

Finanzierungsstrategien für den Erhalt urbaner Straßeninfrastruktur:

Eine Analyse räumlicher, ökonomischer und externer Effekte

Eric Nitzsche, TU Dresden, Lehrstuhl für Raumwirtschaft

Berlin, 26.06.2014



Agenda

1. Einleitung

2. Modell

1. Räumliches Gleichgewichtsmodell
2. Stadtstruktur
3. Kalibrierung

3. Infrastrukturqualität

1. Schädigung
2. Wiederherstellung

4. Ergebnisse

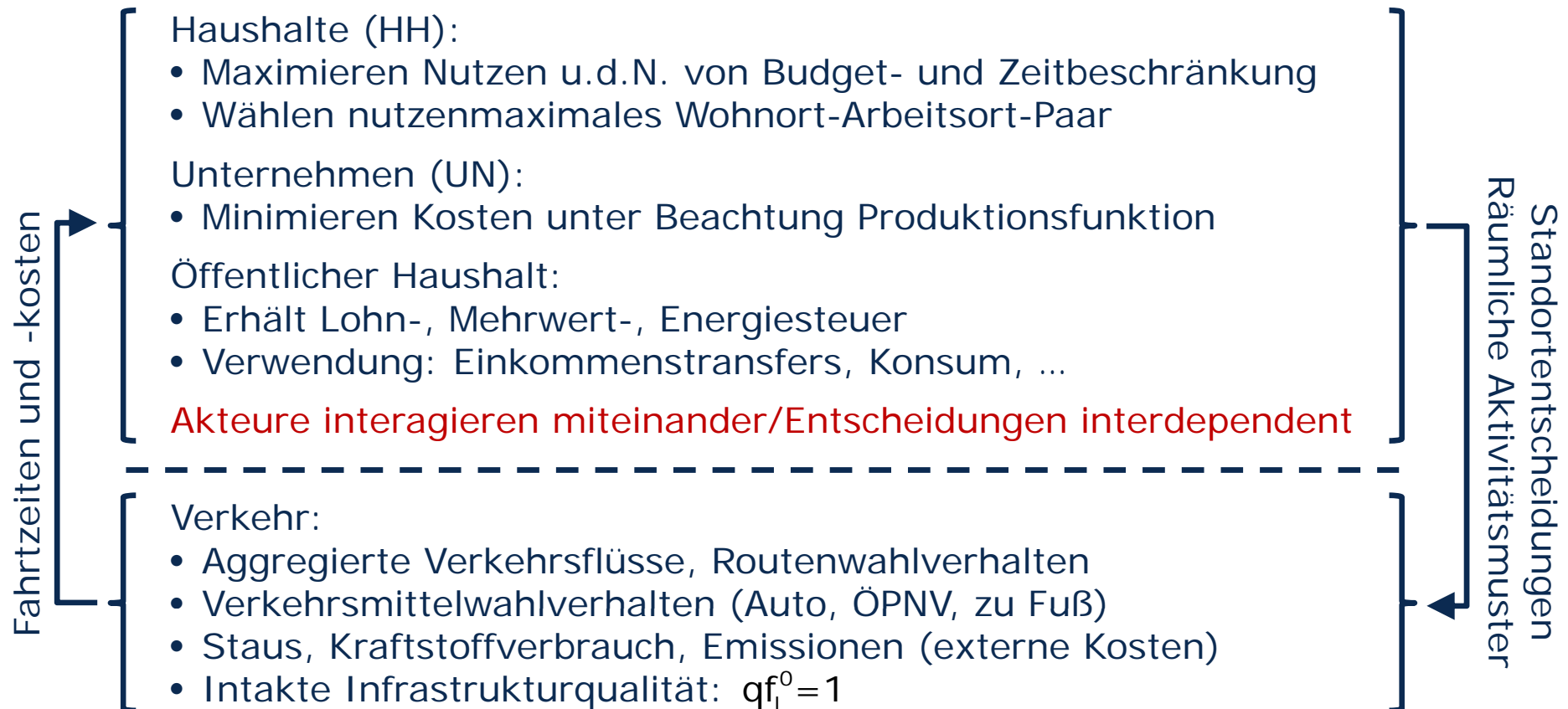
5. Fazit

1. Einleitung

- Ersatzbedarf für kommunale deutsche Straßen beträgt 70.6 Mrd. Euro¹
- Durch ungenügende Investitionen kommt es zu Substanzverlusten, damit einhergehend zu Kapazitätsüberlastungen und Staus besonders in Städten
 - > Beeinflussung der Fahrtzeiten und –kosten, des Verkehrsverhaltens
 - > Einfluss auf ökonomische & räumliche Entscheidungsprozesse
 - > Auswirkung auf externe Umweltkosten und gesellschaftliche Wohlfahrt
- Kommunale Finanzierung der Erneuerung von Straßeninfrastruktur kritisch
- Mögliche Finanzierungsinstrumente: Lohnsteuer, Maut, Energie-, CO₂-Steuer
- Vergleich der Kosten und Nutzen öffentlicher Investitionen in die Straßenqualität
 - Erneuerung Straßenqualität -> Fahrtgeschwindigkeit, externe Effekte, ...
 - Steuer-/Gebührenerhebung -> Fahrtkosten, verfügbares Einkommen, ...
 - > Aggregierte Wohlfahrt

