

Die Entwicklung des deutschen Pkw-Bestandes

Ein Vergleich bestehender Modelle und die
Notwendigkeit eines evolutionären Simulationsansatzes

Benjamin Kickhöfer

Jens Brokate

Francisco Bahamonde Birke

Tobias Kuhnimhof

Falko Nordenholz

Marie Bolz

Andreas Wolf



Wissen für Morgen



Agenda

1. Motivation

- Häufige Fragestellungen
- In Deutschland existierende Modelle
- Identifizierte Lücken

2. Modellkonzept

- Zweiteilige Modellstruktur
- Zweistufiges Wahlmodell
- Ergebnisse Schätzungen Stufe 1

3. Herausforderungen und Zusammenfassung



Motivation



Häufige Fragestellungen

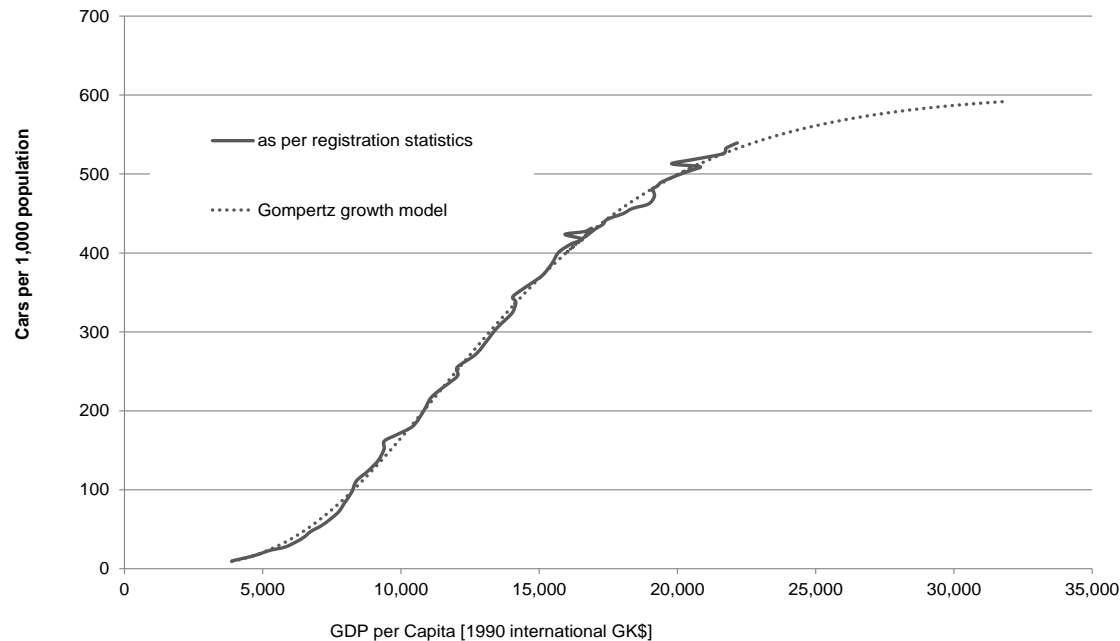
- Wie viele Pkw gibt es 2030, 2040, 2050 in Deutschland?
- Wie können diese Pkw beschrieben werden (Größe, Technologie, Energieverbrauch, ...)?
- Wer hält Pkw vor und/oder hat sie als Mobilitätsoption zu Verfügung?
- Wie werden Sie genutzt (und wie hängt das mit der Energiebereitstellung zusammen)?

Wie werden die Antworten zu diesen Fragen durch politische, technologische und gesellschaftliche Rahmenbedingungen beeinflusst?



Aggregierte Betrachtung der Pkw-Bestandsevolution

Observed and modeled levels of car ownership in Germany over GDP per capita



Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von KBA-Kraftfahrzeugstatistik

- Modelliert wird **Motorisierungsrate** als Funktion des BIP
- Häufig verwendet: z.B. Verkehrsprognose 2030, DLR-VEU II, ...
- Allerdings: **kaum Erklärung von Verhaltenstrends** oder –änderungen als Reaktion auf Änderungen der Rahmenbedingungen

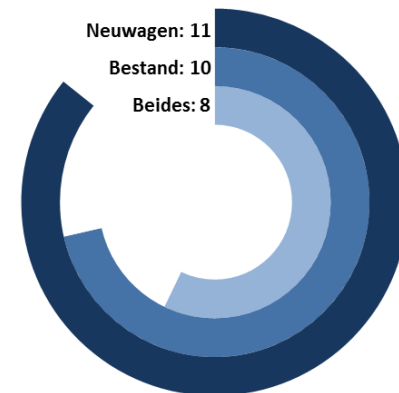
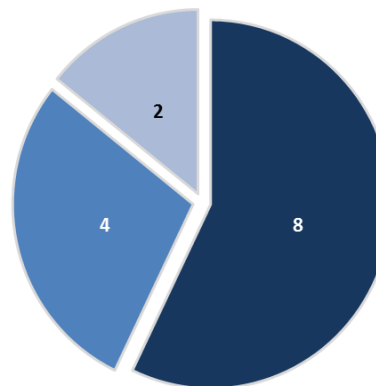
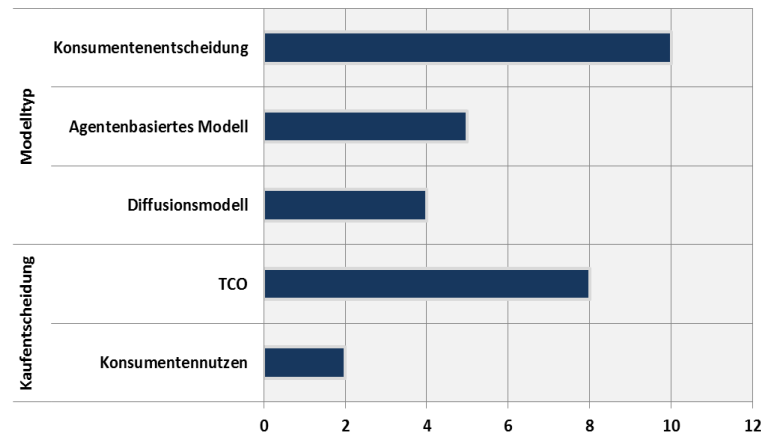


