



Makroskopische Modellierung der Verkehrsinformation in Routen- und Abfahrtszeitwahl

ETH Zürich, 29.07.2011

Dipl.-Ing. Eileen Mandir



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

Universität Stuttgart

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik

Pfaffenwaldring 7 ■ 70569 Stuttgart ■ Tel. +49 (0)711 685-82477 ■ www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/



- Datengrundlagen
- Choice Set Generierung
- Makroskopische Modellierung

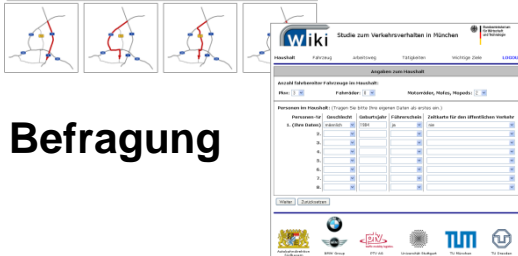
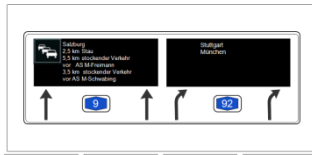


Überblick Erhebungen

Erhebung Routen- und Abfahrtszeitwahl



SP-Interview



Befragung

Erfassung Verkehrszustand

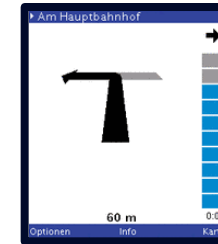
ANPR-Detektion



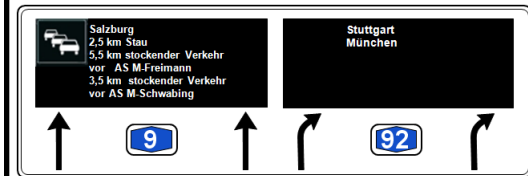
Lokale Detektoren



Detektion der Fahrerinformation



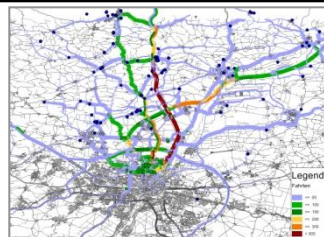
Individuell:
Logbuch der Navigationsrouten



Kollektiv: WWW, TMC



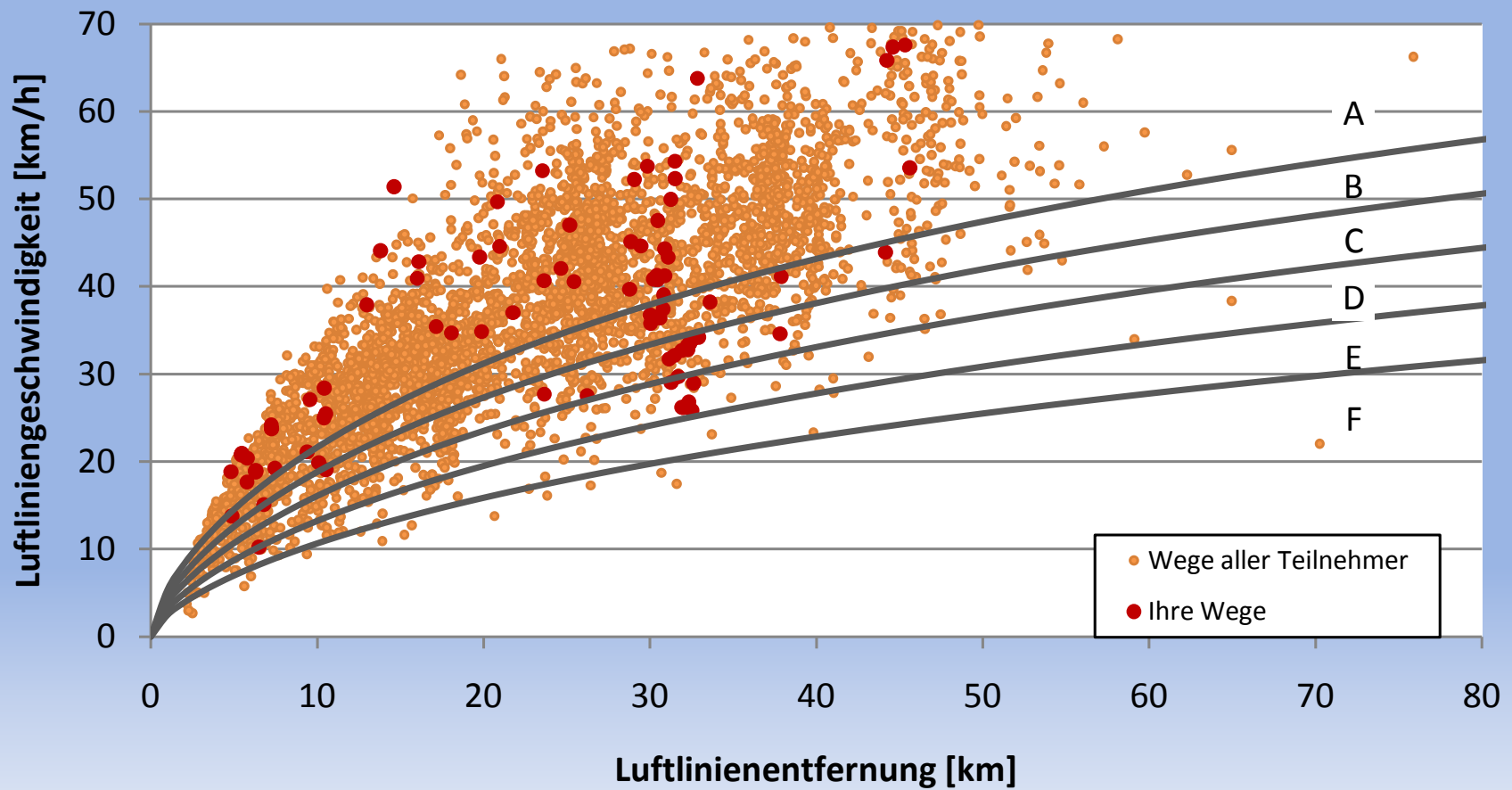
Schätzung eines Routen- und Abfahrtszeitwahlmodells



Evaluation der Potentiale von Information bezüglich der Reduzierung der Fzg-H und des Kraftstoffverbrauchs

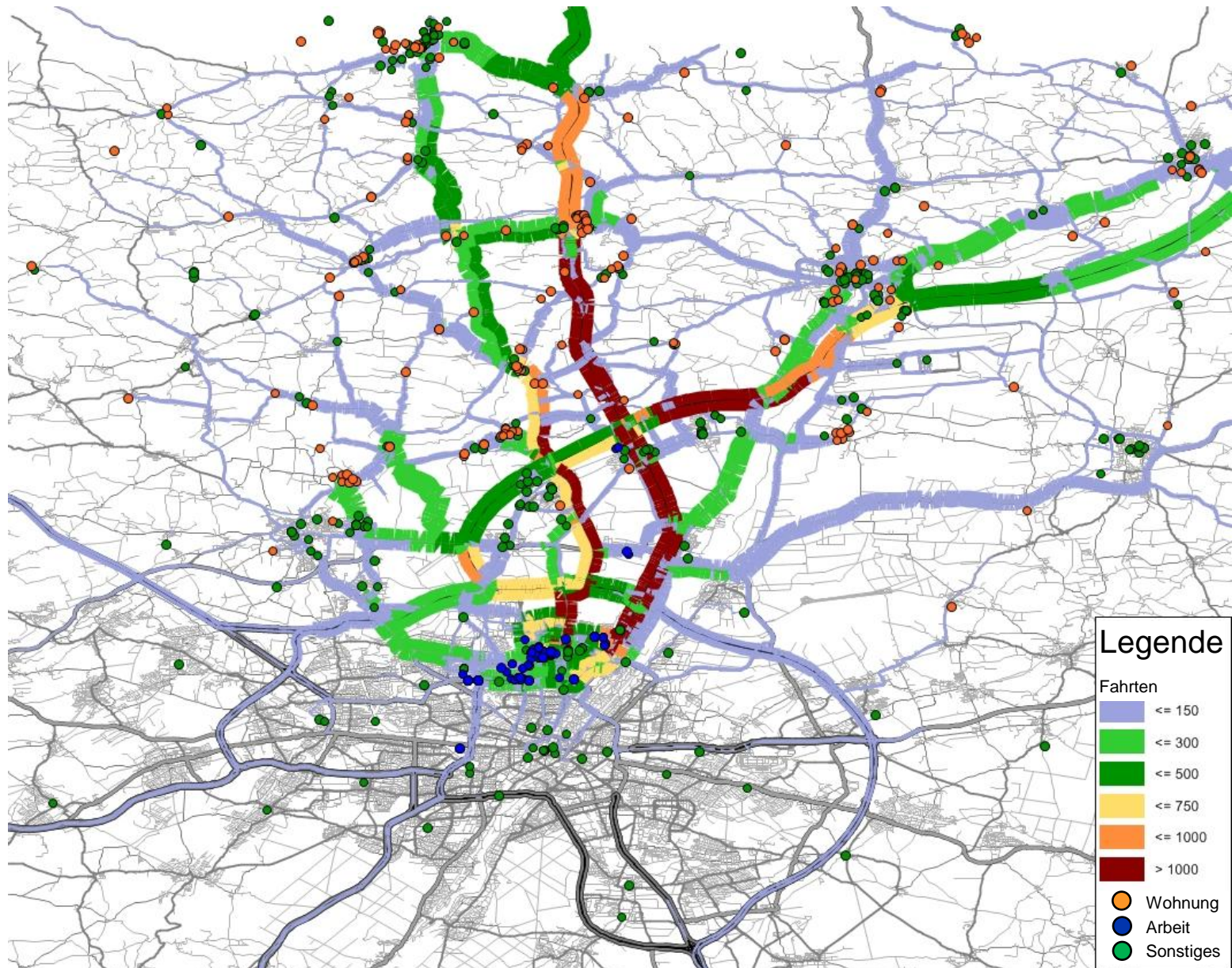


Qualität der gewählten Routen





Detektierte GPS-Trajektorien und Aktivitätenorte





Statistik der erfassten GPS-Tracks (nach Map-Matching)

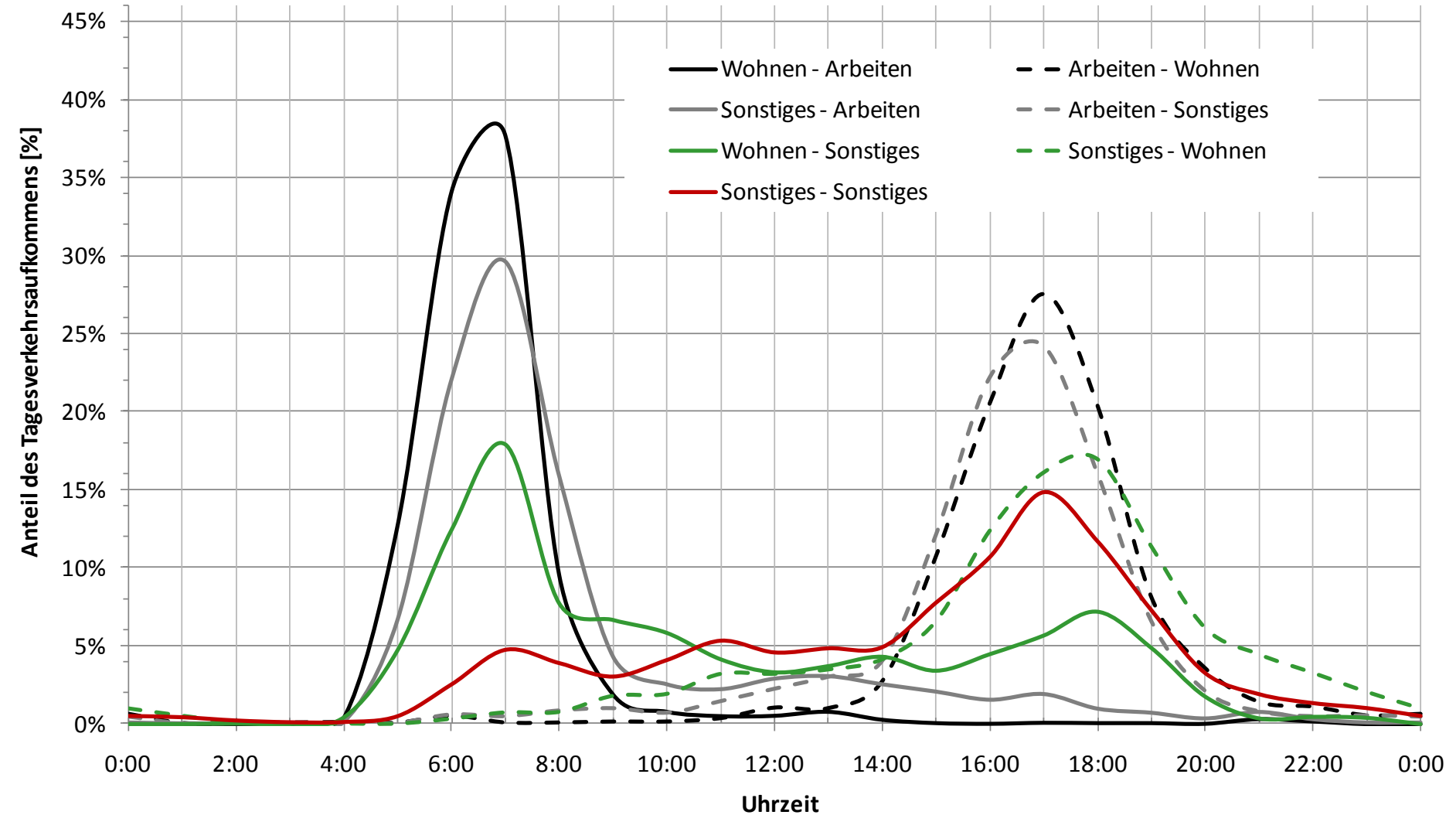
Welle	Anzahl Trajektorien	Anzahl Dateien leer	Anzahl GPS- Punkte	erfasste Zeit [h]	Erfasste Länge [km]	Anzahl Probanden
1	7.088	158	10.791.563	3.790	261.170	94
2	5.906	176	8.651.745	3.218	226.602	95
3	6.578	120	10.348.261	3.755	262.148	89
Gesamt	19.572	454	29.791.569	10.764	749.920.825	278

Datenvolumen

	Alle 278 Probanden	Pro Proband
Gesamtzeit der Erfassung in Stunden	8,850	29.5
Anzahl detektierte Trajektorien	20,000	66
Anzahl identifizierter Wege	24,000	80
Anzahl Fahrten zwischen identifizierten Aktivitätenorten	18,300	61

