

Fahrgastprognosen – wie kommt der Fahrgast in den Rechner?

ÖVG Jahrestagung, Graz 2. September 2021

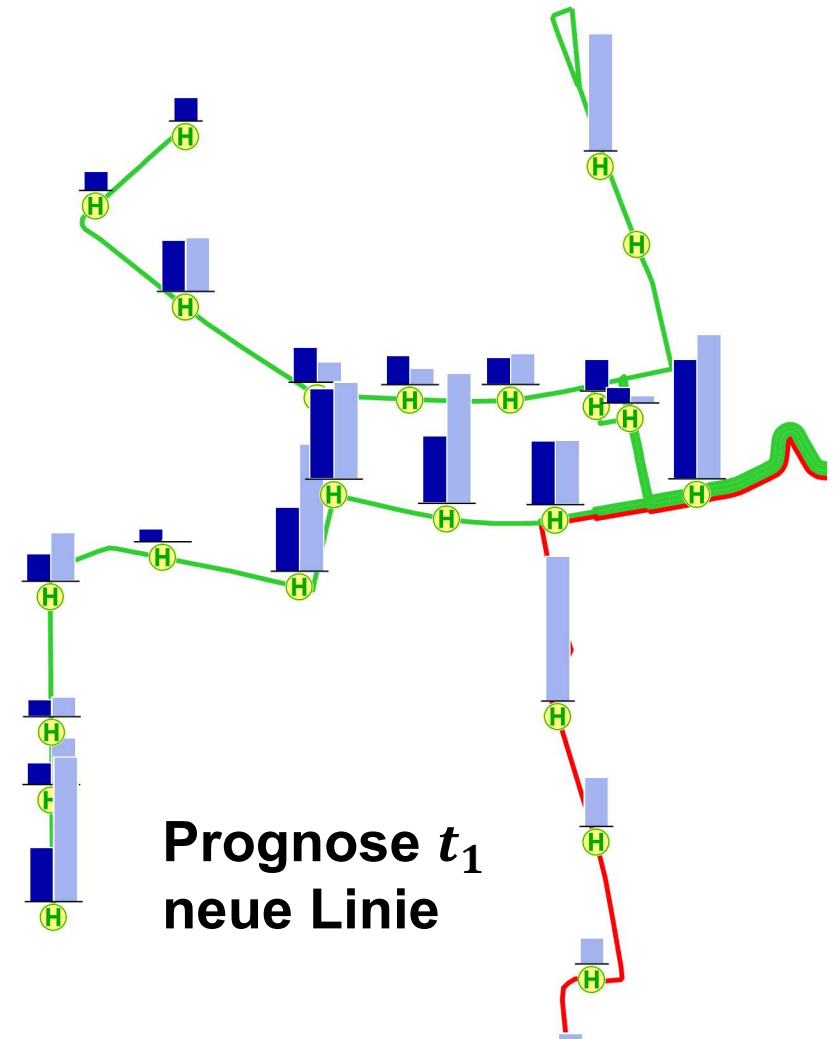
Univ.-Prof. Dr.-Ing. **Martin FELLENDORF**

Technische Universität Graz
Institut für Straßen- u. Verkehrswesen
martin.fellendorf@tugraz.at
www.isv.tugraz.at

Wie kommt der Fahrgast in den Rechner ?



Bild: Jauschowitz Christian



Fahrgastzählung (mit Rollstuhl, Kinderwagen, Fahrrad,...)

- Manuell durch Zählpersonal



- Automatisch durch Zählgeräte

- Infrarot
- Optisch (Stereokamera, strukturiertes Licht)



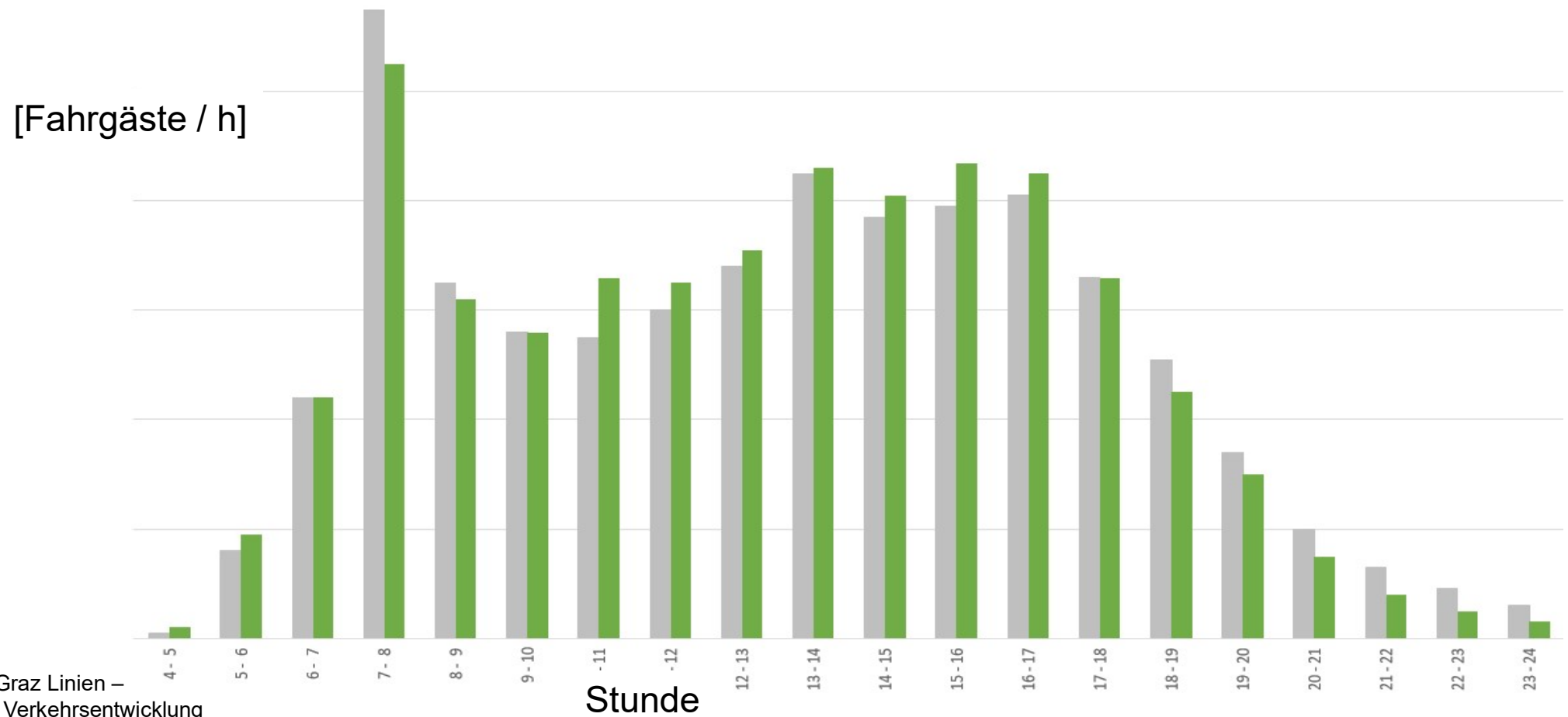
Dilax IRS



EyeSmart XT

Ergebnisse (Fahrgäste pro Haltestelle/Linie/Verkehrssystem ...)

