

## Bevorzugter Zitierstil für diesen Vortrag

---

Axhausen, K.W. (2004) Verkehrsmodelle und ihre Möglichkeiten und Grenzen, CUREM Modul Verkehrsplanung, Zürich, April 2005.

# Verkehrsmodelle und ihre Möglichkeiten und Grenzen

KW Axhausen

IVT

ETH

Zürich

April 2005

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

**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

# Was wollen wir wissen ?

---

Veränderungen im Markt als Funktion von Veränderungen:

- Der Eigenschaften der Angebote
  - Generalisierte Kosten des Erwerbs
  - Generalisierte Kosten der Nutzung
- Der Anzahl und Struktur der Angebote
  
- Der Haltungen der Nutzer
- Der Struktur und Menge der Nutzer

Mit angemessener Genauigkeit und bei Abbildung aller relevanten Verhaltensänderungen

# Beispiel für Märkte 1: Besuch eines Einkaufszentrums

---

Relevante Eigenschaften:

- Spezifikation des Zentrums (Grösse, Ausstattung, .....
- Mittleres Preisniveau
- Nutzungskosten (Übersichtlichkeit, Bequemlichkeit, ..)
- Generalisierte Kosten des Weges (einschliesslich Parking)
- Verlässlichkeit
- Image und Prestige
  
- Zeitdruck
- Einkaufsliste

# Beispiel für Märkte 2: Verkehrsmarkt

---

Objekt: *slot* für einen Weg

Eigenschaften:

- Zeitpunkt
- Generalisierte Kosten
  - Reisezeitelemente
  - (entscheidungsrelevante) monetäre Kosten
  - Komfort

# Was heisst nun Gleichgewicht ?

---

Konsistenz von den generalisierten Kosten der Angebote und der zugehörigen Nachfrage; d.h. ein Zustand der „Ruhe“

Eigenschaften:

- Nutzenmaximierende Entscheider
- Mathematisch beschreibbarer Zustand, der exakte Vergleiche erlaubt
- Idealisierung der Realität, da kein System je in einem (vollständigen) Ruhezustand befindet

## Beispiel: Zwei Strecken zwischen A und B

---

Annahme:

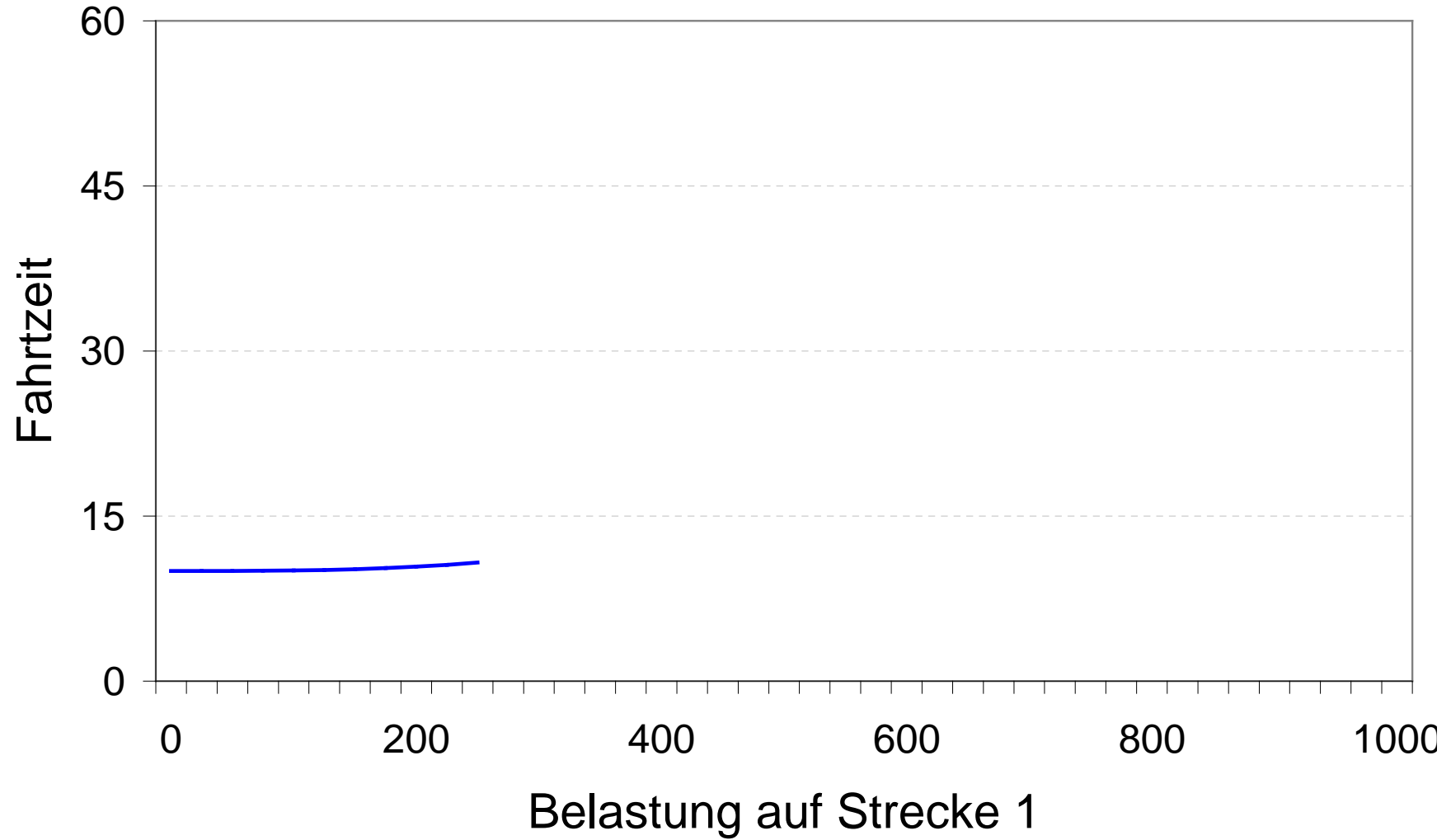
- Nachfrage  $q$  ist bekannt und fest
- Kosten = - Nutzen = Fahrzeit auf den Strecken

Folgerung:

- Gleichgewicht heisst dann, dass der Nutzen aller Alternativen gleich ist

## Beispiel: Strecke 1

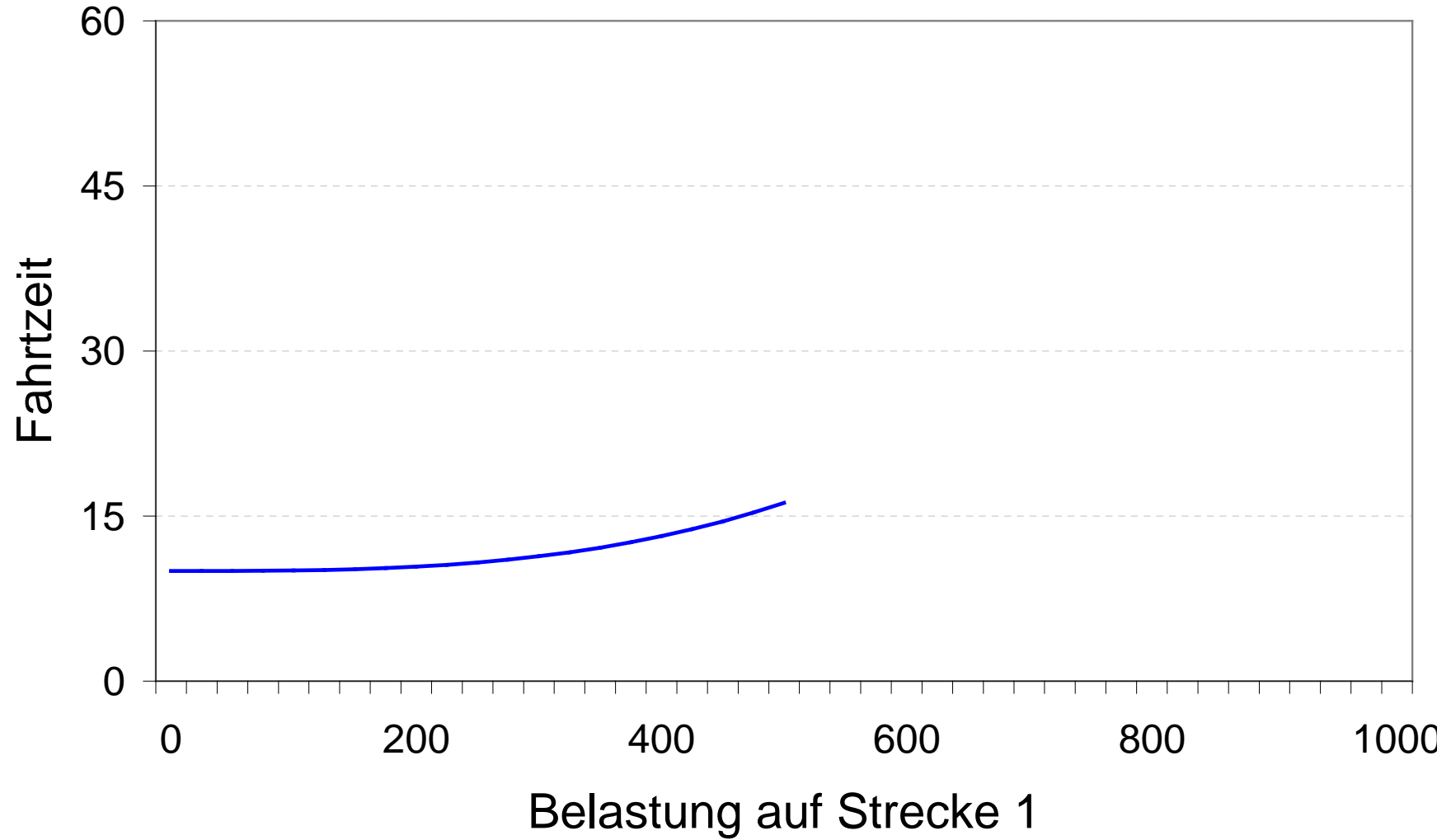
---





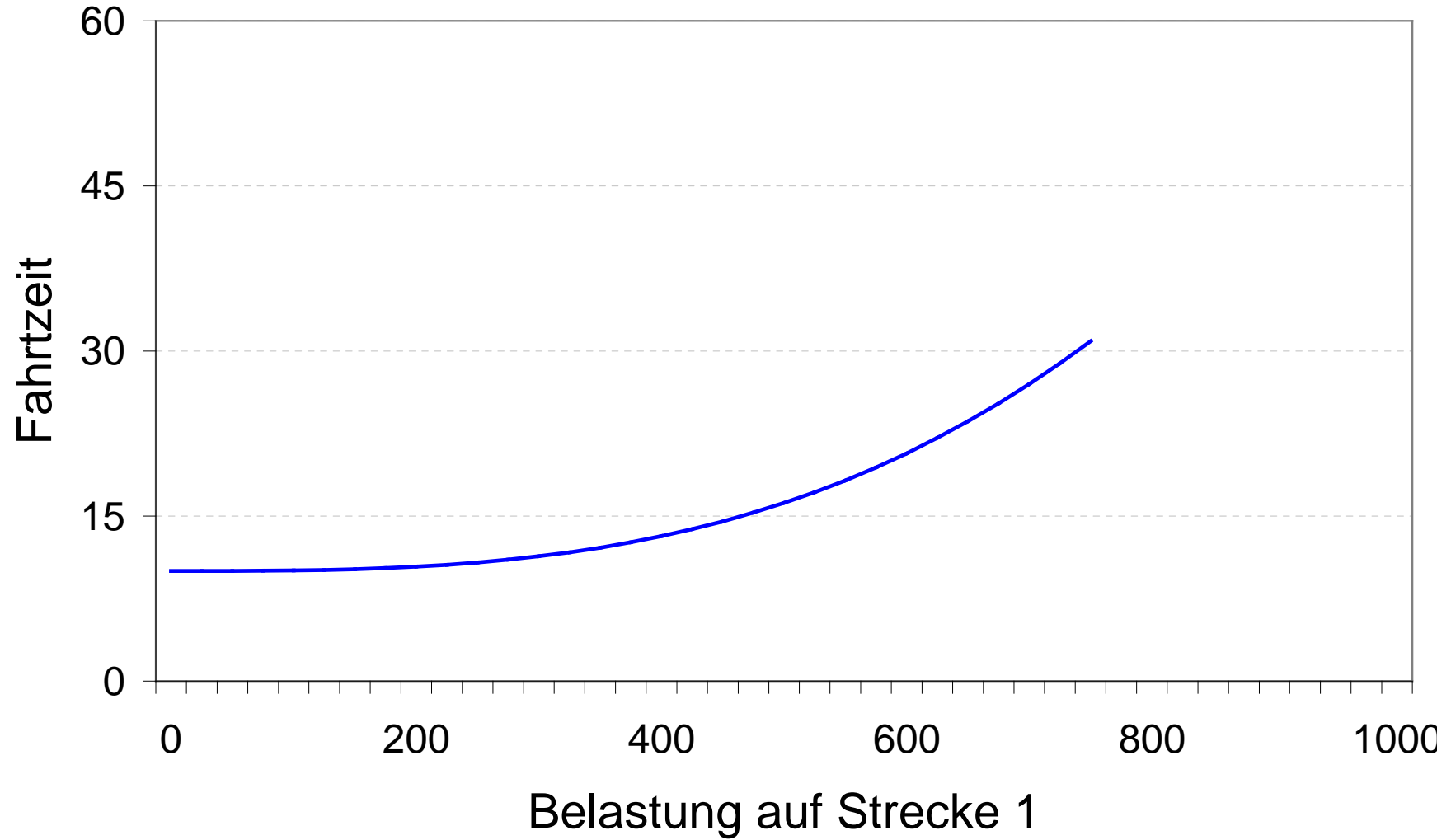
## Beispiel: Strecke 1

---



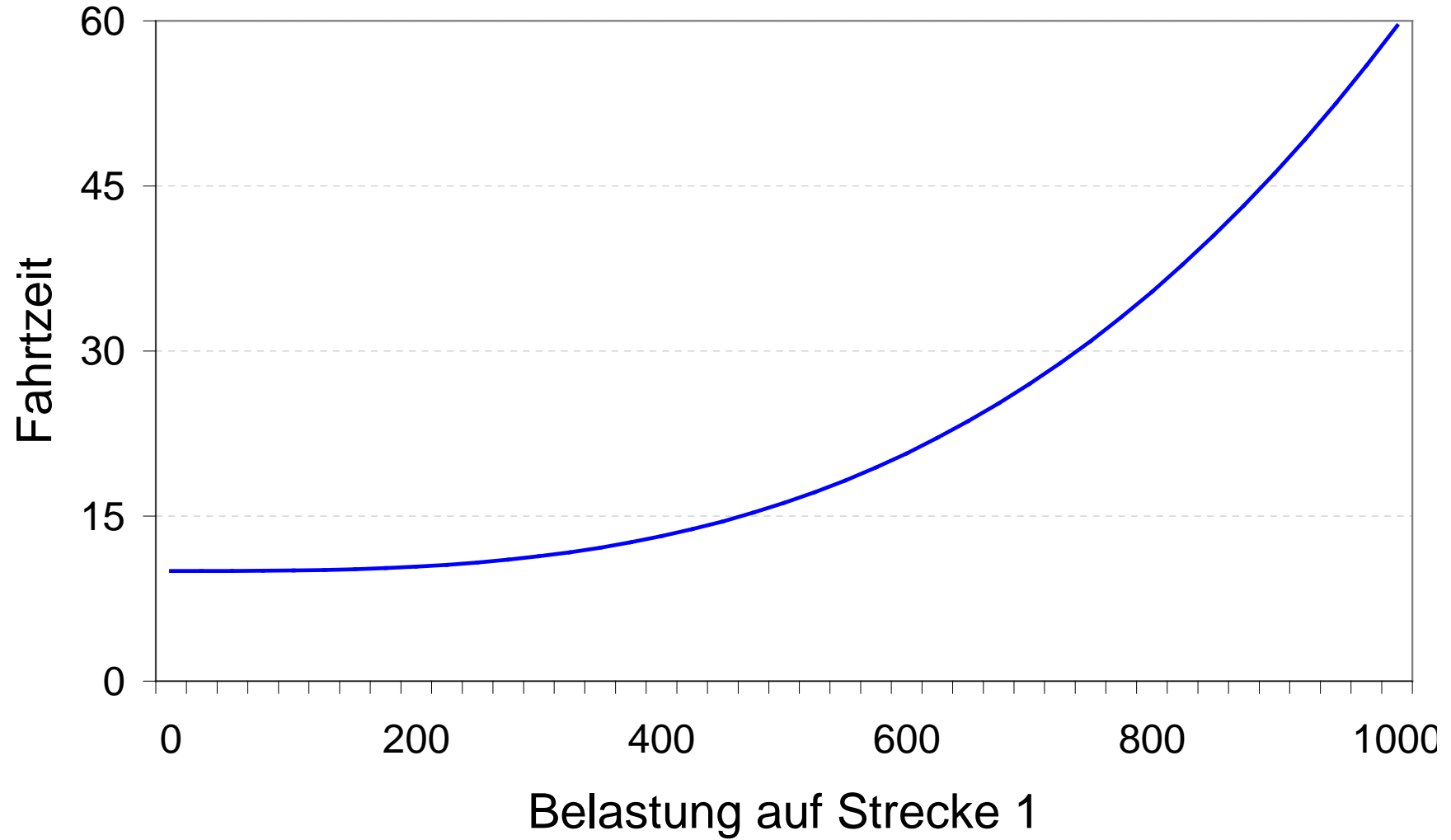
## Beispiel: Strecke 1

---



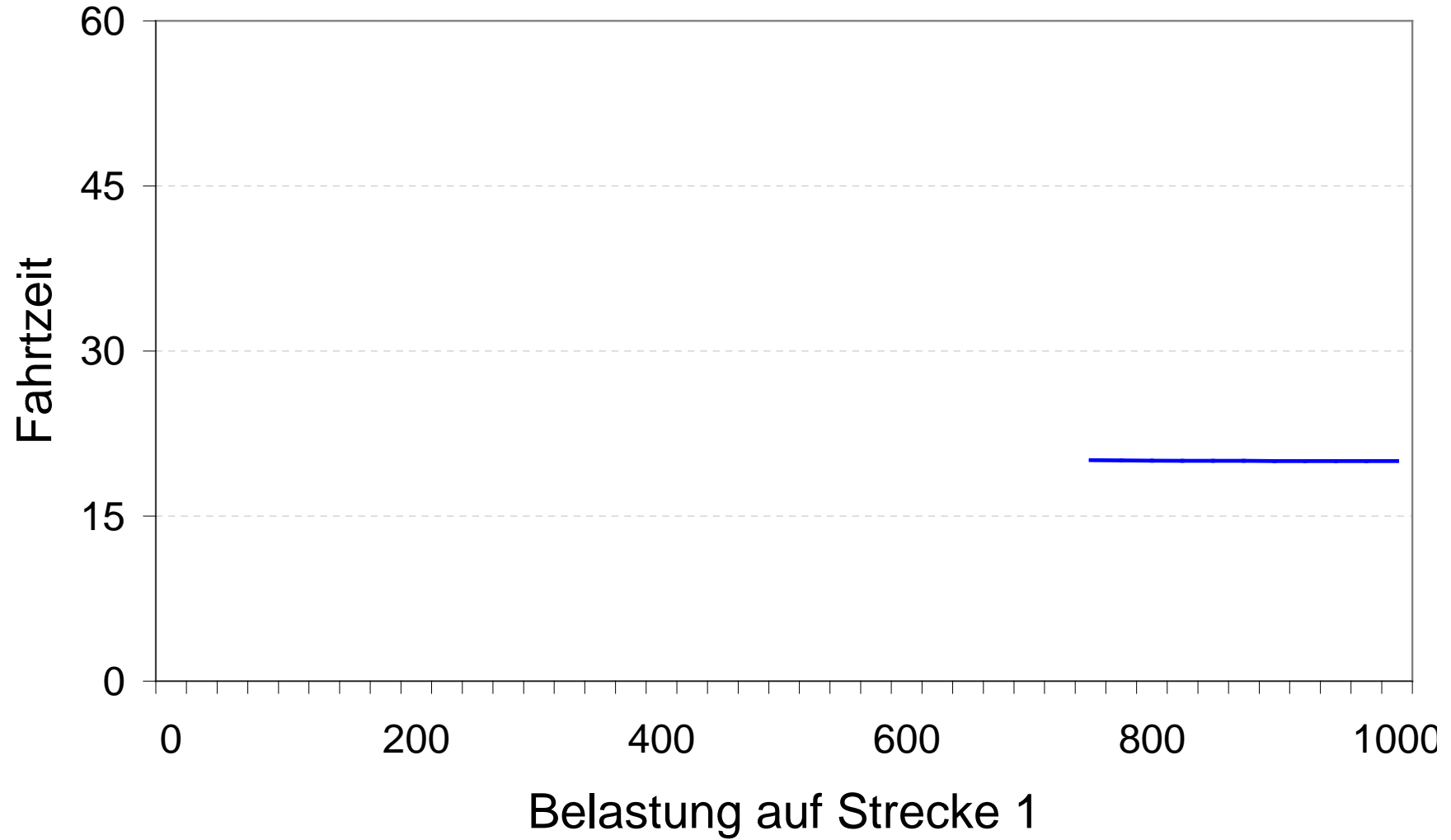
## Beispiel: Strecke 1

---



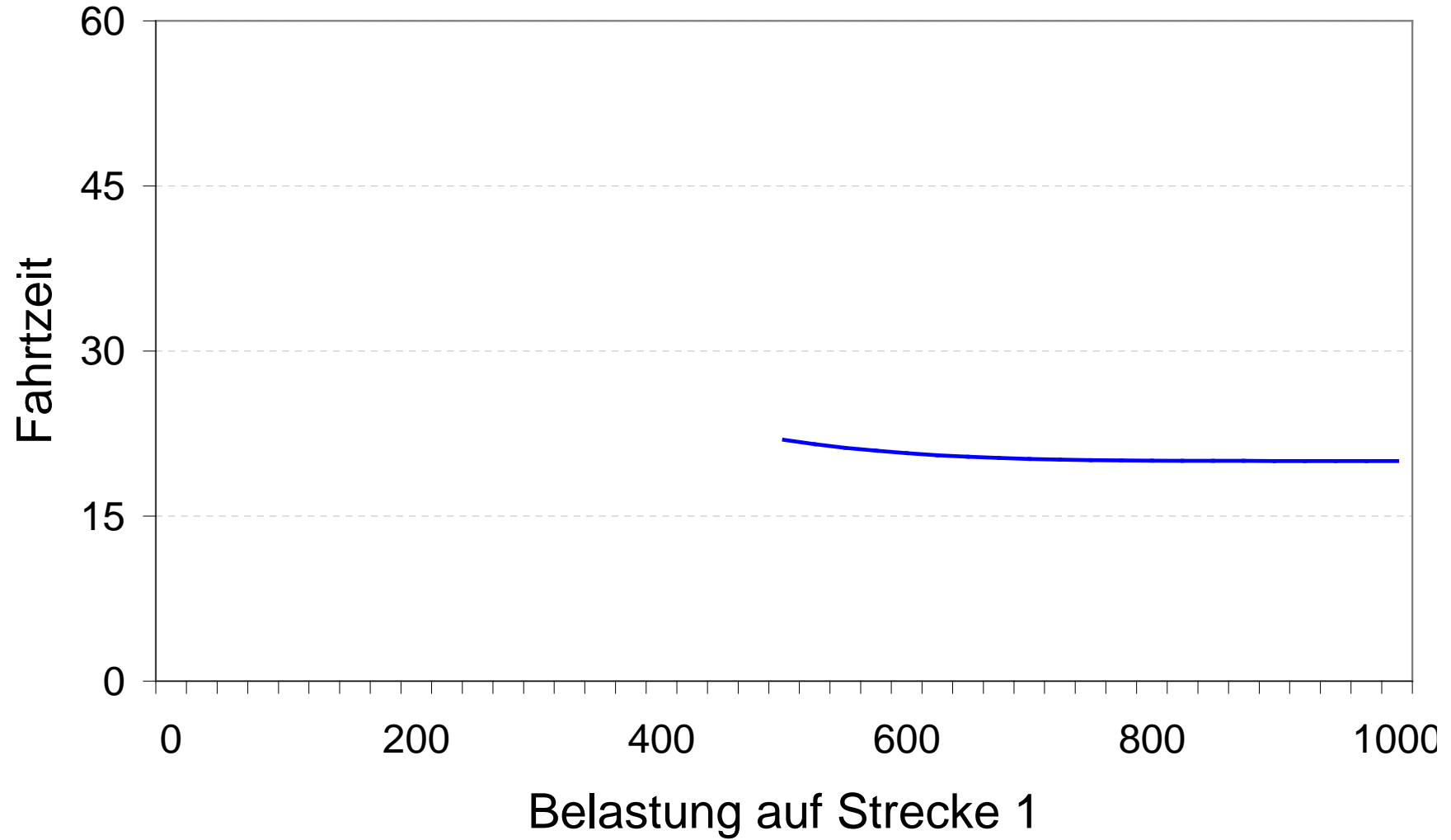
## Beispiel: Strecke 2

---



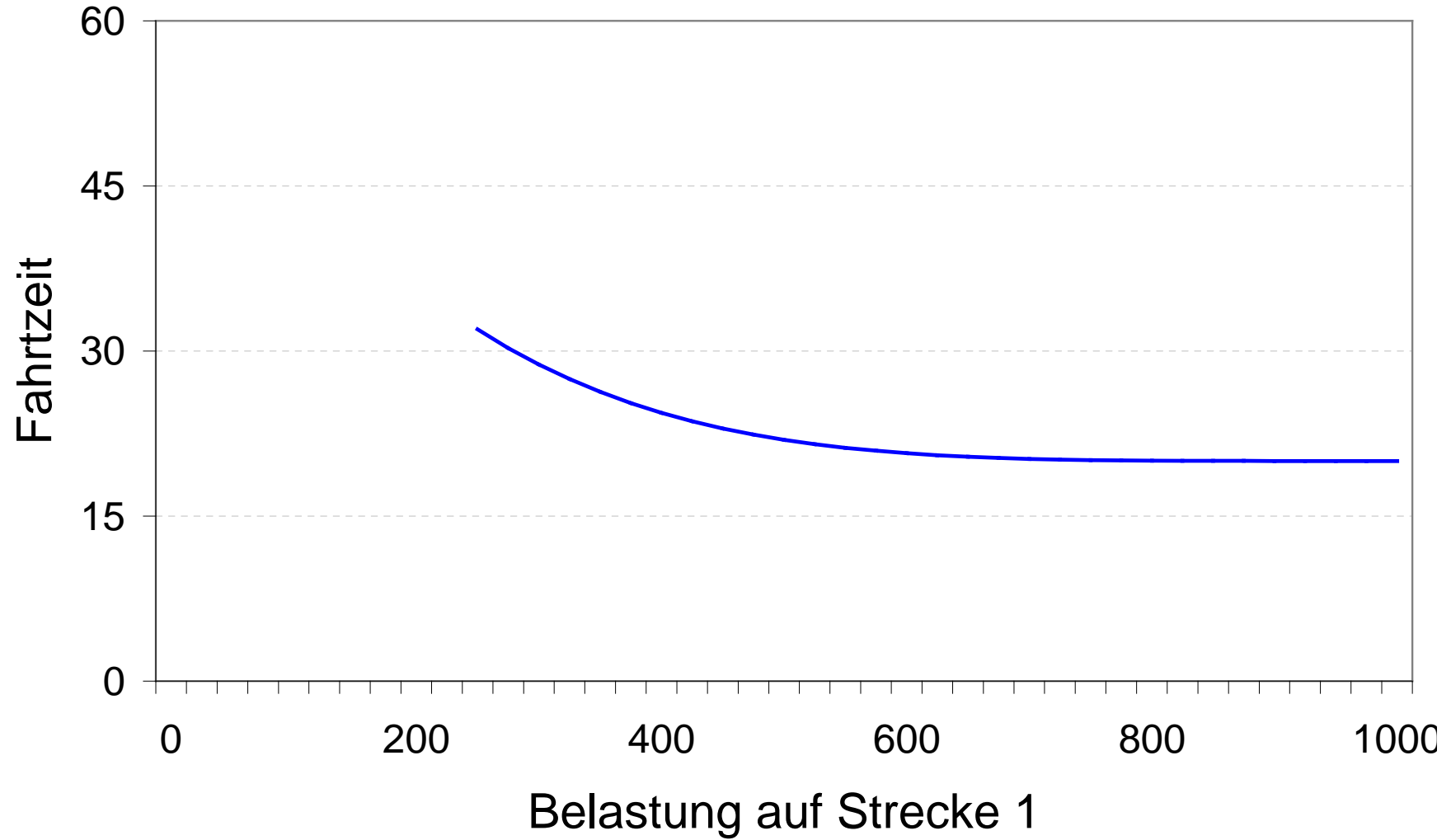
## Beispiel: Strecke 2

---



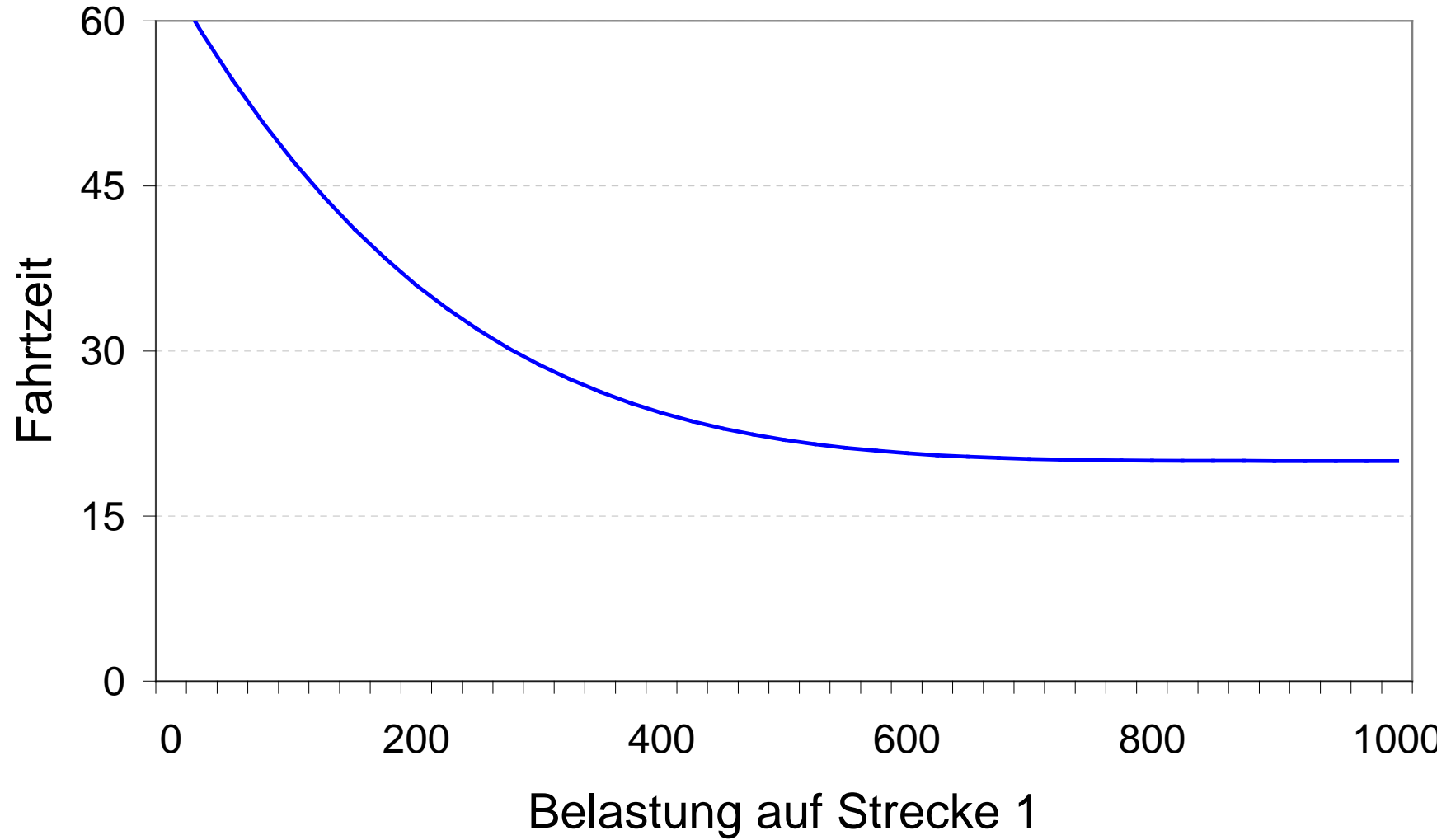
## Beispiel: Strecke 2

---

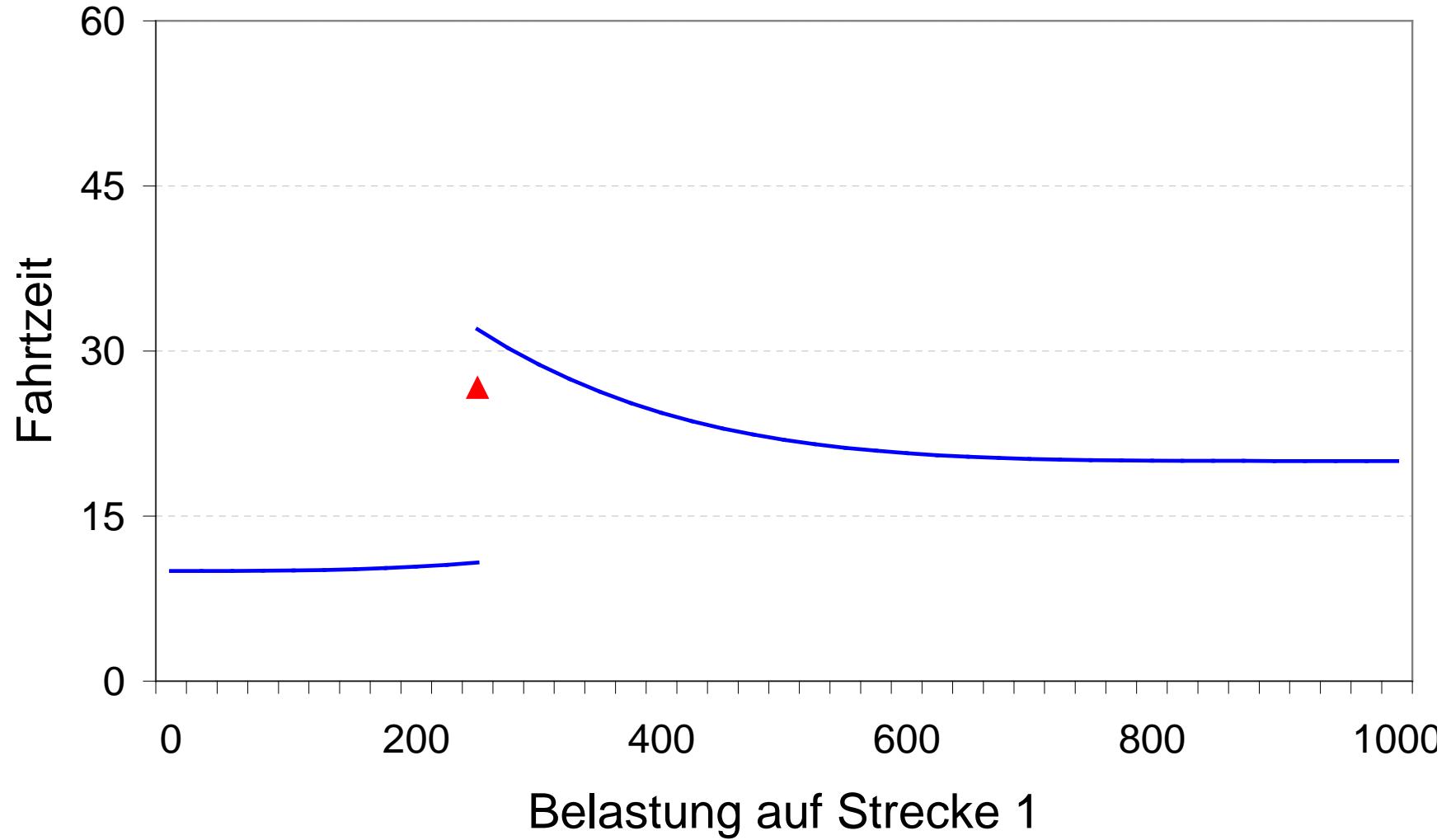


## Beispiel: Strecke 2

---

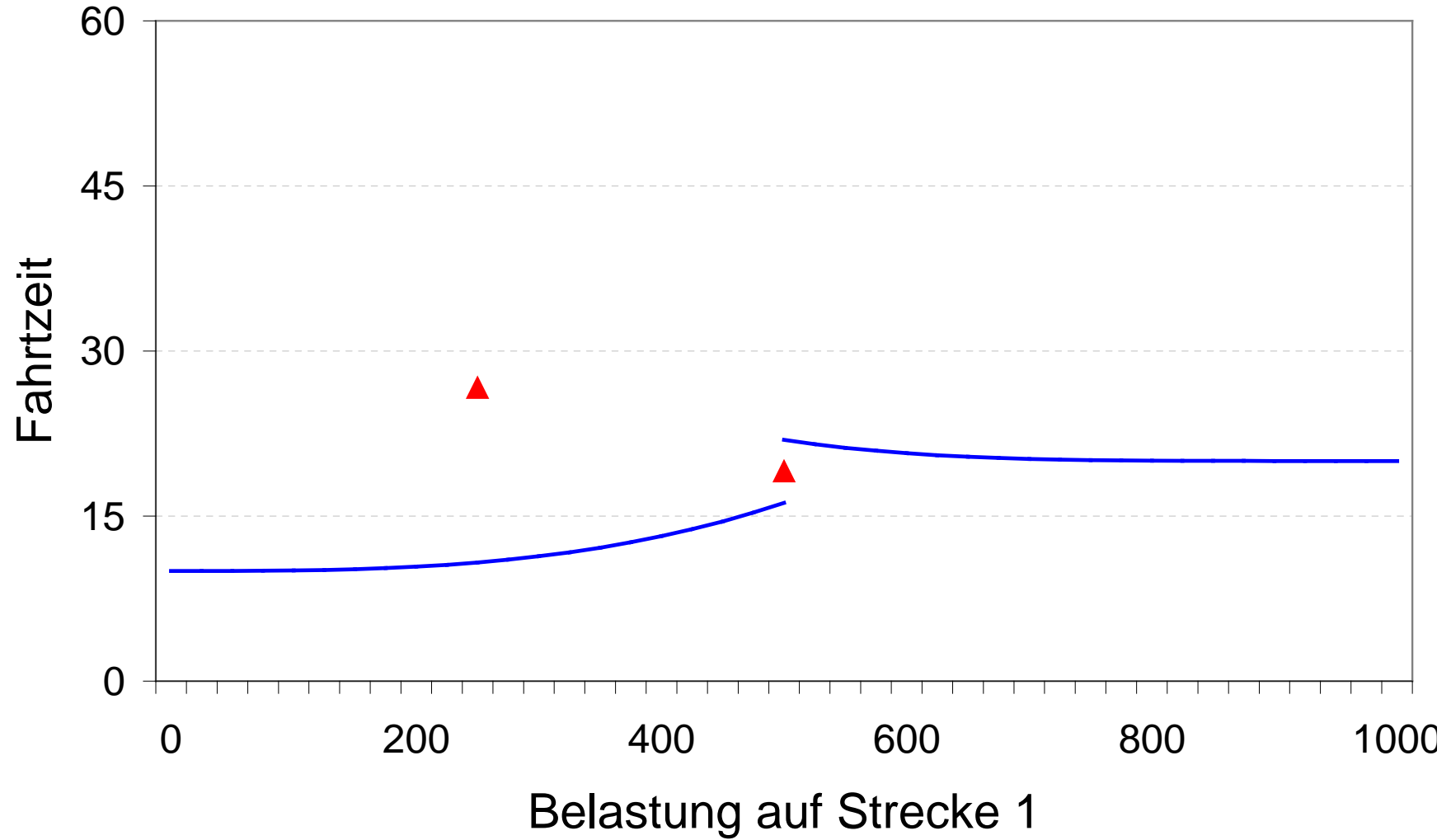


# Mittlere Fahrzeit

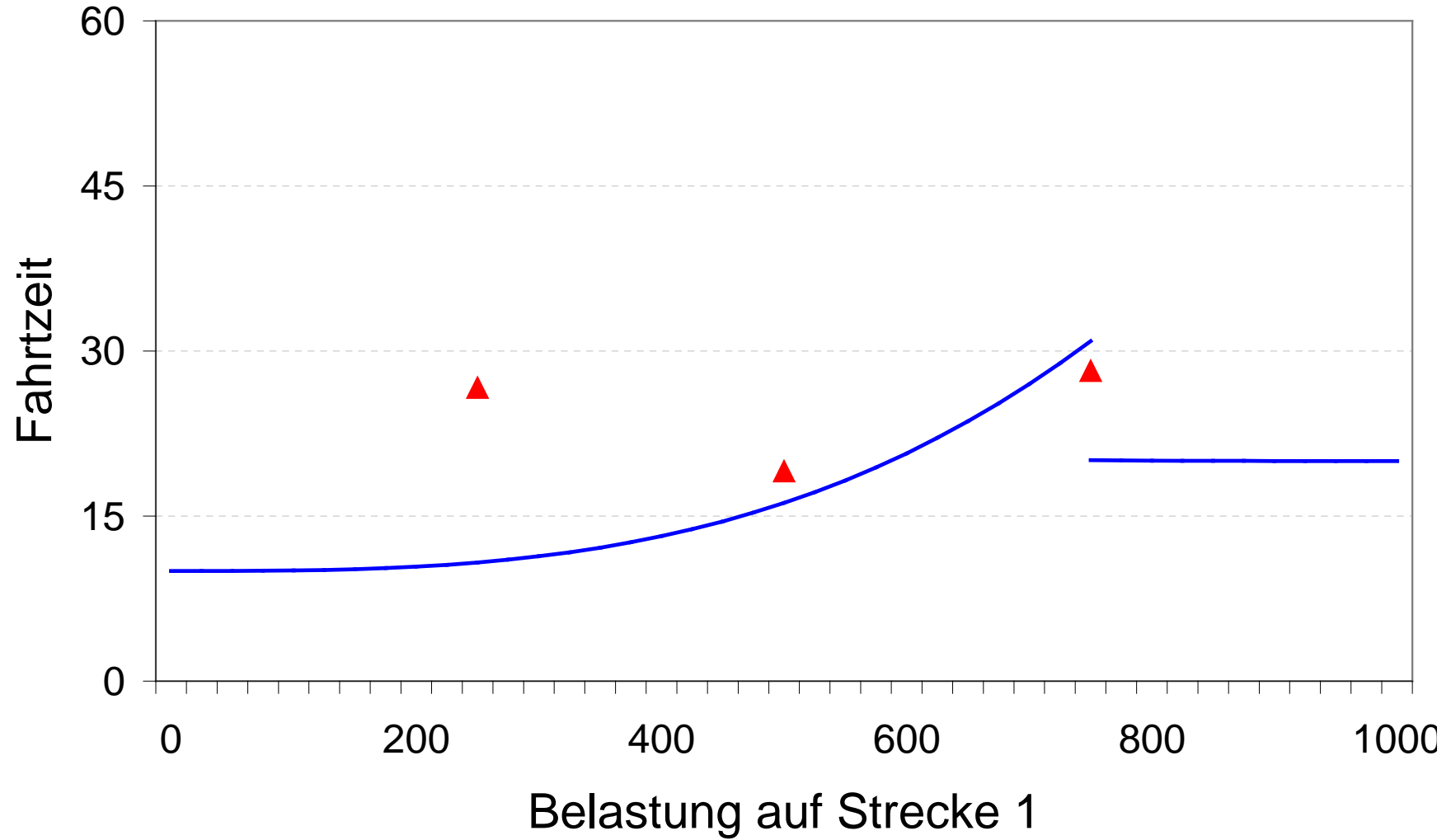




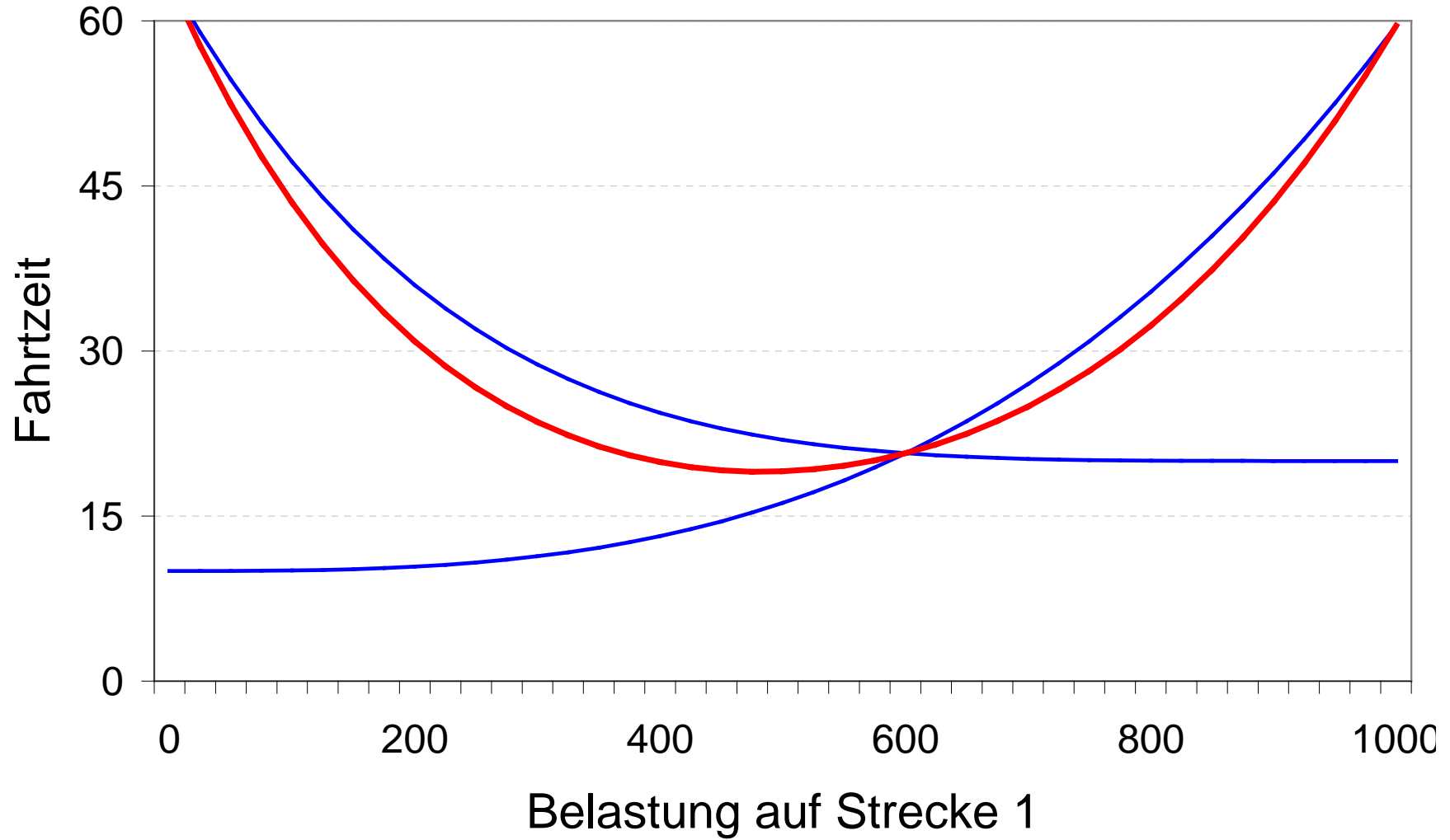