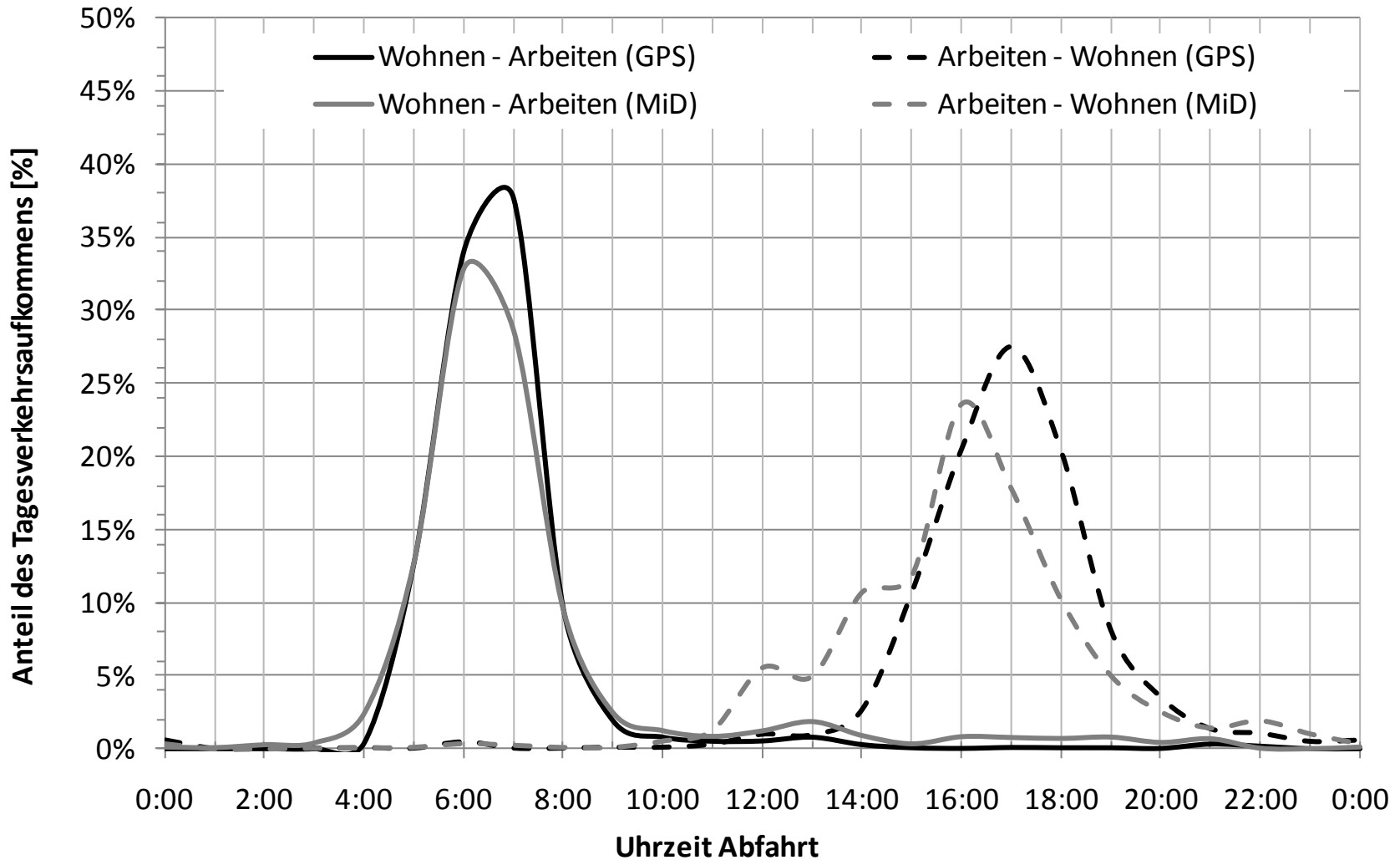


Tagesganglinien GPS



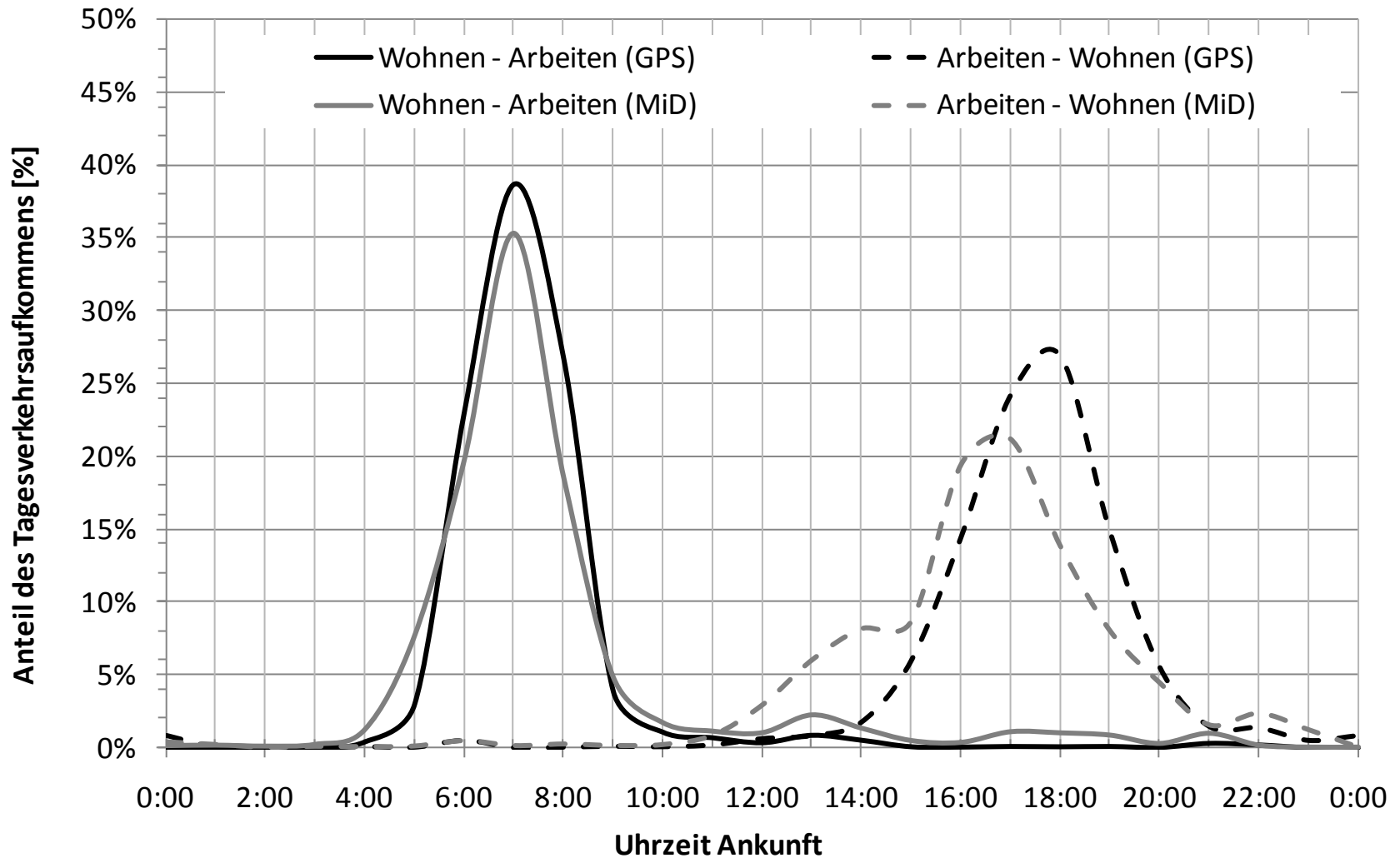


Tagesganglinien – Vergleich MiD





Tagesganglinien – Vergleich MiD

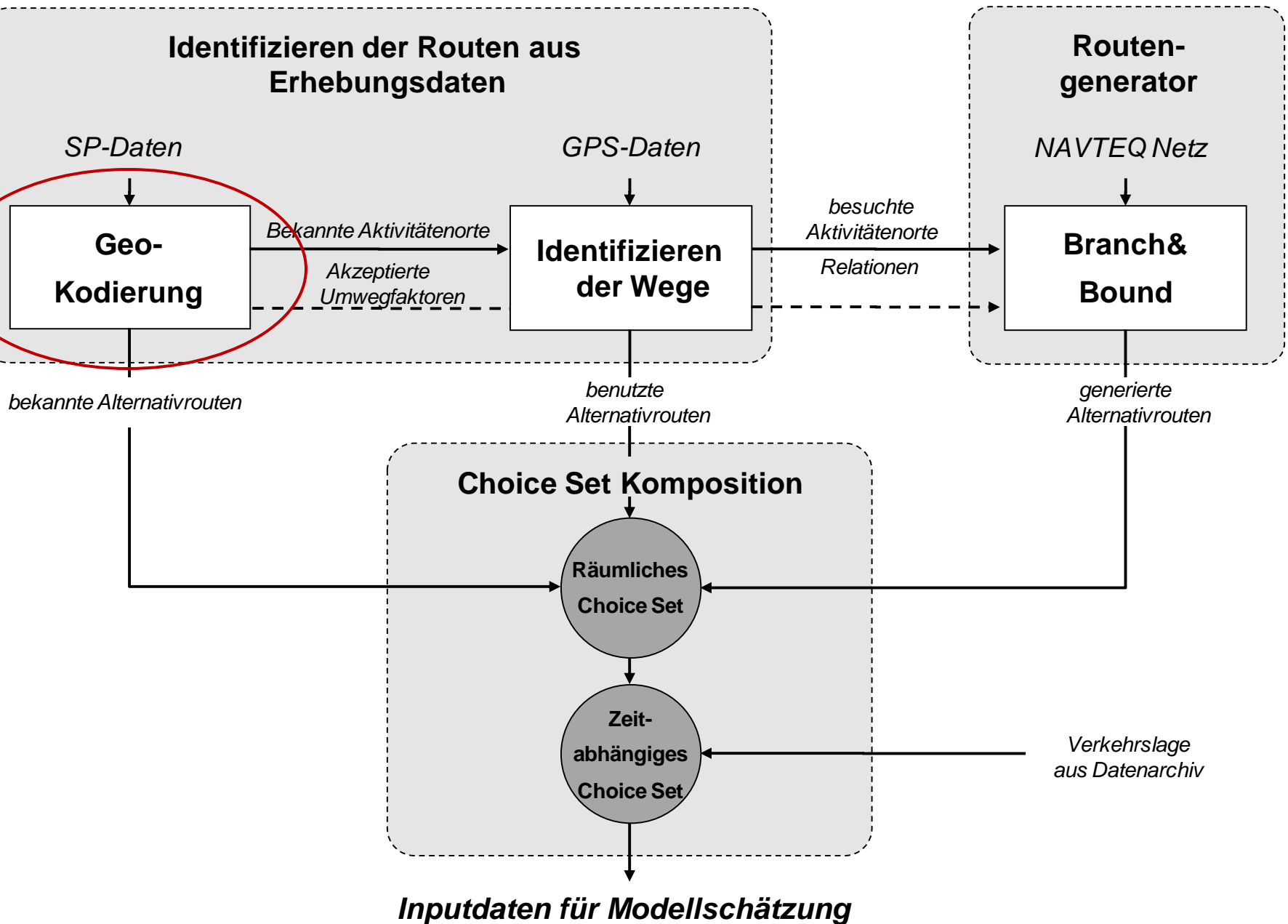




- Datengrundlagen
- **Choice Set Generierung**
- Makroskopische Modellierung



Methodischer Überblick



Interaktive Karte, Trip Tracer, PTV AG

PTV TripTracer (Rel 2.2.0.7)

Rückgängig Abbrechen Hilfe

WegNr: 4 ☐ zeige alle Wege ☐ Berufsfahrer

Adresssuche

Adresse Point of Interest OV-Verbindung

Straße am Anger Hausnummer 7

PLZ 85% Ort

Stadt D

Gewicht	Nr	Straße	PLZ	Stadt	Stadtteil
50	7	Am Anger	85391	Allershausen	
50	7	Am Anger	85111	Adelschlag	
50	7	Am Anger	85307	Paunzhausen	
50	7	Am Anger	85570	Ottenhofen	

Wegpunkte

berechnete Distanz 41.6 km berechnete Dauer 00:46 Befragter kann ☐

Start 07:30 Dauer 00:55 Ende 08:25

Zweck Arbeit

#	Modus	Linie	Name	Straße	Nr	PLZ	Stadt
1				Am Anger	7	85307	Paunzhausen
2	SF					85411	Hohenkammer
3	SF					85777	Fahrenzhausen
4	SF			Ingolstädter Straße		80939	München
5	SF			BMW Allee		80937	München

Bemerkungen

Map

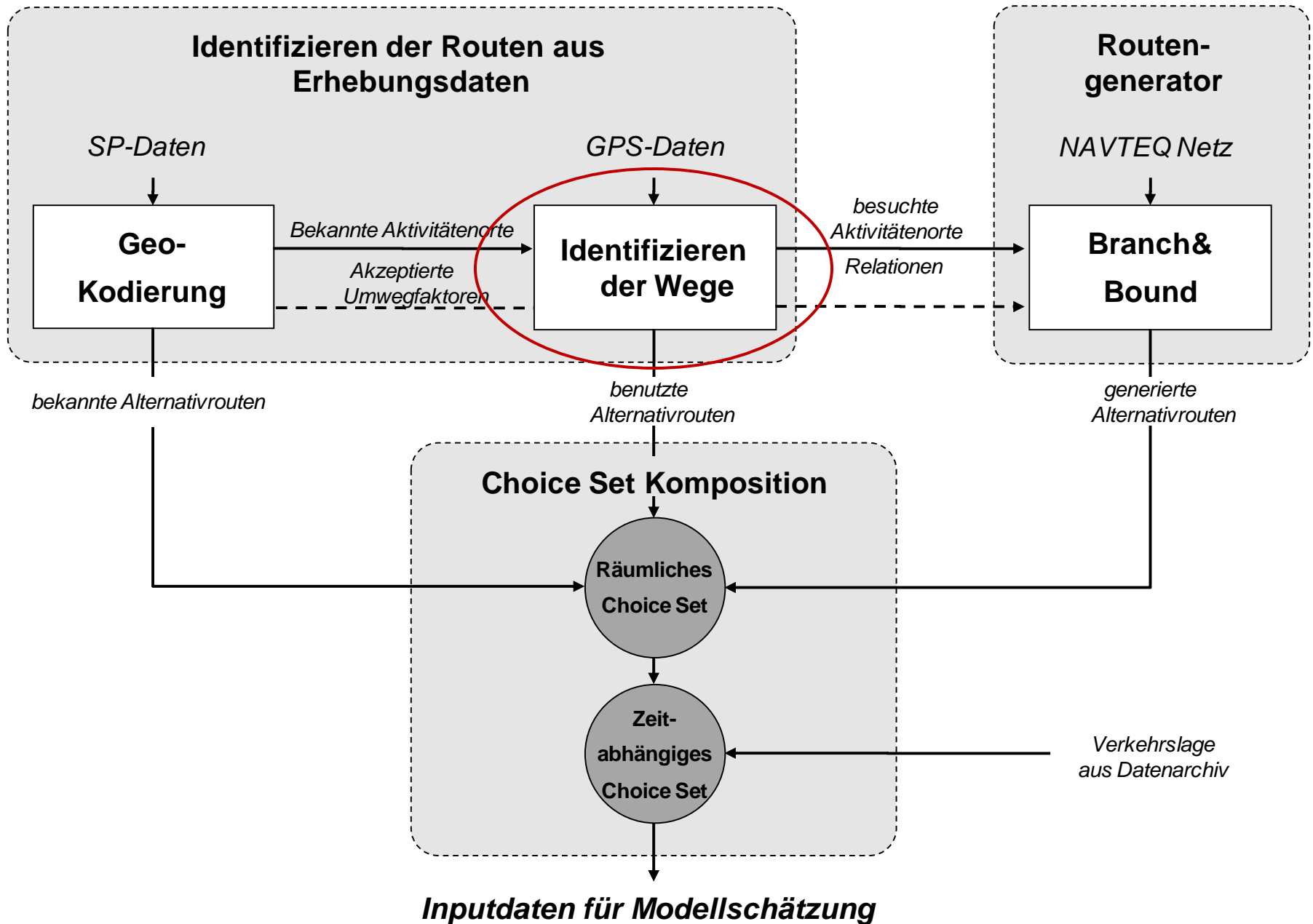
☐ Hausnummern ☒ autom. Routing

© PTV / NAVTEQ / AND

Institut 185 Seriennr 1

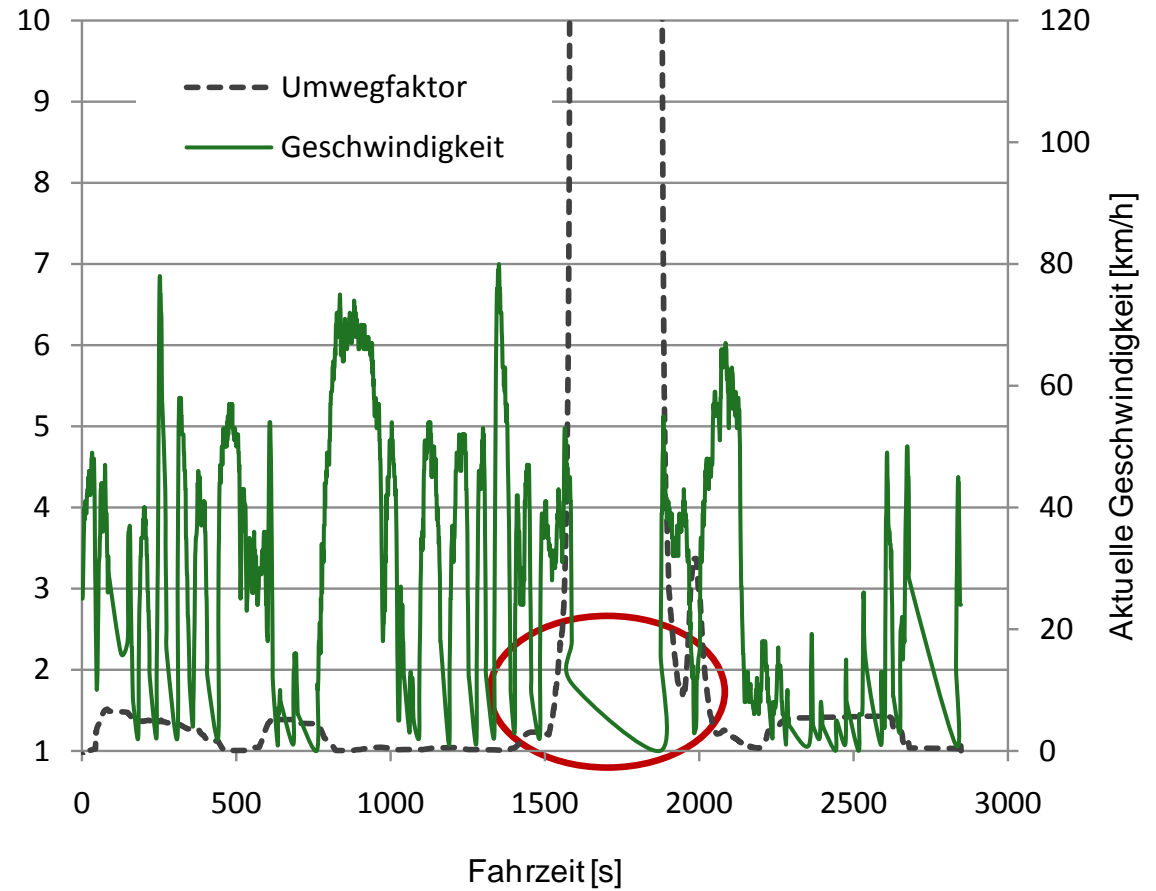
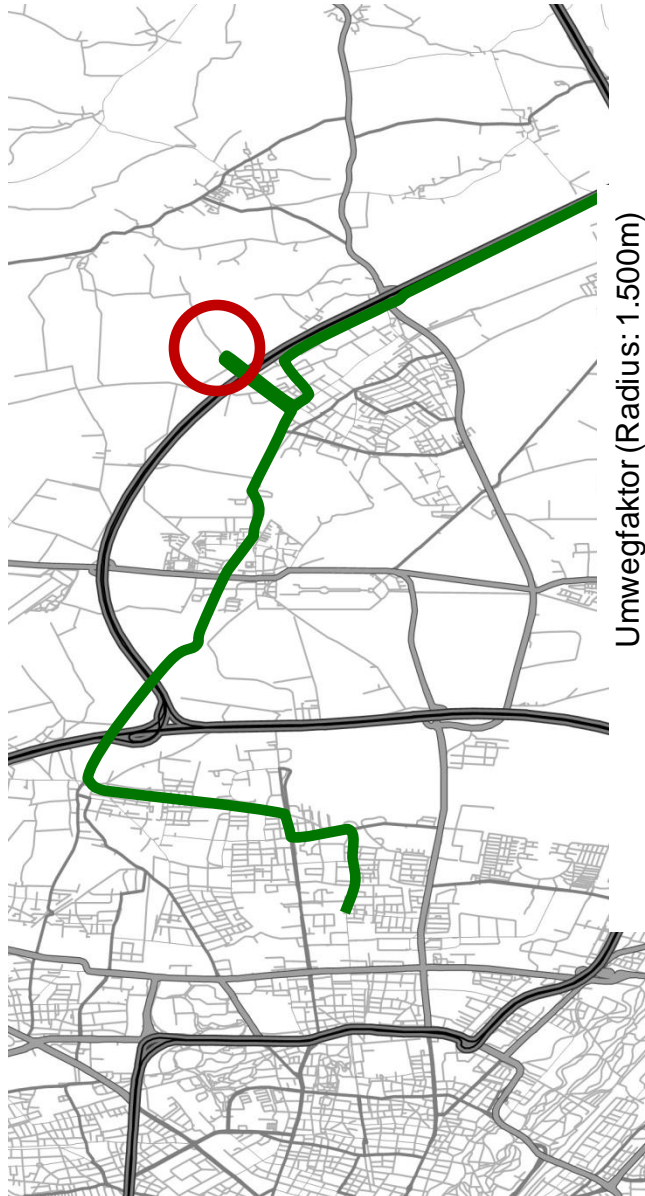