- Vergleich stundenfein für zwei Zeitperioden

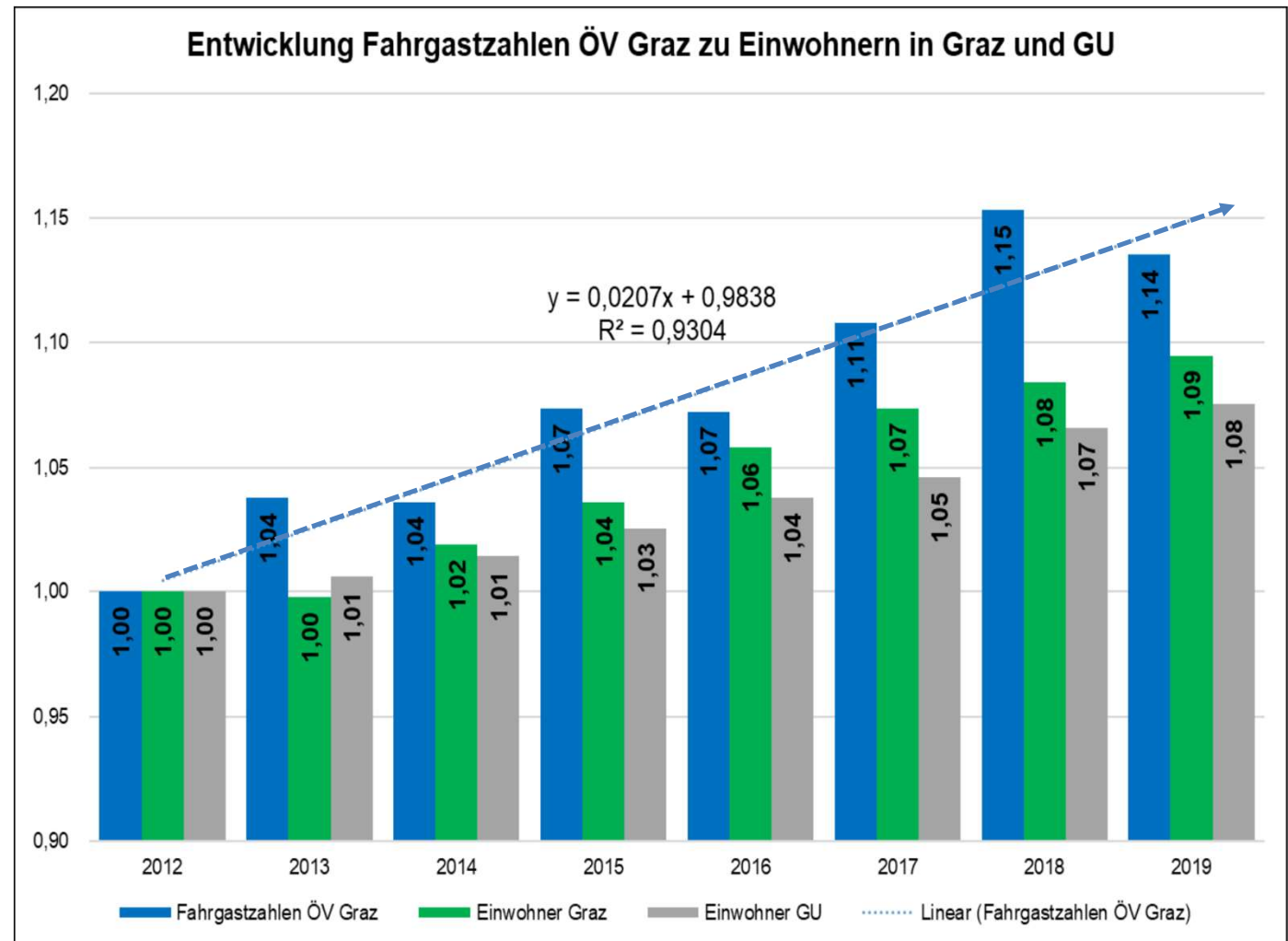


Quelle: Graz Linien –
Linien & Verkehrsentwicklung

Prognose – statistische Datenanalyse aus der Vergangenheit

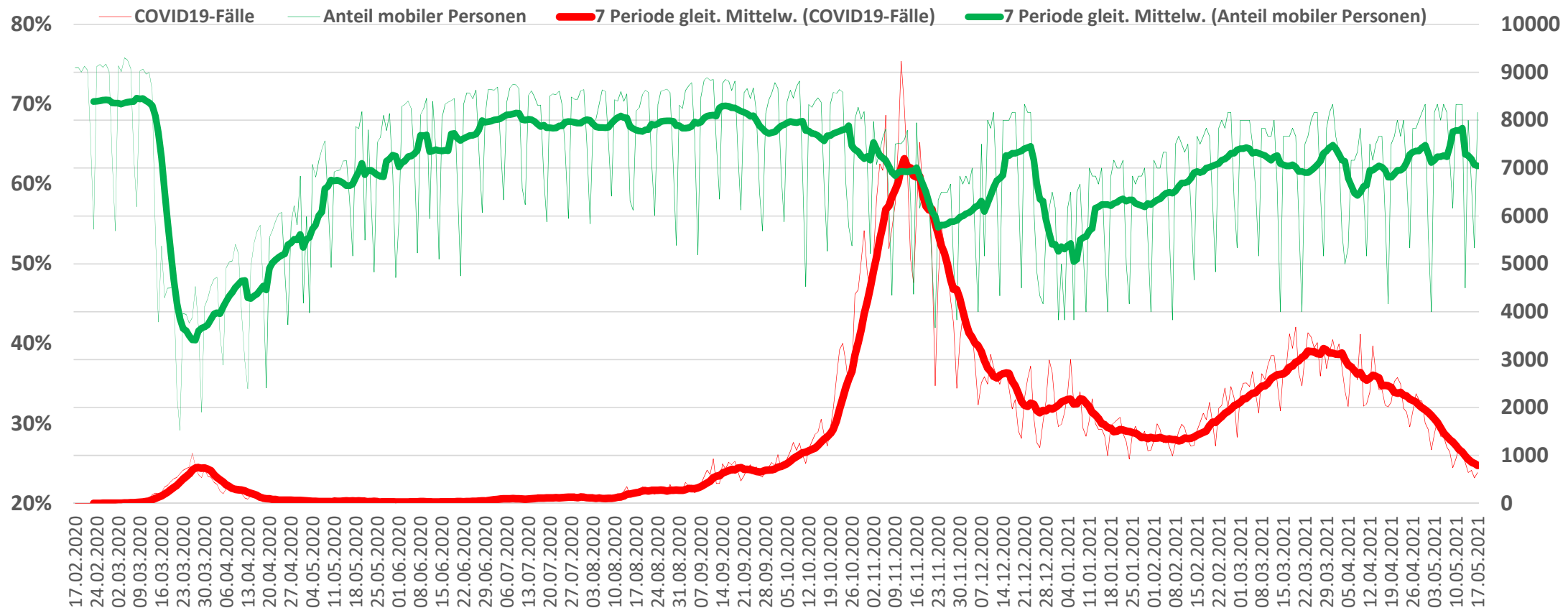
- Lineare Regression
- Varianzanalyse ANOVA
- Multivariate Kovarianz-analyse MANOVA
- Zeitreihenanalyse ARIMA
- Saisonale Zeitreihen mit exogenen Daten SARIMAX

Datenbasis: Fahrgastzahlen:
Holding Graz Linien (2012 -2019),
Einwohner Graz und GU:
Landesstatistik Steiermark



Daten aus Mobilfunkerhebung mit Quelle-Ziel

- mobile Personen (>1km am Tag von zu Haus) in Österreich 02/2020 - 05/2021



Quelle: Invenium GmbH, COVID19-Fälle: AGES Dashboard 18.05.2021

Erhebungen – Motivation und Hintergründe einer Fahrt

WANN HABEN SIE DIESE KARTE ERHALTEN ?		Datum	Uhrzeit	GESCHLECHT ?	
Bitte geben Sie Datum und genaue Uhrzeit an (z.B. 02.04., 09:15)		O weiblich O männlich	
WOHER KOMMEN SIE BEI <u>DIESER</u> FAHRT ?		WOHIN FAHREN SIE BEI <u>DIESER</u> FAHRT ?			
Ausgangsort:		Zielort: Bitte geben Sie bei Zielort in Wien die Adresse an!			
EINSTIEGSHALTESTELLE IN <u>DIESEN</u> ZUG/BUS ?		AUSSTIEGSHALTESTELLE AUS <u>DIESEM</u> ZUG/BUS?			
Einstiegshaltestelle:		Ausstiegshaltestelle:			
SIND SIE BEI <u>DIESER</u> FAHRT VON EINEM ANDEREN ÖFFENTLICHEN VERKEHRSMITTEL UMGESTIEGEN?					
O nicht umgestiegen O vom Bus O vom Zug O von der Schnellbahn O von der Straßenbahn O von der U-Bahn					
WERDEN SIE BEI <u>DIESER</u> FAHRT IN EIN ANDERES ÖFFENTLICHES VERKEHRSMITTEL UMSTEIGEN?					
O nicht umgestiegen O in den Bus O in den Zug O in die Schnellbahn O in die Straßenbahn O in die U-Bahn					
WIE GELANGTEN SIE ZUR <u>ERSTEN</u> EINSTIEGSHALTESTELLE?					
O zu Fuß O Fahrrad O Moped/Motorrad O PKW O wurde zur Haltestelle gebracht					
TÄTIGKEIT AM AUSGANGSORT ?		TÄTIGKEIT AM ZIELORT ? O WOHNEN (nach Hause)			
O WOHNEN (von zu Hause)		O ARBEIT			
O ARBEIT		O SCHULE, AUSBILDUNG			
O SCHULE, AUSBILDUNG		O DIENSTLICHE bzw. GESCHÄFTLICHE ERLEDIGUNG O PRIVATE ERLEDIGUNG (Arzt, Behörde, Besuch, ...) O FREIZEIT (Sport, Spaziergang, ...)			
O DIENSTLICHE bzw. GESCHÄFTLICHE ERLEDIGUNG O PRIVATE ERLEDIGUNG (Arzt, Behörde, Besuch, ...) O FREIZEIT (Sport, Spaziergang, ...)		O EINKAUF			
O EINKAUF		O URLAUB			
O URLAUB		Wie häufig unternehmen Sie diesen Weg ? (Ausgangsort → Zielort)			
VERWENDETE(R) FAHRAUSWEIS(E)? (Mehrfachnennung möglich)		O seltener als einmal pro Woche O 1 – 2 mal pro Woche O 3 – 4 mal pro Woche O 5 mal pro Woche (Mo bis Fr) O mehr als 5 mal pro Woche			
O Einzelkarte					
O Wochenkarte Zone(n):					
O Monatskarte Zone(n):					
O Jahreskarte Zone(n):					
O Schüler-/Lehrlingsfreifahrt					
O ÖBB-Vorteilscard					
O sonstige(r) Fahrausweis(e):					
Fahren Sie diesen Weg heute auch zurück ?					
O NEIN O JA wenn JA um wie viel Uhr: (ungefähre Angabe)					

