



Klimaschutz messbar machen - Abbildung von Klimamaßnahmen in Verkehrsnachfragemodellen

Forschungsprogramm
Stadtverkehr
VB710004

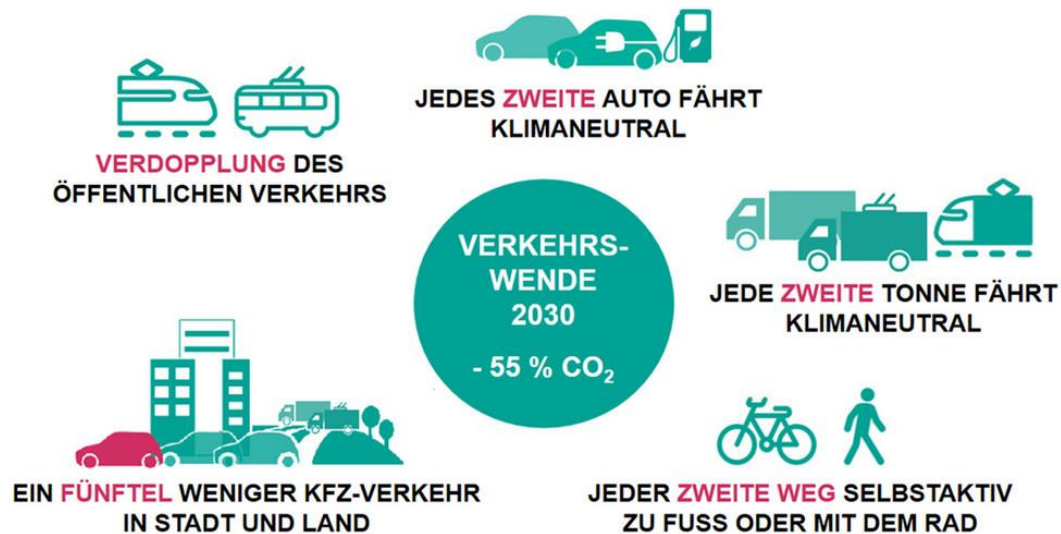
Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich
Kea Seelhorst, M.Sc.

Prof. Dr.-Ing. Wilko Manz
Sascha Klein, M.Sc.

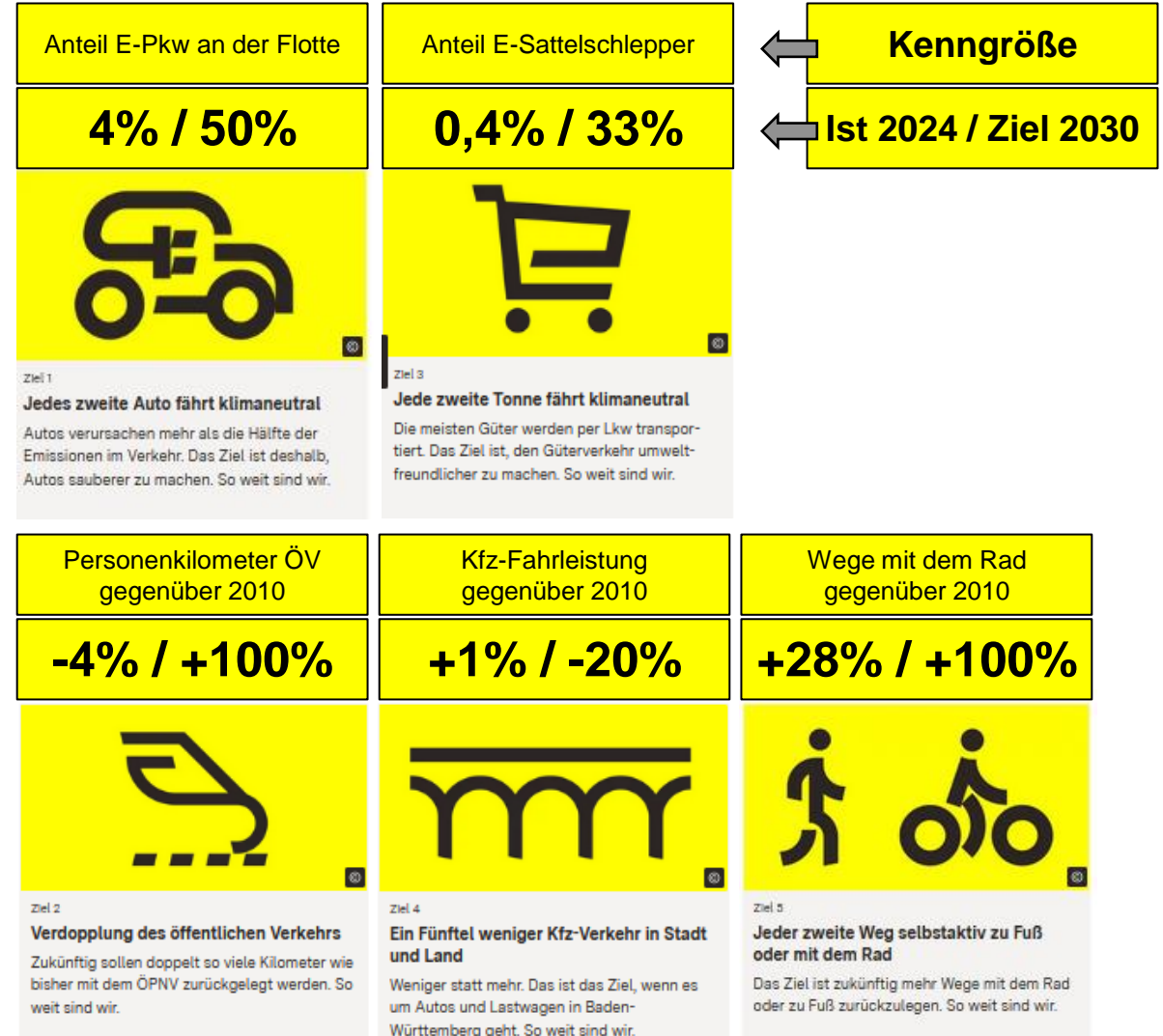
Dr.-Ing. Volker Waßmuth
Dr.-Ing. Nicolas Mellinger
Dr.-Ing. Juliane Pillat

