

Universität Stuttgart

# Abbildung von Klimaschutzszenarien in Verkehrsnachfragemodellen

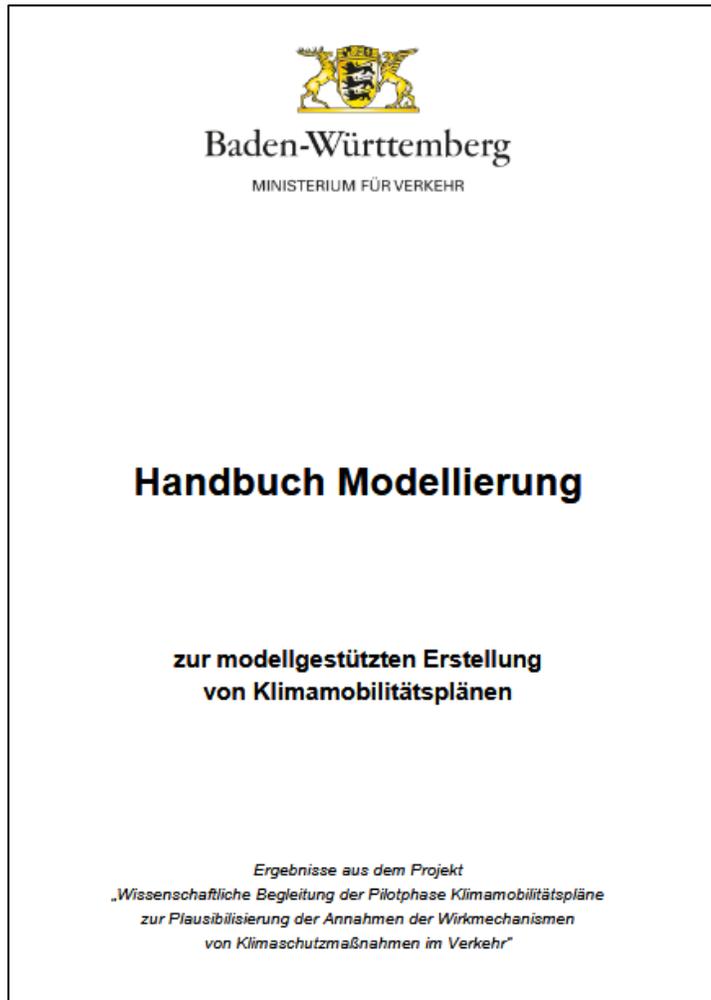
PTV Mobility  
Anwenderseminar  
21. Mai 2025

Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich

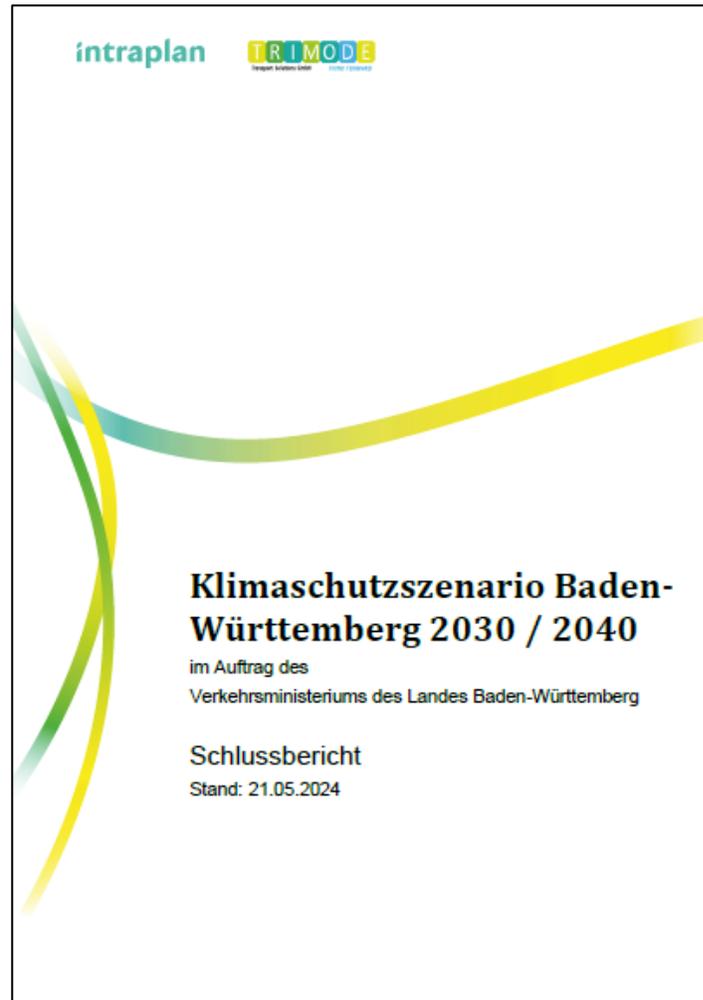


Institut für Straßen- und Verkehrswesen  
Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik  
Pfaffenwaldring 7 • 70569 Stuttgart • Tel. +49 (0)711 685-82482 • [www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/](http://www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/)

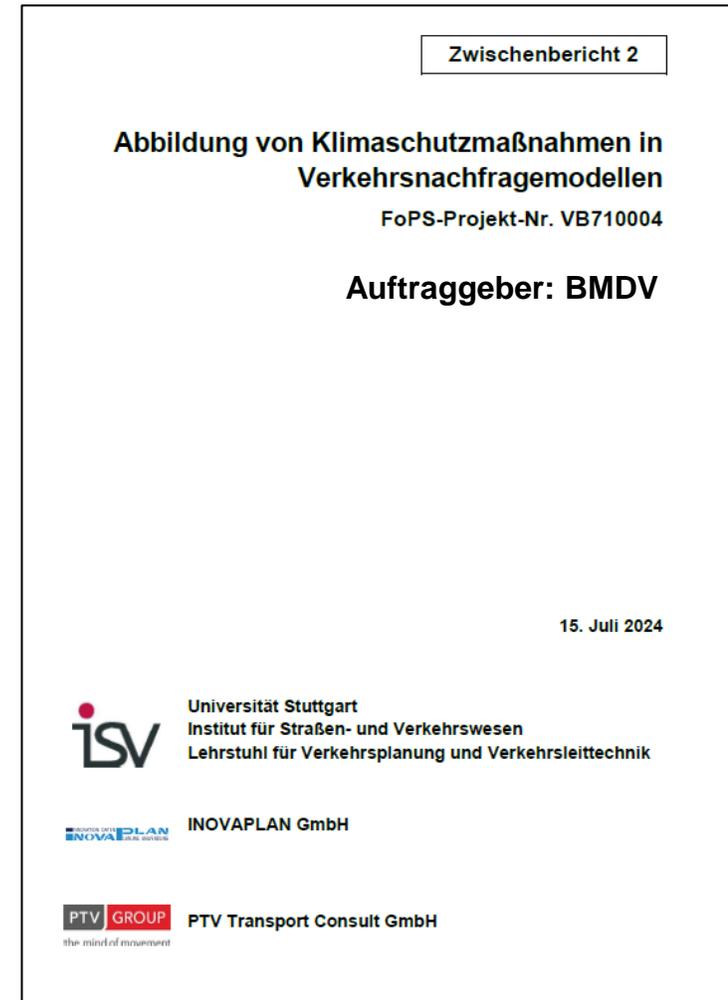
# Grundlagen



abgeschlossen und veröffentlicht  
[https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/231012\\_Klimamobilitätspläne\\_HandbuchModellierung\\_V0.1\\_barrierefrei.pdf](https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/231012_Klimamobilitätspläne_HandbuchModellierung_V0.1_barrierefrei.pdf)



