



House of
Energy Markets
& Finance

Preferences for EV charging tariffs: The role of perceived complexity in system-beneficial tariff designs

Marco Sebastian Breder, Florian Boehnke, Christoph Weber
16. Wissenschaftsforum Mobilität
Duisburg, 13.06.2024

UN | IT | E²

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

Projekt UNITE² Reallabor für vernetzte E-Mobilität

1

Motivation

2

Methodik (Discrete Choice Experiment)

3

Methodik (Latentes Konstrukt “empfundene Komplexität”)

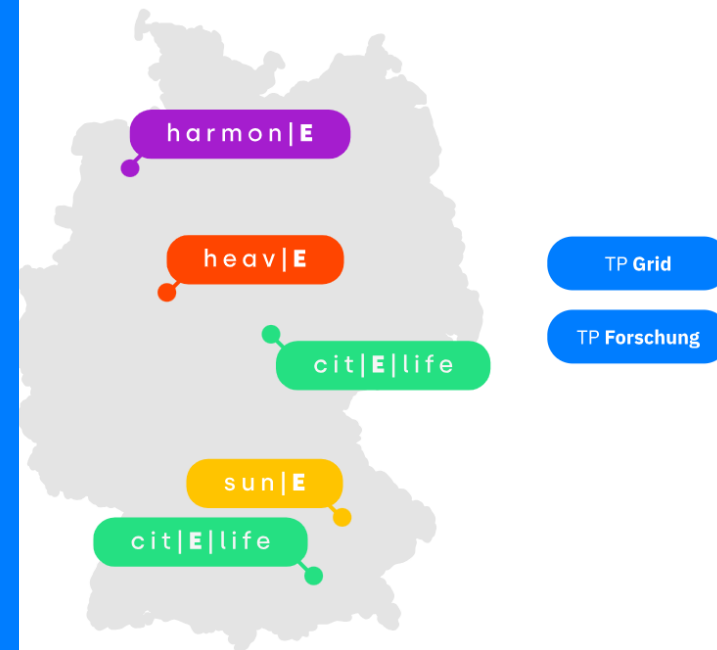
4

Ergebnisse

5

Fazit

6



Aus Sicht des systemoptimierenden Akteurs ist eine hohe Flexibilität wünschenswert – Haushalte weichen von dieser Wunschvorstellung ab

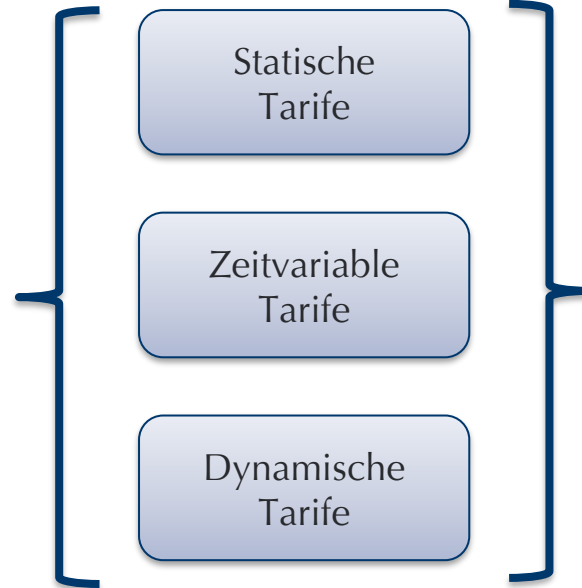
Erwartung:

- Preissignalwirkung
- Aktive Prozesssteuerung
 - Smart Charging

Beobachtung:

- niedrige Akzeptanzraten
- Nutzer (early adopters)
- Bevorzugung smarter Steuerung bei statischen Anwendungen (Komfortgewinn)
- Kognitive Verzerrungen im Entscheidungsfindungsprozess – Rule of Simplicity
- Zufriedenheit, auch wenn Ergebnis wirtschaftlich suboptimal

Nutzen / Mehrwert aus
(Energie-)Systemsicht



Nutzen / Mehrwert aus
Konsumentensicht

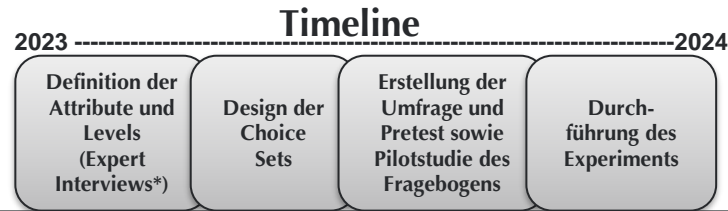


Fragestellungen:

- Nehmen Konsumenten Tarifdesigns als unterschiedlich komplex wahr?
- Hat die empfundene Komplexität Auswirkungen auf die Tarifwahlentscheidung?