# Mittlere Fahrzeit



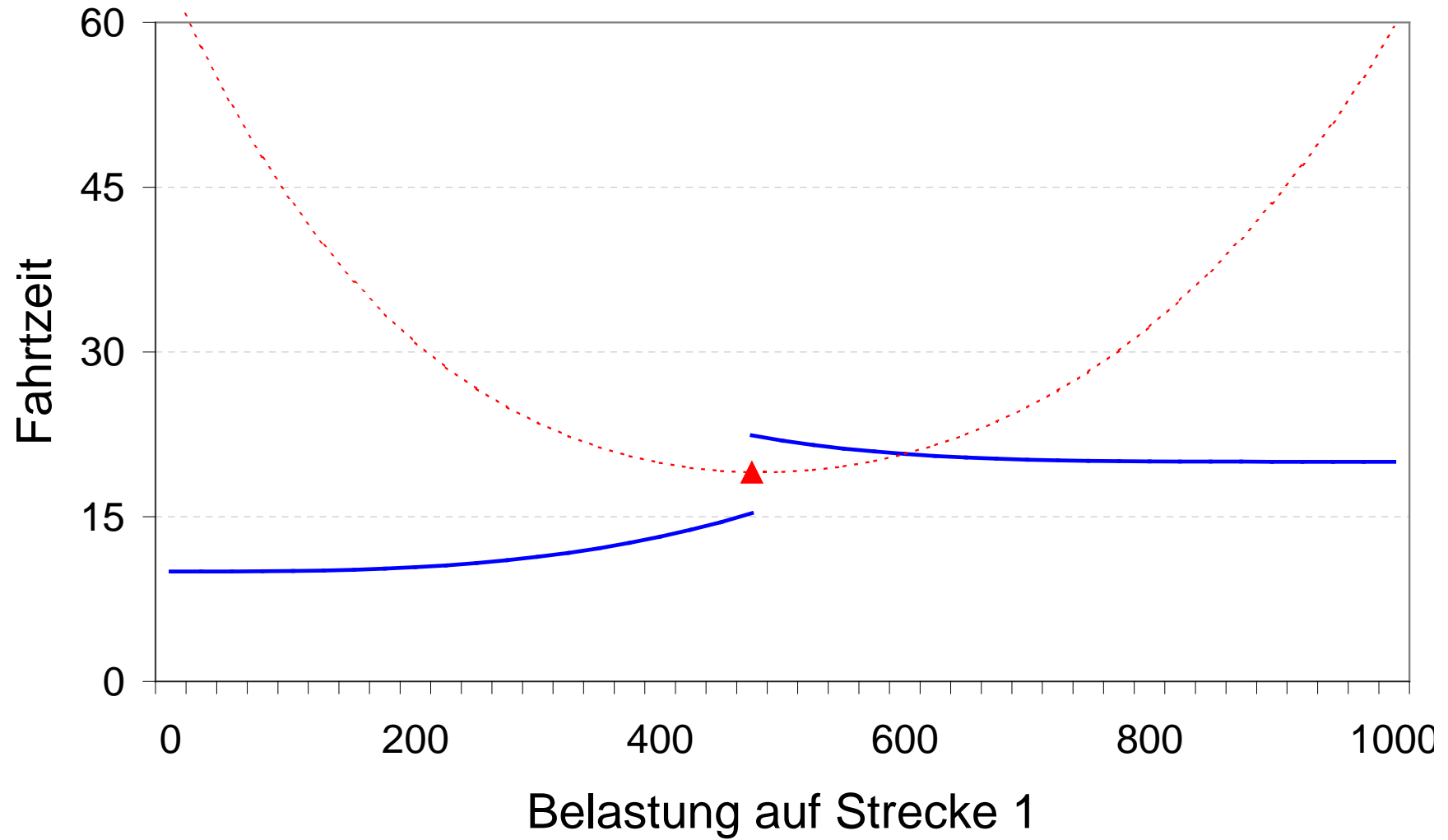
# Mittlere Fahrzeit



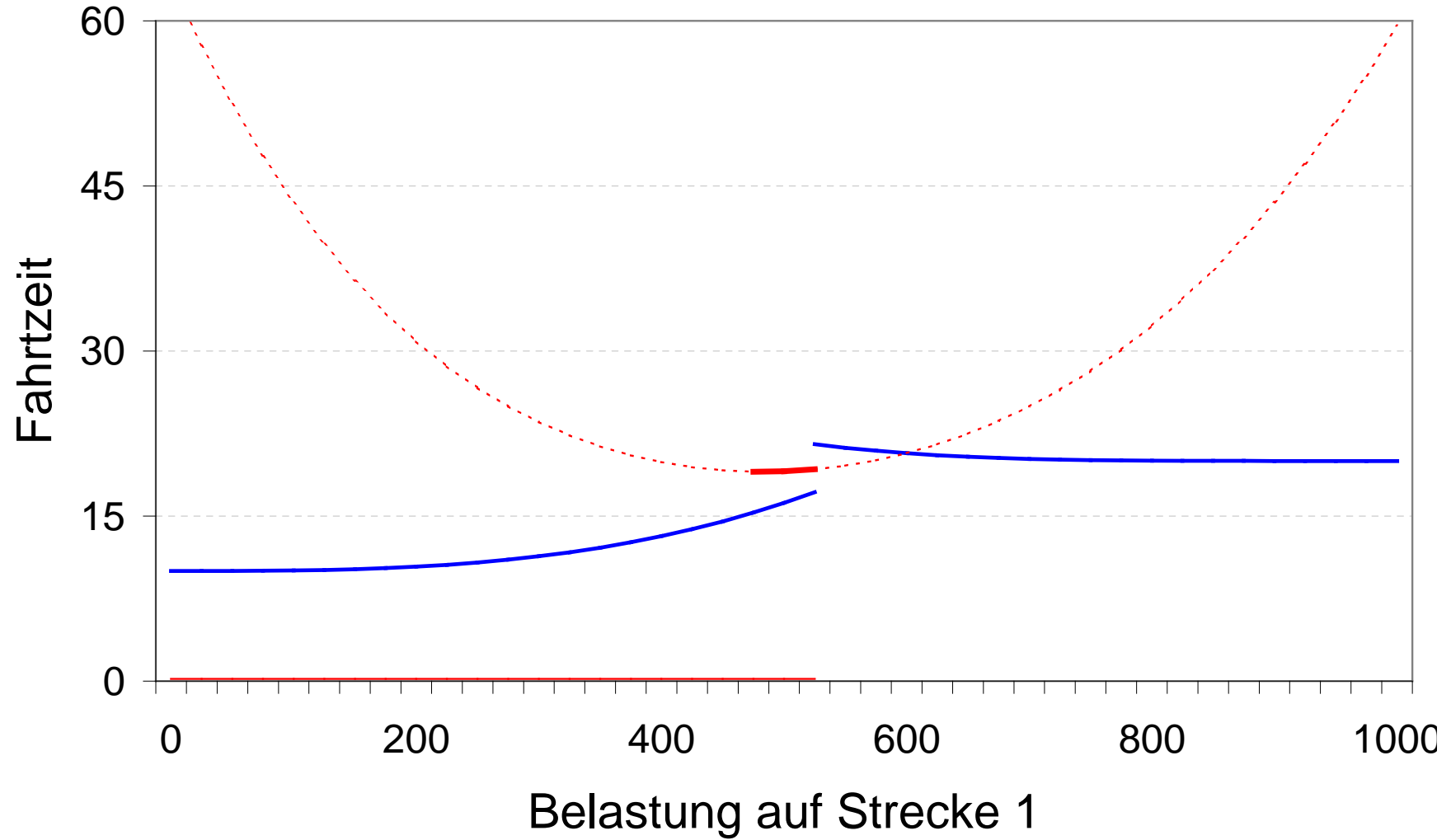
# Mittlere Fahrzeit



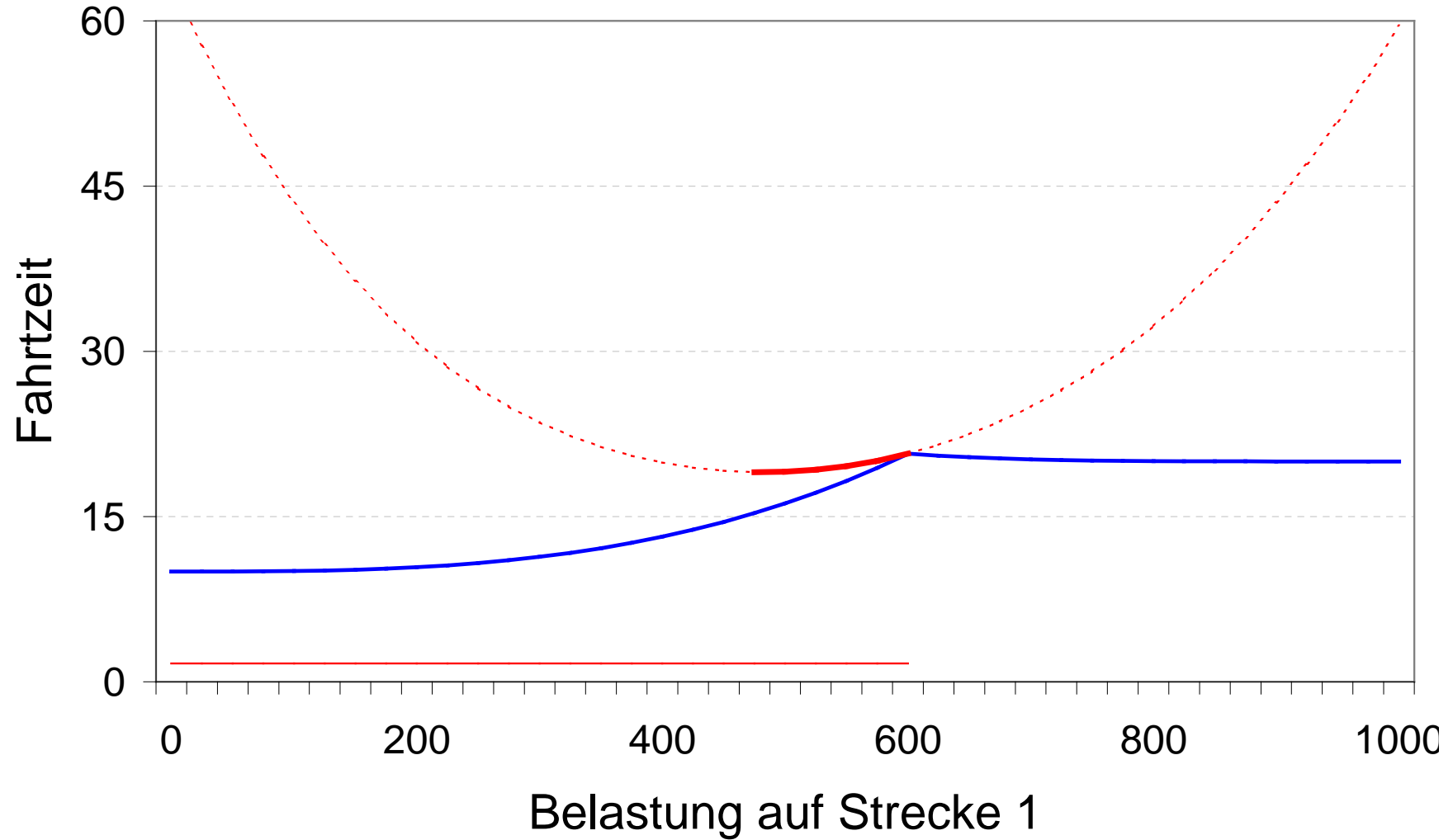
# Systemoptimum



# Zum Nutzergleichgewicht



# Nutzergleichgewicht > Systemoptimum



# Marktmodell

---

Bei aller Elemente  $i$  des Markts:

$$k'_{i,togz} = f(q'_{i,togz} (k'_{i,toqz}, B_{ogz}), A_{i,togz})$$

$k'$  : Geschätzte generalisierte Kosten [sFr/Element]

$q'$  : Geschätzte Nachfrage [Elemente/Zeiteinheit]

$A$  : Angebot an verschiedenen Elementen

$B$  : Bevölkerung (natürliche und legale Personen)

$t$  : Zeitpunkt  $t$        $o$  : Ort  $o$

$g$  : Gruppe  $g$        $z$  : Jahr  $z$

# Teilmodelle des Marktmodells

---

Kostenmodell: Wie verändern sich die (generalisierten) Kosten als Funktion der Nachfrage und des Angebots ?

$$k'_{i,togz} = f(q'_{i,togz}, A_{i,togz})$$

Nachfragemodell: Wie verändert sich die Nachfrage als Funktion der generalisierten Kosten und der Nachfrager ?

$$q'_{i,togz} = f(k'_{i,togz}, B_{ogz})$$



# Beispiele Kostenmodell

---

Wie verändert sich der Preis als Funktion der Nachfrage nach einem Immobilientyp ?

Wie verändert sich der effektive Lohn als Funktion der Art und Menge der Arbeitsplatzsuchenden ?

Wie stark erhöht sich die Fahrtzeit auf einer Strasse als Funktion der Anzahl der Fahrzeuge ?

# Beispiele Nachfragemodelle

---

Wie verteilt sich die Nachfrage auf die Immobilien ?

Wie verteilt sich die Nachfrage auf die verschiedenen Einkaufszentren ?

Wie verteilt sich die Nachfrage auf die verschiedenen Verkehrsmittel (Verbindungen) ?