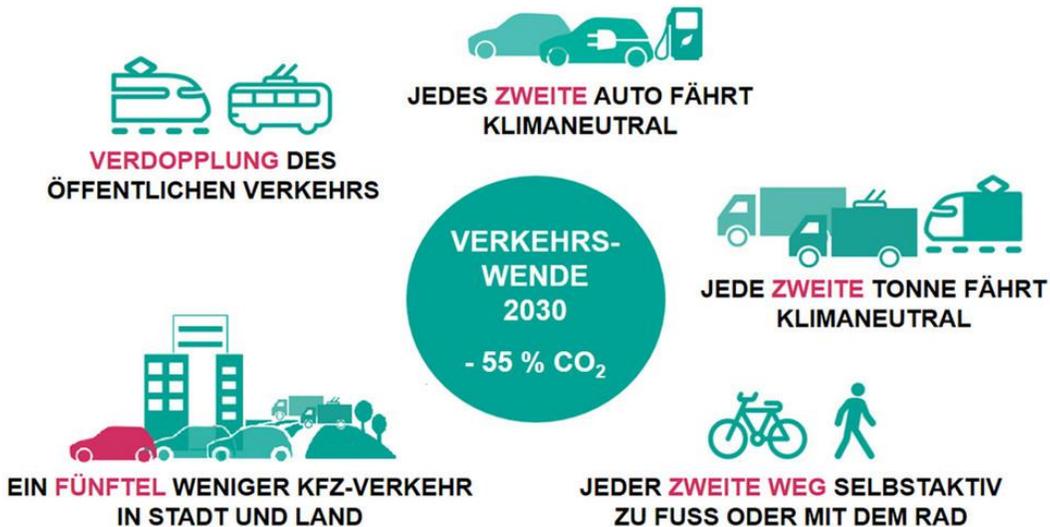
abgeschlossen, noch nicht veröffentlicht



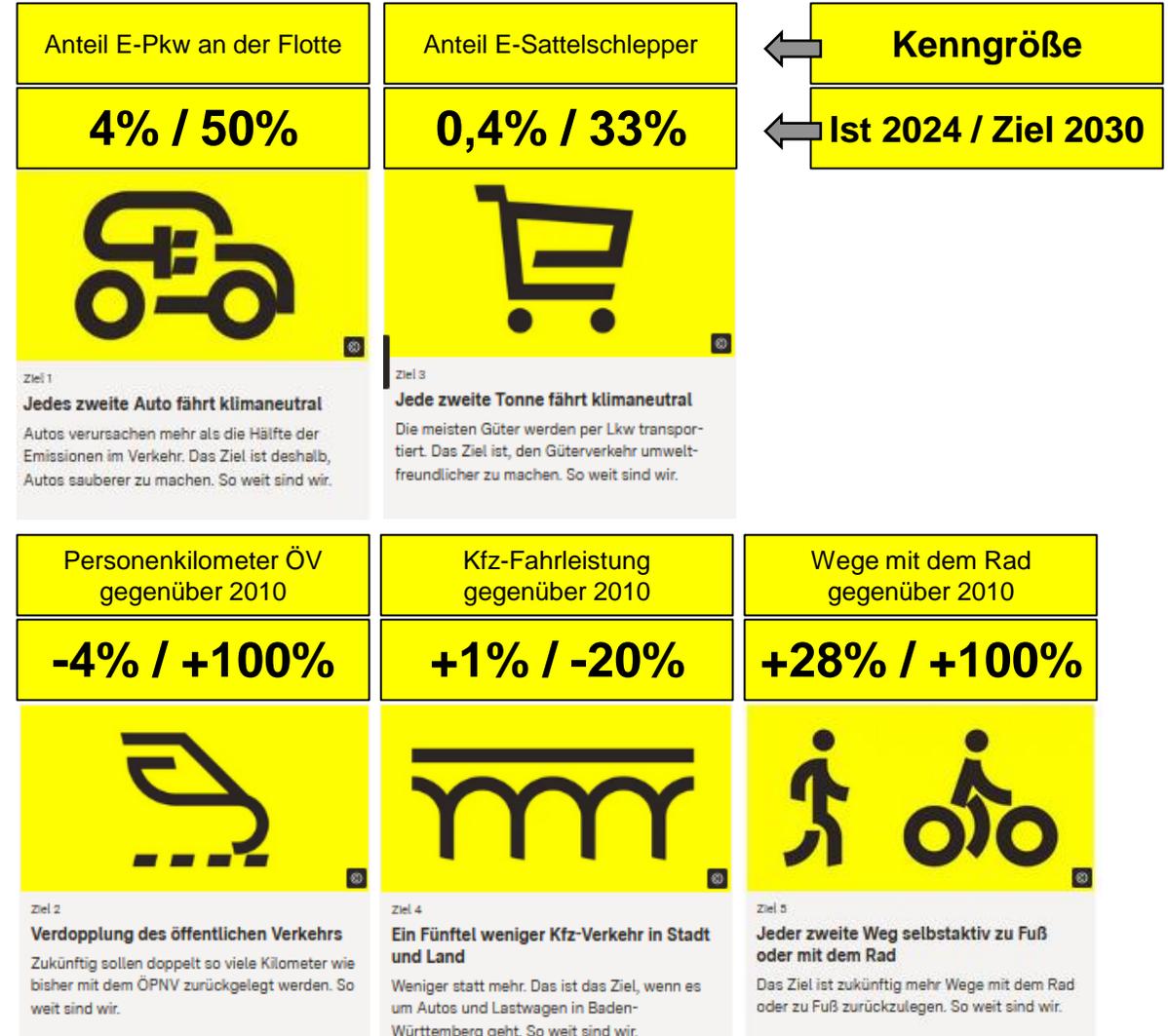
in Bearbeitung

# Klimaschutzziele – Beispiel Baden-Württemberg

2022



2025

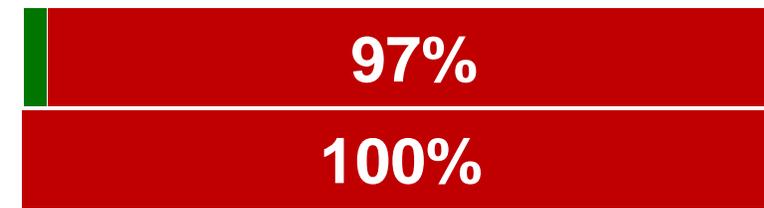
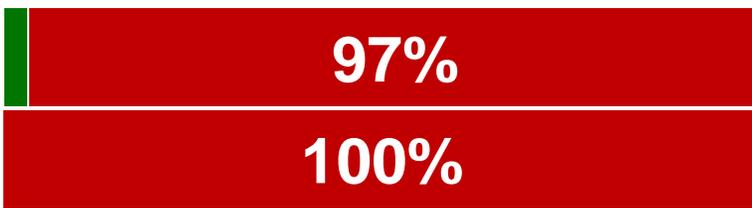


**Lösungsansatz 1**  
**Antriebswende 100%**  
**Mobilitätswende 0%**

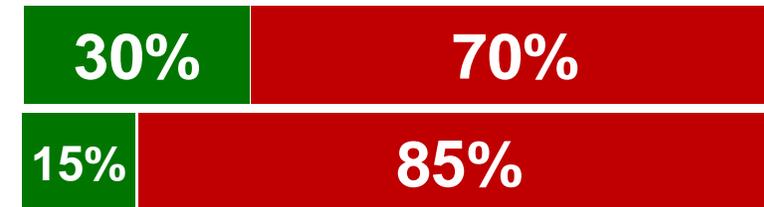
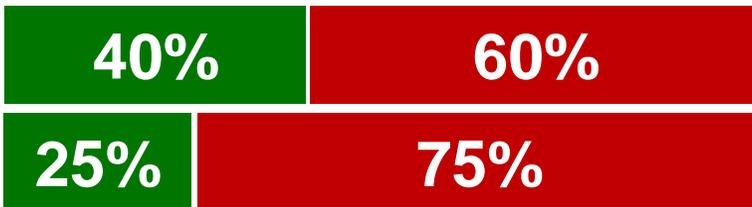
**Lösungsansatz 2**  
**Antriebswende 67%**  
**Mobilitätswende 33%**