Methodischer Überblick



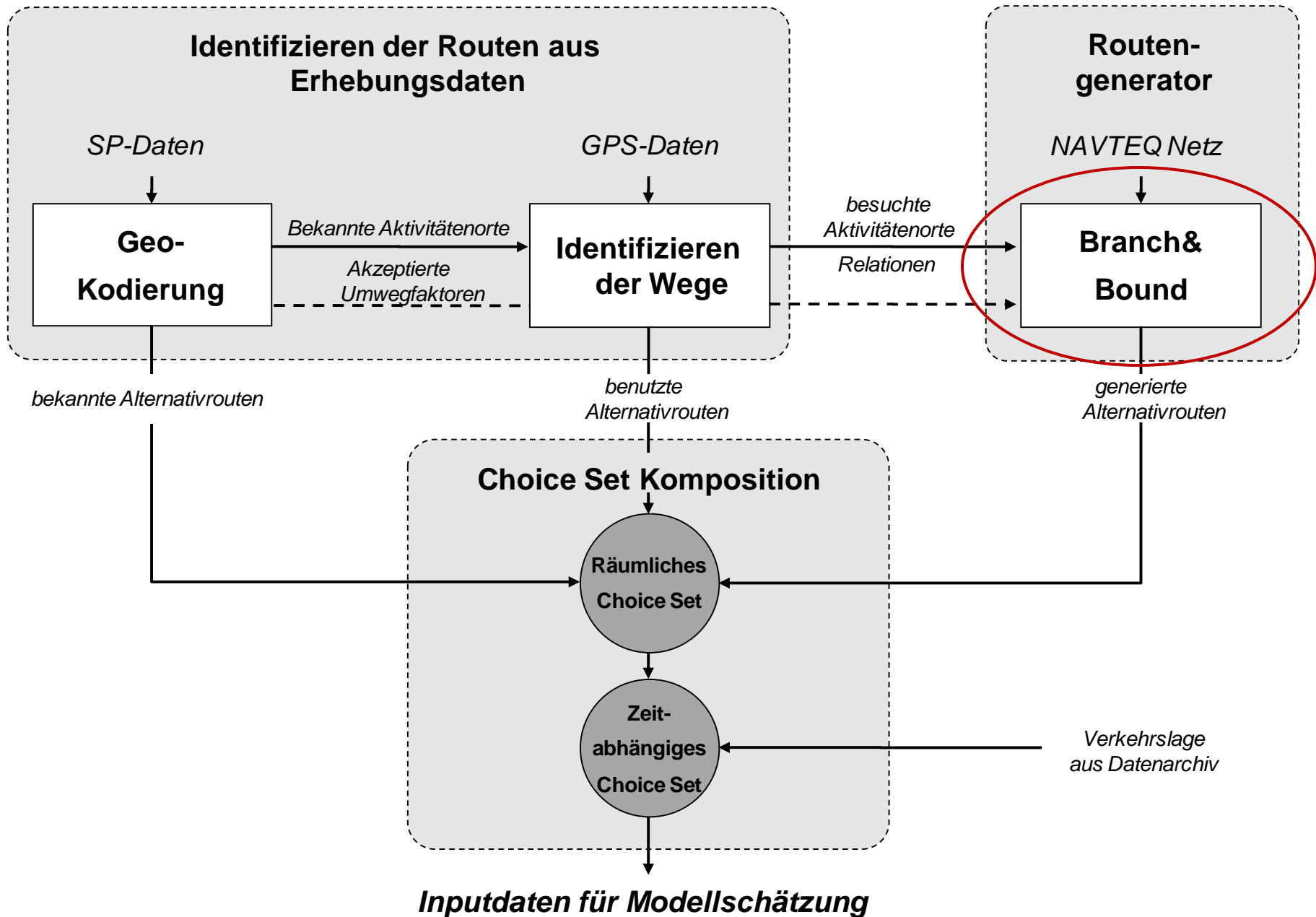


Identifizieren von Wegeenden



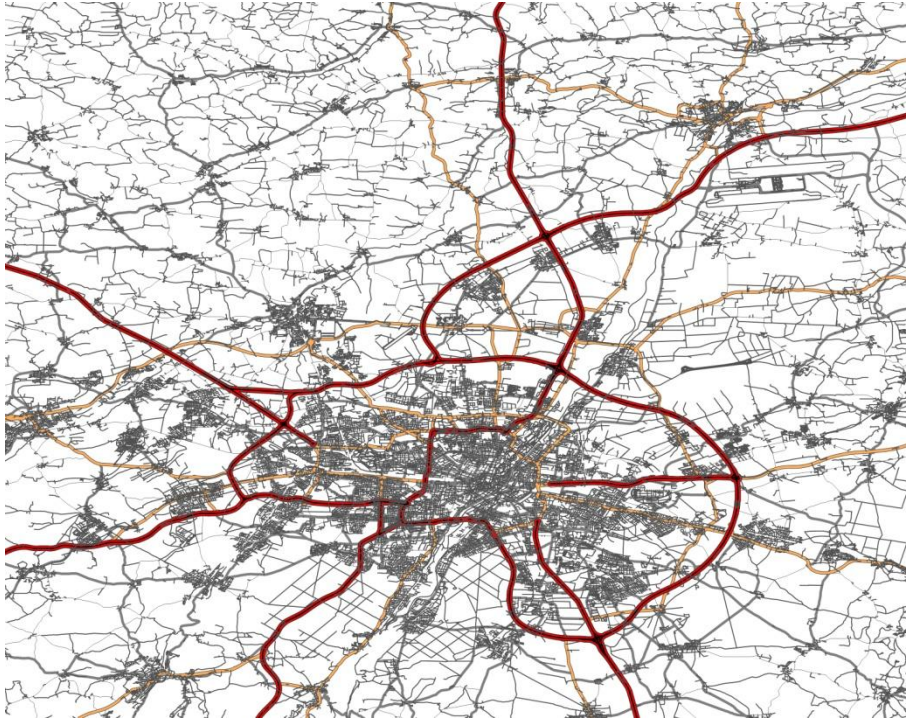


Methodischer Überblick

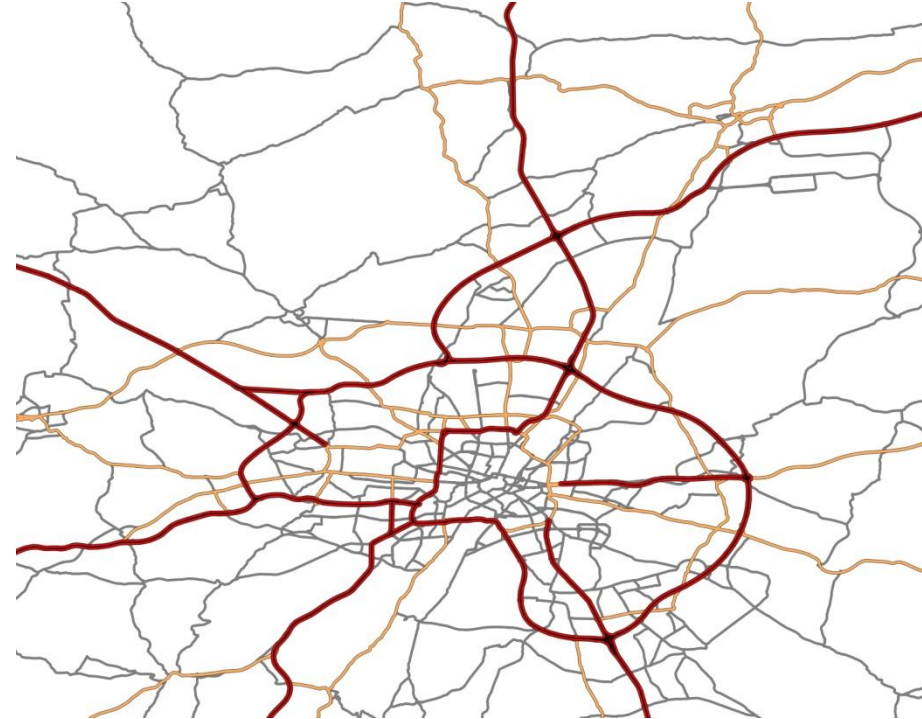
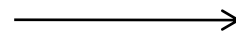




1. Reduktion auf entscheidungsrelevante Netzebenen



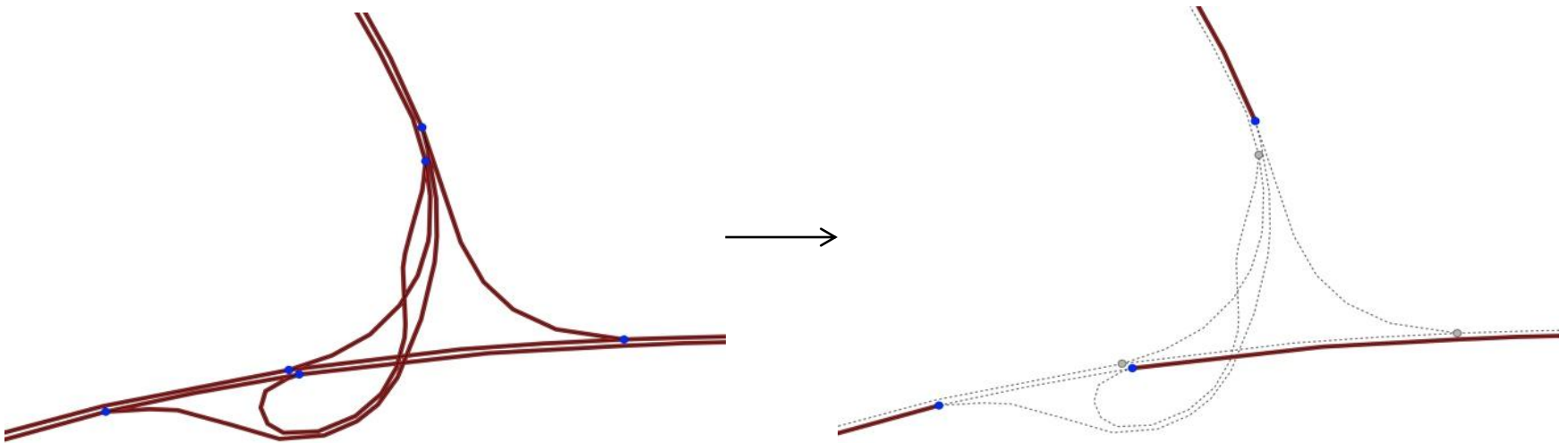
Navteq Netz



Übergeordnetes Netz

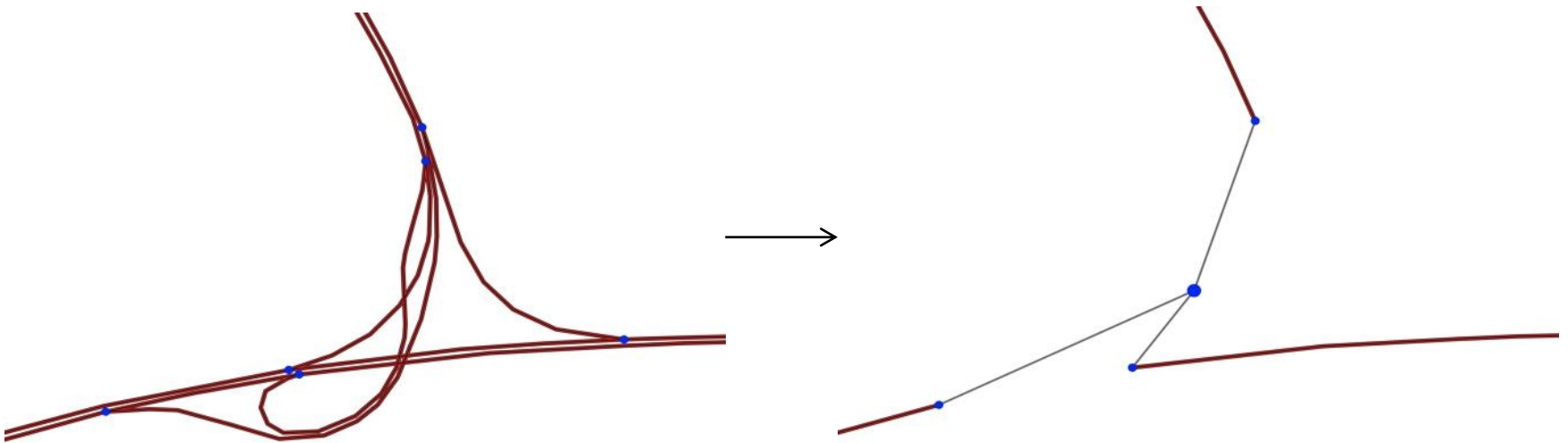


2. Vereinfachung komplexer Knotenpunkte



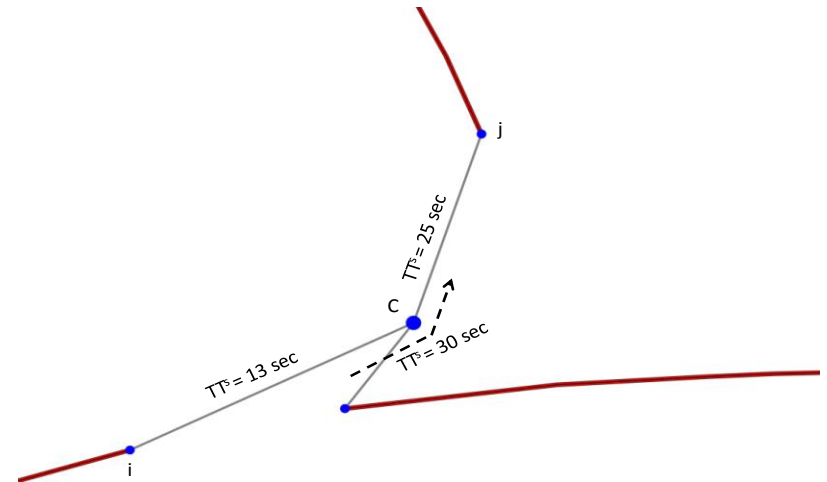
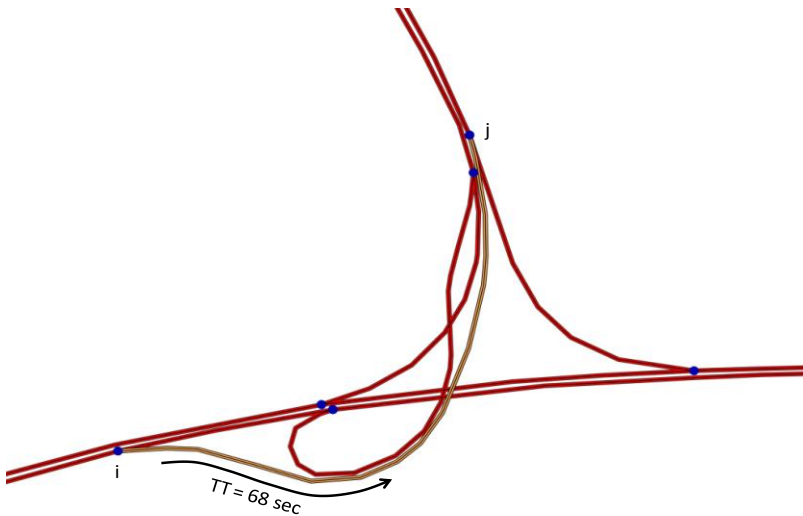