In Deutschland bestehende Modelle

Nr	Modell/Autoren	Jahr	Prognosejahr
1	OPTUM	2011	2050
2	ALADIN	2015	2030
3	VECTOR21	2010	2030
4	Propfe	2016	2040
5	TREMOD	2016	2050
6	Shell	2014	2040
7	MMEM	2011	2050
8	DEFINE	2014	2030
9	DISCO	2014	2030
10	Kieckhäfer et al.	2014	2030
11	Plötz et al.	2012	2050
12	Weigl	2010	2030
13	Redelbach	2016	2030
14	Mueller, de Haan	2009	--

Quelle: Eigene Darstellungen

- keine
- privat/gewerblich
- privat/Dienstwagen/gewerblich



Identifizierte Lücken in der Modelllandschaft

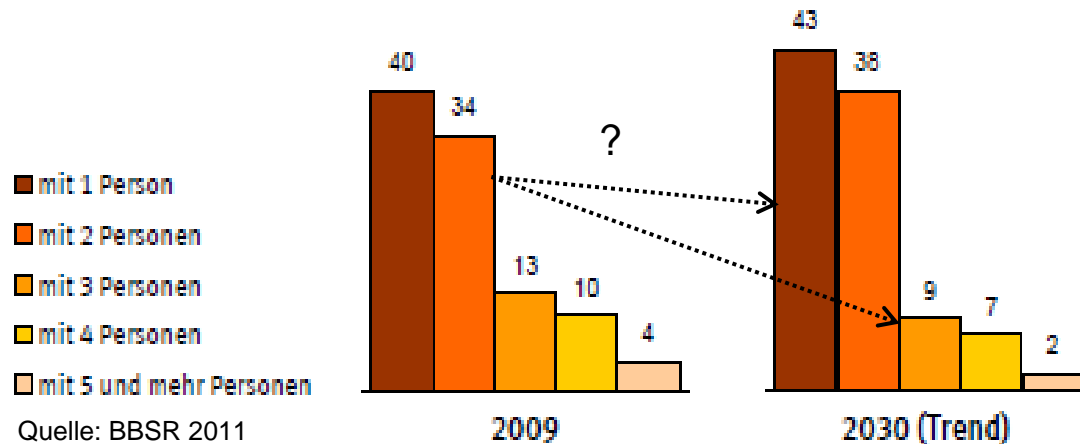
- **Anzahl Neuzulassungen** immer exogen (z.B. über Motorisierungsraten)
- Rückkopplung Gebrauchtwagen- und Neuwagenmarkt fehlt (**Nutzertypen**)
- **Regionalisierung** lediglich als Variable (z.B. keine Abbildung der Auswirkungen lokaler Regulierungen möglich)
- Wirkung von Innovationen außer Antrieben fehlt (z.B. autonome private Pkw oder Carsharing – **Rückkopplung mit Verkehrsmodell?**)
- Keine **öffentliche Verfügbarkeit** der Modelle (open source)



