

Berücksichtigung der ÖV-Kapazitätsbeschränkungen bei der Moduswahl und Verkehrsumlegung in PTV VISUM

Dr. Arkadiusz Drabicki

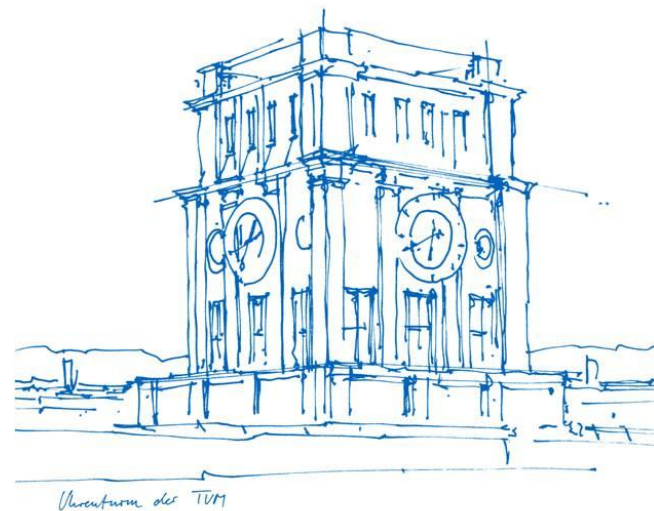
Prof. Dr. Constantinos Antoniou

Technische Universität München

Lehrstuhl für Vernetzte Verkehrssysteme

i.Z.m. Jagiellonen-Universität & Gradiens GmbH (Polen)

PTV Mobility Anwenderseminar, Hannover, 20. Mai 2026



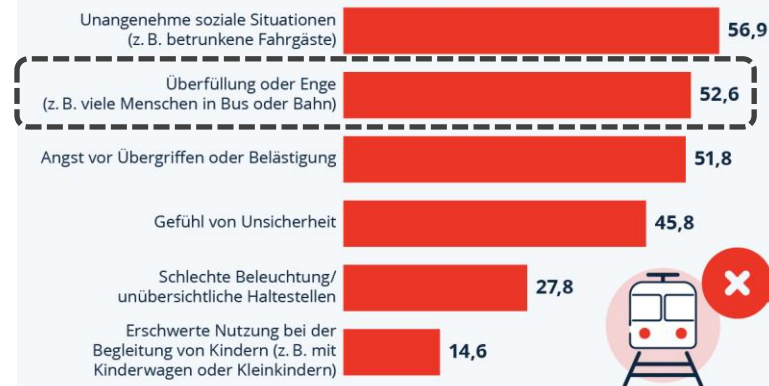


Die S-Bahn München und ihr Streckennetz

Bei ihrer Inbetriebnahme im Mai 1972 war die S-Bahn für rund 250.000 Fahrgäste pro Werktag konzipiert. Mittlerweile fahren an Werktagen aber bis zu 840.000 Fahrgäste mit der S-Bahn.

Menschen meiden ÖPNV wegen anderer Menschen

Anteil der Befragten, die den öffentlichen Nahverkehr aus folgenden Gründen meiden (in %)



Basis: 701 Befragte (ab 18 Jahren) in Deutschland, die den ÖPNV im Alltag nutzen, aber zu bestimmten Tageszeiten/Situationen meiden; April 2025
Quelle: Mobilität in Zahlen 2025



ZUKUNFT
NAH
VERKEHR

brandeins

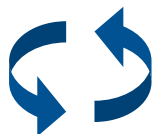
statista

Hauptkonsequenzen der begrenzten ÖV-Kapazität und Fahrgastüberfüllung?

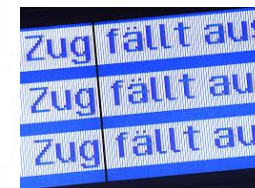
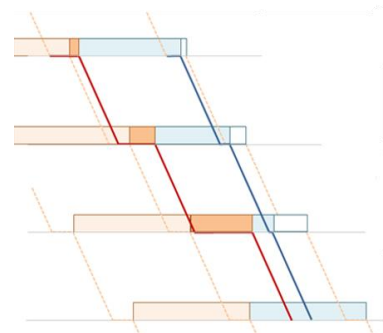
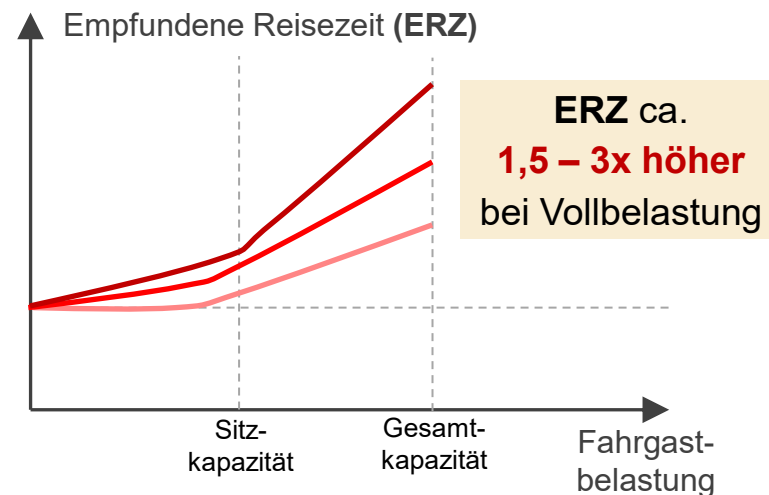
- laut (Cats, West & Elliasson, 2016)

- sinkender **Reisekomfort**
- Risiko des **verweigeren Zustiegs**
- **Wechselwirkungen** zwischen den:

ÖV-Nachfrage
(Fahrgäste)



ÖV-Angebot
(Fahrzeuge)



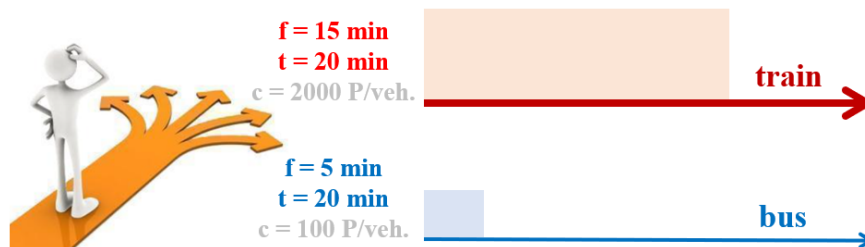
Keine ÖV-Kapazitätsschranke im Verkehrsmodell → Risiken?