2. Vereinfachung komplexer Knotenpunkte





3. Neuberechnung der Reisezeiten



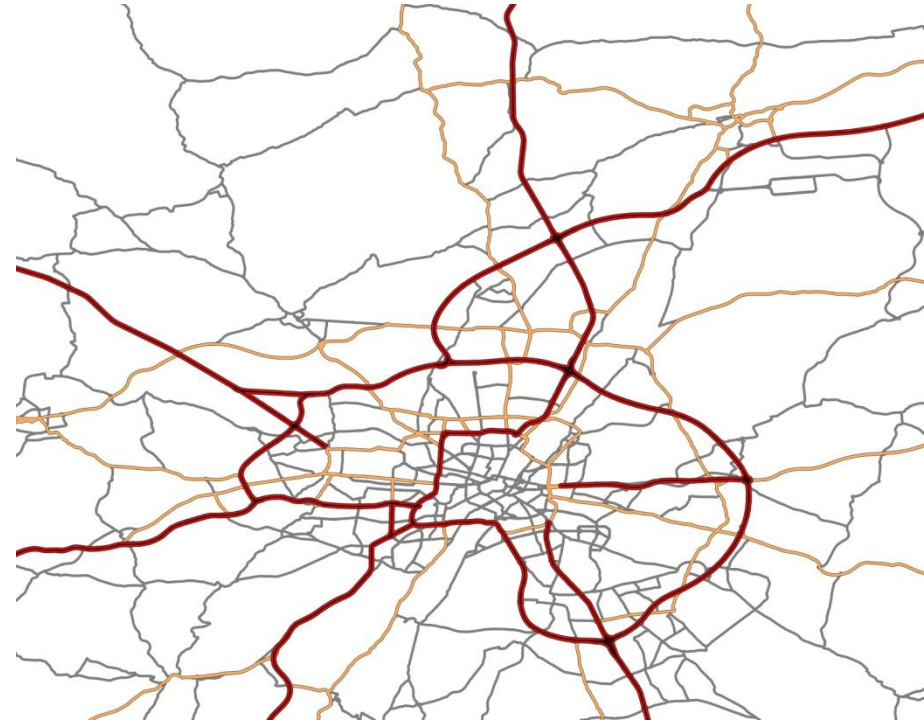
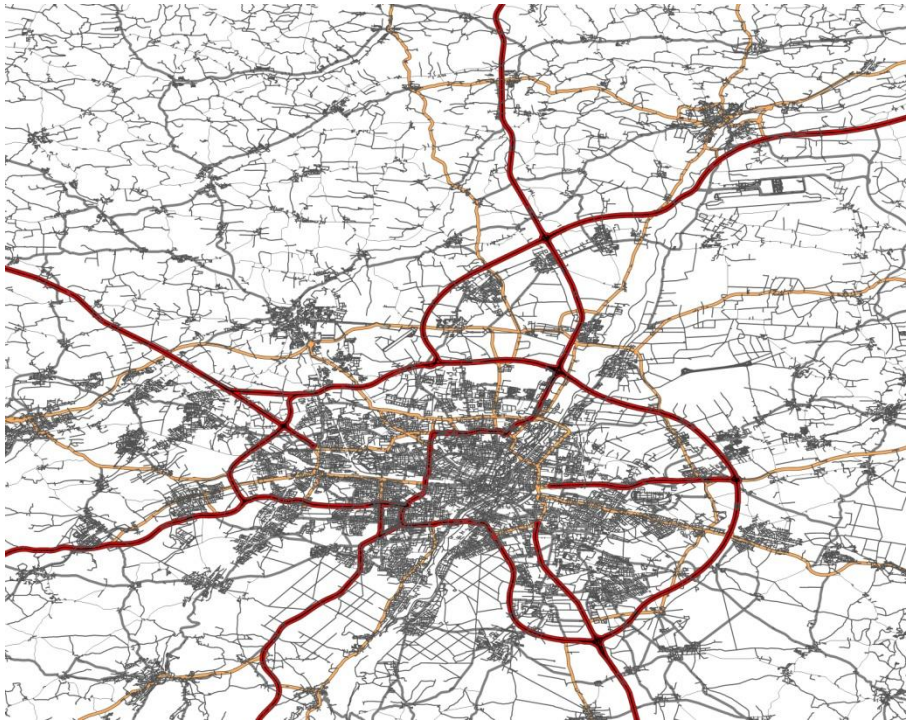
$$TT_{i \rightarrow c}^S = \min \left\{ TT_{i \rightarrow j} \cdot \frac{Länge_{i \rightarrow c}}{Länge_{i \rightarrow c} + Länge_{c \rightarrow j}} \mid \forall j \neq i \in [1, n] \right\}$$

$$TT_{i \rightarrow c \rightarrow j}^S = \min \left\{ TT_{i \rightarrow j} - TT_{i \rightarrow j}^S \mid \forall j \neq i \in [1, n] \right\}$$



Vergleich der Reisezeiten

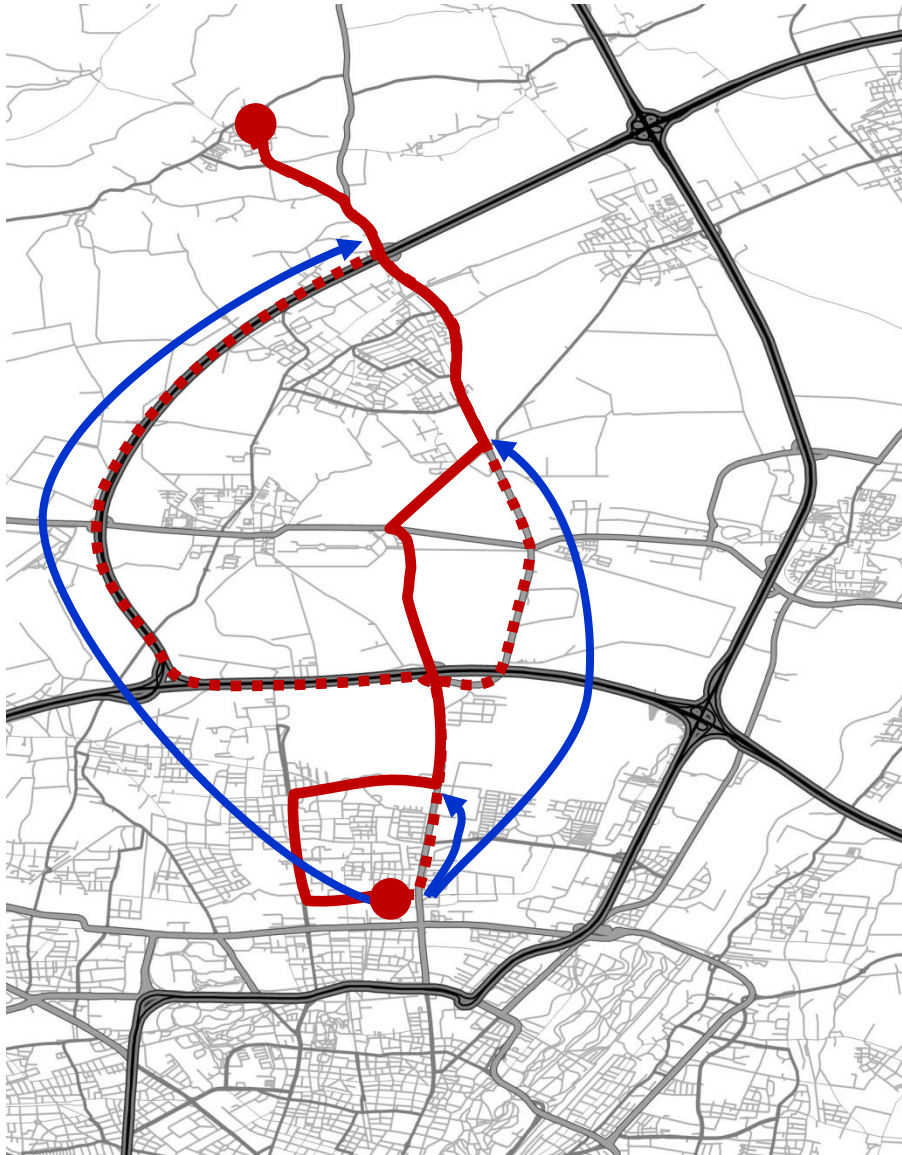
	Originalnetz	Vereinfachtes Netz
Knoten	17.004	7.703
Strecken	48.354	22.620



Abweichung Bestweg-Fahrzeiten Originalnetz zu vereinfachtem Netz	Anzahl Relationen
< 5% Abweichung	74%
<10% Abweichung	97%
<15% Abweichung	100%



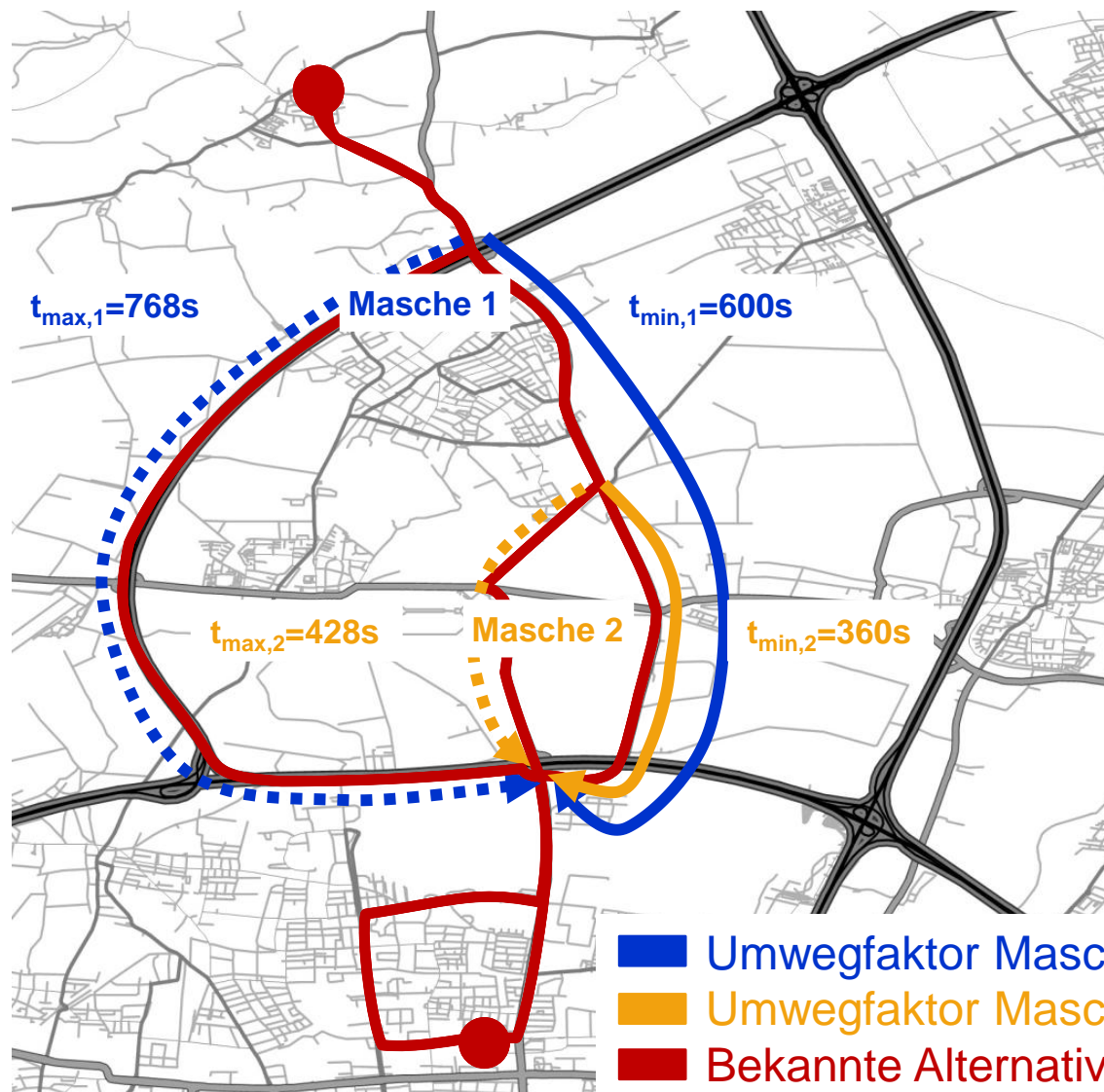
Generierung der Routen: Branch & Bound



- Branch & Bound zur Erstellung eines Routenbaum
 - Abbruchbedingungen für Pfadelemente:
 - Keine Rundwege
 - Maximaler Umwegfaktor auf gesamtem Pfad
 - **Maximaler Umwegfaktor auf verschiedenen Abschnitten des Pfad**
- Bestimmung der maximalen Umwegfaktoren auf Basis der akzeptierten Umwegfaktoren aus den Routen aus der Befragung

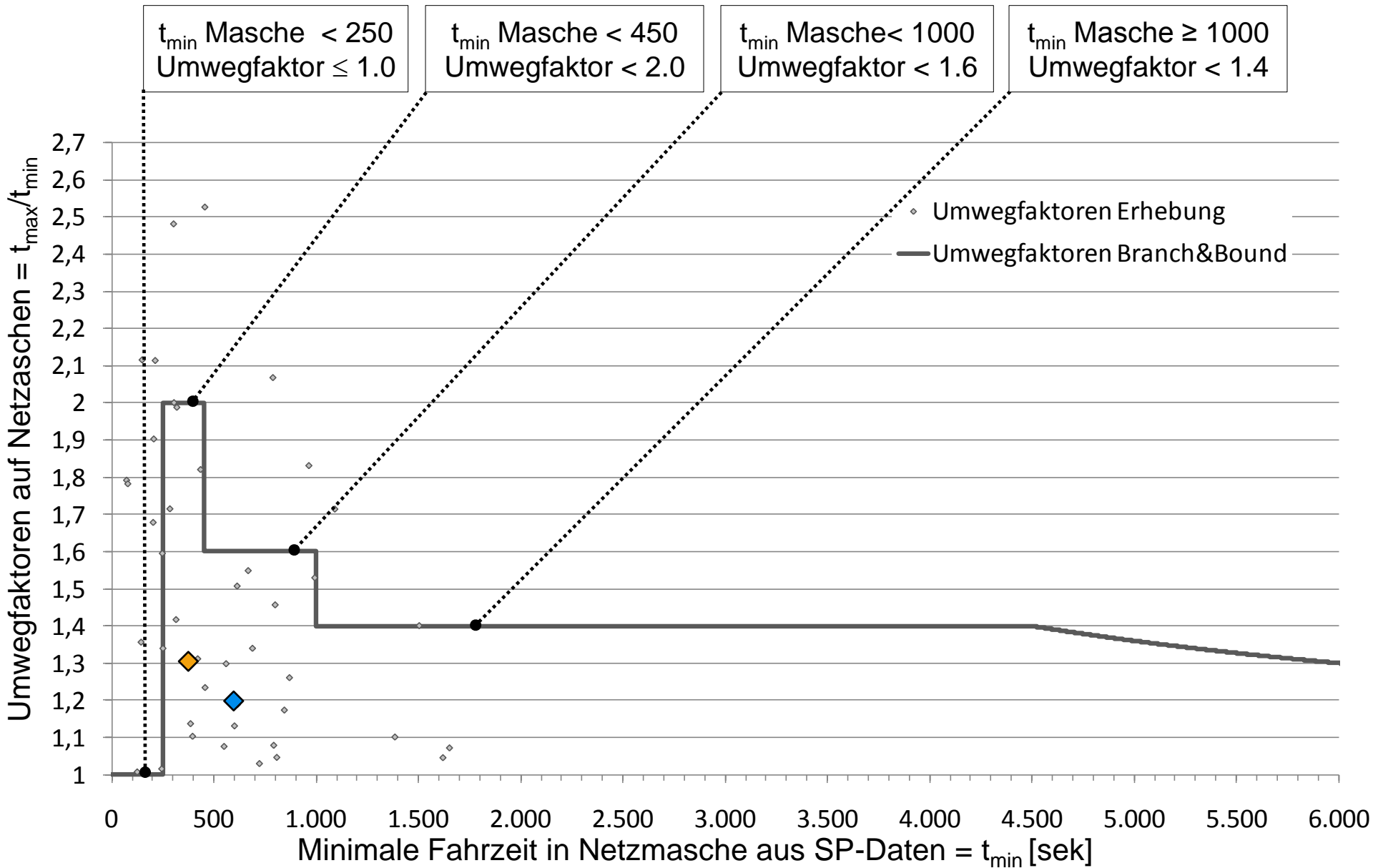


Generierung der Routen: Branch & Bound





Stated Preference Daten – Erfragte Umwegfaktoren





Rücktransformation der Routen in ursprüngliches Netz

Vereinfachtes Netz



Originalnetz

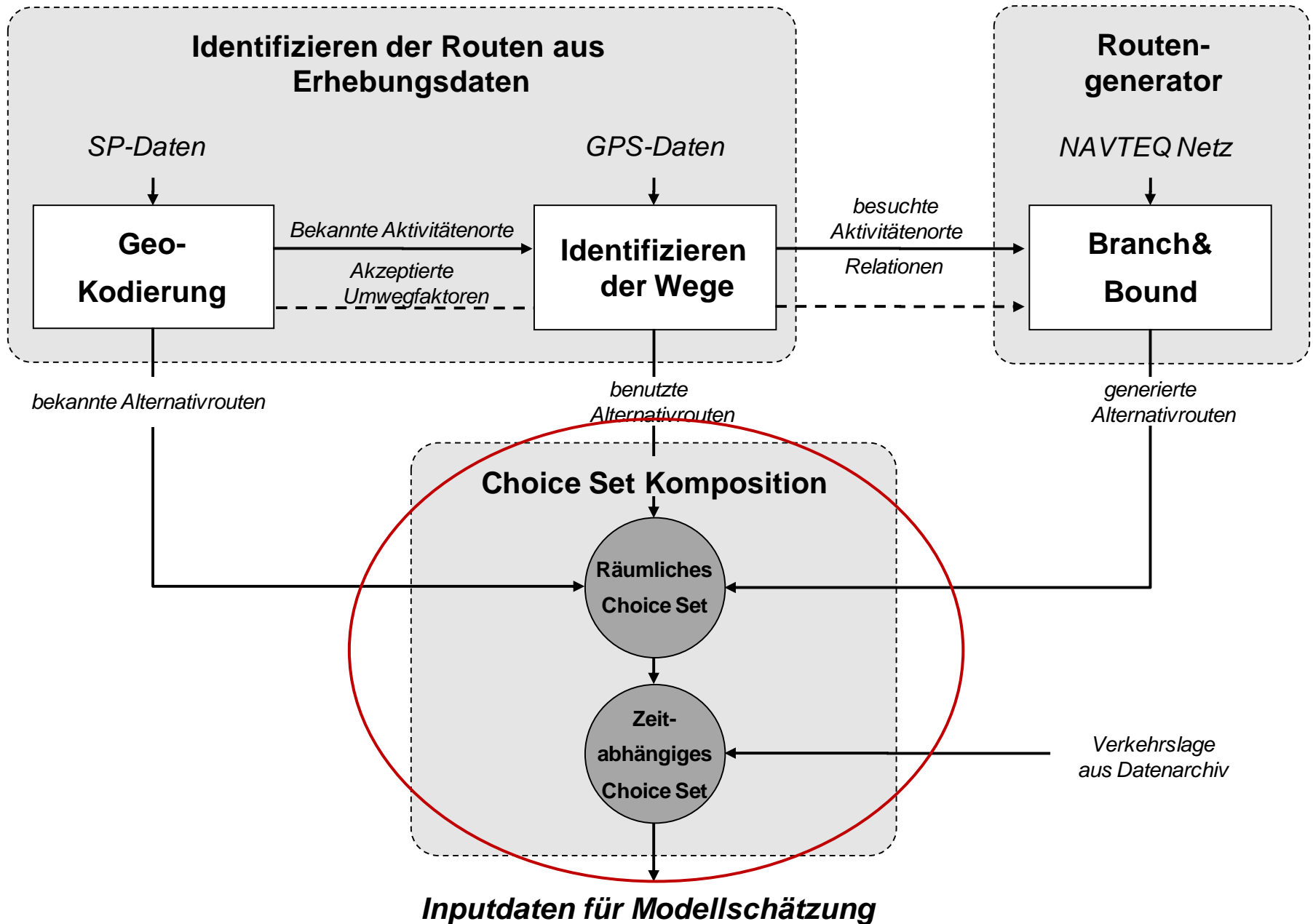


$$\text{wid}_{\text{Route}} = \sum_{\text{Strecke}=l}^S t_{akt_l} \cdot (a \cdot \text{flag} + 1)$$

a = konstant, z. B. 1000,
flag = 0 für markierte Strecken,
flag = 1 für alle anderen Strecken