**2024**



**2030**



**2040**

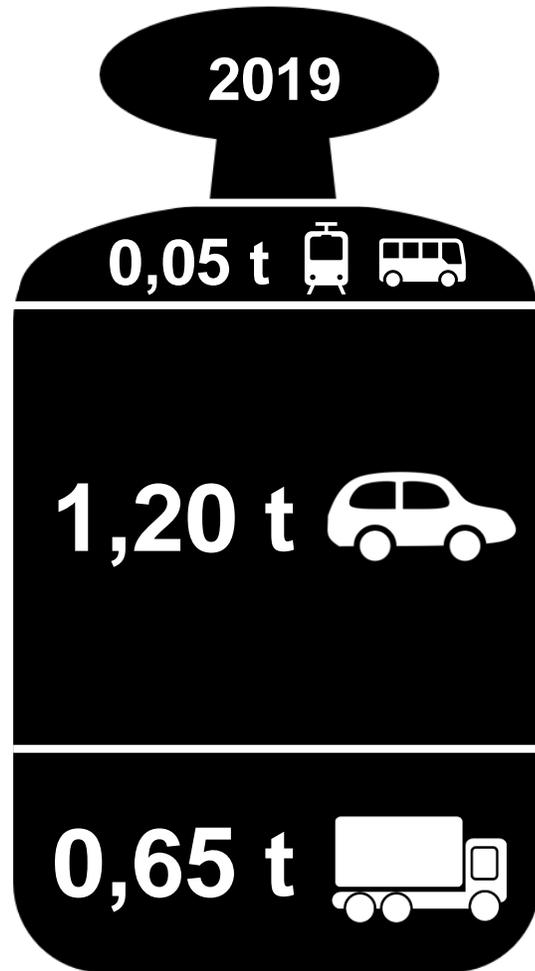


# CO<sub>2</sub>-Emissionen Verkehr und Verkehrsleistung in Deutschland pro Person

ohne Luft- & Schiffverkehr

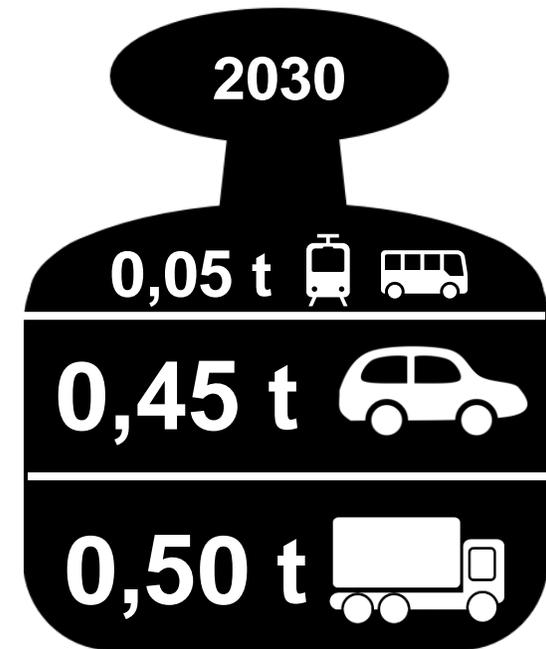
So können wir die Klimaziele 2030 erreichen:

- Verbrennerverbot Pkw 2035 / Lkw 2040  
(oder hohe CO<sub>2</sub>-abhängige Zulassungssteuer)
- Kfz-Nutzungskosten +75% bis +100%  
(CO<sub>2</sub>-Zertifikate, Pkw-Maut, Parken)
- Tempolimit 100 / 80 / 30  
(reduziert Energieverbrauch im Straßenverkehr um ca. 8%)
- Klimageld + Deutschlandticket



**1,90 t**

km/Jahr	2019	2030
Fuß + Rad	1.000 km	1.500 km
ÖV	2.500 km	4.500 km
Pkw-Selbstfahrer	8.000 km	6.000 km
Pkw-Mitfahrer	3.000 km	2.500 km
Lkw	1.000 km	
Reisezeit/Tag	78 min	90 min
Kosten/Jahr	2.000 €	2.400 €

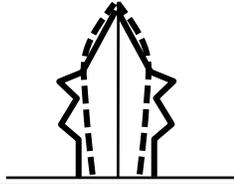


**1,00 t**

# Einsatzbereiche Verkehrsnachfragemodelle

## Wirkungen von Entwicklungen

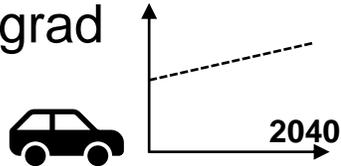
- Demographie



- Siedlungsstruktur

Hier entsteht ein  
Gewerbegebiet

- Motorisierungsgrad



- Energiepreise

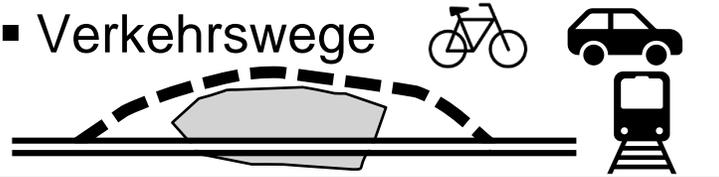
Super	2	5	9
Diesel	2	9	9

- Technologie



## Maßnahmen

- Verkehrswege



- ÖV-Angebot



- Nutzungskosten



- Ordnungspolitik



## Szenarien

= Menge von Annahmen zu

- Entwicklungen
- Maßnahmen

- Trendszenario

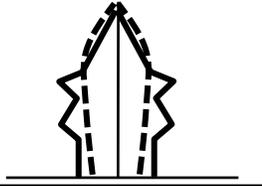
- Szenario Maßnahmen M1

- Szenario Maßnahmen M2

# Einsatzbereiche Verkehrsnachfragemodelle mit Klimaschutzmaßnahmen

## Wirkungen von Entwicklungen

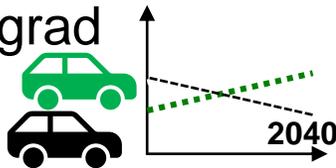
- Demographie
- **Präferenzen**



- Siedlungsstruktur

Hier entsteht ein Gewerbegebiet

- Motorisierungsgrad
- **Fahrzeugflotte**



- Energiepreise

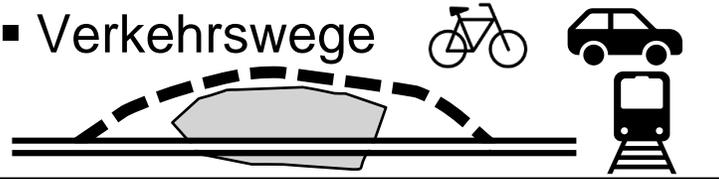
Super	2	5	9
Diesel	2	9	9
<b>Strom</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>

- 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

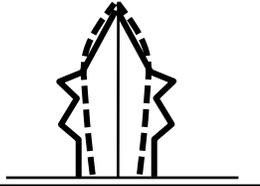
- Szenario Maßnahmen M2

- **Klimaschutzszenario**

# Einsatzbereiche Verkehrsnachfragemodelle mit Klimaschutzmaßnahmen

## Wirkungen von Entwicklungen

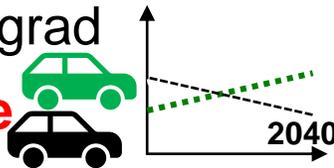
- Demographie
- **Präferenzen**



- Siedlungsstruktur

Hier entsteht ein  
Gewerbegebiet

- Motorisierungsgrad
- **Fahrzeugflotte**



- Energiepreise

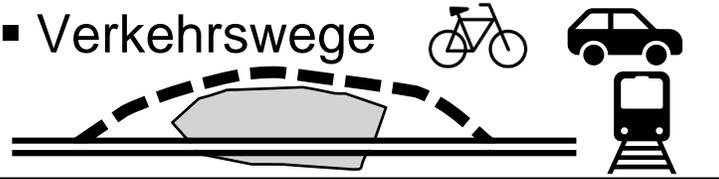
Super	2	5	9
Diesel	2	9	9
<b>Strom</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>

- Technologie



## Maßnahmen

- Verkehrswege



- ÖV-Angebot



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



- Nutzungskosten

- **Fixkosten**



- Ordnungspolitik



## Szenarien

= Menge von Annahmen zu

- Entwicklungen
- Maßnahmen

- Trendszenario

- Szenario Maßnahmen M1

- Szenario Maßnahmen M2

- **Klimaschutzszenario**

# **Präferenzänderungen / Umgang mit unbekannten Präferenzen**

# Präferenzänderungen / Umgang mit unbekanntem Präferenzen

Verkehrsnachfragemodelle prognostizieren Verhaltensänderungen aufgrund

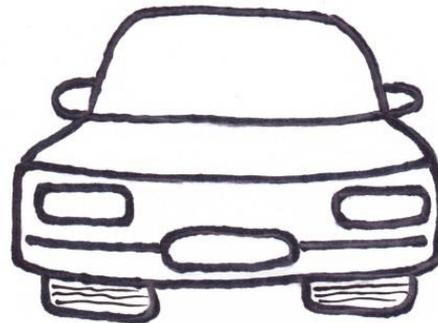
- Änderungen des Verkehrsangebots
- Änderung der Demografie

Verkehrsnachfragemodelle prognostizieren keine Präferenzänderungen, z.B.