- **überschätze** ÖV-Leistungsfähigkeit oder -Zuverlässigkeit
- **unterschätze** Wirkung der ÖV-Taktverdichtung oder -Kapazitätserhöhung

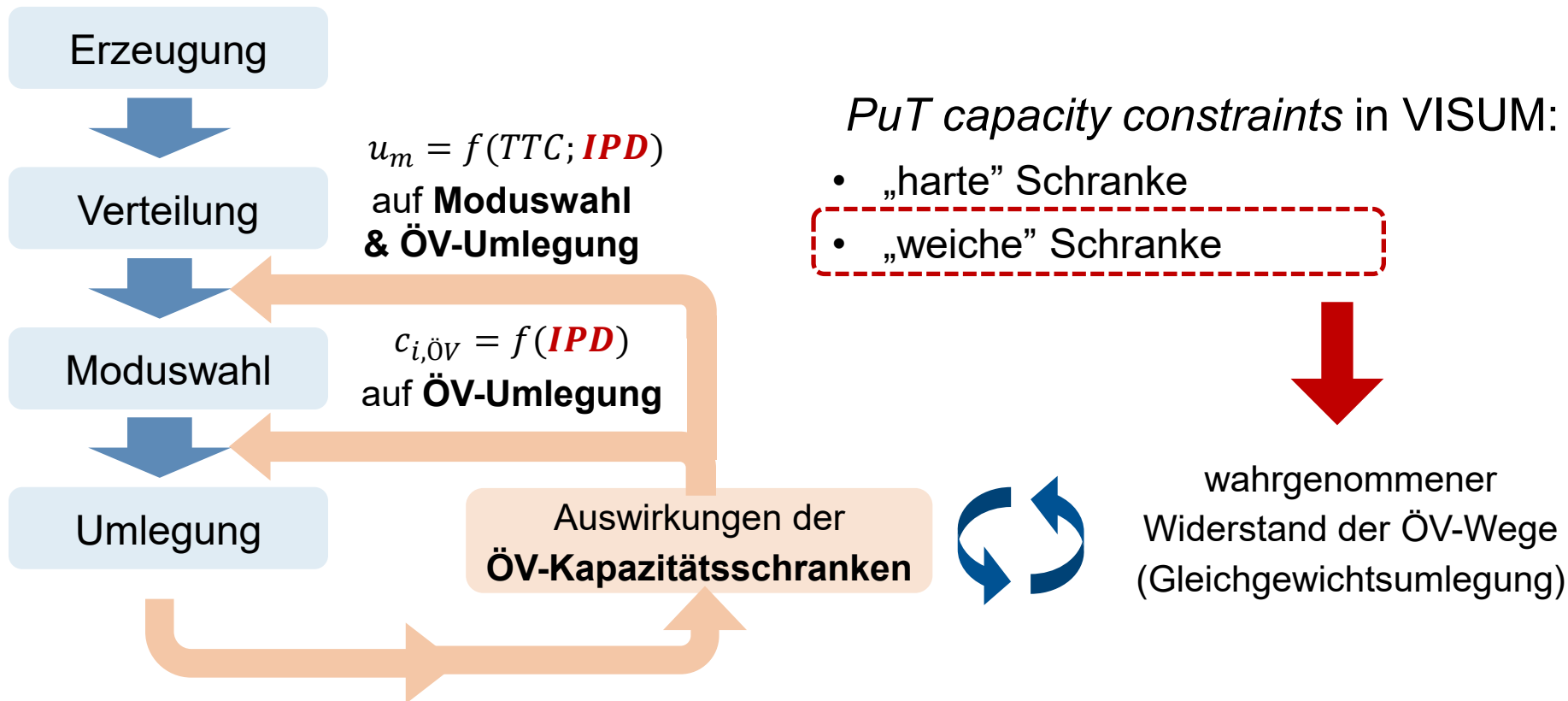


*models insensitive to (over)crowding may underestimate the benefits of new PT investments **by 30 – 60% in urban areas***

(Tirachini et al., 2013; Batarce et al., 2016; Cats et al., 2016)



ÖV-Kapazitätsschranke im 4-Stufen-Modell



ÖV-Kapazitätsbeschränkungen in PTV VISUM



(Fahrplanfeines) ÖV-Umlegungsverfahren:

ÖV-Gesamtwiderstand
(bzw. Aufwand, GJT):

Impedance =

nbe	Coefficient	Attribute
	1.00	PJT [min]
+	0.00	Fare
+	1.00	DeltaT(early) [min]
+	1.00	DeltaT(late) [min]
+	1.00	Vol/cap ratio-dependent impedance

Parameters: Assignment procedure: Timetable-based

Search

- Branch and Bound search
 - Dominance
 - Shortest path search
 - Dominance of equivalent connections
 - Enforced supply
 - Preselection
 - Impedance
 - Choice
 - Skim matrices
- Extended consideration transport supply
 - Iterations**
 - Vol/cap ratio dependent impedance vehicle journeys
 - Sharing in general
 - Vol/cap ratio-dependent impedance sharing
 - DRT in general
 - DRT initial values
 - DRT output
 - DRT tours
 - DRT tour planning
 - DRT locations
 - Impedance DRT supply variability
 - Headway-based supply
 - Connection export
 - Risk of delay
 - Fail to board

Iterations

Search

After the connection search, the demand is assigned successively to the found paths to avoid unrealistic congestion.

Number of assigned demand shares:

Number of iterations with path search:

Termination conditions

Maximum number of iterations without a new path search:

The following applies to all OD pairs for the connection volumes $B(V,i)$ at time step i with regard to the smoothed values B^* :

$\text{Sum_V} \mid B(V,i) - B^*(V,i-1) \mid < 0.01 \cdot 2 \cdot \text{total demand}$

Smoothing method

Applied smoothing method:

The smoothed volume of a connection V in iteration i is obtained by:

$$W_{V,i}^g = \frac{i}{i+1} \cdot W_{V,i-1}^g + \frac{1}{i+1} \cdot W_{V,i}$$

Kapazitätsbezogene ÖV-Widerstandsfunktionen im VISUM:

- (1.) **DB-Funktion**

Parameters Impedance function DB

The expected standing minutes of a connection V match the mean value of the minutes a passenger has no seat during his journey if the passengers have random access to the seats on each vehicle journey item.

The standing probability S on a vehicle journey item v results from the vol/cap ratio A on v:

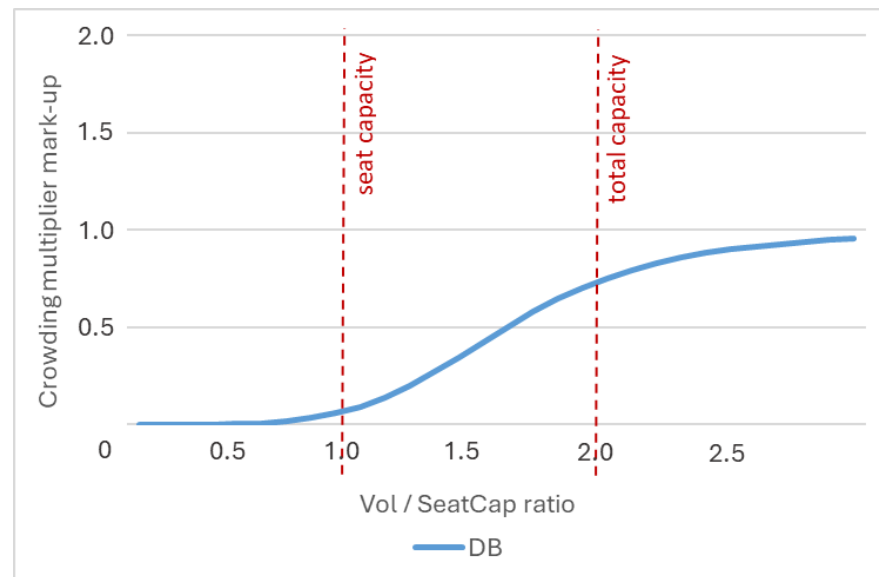
$$S_v = \frac{1}{1 + b \cdot A_v^a}$$

a = -4.9000

b = 9.8000

The expected standing minutes W of a connection V are calculated from the standing probability S and run time F of the individual vehicle journey items as follows:

$$W_V = \sum_{v \in V} S_v \cdot F_v$$



Kapazitätsbezogene ÖV-Widerstandsfunktionen im VISUM:

- (2.) **SBB-Funktion**

Parameters Impedance function SBB

The vol/cap ratio A of a vehicle journey item v is calculated from the volume of v and the attribute set under 'Seat capacity'. The vol/cap ratio-dependent impedance W of v is calculated based on its vol/cap ratio A as follows:

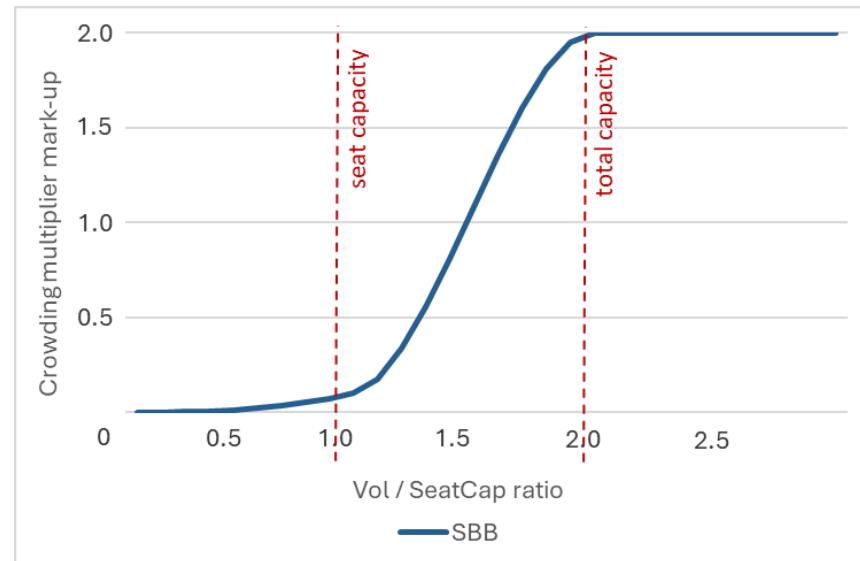
$$W_v = \begin{cases} a \cdot A_v^b & , A_v \leq l_1 \\ r + \alpha \cdot A_v + \beta \cdot A_v^2 + \gamma \cdot A_v^3 & , l_1 < A_v < l_2 \\ c & , A_v \geq l_2 \end{cases}$$

$a = 0.1000$
 $b = 3.0000$
 $c = 2.0000$
 $l_1 = 1.0000$
 $l_2 = 2.0000$

In the formula, the parameters r, α, β, γ are calculated from the other parameters.

The vol/cap ratio-dependent impedance W of a connection V is calculated from the impedance W and the run time F of the individual vehicle journey items according to:

$$W_V = \sum_{v \in V} W_v \cdot F_v$$



Kapazitätsbezogene ÖV-Widerstandsfunktionen im VISUM:

- (3.) **Lineare Funktion**

Parameters Impedance function Linear

The vol/cap ratio A of a vehicle journey item v is calculated from the volume of v and the attribute set under 'Seat capacity'. The vol/cap ratio-dependent impedance W of v is calculated based on its vol/cap ratio A as follows:

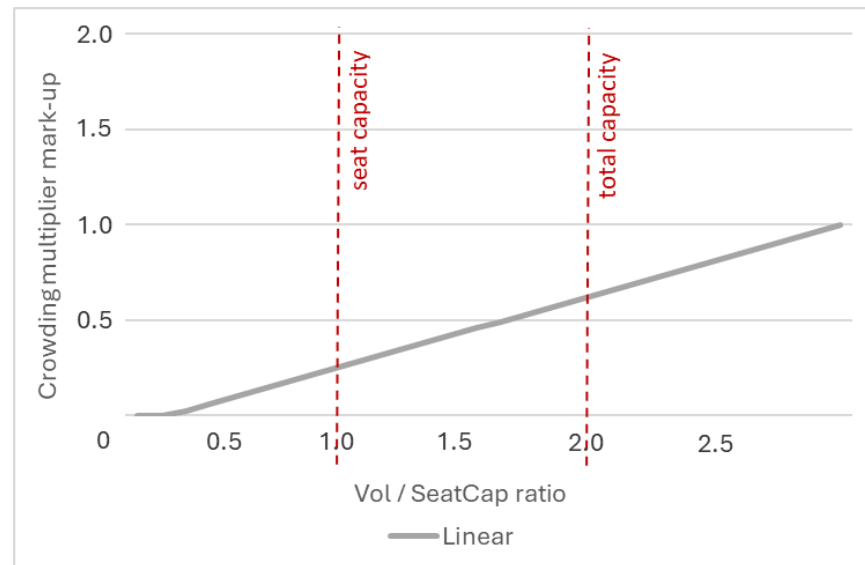
$$W_v = \max(0, a \cdot A_v + b)$$

a = 0.3600

b = -0.0828

The vol/cap ratio-dependent impedance W of a connection V is calculated from the impedance W and the run time F of the individual vehicle journey items according to:

$$W_V = \sum_{v \in V} W_v \cdot F_v$$



Kapazitätsbezogene ÖV-Widerstandsfunktionen im VISUM:

- (4.) **DGTM-CGSP-Funktion**

Parameters Impedance function DGITM - CGSP (France)

The vol/cap ratio-dependent impedance W of a vehicle journey item v is calculated from its volume B as follows:

$$W_v = \begin{cases} k_{\text{Seat}} & [\text{applies to Num_Stand} = 0] \\ (k_{\text{Seat}} * \text{Num_Seat} + k_{\text{Stand}} * \text{Num_Stand}) / B & [\text{applies to Num_Stand} > 0] \end{cases}$$

Num_Seats = Number of seated passengers in v

Num_Stand = Number of standing passengers in v

s = total capacity - seats (s = number of standing places)

d = 4.00/m² (d = maximum passenger density)