Klimaschutzziele – Beispiel Baden-Württemberg

2022



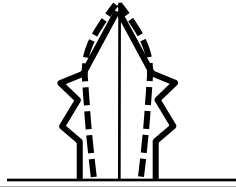
2025



Einsatzbereiche Verkehrsnachfragemodelle

Wirkungen von Entwicklungen

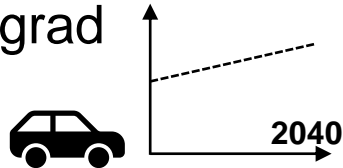
- Demographie



- Siedlungsstruktur

Hier entsteht ein
Gewerbegebiet

- Motorisierungsgrad



- Energiepreise

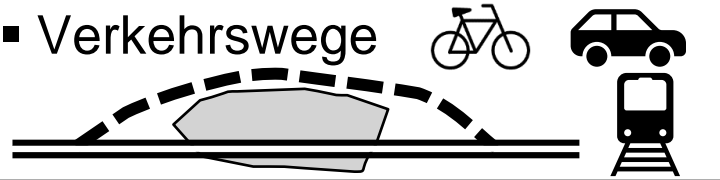
Super	2	5	9
Diesel	2	9	9

- Technologie



Maßnahmen

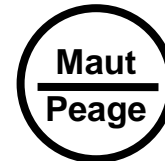
- Verkehrswege



- ÖV-Angebot



- Nutzungskosten



- Ordnungspolitik



Szenarien

= Menge von Annahmen zu

- Entwicklungen
- Maßnahmen

- Trendszenario

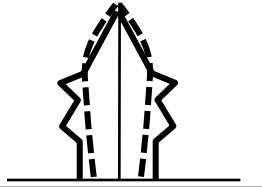
- Szenario Maßnahmen M1

- Szenario Maßnahmen M2

Einsatzbereiche Verkehrsnachfragemodelle mit Klimaschutzmaßnahmen

Wirkungen von Entwicklungen

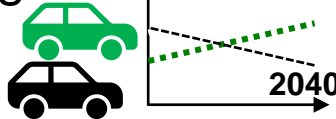
- Demographie
- **Präferenzen**



- Siedlungsstruktur

Hier entsteht ein Gewerbegebiet

- Motorisierungsgrad
- **Fahrzeugflotte**



- Energiepreise

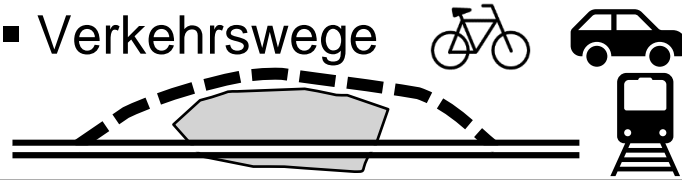
Super	2	5	9
Diesel	2	9	9
Strom	1	2	0

- Technologie



Maßnahmen

- Verkehrswege

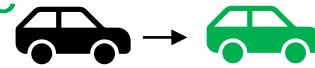


- ÖV-Angebot

- **Sharing**

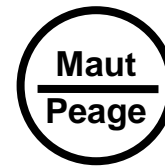


- **Beeinflussung Pkw-Besitz & ÖV-Zeitkarte**



- Nutzungskosten

- **Fixkosten**



- Ordnungspolitik



Szenarien

= Menge von Annahmen zu

- Entwicklungen
- Maßnahmen

- Trendszenario

- Szenario Maßnahmen M1

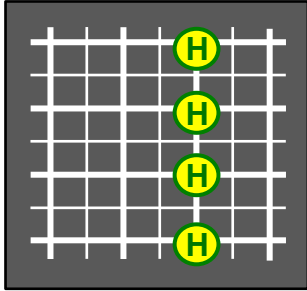
- Szenario Maßnahmen M2

- **Klimaschutzszenario**

Funktionsweise Verkehrsnachfragemodell

Verkehrsangebot

- Straßen- und Schienennetz
- Fahrpläne
- Nutzungskosten



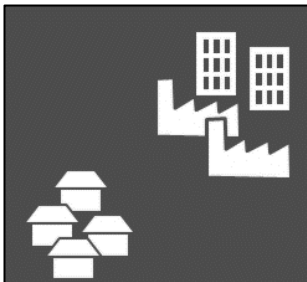
Mobilitätsverhalten

- Aktivitätenhäufigkeiten
- Reiseweiten
- Verkehrsmittelpräferenzen



Siedlungsstruktur

- Einwohner
- Arbeitsplätze
- Schulen
- Einkaufsorte
- ...



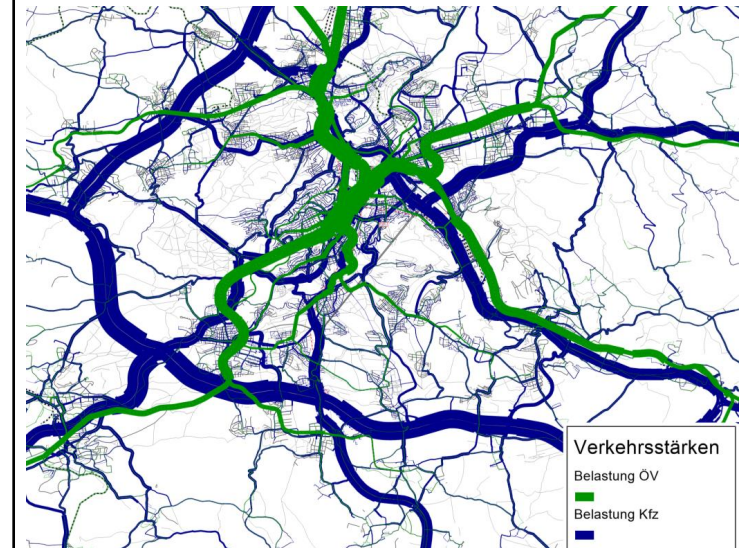
Wirkungsermittlung

- Aktivitätenwahl:
Wie häufig werden Aktivitäten durchgeführt?
- Zielwahl:
An welchen Orten werden Aktivitäten durchgeführt?
- Abfahrtszeitwahl:
Wann wird die Ortsveränderung durchgeführt?
- Verkehrsmoduswahl: Welcher Modus (Pkw, ÖV, Rad, Fuß) wird gewählt?
- Routenwahl:
Welcher Route wird genutzt?



Wirkungen

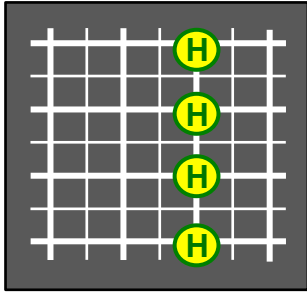
- Zahl der Wege
→ Verkehrsaufkommen
- Reiseweite
→ Verkehrsleistung
- Reisezeit
→ Verkehrszeitaufwand
- Verkehrsstärken
- Emissionen
- Kosten und Erlöse



Funktionsweise Verkehrsnachfragemodell mit Klimaschutzmaßnahmen

Verkehrsangebot

- Straßen- und Schienennetz
- Fahrpläne
- Nutzungskosten
- Null-Emissionszonen ...