# Marktmodell: Randbedingungen

---

Nur positive Mengen:

$$q'_{i,togz} \geq 0$$

Gesamtnachfrage:

$$q'_{i,tz} = \sum_{\forall og} q'_{i,togz}$$

Einhaltung der Grenzen der Leistungsfähigkeit  $L_{tz}$  zum Zeitpunkt  $z$  im Jahr  $t$ :

$$q'_{i,tz} \leq L_{tz}$$

# Arbeitsansatz der Prognose

---

- 1) Abbildung des gewünschten Realitätsausschnitts mit Hilfe eines Modells, so gut es die Daten zulassen
  - Abbildung der Veränderungen, die man selber beeinflussen kann und will
  - Prognose der exogenen Grössen, die man nicht innerhalb des Modells selber berechnet
  - Prognose der Veränderungen der Kosten und Nachfrage mit dem Modell

# Arbeitsansatz

---

1) Finde  $f(q'_{i,t,z0} (k'_{i,t,z0}, B_{og,z0}), A_{tog,z0})$ , so dass

$$\begin{aligned} \sum h(q'_{i,t,z0} - q_{i,t,z0}) &\rightarrow \text{Min oder} \\ \sum h(k'_{i,t,z0} - k_{i,t,z0}) &\rightarrow \text{Min oder} \\ &\text{Mischung der beiden} \end{aligned}$$

$q_{i,t,z0}$  : Gemessene Nachfrage  
 $k_{i,t,z0}$  : Gemessene generalisierte Kosten

2) Berechne, finde, definiere  $B_{og,z1}$  und  $A_{i,tog,z1}$

3) Berechne

$$k'_{i,tog,z1} = f(q'_{i,t,z0} (k'_{i,t,z0}, B_{og,z0}), A_{tog,z0})$$

# Woraus besteht das Modell ?

---

- Definition der endogenen und exogenen Einflussgrößen
- Berücksichtigte Elemente und Dimensionen des Verhaltens
- Struktur, d.h. Aufteilung in Submodelle
- Berücksichtigte Einflussgrößen in den Submodellen
- Parameter der Einflussgrößen
- Vorschrift zum Finden von konsistenten  $k$  und  $q$

# Beispiel: Vier-Stufen-Ansatz der 50'iger Jahre

---

## Motorisierungsprognose

Verkehrserzeugung

$$e'_{iz} = f(B_{igz})$$

Verkehrsanziehung

$$a'_{jz} = f(B_{jgz}, A_{jz})$$

Verkehrsverteilung

$$q'_{ijz} = f(e'_{iz}, a'_{jz}, k''_{ij,(m),z})$$

Verkehrsmittelwahl

$$q'_{ijmz} = f(q'_{ijz}, k''_{ijm,z})$$

Wahl der  
Abfahrtszeit

$$q'_{tijmz} = f(q'_{ijmz}) \text{ (z.B. Spitzenstunde)}$$

Umlegung

$$q'_{tsrijmz} = f(q'_{tijmz}, k'_{tsrijmz})$$
$$k'_{tsrijmz} = f(q'_{tsrijmz})$$

# Vereinfachung

---

Oft können wir annehmen, dass das eine oder andere Teilmodell inelastisch ist:

$$k'_{i,togz} = f(q'_{i,togz}, A_{i,togz}) = \text{Konstant}$$

oder

$$q'_{i,togz} = f(k'_{i,togz}, B_{ogz}) = \text{Konstant}$$



# Mögliche Elemente eines Modells

---

## Einzelsubjekte:

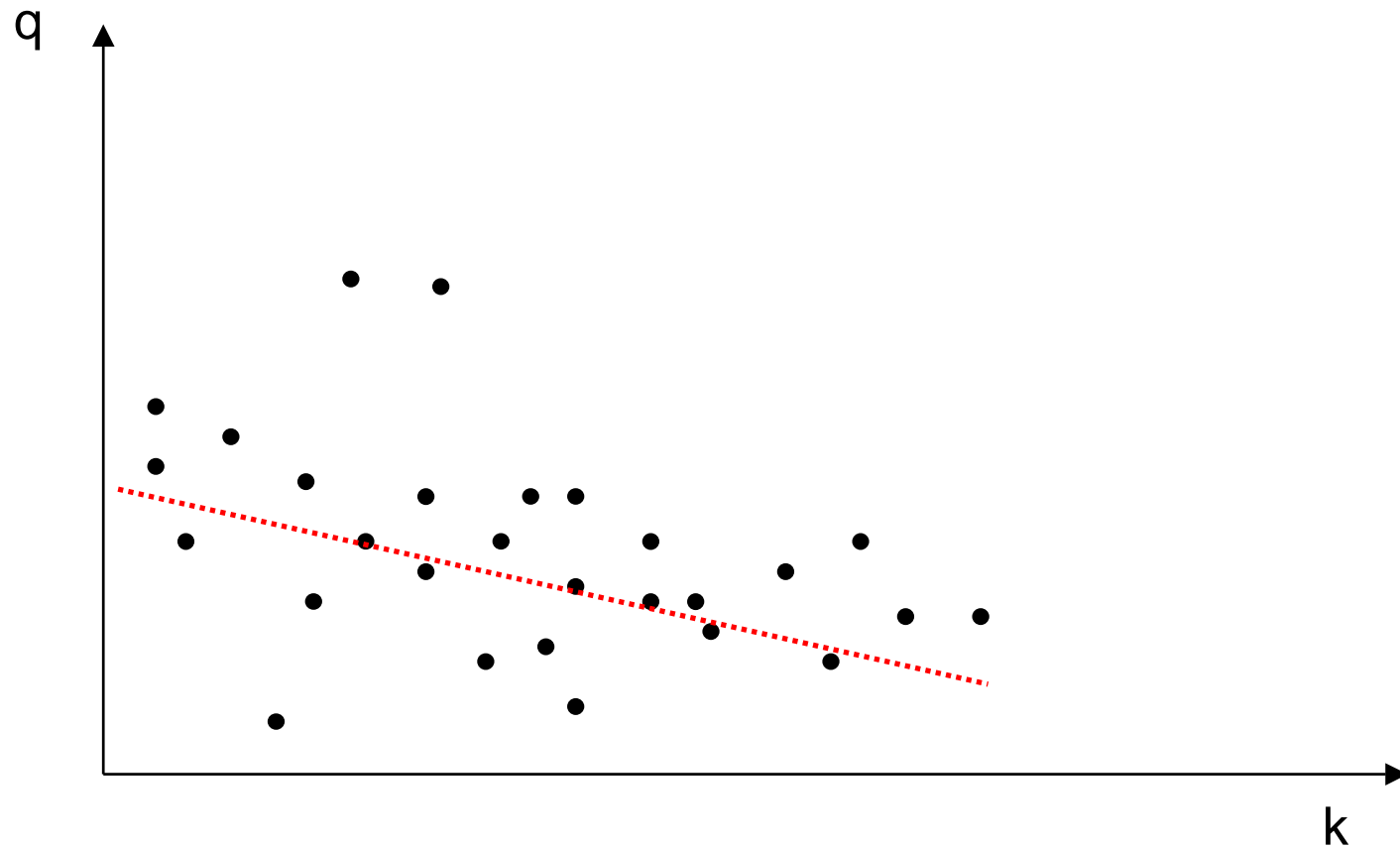
- Wege, Aktivitätsketten
- Personen
- Immobilien
- Entwickler

## Aggregate:

- Strecken und Knoten
- Marktanteile
- Zonen, Orte, Regionen

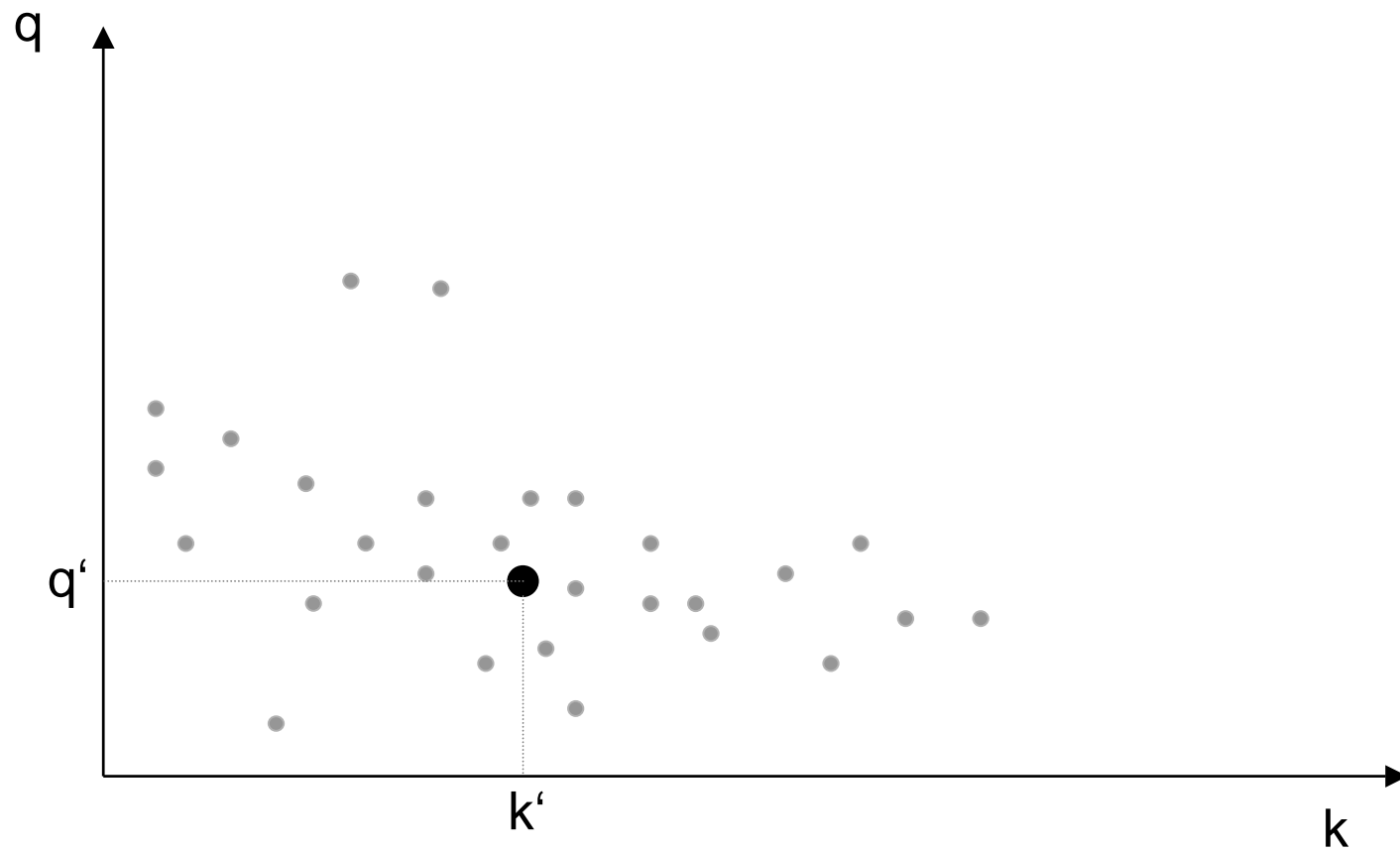
# Anwendung: Einzelelemente und lineare Regression