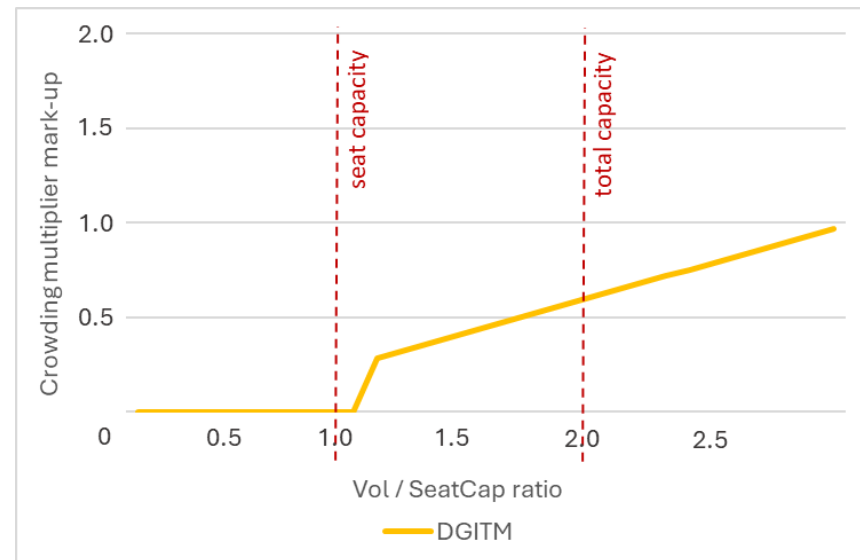
p = (Num_Stand / s) * d (p = number of standing passengers per m²)

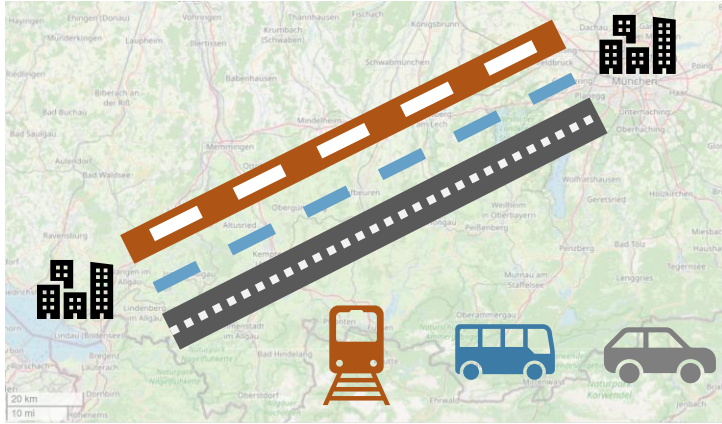
k_{Seat} = 0.0000 + 0.0800 * p

k_{Stand} = 0.2500 + 0.0900 * p

The vol/cap ratio-dependent impedance W of a connection V is calculated from the impedance W and the run time F of the individual vehicle journey items according to:

$$W_V = \sum_{v \in V} W_v \cdot F_v$$





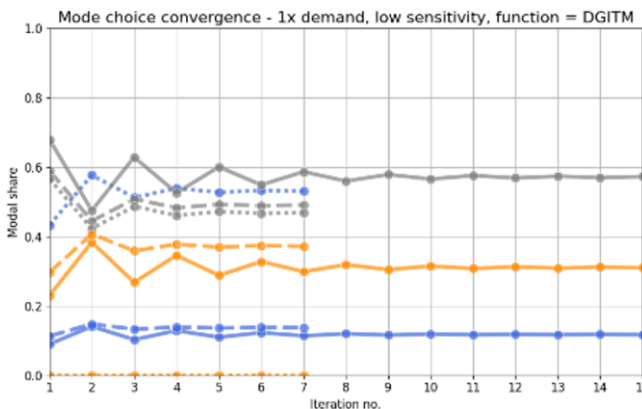
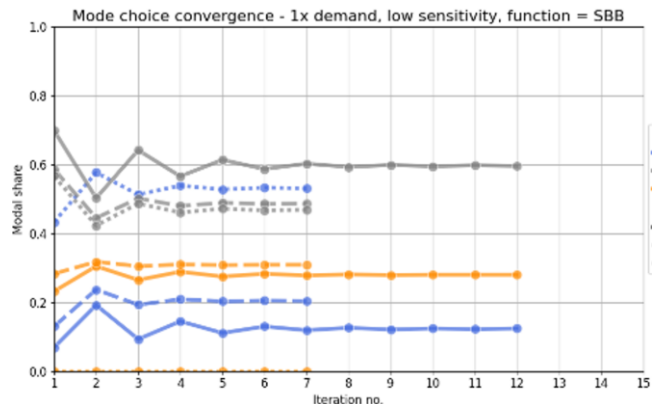
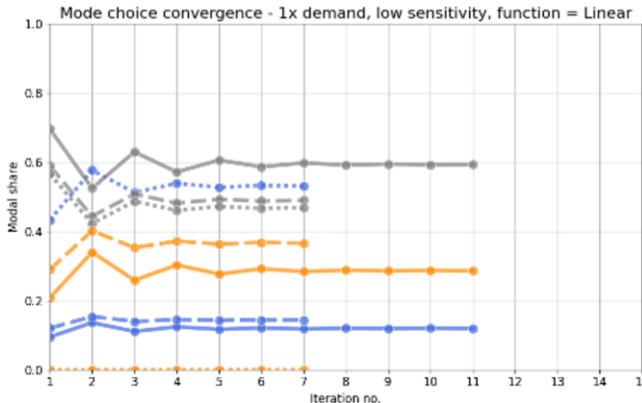
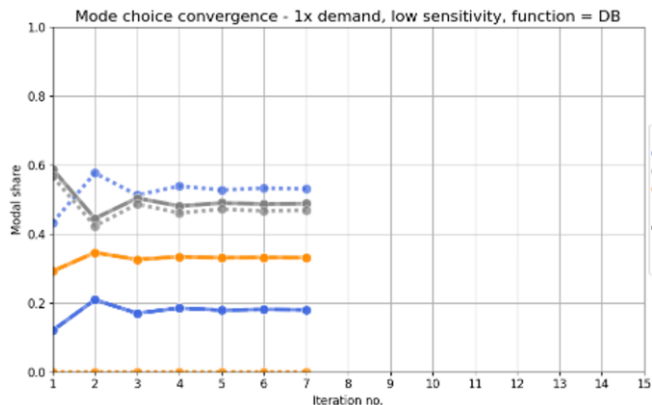
Einfaches *toy-network*-Modell:

- (nur eine) interurbane Q-Z-Beziehung: $l \approx 160 \text{ km}$
- Nachfrage: *5000 Wege / Std.*
- 3 Reisealternativen:
 - **Bahn:** $f = 30 \text{ Min.}$; $\text{Cap} = 1000 \text{ Fgst./Std.}$; $t_0 = 1,5 \text{ Std.}$
 - **Bus:** $f = 30 \text{ Min.}$; $\text{Cap} = 200 \text{ Fgst./Std.}$; $t_0 = 1,5 \text{ Std.}$
 - **Auto:** $\text{Cap} = 4000 \text{ Fzgj./Std.}$; $t_0 = 1,0 \text{ Std.}$

Berücksichtigung der weichen ÖV-Kapazitätsschranken...:

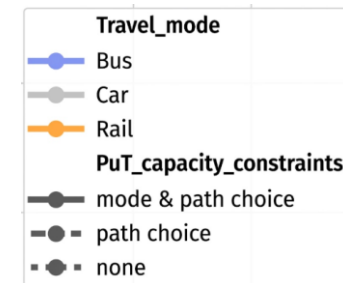
- **[-]**: keine
- **[P]**: in der Umlegung - *path choice*
- **[MP]**: in der Moduswahl und Umlegung - *mode & path choice*

Analysen (1) – Modal-Split-Konvergenz



Referenzfall

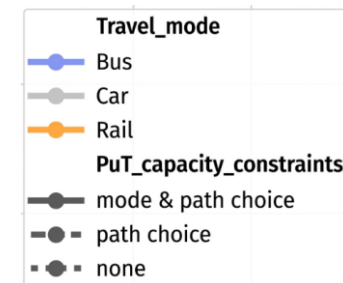
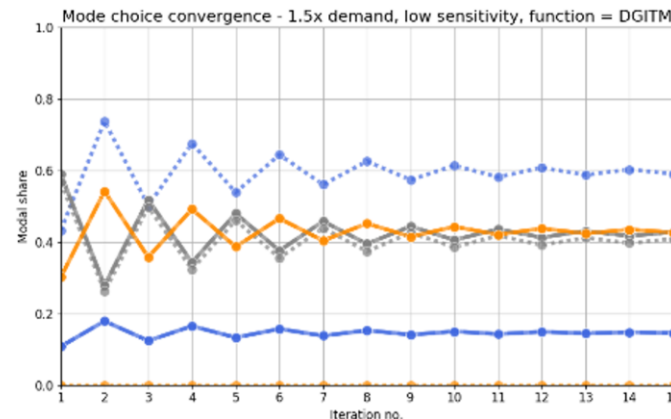
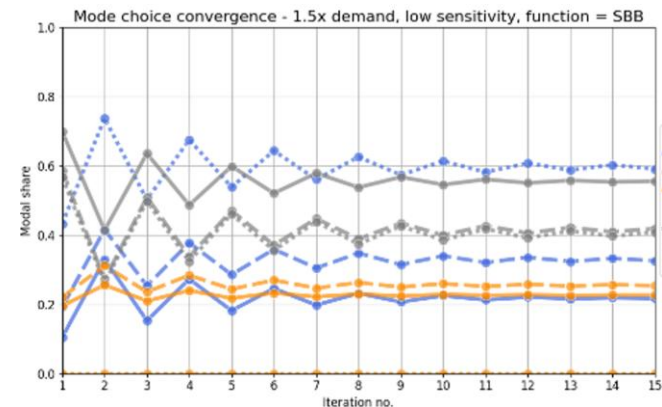
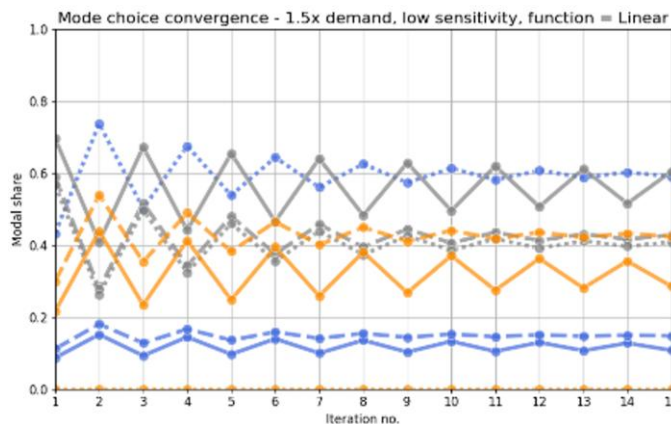
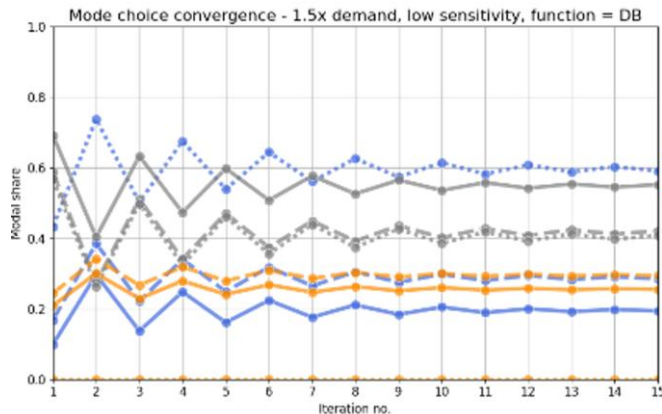
- Anzahl der benötigten Iterationen



Analysen (1) – Modal-Split-Konvergenz

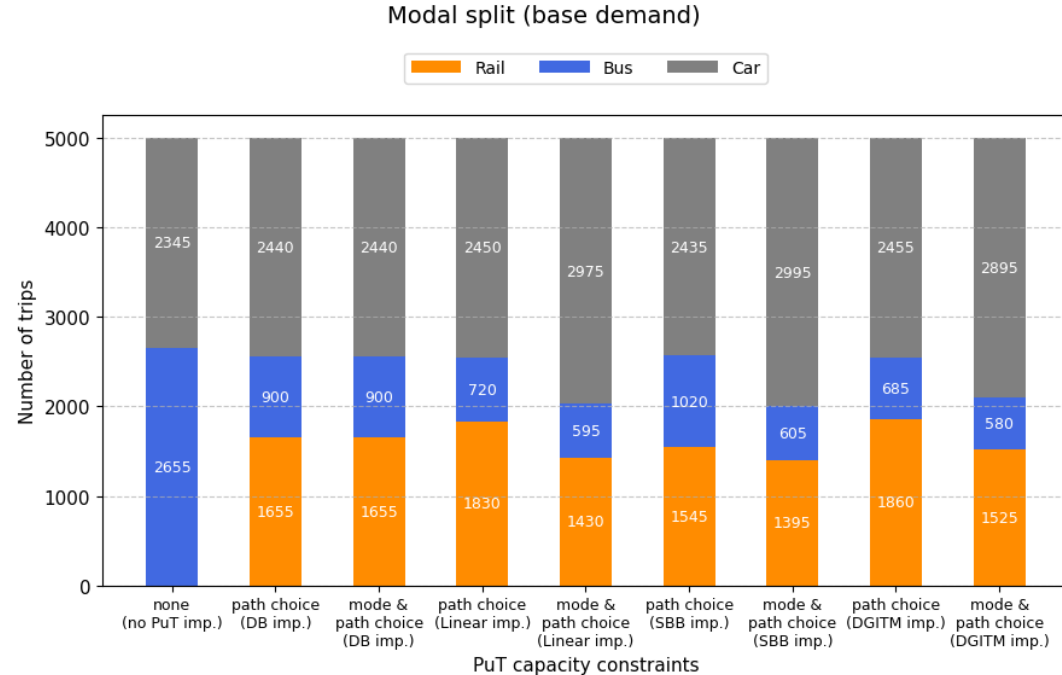
Nachfrage +50%

- Anzahl der benötigten Iterationen



Referenzfall:

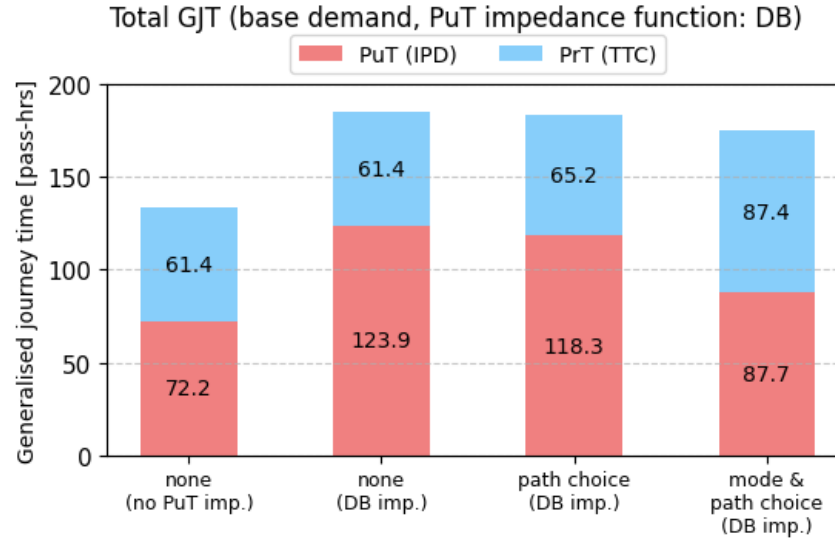
- **[ohne]** ÖV-Kapazitätsschranken:
→ Dominanz der *schnellsten* ÖV-Verbindung: **keine Bahnreisende**
- **mit** den ÖV-Kapazitätsschranken:
→ **Dominanz der Bahn** als *günstigsten* ÖV-Verbindung
→ aber im **[MP]**-Modell: etwa geringerer Anteil der Bahn (vs. **[P]**)



Analysen (1) – Ermittlung der Reisekosten



Referenzfall:
- wie groß ist
**der gesamte
Reiseaufwand
(GJT)?**



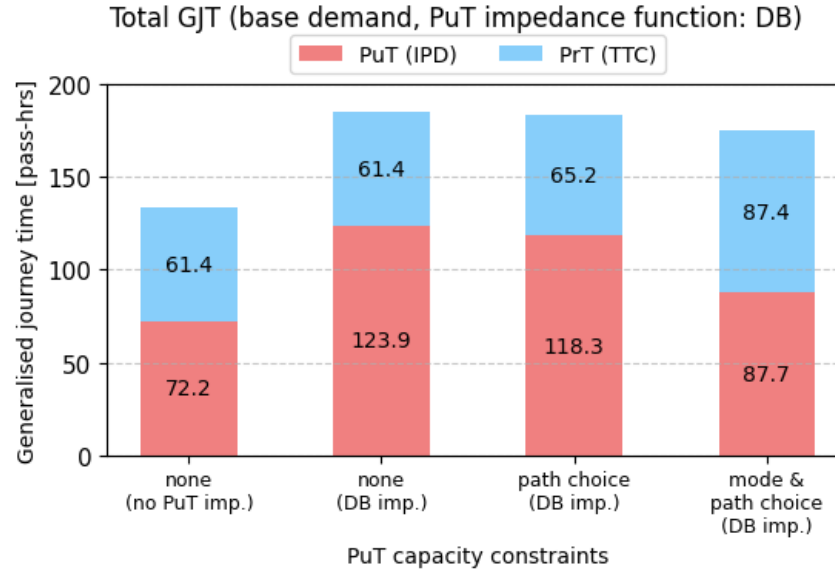
ohne ÖV-Kap.-
Schranken:

(anscheinendes)
Ergebnis

tatsächliche (GJT-)Kosten
→ **Unterschätzung auf der ÖV-Seite**

Analysen (1) – Ermittlung der Reisekosten

Referenzfall:
- wie groß ist
**der gesamte
Reiseaufwand
(GJT)?**



Einfluss der ÖV-
Kap.-Schranken:

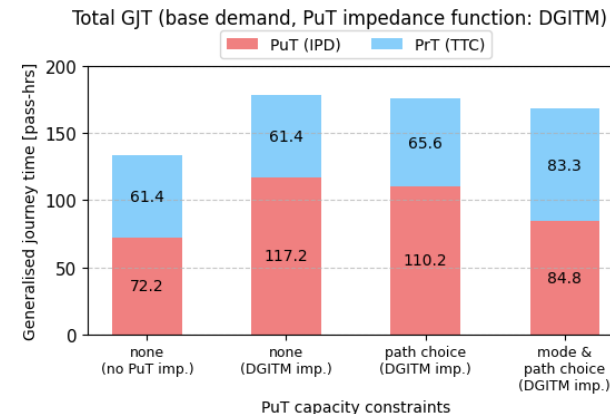
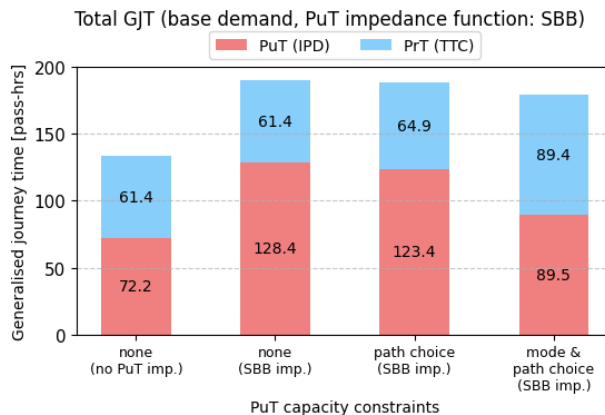
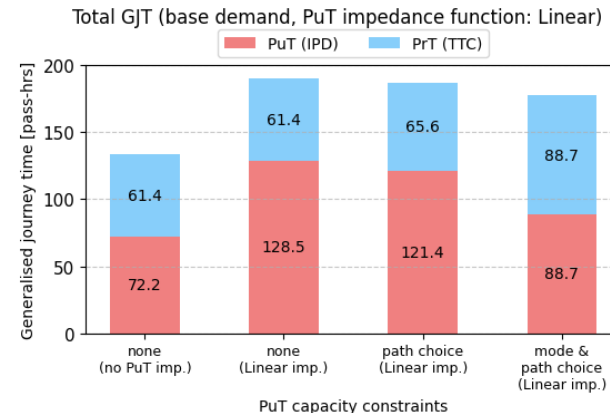
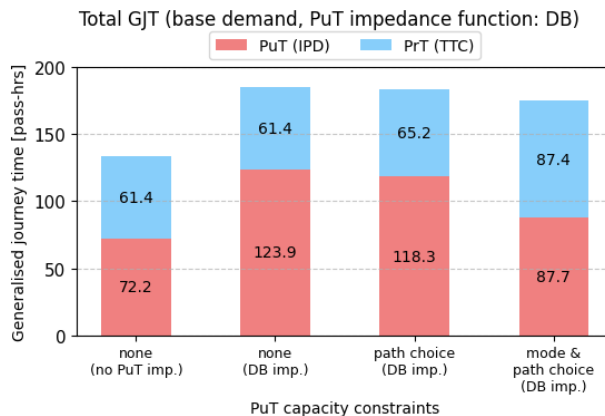
[P] noch höherer GJT
seitens des ÖVs