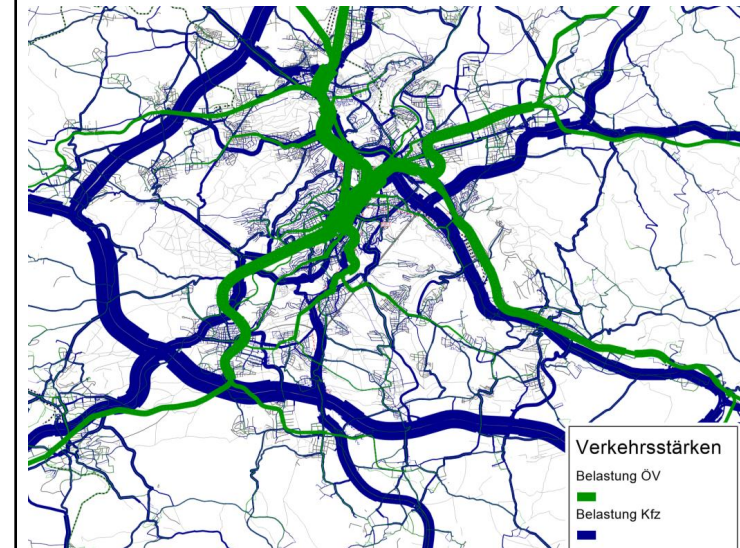
Wirkungsermittlung

- **Beschaffungswahl:**
Ist ein Pkw oder eine Zeitkarte verfügbar?
- **Aktivitätenwahl:**
Wie häufig werden Aktivitäten durchgeführt?
- **Zielwahl:**
An welchen Orten werden Aktivitäten durchgeführt?
- **Abfahrtszeitwahl:**
Wann wird die Ortsveränderung durchgeführt?
- **Verkehrsmoduswahl:** Welcher Modus (Pkw, E-Pkw, ÖV, Rad, Fuß, Sharing) wird gewählt?
- **Routenwahl:**
Welcher Route wird genutzt?



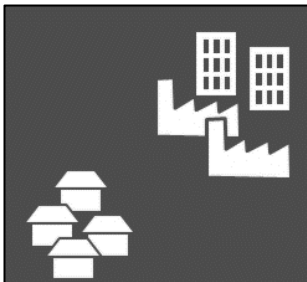
Wirkungen

- Zahl der Wege
→ Verkehrsaufkommen
- Reiseweite
→ Verkehrsleistung
- Reisezeit
→ Verkehrszeitaufwand
- Verkehrsstärken
- Emissionen
- Kosten und Erlöse



Siedlungsstruktur

- Einwohner
- Arbeitsplätze
- Schulen
- Einkaufsorte
- ...

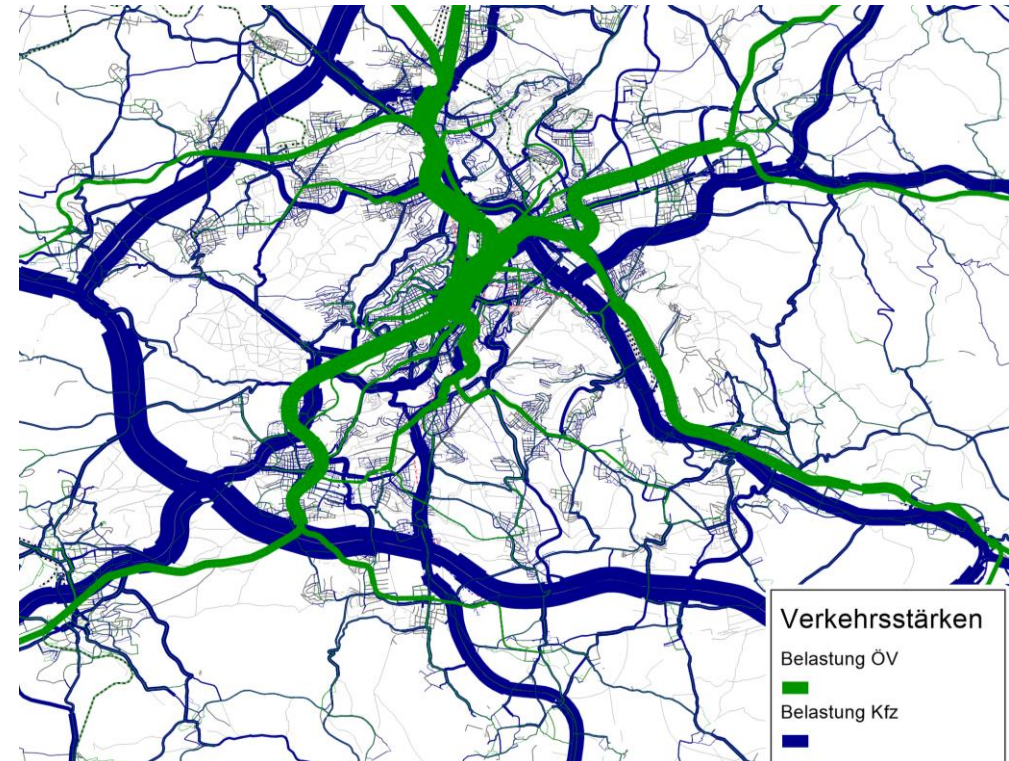


Projektziele

- Ziel: Weiterentwicklung der Nachfragemodellierung im Personenverkehr, um Klimawirkungen von Entwicklungen und Maßnahmen angemessen erfassen und analysieren zu können
- Voraussetzung: Makroskopisches Verkehrsnachfragemodell
- Vier Klassen von Maßnahmen und Entwicklungen:
 - Maßnahmen, die die Pkw-Beschaffungswahl und ÖV-Zeitkartenbesitz beeinflussen
 - Maßnahmen und Entwicklungen, die die Präferenzen der Verkehrsteilnehmenden ändern
 - Maßnahmen zur Einführung und zum Ausbau von On-Demand-Angeboten
 - Maßnahmen und Entwicklungen, die tageszeitabhängig wirken