---



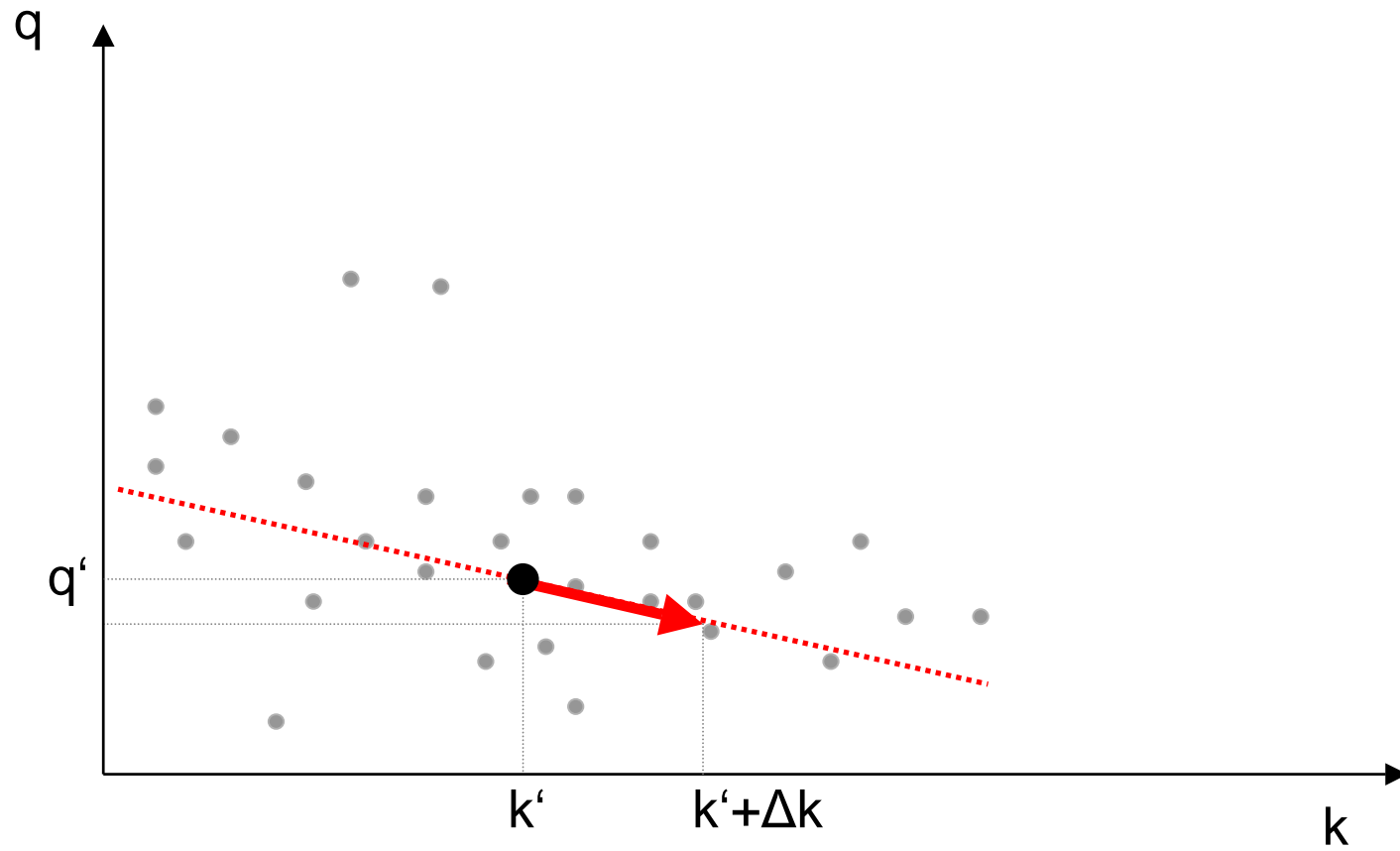
# Anwendung: Mittelwertbildung

---



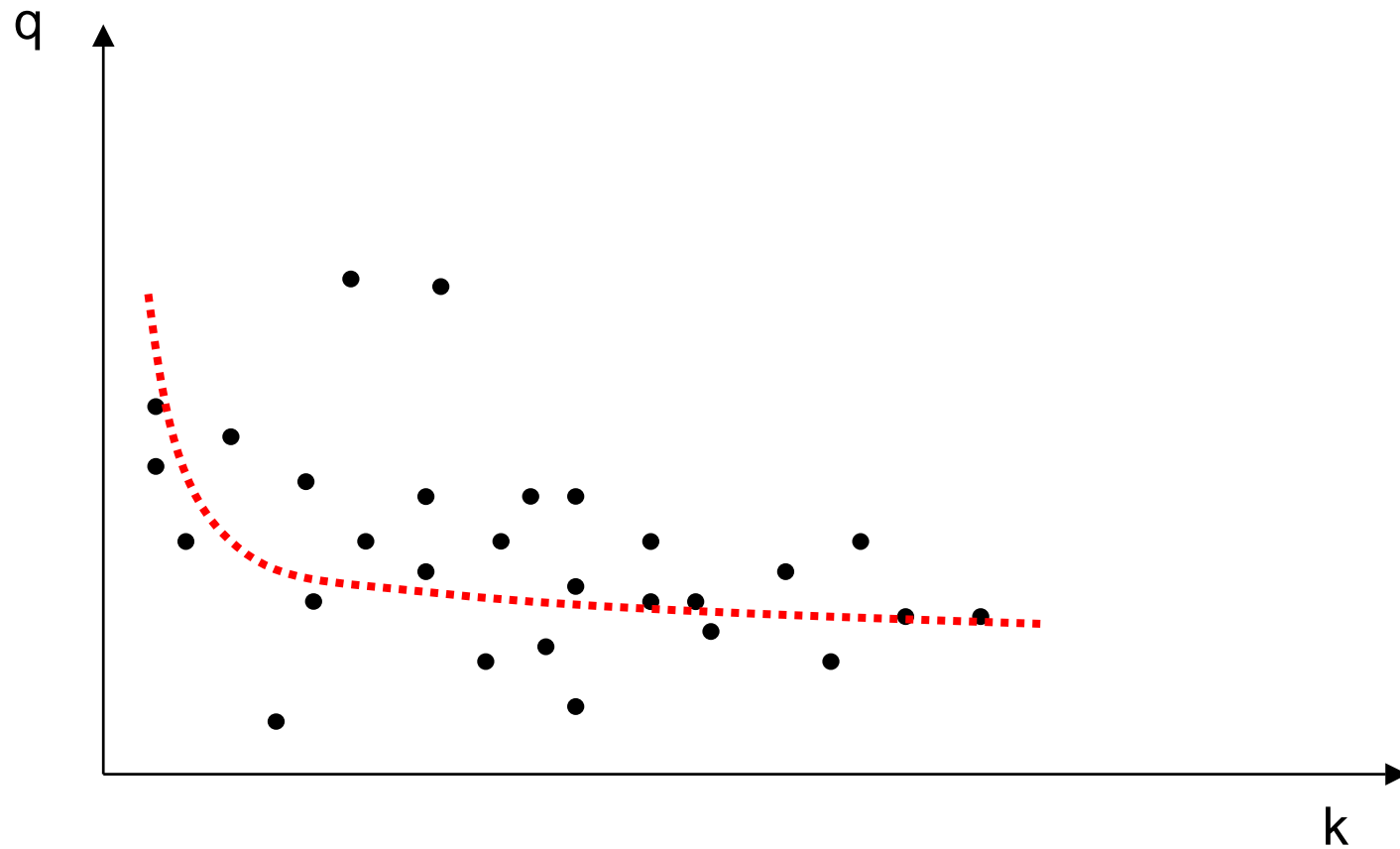
# Anwendung: Anwendung

---



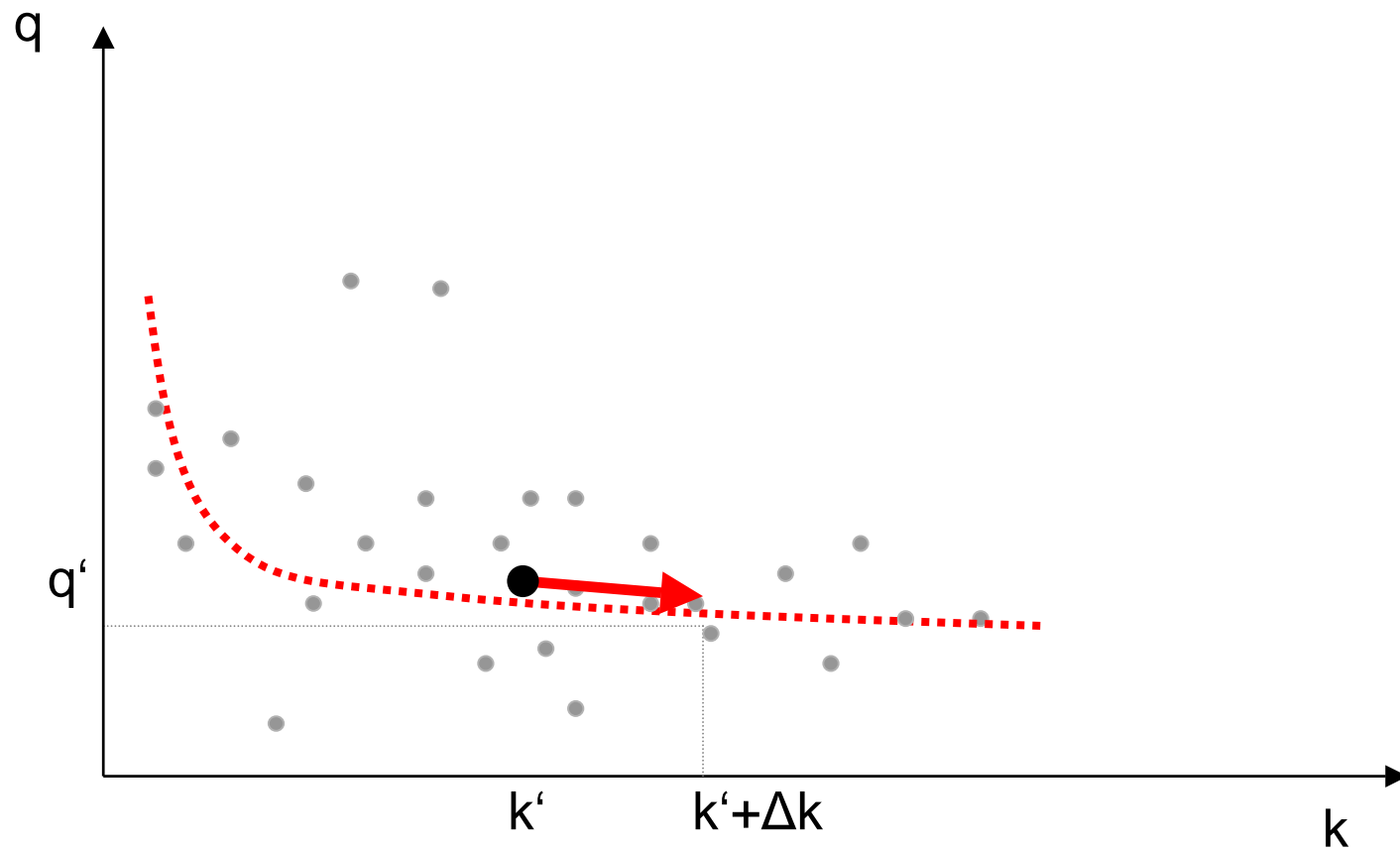
# Anwendung: Stichprobenauszahlung (*sample enumeration*)

---



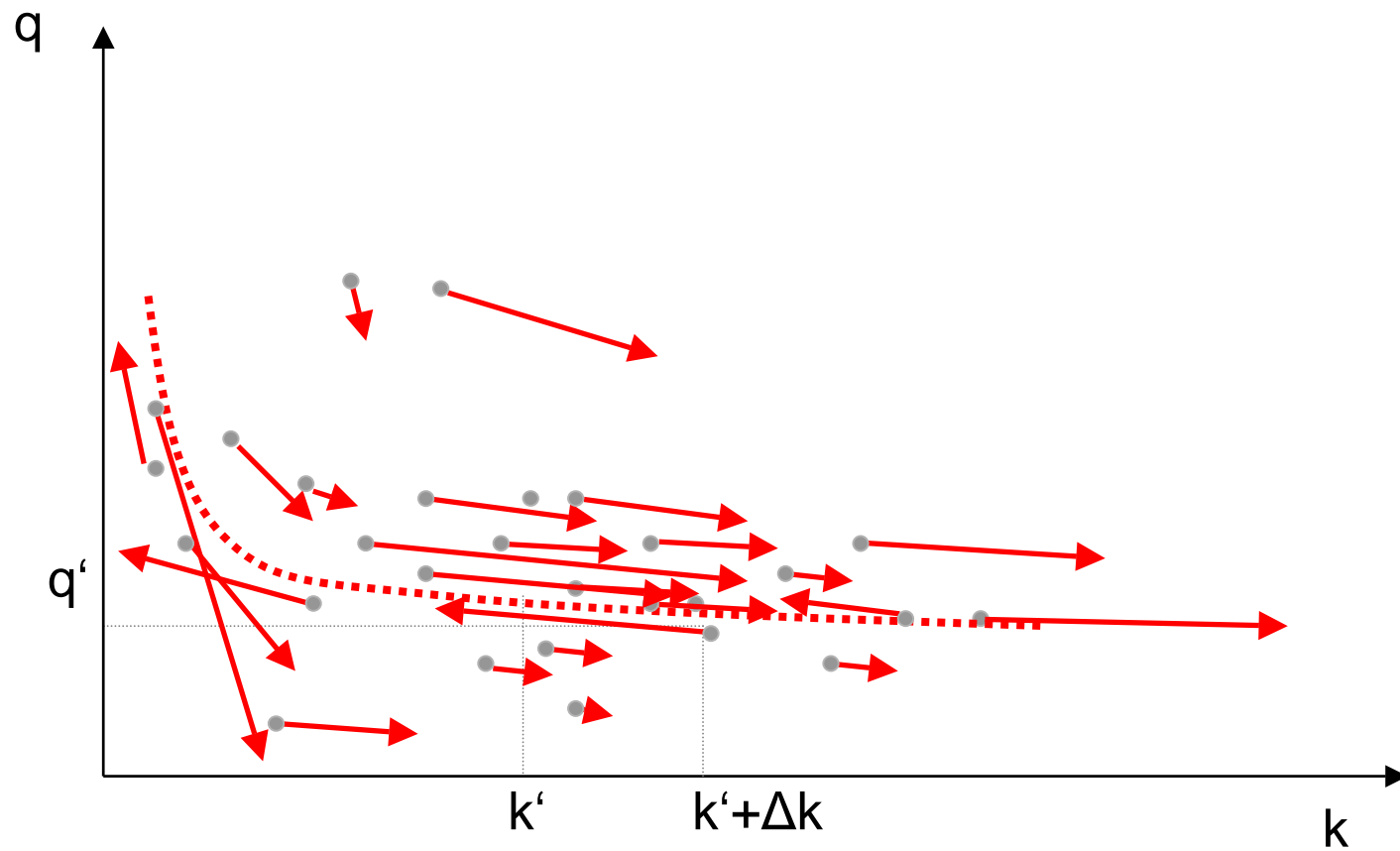
# Anwendung: Aggregierte Anwendung

---



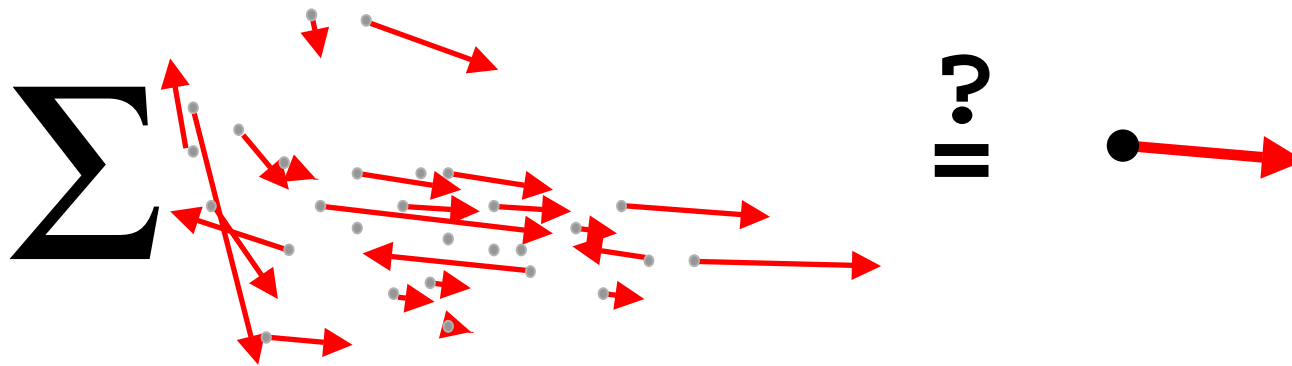
# Anwendung: Stichprobenauszahlung

---



# Aggregation oder Stichprobenauswertung ?

---





# Anwendung: Aggregation

---

## Minus:

- Verlust der Information über die Einzelelemente
- Nur bei linearen Modellen ist die Anwendung auf den Mittelwert equivalent zur Anwendung auf die Einzelelemente

## Plus

- Reduktion des Datenmanagements (Datenerhebung)
- Reduktion des Rechenaufwandes

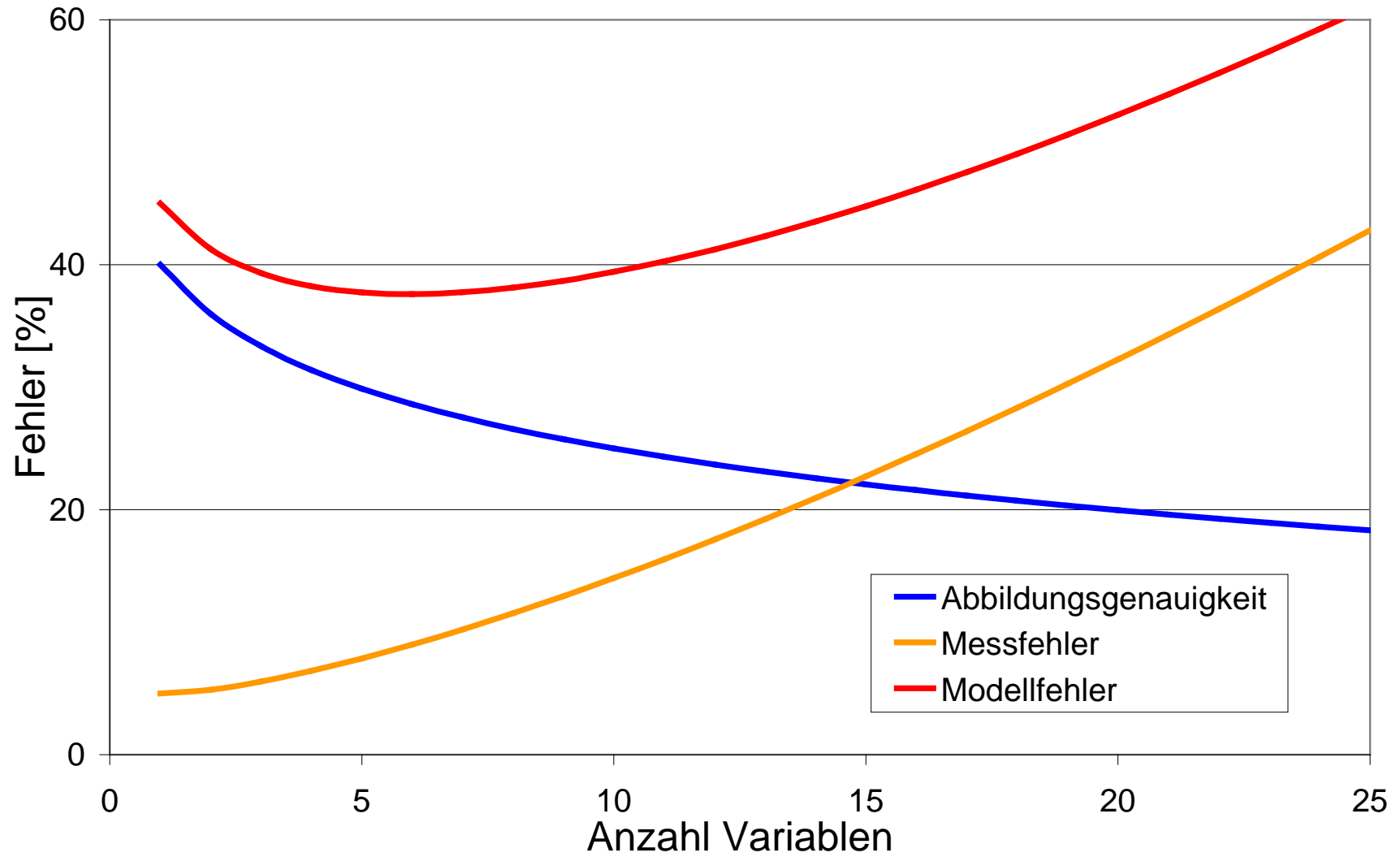
# Modellqualität

---

Zwei Abwägungen:

- Abwägung von Abbildungsfehler und Messfehler der notwendigen Variablen
- Berücksichtigung notwendiger Variablen
  - Zur Abbildung der geplanten Massnahme
  - Zur Abbildung relevanter Reaktionen

# Modellqualität



# Wann sollte man umfassend modellieren ?

---

Sollte der Aufwand proportional sein zu

- Grösse der Massnahme
- Schwierigkeit der Entscheidung
- Dauer der Wirkungen
- Ungleichheit der Verteilungswirkungen

?