Methodik - Discrete Choice Experiment (1/3)

Aufbau des Discrete Choice Experiments – Beispiel Choice Card -



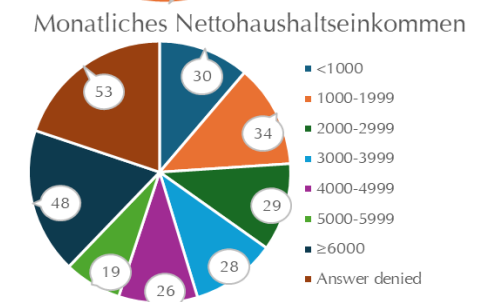
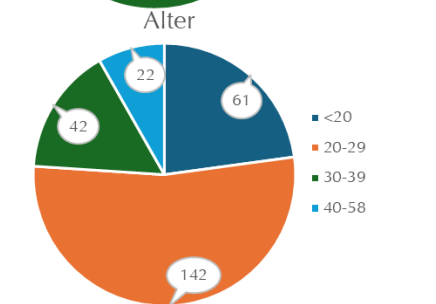
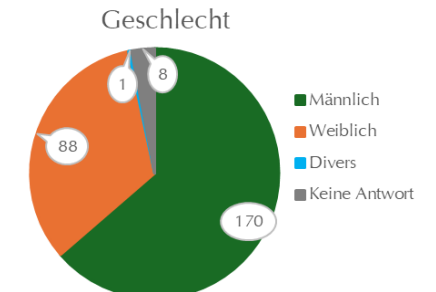
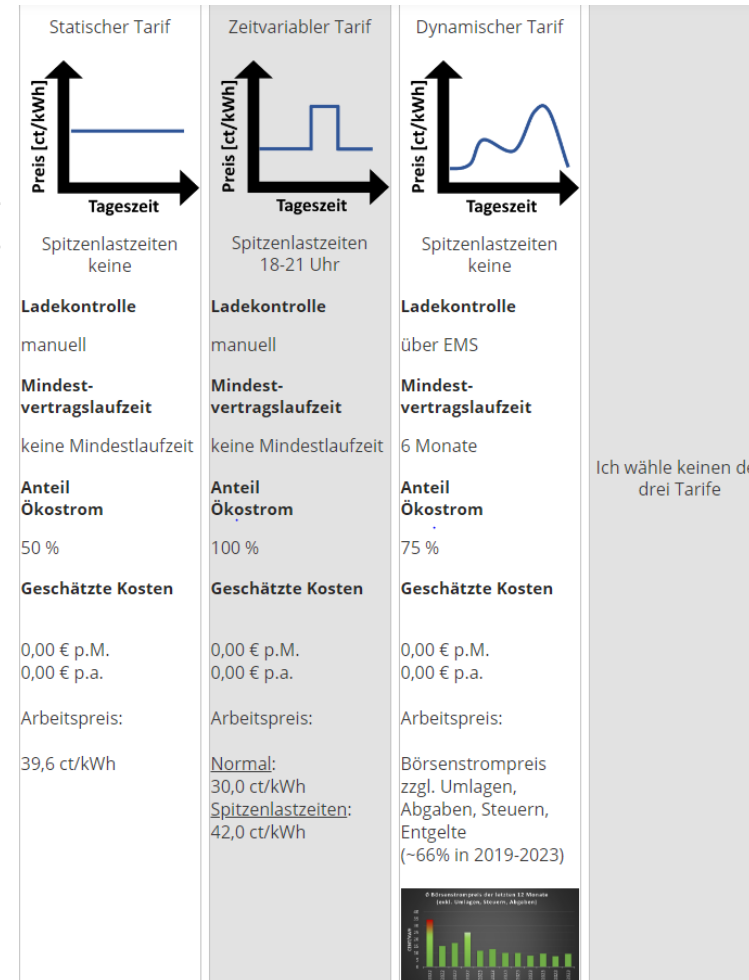
N = 267
Runden = 7
Auswahl = 3 + No Choice

