

# Bevorzugter Zitierstil für diesen Vortrag

---

Axhausen, Kay W. (2007) Wirkungsabschätzung von Massnahmen:  
Preise, Regulation und Infrastrukturen, Vorlesung  
„Verkehrstechnische Aspekte des Städtebaus“, ETH Zürich,  
Dezember 2007.

# Wirkungsabschätzung von Massnahmen: Preise, Regulation und Infrastrukturen

Kay W. Axhausen

IVT  
ETH  
Zürich

Dezember 2007

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

**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

# Heute

---

kleinräumige Beeinflussung des Verkehrsverhaltens

→ Verringerung der negativen Auswirkungen einer steigenden Verkehrsnachfrage

# Probleme

---

- Ausbau des Strassennetzes kann nicht mit erwarteten Zunahme des Verkehrs Schritt halten
- Staus sind ohne alternative Massnahmen unvermeidbar
- zudem: bekannte Probleme wie Umwelt, Lärm, Sicherheit etc.

Ziel: negative Auswirkungen des mIV reduzieren

# Problem: Triple Convergence

---

Erweiterung der Strassenkapazitäten führt nicht zu Verschwinden von Staus

- Räumlich: Nutzer, welche vorher zu Spitzenstunden andere Routen benutzt haben, weichen auf die ausgebaute Strecke aus
- Zeitlich: Nutzer, welche vorher die Spitzenstunden gemieden habe, tun dies nicht mehr
- Verkehrsmittelbezogen: Nutzer, welche vorher mit ÖV gefahren sind, weichen auf IV aus, da dieser schneller geworden ist

# Generalisierte Kosten des Weges: Definition

---

Risiko- und komfortgewichtete Summe aller Ressourcenverbräuche einer Aktivität (Reise):

- Zeiten
- Entscheidungsrelevante Ausgaben

# Zeitkosten

---

abhängig von:

- Wechselwirkungen mit anderen Verkehrsteilnehmern
- Ausbaustandard und Erhaltungszustand der Strecke
- Steuerung des Verkehrsablaufs
- Wetter, Oberflächen- und Lichtverhältnissen

# Veränderung des Verkehrsverhaltens

---

Veränderung der generalisierten Kosten als Steuerungsinstrument für Verkehrsverhalten, wenn:

- Veränderung wahrnehmbar ist
- Handelnde Freiraum zur Reaktion haben
- Handelnde bessere Alternativen zur Auswahl haben

in Abhängigkeit des Zeithorizontes der Veränderung

# Reaktionsmöglichkeiten: kurzfristig

---

- Fahrverhalten (Beschleunigen, Bremsen, Geschwindigkeit, ...)
- Abfahrtszeit
- Route
- Verkehrsmittel (mIV, ÖV, LV)
- Ziel
- Zweck
- Reihenfolge der Aktivitäten
- Gruppengrösse
  
- Häufigkeit des Reisens

# Reisezeitelemente der generalisierten Kosten

---

mIV

ÖV

---

Zugangszeit zum Fahrzeug

Zugangszeit zur Haltestelle

Rüstzeit

Fahrscheinerwerb

Wartezeit

Fahrzeit inkl. Pausen

Fahrtzeit inkl. Umsteigen

Parkplatzsuche

Abgangszeit zum Ziel

Abgangszeit zum Ziel

# Monetäre Elemente der generalisierten Kosten

---

Art	mIV	ÖV
feste	Steuern, Versicherung	Monats- oder Jahresabo
	Abstellplatz	Halbtax
vermeidbare	Kraftstoff	Einzelfahrkarte
	Mauten, Parkgebühren	
	Instandhaltung	
	Reparaturen	
	Miete	

# Erfassung von Veränderungsbereitschaften

---

- qualitativ:  
 $y \sim x$
- quantitativ: univariat, eindimensional  
 $y = f(x)$
- quantitativ: univariat, mehrdimensional  
 $y = f(x_i), i = 1, \dots, n$
- quantitativ: multivariat, mehrdimensional  
 $y_j = f(x_{ij}, y_{jk}), i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m, k \neq j$