- Beurteilung von Kosten (Wert einer Stunde Zeit)
- Wahrnehmung der Privatsphäre (Bereitschaft zu teilen)

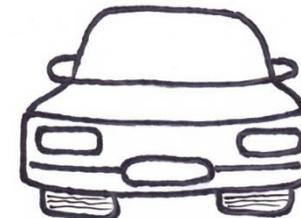
→ das erfordert spezielle „Stated Preference Befragungen“

**Jahr x**



**80%**

**Jahr x+1**



**70%**

**Anteil Pkw an den  
Personenkilometer**



# Präferenzänderungen / Umgang mit unbekanntem Präferenzen

Mobilitätspräferenzen werden durch  $\beta$ -Parameter in der Nutzenfunktion beschrieben

- Typische Nutzenfunktion

$$v_{god,m=Rad} = \underbrace{\beta_{g,m=Rad}^0}_{\text{Präferenz}} + \underbrace{\beta_{g,m=Rad}^{t^{FZ}}}_{\text{Präferenz}} \cdot \underbrace{t_{od,m=Rad}^{FZ}}_{\text{Angebot}} + \underbrace{\beta_{g,m=Rad}^{t^{ZAB}}}_{\text{Präferenz}} \cdot \underbrace{t_{od,m=Rad}^{ZAB}}_{\text{Angebot}}$$

mit

$v_{godm}$  Nutzen der Ortsveränderung für Nachfragegruppe  $g$  von Zelle  $o$  nach  $d$  mit dem Modus  $m$

$\beta_{g,m}^0$  Modusspezifische Konstante (Grundnutzen) für Nachfragegruppe  $g$  mit dem Modus  $m$

$\beta_{g,m}^k$  Parameter für die Kenngröße  $k$  der Nachfragegruppe  $g$  vom Modus  $m$

$t_{od,m}^{FZ}$  Fahrtzeit zwischen den Zellen  $o$  und  $d$  mit dem Modus  $m$

$t_{od,m}^{ZAB}$  Zu- und Abgangszeit zwischen den Zellen  $o$  und  $d$  mit dem Modus  $m$

# Verhaltens- und Präferenzänderungen Rad

Änderung Verhalten	Interpretation
Kenngröße Zu- und Abgangszeit	Stellplatzsituation Rad wird verbessert. Es gibt Stellplätze nahe am Ziel mit guten und schnell nutzbaren Abstellmöglichkeiten.
Kenngröße Fahrtzeit	Fahrtzeit wird objektiv schneller <ul style="list-style-type: none"> <li>• Netzausbau</li> <li>• Nutzung Pedelec</li> </ul>



Änderung Präferenzen	Interpretation
modusspezifische Konstante	Die Bereitschaft, das Fahrrad als Verkehrsmittel in Betracht zu ziehen, steigt. Das Alltagsleben ist für das Radfahren vorbereitet, z.B. „Fahrradtaschen für Laptop“.
Parameter Fahrtzeit	Fahrtzeit wird stärker als positive Aktivität (z.B. Gesundheit) wahrgenommen.
Parameter Fahrtzeit	Fahrtzeit wird auf ausgewählten Verkehrsanlagen (z.B. Fahrradstraßen) subjektiv als besser wahrgenommen.



# Präferenzänderungen / Umgang mit unbekanntem Präferenzen

- Mobilitätspräferenzen werden durch  $\beta$ -Parameter in der Nutzenfunktion beschrieben
- Es fehlen empirische Grundlagen, aus denen sich modifizierte Parameter ableiten lassen
- Lösung: Setzungen von Parametern oder die Setzung von Ergebnissen
- **Setzung von Parametern:** Verhaltensparameter (z.B. Aktivitätenhäufigkeiten) werden gesetzt und nach Möglichkeit (z.B. mit Werten aus der Literatur) begründet. Mit den veränderten Parametern werden neue Modellergebnisse ermittelt.
- **Setzung von Ergebnissen:** Ein gewünschtes Ergebnis (z.B. ein Modal-Split-Anteil für einen Modus) wird vorgegeben. Die Verhaltensparameter (z.B. die modusspezifische Konstante in der Moduswahlfunktion) werden so angepasst, dass das Ergebnis erreicht wird. Diese Art der Modellierung wird als „**normative Modellierung**“ bezeichnet.

# Präferenzänderungen / Umgang mit unbekanntem Präferenzen

Mobilitätspräferenzen werden durch  $\beta$ -Parameter in der Nutzenfunktion beschrieben

- Typische Nutzenfunktion

$$v_{god,m=Rad} = \beta_{g,m=Rad}^{A,0} + \beta_{g,m=Rad}^{A,t^{FZ}} \cdot t_{od,m=Rad}^{FZ} + \beta_{g,m=Rad}^{A,t^{ZAB}} \cdot t_{od,m=Rad}^{ZAB}$$

- Modifizierte Nutzenfunktion

$$v_{god,m=Rad} = \beta_{g,m=Rad}^{P,0} + \beta_{g,m=Rad}^{P,t^{EFZ}} \cdot t_{od,m=Rad}^{EFZ} + \beta_{g,m=Rad}^{P,t^{ZAB}} \cdot t_{od,m=Rad}^{ZAB}$$

$$t_{od,m=Rad}^{EFZ} = \beta_{g,m=Rad,Mischverkehr}^{P,t^{FZ}} \cdot t_{od,m=Rad,Mischverkehr}^{FZ} + \beta_{g,m=Rad,Fahrradstr}^{P,t^{FZ}} \cdot t_{od,m=Rad,Fahrradstr}^{FZ} + \dots$$

mit

$\beta_{g,m}^A$   $\beta_{g,m}^P$

unterschiedliche Parameter für Analysezustand **A** und Prognosezustand **P**

$t_{od,m}^{EFZ}$

Empfundene Fahrtzeit unterscheidet die **Art der Verkehrsanlage** (Fahrradstraße, Mischverkehr, etc.)

$t_{od,m,Verkehrsanlage}^{FZ}$

Fahrtzeit auf der Verkehrsanlage  $v$  ( $v$ = Fahrradstraße, Mischverkehr, etc.)