Attribute	Levels ^a	Beschreibung
Bepreisungsmodell	statisch, Zeitvariabel - 2 zones, Zeitvariabel - 3 zones, Dynamisch	Zeit oder Zeitraum und Häufigkeit der Strompreisänderungen.
Ladekontrolle	Manuell, EMS	Beschreibt, ob das Laden des Elektrofahrzeugs manuell oder automatisch durch ein Energiemanagementsystem (EMS) gesteuert wird.
Min. Vertragslaufzeit	Keine, 6 Monate 12 Monate	Beschreibt das früheste Datum, zu dem der Vertrag gekündigt werden kann.
EE-Stromanteil	50 % 75 % 100 %	Beschreibt den Anteil erneuerbarer Energien im gekauften Energiemix.
Erwartete Kosten	- 10% ^b , - 5% ^b , 0% ^b , + 5% ^b , + 10% ^b	Die erwarteten individuellen Kosten als Arbeitspreis €/kWh, monatliche und jährliche Kosten basierend auf der jährlichen Fahrleistung. Arbeitspreis für 0%: 0.36€/kWh

^a Referenz Level: Software legt das letzte Niveau jedes Attributs in der Entwurfsmatrix als das ausgelassene (Referenz-) Niveau fest. Vektor der Nutzenparameter wird so erweitert, dass alle Niveaus eines Attributs einen Nutzenwert haben. Dabei wird sichergestellt, dass die Summe der Nutzen innerhalb jedes Attributs gleich Null ist.

^b Darstellung als absoluter Wert.

* DSOs, OEMs, Universities and Research Institutes



Pkw	Stellplatz	Fahrleistung
J: 172	J: 95	Q1: 8000
Elekt. 42	Wallbox: 34	Q2: 11520
N: 95	N: 143	Q3: 15000
Weiß nicht: 29		

Details CBC/HB Analyse

- Hierarchie = Zwei Ebenen
 - **Höhere Ebene:** Annahme, dass die Teilwerte der Individuen (β) durch eine multivariate Normalverteilung beschrieben werden. Eine solche Verteilung ist durch einen Vektor der Mittelwerte (α) und eine Matrix der Kovarianzen (D) gekennzeichnet.
- $\beta_i \sim \text{Normal}(\alpha, D)$
 - **Untere Ebene:** Annahme, dass bei gegebenen Teilwerten eines Individuums seine Wahrscheinlichkeiten, bestimmte Alternativen zu wählen, durch ein multinomiales Logit-Modell bestimmt sind.
- $p_k = \exp(x_k' \beta_i) / \sum_j \exp(x_j' \beta_i)$
- **Ziel:** Schätzung der Teilwerte für jedes Individuum, die in einem Vektor β enthalten sind, des Mittelwerts für die Population der Individuen, die im Vektor α enthalten ist, und der Varianzen und Kovarianzen für die Population, die in der Matrix D enthalten ist.
- Iterativer Prozess:
 1. Anhand der aktuellen Schätzungen der Betas und D erfolgt eine **neue Schätzung von α** .
 - Annahme, dass a normalverteilt ist, wobei der Mittelwert gleich dem Durchschnitt der Betas und die Kovarianzmatrix gleich D geteilt durch die Anzahl der Befragten ist.
 2. Anhand der aktuellen Schätzungen der Betas und von α wird eine neue Schätzung von D aus der **inversen Wishart-Verteilung** erstellt.
 - Cholesky Decomposition
 3. Anhand der aktuellen Schätzungen von α und D werden neue Schätzungen der Betas unter Verwendung des „**Metropolis-Hastings-Algorithmus**“ zur Ermittlung der Betas erstellt.