# Elastizität

---

Definition:

Mass für die Veränderung einer abhängigen Grösse in Reaktion auf die Veränderung einer unabhängigen Grösse

z.B.: Punktelastizität

$$E = \frac{\frac{Y_j^1 - Y_j^0}{Y_j^0}}{\frac{X_j^1 - X_j^0}{X_j^0}} = \frac{\partial Y_j}{\partial X_j} \cdot \frac{X_j}{Y_j}$$

# Bemerkung

---

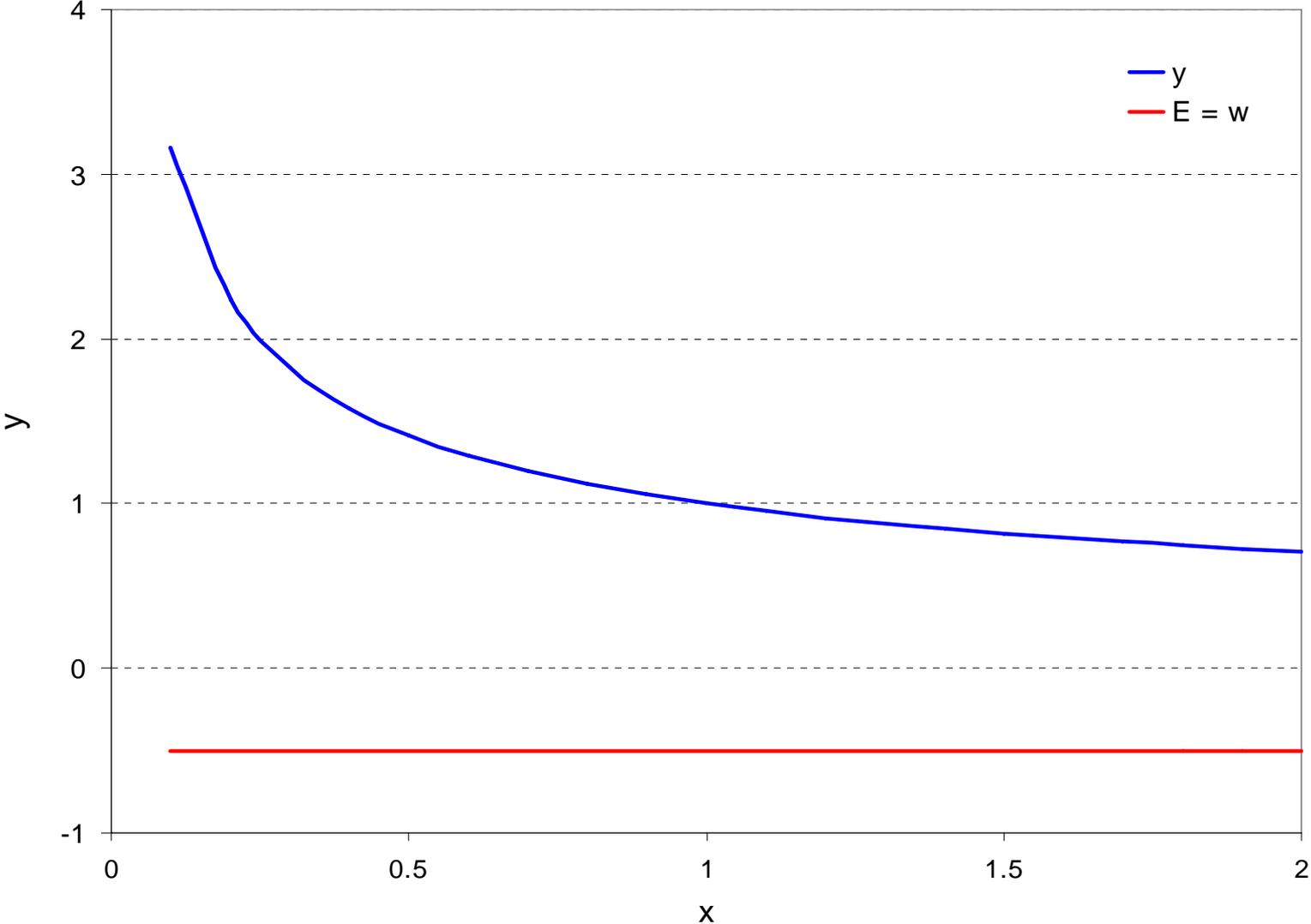
Elastizitäten abhängig von:

- $x_i, y_i$
- Form der Funktion

z.B.:

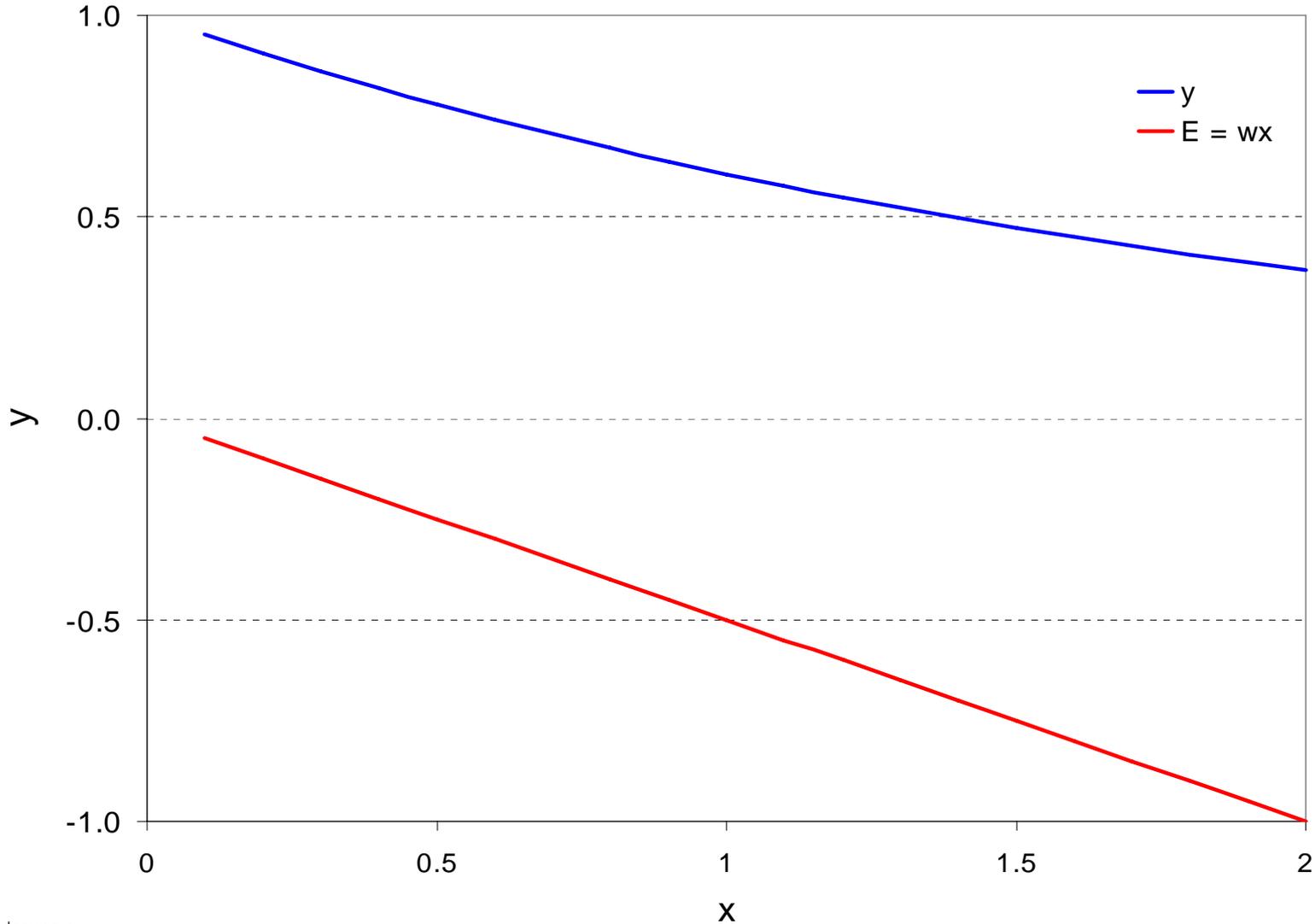
- $y = x^w \quad \rightarrow E = \text{const.} = w$
- $Y = e^{wx} \quad \rightarrow E = E(x) = wx$