Projektziele

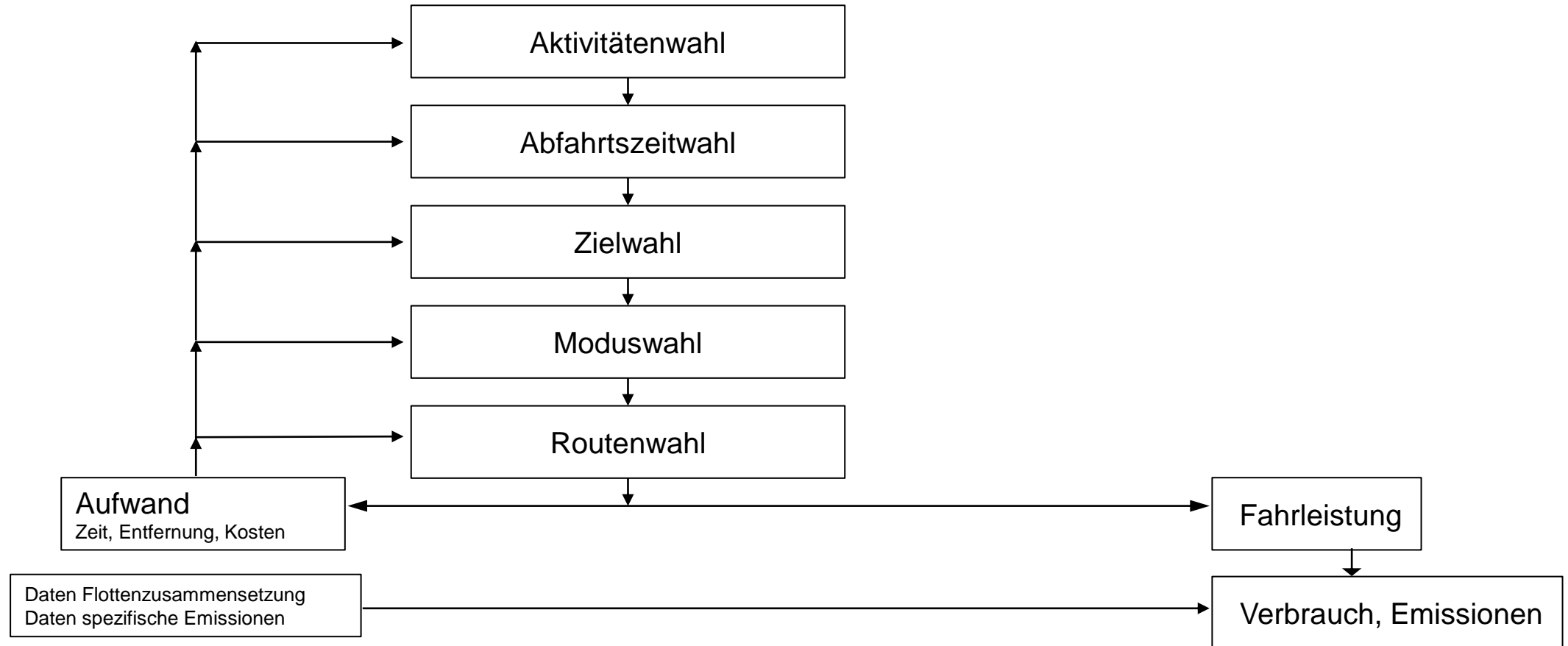
- Erstellung von Spezifikationen:
 - Detaillierte Beschreibung der vorzunehmenden Anpassungen im Verkehrsnachfragemodell
 - Darstellung der benötigten Eingangsgrößen sowie der zu erwartenden Ergebnisse
- Implementierung in 3 realen Nachfragemodellen:
 - Ortenaukreis
 - Schwabach
 - Region Stuttgart
- Zusätzlich Demo-Modell zur Veröffentlichung



Spezifikation: Mobilitätswerkzeugwahl

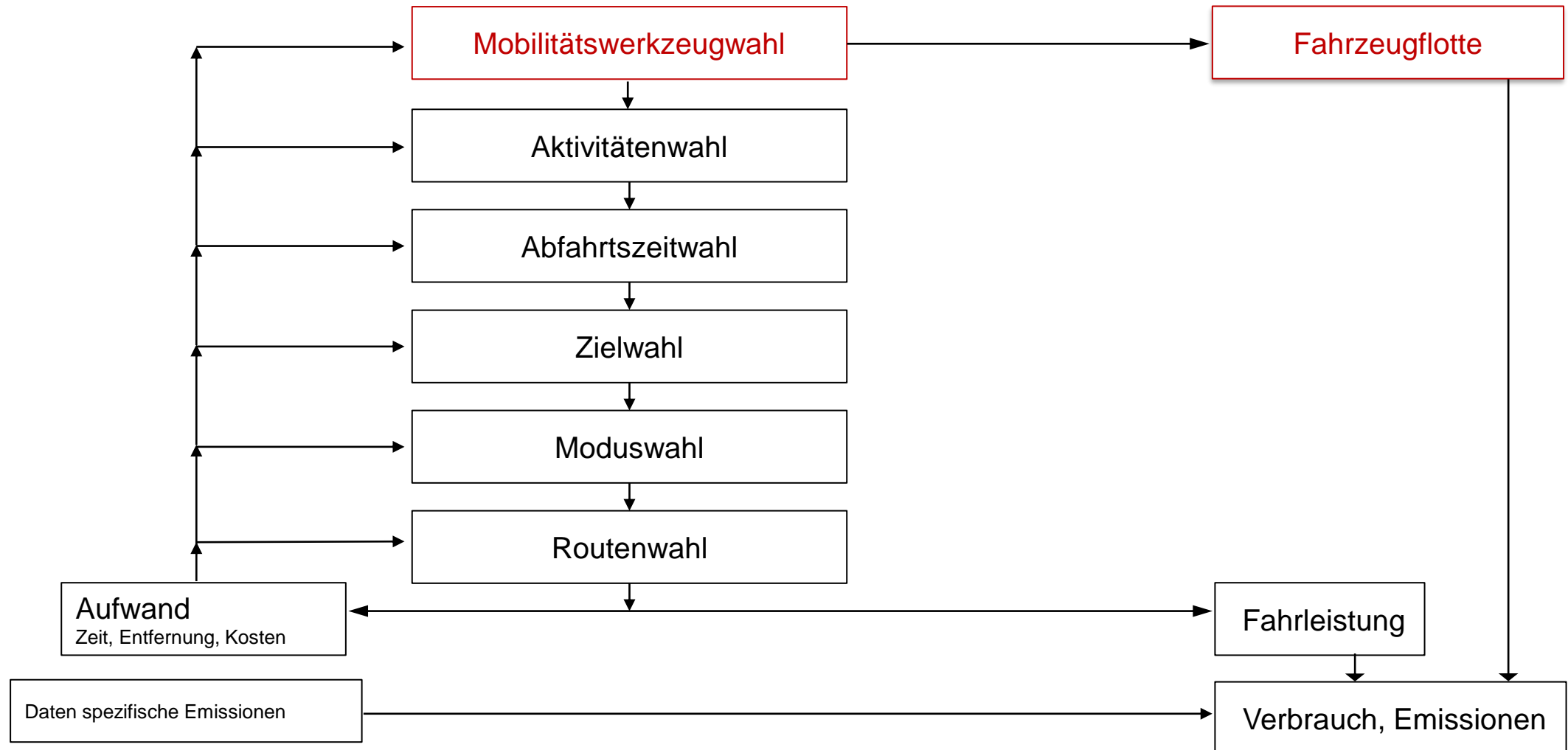
Spezifikation – Mobilitätswerkzeugwahl

- Stand der Praxis:



Spezifikation – Mobilitätswerkzeugwahl

- Erweiterung



Spezifikation – Mobilitätswerkzeugwahl

Beispiel: Pkw-Beschaffungswahl

- Auf Personen-Ebene (oder Haushalt)
- Merkmale von Personen bestimmen den Pkw-Besitz
 - Eigenschaften des Wohnorts (z.B. Erreichbarkeiten)
 - Sozio-demografische Merkmale
- Grundlage:
 - Haushaltsbefragung mit Personen und Haushalten
 - Synthetische Bevölkerung („Digitaler Zwilling“)