Anwendung des Bayes'schen Theorems

- Die Verbindung zwischen den individuellen Präferenzen und der Populationsebene erfolgt durch die gemeinsamen Hyperparameter α und D .
 - 1. Individuelle Ebene (**Likelihood**):
 - Für jede Person i liegen die beobachteten Daten (Wahlentscheidungen), die von ihren individuellen Präferenzen β_i abhängen, vor.
 - Die Wahrscheinlichkeit der Daten W_i gegeben β_i wird genutzt: $P(W_i | \beta_i)$
 - 2. Populationsebene (**Prior**):
 - Die individuellen Präferenzen β_i stammen aus einer gemeinsamen Verteilung mit Hyperparametern α und D .
 - Diese Verteilung bildet den Prior $P(\beta_i | \alpha, D)$
 - 3. Bayes'scher Ansatz (**Posterior-Verteilung**):
 - Anwendung des Bayes'schen Theorems, um die Posterior-Verteilung zu erhalten
 - $P(\beta_i | W_i, \alpha, D) \propto P(W_i | \beta_i) \cdot P(\beta_i | \alpha, D)$
 - 4. Schätzung der Hyperparameter
 - Die Hyperparameter α und D werden ebenfalls aktualisiert, indem die Informationen aus allen individuellen Präferenzen genutzt werden: $P(\alpha, D | \{\beta_i\}) \propto P(\{\beta_i\} | \alpha, D) \cdot P(\alpha, D)$
- Der iterative Prozess der Markov Chain Monte Carlo (MCMC) Methode hilft dabei, diese Schätzungen zu verfeinern und zu konvergieren.

W_i = Wahlentscheidung Person i

Methodik (Latentes Konstrukt “empfundene Komplexität”)

Kennzahlen zum latenten Konstrukt

- Messung latentes Konstrukt “empfundene Komplexität”*
 - 4 Items (7-Punkte Likertskala)
 - Abfrage von 4 vordefinierten Tarifdesigns
 - A statisch
 - B zeitvariabel
 - C dynamisch
 - D dynamisch
- } mit manueller Steuerung
 } mit smarter Steuerung**
- Verwendung als Kovariaten im HB-Modell
 - Aufbereitung der Messungen mithilfe der Hauptkomponentenanalyse (Principal Component Analysis)

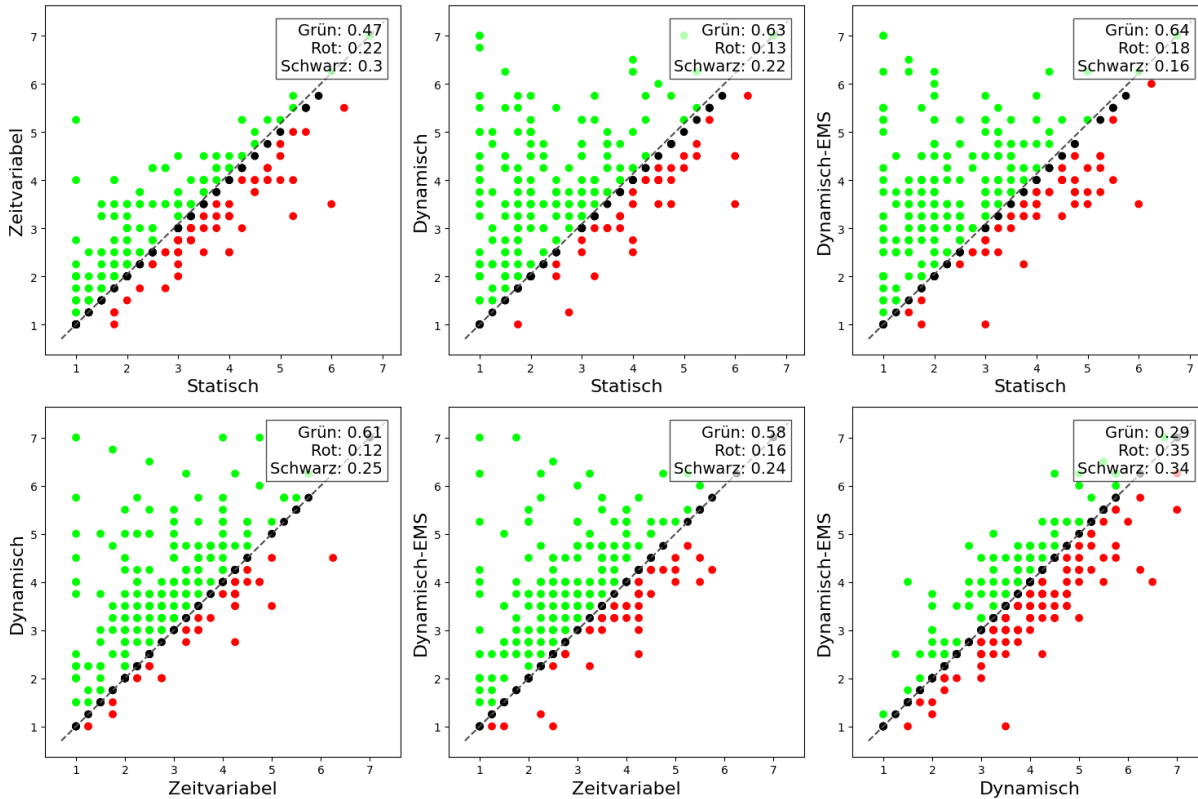
	Alpha	Item-total correlation (Trennschärfe)				CR	AVE	M	SD
Empfundene Komplexität									
statisch	0.83				0.82	0.55	2.72	1.31	
zeitvariabel	0.81				0.75	0.44	2.92	1.21	
dynamisch	0.83				0.75	0.45	3.63	1.31	
dynamisch-EMS	0.82				0.72	0.41	3.59	1.27	
		statisch	zeit-variabel	dynamisch	dynamisch-EMS				
Ich hatte Schwierigkeiten, den Überblick bei diesen Tarifen zu behalten.	0.72	0.7	0.73	0.69					
Es hat viel Zeit gekostet, solche Tarife zu bewerten und eine Entscheidung zu treffen.	0.69	0.68	0.74	0.76					
Es war einfach, mit diesen Tarifen klarzukommen.	0.55	0.45	0.5	0.45					
Diese Tarife erscheinen mir sehr kompliziert.	0.69	0.71	0.68	0.67					