Methodischer Überblick





Zusammenstellung der Choice Sets

- Fusionierung der drei Routenarten zu einem Choice Set
- Schrittweises Hinzufügen der Routen zum Choice Set
- Jede neu hinzugefügte Route wird auf ihre Eigenständigkeit geprüft

$$C = \frac{L_{ij}}{\sqrt{L_j} \cdot \sqrt{L_i}}$$

L_{ij} [m] Länge identischer Routenelemente
der Routen i und j

L_i [m] Länge der Route i

L_j [m] Länge der Route j

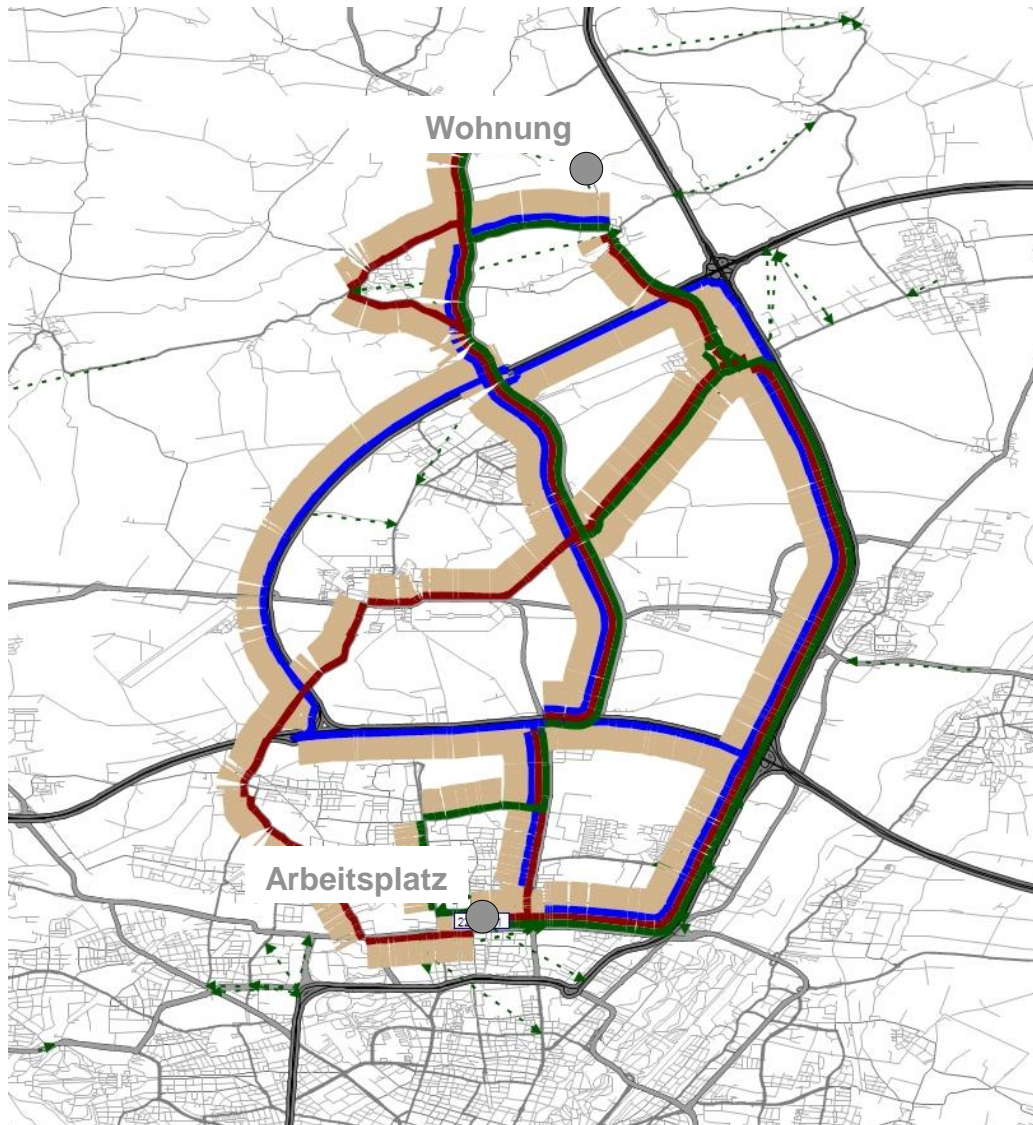
→ Räumliches Choice Set

- Jede Ortsveränderung = eine Entscheidungssituation
- 1 Ortsveränderung + räumliches Choice Set + zeitabhängige Attribute

→ Zeitabhängiges Choice Set



Räumliches Choice Set - Beispiel



- Befahrene Routen (Anzahl: 3)
(16 Wege)
- Genannte Routen (Anzahl: 2)
(ursprünglich 4 Routen)
- Generierte Routen (Anzahl: 32)
(ursprünglich 35 Routen)
- Gesamtes Choice Set (Anzahl: 37)
(ursprünglich 55 Routen)

16 Ortsveränderungen:

→ **16 zeitabhängige Choice Sets**



Mengengerüst des generierten Choice Set

	Anzahl
Relationen	4.100
Mehrfach befahrene Relationen*	2.176
Wohnen-Arbeiten Relationen	266
Ortsveränderungen	16.037
Befahrungen pro Relation	3,91

Routentyp	Anzahl Routen alle Relationen	Anzahl Routen Wohnen-Arbeiten Relationen	Mittlere Anzahl Routen pro Relation	Maximale Anzahl Routen pro Relation
Gefahren	6.281	647	1,53 *2,00	13
Genannt	392	392	1,47	4
Generiert	84.297	8.366	20,56	354
Alle	90.970	9.405	22,18	355



- Datengrundlagen
- Choice Set Generierung
- **Makroskopische Modellierung**

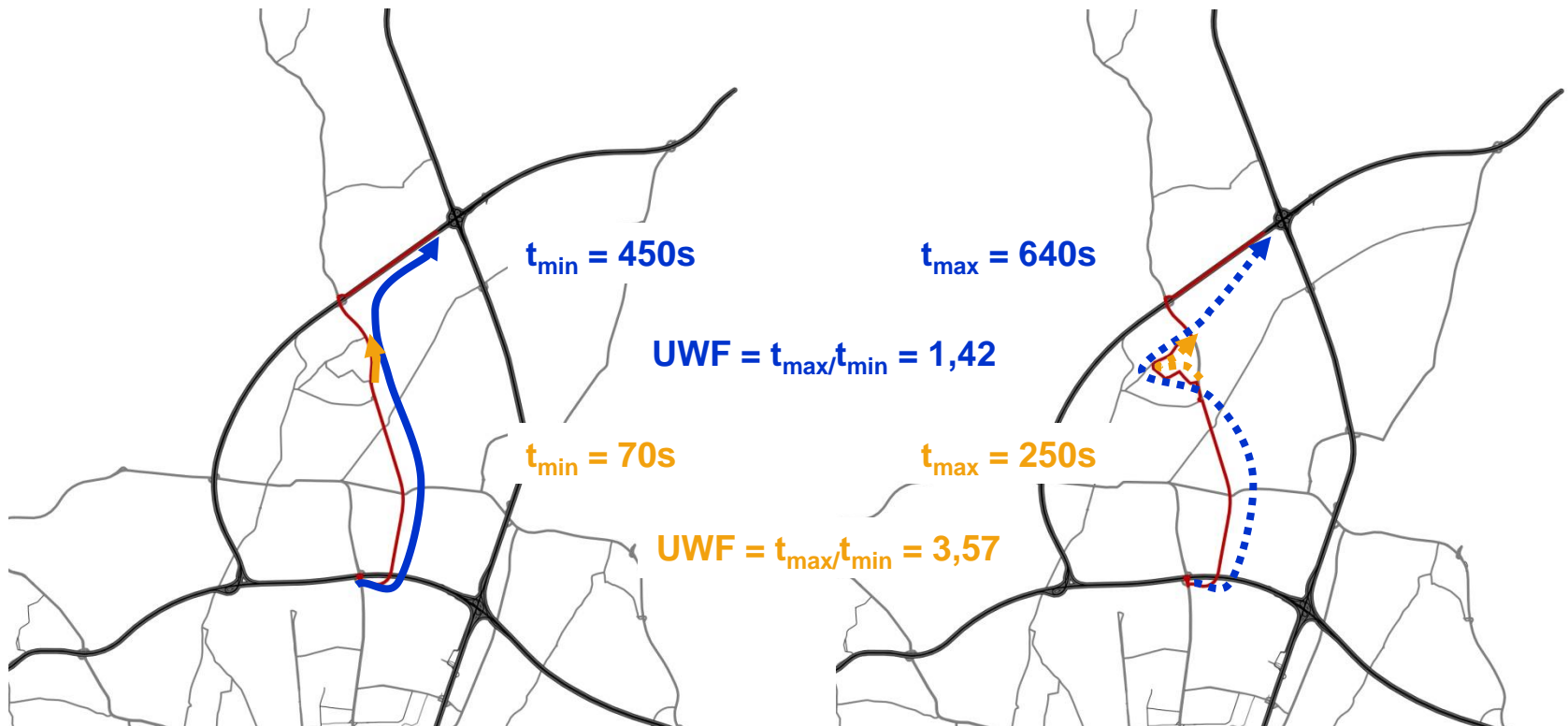


- Routensuche
 - Umwegigkeit
 - Choice Set Größe
- Routenwahl
 - Nutzenfunktion
 - Wahlmodell



Stochastische Routensuche

- Bestwegsuche
- Zufällige Veränderung der Widerstände der Netzelemente
- Erneute Bestwegsuche
- Überprüfung Umwegfaktor entlang gesamter Route





Umwegfaktoren für Routensuche in VISUM

Umwegfaktor Route: $I'_i > d \cdot SPI'_i + e$

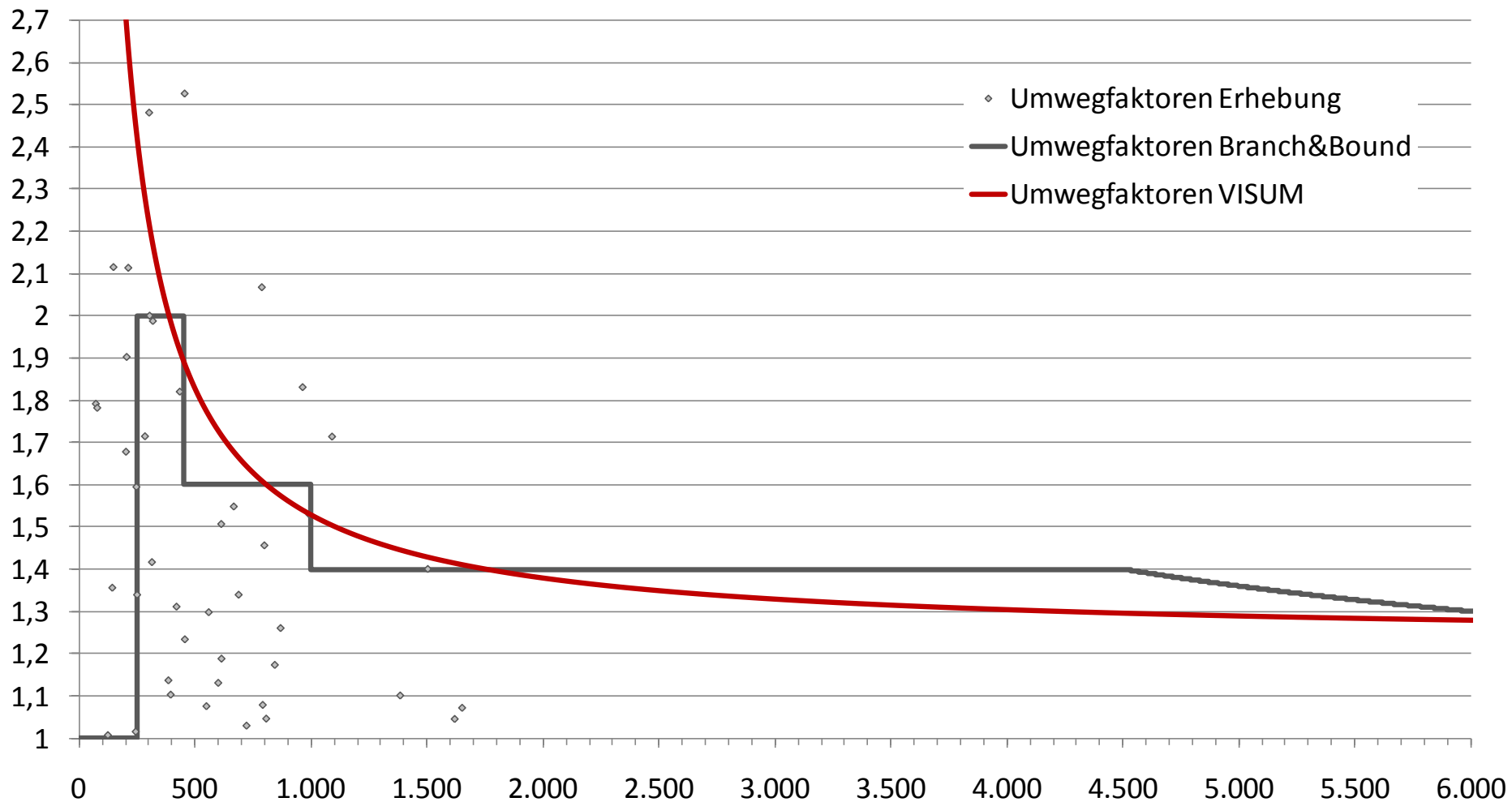
I'_i
 SPI'_i

erlaubter Widerstand einer Route
Widerstand des Kurzweg in Iteration i,
Parameter (d=1,23 und e=300)

Umwegfaktor Masche: $t_0 = f \cdot SPt_o + g$

d, e
f, g

Parameter (f=2 und g=0)