Konzept



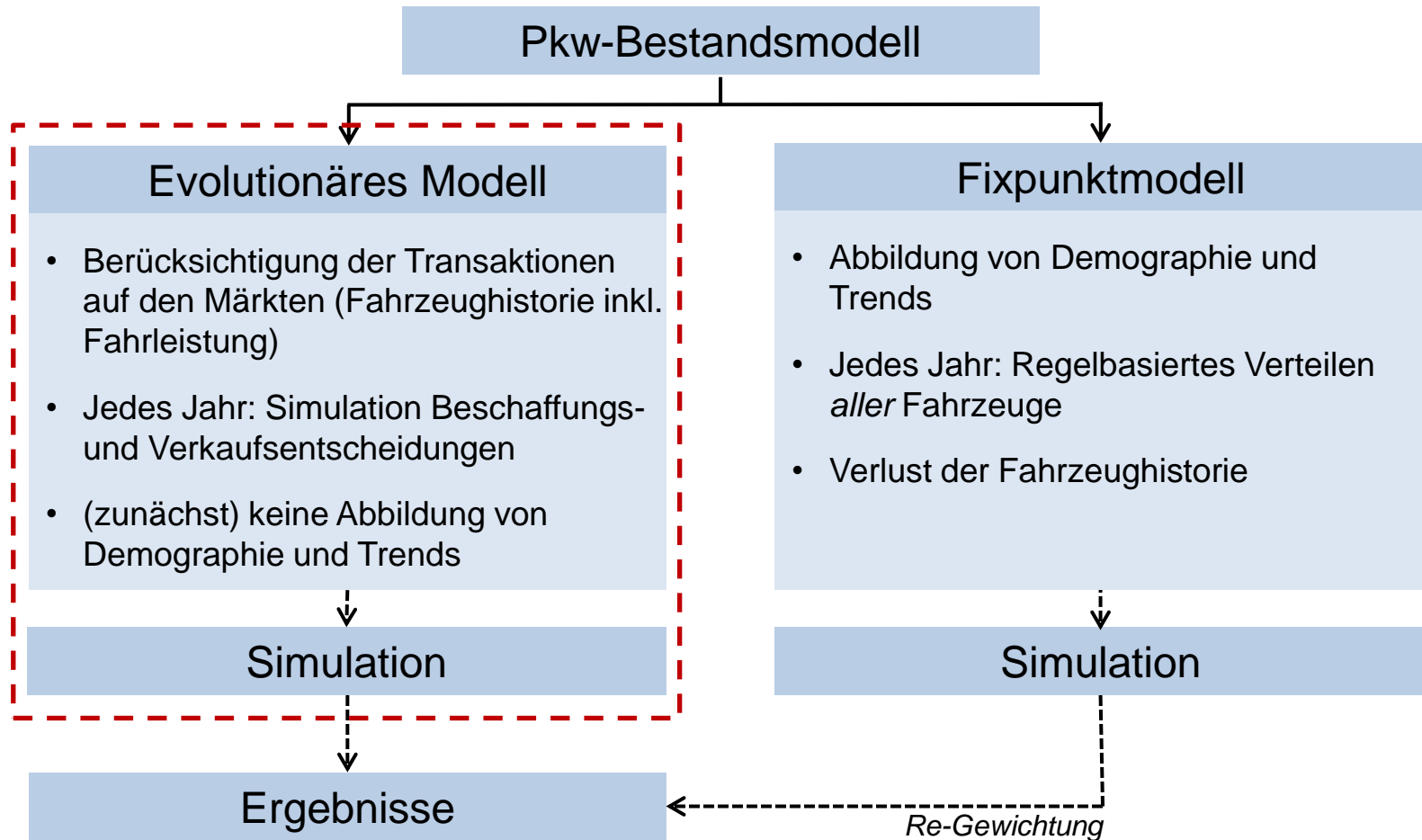
Herausforderung: Abbildung demographischer Entwicklung und Trends



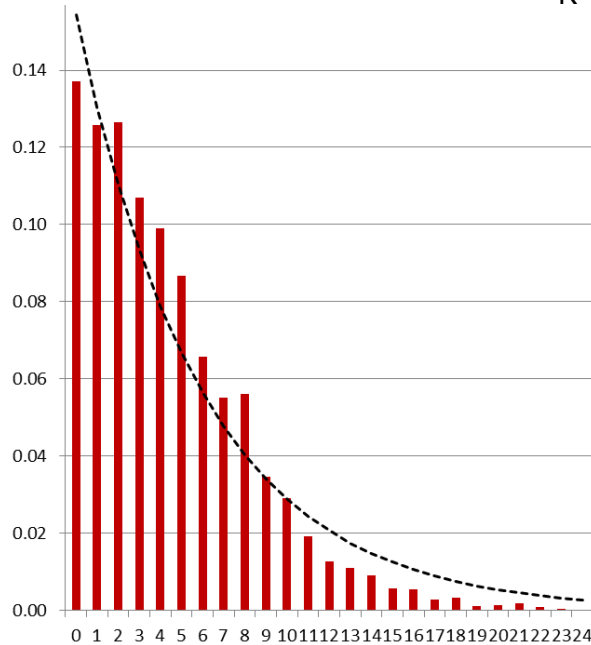
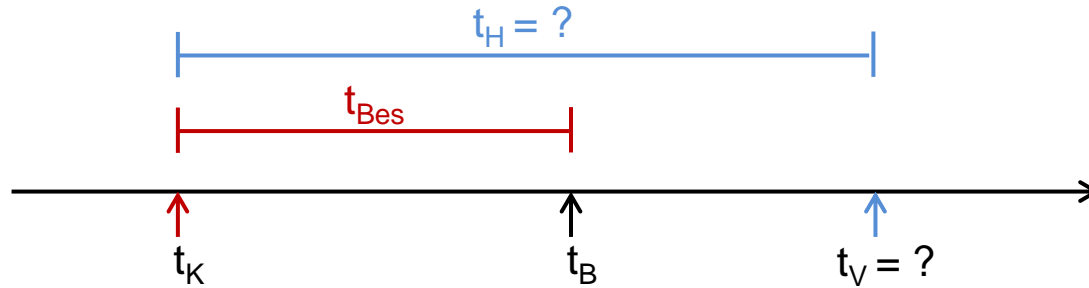
- Problem: Übergangswahrscheinlichkeiten nicht bekannt
- Selbst wenn sie bekannt wären, benötigte man Empirie für deren Einfluss auf Pkw-Entscheidungen