Alpha = Cronbach's Alpha; CR = Composite Reliability;
 AVE = average variance extracted; M = mean; SD = standard deviation

* Heitmann et al. 2007; Homburg et al. 2014; Layer et al. 2017

**Annahme, dass die Kontrolle über den Ladeprozess geringfügig beeinflusst

Tarifdesigns unterschiedlich komplex wahrgenommen – ANOVA weist signifikant höhere Komplexitätswahrnehmung für dynamische Tarife auf



Zweidimensionale Vergleichsanalyse der individuell wahrgenommenen Komplexität von Tarifmodellen

Paarweise Vergleiche

Maß: MASS_1

(I) perceived_complexity	(J) perceived_complexity	Mittelwertdifferenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig. ^b	95% Konfidenzintervall für Differenz ^b	
					Untergrenze	Obergrenze
statisch	zeitvariabel	-,206*	,044	<,001	-,324	-,088
	dynamisch	-,913*	,083	<,001	-1,134	-,692
	dynamisch-EMS	-,871*	,084	<,001	-1,094	-,648
zeitvariabel	statisch	,206*	,044	<,001	,088	,324
	dynamisch	-,707*	,066	<,001	-,883	-,531
	dynamisch-EMS	-,665*	,069	<,001	-,848	-,481
dynamisch	statisch	,913*	,083	<,001	,692	1,134
	zeitvariabel	,707*	,066	<,001	,531	,883
	dynamisch-EMS	,042	,041	1,000	-,067	,151
dynamisch-EMS	statisch	,871*	,084	<,001	,648	1,094
	zeitvariabel	,665*	,069	<,001	,481	,848
	dynamisch	-,042	,041	1,000	-,151	,067

Basiert auf geschätzten Randmitteln

*. Die Mittelwertdifferenz ist in Stufe ,05 signifikant.

b. Anpassung für Mehrfachvergleiche: Bonferroni.

Eine Varianzanalyse mit wiederholten Messungen und Greenhouse-Geisser-Korrektur ergab, dass die mittleren Leistungsniveaus einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Messungen aufwiesen, $F(1.67, 444.88) = 96.43, p < .001$, partielle $\eta^2 = .27$.

Die Bonferroni-angepasste Post-hoc-Analyse zeigte **signifikant ($p < .001$) höhere wahrgenommene Komplexitätswerte für dynamische als für zeitvariable (MDiff = .71, 95%-KI[.53, .88]) und statische Tarife (MDiff = .91, 95%-KI[.69, 1.13]), in dieser Reihenfolge.**

Da wir keinen signifikanten Unterschied zwischen Design 3 und 4 erwarten, bestätigt die ANOVA dies mit geringfügigen, nicht signifikanten Unterschieden.