Beeinflussung der Choice Set Größe in VISUM

$$I_{i+1} = I'_i + \sigma \cdot N$$

$$\sigma = a \cdot \left(\frac{1}{(i_{ex})^b} \right) \cdot (I'_i)^c$$

I_{i+1}

I'_i

N

i_{ex}

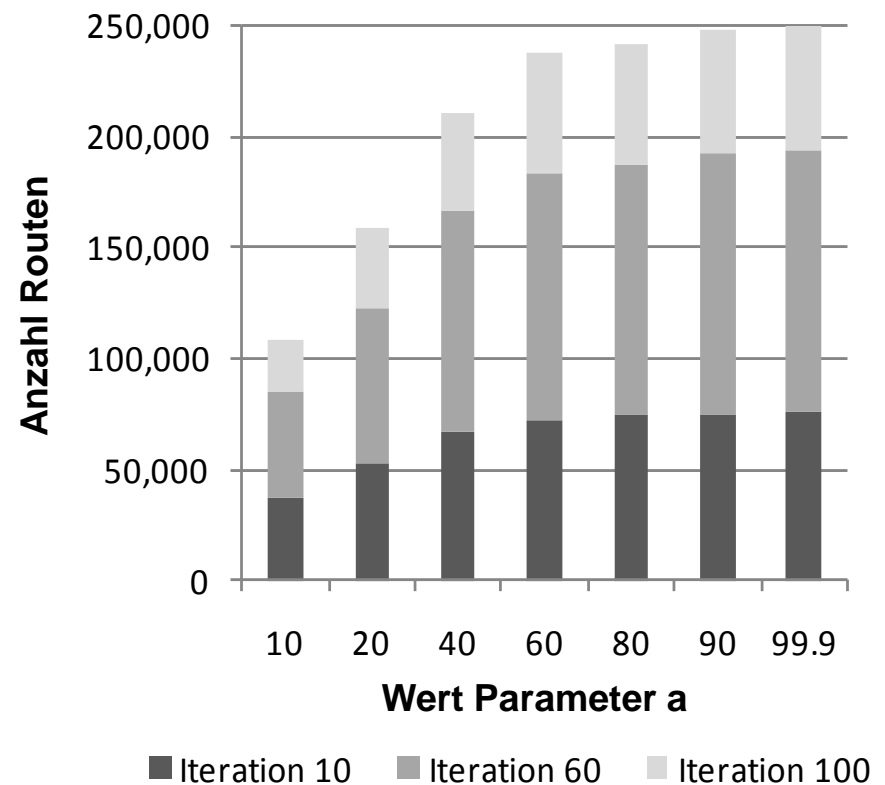
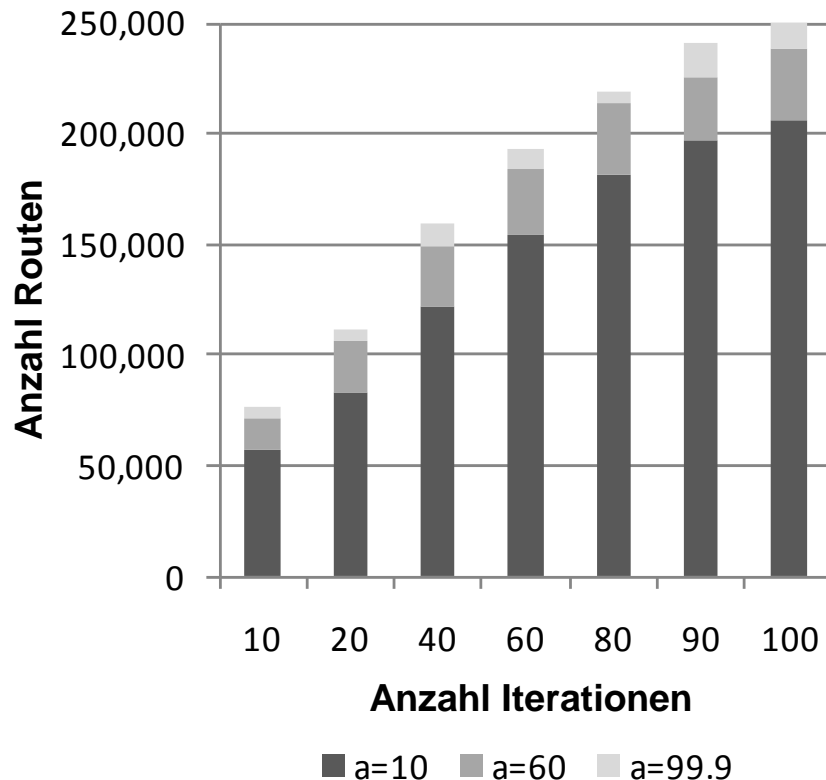
a, b, c

Stochastischer Widerstand in Iteration $i+1$,
Widerstand in Iteration i

normalverteilte Zufallszahl

Anzahl externer Iterationen der Umlegung

Parameter



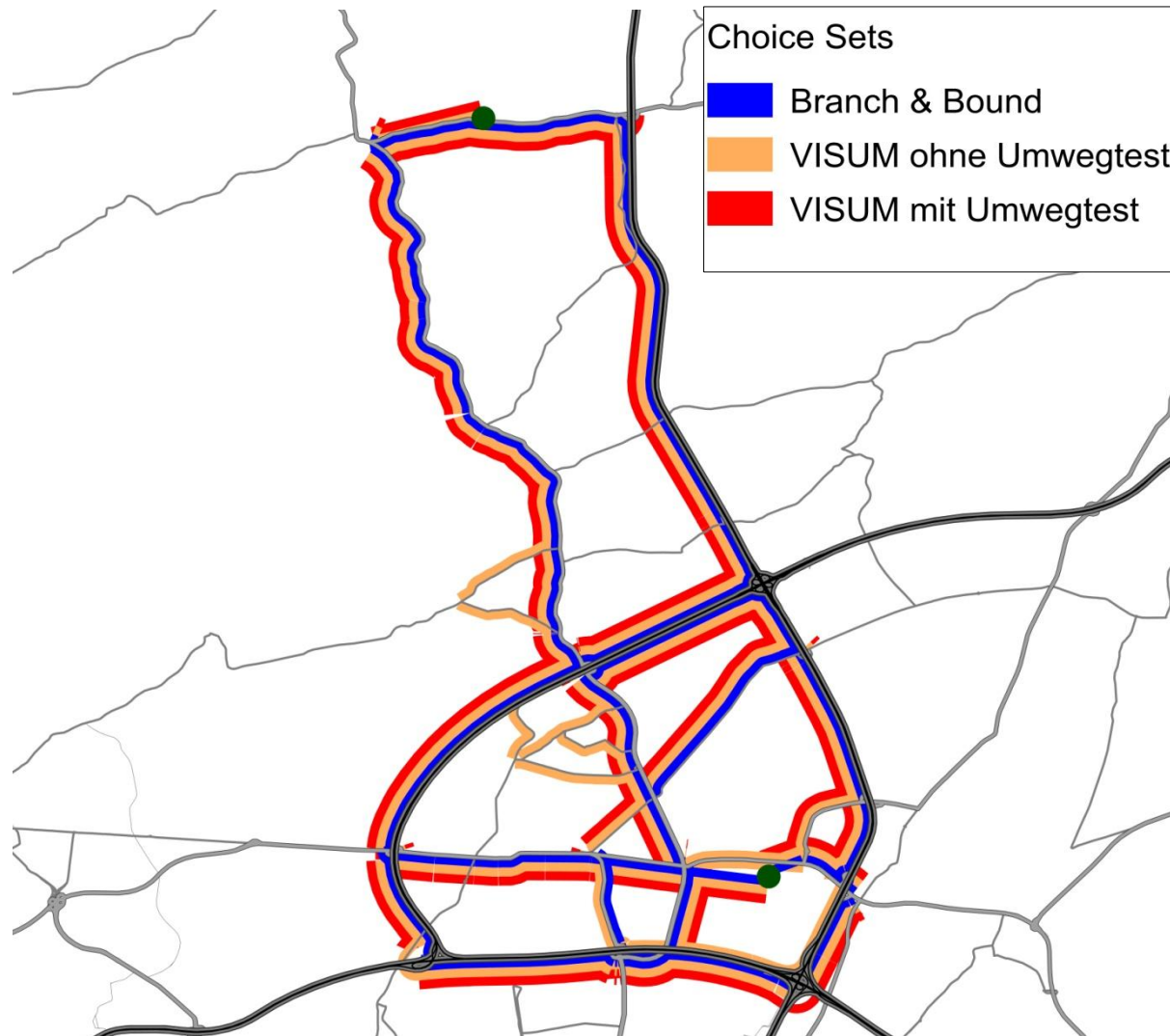


Vergleich Choice Sets

Choice Set Eigenschaften	Beobachtete Routen	Branch & Bound	VISUM Routen	VISUM Routen (Umwegtest)
Anzahl Relationen	4,100	4,100	4,100	4,100
Anzahl Routen	6,592	96,555	626,762	250,710
Mittlere Anzahl Routen pro Relation	1.6	23.6	153	61
Maximale Anzahl Routen pro Relation	12	382	879	502
Mittlere Routenlänge [km]	33.6	41.0	46.5	46.3
Mittlerer Umwegfaktor (LL)	1.45	1.67	1.54	1.54
Mittlerer Umwegfaktor (t0)	1.20	1.25	1.20	1.18
Mittlere Geschwindigkeit [min]	30.3	37.1	36.9	37.0



Vergleich Choice Sets



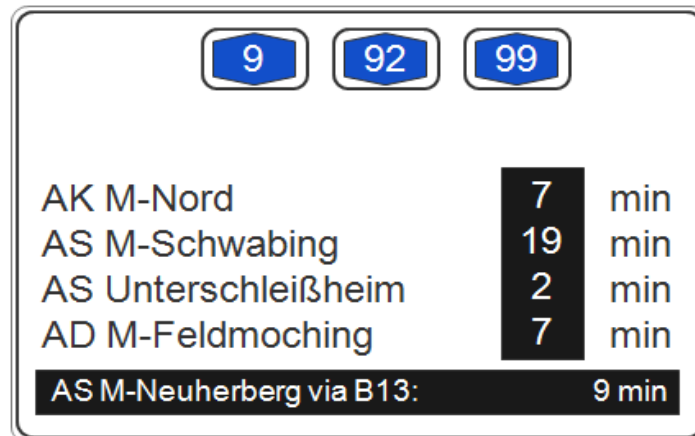
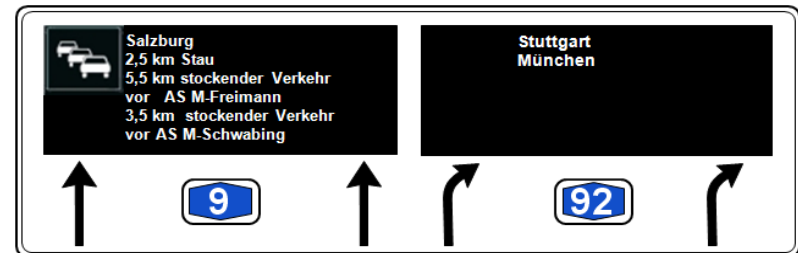
	Branch & Bound	VISUM Routen	VISUM Routen (Umwegtest)
Effektivität	98%	100%	99%
Effizienz	45%	37%	42%



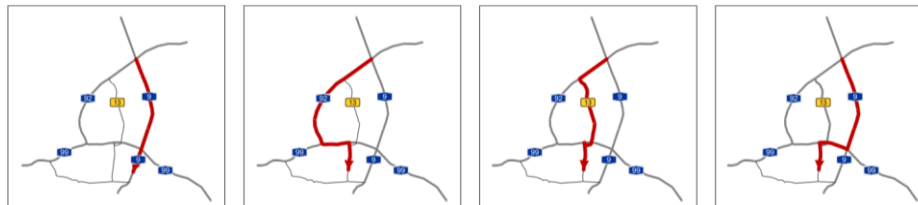
- Routensuche
 - Umwegigkeit
 - Choice Set Größe
- Routenwahl
 - Nutzenfunktion
 - Wahlmodell

Stated Preference Experiment - Aufbau

- 4 Medien, 3 Zustände \Rightarrow 12 Entscheidungssituationen
- Kombination der Zustände je nach Hauptroute aus RP-Daten



Vier Routen zur Auswahl





- Nutzenfunktion mit Verkehrsinformation aus SP-Daten

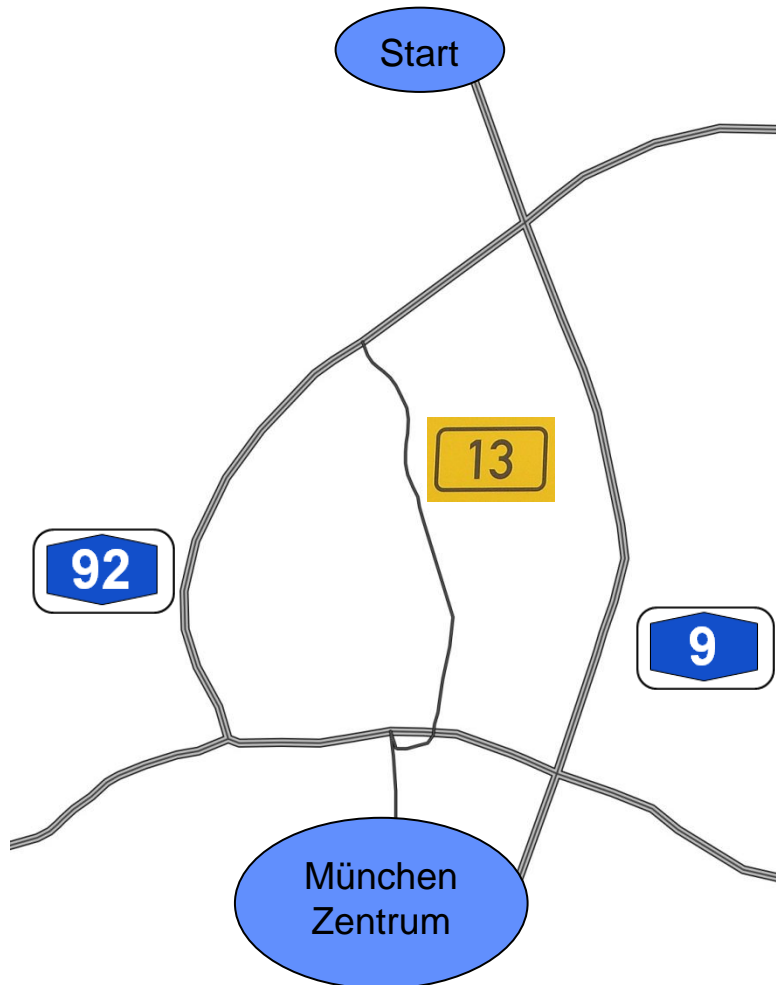
Attribut	t_{hist} [min]	I [km]	I_{LOS2} [km]	I_{LOS3} [km]	t_{DSTA} [min]	WWW [ja/nein]	I_{RSTA} [km]	I_{RSTO} [km]	DT [min]
Parameter	β_{01}	β_{03}	β_{04}	β_{05}	β_{06}	β_{07}	β_{08}	β_{09}	β_{10}
Basisnutzenfunktion	-0,616	-0,016							
LOS			-0,281	-0,483					
dWiSta					-0,702	-0,217			
Verkehrsfunk							-0,148	-0,312	
RZ-Tafel									-0,192
Mehrfachinformation			-0,281	-0,483	-0,702	-0,217	-0,148	-0,312	-0,192

Schätzung durchgeführt durch TU Dresden
Fachbereich Theorie der Verkehrsplanung
Schiller, Zimmermann, Winkler



Heutige Verkehrssituation im Ballungsraum München

Subjektive Wahrnehmung des Verkehrsangebots



- Implizites Wissen aus Erfahrung
- Unvollständige Information
- Fahrzeiten im ungestörten Zustand