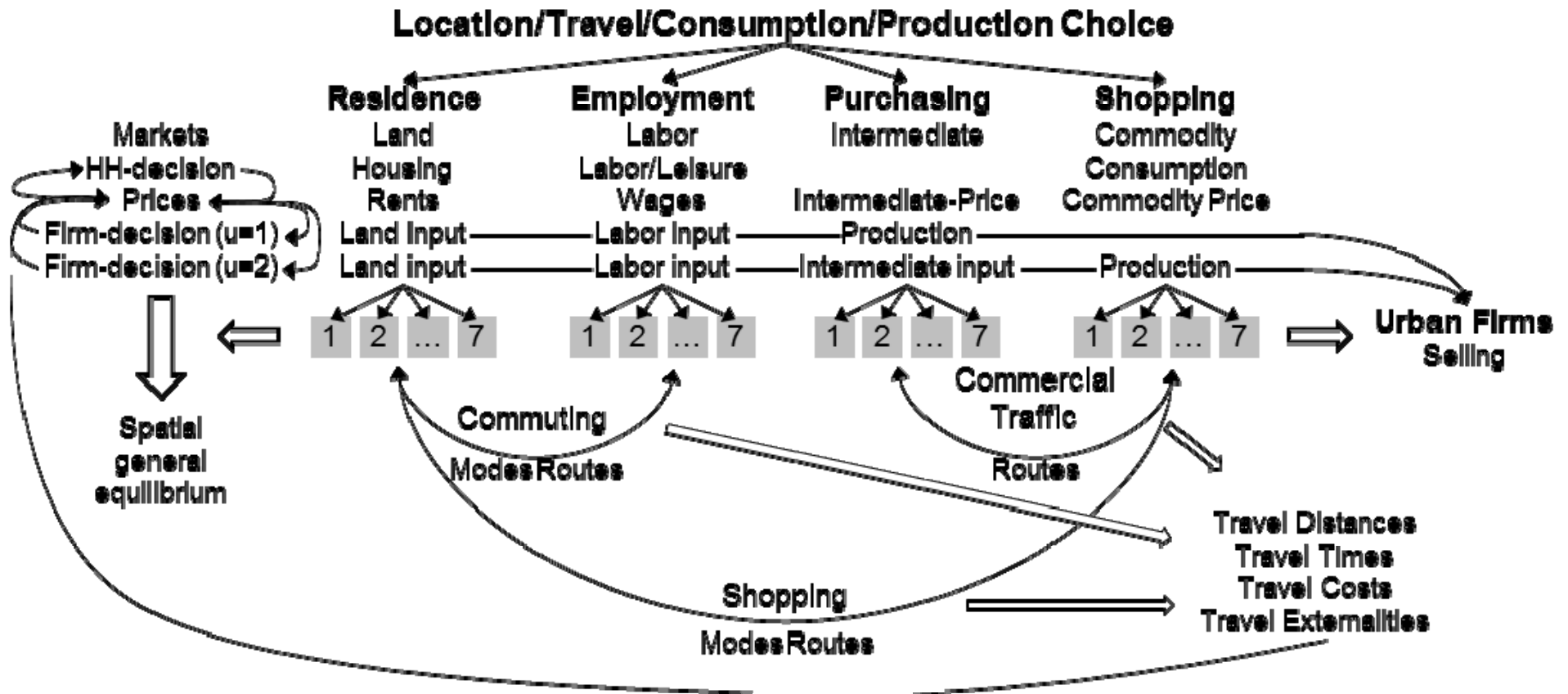
¹Reidenbach et al., 2008

2.1. Räumliches Gleichgewichts- & Transportmodell

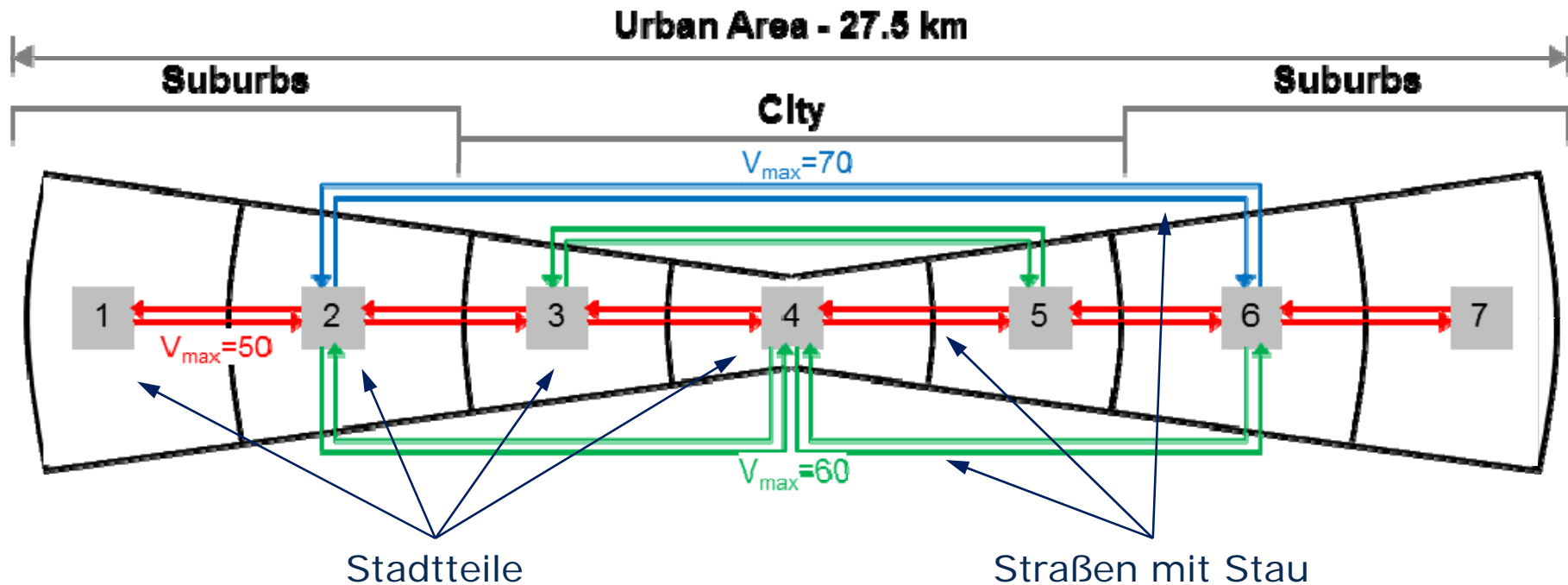


**Preise räumen die räumlich differenzierten Märkte
 -> Räumliches allgemeines Gleichgewicht**

2.1. Räumliches Gleichgewichtsmodell



2.2. Stadtstruktur



- Haushalte: 1.5 Mio. Haushalte, 4455 Einwohner/km²
- Industrie: Herstellung von Produktions- und Konsumgütern
- Verkehr: PKWs und LKWs nutzen stauanfällige Stadt- und Umgehungsstraßen
ÖPNV und Fußgänger nutzen direkte staufreie Wege

2.3. Kalibrierung – Benchmark vs. Statistik

Durchschnitt über alle Zonen & HH	Stadtmodell	Statistik	Quelle
Bruttolohn [€/h]	20.36	20.33 ,2010	destatis ,2011
Arbeitstage [d/a]	217	213-222 ,2010	IAB ,2011
Nettoeinkommen [€/a]	34184	34476 ,2009	destatis ,2011