Principal-Component Analyse aggregiert die Daten zu 2 Faktoren: Dynamische (komplexere) und quasi-statische (einfache) Tarifstrukturen

Rotierte Komponentenmatrix^a

	Komponente	
	dynamisch	(Teil-)statisch
dynamisch-EMS Item2	,858	
dynamisch Item4	,844	
dynamisch Item2	,828	
dynamisch-EMS Item4	,798	
dynamisch Item1	,776	
dynamisch-EMS Item1	,775	,340
dynamisch-EMS Item3	,530	
dynamisch Item3	,515	,300
statisch Item1		,815
statisch Item3		,773
statisch Item2		,767
zeitvariabel Item1	,399	,726
statisch Item4		,724
zeitvariabel Item3		,697
zeitvariabel Item4	,441	,664
zeitvariabel Item2	,489	,631

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.
Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung.^a

a. Die Rotation ist in 3 Iterationen konvergiert.

- Durchführung der Hauptkomponentenanalyse (PCA), um die multidimensionale Natur unserer Daten zu reduzieren, potenzielle Redundanzen in den Daten zu identifizieren und die Schlüsselfaktoren zu extrahieren, die am meisten zur Variation der Daten beitragen.
- Kaiser-Meyer-Olkin-Maß (Stichprobenadäquanz) = .884
- Bartlett-Test (Sphärizität) ist signifikant ($p < .001$)
- Korrelationen zwischen den Items sind ausreichend groß, um eine PCA durchzuführen.
- Es wurden nur Faktoren mit Eigenwerten ≥ 1 berücksichtigt (Guttman, 1954; Kaiser, 1960).
- Die Untersuchung der Kaiser-Kriterien und des Scree-Plots ergab eine empirische Rechtfertigung für die Beibehaltung von zwei Faktoren mit Eigenwerten über 1, die 62,12 % der Gesamtvarianz erklärten.

Ergebnisse (3/4)

HB (mit Kovariate) zeigt signifikante Veränderungen der Präferenzen für dynamische und EMS-basierte Tarife, wenn Differenz der Komplexität steigt

Label	α		t Delta-complex vs. simple	
	Mean Parth-worth Utility	SD	Mean Parth-worth Utility	SD
Bepreisungsmodell				
statisch	-0.09	0.15	0.01	0.11
zeitvariabel 2 Zonen	-0.08	0.13	0.24 ***	0.1
zeitvariabel 3 Zonen	-0.21 **	0.12	0.22 ***	0.09
dynamisch	0.39 ***	0.13	-0.47 ***	0.1
Ladekontrolle				
manuell	-0.18 **	0.09	0.14 **	0.07
EMS	0.18 **	0.09	-0.14 **	0.07
Min. Vertragslaufzeit				
Keine	0.3 ***	0.1	0.11 *	0.07
6 Monate	-0.12	0.1	0.03	0.07
12 Monate	-0.18 **	0.1	-0.14 **	0.07
EE-Stromanteil				
50 %	-0.69 ***	0.13	-0.08	0.09
75 %	-0.04	0.1	-0.01	0.07
100 %	0.73 ***	0.12	0.09	0.09
Erwartete Kosten	-14.64 ***	1.38	-2.31 ***	0.95
None Alternative	-2.39 ***	0.35	-0.39 **	0.21

Notes: N = 267; SD – standard deviation; part-worths can only be interpreted in relation to other part-worths for the same attribute.