Wegeprotokoll für den Stichtag

Wählen Sie bitte als Stichtag den letzten vergangenen Werktag aus. Wenn Sie diesen Bogen zum Bsp. an einem Montag ausfüllen, so wählen Sie bitte den vergangenen Freitag. Füllen Sie den Bogen an einem Dienstag aus, wählen Sie bitte den vorhergehenden Montag aus usw.

1. Hatten Sie an diesem Tag eines der folgenden Tickets bzw. Ausweise für den öffentlichen Verkehr?

- ☐ Wochenkarte
☐ Monatskarte
☐ Halbjahres-/Jahreskarte
☐ SchülerInnen-/Lehrlingsfreifahrt
☐ StudentInnensemesterkarte
☐ PensionistInnenkarte
☐ anderes Ticket

2. Waren Sie an diesem Tag für die Betreuung von Familienangehörigen (z.B. Kinder, Eltern) zuständig?

- ☐ ja, Großteil des Tages
☐ ja, (fast) täglich
☐ ja, mind. 1x pro Woche
☐ ja, mind. 1x pro Monat
☐ nein, seltener als 1x pro Monat
☐ nein

3. Sind Sie an diesem Tag außer Haus gegangen?

- ☐ nein (somit Ende der Befragung)
☐ ja, ich habe mindestens 1x Wohnung bzw. Haus verlassen

4. Wo war der Ausgangspunkt für den ersten Weg?

- ☐ meine Wohnadresse (Hauptwohnsitz)
☐ andere Adresse
 (bitte geben Sie in diesem Fall die Adresse Ihres Ausgangspunktes an)

Straße/Hausnr.:

Ort:

Auf den folgenden Seiten können Sie Ihre Wege (1. Weg bis 8. Weg) für den Stichtag eintragen. Bitte lesen Sie sich das Beispiel zur Erläuterung möglicher Wege auf der Rückseite des haushaltsbezogenen Fragebogens durch, bevor Sie Ihre Wege eintragen (Seite 2). Tragen Sie bitte alle Wege für den Stichtag ein. Auch Fußwege, kurze Wege oder der Rückweg sind wichtig.

1. Weg / Datum:

Startzeit Uhrzeit :
 Zielort
 Straße/Hausnr.:
 PLZ/Ort
 andere Information

Ankunft: Uhrzeit :
 Länge des Weges km

- Zweck des Weges
☐ Weg zum Arbeitsplatz
☐ dienstlicher/geschäftlicher Weg
☐ Weg zur Ausbildungsstätte (z.B. Schule, Lehrstelle, Universität)
☐ Einkauf für den täglichen Bedarf (z.B. Lebensmittel)
☐ Einkauf für den längerfristigen Bedarf (z.B. Kleidung, Möbel)
☐ Tagesausflug/Urlaub
☐ Freizeit (Sport, Spazieren, Besuche, Kultur, Kino, Gasthaus, Cafe)
☐ Bringen/Holen von Personen
☐ Sonstiger Zweck (z.B. Arzt, private Erledigungen)
☐ Weg nach Hause

Regelmäßigkeit des Weges
☐ ja, (fast) täglich
☐ ja, mind. 1x pro Woche
☐ ja, mind. 1x pro Monat
☐ nein, seltener als 1x pro Monat

Begleitpersonen
☐ ja
☐ nein
 Anzahl Erwachsene :
 Anzahl Kinder :

- Verkehrsmittel
☐ PKW als FahrerIn
☐ Moped / Motorrad als FahrerIn
☐ PKW / Moped / Motorrad als MitfahrerIn
☐ öffentliches Verkehrsmittel
☐ Fahrrad
☐ zu Fuß
☐ Sonstige (LKW, Taxi, etc.)

Wenn PKW benutzt:
 Art des Parkplatzes:
☐ kostenloser Parkplatz
☐ kostenpflichtiger Parkplatz (Kurzparkzone, Parkgarage)
☐ gemieteter/gekaufter Parkplatz oder Anwohnerparkkarte
 Parkplatzsuche
☐ sehr schwierig
☐ eher schwierig
☐ einfach

Wenn öffentliche Verkehrsmittel benutzt:
 Verkehrsmittel zur Einstiegshaltestelle
☐ PKW als FahrerIn
☐ Moped / Motorrad als FahrerIn
☐ PKW / Moped / Motorrad als MitfahrerIn
☐ Fahrrad
☐ zu Fuß

Art des öffentlichen Verkehrsmittels
☐ Zug
☐ Bus
☐ Straßenbahn
☐ U-Bahn

Ticket für den öffentlichen Verkehr
☐ Einzel/Mehrfachticket
☐ Zeitkarte (Freifahrt, Wochen-, Monats-, Jahres- oder Halbjahresticket)
☐ Tagesticket

Umsiegehaftigkeit
☐ nie
☐ 1x
☐ 2x oder öfter

Verkehrsmittel zum Ziel des Weges
☐ PKW als FahrerIn
☐ Moped / Motorrad als FahrerIn
☐ PKW / Moped / Motorrad als MitfahrerIn
☐ Fahrrad
☐ zu Fuß

2. Weg

Startzeit Uhrzeit :
 Zielort
 Straße/Hausnr.:
 PLZ/Ort
 andere Information

Ankunft: Uhrzeit :
 Länge des Weges km

- Zweck des Weges
☐ Weg zum Arbeitsplatz
☐ dienstlicher/geschäftlicher Weg
☐ Weg zur Ausbildungsstätte (z.B. Schule, Lehrstelle, Universität)
☐ Einkauf für den täglichen Bedarf (z.B. Lebensmittel)
☐ Einkauf für den längerfristigen Bedarf (z.B. Kleidung, Möbel)
☐ Tagesausflug/Urlaub
☐ Freizeit (Sport, Spazieren, Besuche, Kultur, Kino, Gasthaus, Cafe)
☐ Bringen/Holen von Personen
☐ Sonstiger Zweck (z.B. Arzt, private Erledigungen)
☐ Weg nach Hause

Regelmäßigkeit des Weges
☐ ja, (fast) täglich
☐ ja, mind. 1x pro Woche
☐ ja, mind. 1x pro Monat
☐ nein, seltener als 1x pro Monat

Begleitpersonen
☐ ja
☐ nein
 Anzahl Erwachsene :
 Anzahl Kinder :

- Verkehrsmittel
☐ PKW als FahrerIn
☐ Moped / Motorrad als FahrerIn
☐ PKW / Moped / Motorrad als MitfahrerIn
☐ öffentliches Verkehrsmittel
☐ Fahrrad
☐ zu Fuß
☐ Sonstige (LKW, Taxi, etc.)