Modellkonzept

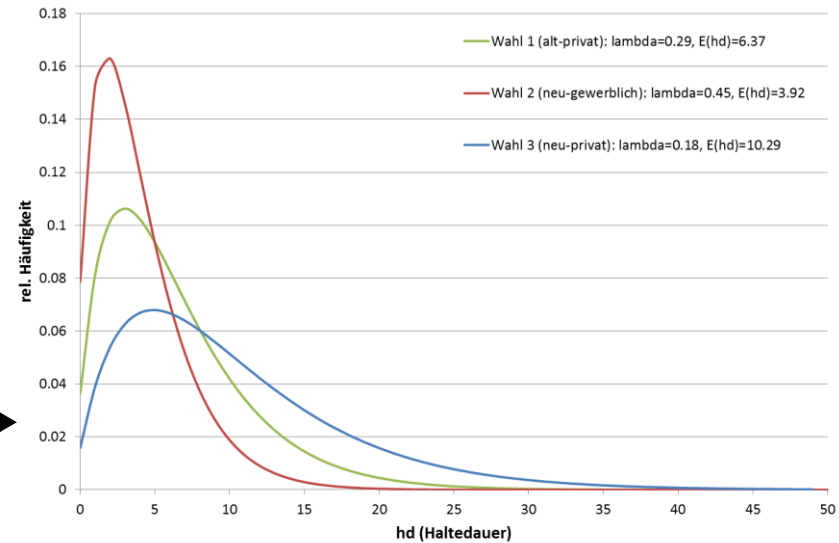


Evolutionäres Modell: Bestimmung der Haltedauern



■ Rel_Häufigkeit
- - - Exp_Dichtefunktor

$$f_H = - \frac{\partial P(t_{Alt})}{\partial t_{Alt}} \cdot t_{Alt}$$



— Wahl 1 (alt-privat): lambda=0.29, E(hd)=6.37
— Wahl 2 (neu-gewerblich): lambda=0.45, E(hd)=3.92
— Wahl 3 (neu-privat): lambda=0.18, E(hd)=10.29

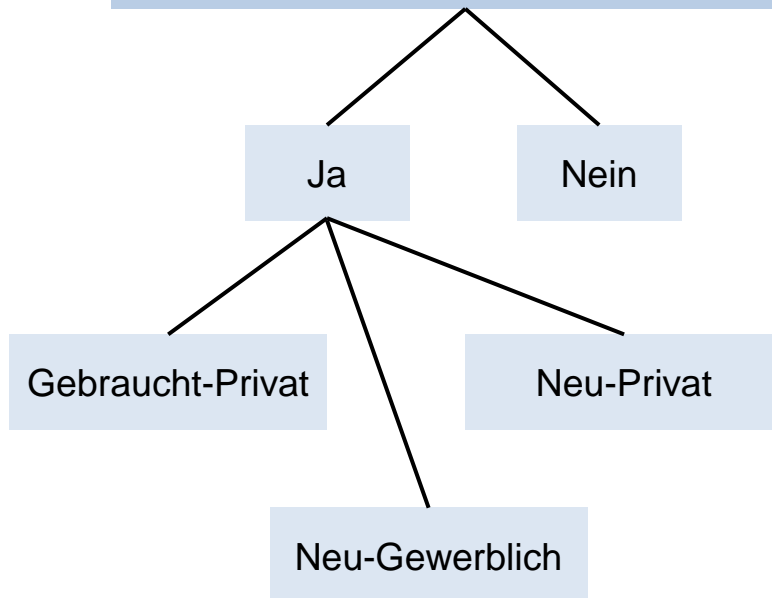
Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von MiD 2008

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von MiD 2008



Evolutionäres Modell: Zweistufige Abbildung der Beschaffungsentscheidung

(A) Beschafft sich der gewählte HH in diesem Jahr ein Auto?



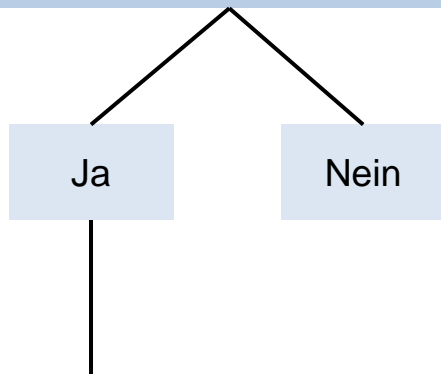
(B) Welchen Autotyp wählt der HH?

- Größenklasse
- Antrieb
- Automatisierungsgrad



Ergebnisse der Modellschätzungen: MNL

(A) Beschafft sich der gewählte HH in diesem Jahr ein Auto?



Name	Value	Std err	t-test	p-value
ASC_buy	-3.14	0.0503	-62.34	0.00
beta_area_rural	0.100	0.0595	1.68	0.09
beta_area_suburban	0.0862	0.0419	2.06	0.04
beta_drl	0.323	0.0282	11.44	0.00
beta_emp	0.323	0.0252	12.81	0.00
beta_inc2	0.356	0.0562	6.34	0.00
beta_inc3	0.477	0.0658	7.25	0.00
beta_inc4	0.576	0.0825	6.98	0.00
beta_inc567	0.787	0.0822	9.58	0.00
beta_incNA	0.258	0.0674	3.83	0.00

$$p(ja)_{inc=4} = \frac{e^{-3.14+0.1+0.323*2+0.323*1+0.576}}{e^{-3.14+0.1+0.323*2+0.323*1+0.576} + e^0} = 0.183172$$