Spezifikation – Mobilitätswerkzeugwahl

Personenebene

- Quelle: MiD 2017; n = 160.000 Personen
- Entscheidung: Pkw Ja / Nein
- Attribute:
 - Geschlecht Männlich/Weiblich
 - Alter 8 Kategorien
 - Berufstätigkeit 7 Kategorien (Vollzeit, Teilzeit, Nicht Erwerbstätig,...)
 - Ökonomischer Status 5 Kategorien
 - Haustyp 3 Kategorien
 - Verfügbarkeit Garage Ja / Nein
 - Urbanisierungsgrad RegioStaR4 4 Kategorien
 - Entfernung [m] nächste ÖV-Haltestelle 6 Kategorien [< 250 m,..., ≥ 5.000 m]

Spezifikation – Mobilitätswerkzeugwahl

Personenebene

Parameter	Schätzung
β_0	2,267
$\beta_{Weiblich}$	0,000 / -0,218
β_{Alter}	0,000 / 0,066 / 0,095 / -0,107 / -0,068 / 0,066 / -0,254 / -0,898
β_{Beruf}	0,000 / 0,125 / 0,917 / 0,652 / 0,029 / -0,288 / -0,194
$\beta_{\text{Ökonomischer Status}}$	0,000 / 0,372 / 0,798 / 1,178 / 1,571
$\beta_{Haustyp}$	0,000 / -0,651 / -0,819
$\beta_{Garage,ja}$	0,000 / 0,064
$\beta_{RegioStaR4}$	0,000 / 0,128 / 0,137 / 0,042
$\beta_{\text{ÖV-Entfernung}}$	0,000 / 0,095 / 0,189 / 0,206 / 0,023 / -0,109

Spezifikation – Mobilitätswerkzeugwahl

Personenebene

Parameter	Schätzung	Beispiel:	Nutzen = 3,165
β_0	2,267	-	2,267
$\beta_{Weiblich}$	0,000 / -0,218	Weiblich	-0,218
β_{Alter}	0,000 / 0,066 / 0,095 / -0,107 / -0,068 / 0,066 / -0,254 / -0,898	45 Jahre	0,095
β_{Beruf}	0,000 / 0,125 / 0,917 / 0,652 / 0,029 / -0,288 / -0,194	Geringfügig beschäftigt	0,652
$\beta_{\text{Ökonomischer Status}}$	0,000 / 0,372 / 0,798 / 1,178 / 1,571	3 – mittel	0,798
$\beta_{Haustyp}$	0,000 / -0,651 / -0,819	Geschosswohnungsbau	-0,819
$\beta_{Garage,ja}$	0,000 / 0,064	Ja	0,064
$\beta_{RegioStaR4}$	0,000 / 0,128 / 0,137 / 0,042	Stadtregionsnahe ländliche Region	0,137
$\beta_{\text{ÖV-Entfernung}}$	0,000 / 0,095 / 0,189 / 0,206 / 0,023 / -0,109	750 m	0,189

$$p_{pkw=ja} = \frac{e^{v_{ja}}}{e^{v_{nein}} + e^{v_{ja}}} = \frac{e^{3,165}}{e^0 + e^{3,165}} = 95 \%$$

Anwendung auf gesamte synthetische Bevölkerung → Pkw-Besitz

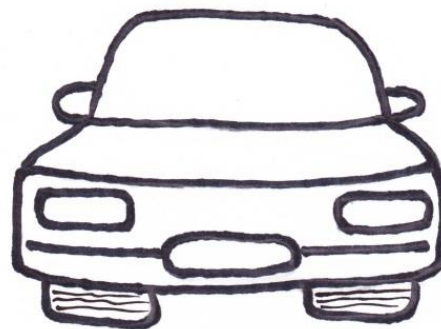
Spezifikation: Präferenzänderungen

Spezifikation – Präferenzänderungen / Umgang mit unbekanntem Präferenzen

- Verkehrsnachfragemodelle prognostizieren Verhaltensänderungen aufgrund
 - Änderungen des Verkehrsangebots
 - Änderung der Demografie
- Verkehrsnachfragemodelle prognostizieren keine Präferenzänderungen, z.B.
 - Beurteilung von Kosten (Wert einer Stunde Zeit)
 - Wahrnehmung der Privatsphäre (Bereitschaft zu teilen)

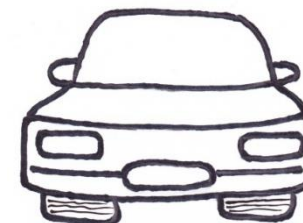
→ das erfordert spezielle „Stated Preference Befragungen“