Wenn PKW benutzt:
 Art des Parkplatzes:
☐ kostenloser Parkplatz
☐ kostenpflichtiger Parkplatz (Kurzparkzone, Parkgarage)
☐ gemieteter/gekaufter Parkplatz oder Anwohnerparkkarte
 Parkplatzsuche
☐ sehr schwierig
☐ eher schwierig
☐ einfach

Wenn öffentliche Verkehrsmittel benutzt:
 Verkehrsmittel zur Einstiegshaltestelle
☐ PKW als FahrerIn
☐ Moped / Motorrad als FahrerIn
☐ PKW / Moped / Motorrad als MitfahrerIn
☐ Fahrrad
☐ zu Fuß

Art des öffentlichen Verkehrsmittels
☐ Zug
☐ Bus
☐ Straßenbahn
☐ U-Bahn

Ticket für den öffentlichen Verkehr
☐ Einzel/Mehrfachticket
☐ Zeitkarte (Freifahrt, Wochen-, Monats-, Jahres- oder Halbjahresticket)
☐ Tagesticket

Umsiegehaftigkeit
☐ nie
☐ 1x
☐ 2x oder öfter

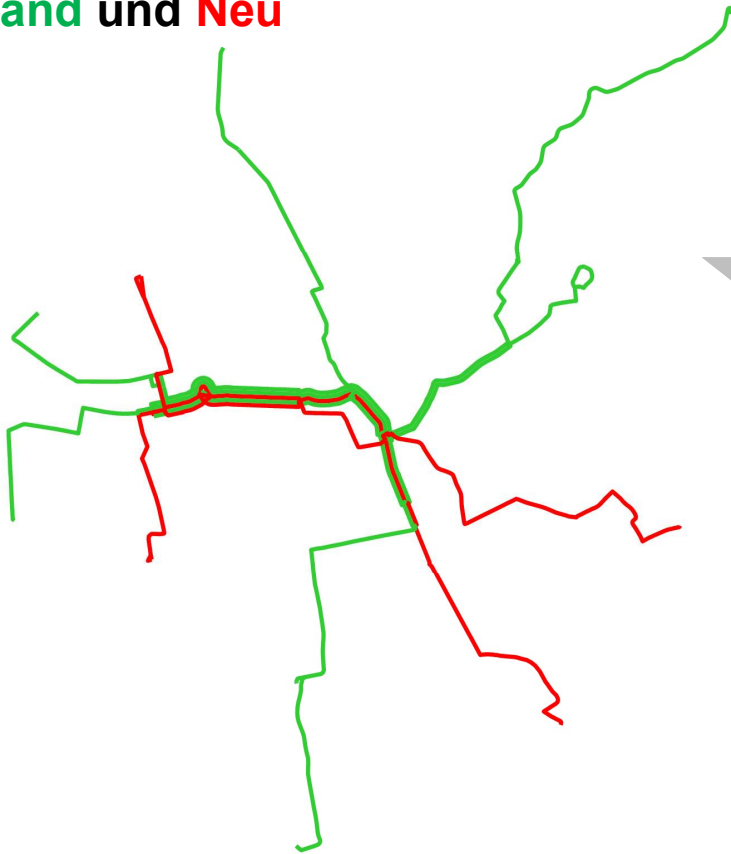
Verkehrsmittel zum Ziel des Weges
☐ PKW als FahrerIn
☐ Moped / Motorrad als FahrerIn
☐ PKW / Moped / Motorrad als MitfahrerIn
☐ Fahrrad
☐ zu Fuß

Weitere Wege bitte auf der nächsten Seite eintragen! 5

Verkehrsplanerische Problemstellung – Angebot und Nachfrage

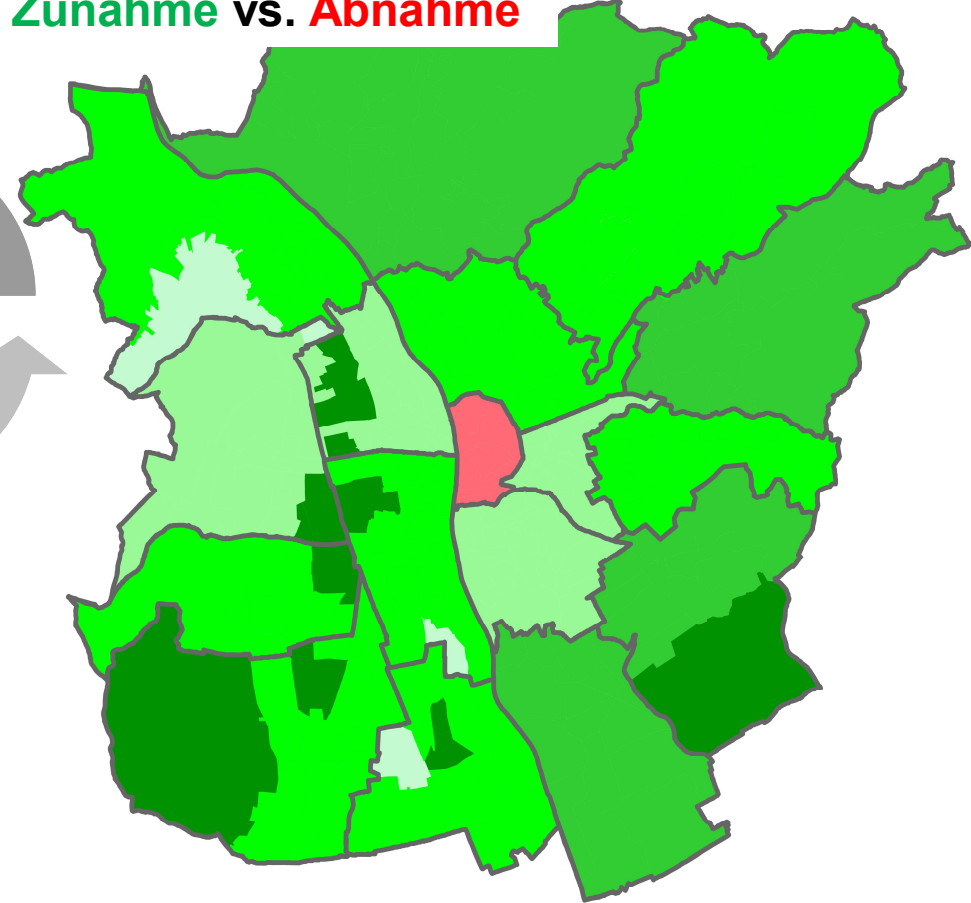
Angebotsänderung

Bestand und Neu



Bevölkerungsänderung

Zunahme vs. Abnahme

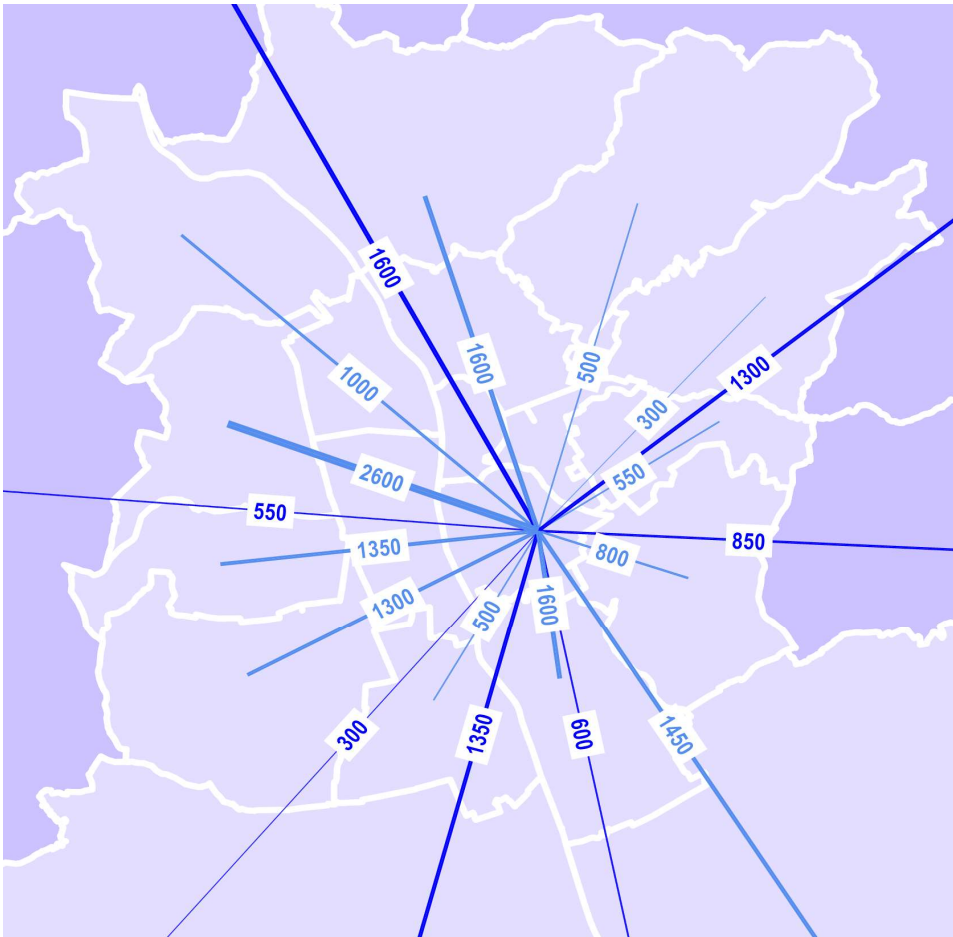


Nachfrage

Angebot

Verkehrsbeziehungen - Quell-Ziel-Matrizen

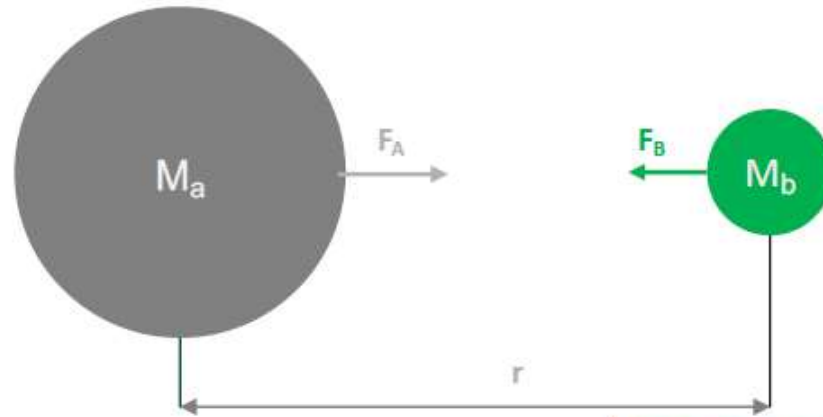
- gesucht: Fahrtwünsche von Gebiet (Verkehrszelle) in alle anderen Verkehrszellen



