

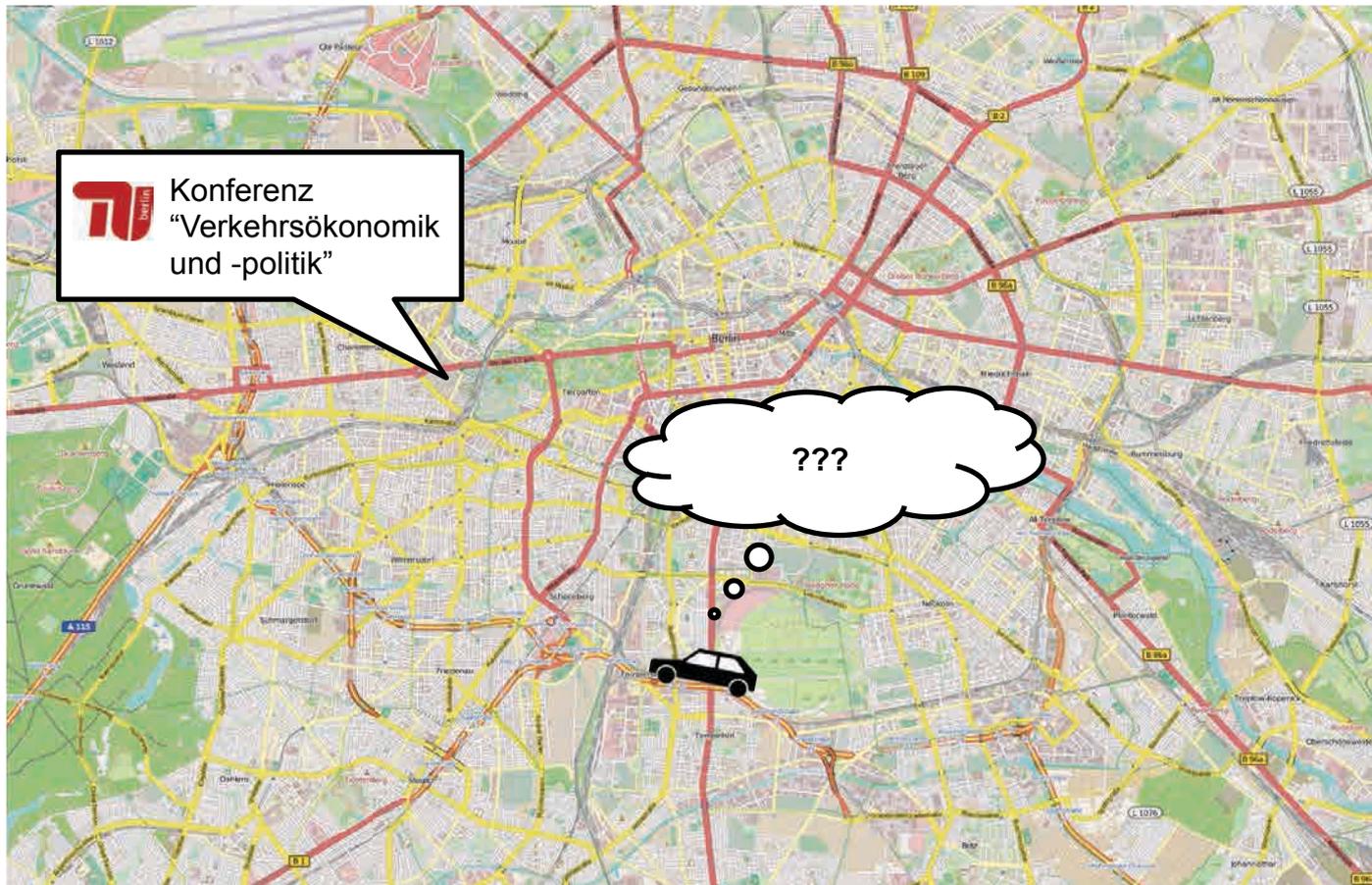


Simultaneous Internalization of External Congestion Cost and Noise Exposures

Ihab Kaddoura & Kai Nagel

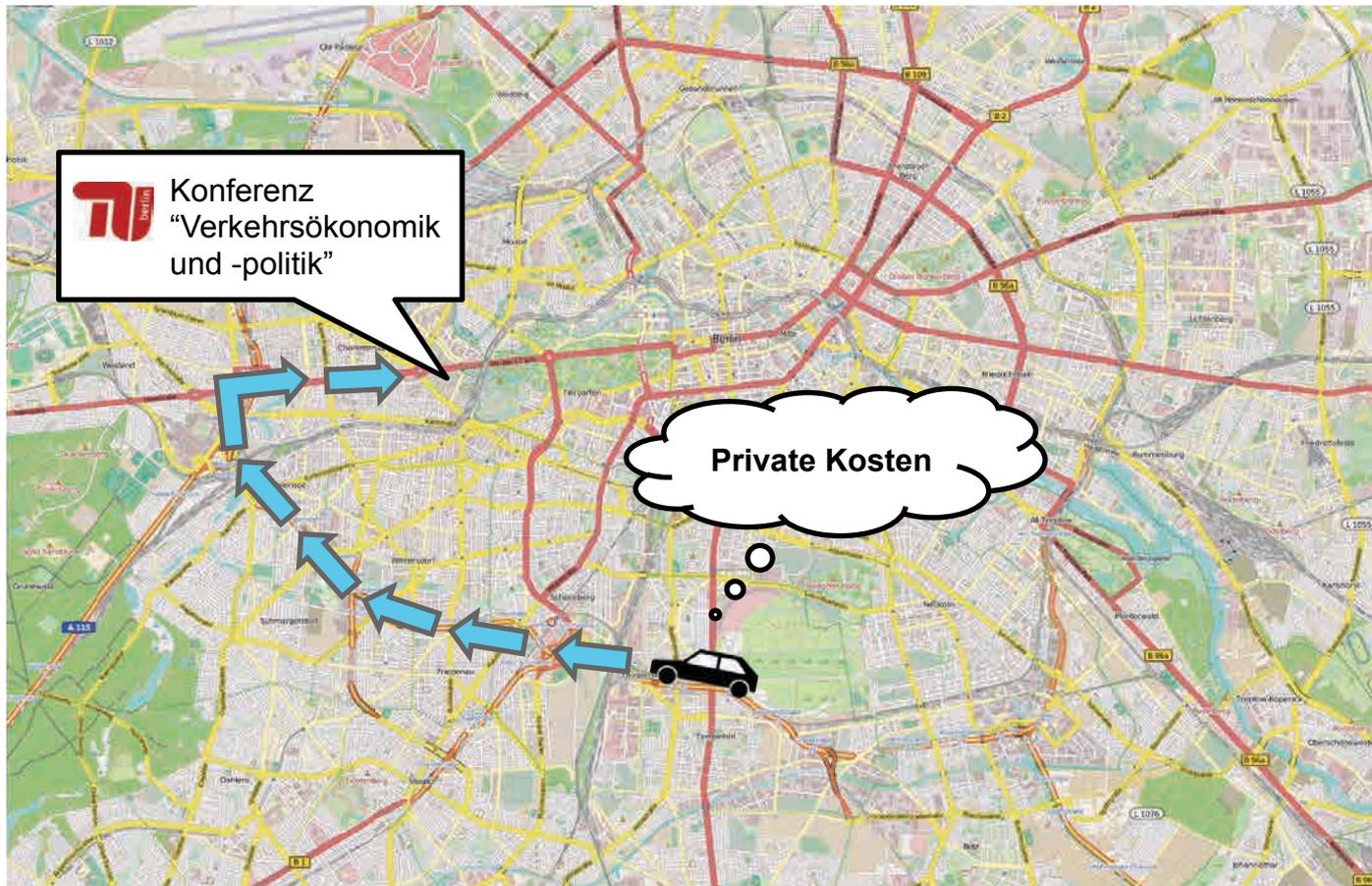
Fachgebiet Verkehrssystemplanung und Verkehrstelematik, TU Berlin

Einführung: Individuelle Nutzerentscheidungen...