Jahr x



80%

Jahr x+1



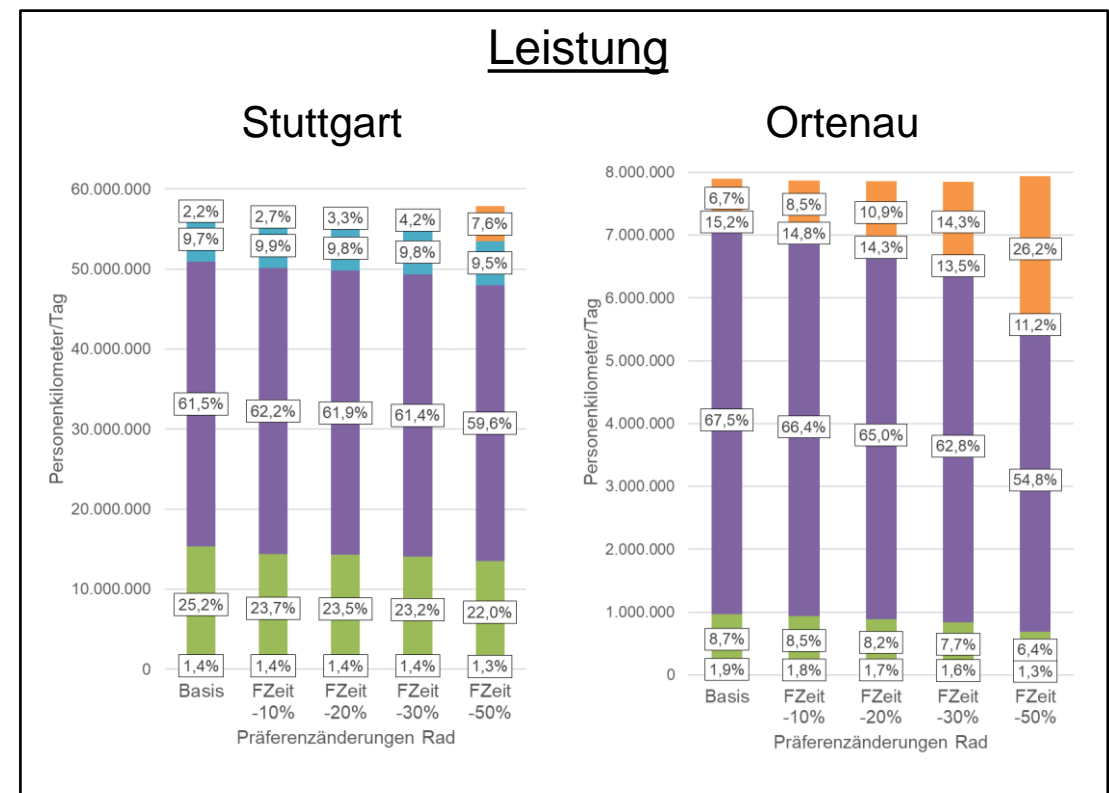
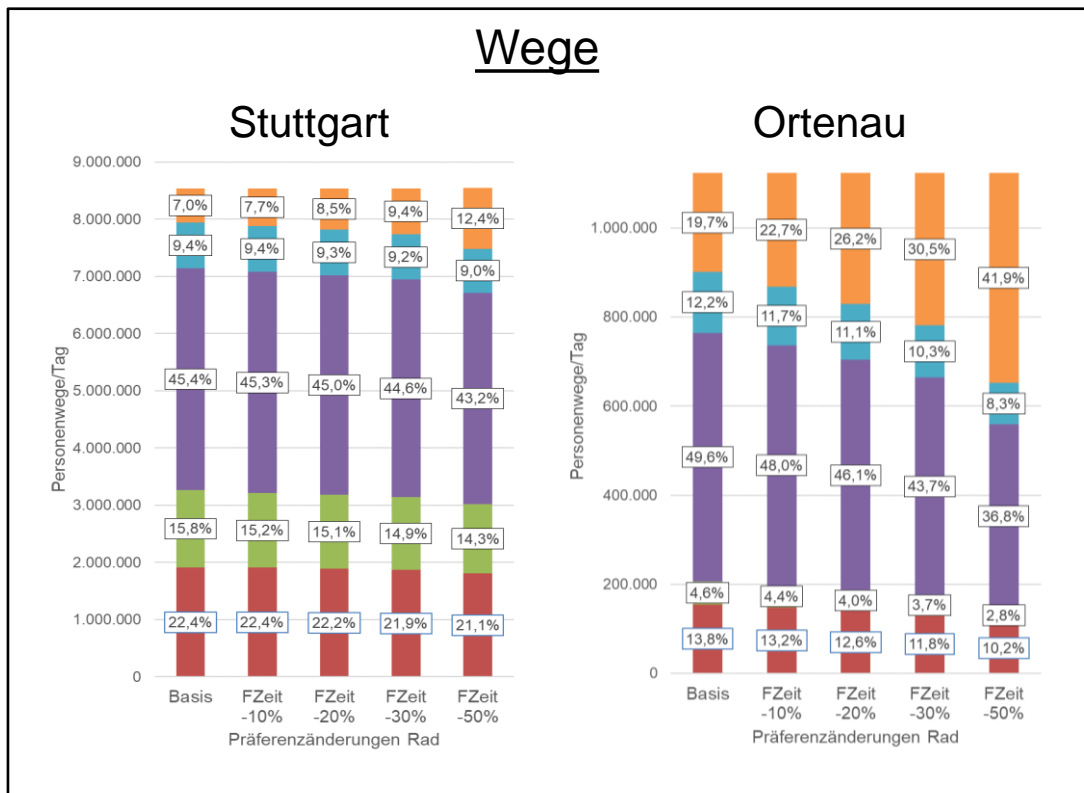
70%



**Anteil Pkw an den
Personenkilometer**

Spezifikation – Präferenzänderungen / Umgang mit unbekanntem Präferenzen

- Beispiel: Änderung bei Präferenz der Fahrradnutzung
 - Fahrtzeit wird stärker als positive Aktivität (z.B. Gesundheit) wahrgenommen
- Wirkungen auf den Modal-Split



Spezifikation: On-Demand-Angebote

Spezifikation – Einführung und Ausbau von On-Demand-Angeboten

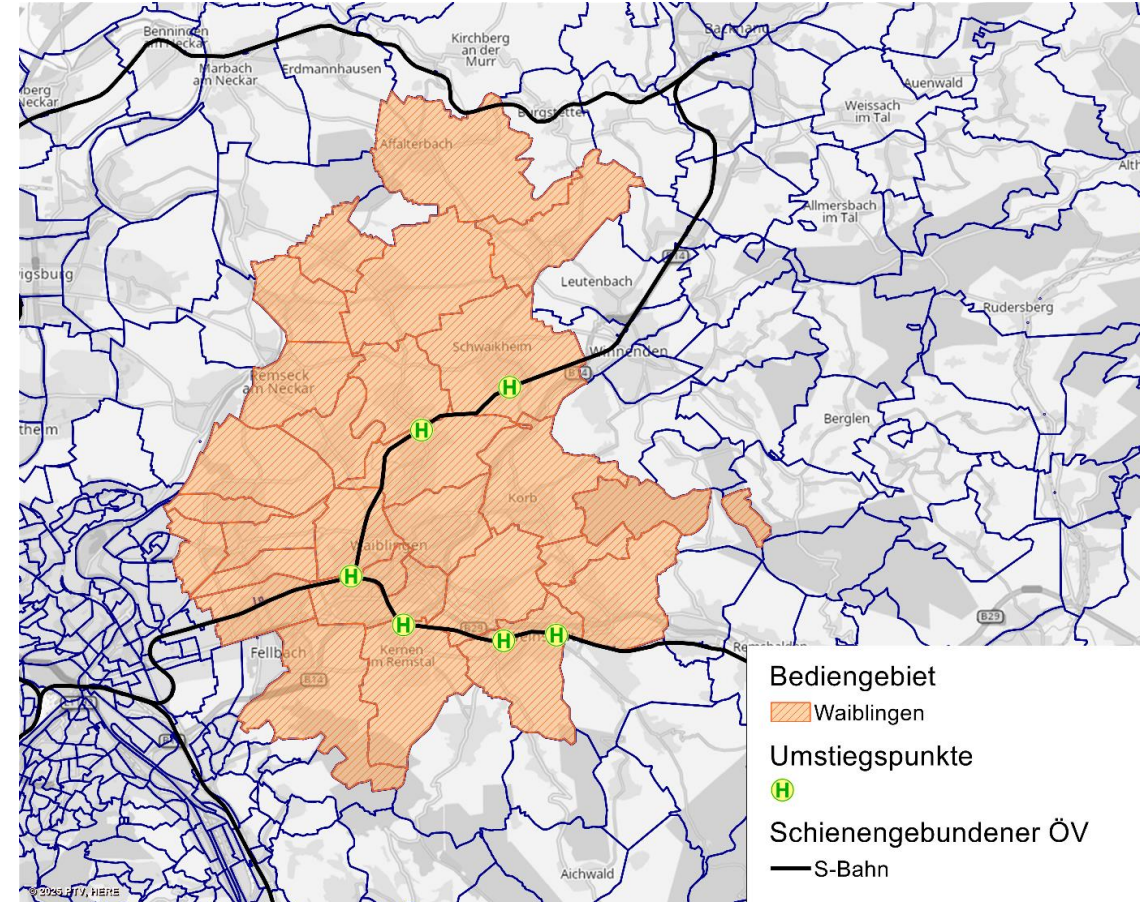
- Fortschreitender Ausbau von Sharing-Angeboten (Carsharing, On-Demand-Angebote)
- Wirkungen auf Verkehr und Umwelt je nach Angebotsgestaltung unterschiedlich
- Bestehende Verkehrsnachfragemodelle können Sharing-Angebote abbilden und Wirkungen abschätzen
- Integrationsaufwand hoch
 - Anpassung an räumlicher und zeitlicher Auflösung
 - Algorithmen für Fahrtenbündelung und Umlaufbildung