Anteil Verkehrs- und Wohnausgaben am verfügbaren Einkommen	0.11	0.11 ,2009	destatis ,2011
	0.22	0.23 ,2010	destatis ,2012
Verhältnis Einkaufs-/Pendelfahrten	1.51	1.50 ,2008	BMVBS ,2010
Unterwegszeit [min]	87	79-88 ,2008	BMVBS ,2010
Tagesstrecke [km]	37	39 ,2008	BMVBS ,2010
Modal Split Auto / ÖPNV / zu Fuß	0.52/0.30/0.18	0.52/0.30/0.18 ,2008	BMVBS ,2010
Verhältnis Wirtschafts-/Kfz-Verkehr	0.09	0.08 ,2010	BMVBS ,2012
Geschwindigkeit [km/h]	33	30 ,2002	BMVBS ,2004
Benzinverbrauch [l/100km]	7.9	8.0 ,2008	destatis ,2010
BIP pro Kopf [Tsd. €]	44.6	44.4(N)/47.5(HH) ,2009	VGRdL ,2010
Tägl. Arbeits- / Nicht-Arbeitszeit [h]	7.53/10.47	7.51 / 10.49 ,2002	destatis ,2004
Arbeitsplatzausstattung Suburbs/City Arbeitsplätze in i/Erwerbstätige in i	0.91/1.27	0.79/1.33 (Hamburg) 0.89/1.56 (Stuttgart)	Siedentop ,2007