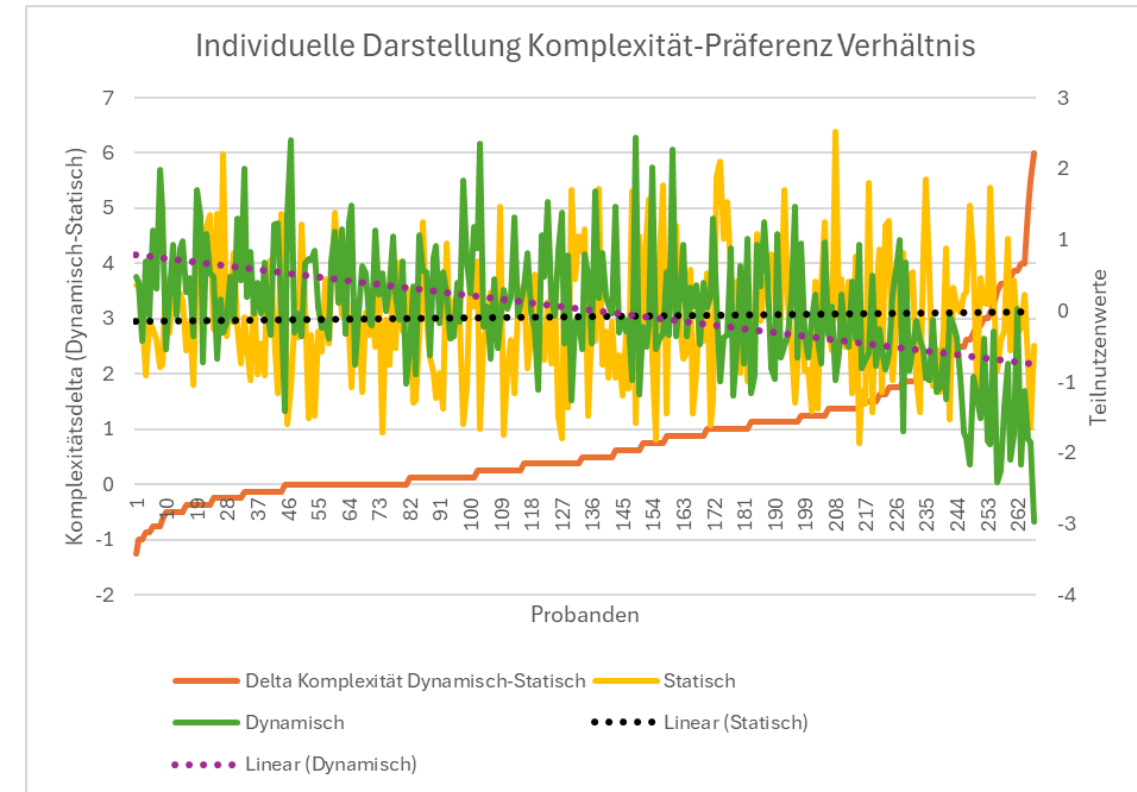
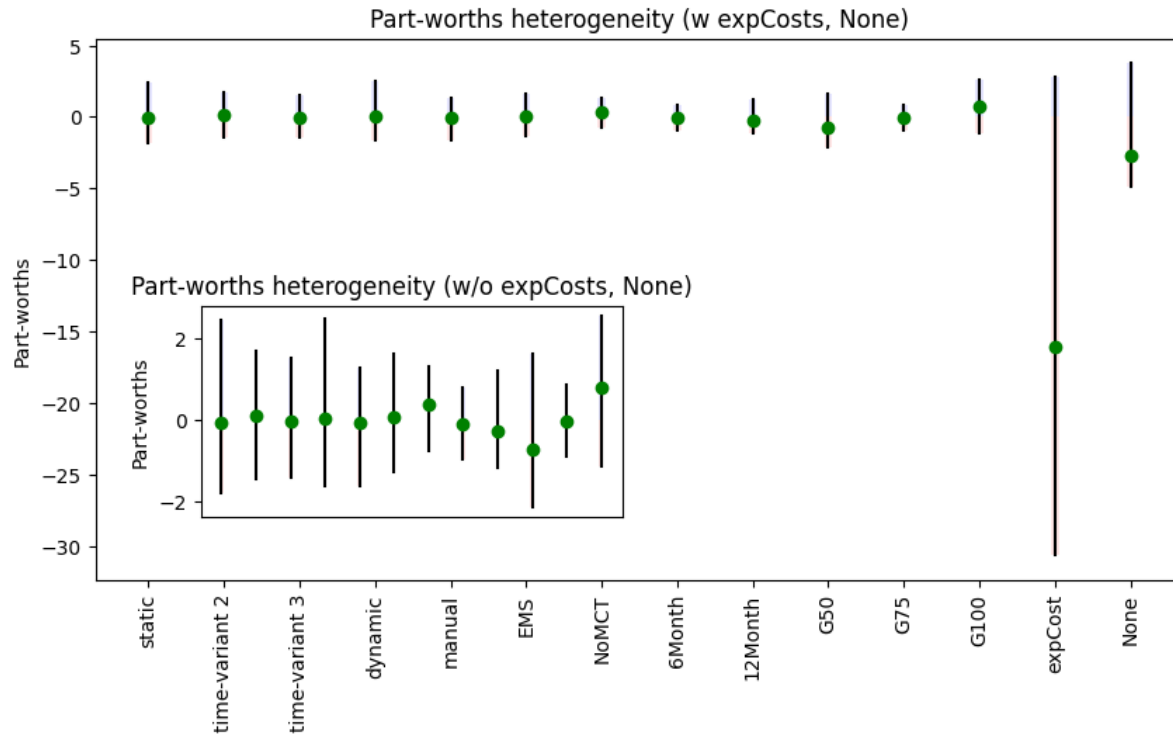
Note: Values with **denote that the posterior probability that the parameter is greater than zero is greater than 95% or less than 5% (>99% or <1% is denoted with ***).