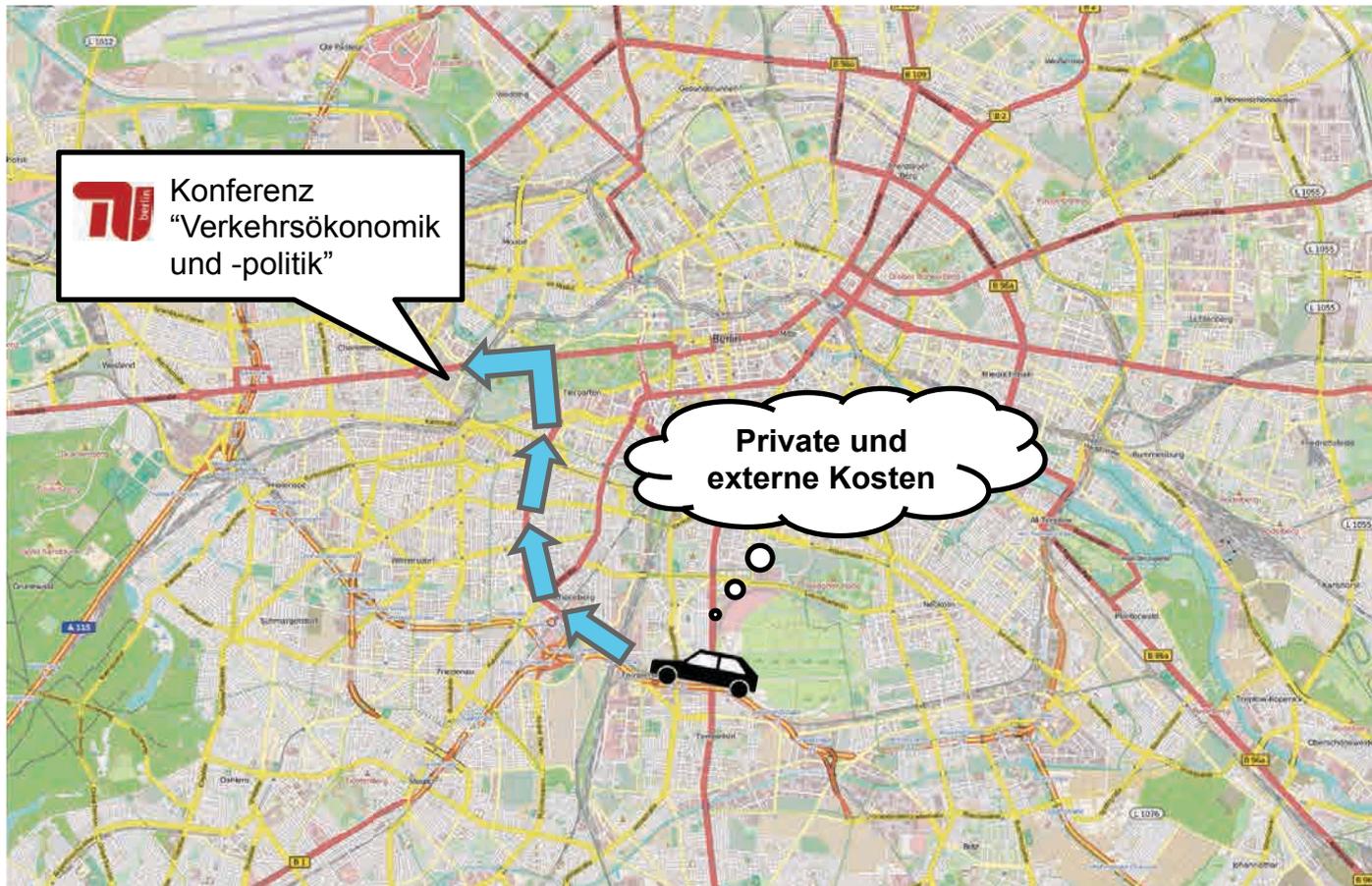
© OpenStreetMap

... ohne Berücksichtigung externer Effekte



© OpenStreetMap

... mit Berücksichtigung externer Effekte (Internalisierung)



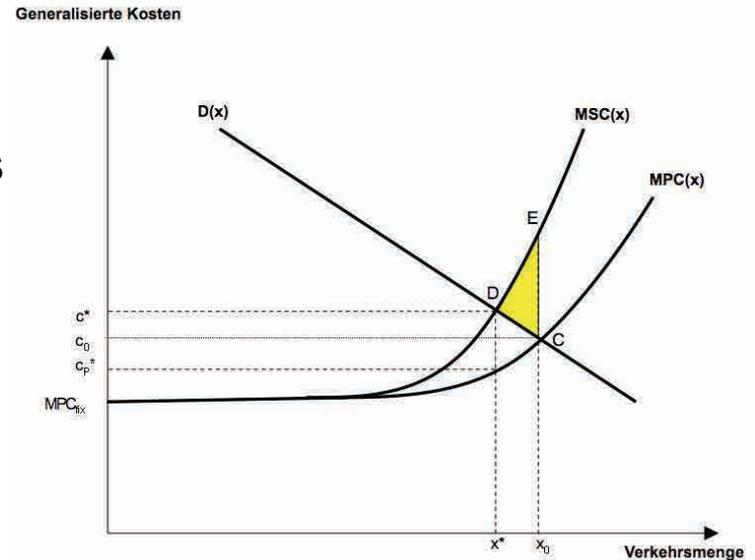
Motivation

Nicht-Berücksichtigung externer Kosten

- ineffiziente Nutzung des Verkehrssystems
- Wohlfahrtsverlust

Internalisierung externer Kosten

- effiziente Nutzung des Verkehrssystems
- Wohlfahrtsgewinn



- Optimale Maut (Pigou-Steuer): $c^* - c_p^*$ = Korrekturterm zur Anpassung der generalisierten Kosten (Maut, geringeres Geschwindigkeitsniveau, ...)
- Die optimale Maut bzw. die Reaktion der Nachfrage auf diese Maut kann uns Aufschluss darüber liefern, mit welchen Maßnahmen das Verkehrssystem verbessert werden kann.

→ Welche Effekte hätte eine (voll) verursachergerechte Maut?

Methodik

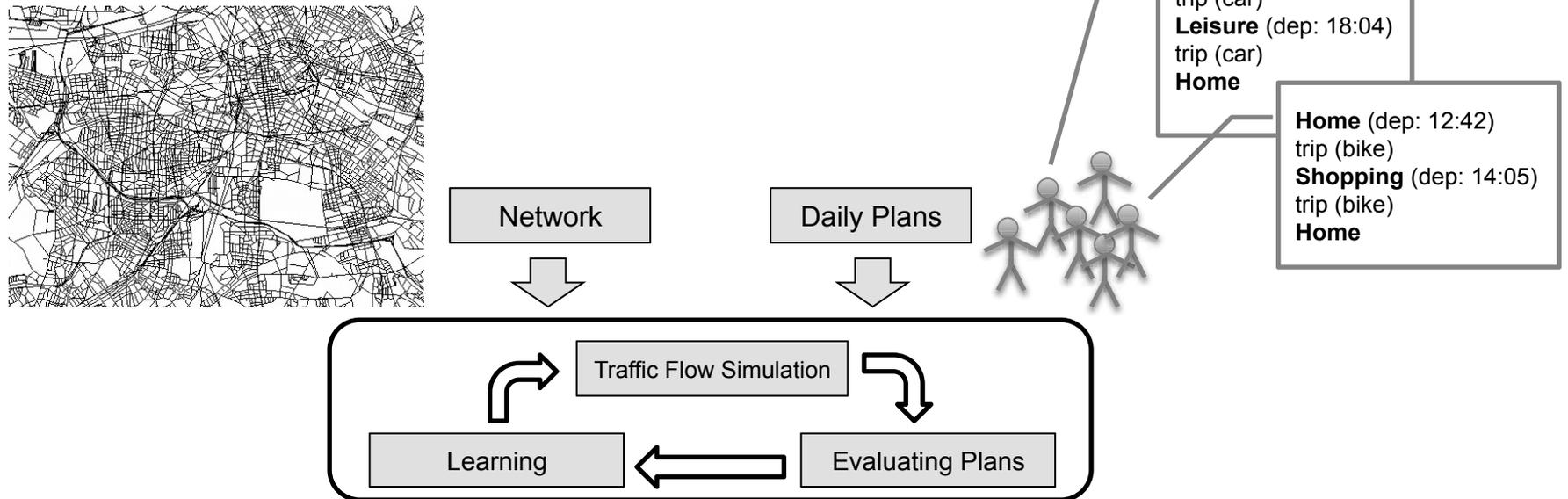
Methodik

Verwendung einer agenten-basierten und dynamischen Verkehrssimulation zur...