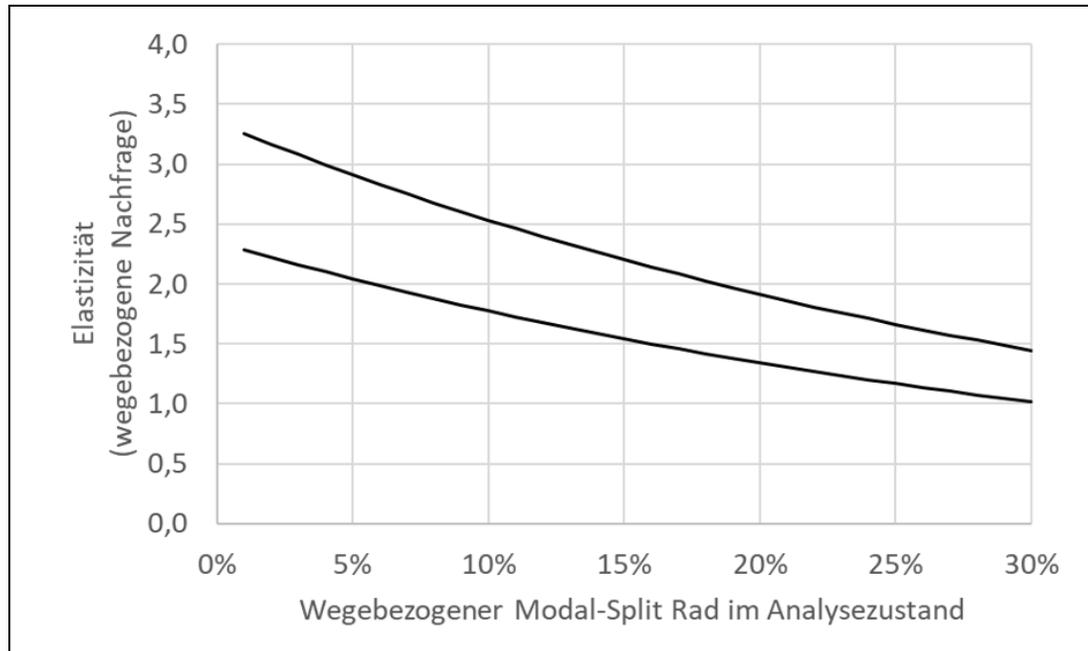
$\beta_{g,m,Verkehrsanlage}^{FZ}$

Bewertung der Fahrtzeit abhängig von der Art der Verkehrsanlage

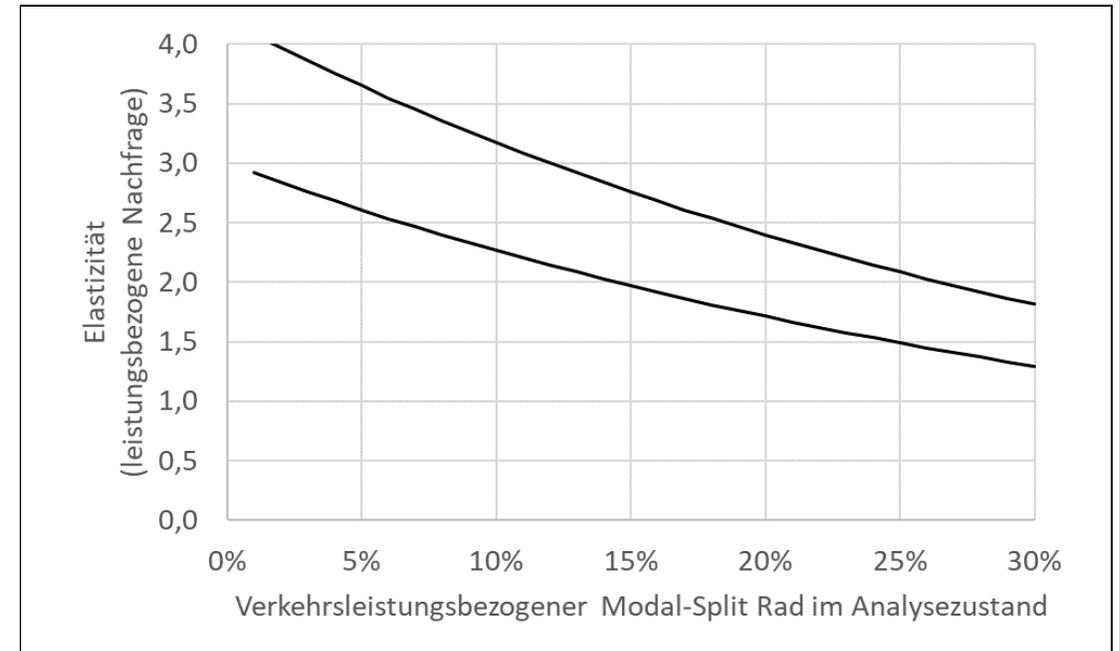
# Elastizität Radverkehr

## Nachfrage-Elastizität bezogen auf Fahrtzeitänderungen

- Elastizität wegebezogene Nachfrage < Elastizität leistungsbezogene Nachfrage



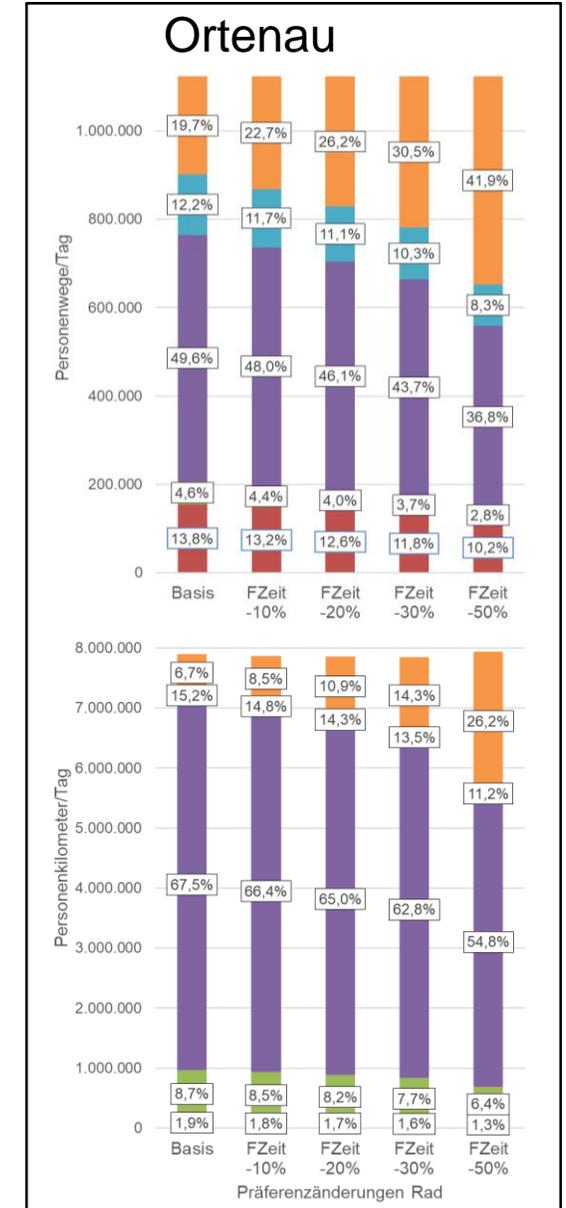
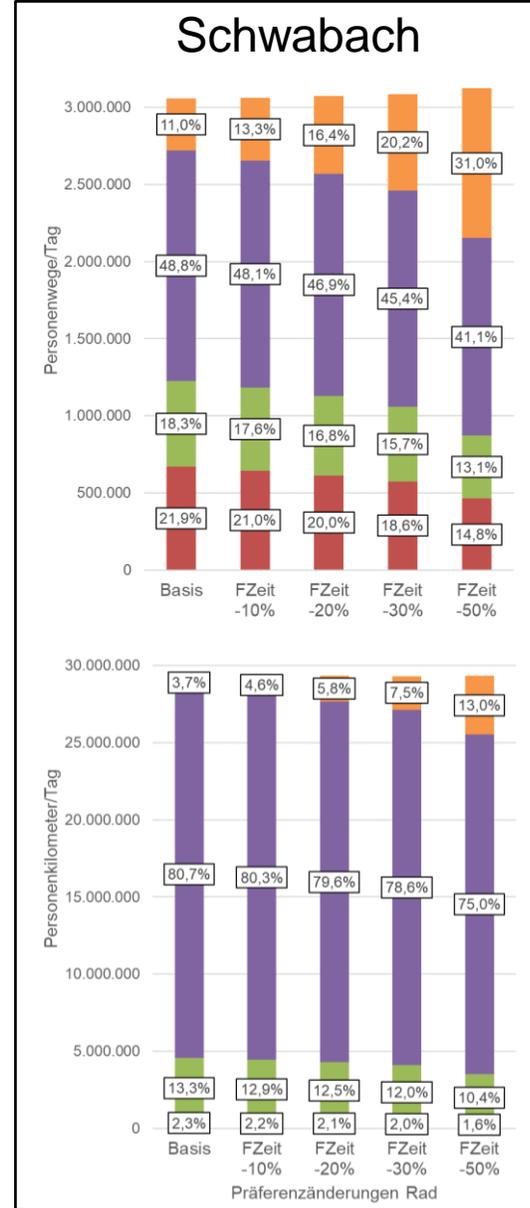
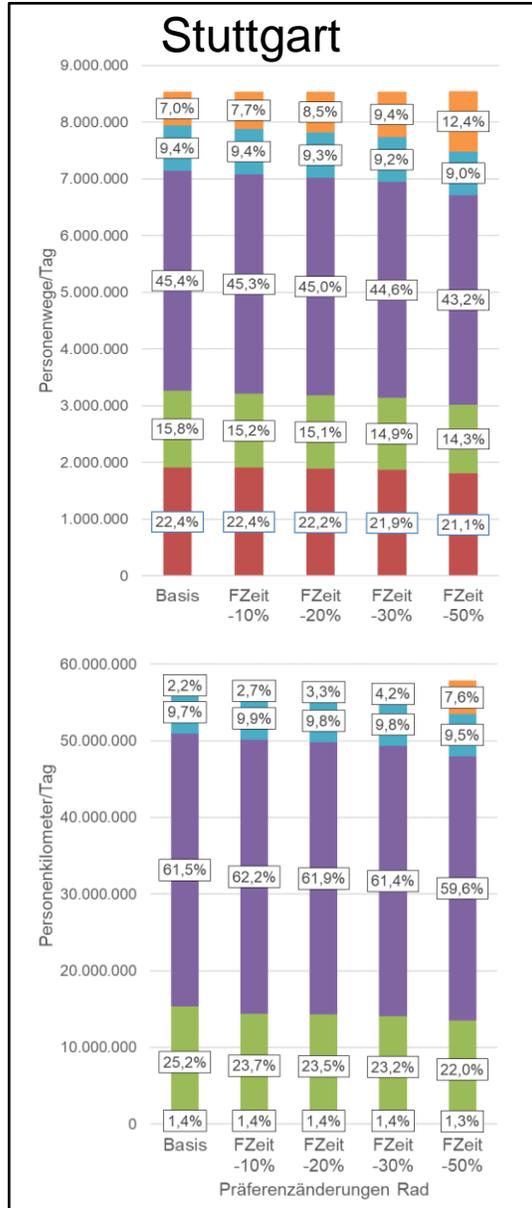
Bandbreite für die Elastizität der wegebezogenen Verkehrsnachfrage bei einer Angebotsverbesserung im Radverkehr abhängig vom wegebezogenen Modal-Split.