IST		Zielverkehr						Prod.
		1	2	3	...	j	...	
Quellverkehr	1							
	2							
	⋮							
	i					F_{ij}		Sum i
	⋮							
Attraktion							Sum j	

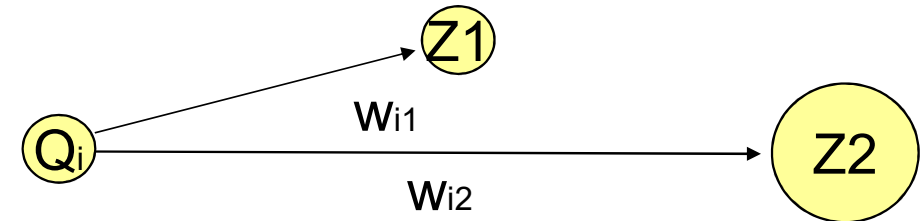
Prognose		Zielverkehr						Prod.
		1	2	3	...	j	...	
Quellverkehr	1							
	2							
	⋮							
	i					F_{ij}		Sum i
	⋮							
Attraktion							Sum j	

Physikalisches Modell – Newton's Gravitationsgesetz



Analogie im Verkehr - Fahrtenanzahl zwischen zwei Verkehrszellen

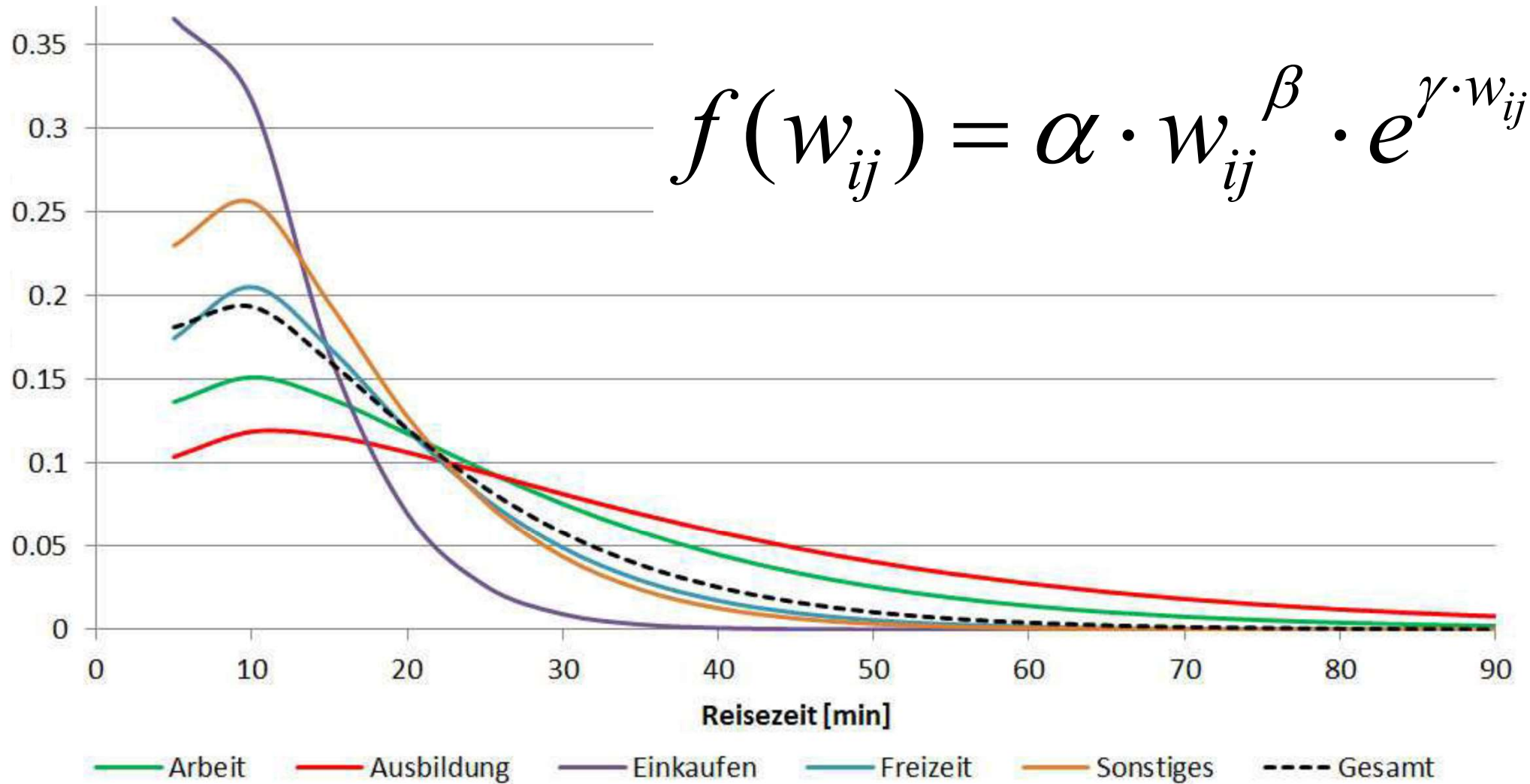
- Mit zunehmender Entfernung nimmt die Fahrtanzahl zwischen 2 Orten ab
- Die Fahrtanzahl nimmt zu je „attraktiver“ eine Verkehrszelle (oder ihre Strukturgröße) ist



- Gravitationsmodell

$$Fahrten_{ij} = \frac{(Quellattraktivität_i * Zielattraktivität_j)}{Widerstand_{ij}} * Konstante$$