# Nationales Verkehrsmodell

---

Auftraggeber: ARE, ASTRA, BAV

Auftragnehmer:

- IVT (Vrtic, Schüssler, Fröhlich)
- Emsch+Berger (Dasen)

Bezugszeitpunkt: 2000

Räumliche Auflösung: 3000 Gemeinden und Stadtkreise

## Verkehrserzeugung

---

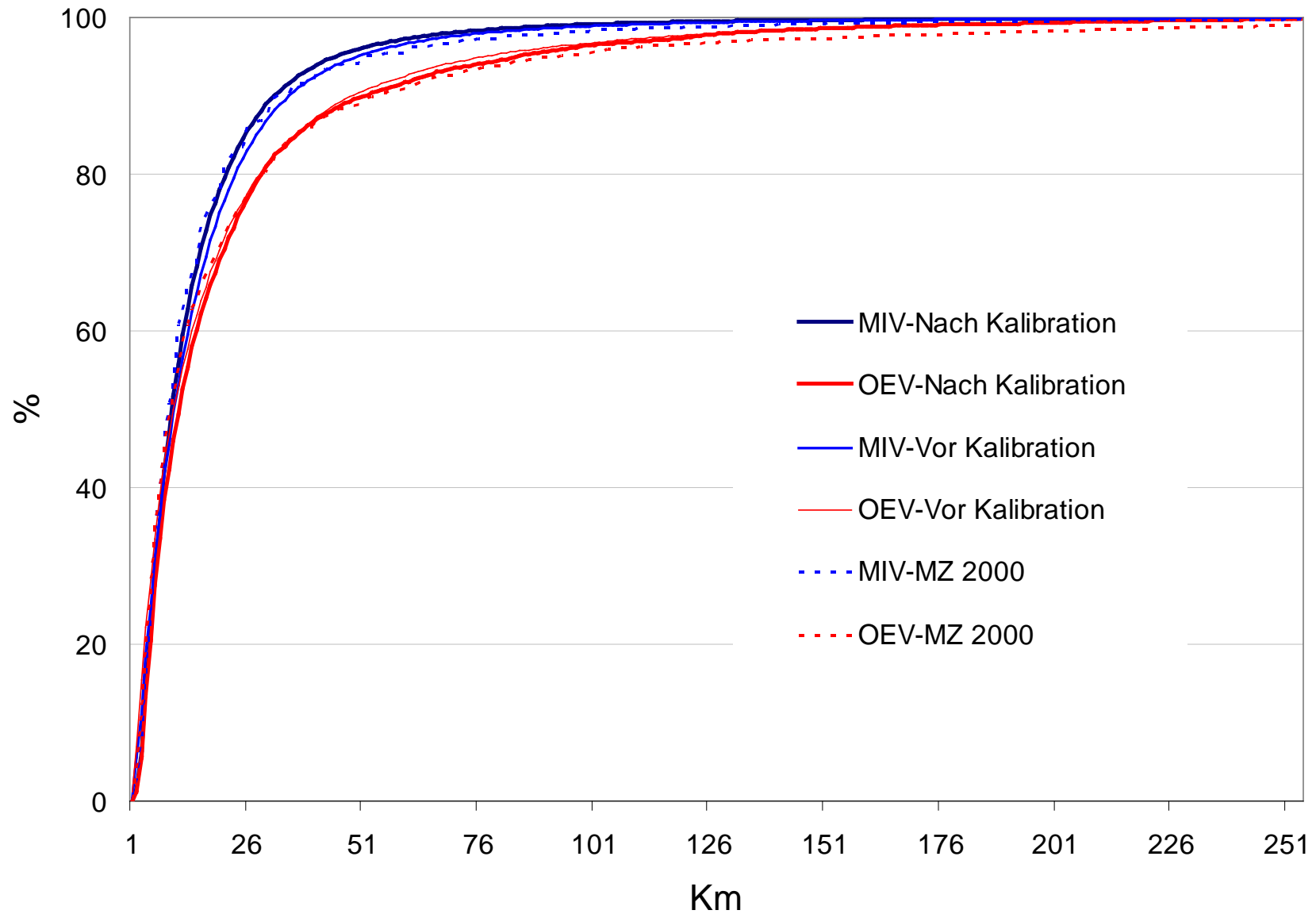
	Berechnete Wege in Mio. und [%]	MZ 2000 [%]
Arbeit	7,98 Mio. [28.1 %]	28.2
Ausbildung	2,91 Mio. [10.3 %]	10.3
Nutzfahrt	1,78 Mio. [6.3 %]	5.1
Einkauf	4,91 Mio. [17.3 %]	17.9
Freizeit, Sonstiges	10,80 Mio. [38.0 %]	38.5
Total	28,39 Mio. [100 %]	[100 %]

---

# Verkehrsmittelanteile in %

	Personen Wege			Personen Kilometer (Pkm)		
	MIV	ÖV	LIV	MIV	ÖV	LIV
	Alle Wege					
Arbeit	58,9	23,0	18,1	67,0	30,4	2,6
Ausbildung	6,9	26,3	66,8	13,0	65,9	21,1
Nutzfahrt	76,4	6,3	17,3	77,1	21,2	1,7
Einkauf	49,1	10,4	40,5	79,3	16,3	4,5
Freizeit	49,9	9,8	40,3	72,5	21,9	5,6
Summe	49,5	15,1	35,4	68,8	26,3	5,0
	Interzonale Wege					
Arbeit	70,8	25,7	3,6	68,9	30,4	0,8
Ausbildung	11,8	70,1	18,0	10,4	84,9	4,7
Nutzfahrt	87,0	7,9	5,2	77,7	21,6	0,7
Einkauf	70,0	14,5	15,5	81,0	16,2	2,8
Freizeit	68,6	14,1	17,3	73,6	23,1	3,3
Summe	67,9	20,5	11,6	70,5	27,3	2,2