Attribute	Importance	SD
Bepreisungsmodell	20.8027	11.69668
Ladekontrolle	12.18743	9.04544
Min. Vertragslaufzeit	11.07815	5.993
EE-Stromanteil	20.37112	11.92691
Erwartete Kosten	35.56061	14.59116

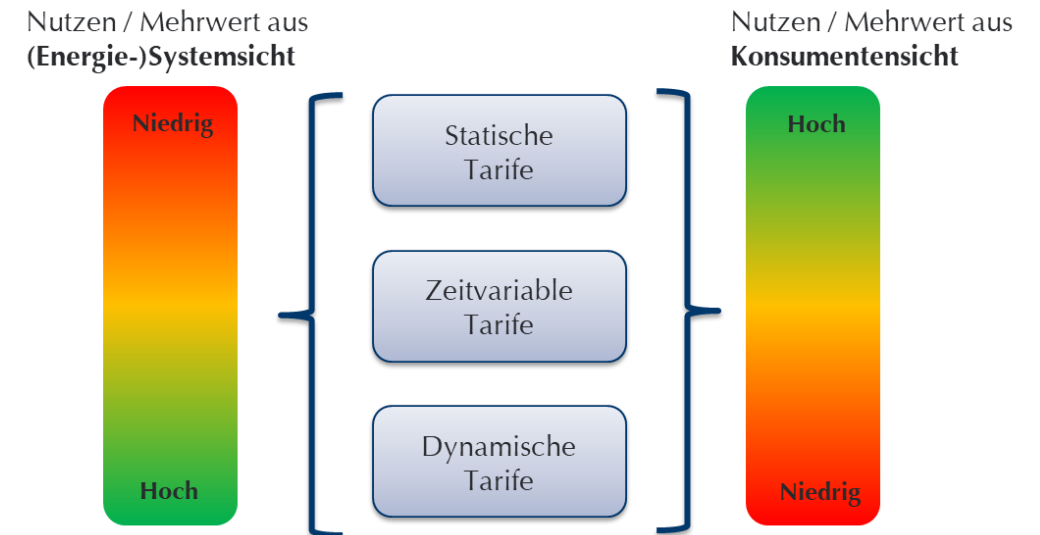
Note: N = 267; SD – standard deviation.

Ergebnis (4/4)

Hohe Heterogenität der Probanden, negative Tendenz bei Komplexität-Präferenz Verhältnis für dynamische Tarife mit steigender Komplexität



- Durchführung eines Discrete Choice Experiments und Erhebung der wahrgenommenen Komplexität im Zusammenhang mit E-Ladetarifen.
 - Konsumenten weisen signifikant unterschiedliche Komplexitätsempfinden zwischen statischen und dynamischen Tarifdesigns auf.
 - Die unterschiedlich empfundene Komplexität zeigt signifikante Auswirkungen auf die Tarifwahlentscheidung,
 - Steigerung des Komplexitätsdeltas führt zu geringerer Präferenz für dynamische Tarife.
- Wie können diese Erkenntnisse zur Förderung einer systemdienlichen Nutzung verwendet werden?



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Marco Sebastian Breder, M.Sc.

Team „Energimärkte und Energiepolitik“

House of Energy Markets and Finance

University of Duisburg-Essen

R11 T07 C02 | Universitätsstraße 12 | 45141 Essen | Germany

Tel. +49 201/18-36459 | Fax +49 201/18-32703

Email: Marco.Breder@uni-due.de

www.evl.wiwi.uni-due.de