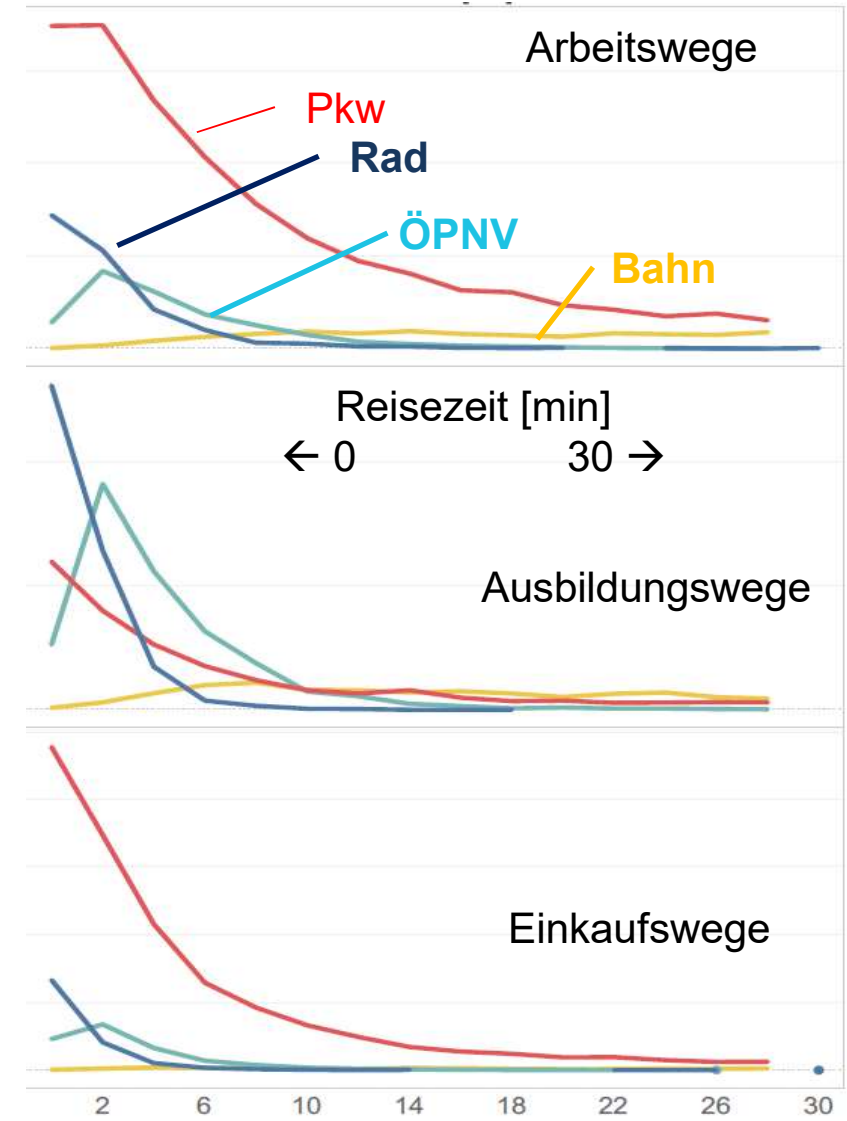
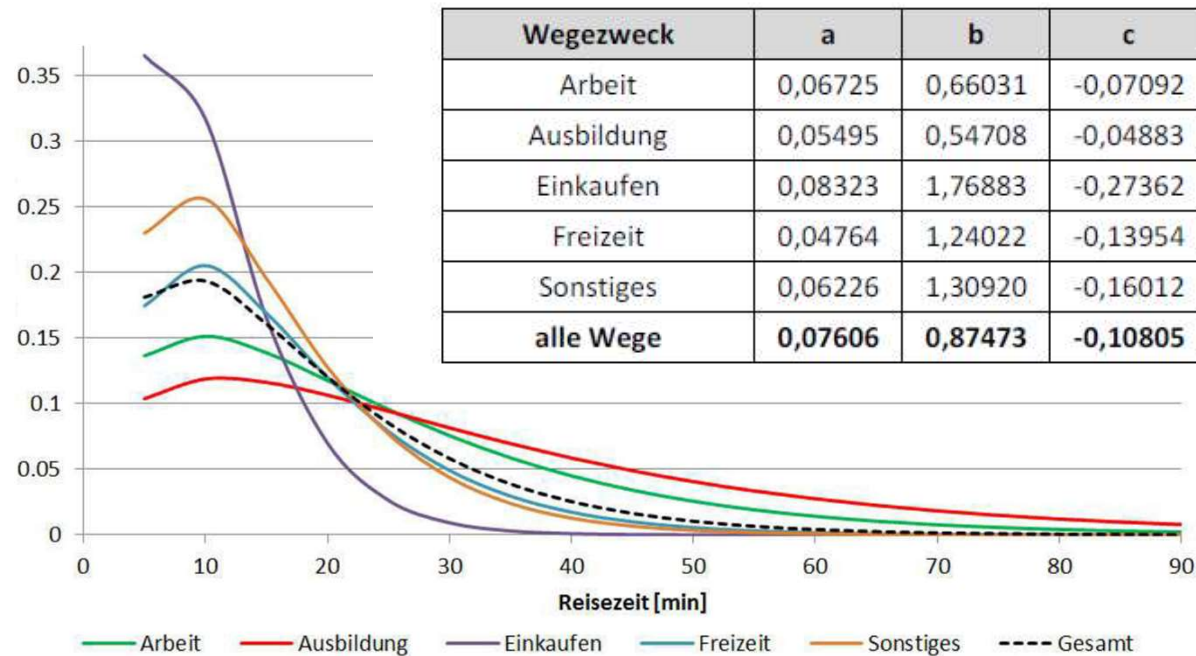
Widerstandsfunktion zum Gravitationsmodell



$$f(w_{ij}) = \alpha \cdot w_{ij}^{\beta} \cdot e^{\gamma \cdot w_{ij}}$$

Entfernungswiderstand

$$f(w_{ij}) = \alpha \cdot w_{ij}^{\beta} \cdot e^{\gamma \cdot w_{ij}}$$

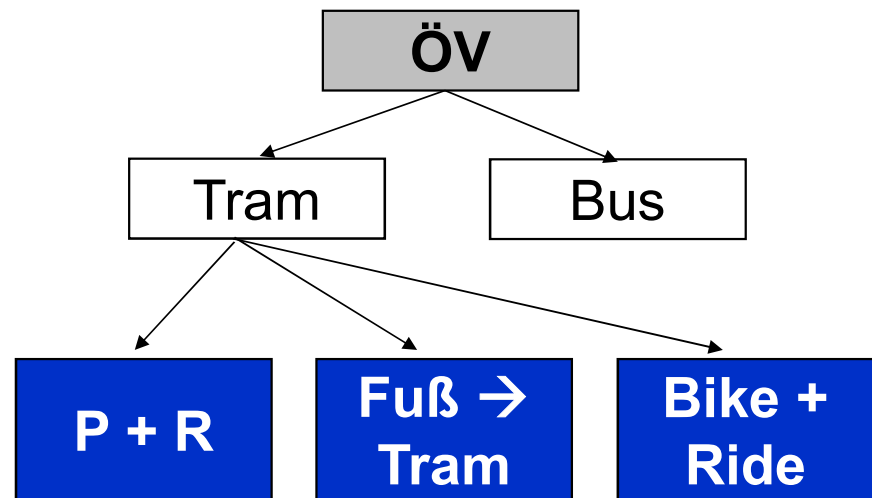
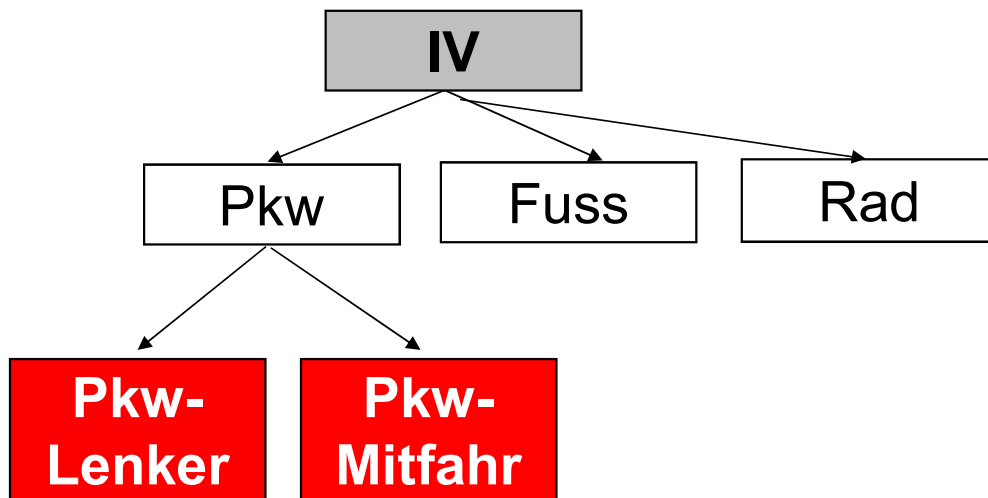
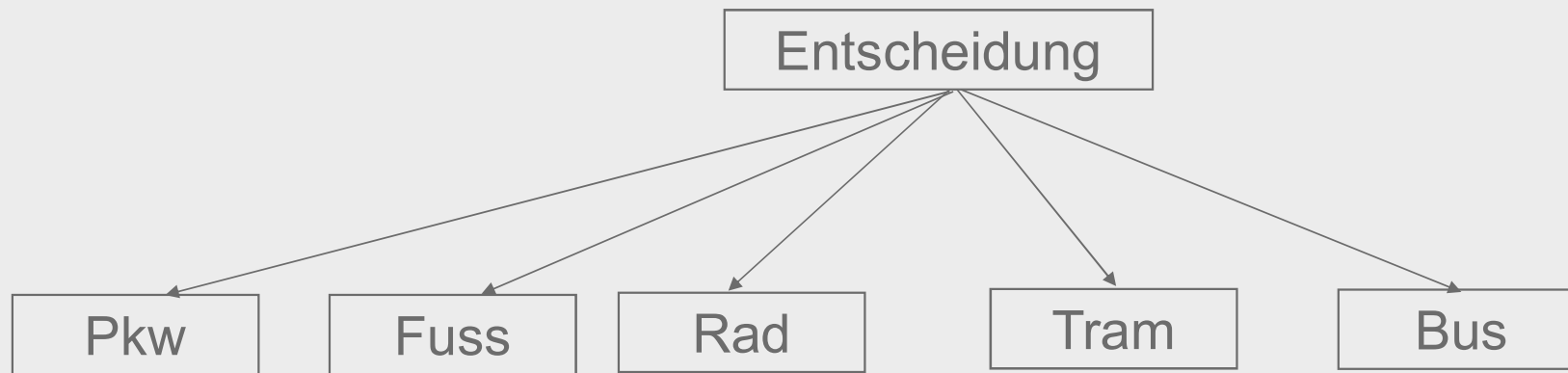