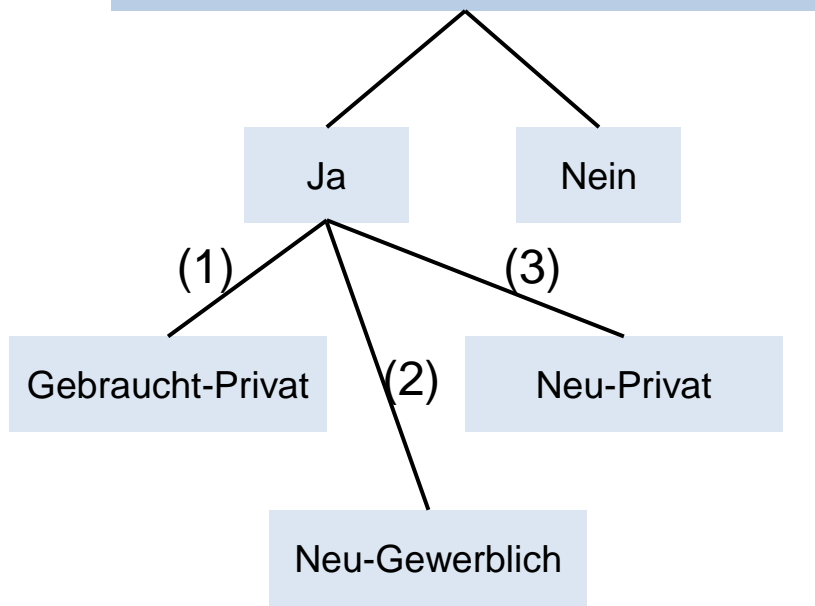
$$p(ja)_{inc=567} = \frac{e^{-3.14+0.1+0.323*2+0.323*1+0.787}}{e^{-3.14+0.1+0.323*2+0.323*1+0.787} + e^0} = 0.21687$$

- Leben im suburbanen und ländlichen Raum erhöht die Wahrscheinlichkeit
- #Führerscheine und #Beschäftigte hat einen ähnlichen positiven Einfluss
- Wahrscheinlichkeit steigt mit steigendem Einkommen



Ergebnisse der Modellschätzungen: Mixed Logit

(A) Beschafft sich der gewählte HH in diesem Jahr ein Auto?



Plausibel? ✓

Name	Value	Std err	t-test	p-value
ASC_buy_1	-6.15	0.184	-33.49	0.00
ASC_buy_2	-8.24	0.329	-25.04	0.00
ASC_buy_3	-6.54	0.202	-32.38	0.00
SIGMA_W1	-1.33	0.131	-10.23	0.00
SIGMA_W2	-1.07	0.155	-6.93	0.00
SIGMA_W3	-1.28	0.141	-9.12	0.00
SIGMA_W4	-1.48	0.124	-11.88	0.00
beta_area_rural_1	0.430	0.124	3.46	0.00
beta_area_rural_2	0.189	0.212	0.89	0.37
beta_area_rural_3	0.372	0.147	2.54	0.01
beta_area_suburban_1	0.430	0.0866	4.97	0.00
beta_area_suburban_2	-0.0264	0.148	-0.18	0.86
beta_area_suburban_3	0.323	0.101	3.21	0.00
beta_drl_1	1.43	0.0691	20.66	0.00
beta_drl_2	0.800	0.108	7.44	0.00
beta_drl_3	1.45	0.0777	18.65	0.00
beta_emp_1	0.763	0.0543	14.06	0.00
beta_emp_2	0.735	0.0871	8.45	0.00
beta_emp_3	0.195	0.0598	3.26	0.00
beta_inc2_1	0.477	0.114	4.19	0.00
beta_inc2_2	2.01	0.312	6.42	0.00
beta_inc2_3	1.22	0.137	8.90	0.00
beta_inc3_1	0.648	0.135	4.78	0.00
beta_inc3_2	2.74	0.321	8.54	0.00
beta_inc3_3	1.53	0.163	9.34	0.00
beta_inc4_1	0.849	0.172	4.93	0.00
beta_inc4_2	3.43	0.344	9.95	0.00
beta_inc4_3	1.95	0.205	9.52	0.00
beta_inc567_1	0.745	0.185	4.02	0.00
beta_inc567_2	4.43	0.332	13.35	0.00
beta_inc567_3	2.27	0.213	10.62	0.00
beta_incNA_1	0.406	0.142	2.86	0.00
beta_incNA_2	2.65	0.323	8.21	0.00
beta_incNA_3	1.50	0.161	9.27	0.00
beta_precar_1	-2.46	0.0878	-28.07	0.00
beta_precar_2	-1.98	0.125	-15.79	0.00
beta_precar_3	-2.66	0.101	-26.36	0.00

Herausforderungen und Zusammenfassung



Korrektur Hochrechnung MiD 2008, private und gewerbliche Halter

	MiD 2008 HH-Hochrechnung
0 Pkw [%]	17.81
1 Pkw [%]	52.97
2 Pkw [%]	24.17
3+ Pkw [%]	5.05
(approx.) Erwartungswert [Pkw/HH]	1.16
Anzahl Haushalte [Mio.]	39.73
Anzahl Pkw [Mio.]	46.27
Anzahl Firmen-Pkw [Mio.] (foes.de)	1.70
Summe [Mio.]	47.97

Quelle: Eigene Berechnungen

- Problem: HH-Hochrechnungsfaktoren der MiD 2008 nicht mit anderen Datenquellen kompatibel > Neu-Gewichtung notwendig
- Generelle Unklarheit über Aufteilung der gewerblichen Zulassungen auf Firmen-Pkw (betriebliche Nutzung) und Dienstwägen ([auch] private Nutzung)