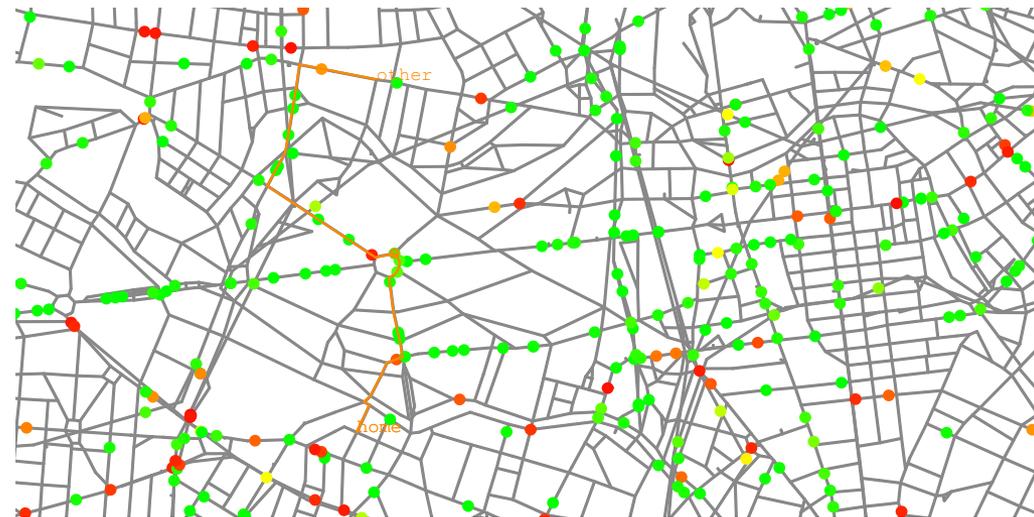
- ... Berechnung der externen **Lärm-** und **Staukosten**
- ... **Internalisierung** (dynamisch, kanten- und nutzerspezifisch)
- ... Berechnung der **Nachfragereaktion**

[Weitere externe Effekte werden in dieser Studie vernachlässigt, könnten aber analog hinzugenommen werden.]

Verkehrssimulation: MATSim



- ▶ Simultane Ausführung aller Pläne
- ▶ Bewertung der Pläne auf Basis von ausgeführten Aktivitäten und Wegen
- ▶ Auswahl von Plänen auf Basis eines Multinomial Logit Modells
- ▶ Veränderung von Plänen / Lernen entsprechend der zugelassenen Wahldimensionen



Bepreisung externer Lärmkosten

- 1) Berechnung von Lärmemissionen
- 2) Berechnung von Lärmimmissionen
- 3) Berechnung von Lärmkosten
- 4) Internalisierung: Berechnung der Lärmpreise je Tageszeit, Straßenabschnitt und Fahrzeugtyp

RLS-90 basierte Methodik

1. Schritt: Berechnung von Lärm**emissionen**

- Mittelungspegel in dB(A) in Abhängigkeit der Verkehrsstärke und des Lkw-Anteils
- Korrektur für unterschiedliche zulässige Höchstgeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Lkw-Anteil
- Weitere Korrekturen für den Einfluss der Straßenoberfläche und der Steigung werden hier vernachlässigt.

RLS-90 basierte Methodik

2. Schritt: Berechnung von Lärmimmissionen

- Pegeländerung durch unterschiedliche Abstände zwischen Emissions- und Immissionsort (Verfahren „lange, gerade“ Fahrstreifen)
- Weitere Korrekturen, welche Reflexionen, Höhenunterschiede, Abschirmungseffekte etc. berücksichtigen werden hier vernachlässigt.

Überlagerung von Schallpegeln
→ energetische Addition

$$I_{j,t} = 10 \cdot \log_{10} \sum_i 10^{0.1 \cdot I_{i,j,t}}$$

i: Straßenabschnitt

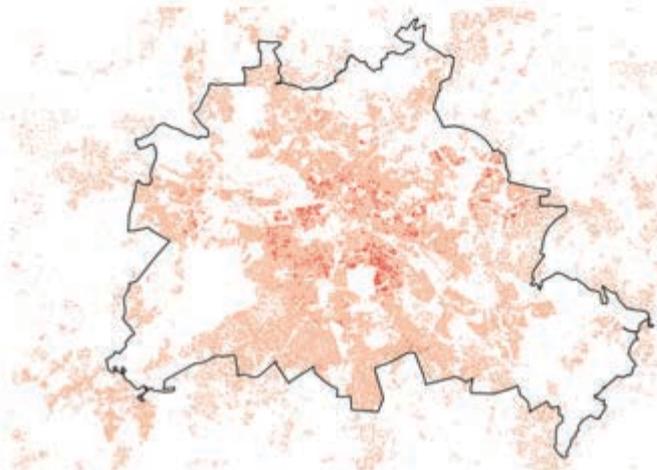
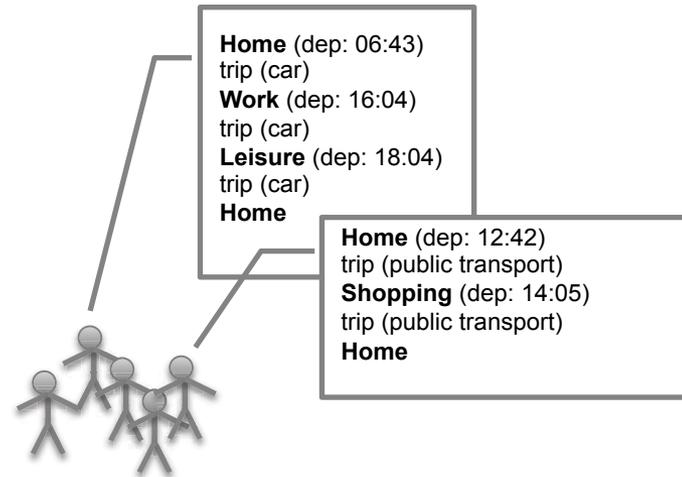
j: Berechnungspunkt

t: Zeitraum

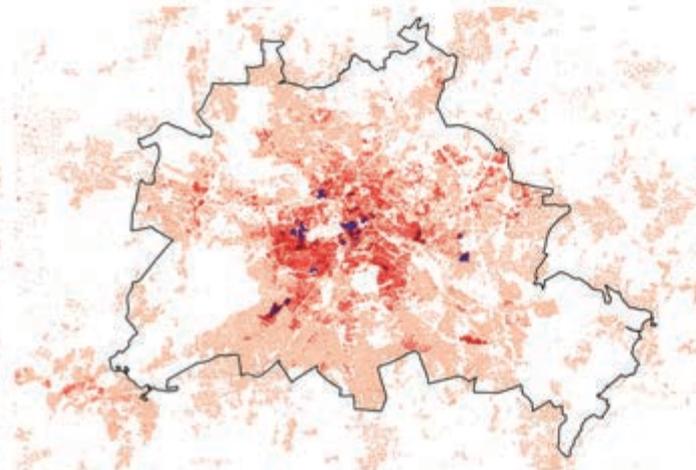
Addition zweier gleicher Lärmpegel: +3 dB

Dynamische Berücksichtigung der Bevölkerungsdichte

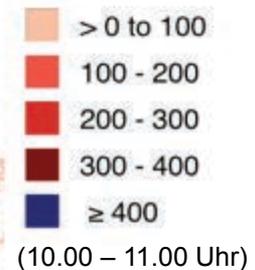
- Wie viele Personen sind den berechneten Lärmpegeln überhaupt tatsächlich ausgesetzt?
- Welcher Tätigkeit gehen diese Personen gerade nach (Lärm am Arbeitsplatz vs. Lärm am Wohnort)?
- eine Person, die von 7.00 bis 7.30 Uhr in einer Zelle die Aktivität "Arbeiten" ausübt → 0,5 Population Units



(a) home activities



(b) home, work and education activities



Berechnung von Lärmkosten

auf Basis der EWS

„Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen“ (FGSV)

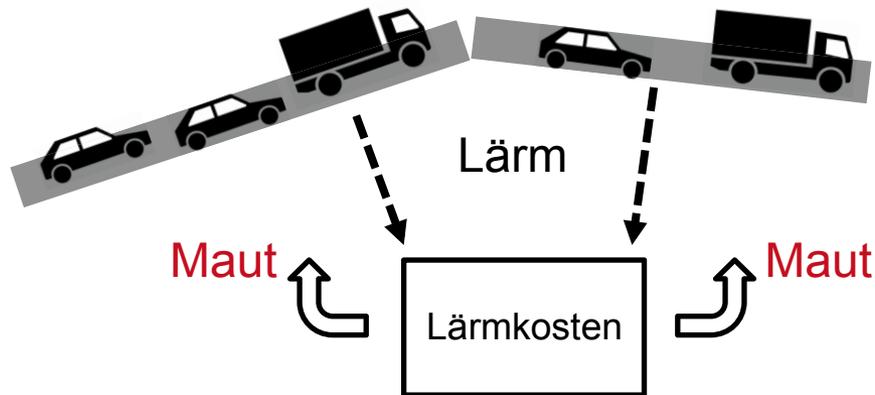
- Berücksichtigung von Lärmimmissionen, die folgende Schwellenwerte überschreiten:

- 6.00 – 18.00 Uhr: 50 dB(A)
- 18.00 – 22.00 Uhr: 45 dB(A)
- 22.00 – 6.00 Uhr: 40 dB(A)

$$C_{j,t} = \begin{cases} c^T \cdot N_{j,t} \cdot 2^{0.1 \cdot (I_{j,t} - I_t^{min})} & I_{j,t} \geq I_t^{min} \\ 0 & I_{j,t} < I_t^{min} \end{cases}$$

- jährlicher Kostensatz: 63.3 EUR je betroffener Person und dB(A) oberhalb des Schwellenwertes