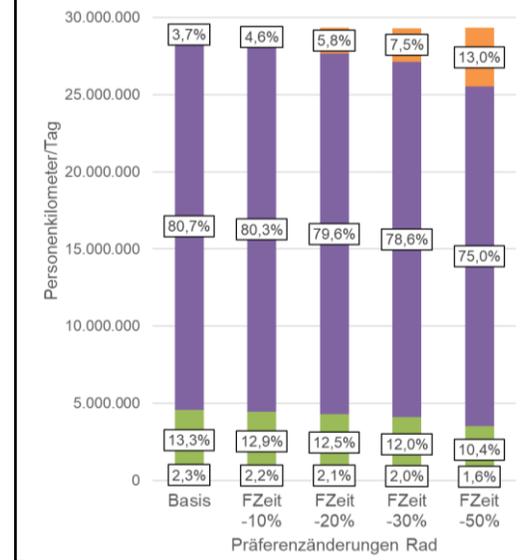
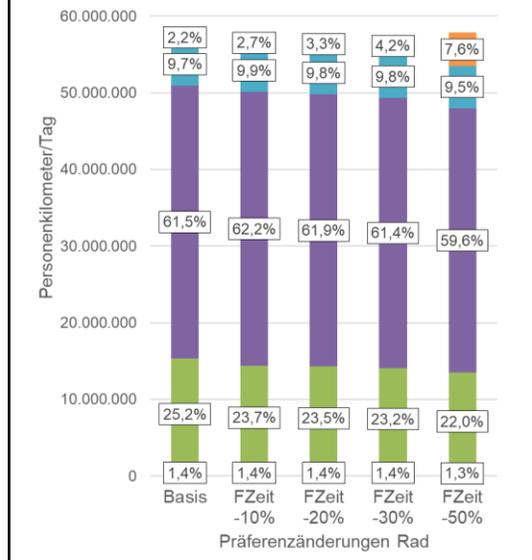
Bandbreite für die Elastizität der verkehrsleistungsbezogenen Verkehrsnachfrage bei einer Angebotsverbesserung im Radverkehr abhängig vom verkehrsleistungsbezogenen Modal-Split.

# Präferenzänderungen: Wirkungen auf den Modal-Split

Wege



Leistung



■ Fuß ■ ÖV ■ Pkw ■ PkwM ■ Rad

# Fahrzeugflotte

# Zeitachse in Verkehrsnachfragemodellen

Analysejahr

Prognosejahr

2020

2025

2030

2035

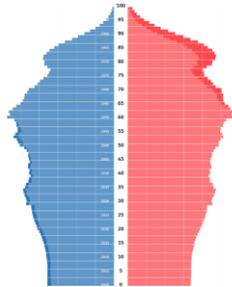
2040

2045

2050

Jahr

Bevölkerung 67+ (Mio)	16	17	19	20	21	21	20
Bevölkerung 20-66 (Mio)	52	51	49	47	46	45	45
Bevölkerung <20 (Mio)	15	16	16	16	15	15	14
Bevölkerung ges (Mio)	83	84	84	83	82	81	79



Die Bevölkerungsstruktur hängt von der Geburtenrate, Lebenserwartung und von Wanderungen ab  
Für Verkehrsprognosen genügen uns Werte für das Analysejahr und das Prognosejahr

Pkw (Mio)	48	50	50	49	49	48	47
E-Pkw (Verbrennerverbot 2035) (Mio)	0	2	8	20	35	43	44
E-Pkw (Verbrennerverbot 2040) (Mio)	0	2	7	16	28	39	42

Die Flottenzusammensetzung hängt von den Zulassungsanteilen und der Lebenserwartung (ca. 15 Jahre) ab  
Für CO<sub>2</sub>-Prognosen benötigen wir die kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen über alle Jahre

# Fahrzeugflottenmodell

100%/15 Jahre = 6,7%  
Neuzulassungen pro Jahr

Jahr	Neuzulassungsanteile		Neuzulassungen			Abmeldungen		Flottenzusammensetzung	
	ICEV	BEV	Pkw	ICEV	BEV	ICEV	BEV	ICEV	BEV
2020	98%	2%	6,7%	6,5%	0,1%	6,7%	0,0%	100%	0%
2021	96%	4%	6,7%	6,4%	0,3%	6,7%	0,0%	99%	1%
2022	94%	6%	6,7%	6,3%	0,4%	6,7%	0,0%	99%	1%
2023	92%	8%	6,7%	6,1%	0,5%	6,7%	0,0%	99%	1%
2024	90%	10%	6,7%	6,0%	0,7%	6,7%	0,0%	98%	2%
2025	82%	18%	6,7%	5,5%	1,2%	6,7%	0,0%	97%	3%
2026	74%	26%	6,7%	4,9%	1,7%	6,7%	0,0%	95%	5%
2027	66%	34%	6,7%	4,4%	2,3%	6,7%	0,0%	93%	7%
2028	58%	42%	6,7%	3,8%	2,8%	6,7%	0,0%	90%	10%
2029	50%	51%	6,7%	3,3%	3,4%	6,7%	0,0%	86%	14%
2030	41%	59%	6,7%	2,8%	3,9%	6,7%	0,0%	83%	17%
2031	33%	67%	6,7%	2,2%	4,4%	6,7%	0,0%	78%	22%
2032	25%	75%	6,7%	1,7%	5,0%	6,6%	0,0%	73%	27%
2033	17%	83%	6,7%	1,1%	5,5%	6,6%	0,1%	68%	32%
2034	9%	91%	6,7%	0,6%	6,1%	6,6%	0,1%	62%	38%
2035	5%	95%	6,7%	0,3%	6,3%	6,5%	0,1%	55%	45%
2036	5%	95%	6,7%	0,3%	6,3%	6,4%	0,3%	49%	51%
2037	5%	95%	6,7%	0,3%	6,3%	6,3%	0,4%	43%	57%
2038	5%	95%	6,7%	0,3%	6,3%	6,1%	0,5%	38%	62%
2039	5%	95%	6,7%	0,3%	6,3%	6,0%	0,7%	32%	68%
2040	5%	95%	6,7%	0,3%	6,3%	5,5%	1,2%	27%	73%