Weitere Herausforderungen

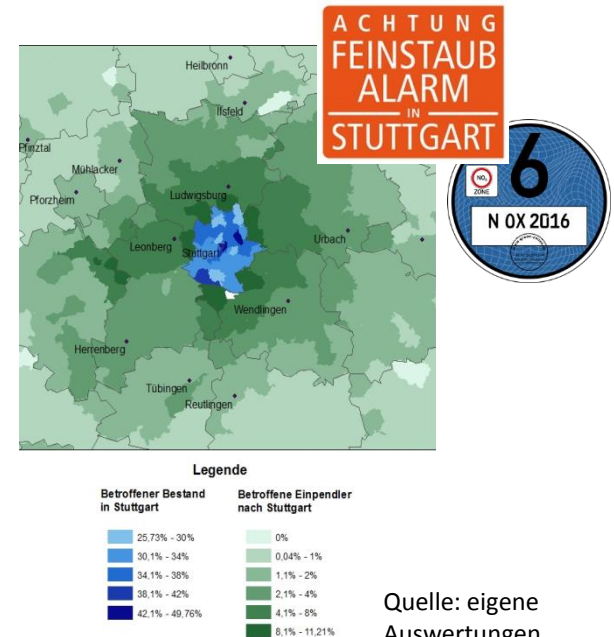
1. Pkw-Typenwahl

- Reines Discrete-Choice-Modell bei geringen/keinen Marktanteilen problematisch
- Hybrides Modell benötigt (Discrete-Choice & Diffusion)

(B) Welchen Autotyp wählt der HH?
• Größenklasse
• Antrieb
• Automatisierungsgrad

2. Nutzung & Regionalisierung

- Änderung der Präferenzen bzw. Einfluss von Regulierungen und neuen Mobilitätsangebote hängen von der Nutzung ab
- Notwendigkeit einer Kopplung mit Verkehrsmodell



Zusammenfassung

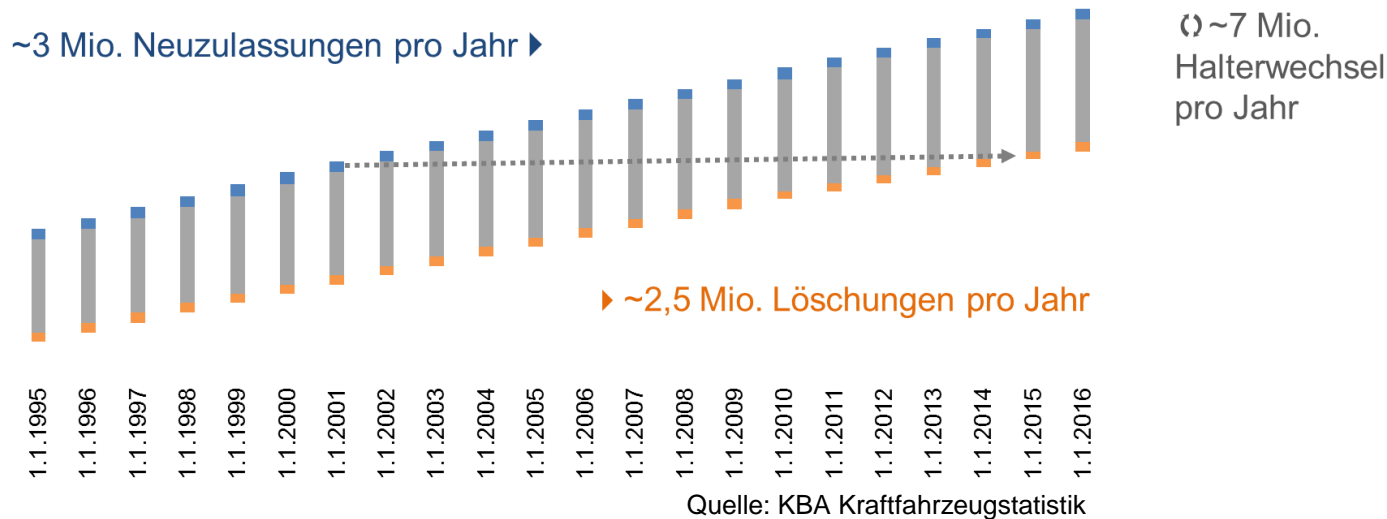
- Zweistufiger Modellansatz löst einige Probleme bestehender Modelle:
 - Betrachtung von **Beschaffungswahrscheinlichkeiten** für (gebraucht/privat), (neu/gewerblich), (neu/privat)
 - ...und damit von **Neu- und Gebrauchtwagenmarkt** sowie Nutzertypen
 - Betrachtung der Bestandshistorie (keine abrupte Änderung möglich)
 - **Transaktionen sind** somit **endogen** und abhängig von den betrachteten (sozio-demographischen) Variablen
- **Berücksichtigung von Demographie**, Lebensereignissen und Trends **nicht trivial**; Versuch dies durch separates Modell und Re-Gewichtung zu lösen
- Nutzung und Regionalisierung (z.B. zur Abbildung von Auswirkungen von Umweltzonen oder Robotaxis) **erfordert die Koppelung mit einem Verkehrsmodell**



Backup



Beispiel 1: Modellierung Pkw-Beschaffung, Umschichtung



- Fokus: Neuwagen-Beschaffungsentscheidung
- Annahme: Neuwagen setzen sich auf dem Gebrauchtwagenmarkt durch
- Keine Information über die Nutzung des Pkw bei verschiedenen Besitzern



Beispiel 2: Modellierung Pkw-Besitz

**Simulation:
household incomes +20%**

cars	share	fleet average	change	segment	change
0	-14.8% ↓	Value [€]	+4.4%	Microcars	-4.3% ↓
1	-1.0%	Age [years]	-1.4%	Small	-3.6%
2	+16.4% ↑	Odometer [tkm]	-2.1%	Compact	+0.0%
		Engine kW	+1.6%	Medium	+2.5%
		Fuel [€ct./km]	-0.2%	Executive	+6.3% ↑
		Tax [€/year]	+2.6%	Minivans	+0.0%
		Diesel share	+10.0% ↑	Maxivans	+0.0%
		Length [m]	+0.2%	Offroad	+4.5% ↑
		CO ₂ [g/km]	+0.1%		
		VMT/car [tkm/a]	+1.6%		