[MP] modales Gleichgewicht
→ Minimierung des globalen GJTs

Analysen (1) – Ermittlung der Reisekosten

Referenzfall

– je nach
Widerstands-
funktion:

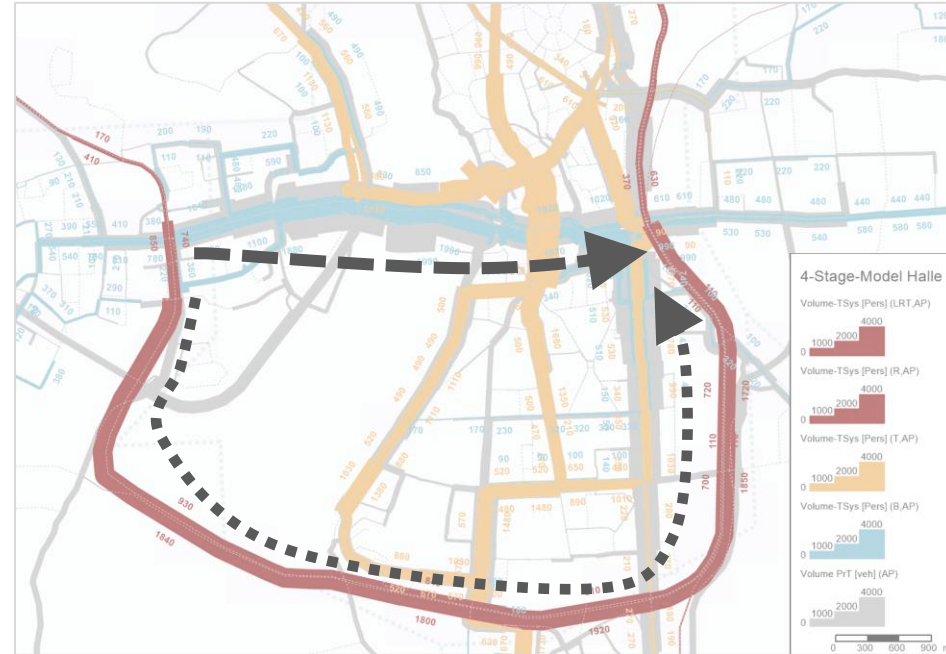


Fallbeispiel im (vereinfachten) Stadtmodell

- Morgenspitzenstunde

- *Referenzfall:* Bus, Tram & S-Bahn
- *Planfall:* **Verdopplung der Kapazität** der S-Bahn-Züge

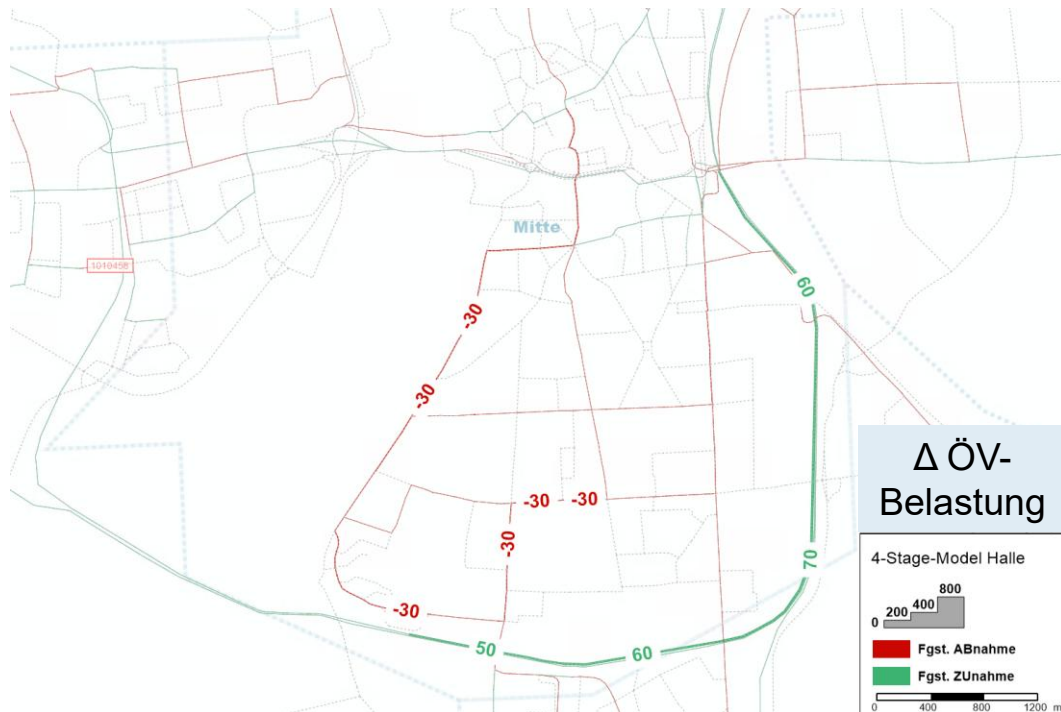
➔ **Konsequenzen** ohne / mit den ÖV-Kapazitätsbeschränkungen?



Fallbeispiel: **[keine]** ÖV-Kapazitätsschranke:

➔ +/- keine Wirkung

	Δ [Wege]	Δ GJT [Std.]
MIV	- 1	+ 0,3
ÖV	+ 4	+ 2,9
gesamt:		+ 3,1 <i>$\approx - 7 \text{ T€}/\text{Jahr}$</i>



Analysen (2)