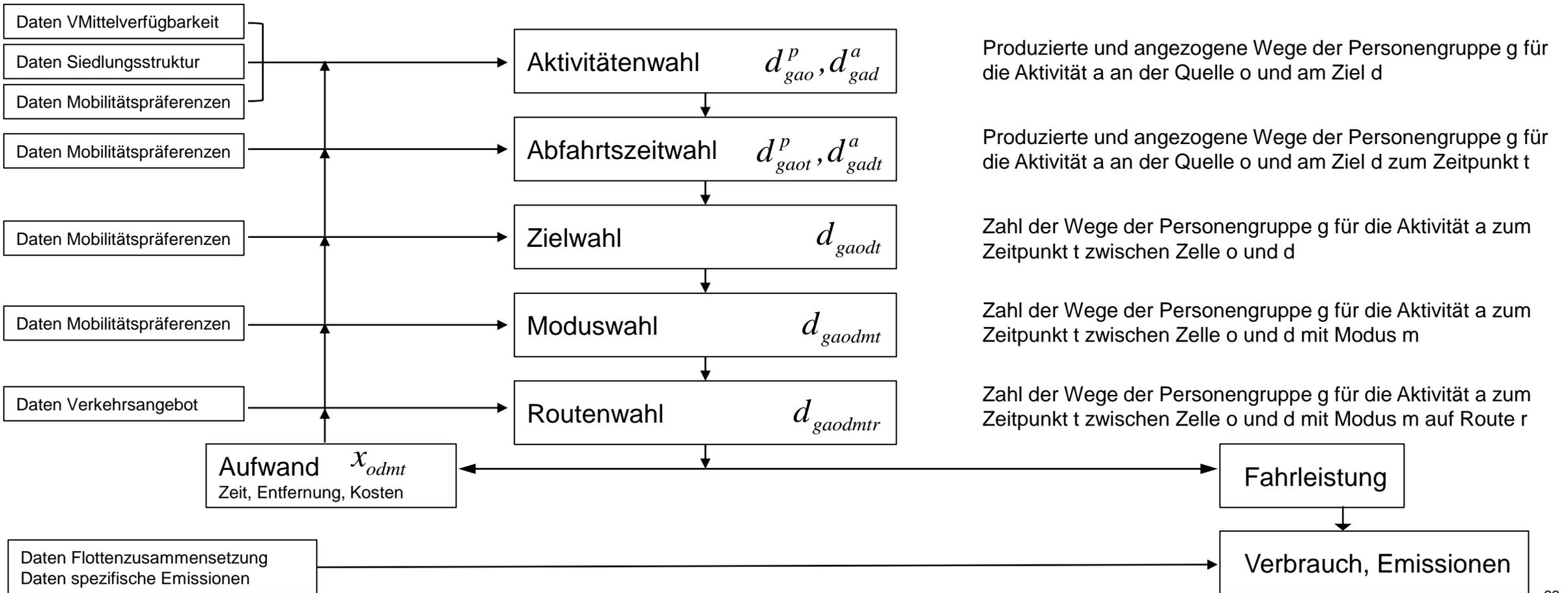
weitgehendes Verbrennerverbot ab 2035

# Mobilitätswerkzeugwahl

# Makroskopische Nachfragemodelle: Stand der Praxis

## Angebotsqualität

## Wahlentscheidungen



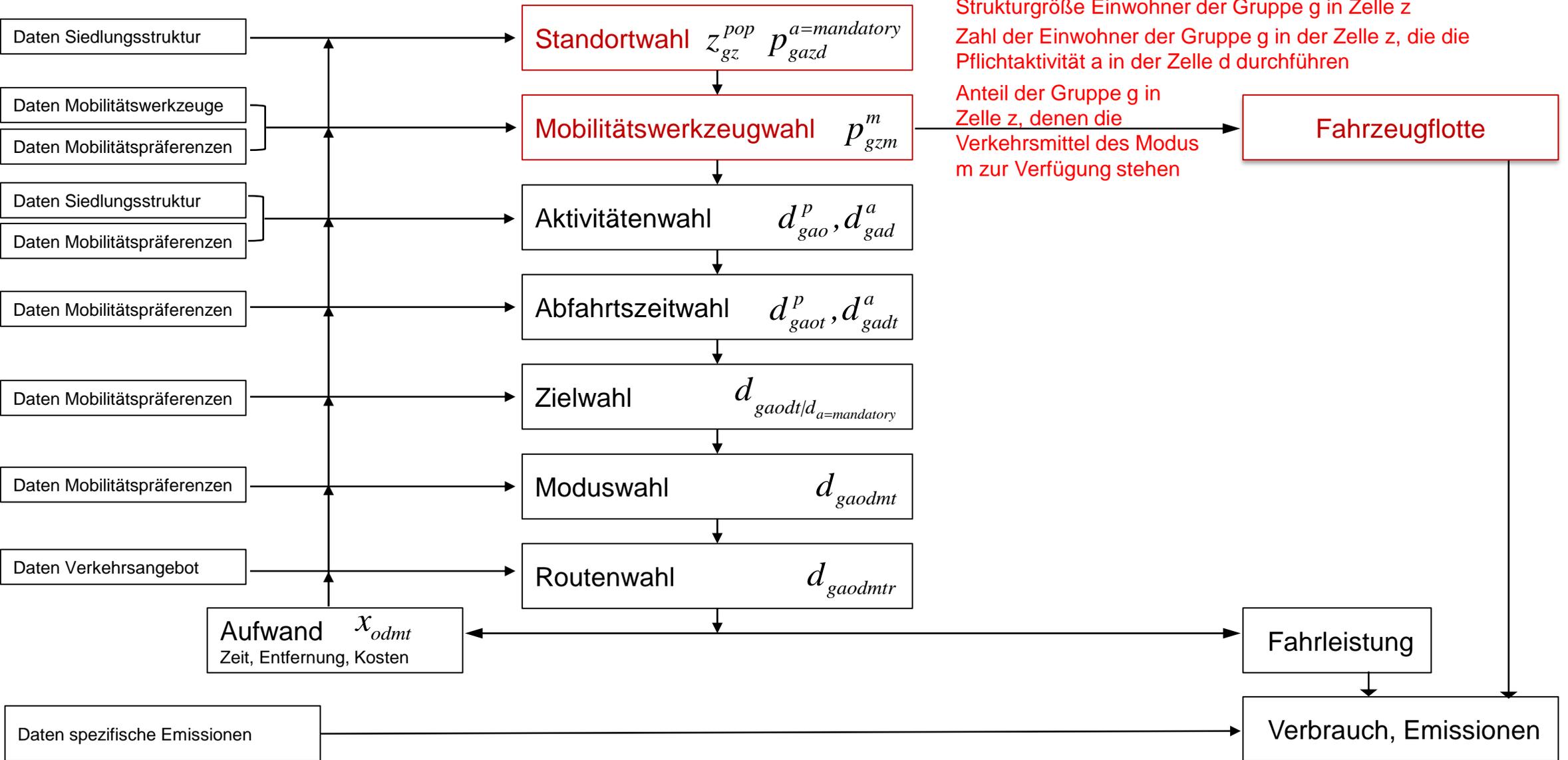
# Makroskopische Nachfragemodelle: Erweiterung Mobilitätswerkzeugwahl

## Angebotsqualität

## Wahlentscheidungen

Strukturgröße Einwohner der Gruppe  $g$  in Zelle  $z$   
 Zahl der Einwohner der Gruppe  $g$  in der Zelle  $z$ , die die Pflichtaktivität  $a$  in der Zelle  $d$  durchführen