Internalisierung: Berechnung der Lärmpreise



Grenzkostenbepreisung: Welchen Einfluss hätte ein weiterer Pkw / Lkw pro Straßenabschnitt auf die umliegenden Berechnungspunkte

(Simulationsgestützte Diskretisierung der Ableitung)

Bepreisung externer Staukosten

- 1) Verkehrsflusssimulation + Stauberechnung
- 2) Berechnung von Staukosten
- 3) Internalisierung: Berechnung der Staupreise je Tageszeit und Straßenabschnitt

Stauberechnung

Verkehrsflusssimulation:

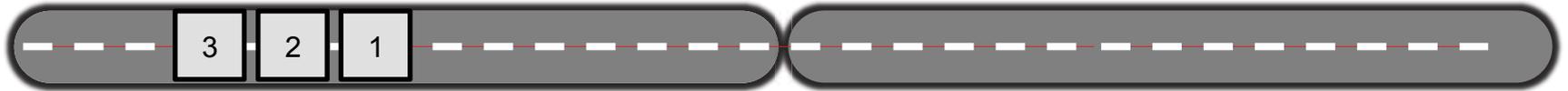
- Straßenabschnitte = *First In First Out Warteschlangen*
- **Ansatz:** Wird ein Reisender verzögert, lasse die Verursacher stromaufwärts dafür zahlen.
- **Implementierung:** Die Simulation merkt sich die Personen in der Warteschlange solange das Bottleneck aktiv ist und ist damit immer in der Lage die Verursacher zu identifizieren...

→ Zur Veranschaulichung dient das folgende Beispiel...