**Simulation:
fuel prices +50%**

cars	share	fleet average	change	segment	change
0	+102.3% ↑	Value [€]	-8.3%	Microcars	+23.9% ↑
1	-9.1%	Age [years]	-5.6%	Small	+14.4% ↑
2	-63.1% ↓	Odometer [tkm]	-5.0%	Compact	-3.2%
		Engine kW	-2.7%	Medium	-9.2%
		Fuel [€ct./km]	+42.7% ↑	Executive	-16.7% ↓
		Tax [€/year]	+5.0%	Minivans	+0.0%
		Diesel share	+35.0% ↑	Maxivans	-7.4%
		Length [m]	-0.7%	Offroad	-18.2% ↓
		CO ₂ [g/km]	-3.5%		
		VMT/car [tkm/a]	-21.8% ↓		

- Fokus: Pkw-Besitz (Anzahl, Modell, Kilometerstand)
- Ungeeigneter Ansatz zur Modellierung des Bestandes: Werte nur gültig, wenn alle Personen im betrachteten Jahr eine Beschaffungsentscheidung treffen und durchführen würden



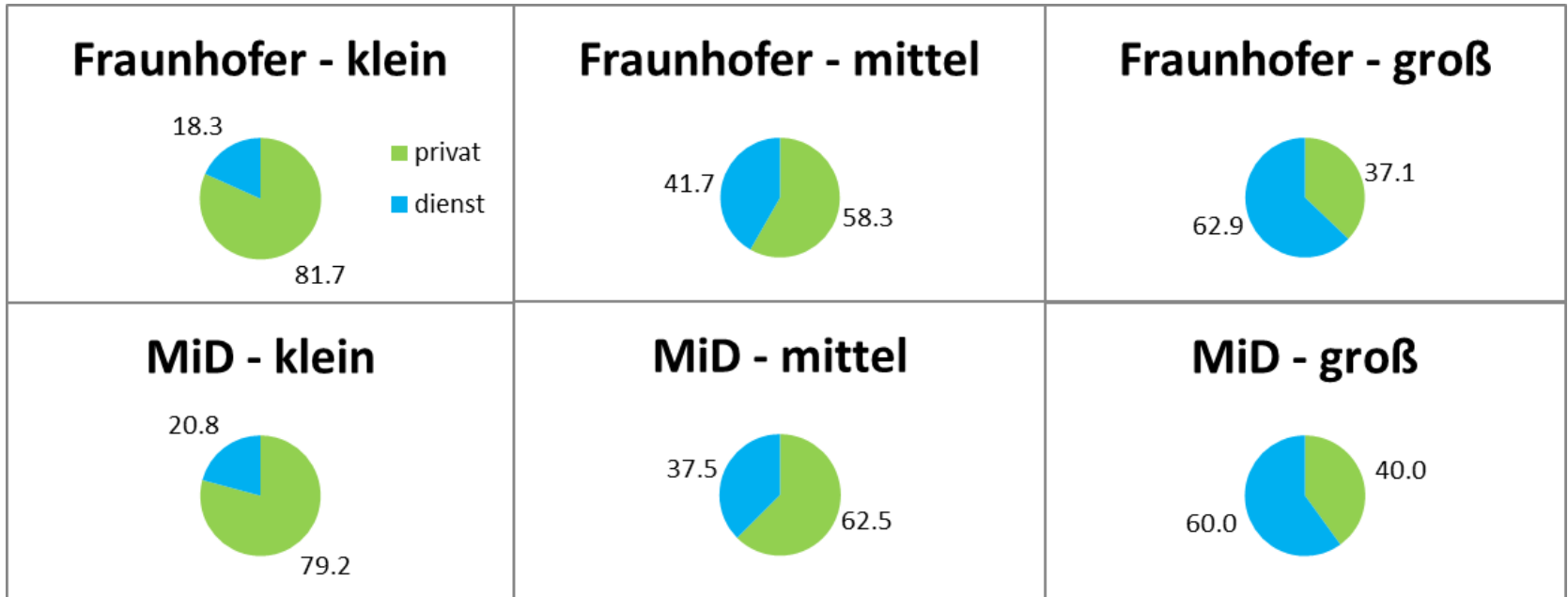
Beschaffungsentscheidungen in 2007: Deskriptive Statistik MiD 2008

JA			Neu	NA	Total
3380			22.190	352	25.922
Neu	Δh	NA			
1450	1.864	65			
P	G	NA	P	G	NA
798	301	351	1280	66	518
			37	7	23
P	G	NA			
2115	374	890			