2.3. Kalibrierung – Benchmark vs. Empirie

Elastizität	Stadtmodell	Literatur
Eigenpreiselastizität der Autofahrten-Nachfrage bezüglich des Benzinpreises	-0.1	(-0.1) – (-0.3) [1]/[2]/[3]/[4]/[5]/[6]
Eigenpreiselastizität der ÖPNV-Nachfrage bezüglich des Fahrpreises	-1.0	(-0.1) – (-1.1) [1]/[2]
Kreuzpreiselastizität der ÖPNV-Nachfrage bezüglich des Benzinpreises	+0.5	+0.1 – +0.8 [2]
Eigenpreiselastizität der Benzin-nachfrage bezüglich des Benzinpreises	-0.4	(-0.2) – (-0.6) [2]/[3]
[1] Small und Verhoef (2007) [2] Goodwin (1992) [3] Steiner und Cludius (2010) [4] Goodwin et al. (2004) [5] Graham und Glaister (2004) [6] Hymel et al. (2010)		

3.1. Schädigung der Straßeninfrastruktur

- Straßenspezifische Schäden abhängig von Straßenbe- und -auslastung
- Schadensberechnung mit linearer Schadensakkumulationsregel (Miner-Regel):

$$TDam_l = \sum_a Dam_{l,a} = \sum_a \frac{fzg_{l,a}}{FZG_{l,a}}$$

- Schäden beeinflussen Qualität der Straßen

$$0 \leq qf_l^1 = 1 - (TDam_l / \kappa) \leq 1$$

- Verminderte Qualität senkt die Kapazität der Straße
 - > Beeinflussung von Fahrtzeiten/ -kosten
 - > Interdependenzen beeinflussen: Verkehrsverhalten
räumliche Entscheidungen
Nachfragemuster
- Gesellschaftlicher Wohlfahrtsverlust entspricht den zu behebenden ökonomischen Kosten (*Loss*) aus schadhafter Straßeninfrastruktur¹

¹ e.g. Darwin and Tol (2001); Houba and Kremers (2009); Jonkhoff (2009); Stephan and Schenker (2011)

3.2. Wiederherstellung der Straßenqualität

- Durch öffentliche Investitionen (*Inv*) in die Straßenqualität können die Schäden behoben und die Kapazität wieder vollständig hergestellt werden

$$qf_i^2 = \underbrace{qf_i^1 + (1 - qf_i^1)}_{\text{Zu behebender Straßenschaden}} * \underbrace{\log_2 \left(1 + \frac{Inv}{Loss} \right)}_{\text{Produktivität öffentlicher Investitionen mit abnehmenden Grenzerträgen}^1} \leq 1$$