Example

t = 0

$c_{flow} = 1200 \text{ veh/h}$

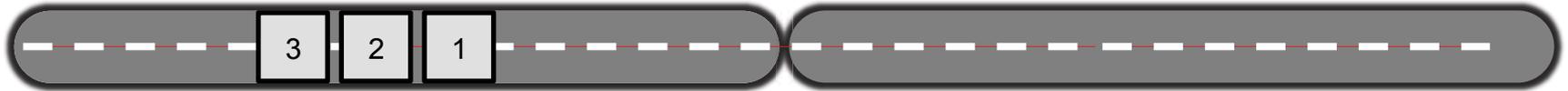


Agent	delay
1	0 sec
2	0 sec
3	0 sec

Example

t = 1

$c_{flow} = 1200 \text{ veh/h}$

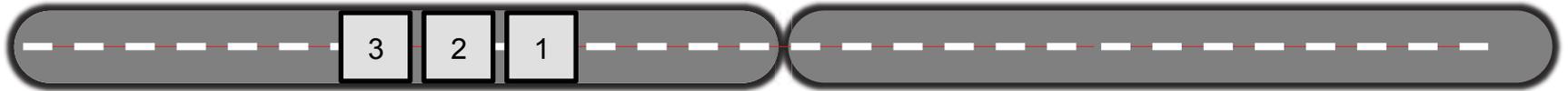


Agent	delay
1	0 sec
2	0 sec
3	0 sec

Example

t = 2

$c_{flow} = 1200 \text{ veh/h}$

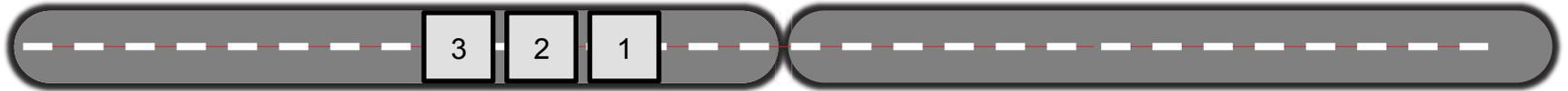


Agent	delay
1	0 sec
2	0 sec
3	0 sec

Example

t = 3

$c_{flow} = 1200 \text{ veh/h}$

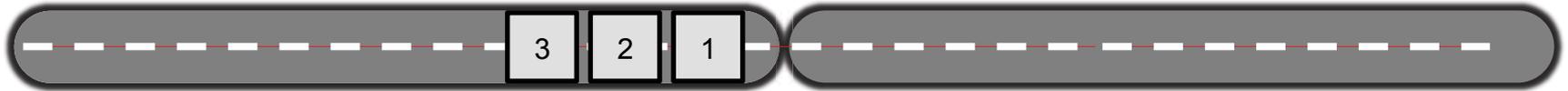


Agent	delay
1	0 sec
2	0 sec
3	0 sec

Example

t = 4

$c_{flow} = 1200 \text{ veh/h}$

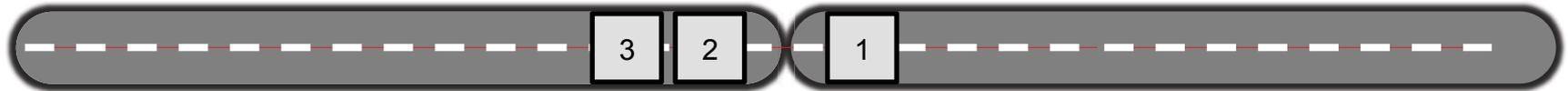


Agent	delay
1	0 sec
2	0 sec
3	0 sec

Example

t = 5

$c_{flow} = 1200 \text{ veh/h}$

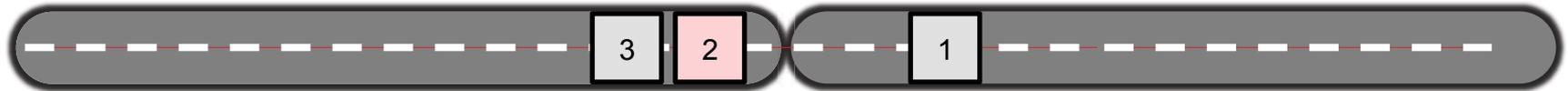


Agent	delay
1	0 sec
2	0 sec
3	0 sec

Example

t = 6

$c_{flow} = 1200 \text{ veh/h}$

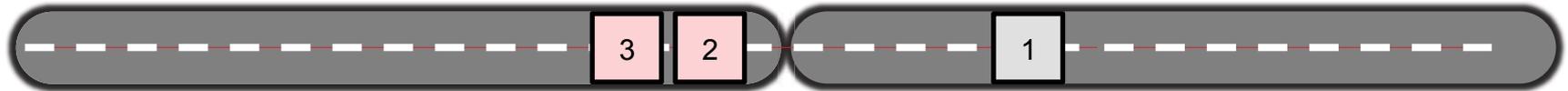


Agent	delay
1	0 sec
2	1 sec
3	0 sec

Example

t = 7

$c_{flow} = 1200 \text{ veh/h}$

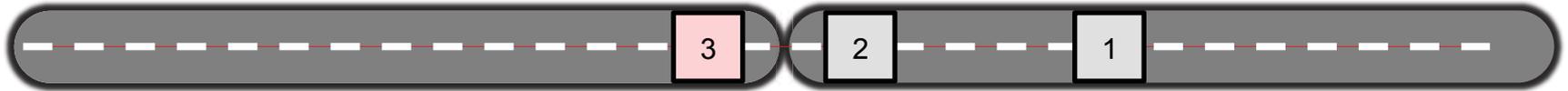


Agent	delay
1	0 sec
2	2 sec
3	1 sec

Example

t = 8

$c_{flow} = 1200 \text{ veh/h}$

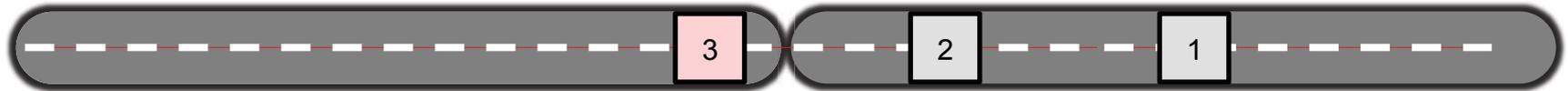


Agent	delay
1	0 sec
2	2 sec
3	2 sec

Example

t = 9

$c_{flow} = 1200 \text{ veh/h}$

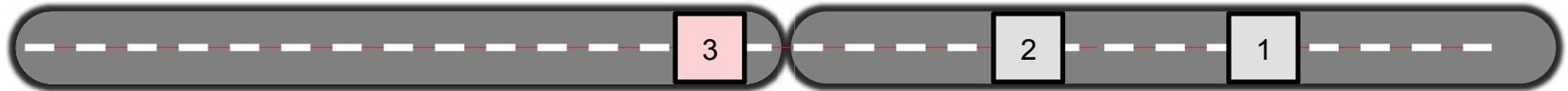


Agent	delay
1	0 sec
2	2 sec
3	3 sec

Example

t = 10

$c_{flow} = 1200 \text{ veh/h}$

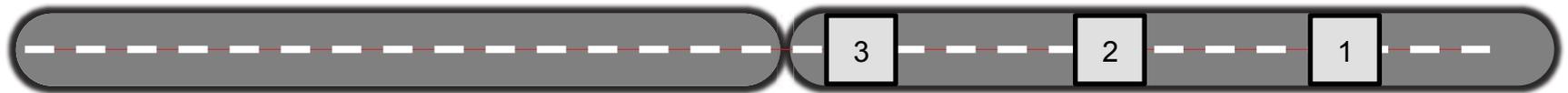


Agent	delay
1	0 sec
2	2 sec
3	4 sec

Example

t = 11

$c_{flow} = 1200 \text{ veh/h}$

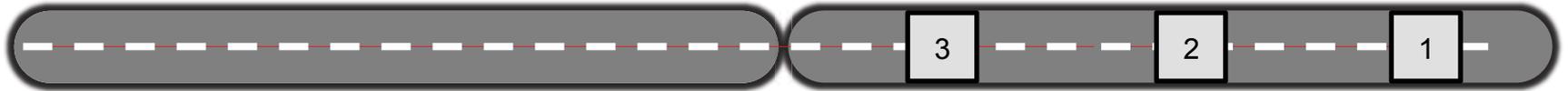


Agent	delay
1	0 sec
2	2 sec
3	4 sec

Example

t = 12

$c_{flow} = 1200 \text{ veh/h}$

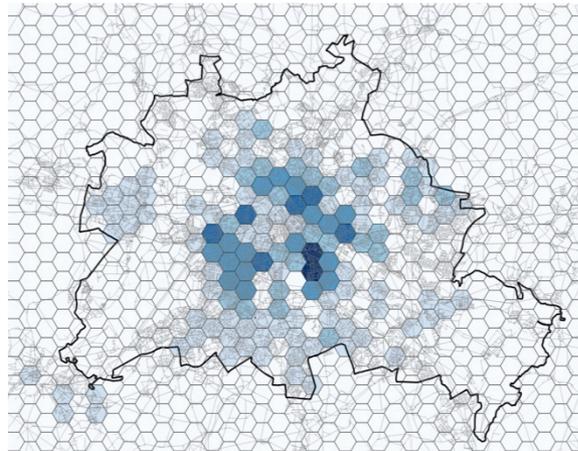


Agent	delay
1	0 sec
2	2 sec
3	4 sec

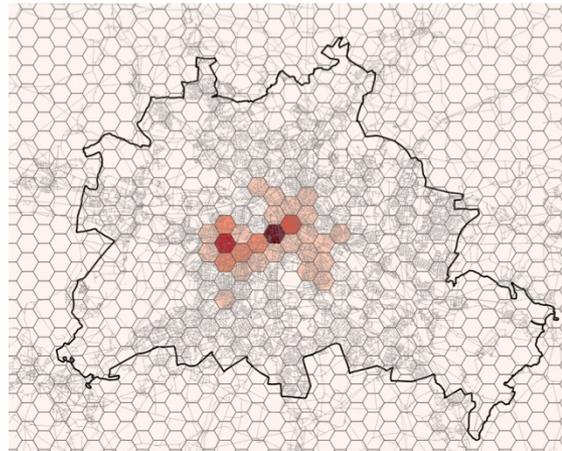
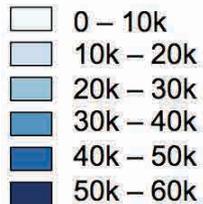
Fallstudie: Berlin

Berlin Modell

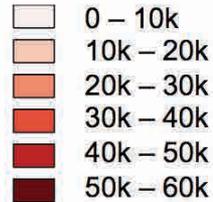
- erstellt von A. Neumann, M. Balmer und M. Rieser (Neumann et al., 2014)
- beinhaltet sämtliche Haupt- und Nebenverkehrsstraßen aus dem Jahre 2008
- kalibriert unter Berücksichtigung des Modal Split, der Reisezeiten und -distanzen



„Home“ Aktivitäten



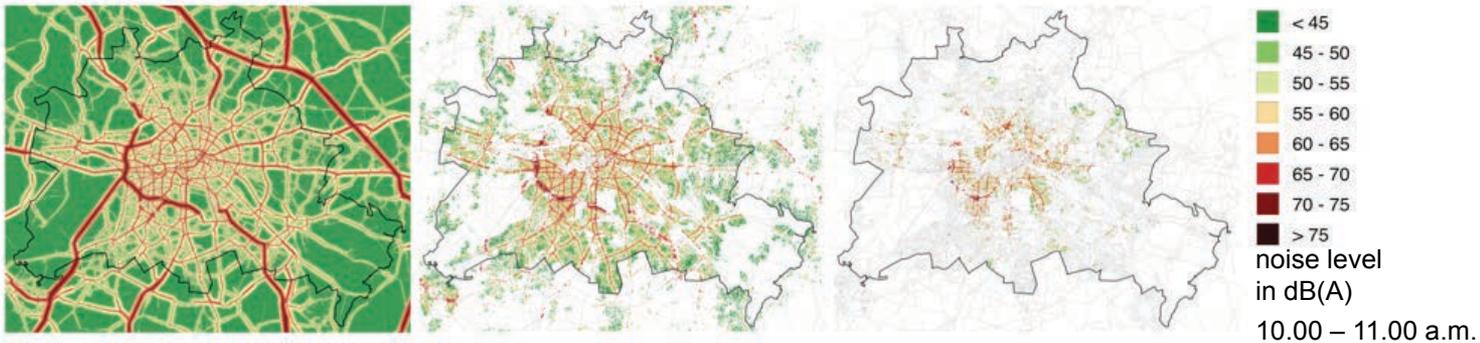
„Work“ Aktivitäten



Fallstudie Berlin (Bezugsfall)



Lärmkarte → Lärmexpositionskarte



(a) all receiver points

(b) > 0 affected agent units

(c) > 50 affected agent units

Simultaneous Internalization of External Congestion Cost and Noise Exposures | I. Kaddoura & K. Nagel

Konferenz „Verkehrswirtschaft und -politik“ | Berlin, 03.06.2016

Seite 32

Fallstudie Berlin (Bezugsfall)

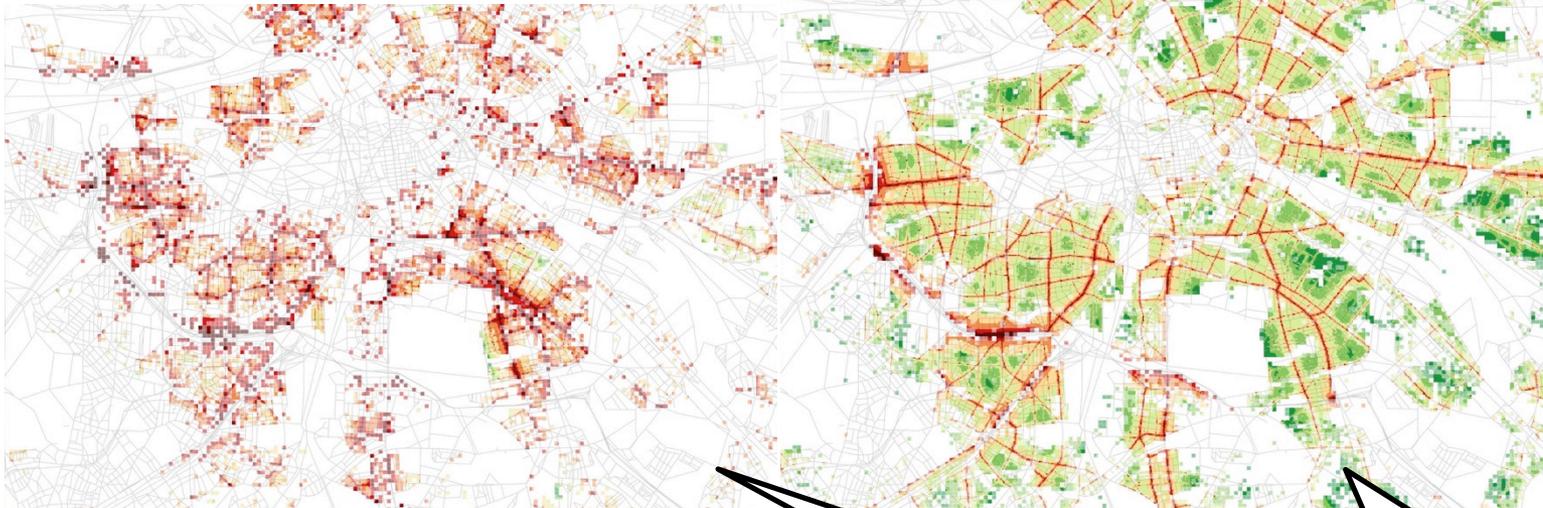
14.00 – 15.00 Uhr

21.00 – 22.00 Uhr

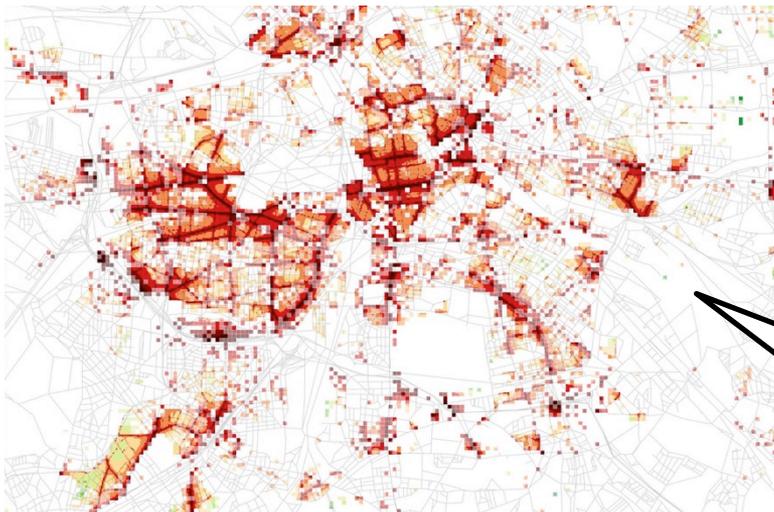
[dB(A)]
receiver points with
>50 individuals