Quelle: eigene Auswertungen



Halter-/Nutzungstyp Neuzulassungen nach Größenklasse

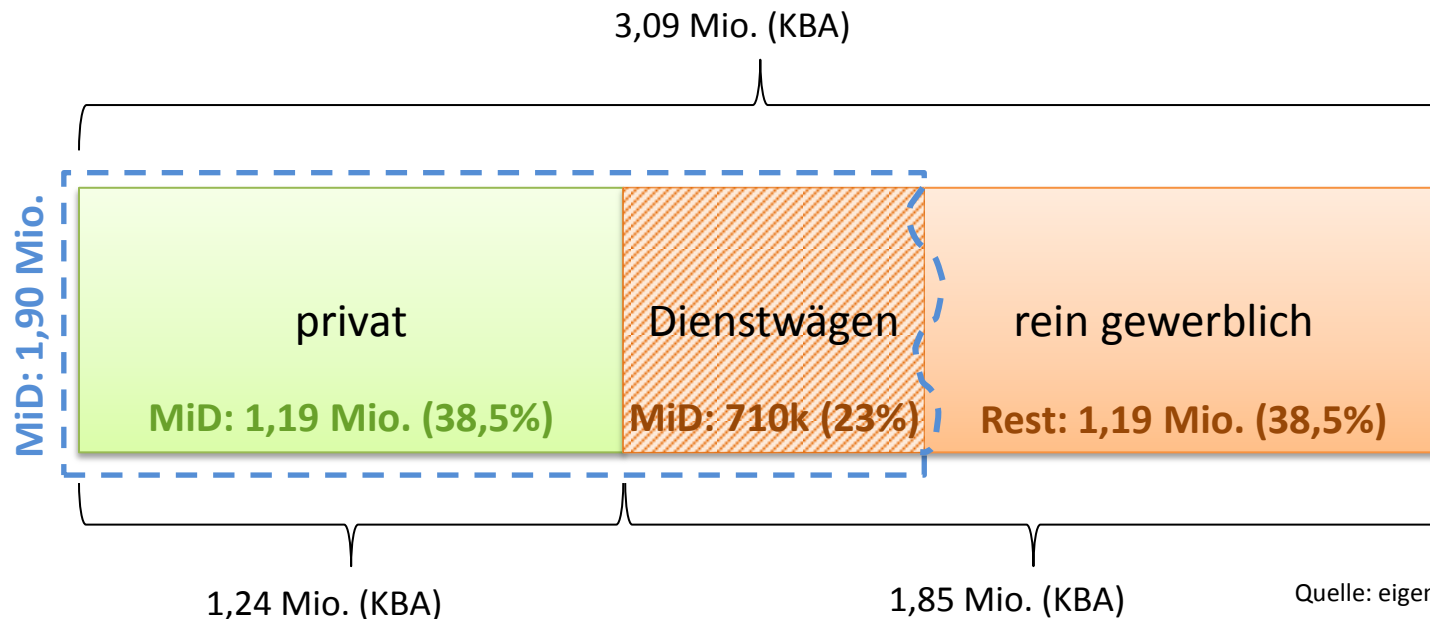


Quelle: eigene Auswertungen

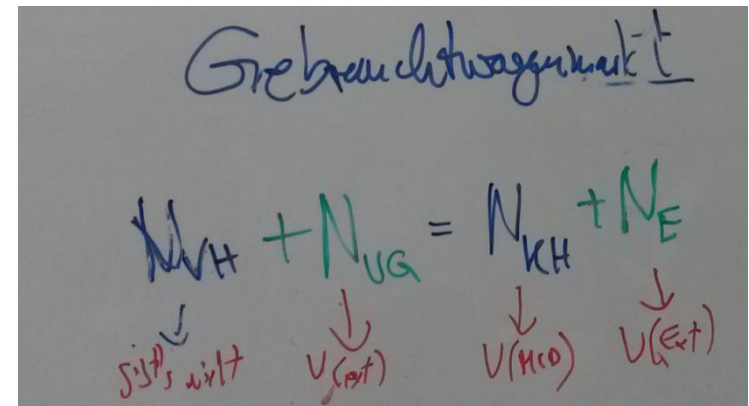
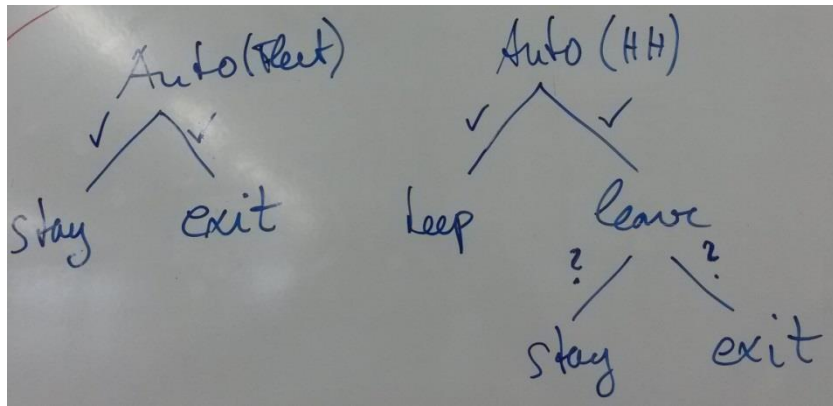


Neuzulassungen: Analyse basierend auf MiD 2008

- VECTOR 21 ging bisher von je 33% Marktanteil aus
- Plötz, Gnann et al. (2013) gehen von 40%, 30%, 30% Marktanteil aus
- Unsere Analysen basierend auf MiD 2008 zeigen **38,5%, 23%, 38,5%**
 - Bias, falls Verteilung der Missings ungleich der Gesamtverteilung
 - Differenzierung nach Größenklasse etc. möglich



Verkauf/Verschrottung (=Haltedauer)



- Besitzzeitverteilung MiD zum Befragungszeitpunkt:
 - 1: 4,51 (4,67) Jahre
 - 2: 2,58 (2,62) Jahre
 - 3: 5,83 (6,07) Jahre
 - Problem: 2008 (und auch 2007) erscheinen unplausibel niedrig, beeinflussen aber Fitting der Funktion erheblich
- Ableitung der Haltedauer nach Redelbach:
 - Unterschiede im Ansatz FK vs VF