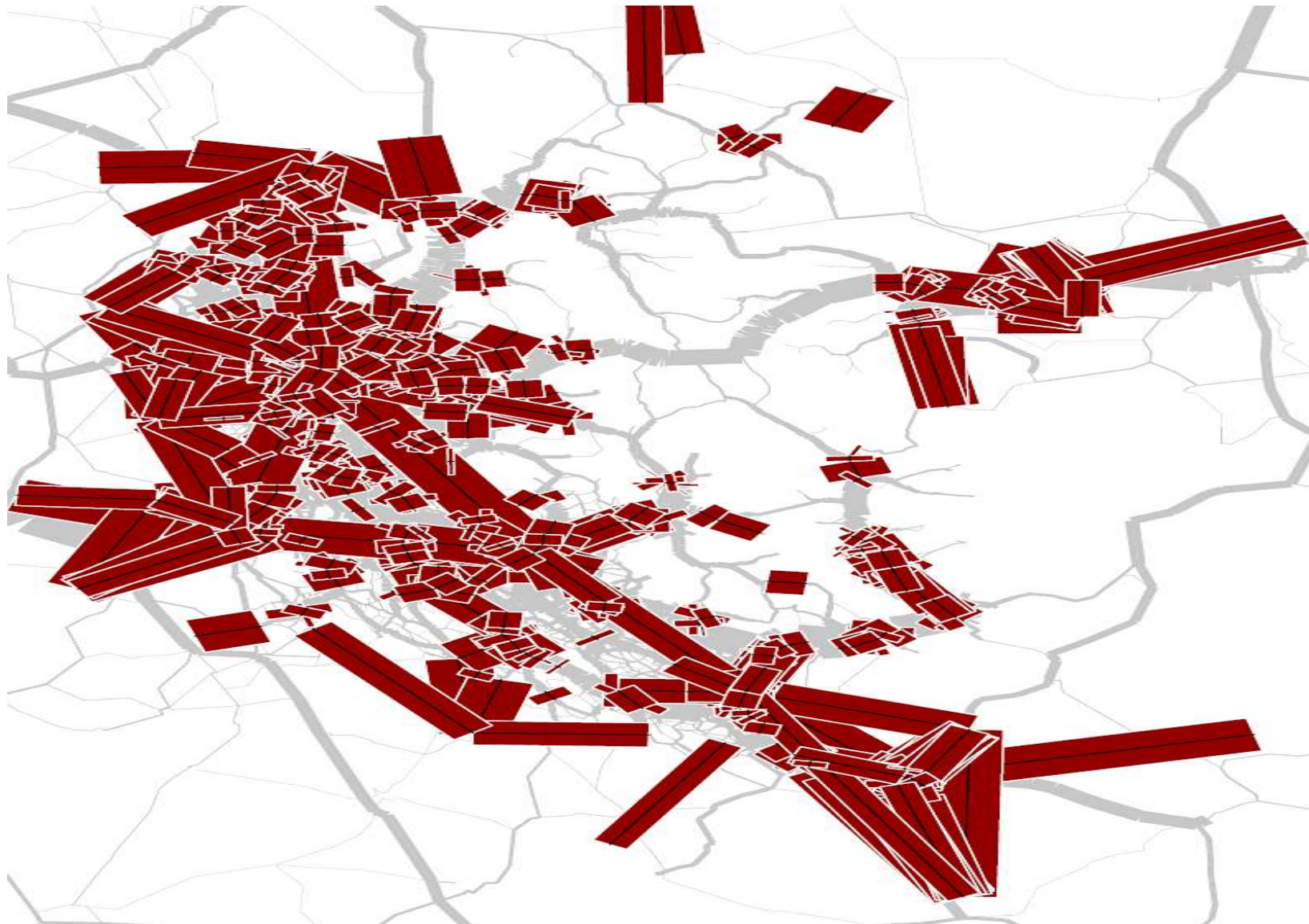
# Reiseweiteverteilung: Alle Zwecke





# PW - Verflechtungen über 2000 Fahrten/Tag

---



# ÖV - Verflechtungen über 500 Fahrten/Tag

---

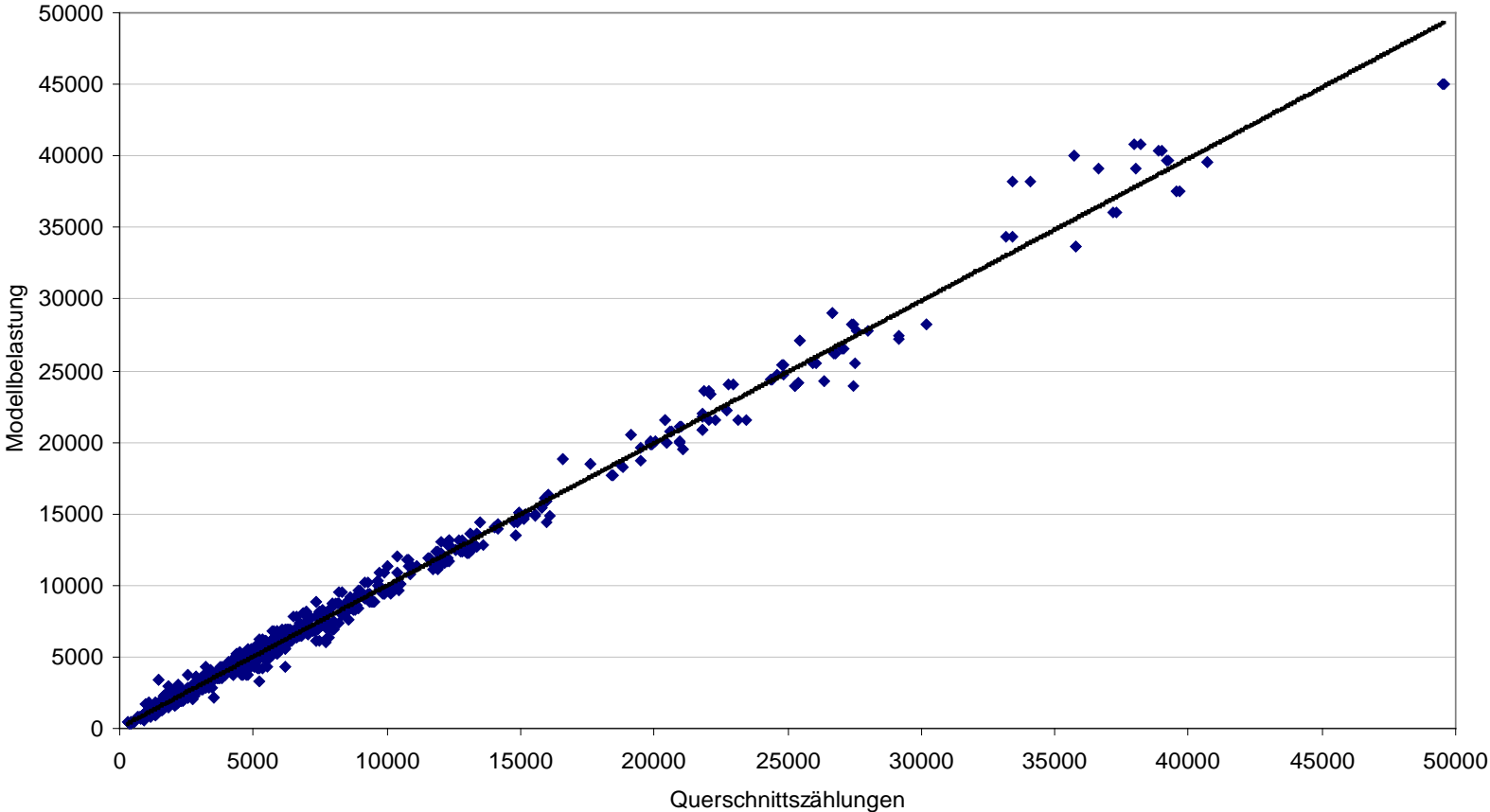


# Vergleich: Netzbelastungen/Querschnittszählungen

---

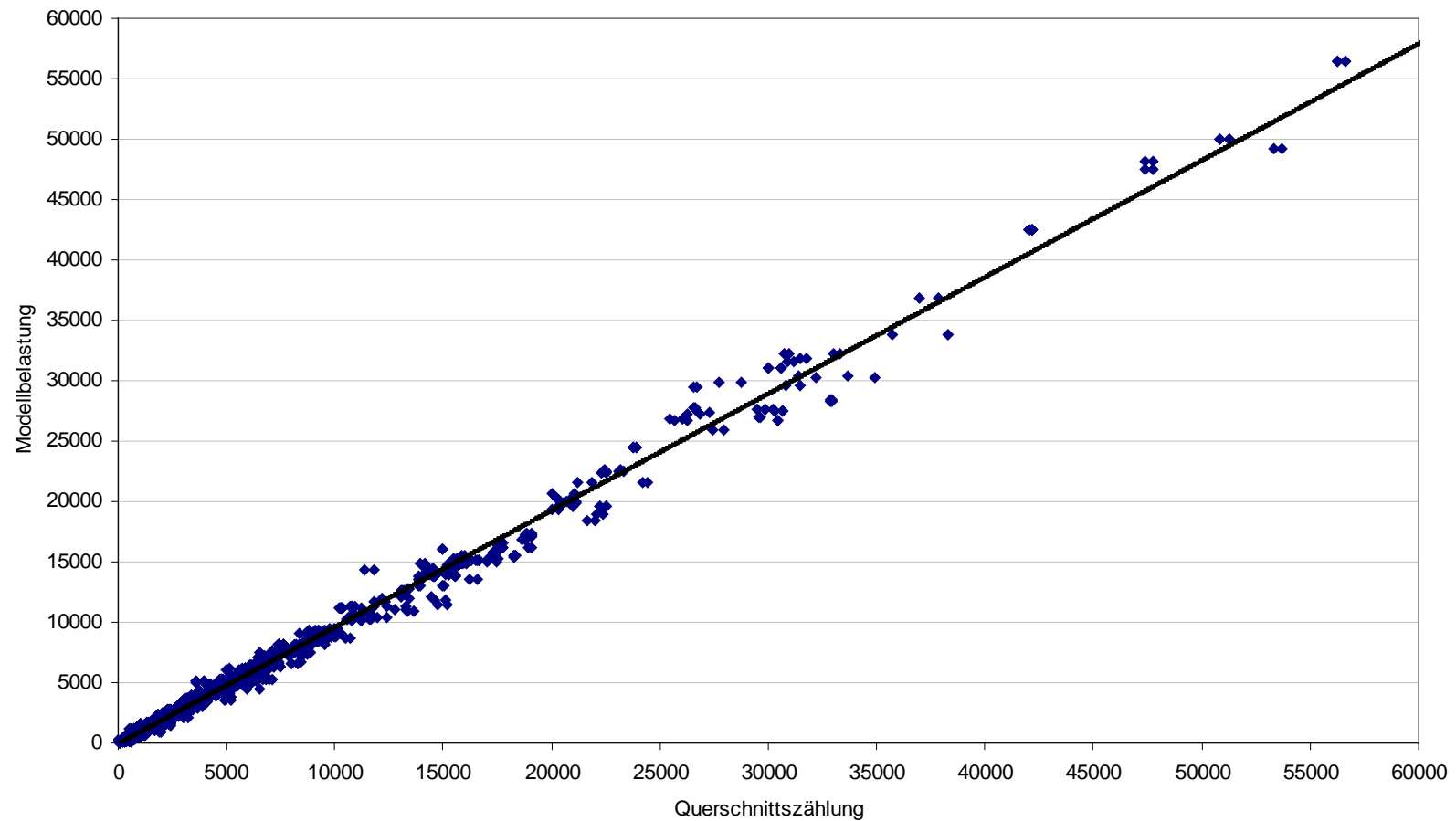
- Abweichungen:
  - MIV – Modell (602 Querschnitten) **5,97%**
  - ÖV – Modell (1210 Querschnitten) **7,68%**
- Korrelationskoeffizient
  - MIV – Modell **0,9938**
  - ÖV – Modell **0,9968**

# Netzbelastungen/Querschnittszählungen: MIV



# Netzbelastungen/Querschnittszählungen: ÖV

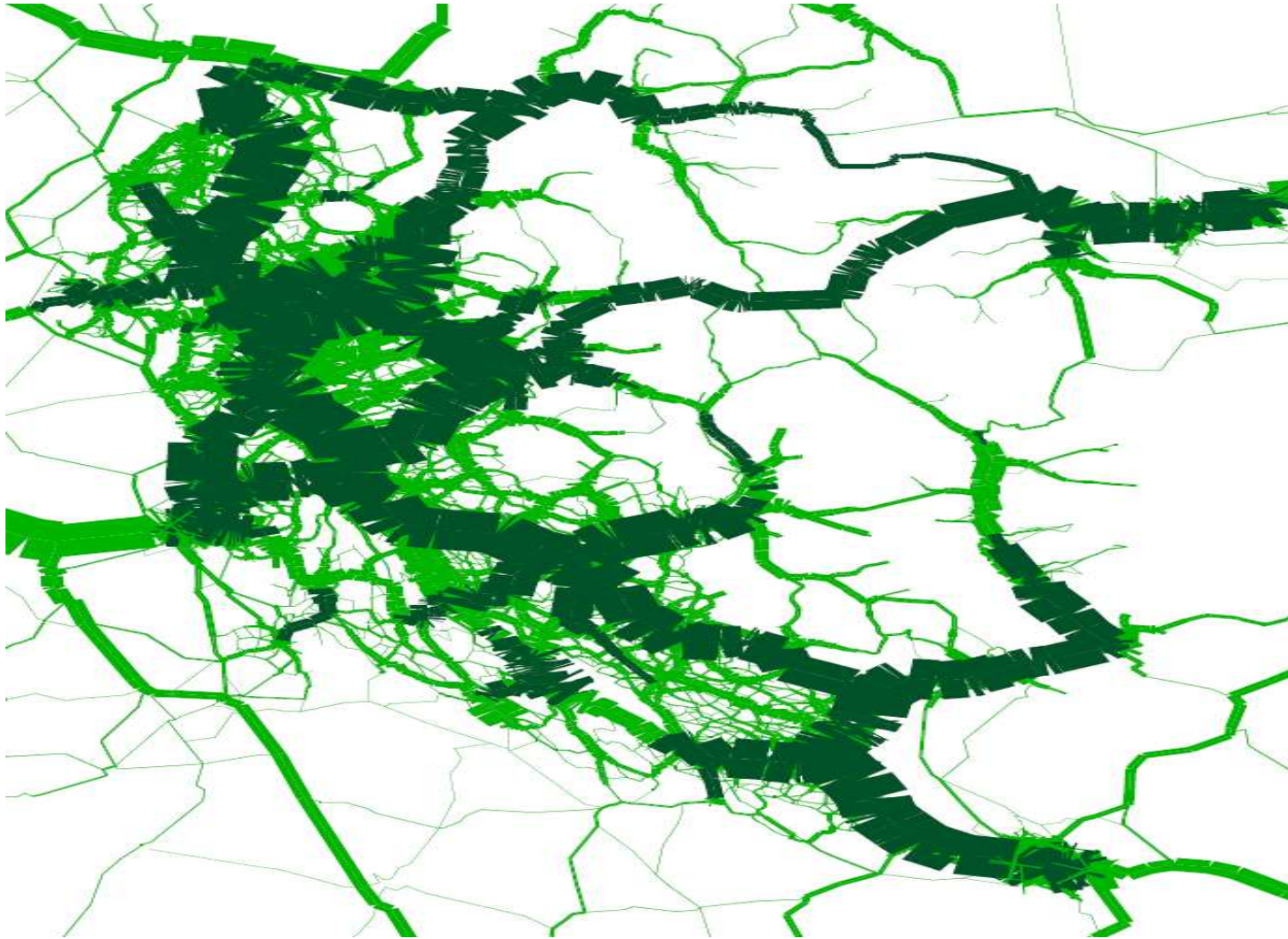
---





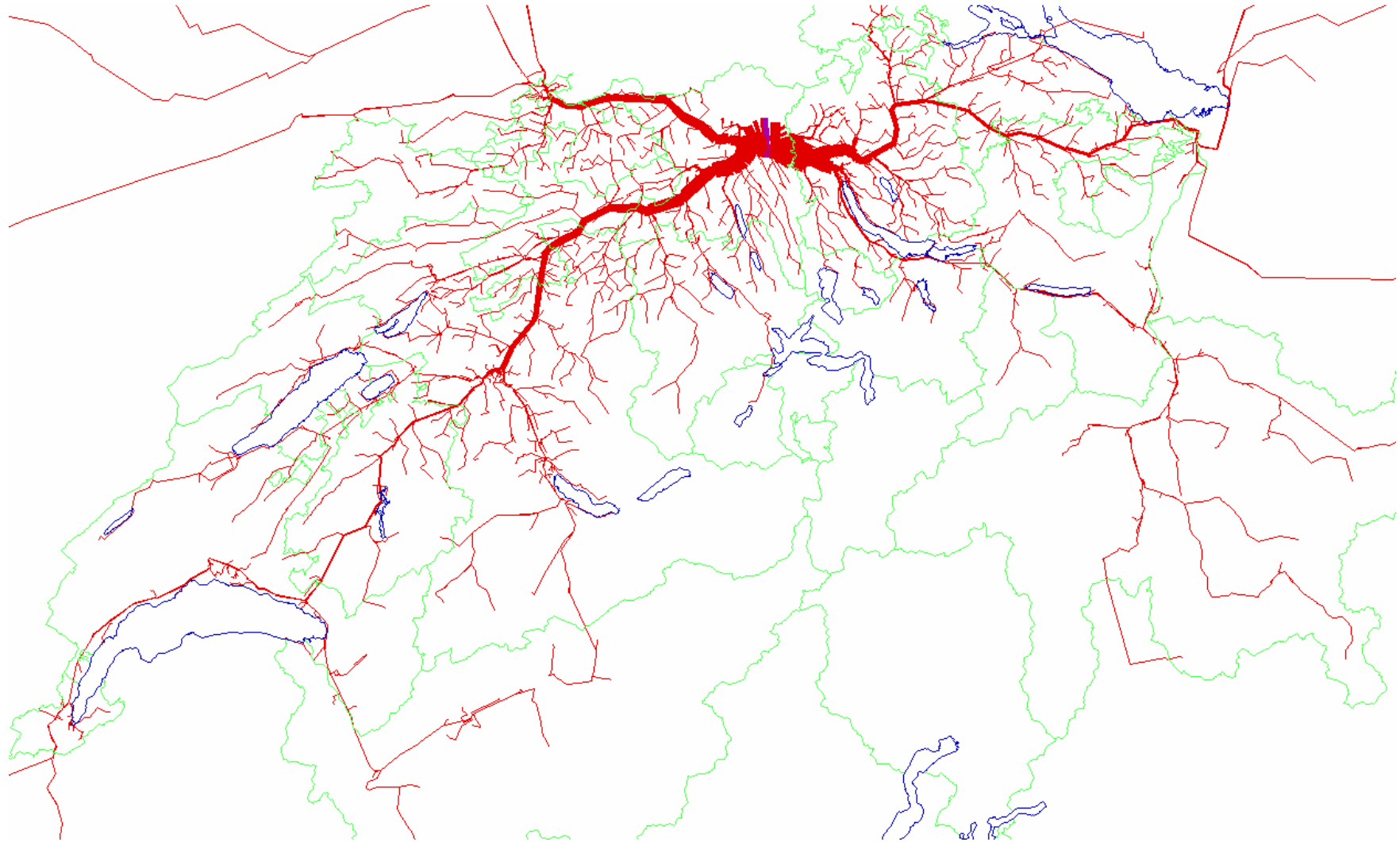
# Belastungen Strassennetz

---



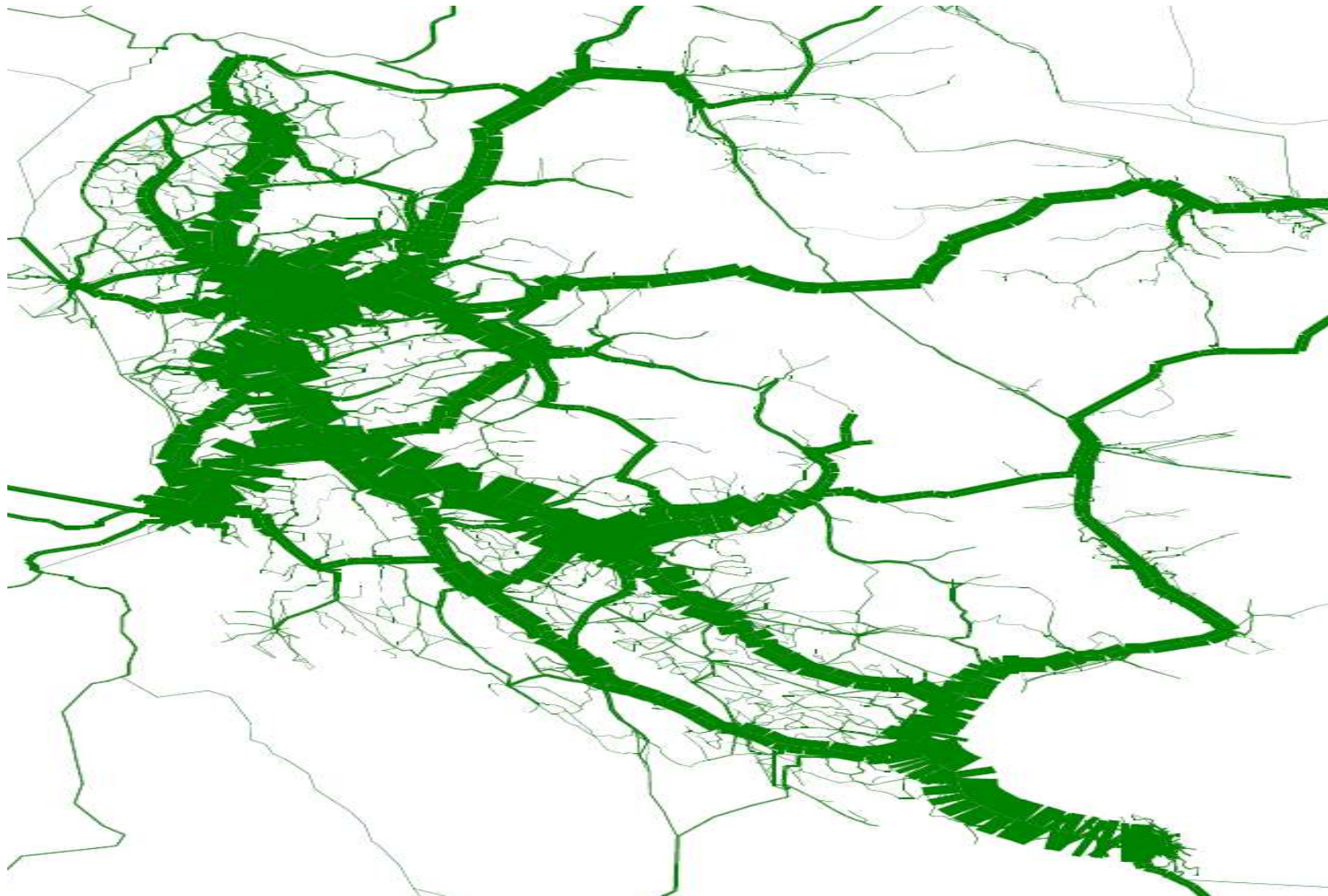
# Spinnenanalyse MIV (Baregg-Tunnel)

---



# Belastungen Schienennetz

---





# Spinnenanalyse ÖV: Schlieren

---