“Home”



“Work” + “Education”



Hohe Lärmpegel +
wenig betroffene
Personen

Geringe Lärmpegel +
viele betroffene
Personen

Hohe Lärmpegel + viele betroffene Personen;
Relativ hohe Lärmexpositionen in den Zentren

Simulationsexperimente

Vergleichsfall: Keine Maßnahme

Experiment 1: **Staukosten**bepreisung

Experiment 2: **Lärmkosten**bepreisung

Experiment 3: **Stau- und Lärmkosten**bepreisung

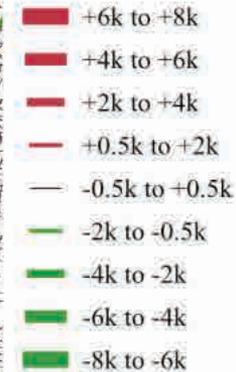
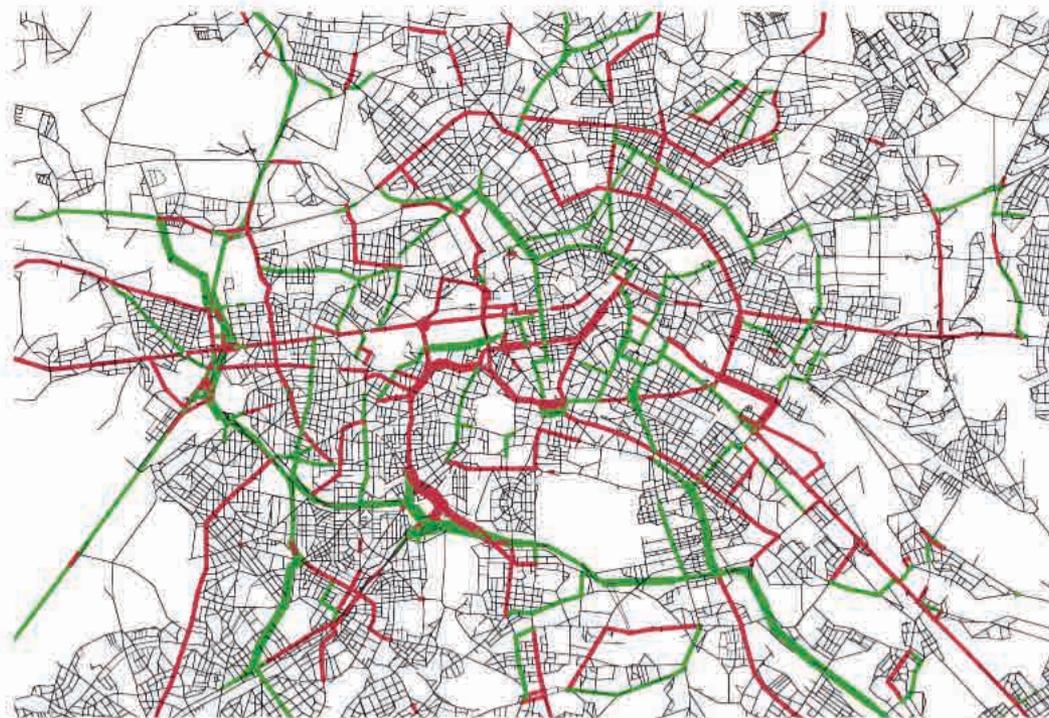
Berücksichtigte Wahldimension: Routenwahl

(Gewählte Abfahrtszeiten und Verkehrsmittel bleiben konstant.)

Ergebnisse

Experiment 1: Staukostenbepreisung

Änderung des täglichen Verkehrsaufkommens:

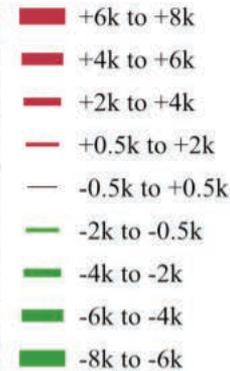
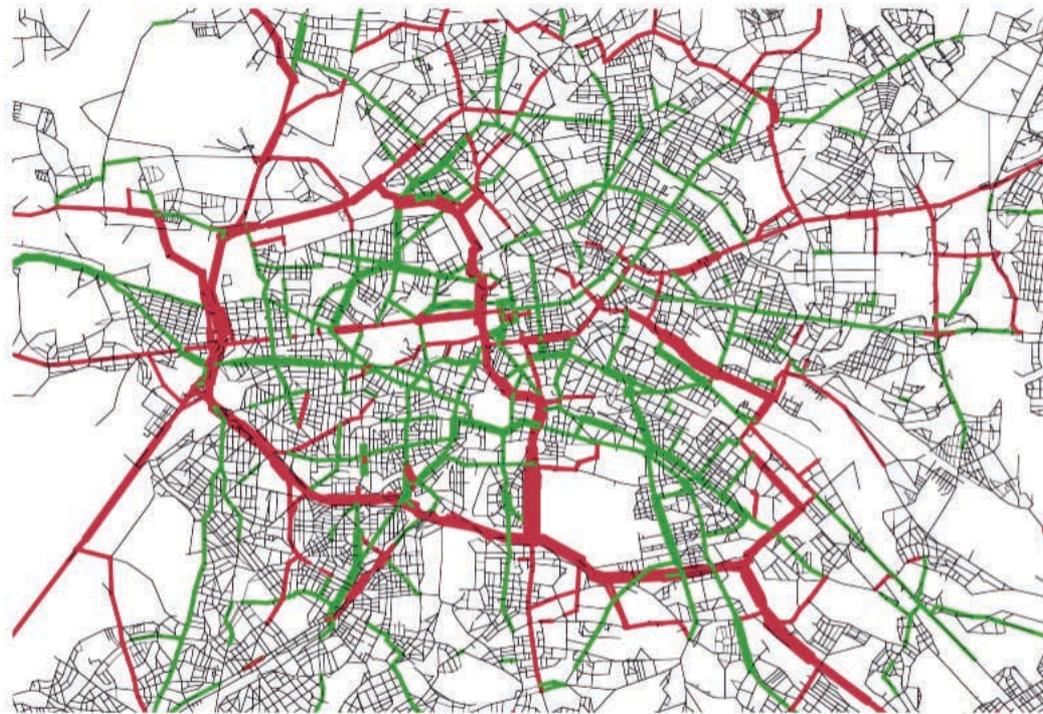


- weniger Stau, minimal höhere Lärmkosten
- insgesamt: Wohlfahrtsgewinn
- Vermeidung der Stadtautobahn

Experiment 1	
Changes in travel distance	+22,899 km
Changes in travel time	-17,012 hours
Benefits from changes in noise damage costs	-1,147 EUR
Changes in travel related user benefits (including toll payments)	-1,033,819 EUR
Changes in toll revenues	+1,484,971 EUR
Changes in system welfare	+450,006 EUR

Experiment 2: Lärmkostenbepreisung

Änderung des täglichen Verkehrsaufkommens:

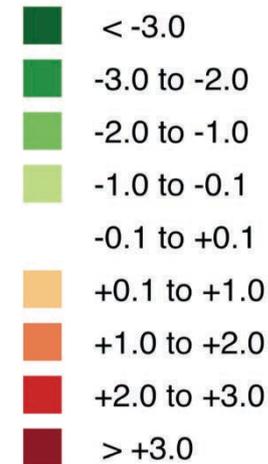
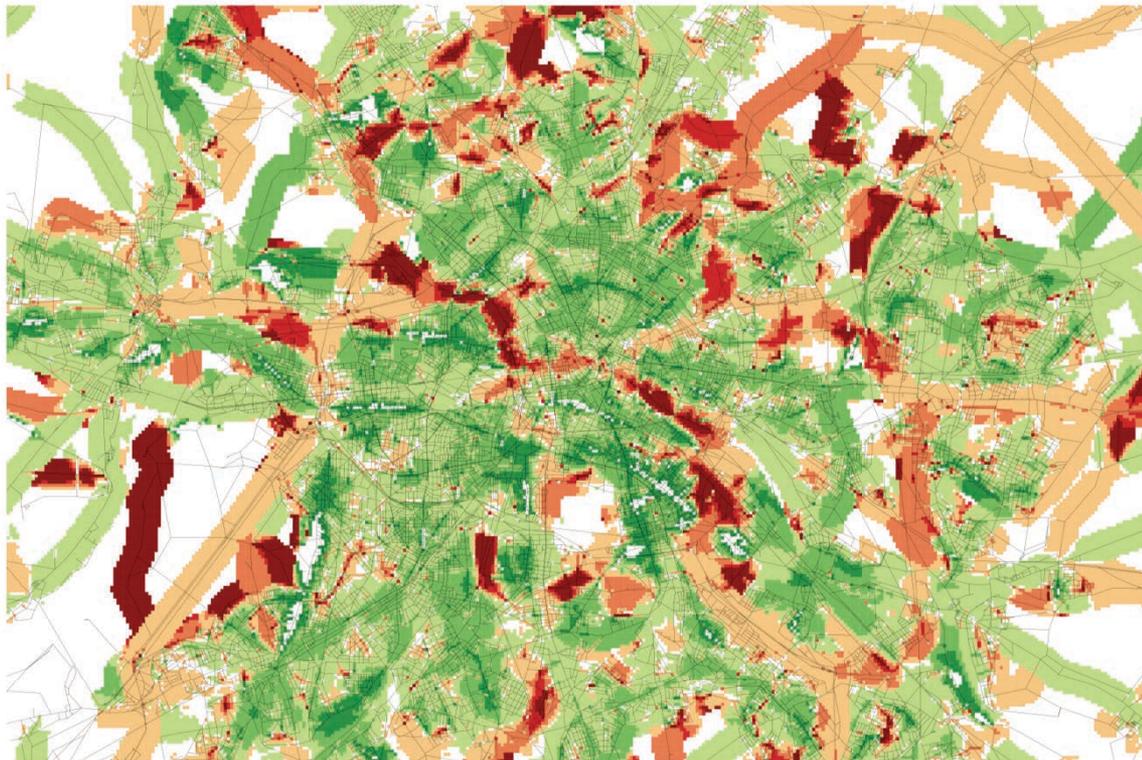


- mehr Stau, geringere Lärmkosten
- insgesamt: Wohlfahrtsgewinn
- Vermeidung von Nebenstraßen

Experiment 2	
Changes in travel distance	+633,070 km
Changes in travel time	+4,486 hours
Benefits from changes in noise damage costs	+110,867 EUR
Changes in travel related user benefits (including toll payments)	-373,970 EUR
Changes in toll revenues	+367,007 EUR
Changes in system welfare	+103,903 EUR

Experiment 2: Lärmkostenbepreisung

Änderung des Lärmpegels (L_{den}) ggü des Bezugsfalls



- Lärmabnahme in weiten Bereichen der Innenstadt, insbesondere in Regionen mit hoher Bevölkerungsdichte
- Zunahme des Lärmpegels auf einigen Korridoren in Regionen mit geringer Bevölkerungsdichte

Ergebnisse: Experiment 1 vs. 2

Betrachtung der täglichen Verkehrsaufkommen:

→ Gegensätzliche Wirkung bzgl. der Verlagerungseffekte

→ Gegensätzliche Wirkung bzgl. der Lärm- und Stauwirkung

Welche Wohlfahrtseffekte hätte nun die simultane Bepreisung von Stau- und Lärmkosten?

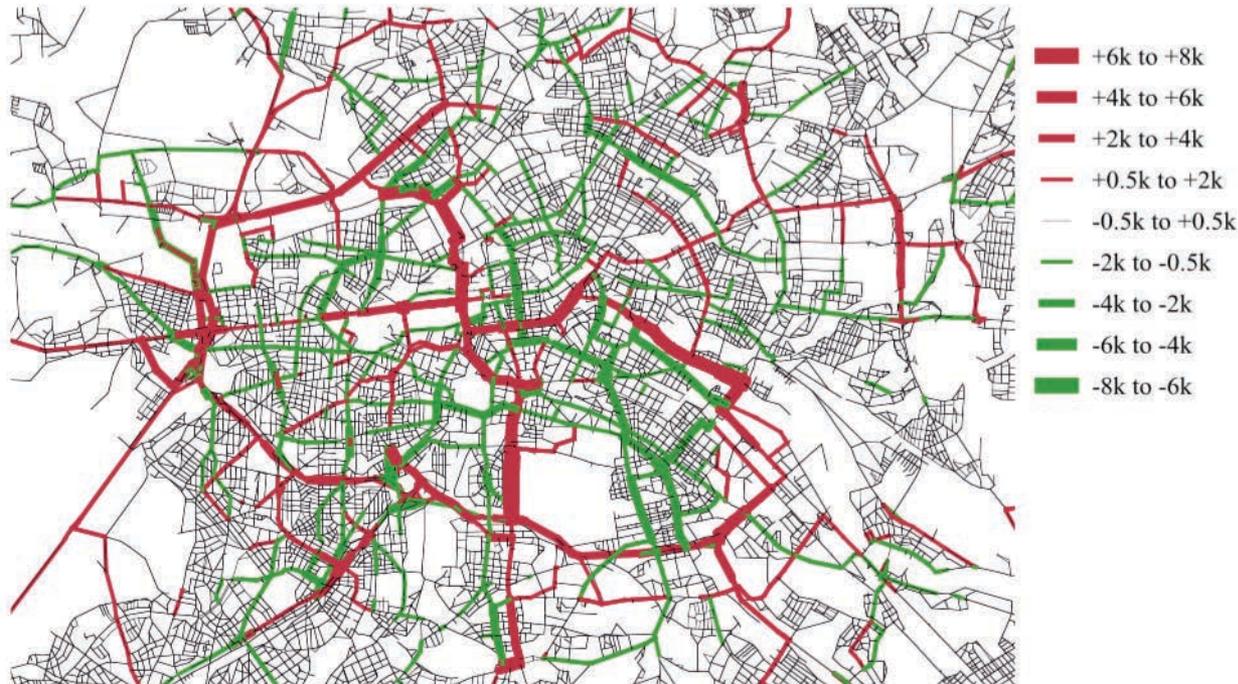
Ergebnisse

	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
Changes in travel distance	+22,899 km	+633,070 km	+667,146 km
Changes in travel time	-17,012 hours	+4,486 hours	-9,971 hours
Benefits from changes in noise damage costs	-1,147 EUR	+110,867 EUR	+110,413 EUR
Changes in travel related user benefits (including toll payments)	-1,033,819 EUR	-373,970 EUR	-1,507,082 EUR
Changes in toll revenues	+1,484,971 EUR	+367,007 EUR	+1,883,735 EUR
Changes in system welfare	+450,006 EUR	+103,903 EUR	+487,066 EUR

Experiment 1: **Staukostenbepreisung**
 Experiment 2: **Lärmkostenbepreisung**
 Experiment 3: **Stau- und Lärmkostenbepreisung**

Experiment 3: Simultane Stau- und Lärmkostenbepreisung

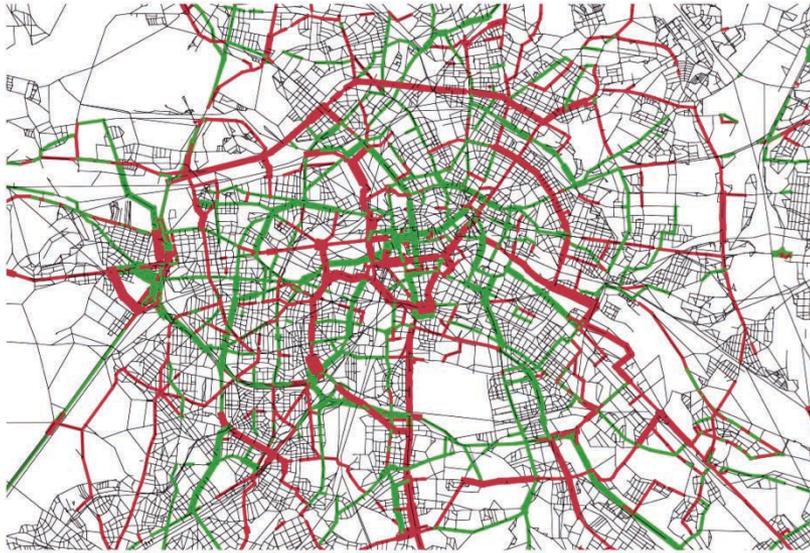
Änderung des täglichen Verkehrsaufkommens:



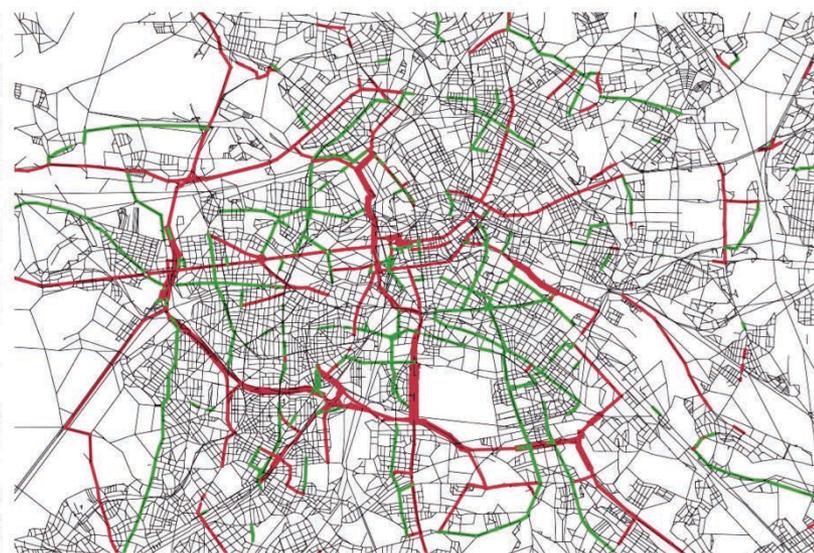
→ Überlagerung der Effekte von Experiment 1 und 2

Dynamische Betrachtung

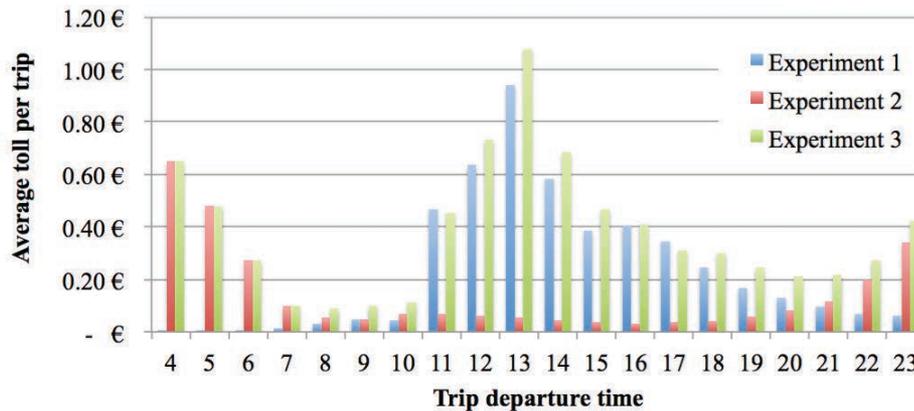
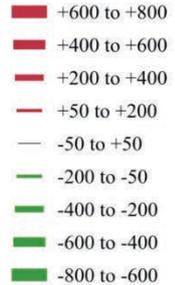
Experiment 3: Stau- und Lärmkostenbepreisung



(a) Peak: 3 p.m.–4 p.m.



(b) Off-peak: 8 p.m.–9 p.m.



Fazit

- **Negative Korrelation von Stau und Lärm:** Die separate Internalisierung des einen Effekts führt zu einer Zunahme des anderen Effekts.
 - Die gleichzeitige Internalisierung von Stau- und Lärmkosten (Experiment 3) erlaubt die **Reduzierung beider externen Effekte trotz gegensätzlicher Wirkung.**
 - In der **dynamischen Betrachtung** erscheint die Wechselwirkung von Stau- und Lärmbepreisung eher gering: Tagsüber dominieren Staupreise, während früh nachts eher die Lärmpreise relevant sind.

 - Verwendung des simulationsgestützten Ansatzes zur Berechnung optimaler Mautgebühren zwecks **Gestaltung von Maßnahmen**
 - Übersetzung der optimalen Maut in „konventionellere“ Maßnahmen: Straßensperrungen, Veränderung von Geschwindigkeitsniveaus, etc.
- tagsüber: **Stauvermeidung** durch Verteilung der Nachfrage
- nachts / früh morgens / spät abends: **Lärmvermeidung** durch Bündelung der Nachfrage

Ausblick:

Welche Effekte hätte die Hinzunahme weiterer externer Effekte?

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Eigene Referenzen

Diese Präsentation basiert primär auf folgendes Working Paper, eingereicht zur Veröffentlichung in *Transportation*:

I. Kaddoura and K. Nagel. Simultaneous optimization of traffic congestion and noise exposures. VSP Working Paper 16-06, TU Berlin, Transport Systems Planning and Transport Telematics, 2016.

Weitere für diese Präsentation relevante Veröffentlichungen / Working Paper:

I. Kaddoura and K. Nagel. Activity-based computation of marginal noise exposure costs: Impacts for traffic management. *Transportation Research Record*, No. 2597, 2016. DOI: 10.3141/2597-15.

I. Kaddoura and K. Nagel. Agent-based congestion pricing and transport routing with heterogeneous values of travel time savings. *Procedia Computer Science*, 83:908-913, 2016. DOI: 10.1016/j.procs.2016.04.184.

I. Kaddoura, L. Kröger, and K. Nagel. User-specific and dynamic internalization of road traffic noise exposures. *Networks and Spatial Economics*, 2016. DOI: 10.1007/s11067-016-9321-2.

I. Kaddoura, L. Kröger, and K. Nagel. An activity-based and dynamic approach to calculate road traffic noise damages. VSP Working Paper 15-05, TU Berlin, Transport Systems Planning and Transport Telematics, 2015.

I. Kaddoura. Marginal congestion cost pricing in a multi-agent simulation. Investigation of the Greater Berlin Area. *Journal of Transport Economics and Policy*, 49(4):560–578, 2015.

I. Kaddoura and B. Kickhöfer. Optimal road pricing: Towards an agent-based marginal social cost approach. VSP Working Paper 14-01, TU Berlin, Transport Systems Planning and Transport Telematics, 2014

Vielen Dank an alle Koautoren!

Referenzen

16. BImSchV. Verkehrslärmschutzverordnung vom 12. Juni 1990 (BGBl. I S. 1036), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 18. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2269) geändert worden ist. 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes.

Babisch, W., G. Pershagen, J. Selander, D. Houthuijs, O. Breugelmans, E. Cadum, F. Vigna-Taglianti, K. Katsouyanni, A. S. Haralabidis, K. Dimakopoulou, P. Sourtzi, S. Floud, and A. L. Hansell. Noise annoyance – A modifier of the association between noise level and cardiovascular health? *Science of The Total Environment*, 452–453:50–57, 2013. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.02.034.

DIN EN ISO 11690-1. Acoustics – Recommended practice for the design of low-noise workplaces containing machinery – Part 1: Noise control strategies (ISO 11690-1:1996); German version EN ISO 11690-1:1996 [Akustik – Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten – Teil 1: Allgemeine Grundlagen (ISO 11690-1:1996), Deutsche Fassung EN ISO 11690-1:1996]. Deutsches Institut für Normung e.V. 02/1997.

FGSV. Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS), Ausgabe 1990, Berichtigte Fassung. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 1992.

FGSV. Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS). Aktualisierung der RAS-W 86 *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen*, 1997

Ising, H., T. Günther, C. Havestedt, C. Krause, B. Markert, H. U. Melchert, G. Schoknecht, W. Thefeld, and K. W. Tietze. Lärmbeurteilung – Extra-aurale Wirkungen. *Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse* Nr. 98, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 1996.

Neumann, A., M. Balmer, and M. Rieser. Converting a Static Trip-Based Model Into a Dynamic Activity-Based Model to Analyze Public Transport Demand in Berlin. In Roorda, M. and E. Miller, editors, *Travel Behaviour Research: Current Foundations, Future Prospects*, chapter 7, pages 151–176. International Association for Travel Behaviour Research (IATBR), 02 2014. ISBN 9781304715173.

Stassen, K. R., P. Collier, and R. Torfs. Environmental burden of disease due to transportation noise in Flanders (Belgium). *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 13: 355–358, 2008. doi: 10.1016/j.trd.2008.04.003.

WHO Europe. Night Noise Guidelines for Europe. Technical report, World Health Organization, 2009. URL http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf.

WHO Europe. Burden of Disease from Environmental Noise. Quantification of Health Life Years Lost in Europe. Technical report, World Health Organisation, 2011. URL http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf.

Simultaneous Internalization of External Congestion Cost and Noise Exposures | I. Kaddoura & K. Nagel

Konferenz „Verkehrsökonomik und -politik“ | Berlin, 03.06.2016

Seite 46