Quelle: bwegt

Spezifikation – Einführung und Ausbau von On-Demand-Angeboten

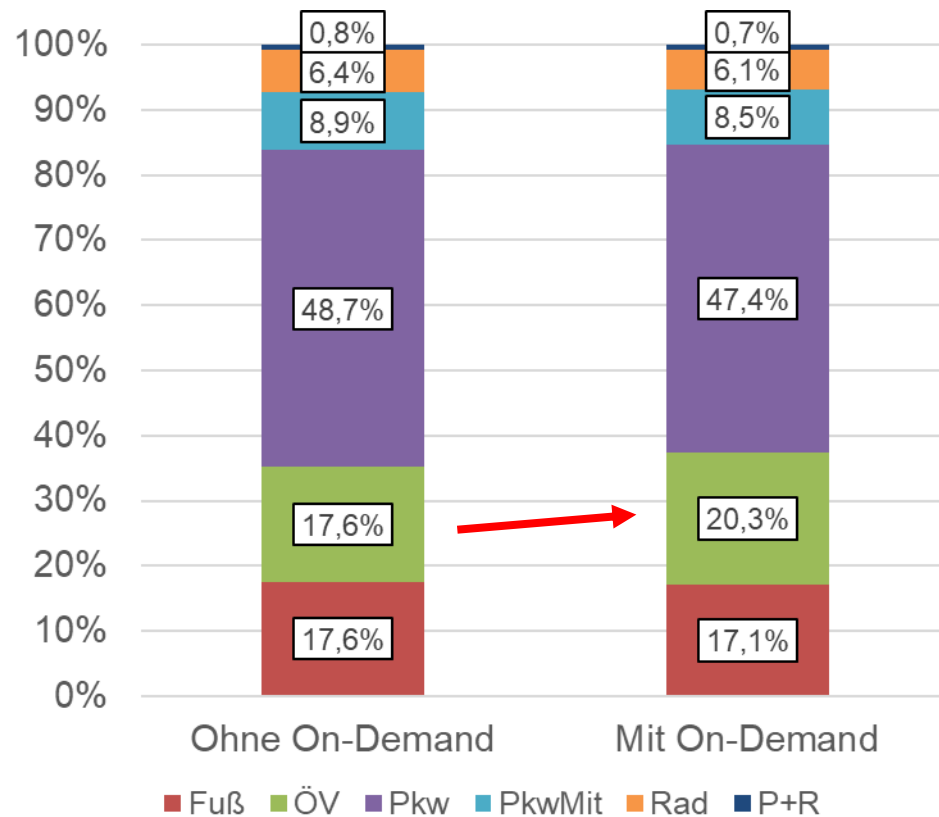
- Bediengebiet Waiblingen
- In den ÖV-integriertes Angebot
- Entfall aller Buslinien innerhalb Waiblingens
- Bedienformen:
 - Direktfahrten innerhalb Waiblingens
 - Zubringer zum nächsten schienengebundenen ÖV
- Bestehende Bushaltestellen als OnD-Haltestellen
- Kapazität On-Demand-Fahrzeug: 6 Sitzplätze



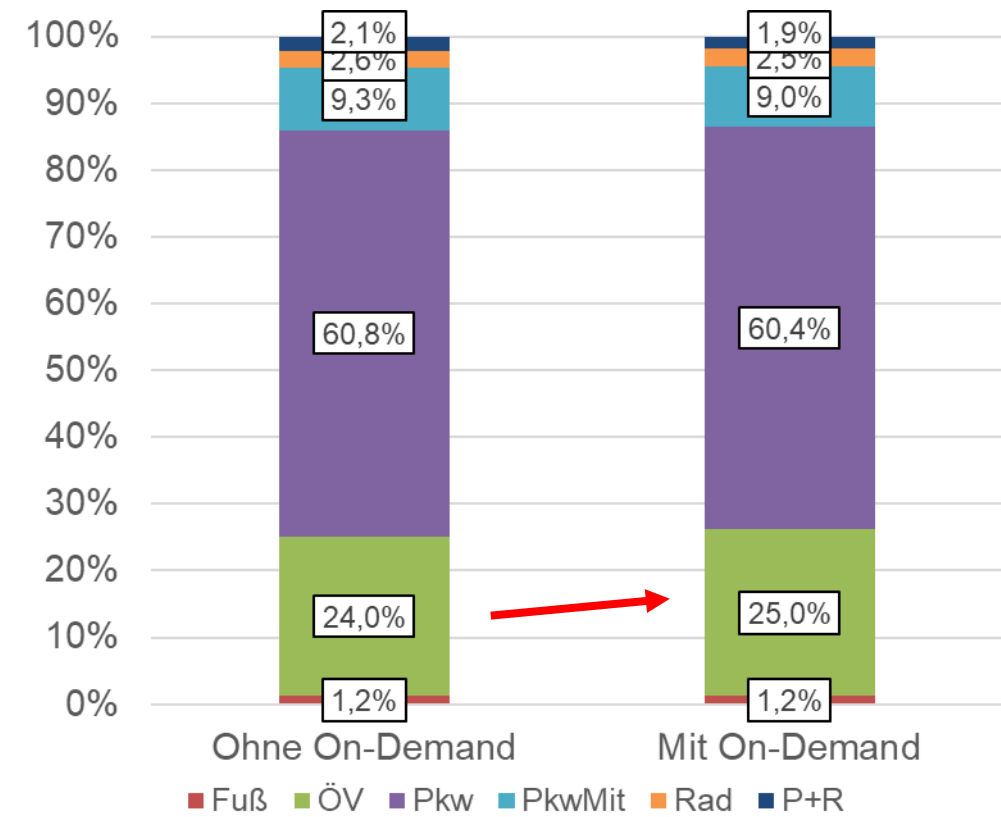
Spezifikation – Einführung und Ausbau von On-Demand-Angeboten