Zu behebender
Straßenschaden

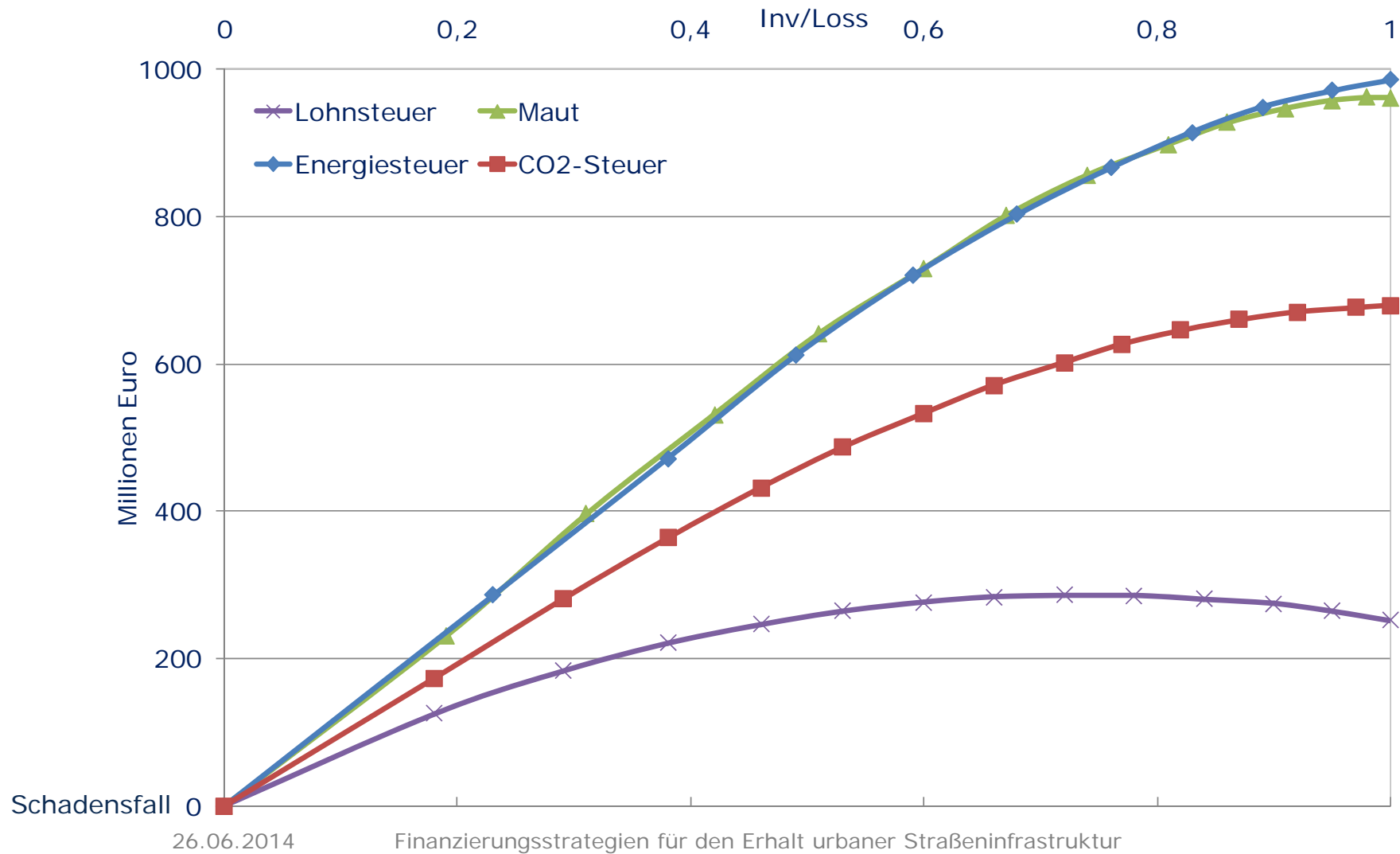
Produktivität öffentlicher Investitionen
mit abnehmenden Grenzerträgen¹

- Mögliche Finanzinstrumente zur Deckung der öffentlichen Investitionsausgaben:

		Erhebungsbasis
Lohnsteuer	[%]	Vollständiges Arbeitseinkommen aller Haushalte
Maut	[€/km]	Gesamte von PKWs und LKWs zurückgelegte Distanz
Energiesteuer	[€/l]	Gesamter Kraftstoffverbrauch aller Fahrzeuge
CO ₂ -Steuer	[€/kg]	CO ₂ -Emission der Kraftfahrzeuge und des ÖPNVs

¹ e.g. de Bruin et al., 2009; de Bruin and Dellink, 2011; Dellink et al., 2010; Egenhofer et al., 2010; Gawel et al., 2012; Mendelsohn, 2000)