Quelle: Mikrozensus Schweiz, 2015

Ein zweiter Modellansatz - diskrete Wahlmodelle



Diskretes Wahlmodell für Verkehrsmittelwahl



Vekehrsmittelwahl – die Theorie

- Einfacher Fall – genau eine Alternative muss gewählt werden; Alternativenmenge fix

$$Wahrscheinlichkeit_{pkw} = \frac{e^{Nutzen_{pkw}}}{e^{Nutzen_{pkw}} + e^{Nutzen_{öV}} + e^{Nutzen_{Rad}}}$$

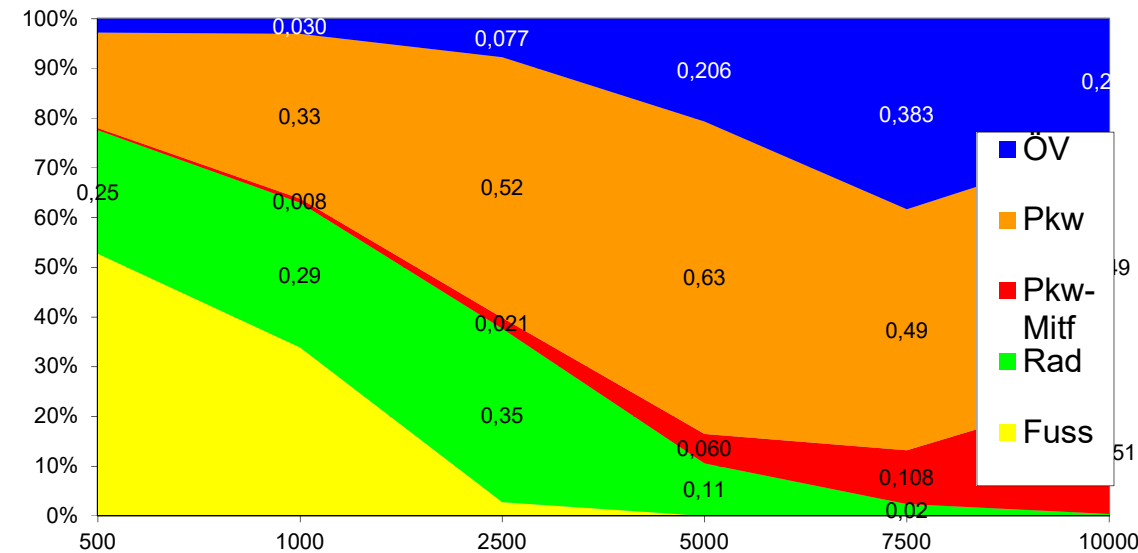
- Nutzen eines Verkehrsmittels

$$Nutzen = \alpha \cdot Reisezeit + \beta \cdot Kosten + \dots + \varepsilon$$

Theorie von Daniel McFadden: <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2000/mcfadden/biographical/>
Lerman, Ben-Akiva: Discrete Choice Modeling, 1985

Verkehrsmittelwahl – ein Beispiel

- Nutzen beim Multinomialen Logit Modell ist abhängig vom
 - Verkehrsmittel
 - Entfernung
- Grenznutzen β -Faktoren kalibrieren aus Erhebungen



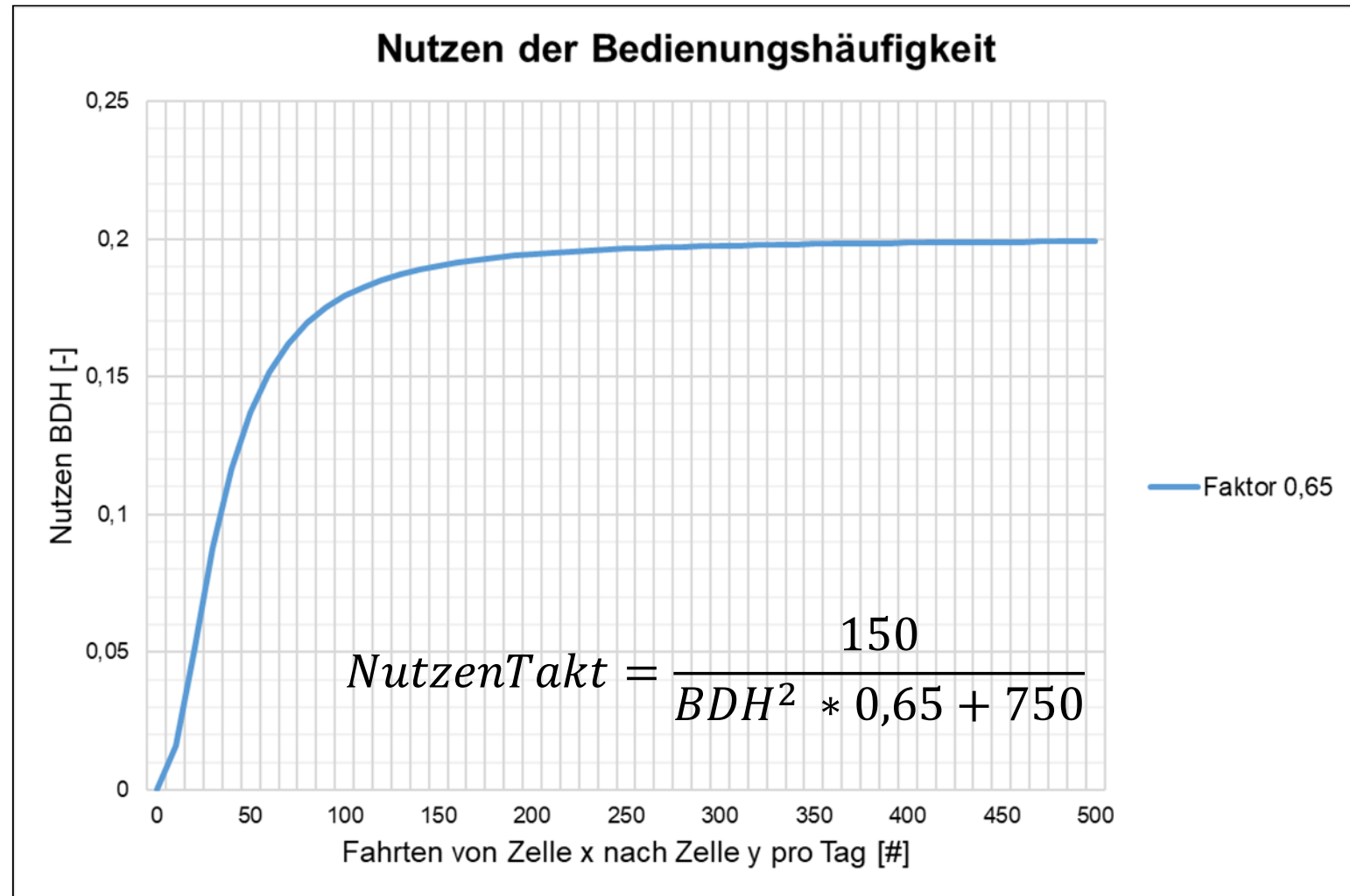
$$obj.Nutzen_{Fu\beta} = -\beta_{RZ,Fu\beta} \cdot Reisezeit_{Fu\beta}$$

$$obj.Nutzen_{Rad} = -\beta_{RZ,Rad} \cdot Reisezeit_{Rad} - \beta_{ZU,Rad} \cdot Zugangszeit_{Rad}$$

$$obj.Nutzen_{Pkw} = -\beta_{RZ,Pkw} \cdot Reisezeit_{Pkw} - \beta_{ZU,Pkw} \cdot Zugangszeit_{Pkw} - \beta_{Kosten,Pkw} \cdot Kosten_{Pkw}$$

$$obj.Nutzen_{\ddot{O}V} = -\beta_{EmRZ,\ddot{O}V} \cdot EmpfundeneReisezeit_{\ddot{O}V} - \beta_{ZU,\ddot{O}V} \cdot Zugangszeit_{\ddot{O}V} \\ - \beta_{Takt,\ddot{O}V} \cdot NutzenTakt_{\ddot{O}V} - \beta_{Kosten,\ddot{O}V} \cdot Kosten_{\ddot{O}V}$$