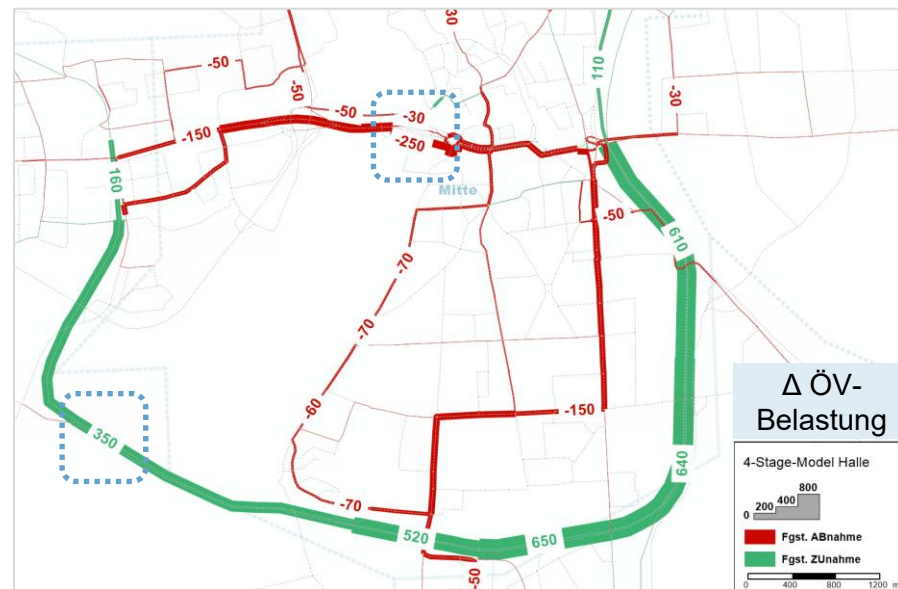
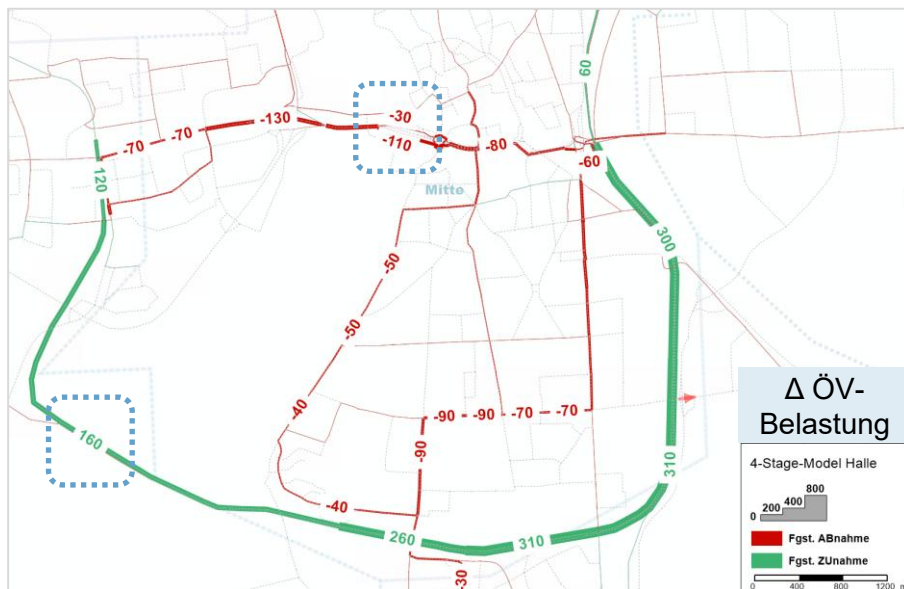
Fallbeispiel, [P] – ÖV-Kapazitätsschranke bei Umlegung:

Lineare:

	Δ [Wege]	Δ GJT [Std.]	
MIV	- 1	- 1,0	- 383,5
ÖV	- 3	- 382,5	$\approx + 816 \text{ T€/Jahr}$

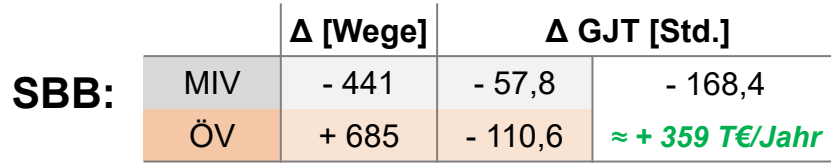
SBB:

	Δ [Wege]	Δ GJT [Std.]	
MIV	0	+ 0,4	- 670,3
ÖV	+ 4	- 670,7	$\approx + 1427 \text{ T€/Jahr}$



		Δ [Wege]	Δ GJT [Std.]
Lineare:	MIV	- 298	- 39,1
	ÖV	+ 462	- 76,4

Nettoertrag: $\approx + 245 \text{ T€}/\text{Jahr}$



Bedeutung der ÖV-Kapazitätsbeschränkungen?

- wichtige **Verkehrersphänomenen**

→ erweitertes GJT-Prinzip im modalen **Gleichgewicht**

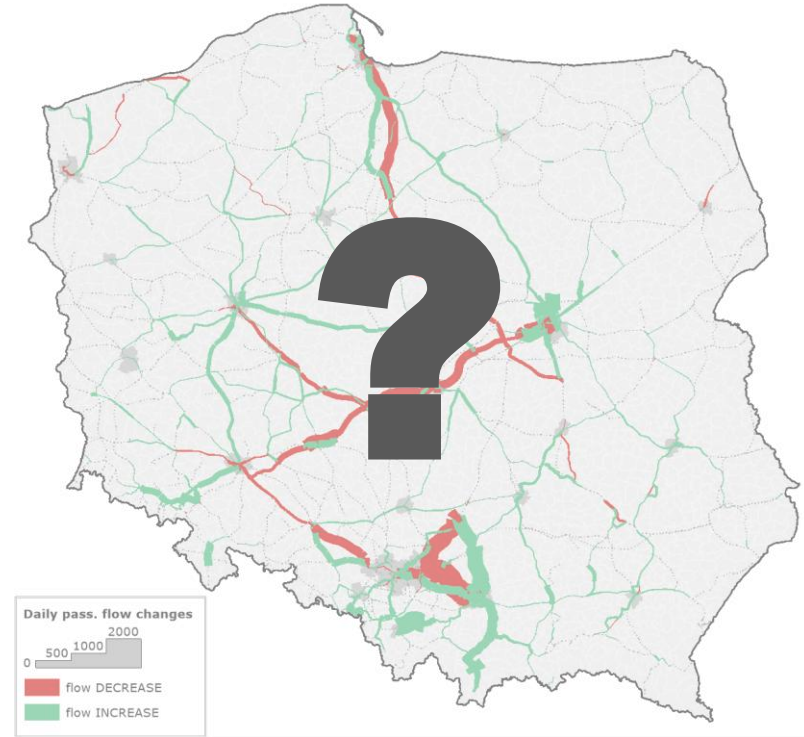


(Wardrop's equilibrium; Downs-Thomson paradox)

- mehr realistische **Verkehrsprognosen**

→ Bewertung der **Maßnahmen** zur ÖV-Qualitätsverbesserung

- Auswahl und Kalibrierung der Widerstandsfunktion + empirische „Untermauerung“
- Rechenaufwand: *verschachtelte* Iterationen
- Ausweitung auf großräumige Analysen
- *weiche* oder *harte* ÖV-Schranken?



Passenger Transport Model (PMT), Port Polska
(eigene, vorläufige Analyse)



<https://gradiens.pl/de/>



JAGIELLONIAN UNIVERSITY
IN KRAKÓW

<https://matinf.uj.edu.pl/en/>

Technische
Universität
München



<https://www.mos.ed.tum.de/vvs/>

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr. Arkadiusz Drabicki

arkadiusz.drabicki@tum.de

Prof. Dr. Constantinos Antoniou

c.antoniou@tum.de

PTV Mobility Anwenderseminar, Hannover, 20. Mai 2026



Diese Forschung wird vom NSC-
unterstützt (Fördernummer
2025/56/C/HS4/00296):
*Improving the effectiveness of
contemporary public transport
systems in context of travel
reliability and comfort aspects*