# Beispiel: $y = x^w$ ( $w = 0.5$ )



# Beispiel: $y = e^{wx}$ ( $w = 0.5$ )

---



# Begriffe

---

Eigenelastizität: Veränderung infolge Änderung eines Attributes der Alternative

- Preiselastizität des Benzinverbrauchs
- Reisezeitelastizität des Strassenverkehrs

Kreuzelastizität: Veränderung infolge Änderung eines Attributes einer anderen Alternative

- Preiselastizität des ÖV in Abhängigkeit von Benzinpreis
- Reisezeitelastizität des mIV in Abhängigkeit der Reisezeit des ÖV

# Elastizitäten: Schweizer Ergebnisse (1999)

---

	mIV	ÖV
Reisezeit mIV [h]	-0.43	0.67
Kosten mIV [CHF]	-0.12	0.19
Fahrzeit ÖV [h]	0.37	-0.57
Preis ÖV [CHF]	0.16	-0.25
Zugangszeit ÖV [h]	0.18	-0.27
Takt ÖV [h]	0.15	-0.23
Anzahl Umsteigevorgänge ÖV [-]	0.12	-0.18

# Zusammenhänge

---

X

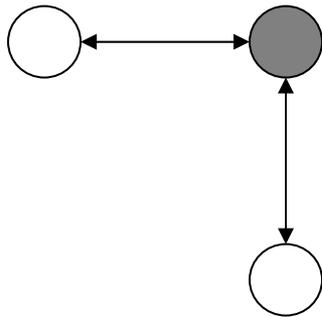
- Generalisierte Kosten  $k$
- Einkommen  $s$

Y

- Ausser-Haus-Zeiten  $A$  [h]
- Anzahl Aktivitäten  $a$  [-]
- Anzahl Wege/Reisen  $n/j$  [-]
- Länge der Routen  $l$  [km]
- Dauer der Routen  $d$  [h]

# Aktivitäten, Wege und Reisen

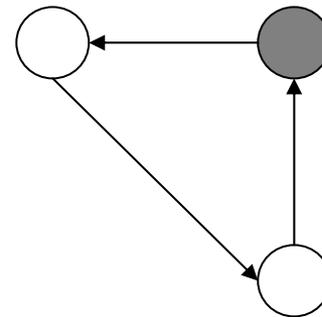
---



2 Aktivitäten

4 Wege

2 Reisen



2 Aktivitäten

3 Wege

1 Reise

# Erwartete Elastizitäten

---

- Ausser-Haus-Zeit:  
 $E(A \mid k_A) < 0$
- Verhältnis Wege/Reisen ( $n/j$ ):  
 $E(n/j \mid d_{Amr}) > 0$ , da  $E(j \mid d_{Amr}) < 0$

# Erwartete Elastizitäten

---

- Aktivitätendauer  
 $E(d_A | k_A) < 0$
  - Fahrtendauer  
 $E(d_{RZ} | k_A) < 0$   
 $E(d_{RZ} | v_{mr}) < 0$
  - Nachfrage auf Route:  
 $E(q_{mr} | k_{mr}) < 0$
- Aktivitätenhäufigkeit  
 $E(n_A | k_A) < 0$
  - Fahrtenlänge  
 $E(l | k_A) < 0$   
 $E(l | v_{mr}) > 0$