Anteil der Gruppe  $g$  in Zelle  $z$ , denen die Verkehrsmittel des Modus  $m$  zur Verfügung stehen



# Mobilitätswerkzeugwahlmodell – Schätzung des Wahlmodells

## Personenebene

- Quelle: MiD 2017; n = 160.000 Personen
- Nutzenfunktion Pkw Ja / Nein
  - Pkw nein:  $v_{nein} = 0$  (Referenz)
  - Pkw ja:  $v_{ja} = \beta_0 + \sum_k \beta_k \cdot x_k$
- 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,..., $\geq 5.000$ m]

# Mobilitätswerkzeugwahlmodell – Schätzung des Wahlmodells

## Personenebene

Parameter	Schätzung
$\beta_0$	2,267
$\beta_{Weiblich}$	-0,218
$\beta_{Alter}$	0,066 / 0,095 / -0,107 / -0,068 / 0,066 / -0,254 / -0,898
$\beta_{Beruf}$	0,125 / 0,917 / 0,652 / 0,029 / -0,288 / -0,194
$\beta_{\text{Ökonomischer Status}}$	0,372 / 0,798 / 1,178 / 1,571
$\beta_{Haustyp}$	-0,651 / -0,819
$\beta_{Garage,ja}$	0,064
$\beta_{RegioStaR4}$	0,128 / 0,137 / 0,042
$\beta_{\text{ÖV-Entfernung}}$	0,095 / 0,189 / 0,206 / 0,023 / -0,109

# Mobilitätswerkzeugwahlmodell – Schätzung des Wahlmodells

## Personenebene

Parameter	Schätzung	Beispiel:	Nutzen = 3,165
$\beta_0$	2,267	-	2,267
$\beta_{Weiblich}$	<b>-0,218</b>	Weiblich	-0,218
$\beta_{Alter}$	0,066 / <b>0,095</b> / -0,107 / -0,068 / 0,066 / -0,254 / -0,898	45 Jahre	0,095
$\beta_{Beruf}$	0,125 / 0,917 / <b>0,652</b> / 0,029 / -0,288 / -0,194	Geringfügig beschäftigt	0,652
$\beta_{\text{Ökonomischer Status}}$	0,372 / <b>0,798</b> / 1,178 / 1,571	3 – mittel	0,798
$\beta_{Haustyp}$	-0,651 / <b>-0,819</b>	Geschosswohnungsbau	-0,819
$\beta_{Garage,ja}$	<b>0,064</b>	Ja	0,064
$\beta_{RegioStaR4}$	0,128 / <b>0,137</b> / 0,042	Stadtregionsnahe ländliche Region	0,137
$\beta_{\text{ÖV-Entfernung}}$	0,095 / <b>0,189</b> / 0,206 / 0,023 / -0,109	750 m	0,189

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

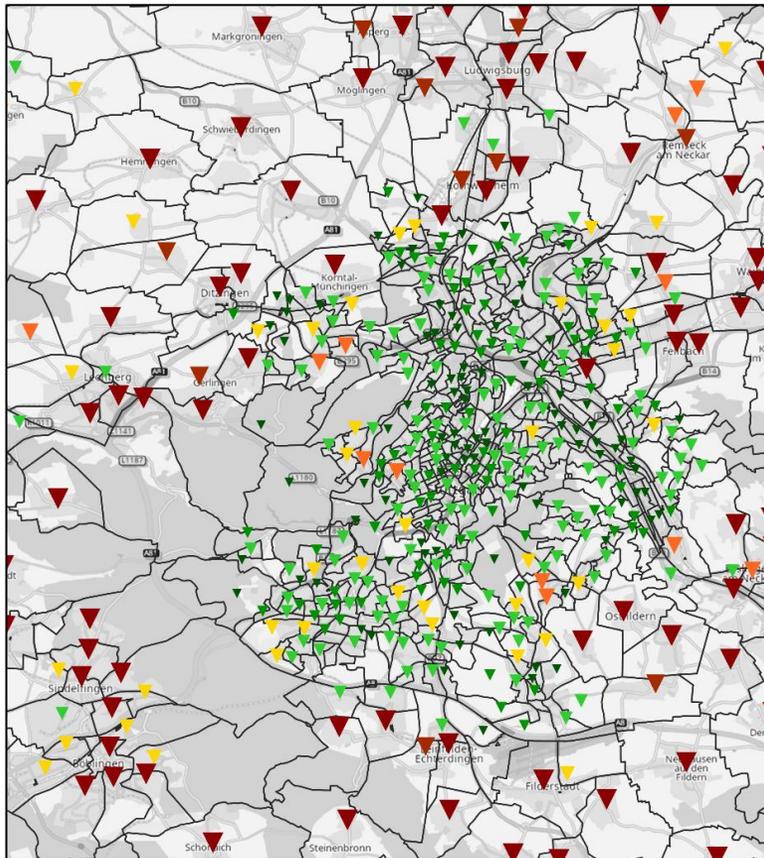
# Mobilitätswerkzeugwahlmodelle

- Abbildung der Mobilitätswerkzeugwahl: makroskopisch oder mikroskopisch

	<b>Makroskopische Modelle</b>	<b>Mikroskopische Modelle</b>
Betrachtungsebene	Analyse auf aggregierter Ebene	Individuelle Entscheidungsmodelle
Standorte von Nutzungen	Verkehrszellen	Verkehrszellen, (Baublock, Gebäude)
Verkehrsteilnehmende	Personengruppen	Haushalte mit Personen
Wahlentscheidungen	Wahrscheinlichkeit von Alternativen	Wahl einer Alternative

# Mobilitätswerkzeugwahlmodell – Mikroskopisches Modell

- Erstellung synthetische Bevölkerung
- Randbedingungen aus Nachfragemodell (z.B. Personen pro Zelle)



Führerschein  
1 = Ja; 0 = Nein

1 = Erwerbstätig  
2 = Nicht Erwerbs.  
3 = Rentner

Reisezeit Arbeit  
(nur Erwerbstätige)

Liste: Personen (3,4 Mio.)

Anzahl: 3,385,451	Nr	HaushaltNr	Index	age	License	occupation	DistancePT	ErrPkw_Work	ErrPuT_Work	Work_TT0_Pkw	Work_TT0_PuT	
	42	42	37	1	63	1	3	2	6	6	99999.00	99999.00
	43	43	37	2	28	0	1	2	1	3	2.75	17.00
	44	44	37	3	96	1	3	2	6	6	99999.00	99999.00
	45	45	37	4	62	1	3	2	6	6	99999.00	99999.00
	46	46	37	5	67	1	3	2	6	6	99999.00	99999.00
	47	47	38	1	28	1	1	2	1	3	2.75	17.00
	48	48	38	2	31	1	3	2	6	6	99999.00	99999.00
	49	49	39	1	83	1	3	2	6	6	99999.00	99999.00
	50	50	39	2	27	1	1	2	3	3	2.75	17.00
	51	51	39	3	48	1	1	2	4	4	2.59	32.37
	52	52	39	4	44	1	1	2	2	3	5.17	19.08

Erreichbarkeit  
Kategorien 1-6

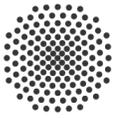
Personen Nr.

Standort Arbeitsplatz  
aus Modell

Berechneter  
Nutzen

Bewerteter Nutzen  
 $\frac{e^{vja}}{1 + e^{vja}}$

Nr	HaushaltNr	Index	LangfristigeEntscheidungenSchlüssel	MWW_Nutzen	MWW_Logit
43	37	2	(ABM_W,30302)	-1.18	0.23
47	38	1	(ABM_W,30302)	2.89	0.95
50	39	2	(ABM_W,30302)	4.13	0.98



Universität Stuttgart

# Abbildung von Klimaschutzszenarien in Verkehrsnachfragemodellen

PTV Mobility  
Anwenderseminar  
21. Mai 2025

Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich



Institut für Straßen- und Verkehrswesen  
Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik  
Pfaffenwaldring 7 • 70569 Stuttgart • Tel. +49 (0)711 685-82482 • [www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/](http://www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/)