Verkehrsmittelwahl – ein Beispiel



Verkehrsmittelwahl – Modell kalibrieren durch Befragung

- Stated-Choice Experimente
Auswahl der besten Variante

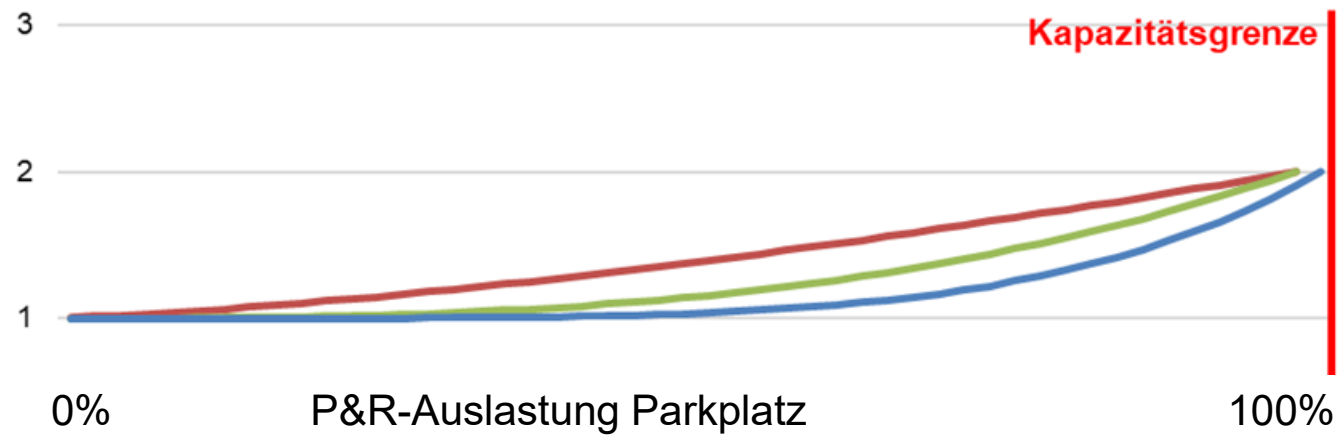
- mögliche Alternativen (Bsp)
 - Auto, Tram/Bus, Seilbahn
 - Quelle u. Ziel fix u. bekannt
 - Fahrzeit + Gehzeit

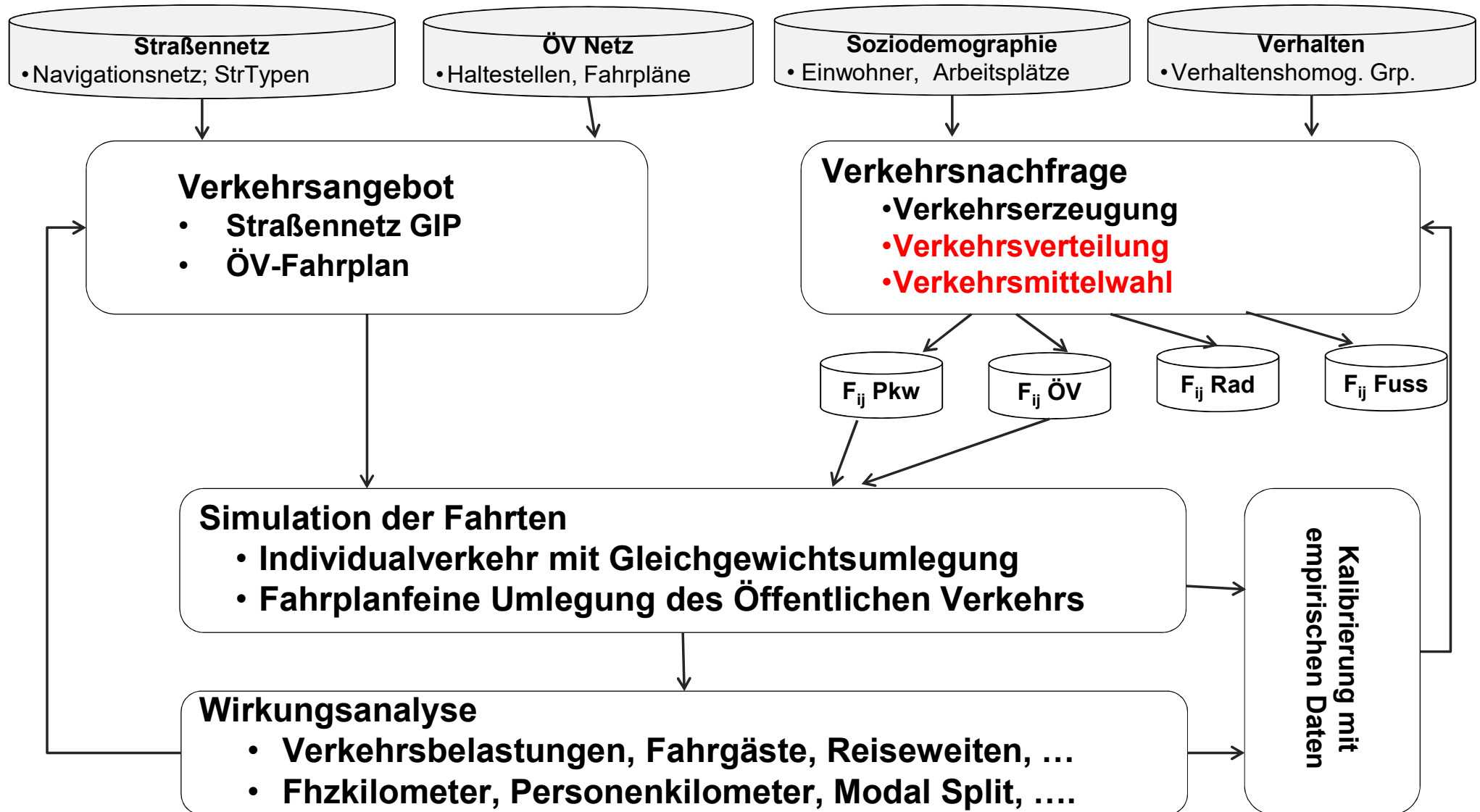


Wahlentscheidung 1

Fahrzeit	12	12	17
Gehzeit	8	9	7
Wartezeit	0	13	2
GESAMTREISEZEIT	20 min	34 min	26 min
Ihre Wahl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ihre Wahl (ohne Autoverfügbarkeit)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

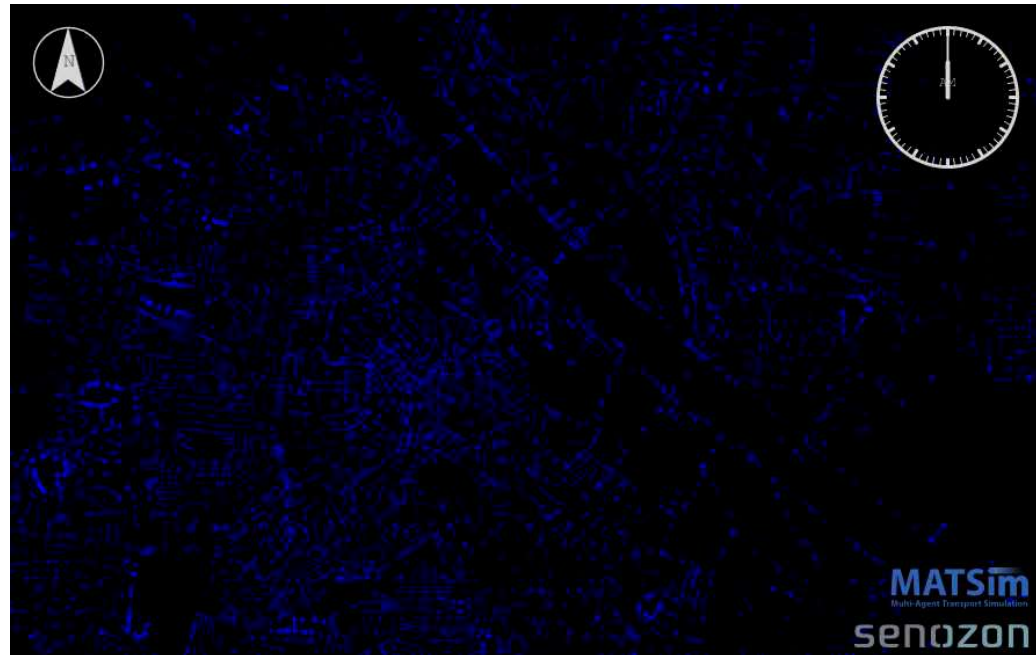
P&R im Nachfragemodell - aktuelles Forschungsthema





Weitere Forschungsthemen

- Hybride Modelle – empirische Daten verbessern die Nachfragemodelle
- Langfristwirkungen von COVID19 – Homeoffice, Verkehrsmittelwahl?
- ABM - Individuum als Agent, der Folge von Aktivitäten ausübt



- Folgen und Anpassung an Klimawandel bisher unberücksichtigt
→ **führen Prognosemodelle zu falschen Infrastrukturentscheidungen?**



martin.fellendorf@tugraz.at