# Exkurs: Hypothese des konstanten Reisezeitbudgets

---

Implikationen:

$$E(d_{RZ}|v_{mr}) = -1$$

$$E(I|v_{mr}) = 1$$

$$E(d_{RZ}|d_A) = -1, \text{ bei } A = \text{const.}$$

Studien weltweit:

Reisezeitbudget  $\approx 0.8 - 1.5$  [Stunden / Person und Tag]

Mittlere Tagesgeschwindigkeit  $\approx 20 - 50$  [km/h]

# Stand des Wissens

---

- $E(\text{PW-Besitz}|s) > 0 \rightarrow E(v_{mr}|s) > 0, E(m_{mr}|s) < 0$
- Wettbewerb zwischen Verkehrsmitteln: viel Literatur zu Elastizitäten der Nachfrageanteile
- wenig zu Fahrtenlängen und -dauern
- sehr wenig zu Anzahl Aktivitäten und Reisen
- nichts zu Ausser-Haus-Zeiten

# Elastizitäten: Anwendung

---

Annahmen:

- konstante Elastizitäten ( $Q = x^w$ )
- keine Korrelationen zwischen Eigenschaften

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \frac{x_1^w}{x_0^w} \rightarrow Q_1 = Q_0 \cdot \left( \frac{x_1}{x_0} \right)^w$$

# Elastizitäten: Anwendung

---

- (1) ÖV-Unternehmen: geplante Geschwindigkeitserhöhung von 5 %
- (2) Erweiterung des Angebots um 15 %
- (3) Stärkeres ÖV-Angebot geht auf Kosten des mIV  
→ Geschwindigkeitsabnahme um 10 %
- (4) Zunahme des Benzinpreises um 5 %
- (5) Abnahme der Einwohnerzahl um 5 %

# Elastizitäten: Anwendung

---

Mit welcher Fahrgastzunahme kann das ÖV-Unternehmen rechnen?

$$\frac{\Delta Q}{Q} = w \cdot \frac{\Delta x}{x}$$

$$(1) \quad w = -0.57 \quad \rightarrow \quad DQ/Q = -0.57 \cdot -5\% \quad = + 2.85 \%$$

$$(2) \quad w = 0.23 \quad \rightarrow \quad DQ/Q = 0.23 \cdot 15\% \quad = + 3.45 \%$$

$$(3) \quad w = 0.67 \quad \rightarrow \quad DQ/Q = 0.67 \cdot 10\% \quad = + 6.70 \%$$

$$(4) \quad w = 0.19 \quad \rightarrow \quad DQ/Q = 0.19 \cdot 5\% \quad = + 0.95 \%$$

$$(5) \quad w = 1.00 \quad \rightarrow \quad DQ/Q = 1.00 \cdot -5\% \quad = - 5.00 \%$$

$$\text{-----}$$
$$+ 8.95 \%$$

# Elastizitäten: Anwendung

---

alternativ: 
$$\frac{Q_1}{Q_0} = \prod_i \left( \frac{x_{i,1}}{x_{i,0}} \right)^{w_i}$$

$$= \left( \frac{95}{100} \right)^{-0.57} \cdot \left( \frac{115}{100} \right)^{0.23} \cdot \left( \frac{110}{100} \right)^{0.67} \cdot \left( \frac{105}{100} \right)^{0.19} \cdot \left( \frac{95}{100} \right)^{1.00} = 1.087$$

→ + 8.7 %

# Ziele

---

- Reduzierung der Verkehrsnachfrage
- Veränderung des Verkehrsverhaltens (Verkehrsmittel-, Abfahrtszeitwahl)
- Reduzierung von Immissionen
- erhöhte Effizienz der Landnutzung
- Verbesserung der Verkehrssicherheit

# Massnahmen

---

- Regulierung des Parkraums
- Fussgängerzonen in Stadtzentren
- Hierarchisches Strassennetz
- Restriktionen für verschiedene Fahrzeugtypen
- Verkehrsberuhigung in Wohnzonen
- Verbesserung und Förderung der Alternativen (ÖV, LV)
- Förderung von Carpooling
- Preispolitik: Treibstoff, Strassennutzung