4. Ergebnisse – Aggregierte Wohlfahrt



4. Ergebnisse – Maßnahmen vs. Schadensfall

	Benchmark	Schadensfall	Lohnsteuer 1.2%	Maut 0.12 €/km	Energiesteuer 1.42 €/l	CO ₂ -Steuer 0.38 €/kg
Äquivalente				0.12 €/km	~0,09 €/km	~0,08 €/km
Verkehr						
Ø Geschw. [km/h]	31.7	27.0	30.6	37.1	36.0	34.5
Modal Split A/Ö/F	.52/.18/.30	.27/.40/.33	++/--/0	+/-/0	++/--/0	+++/--/0
Staukosten ¹	2.1 Mrd. €	1.7 Mrd. €	+24.92	-36.80	-23.09	-7.43
CO ₂ -Emissionen ¹	3.3 Mio. t	2.5 Mio. t	+27.15	+7.53	+1.14	+19.94
Öffentlicher Haushalt						
Steuereinnahmen ¹	23.3 Mrd. €	23.2 Mrd. €	+6.76	+9.30	+9.49	+9.43
Räumliche Anpassung						
Urbanisierung HH		0	-	+++	++	++
Urbanisierung UN		-	-	+	+	+
Aggregierte Wohlfahrt						
Wohlfahrt [Mrd. €]		-2.40	-2.11	-1.43	-1.41	-1.69

5. Fazit

- Die Infrastrukturqualität beeinflusst neben verkehrlichen auch ökonomische und räumliche Entscheidungen der Akteure, z.B. Routen-, Verkehrsmittelwahl, Nachfragemuster
- Mobilität und Wohlfahrt leiden unter Substanzverlusten
- Erneuerung der Infrastruktur erhöht die Attraktivität des Verkehrsträgers Straße und verbessert Mobilität und Zugänglichkeit
- Haushalte profitieren neben verkürzten Reisezeiten und mehr verfügbarer Zeit für Freizeit von höherer Arbeitsnachfrage, höherem Mieteinkommen und vielfältigem Konsum
- Zur Minimierung der zusätzlichen Abgabenlast wählen Haushalte und Unternehmen zentrale Standorte und direkte Wege
- Finanzierungskosten der Infrastrukturinvestitionen und negative Umwelteffekte belasten gesamtgesellschaftliche Wohlfahrt
- Verursachergerechte Umlegung der Wiederherstellungskosten minimieren die Wohlfahrtsverluste durch Investitionskosten
- Im Vergleich zum Benchmark erhöhen die Verkehrsausgaben den ÖPNV-Anteil und damit die \emptyset -Geschwindigkeit, dies senkt Staukosten und CO₂-Emissionen

Backup

Haushalte

- Nutzenfunktion

$$U_{ij} = \alpha \ln \left(\sum_{k=1}^L (Z_{ijk})^\eta \right)^{\frac{1}{\eta}} + \beta \ln q_{ij} + \gamma \ln l_{ij} + s_{ij}$$

- Budgetbeschränkung

$$\sum_{k=1}^L [(1 + p_k^z) + \zeta C_{ik}] Z_{ijk} + \eta q_{ij} + D_{ij} C_{ij} = (1 - \tau^{inc} - w) D_{ij} L W_j + (1 - \tau^{inc}) R D - \tau^{is}$$

- Zeitbeschränkung

$$D_{ij} T + l_{ij} + \sum_{k=1}^L \zeta Z_{ijk} T_{ik} + D_{ij} T_{ij} = E$$

Haushalte - Reisekosten

$$c_{i\zeta}^m = (c^{1,m} d_{i\zeta}^m + c^{2,3} f_{i\zeta}^3 + c^{3,m}) (1 + \tau^m) + t d_{i\zeta}^3 + e e m_{i\zeta}^m$$

$$c^{2,3} = (p^g + \tau^g + \underline{g})$$

Wiederherstellung der Straßenqualität

- Produktionsfunktion

$$X_j^B = S_j M_j^B \left(\sum_k \lambda_{k|j} Y_{1,k|j}^B \right)^{\frac{1}{\sigma}}$$

- Kostenfunktion

$$\text{Min}_{(M_j, Y_{1,k|j})} M_j w_j + \sum_k (p_k^1 + \text{Tr}C_{kj}) Y_{1,k|j}$$

- Gleichgewicht

$$\sum_{j=1}^J p_j^B X_j^B = \text{Inv} = \text{Inc}^{\text{Tot}W} + \text{Dist}^{\text{Tot}C} + \text{Fuel}^{\text{Tot}G} + \text{CO}_2^{\text{Tot}G} + \Delta^{\text{Pub}}$$

	Percentage changes in relation to the DAMAGE case				Percentage changes in relation to the BENCHMARK case				
	WT	ET	Toll	CO2T	Dam	WT	ET	Toll	CO2T
<u>Private Household</u>									
Private consumption	0.64	1.61	1.55	1.23	-3.47	-2.85	-1.91	-1.97	-2.28
Housing demand	-1.83	-1.72	-1.72	-1.83	0.76	-1.08	-0.98	-0.98	-1.08
Leisure demand	0.16	0.16	0.16	0.17	-1.17	-1.01	-1.01	-1.01	-1.00
Labor supply	3.85	5.36	5.07	5.36	-3.29	0.44	1.89	1.61	1.89
Travel Time	-15.31	-20.94	-19.87	-21.01	23.49	4.58	-2.37	-1.05	-2.46
Net Work Inc	2.23	4.92	4.78	4.97	-3.01	-0.85	1.76	1.63	1.81
Net Asset Inc	1.20	2.20	2.21	2.14	-2.69	-1.52	-0.55	-0.53	-0.61
Net Inc	2.09	4.54	4.42	4.57	-4.98	-2.99	-0.67	-0.77	-0.64
<u>Density</u>									
Households Ciy	-0.15	0.51	0.77	0.42	0.01	-0.14	0.52	0.78	0.43
Households Sub	0.10	-0.33	-0.50	-0.28	-0.01	0.09	-0.34	-0.51	-0.28
Jobs City	-0.06	0.17	0.20	0.15	-0.12	-0.19	0.05	0.08	0.03
Jobs Sub	0.05	-0.14	-0.16	-0.12	0.10	0.15	-0.04	-0.06	-0.02
<u>Prices</u>									
Wage zone 1(7)	-0.43	-0.84	-0.63	-0.80	0.47	0.03	-0.38	-0.17	-0.34
Wage zone 4	-0.09	-0.49	-0.38	-0.41	0.42	0.33	-0.07	0.04	0.01
Rent zone 1(7)	1.41	1.83	1.70	1.78	-2.93	-1.56	-1.15	-1.27	-1.20
Rent zone 4	1.59	3.25	3.36	3.03	-3.38	-1.84	-0.24	-0.13	-0.45
Av. Wage	-0.10	-0.44	-0.29	-0.39	0.29	0.20	-0.15	0.00	-0.10
Av. VoT	-0.86	0.36	0.36	0.21	-0.78	-1.63	-0.43	-0.43	-0.57
Av. Price Interm	-0.53	-0.09	-0.55	-0.27	-0.46	-0.23	-0.23	-0.13	-0.23
Av. Price Retail	0.01	0.03	0.02	0.02	-0.08	-0.07	-0.05	-0.06	-0.06
Av. Price Improvement [€]	144.61	144.70	144.48	144.62	-	-	-	-	-
Av. Rent	1.21	2.19	2.21	2.14	-2.69	-1.52	-0.56	-0.54	-0.61

		WT	ET	Toll	CO2T	Dam	WT	ET	Toll	CO2T
<u>Variety</u>										
	Intrazonal	-3.32	-2.87	-2.39	-2.19	4.64	1.17	1.64	2.14	2.35
Shopping	Neighboring	0.70	2.05	2.61	1.66	-1.56	-0.88	0.45	1.00	0.07
	Extreme-cross	2.65	0.44	-1.10	0.25	-3.05	-0.48	-2.62	-4.11	-2.80
	Intrazonal	-1.55	-1.02	-0.67	-0.40	3.38	1.77	2.33	2.69	2.96
Commuting	Neighboring	0.91	2.27	2.76	2.12	-0.96	-0.06	1.29	1.77	1.14
	Extreme-cross	0.44	-2.18	-3.40	-2.58	-1.92	-1.49	-4.06	-5.26	-4.45
	Intrazonal	-0.32	0.27	-0.17	0.09	0.44	0.12	0.72	0.27	0.53
Commercial_Retail	Neighboring	-0.19	0.15	-0.06	0.04	0.21	0.01	0.36	0.15	0.25
	Extreme-cross	0.50	-0.52	0.04	-0.19	-0.61	-0.11	-1.12	-0.57	-0.80
	Intrazonal	0.15	0.15	0.15	0.15	-	-	-	-	-
Commercial_Improvement	Neighboring	0.28	0.28	0.28	0.28	-	-	-	-	-
NO Changes -> real values	Extreme-cross	0.17	0.17	0.17	0.17	-	-	-	-	-
<u>Traffic</u>										
	Av Distance Shopping	3.20	1.85	0.62	2.34	-3.67	-0.59	-1.90	-3.08	-1.42
	Tot Trips Shopping	0.62	1.60	1.52	1.21	-3.46	-2.86	-1.92	-2.00	-2.30
	Av Distance Commuting	3.12	1.92	0.60	2.52	-4.14	-1.15	-2.30	-3.56	-1.72
	Tot Trips Commuting	3.85	5.35	5.07	5.36	-3.28	0.44	1.89	1.62	1.90
	Av Distance Commercial	-0.10	-1.11	-0.81	-0.91	-0.10	-0.20	-1.21	-0.91	-1.01
	Tot Trips Commercial	6.89	8.88	9.09	8.77	-3.57	3.08	4.99	5.20	4.89
	Gas Efficiency	9.03	40.06	21.35	16.84	-10.10	-1.98	25.91	9.09	5.04
	Diesel Efficiency	8.88	15.46	16.73	13.88	-9.70	-1.68	4.26	5.41	2.83
Commuting	Beltway	-2.31	-4.94	-9.55	-3.98	1.91	-0.45	-3.13	-7.82	-2.14
	Local Routes	8.80	18.80	36.32	15.13	-6.66	1.56	10.89	27.25	7.46
Shopping	Beltway	-2.35	-5.01	-9.59	-4.03	2.02	-0.37	-3.09	-7.76	-2.09
	Local Routes	8.93	19.02	36.44	15.31	-7.01	1.30	10.68	26.88	7.23
Commercial	Beltway	-2.48	-11.71	-9.84	-8.59	2.92	0.37	-9.13	-7.20	-5.92
	Local Routes	20.26	95.53	80.28	70.11	-18.82	-2.37	58.73	46.35	38.10