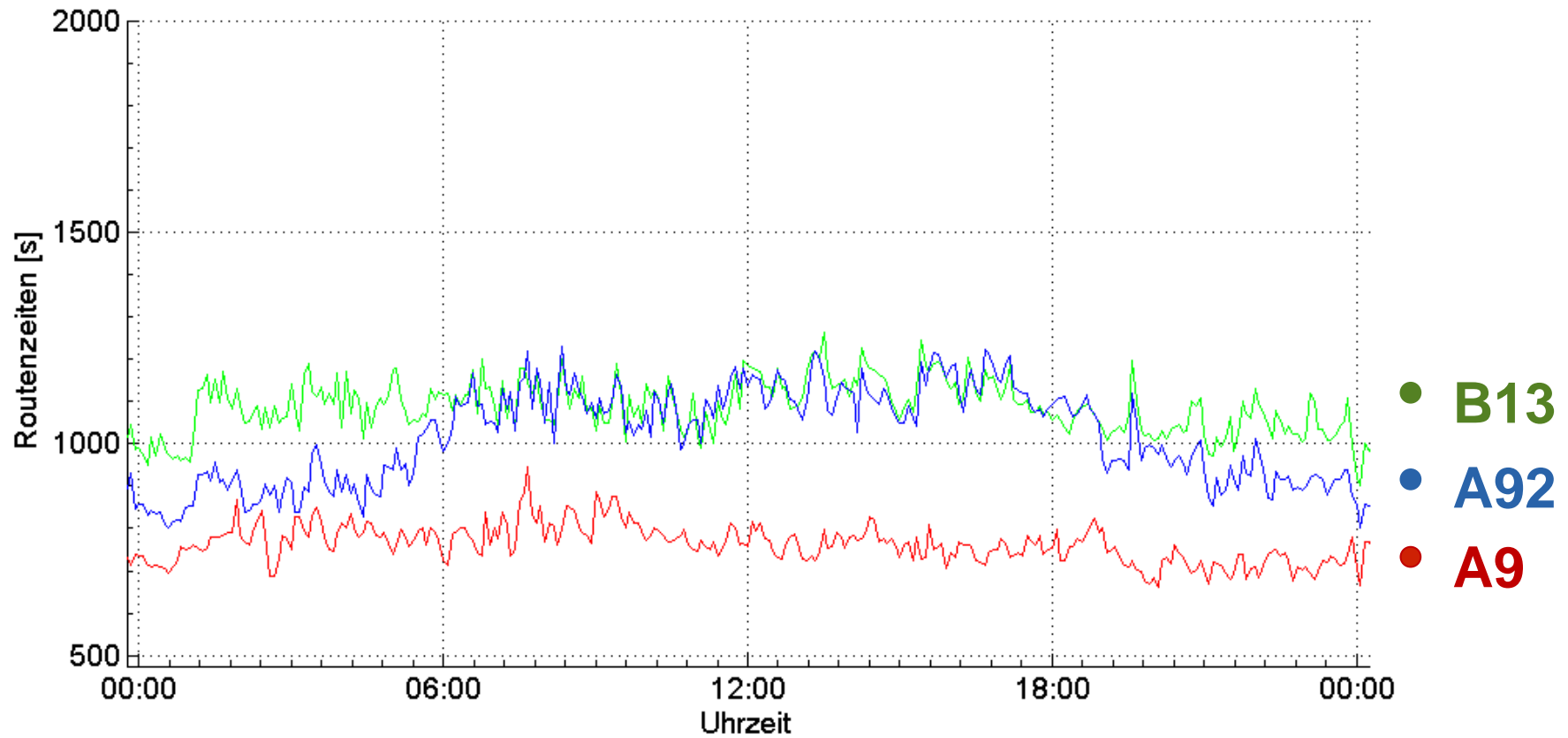
$$t_{A9} < t_{A92} \approx t_{B13}$$

- Fahrzeiten im gestörten Zustand

$$t_{A9} \approx t_{A92} \approx t_{B13}$$

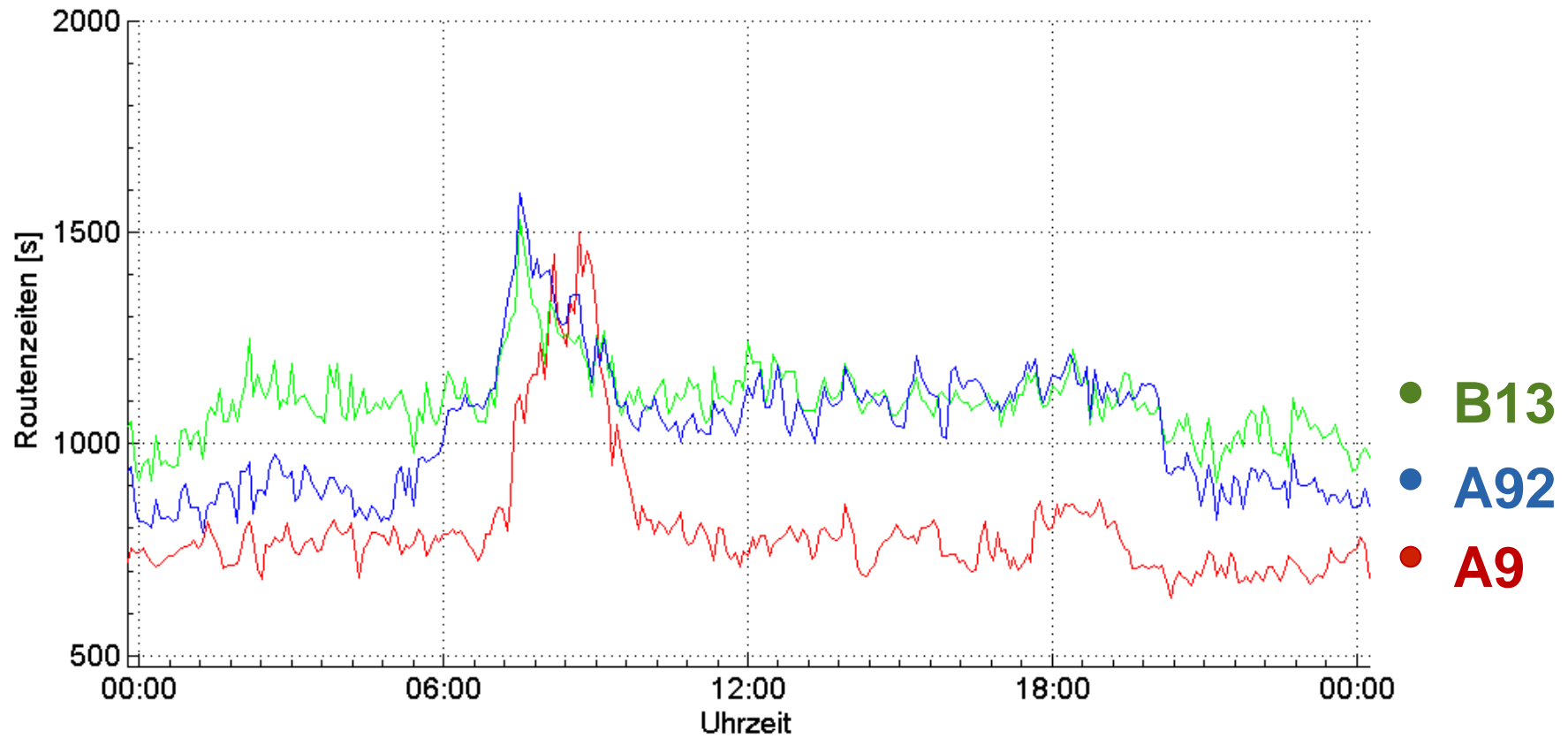


Fahrzeiten im Autobahnnetz ohne Störung



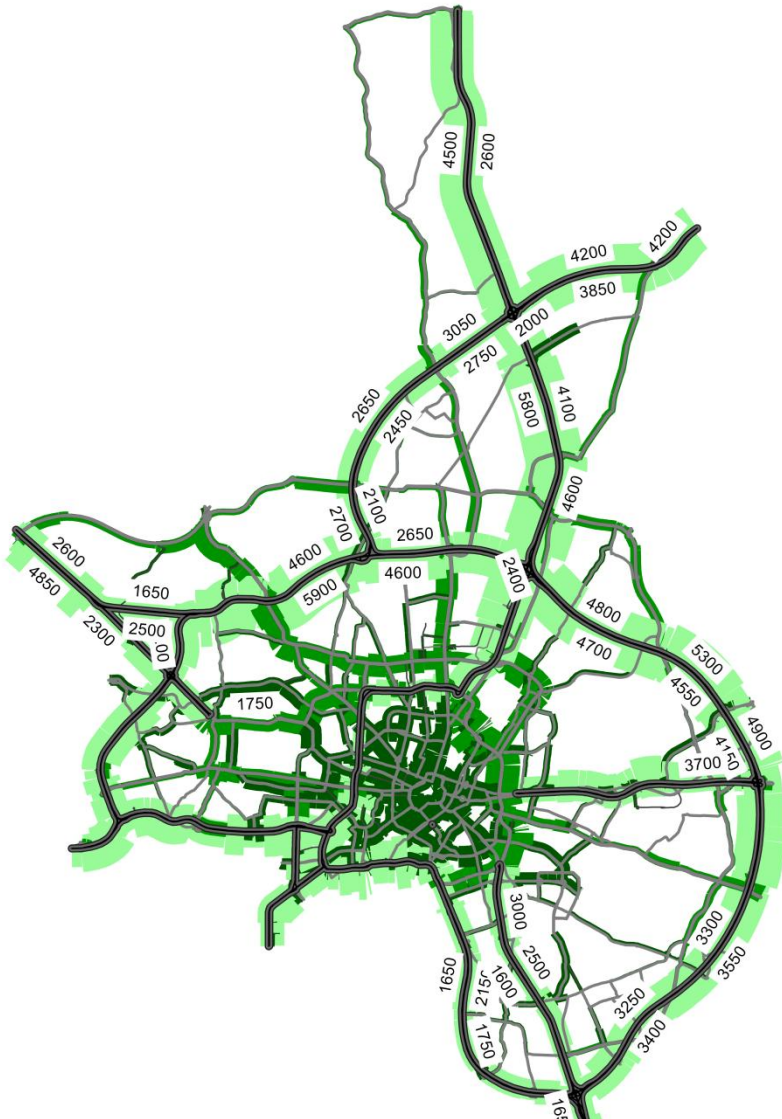


Fahrzeiten im Autobahnnetz im Störfall





Verkehr der Spitzenstunde Di 7:00 – 8:00 Uhr



	Fzg-H	Fzg-KM	KSV
Heutiger Zustand	43.900	2.740.000 (865.400)	1,91 Mio

Fzg-H: Fahrzeugstunden [h]

Fzg-KM: Fahrzeugkilometer [km]

(Fzg-KM im Nebennetz)

KSV: Kraftstoffverbrauch [kWh]

dargestellte Belastung in [Fzg/h]

Mittlere Geschwindigkeit: 47 km/h

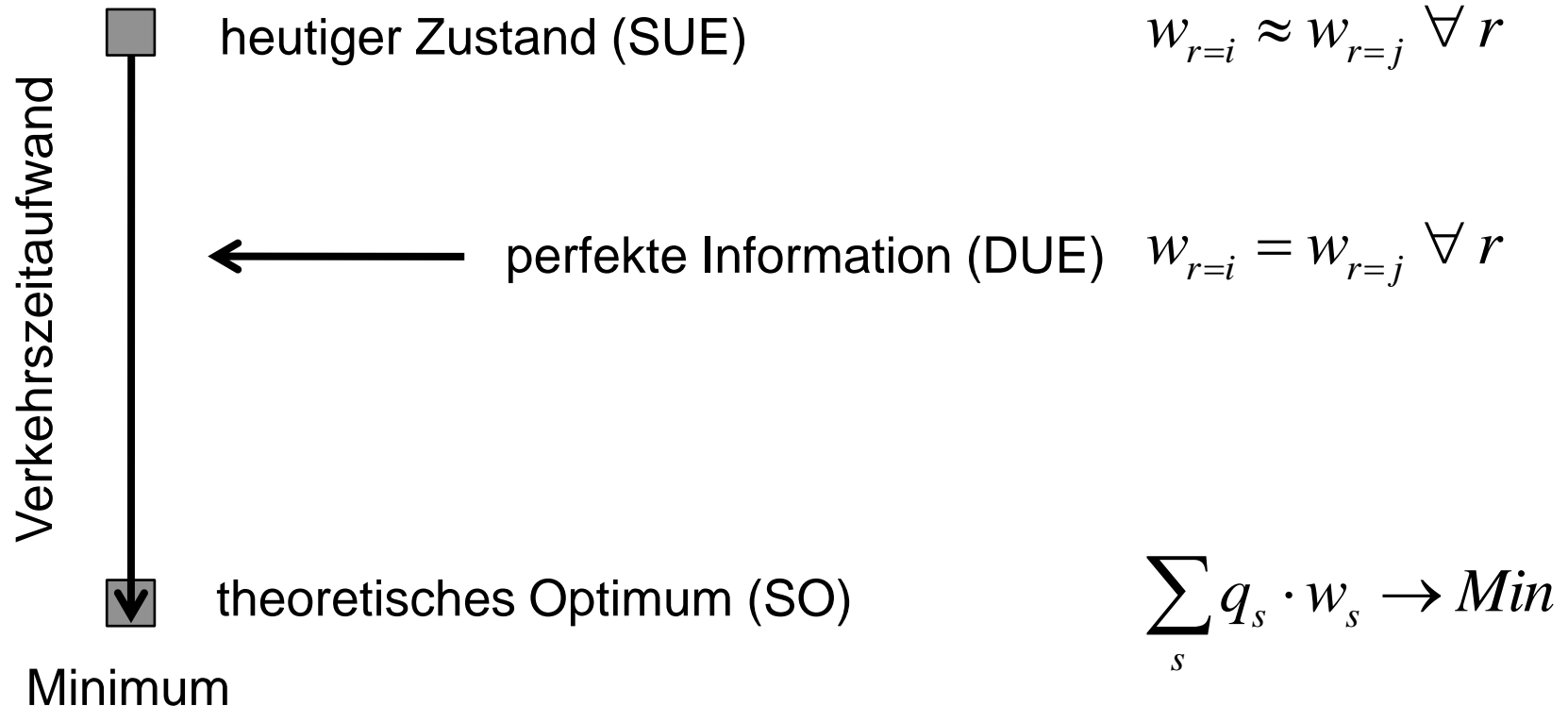
Mittlere Fahrzeit: 26 min



Beeinflussung der Routenwahl durch Information

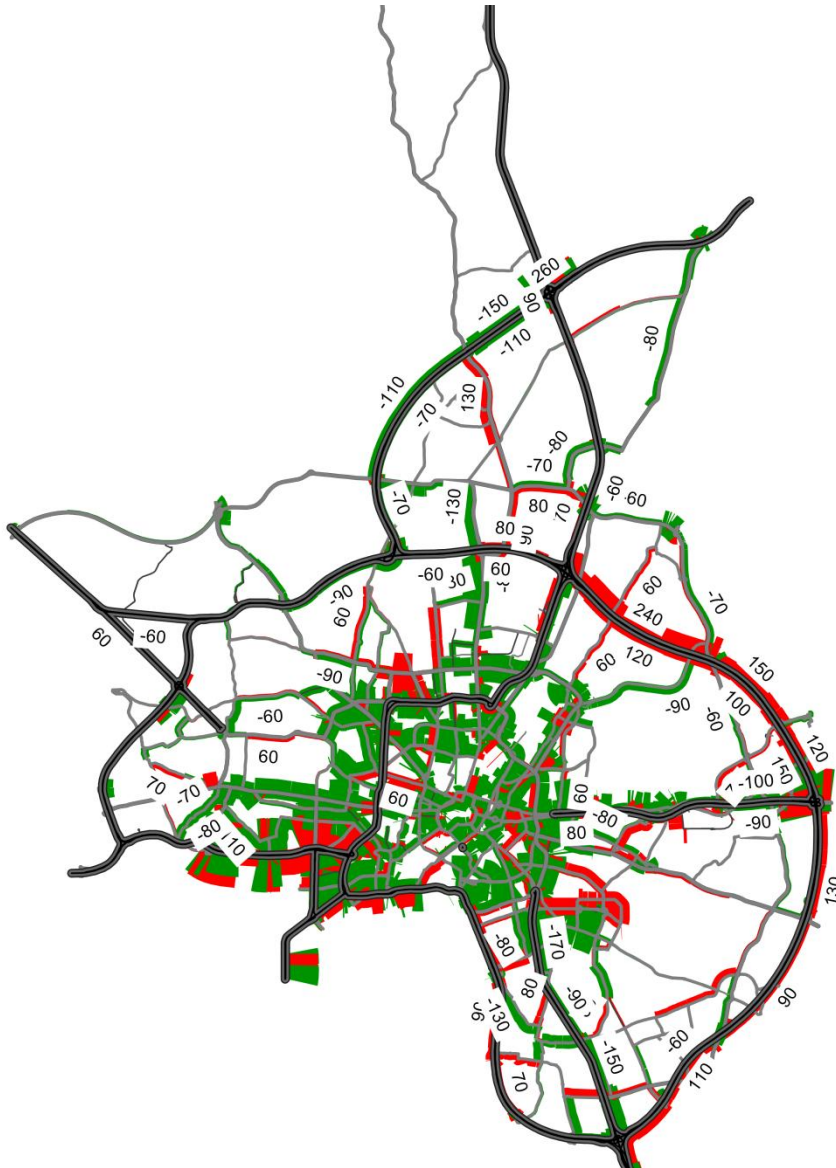
→ Minimierung des Verkehrszeitaufwand

Mögliche Verkehrszustände:





Verkehr mit perfekter Information



	Fzg-H	Fzg-KM	KSV
Heutiger Zustand	43.900	2.074.000 (865.400)	1,91 Mio
Zustand mit perfekter Information	42.100	2.046.100 (831.300)	1,90 Mio
Differenz absolut	-1.800	-27.900 (-34.100)	-15.300
Differenz [%]	-4,1	-1,3 (-3,9)	-0,8

Mittlere Geschwindigkeit: 49 km/h

Mittlere Fahrzeit: 24 min



Theoretisches Optimum



	Fzg-H	Fzg-KM	KSV
Heutiger Zustand	43.900	2.074.000 (865.400)	1,91 Mio
Optimaler Zustand	40.500	2.058.000 (898.400)	1,84 Mio
Differenz absolut	-3.400	-16.000 (33.000)	-69.900
Differenz [%]	-7,8	-0,8 (3,8)	-3,7

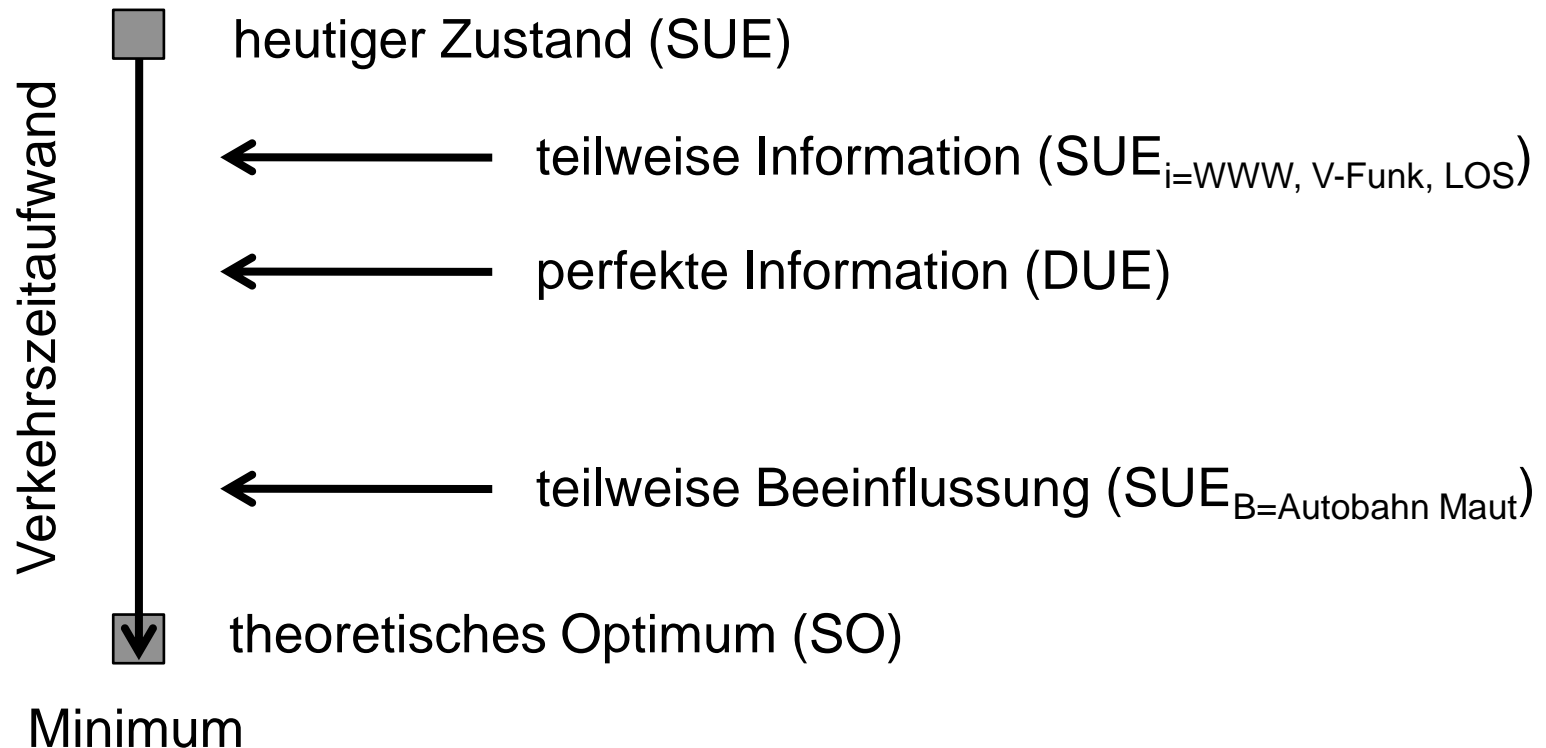
Mittlere Geschwindigkeit: 51 km/h

Mittlere Fahrzeit: 26 min



→ Minimierung des Verkehrszeitaufwand


Mögliche Verkehrszustände:





Modellierung Abfahrtszeitwahlverhalten

- 6 Entscheidungssituationen
- Zufällige Auswahl des Startpunkt
Wohnung bzw. Arbeitsplatz



<< zurück
Abbrechen

Sie fahren ...

von: Moosburg nach: München

Fahrdauer:
ca. 35 min.