# Regulierung des Parkraums

---

- Parkverbote am Strassenrand erhöhen Kapazität für fahrenden Verkehr
- Begrenzung des gesamten Parkraums in einem Gebiet reduziert c.p. Zielverkehr in dieses Gebiet

→ Durchgangsverkehr anstelle von Lokalverkehr

- Reduzierung der Anzahl Parkplätze
- Regulierung der Parkzeiten
- Gebührenerhebung

→ Verschiebung zwischen den Nachfragesegmenten

# Fahrtenmodelle

---

Idee:

- Kontingentierung der Fahrten (manchmal via Parkraum)
- Abos für Nutzer je nach Klasse
- bei Überschreitungen zusätzliche Gebühren, z.B.:
  - mehr Ein- und Ausfahrten als vorgesehen
  - längere Parkdauer in Einkaufszentrum
  - Auto über Nacht am Arbeitsplatz abstellen

# Spezifisches Verkehrspotenzial (SVP)

---

erwartete Anzahl Fahrten pro Tag und Parkplatz

Nutzung	SVP
Wohnen	2.5
Bürogebäude	3.5
Hotel	4.0
Unterhaltungsbetrieb	10.0
Einkaufszentrum	16.0

→ daran angepasst stehen z.B. einem Mieter 2.5 Ein- und Ausfahrten pro Tag zur Verfügung

# Fussgängerzonen in Stadtzentren

---

Cairns et al. (1998)

- 50 Fälle von Reduzierung der Kapazität in Strassenräumen untersucht
  - Durchschnittliche Abnahme des Verkehrs im Untersuchungsgebiet: 41%
  - Davon werden ca. 50% auf andere Strassen umgelagert, der Rest « verschwindet »
- Gesamtabnahme ca. 25%, aber starke Schwankungen je nach lokalen Gegebenheiten

# Verkehrsberuhigung: Ziele

---

- Reduktion des Durchgangsverkehrs
- Verlagerung der « Machtverhältnisse » zwischen MIV und LV  
→ Sicherheit
- Steuerung des Verhaltens der Fahrer anstatt Anzahl Fahrzeuge

# Verkehrsberuhigung: Massnahmen

---

- Geschwindigkeitsbegrenzung
  - Hindernisse
  - Schikanen
  - Polizeikontrollen / Radarfallen
- Knotenformen (z.B.: Kreisel)
- optische Führung
  - Strassenform
  - Signalisation
- Steuerung der Erschliessungsqualität (z.B.: Einbahnstrassen)
- Verbesserung der LV-Erschliessung (z.B.: Radwege)

# Treibstoffpreise

---

Goodwin (2001):

- 10% höhere Benzinpreise
  - ca. 3% Abnahme des Gesamtverkehrs
  - ca. 7% Senkung des Kraftstoffverbrauchs
- Problem: Effekt benötigt „Aufbauphase“, Ergebnisse nicht kurzfristig messbar

# Verbesserung der Alternativen

---

- Priorisierung des ÖV (z.B. Busspuren)
- Subventionierung des ÖV
- Infrastruktur für Radfahrer: separate Spuren, sichere Abstellplätze
- breitere Gehwege und bessere Signalisation für Fussgänger
- Park and Ride
- Subventionen zur Ermöglichung von Preisreduktionen

# Beispiel: Brüssel

---

Flämische Studenten fahren umsonst ÖV

Veränderung der Nutzung im Einführungsjahr im Vergleich zum Vorjahr [%]

	Tram (N = 302)	U-Bahn (N = 423)	Bus (N = 168)
mehr	55.3	47.4	48.2
unverändert	41.1	44.6	44.1
weniger	3.6	7.8	7.7

# Glossar

---

$d_A$  Dauer der Aktivität A

$d_{RZ}$  Reisezeit

$k_A$  generalisierte Kosten der Aktivität A

$q_{mr}$  Nachfrage nach Verkehrsmittel m auf Route r

$v_{mr}$  Geschwindigkeit von Verkehrsmittel m auf Route r