen für's Reisen
- (Negativer Nutzen für Verpätung)

Summiere dies über den Tag.

Beispiel ...

42

Validierung

44

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")

45

Schlussfolgerung

(auch aus weiteren, ähnlichen Tests)

Agenten-Methode bzgl. Qualität der Resultate konkurrenzfähig mit 4-Stufen-Prozess.

47

Resultate

[[run657, vis]]

[[run657, google earth]]

46

Ein Szenario (dynamische Maut)

(mit D. Grether, Y. Chen, M. Rieser)

48

Szenario

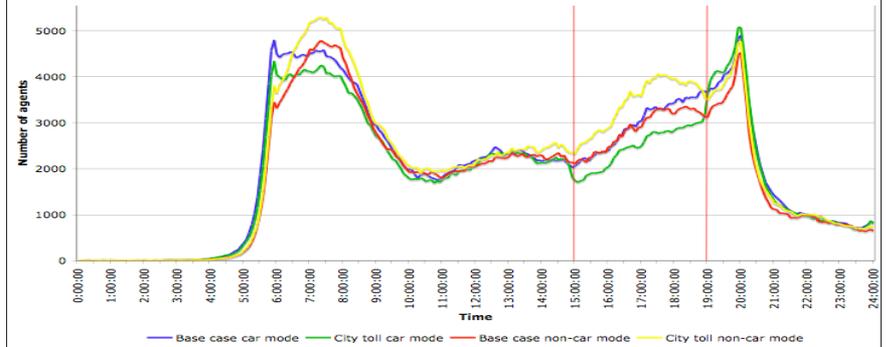
Nachfrage:
wie oben

Auswahl-Dimensionen

- Routen
- Zeitstruktur
- Verkehrsmittel

49

Abfahrten



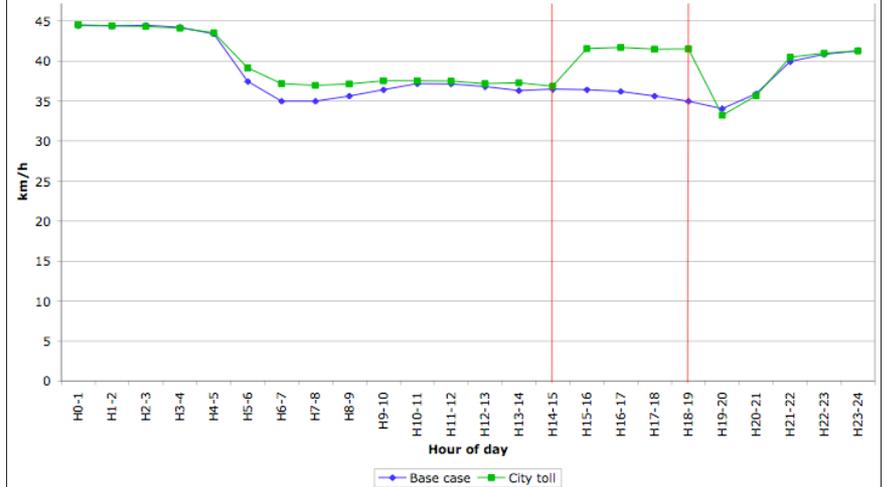
Morgendliche Abfahrten beeinflusst von abendlicher Maut
(= Ansatz modelliert Kausalbeziehung entlang der Zeitachse)

Maut

2Eu/km ...
... in Innenstadt ...
... von 15 bis 19 Uhr
(Nachmittag/Abend!)



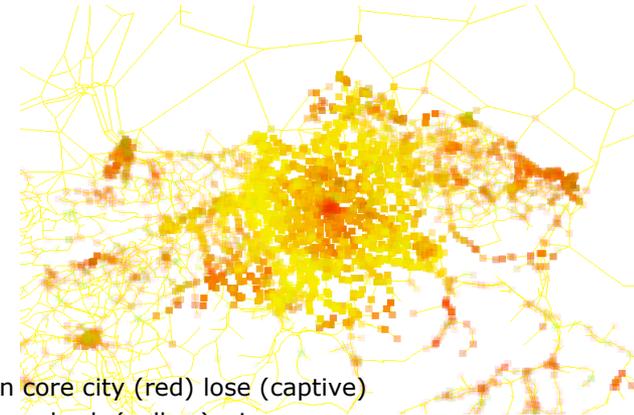
Speed



(Ökonomische) Evaluierung

53

Geographical winners/losers



People in core city (red) lose (captive)
People in suburb (yellow) win

NOTE: Can do this by home location!

55

Evaluierung

Da sich alles auf Agenten mit individueller Nutzenfunktion bezieht ...

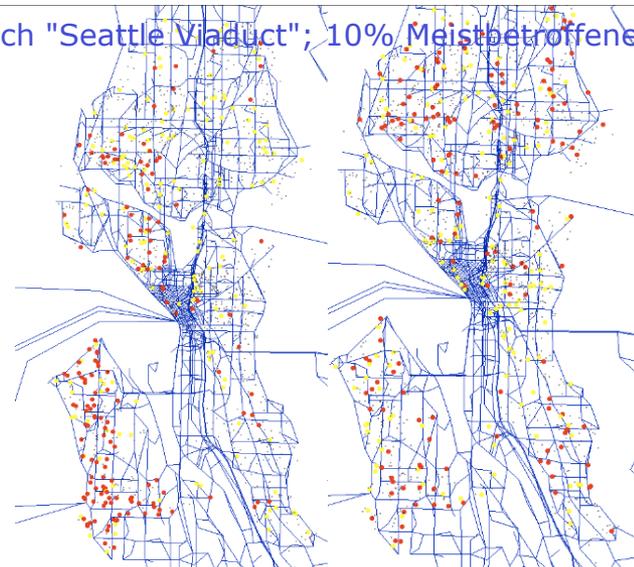
... kann man direkt Gewinner/Verlierer identifizieren:

agId	Nutzen vorher	Nutzen Nacher	Differenz
1	100	105	+5
2	78	75	-3
...			

Anders (und m.E. deutlich leistungsfähiger) als bestehende Ansätze.

54

Abbruch "Seattle Viaduct"; 10% Meistbetroffene



Direkt betroffene Haushalte

Nach vielen Iterationen

56

Evaluierung, Forts.

Problem: **Wie addiert man die individuellen Nutzen auf** für die Kosten-Nutzen-Analyse.

Std. Ansatz: Monetarisieren und dann aufaddieren.

Problem dabei: Euro für wohlhabende Person hat anderen (kleineren) Nutzen als Euro für weniger wohlhabende Person.

⇒ ??

(Wir haben dafür nicht die Lösung, aber wenigstens das richtige Modell, um das Problem zu diskutieren.)

57

Zusammenfassung

59

Westumfahrung

[[other slides]]

58

Zusammenfassung

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

Vom theoretischen Standpunkt deutlich besserer Ansatz (identifizierbare Personen).

Resultate sehen recht vielversprechend aus.

Weitere Forschung nötig.

60