Nachfragewirkung im Bediengebiet Waiblingen: Quell-, Ziel- und Binnenverkehr

Wegebezogener Modal-Split



Leistungsbezogener Modal-Split



Spezifikation – Einführung und Ausbau von On-Demand-Angeboten

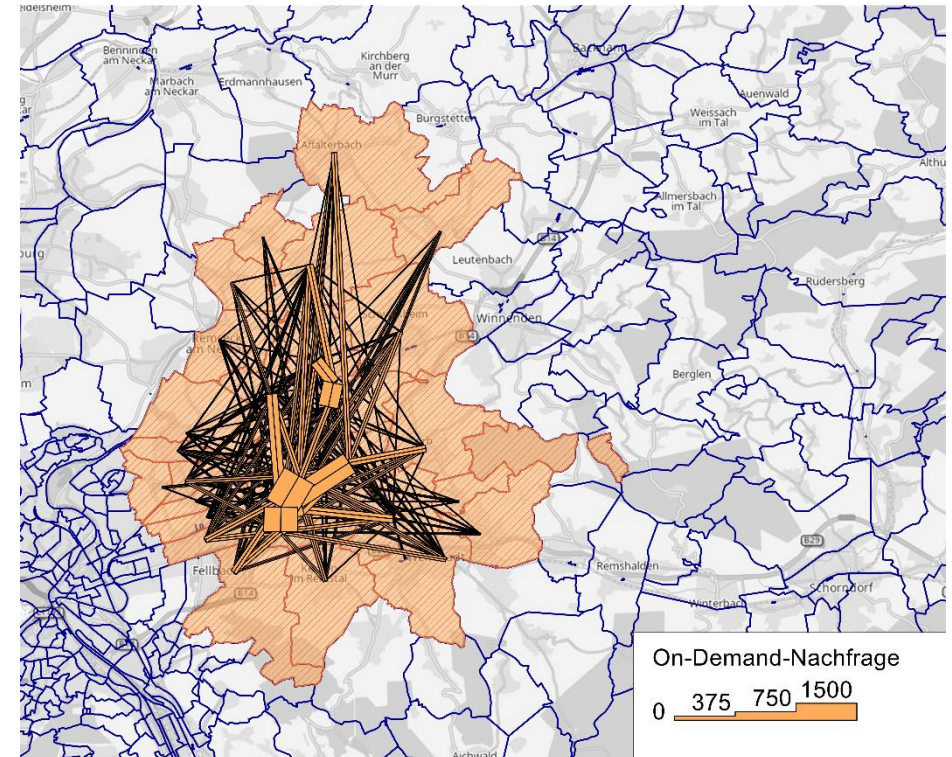
Betriebliche Kenngrößen im Bediengebiet Waiblingen

Ausgangssituation

- 58 Busse
- 46.000 Personenwege im ÖV
- Durchschn. Besetzungsgrad: 22,4

On-Demand

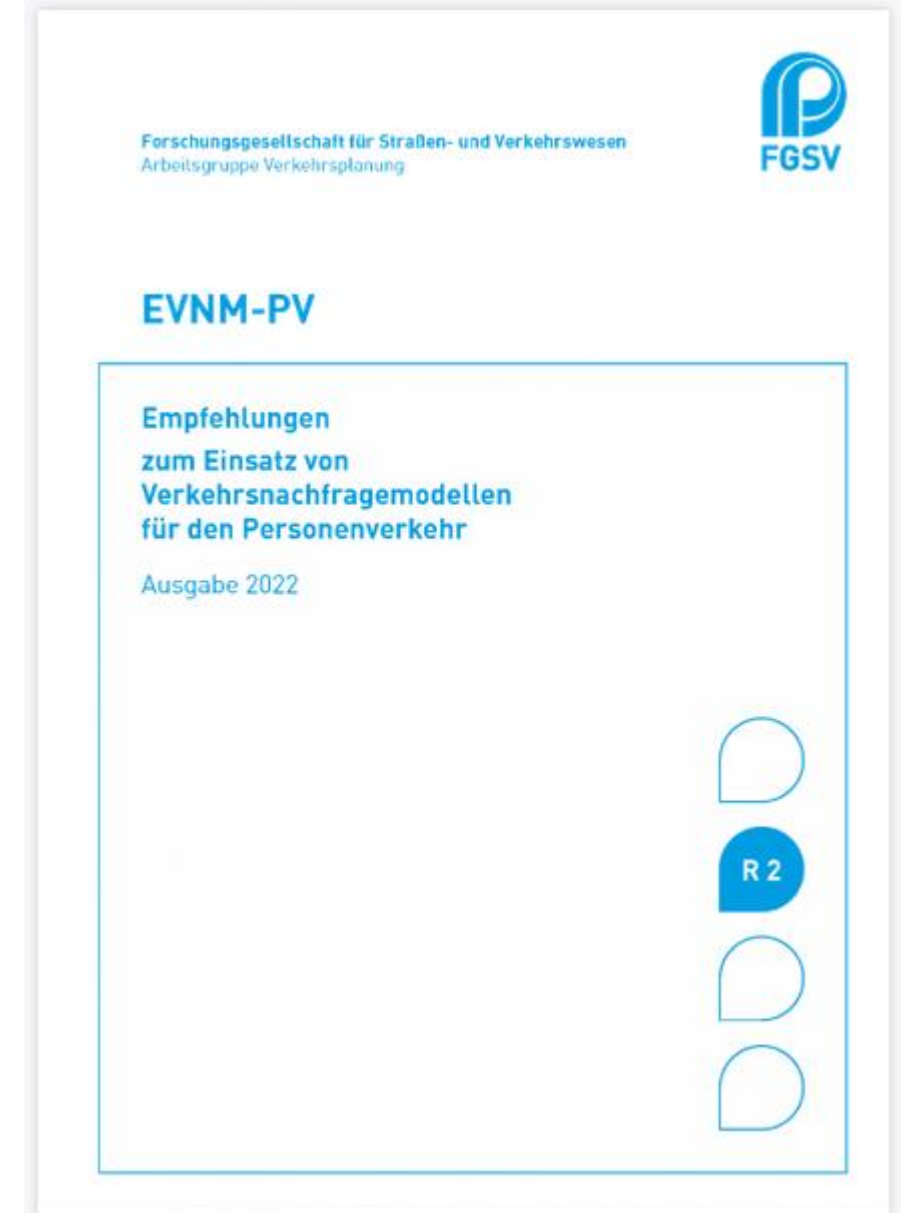
- 655 On-Demand-Fahrzeuge
- 55.000 Personenwege
- Durchschn. Besetzungsgrad: 2,7



Fazit und Ausblick

Fazit und Ausblick

- Weiterentwicklung der Nachfragemodellierung ist nötig, um Klimawirkungen von Maßnahmen und Entwicklungen abzubilden
- (Makroskopisches) Verkehrsnachfragemodell ist notwendig
- Projektende: Mitte 2026
- Geplante Veröffentlichung eines Leitfadens im Rahmen der FGSV
- Bereitstellung von Beispiel-Modellen mit implementierten Maßnahmen





Klimaschutz messbar machen - Abbildung von Klimamaßnahmen in Verkehrsnachfragemodellen

Forschungsprogramm
Stadtverkehr
VB710004

Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich
Kea Seelhorst, M.Sc.

Prof. Dr.-Ing. Wilko Manz
Sascha Klein, M.Sc.

Dr.-Ing. Volker Waßmuth
Dr.-Ing. Nicolas Mellinger
Dr.-Ing. Juliane Pillat