	WT	ET	Toll	CO2T	Dam	WT	ET	Toll	CO2T
<u>Public finance</u>									
Tax Rev.	4.19	5.01	3.97	4.76	-4.93	-0.95	-0.17	-1.15	-0.40
Pub. Expenditures (Infra&Goods)	0.18	0.37	0.37	0.35	-0.48	-0.29	-0.11	-0.11	0.00
Savings Pub. Expenditures [mio €/a]	-42.4	-86.5	-84.9	-80.5	-	-	-	-	-
Savings Pub. Income [mio €/a]	927.8	1109.5	880.3	1054.6	-	-	-	-	-
Additional Tax/Toll	1.20	1.42	0.12	0.038	-	-	-	-	-
	%	€/l	€/km	ct/g					
Additinal Income [mio €/a]	640.8	1090.2	1276.1	1131.5	-	-	-	-	-
Improvement Costs [mio €/a]	1526.2	2113.2	2071.5	2105.5	-	-	-	-	-
<u>Speed</u>									
Average Car Speed	11.72	30.69	34.48	25.17	-13.17	-2.99	13.47	16.77	8.68
Average Truck Speed	15.85	37.40	44.72	31.30	-16.89	-3.72	14.19	20.27	9.12
Average Road Speed	13.64	33.49	37.59	27.86	-14.95	-3.35	13.53	17.01	8.74
Average Speed IV	24.23	32.47	28.87	32.47	-24.51	-6.23	0.00	-2.72	0.00
<u>External Costs</u>									
CO2 Costs/Emissions	27.15	1.14	7.53	19.94	-24.35	-3.82	-23.49	-18.66	-9.27
Nox Emission	13.06	0.81	7.15	11.90	-13.15	-1.81	-12.45	-6.94	-2.81
Noise	39.82	42.51	39.39	44.60	-32.21	-5.22	-3.39	-5.51	-1.98
Air Pollution	19.26	18.19	15.35	19.99	-18.23	-2.49	-3.36	-5.68	-1.89
Accidents	4.70	-15.71	-23.06	-8.82	-4.99	-0.52	-19.91	-26.90	-13.38
<u>Congestion</u>									
Congestion of whole Urban Traffic Demand [h/a]	26.00	-23.37	-37.03	-7.63	-20.98	-0.43	-39.44	-50.24	-27.01
Congestion per Trip [min/Trip]	-24.61	-53.60	-59.96	-46.08	44.99	9.31	-32.72	-41.94	-21.83
<u>Landowners</u>									
Income	1.20	2.23	2.26	2.17	-2.69	-1.52	-0.51	-0.49	-0.58
Consumption	1.19	2.21	2.27	2.15	-2.62	-1.45	-0.47	-0.41	-0.52
<u>Equivalent Variation</u>									
	%				Tsd €				
Community	-11.97	-41.17	-40.18	-29.12	-2392625.1	-2106305.7	-1407506.2	-1431205.9	-1695925.4
Households	-10.71	-25.46	-21.35	-16.71	-2112503.8	-1886303.7	-1574742.9	-1661464.5	-1759485.3
Landowners	-44.45	-82.38	-83.92	-80.68	-435672.2	-242001.7	-76749.5	-70071.8	-84177.4