Alternative Abfahrtszeit

Abfahrt **60 min.** später als üblich
dann werden in **50%** aller Fälle
Staus vermieden
und Sie sparen ca. **10 min.**

Würden Sie Ihre Abfahrtszeit
dauerhaft ändern?

Nein, bleibe bei
üblicher Abfahrtszeit.

Ja, ich würde
wechseln!



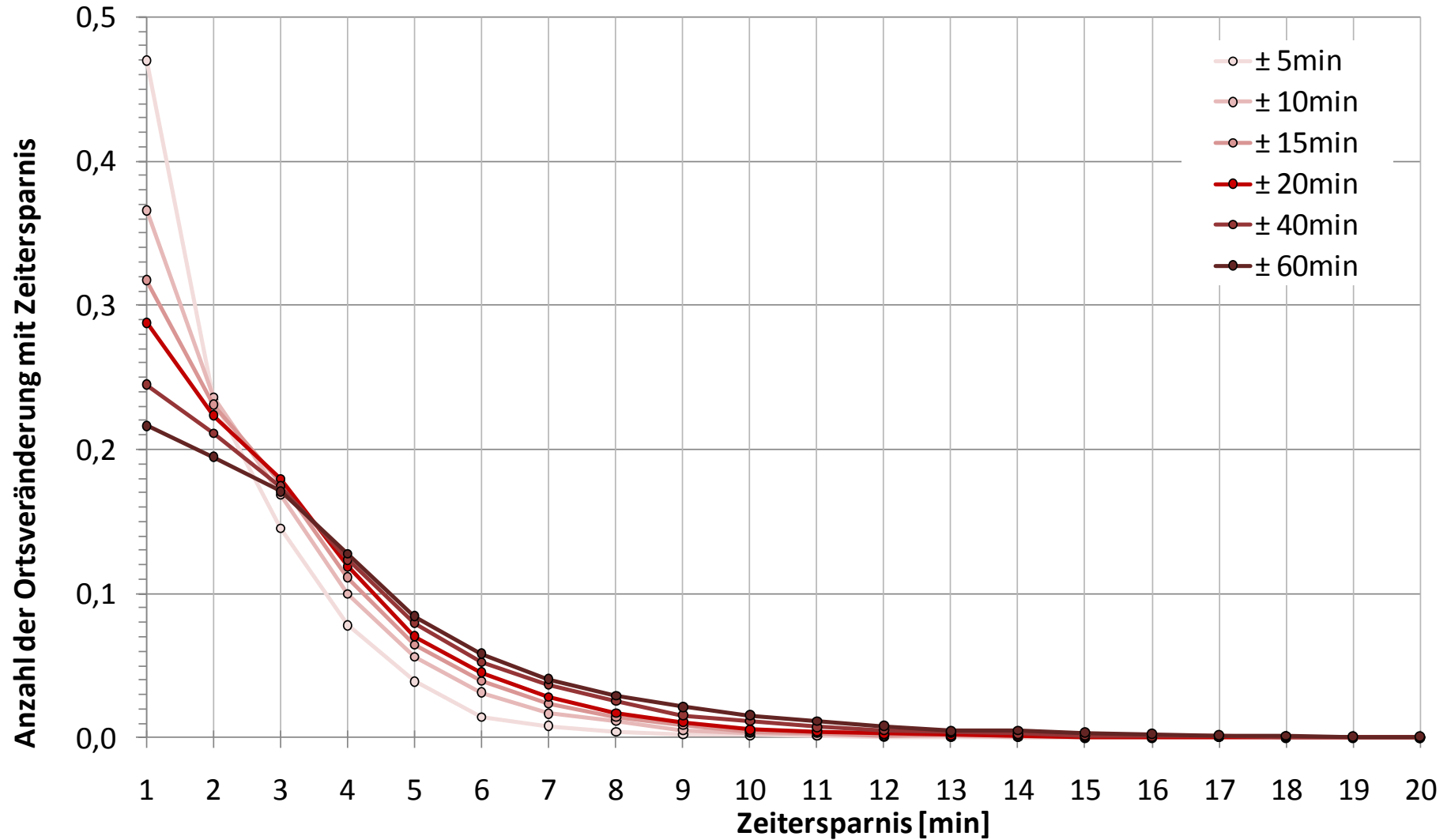
- Nutzenfunktion aus SP-Daten

Attribut	$-\Delta T$ [min]	$+\Delta T$ [min]	ZE [min]	ZV [-]
Parameter	β_{01}	β_{02}	β_{03}	β_{04}
Wert	-0,031	-0,044	0,078	0,001

Schätzung durchgeführt durch TU Dresden
Fachbereich Theorie der Verkehrsplanung
Schiller, Zimmermann, Winkler



Blick in statistische Auswertung der RP-Daten





Modellierung mit Zeitscheiben

- Stundennachfrage unterteilen in Zeitscheiben von 30 Minuten

7:00 – 8:00 Uhr

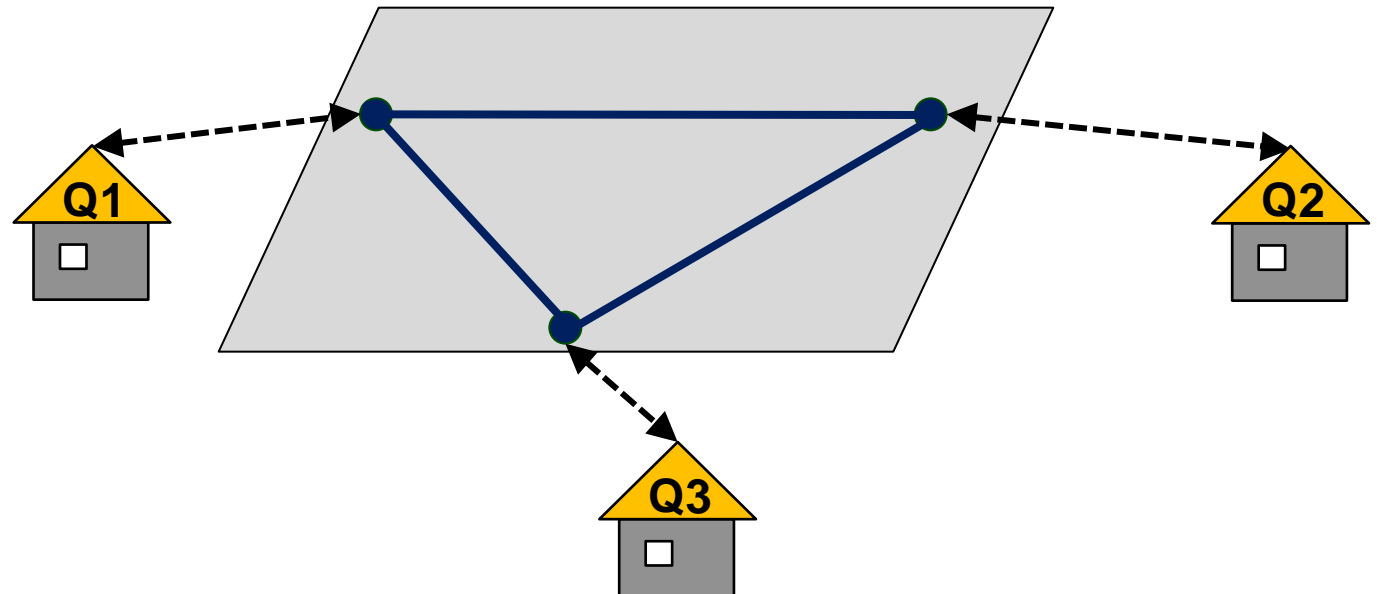
i/j	1	2	3
1		100	200
2	100		100
3	300	50	

7:30 – 8:00 Uhr

i/j	1	2	3
1		50	100
2	50		50
3	150	25	

7:00 – 7:30 Uhr

i/j	1	2	3
1		50	100
2	50		50
3	150	25	





Modellierung mit Zeitscheiben

- Eine Umlegung für jede Zeitscheibe → feste Abfahrtszeit

7:00 – 8:00 Uhr

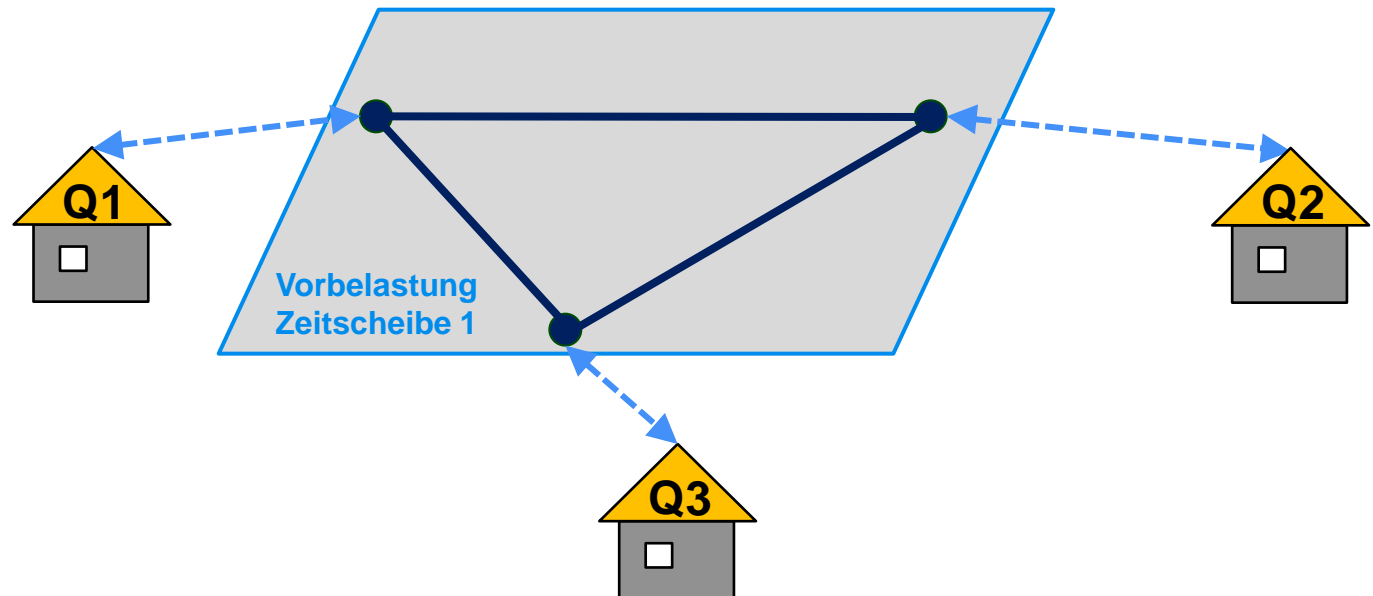
i/j	1	2	3
1		100	200
2	100		100
3	300	50	

7:00 – 7:30 Uhr

i/j	1	2	3
1		50	100
2	50		50
3	150	25	

7:30 – 8:00 Uhr

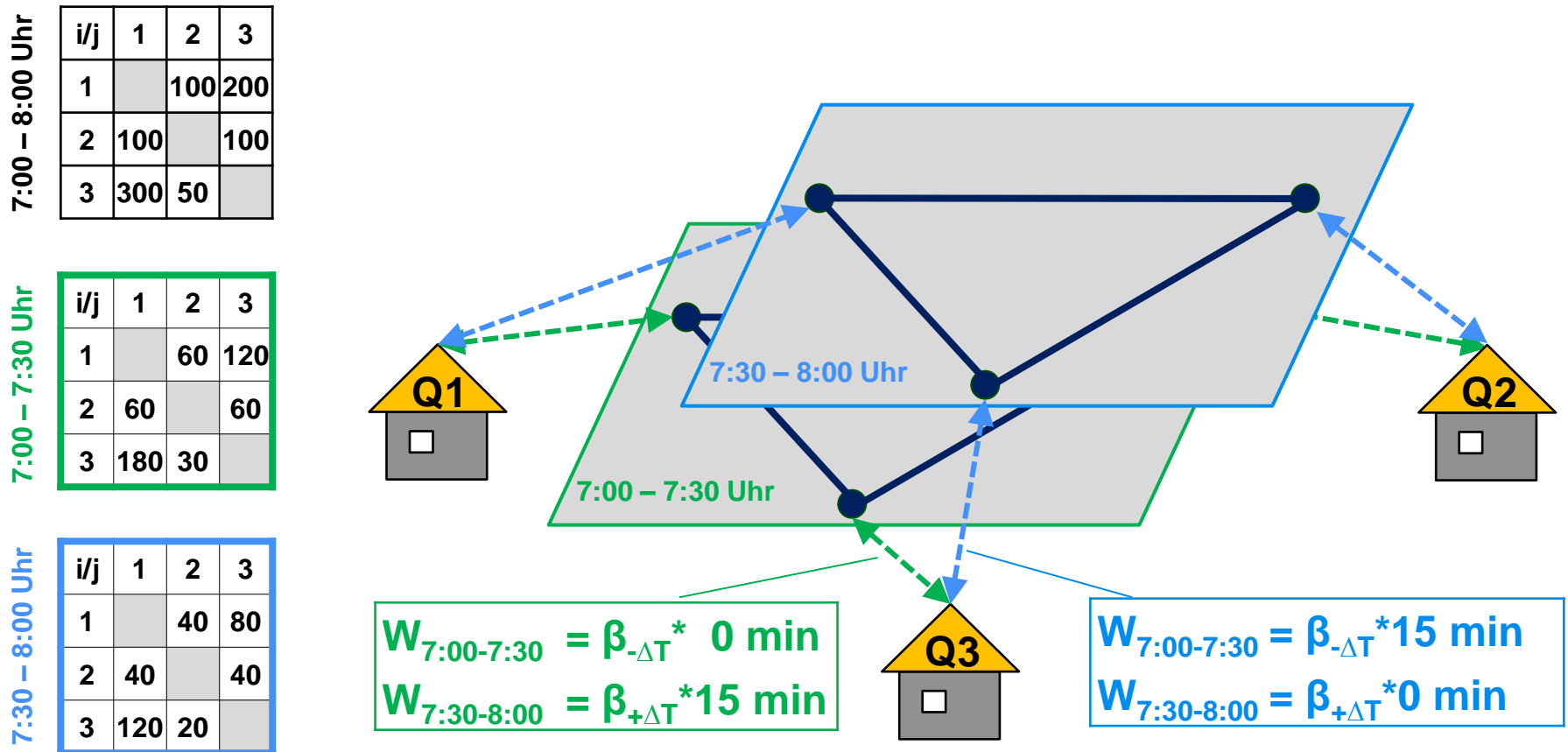
i/j	1	2	3
1		50	100
2	50		50
3	150	25	





Modellierung mit Zeitscheiben

- Ein Verkehrsnetz pro Zeitscheibe → flexible Abfahrtszeit
- Widerstände für Zeitverschiebung auf Anbindungen





- Nutzenfunktion Routenwahl

$$V_i = -\beta_{takt} \cdot t_{akt} - \beta_L \cdot L$$

- Nutzenfunktion Abfahrtszeitwahl

$$V_j = \beta_{ZE} \cdot ZE - \beta_{-\Delta T} \cdot \Delta T - \beta_{+\Delta T} \cdot \Delta T$$

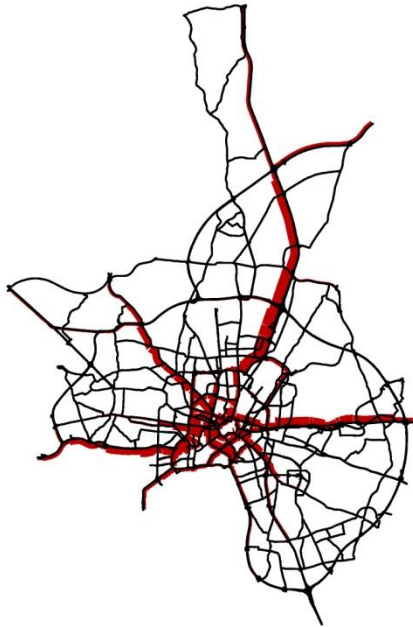
- Kombinierte Nutzenfunktion

$$V_{i,j} = \beta_{ZE} \cdot \left[\frac{1}{\beta_{takt}} \cdot V_{R_0}^{AVZ_0} - \frac{1}{\beta_{takt}} \cdot V_{R_i}^{AVZ_i} \right] - \beta_{-\Delta T} \cdot \Delta T - \beta_{+\Delta T} \cdot \Delta T$$



Ausblick: Abfahrtszeitwahlmodell

- Verlagerung Pkw mit Wunschabfahrtszeit 7:40



7:20-7:40



7:40-8:00



8:20-8:40



Vielen Dank!



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie