

# **Einfluss von Anreizsystemen zur Förderung alternativer Antriebe auf Kaufentscheidungen und Verkehrsverhalten**

Dem Promotionsausschuss der  
Technischen Universität Hamburg-Harburg  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation  
von

Christian Rudolph

aus  
Mannheim

2014

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Carsten Gertz

Gutachter

Prof. Dr.-Ing. Carsten Gertz  
Institut für Verkehrsplanung und Logistik  
Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH)

Prof. Dr.-Ing. Christine Ahrend  
Institut für Land- und Seeverkehr (ILS), Fachgebiet Integrierte Verkehrsplanung  
Technische Universität Berlin

Tag der mündlichen Prüfung: 16. Februar 2015

Christian Rudolph  
»Einfluss von Anreizsystemen zur Förderung alternativer Antriebe  
auf Kaufentscheidungen und Verkehrsverhalten«  
© 2015 der vorliegenden Ausgabe:  
Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG Münster  
[www.mv-wissenschaft.com](http://www.mv-wissenschaft.com)  
© 2015 Institut für Verkehrsplanung und Logistik  
Alle Rechte vorbehalten  
Satz: Institut für Verkehrsplanung und Logistik  
Umschlag: Institut für Verkehrsplanung und Logistik  
Druck und Bindung: MV-Verlag

ISBN 978-3-95645-662-6

Online Veröffentlichung durch TUBdok der TUHH:  
urn:nbn:de:gbv:830-88213500

Einfluss von Anreizsystemen zur Förderung alternativer Antriebe  
auf Kaufentscheidungen und Verkehrsverhalten

Band 14

Harburger Berichte zur Verkehrsplanung und Logistik

Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Logistik

Technische Universität Hamburg-Harburg

herausgegeben von

Heike Flämig und Carsten Gertz



## Danksagung

Die vorliegende Doktorarbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Verkehrsplanung und Logistik der TU Hamburg-Harburg.

Auf dem Weg von der ersten Idee bis zur Beendigung der letzten Seite standen mir mehrere Personen hilfreich zu Seite, denen ich hiermit herzlich danken möchte:

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Professor Carsten Gertz, der mich stets ergebnisoffen und mit viel Weitsicht durch die verschiedenen Phasen dieser Arbeit begleitet hat. Für die Übernahme des Zweitgutachtens möchte ich mich bei Professorin Christine Ahrend (TU Berlin) herzlich bedanken.

Ebenso möchte ich mich bei meinen lieben Kollegen am Institut bedanken, die stets mit intensiven Diskussionen und konstruktiver Kritik zum Erfolg der Arbeit beigetragen haben. Besonders möchte ich hier Max Bohnet danken, der gerade in der Endphase der Arbeit mit wertvollen Anregungen großartigen Beistand geleistet hat und Nadia Nabaoui-Engelhard, die mit unendlicher Geduld mein Manuskript in diese Buch überführt hat.

Ganz besonders möchte ich meiner Partnerin Inga Schlichting danken, die während der gesamten Zeit nicht müde wurde, mit vielen tollen Ideen, Denkanstößen und wertvollen Diskussionen die Fragestellung dieser Arbeit zu strukturieren. Danke Inga.



## Vorwort

Der überwiegende Teil der Verkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr wird durch Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotor erbracht. Aufgrund der CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Endlichkeit der Ressource Öl werden seit einigen Jahren erhebliche Anstrengungen unternommen, um alternative Antriebsarten zu entwickeln und einzuführen. Damit verbunden sind ehrgeizige Zielvorgaben der Politik, insbesondere zur Einführung von Elektrofahrzeugen. Dadurch ergibt sich eine Transformationsphase, in der den Neuwagenkäufern eine große Rolle zukommt, zumal es in der Nutzung zwischen herkömmlichen Fahrzeugen und Elektroautos erhebliche funktionale Unterschiede gibt und die neue Technologie am Anfang deutlich teurer ist. Vor diesem Hintergrund gibt es zunehmend Bestrebungen, die Einführung von alternativen Antrieben durch zusätzliche Anreize zu fördern. Zwar gibt es eine Reihe von Abschätzungen über die Ausbreitung von Elektrofahrzeugen. Weitgehend unbeantwortet ist jedoch die Frage, welche gezielten Maßnahmen auf Kaufentscheidungen wirken und welcher Zusammenhang mit dem individuellen Verkehrsverhalten vorhanden ist. Die Untersuchung von Christian Rudolph zielt somit auf eine bedeutsame Forschungslücke.

Besonders interessant ist in der Empirie der Arbeit, dass sich bei Käuferzuschüssen insbesondere auch ÖV affine Personen für emissionsfreie Fahrzeuge entscheiden würden. Dies führt zu der wichtigen Schlussfolgerung, dass ungesteuerte Käuferzuschüsse die ökologische Zielsetzung eines möglichst hohen Austausches der konventionellen Fahrzeugflotte nicht erreichen würden. Herr Rudolph leitet daraus eine Priorisierung der Anreizsysteme ab und gibt damit Hinweise, die für die aktuelle Entscheidungsfindung in Politik und Planungspraxis höchst relevant sind.

Hamburg, im November 2015

Carsten Gertz



---

## Kurzfassung

Vor dem Hintergrund einer schleppenden Marktdurchdringung von Fahrzeugen mit alternativer Antriebstechnologie werden in der vorliegenden Arbeit Instrumente zur Einflussnahme auf die Kaufentscheidung von Pkw mit alternativem Antrieb bei Konsumenten anhand eines Kaufentscheidungsmodells untersucht. Die Integration von personen- und verkehrsverhalten-spezifischen Personenmerkmalen in dieses Kaufentscheidungsmodell lässt Aussagen hinsichtlich der Käuferschaft und deren Präferenzen bezüglich alternativer Antriebstechnologien zu. Die Modellergebnisse zeigen, dass ÖPNV-Nutzer und Personen, für die grundsätzlich alle Verkehrsmittel in Frage kommen (sog. Multimodale), eine sehr viel größere Wahrscheinlichkeit aufweisen, sich bei einer Neuanschaffung für ein alternativ betriebenes Fahrzeug zu entscheiden als Personen mit eigenem konventionellem Pkw. Ferner zeigt sich, dass staatliche Anreizsysteme je nach Personengruppe sehr unterschiedlichen Einfluss auf die Kaufentscheidung hinsichtlich der Antriebstechnologie haben können. Auch hier werden vor allem wieder ÖPNV-Nutzer und Multimodale am stärksten beeinflusst.

Die Ergebnisse dieser Arbeit basieren auf einer Stated-Preference-Befragung mit 875 Konsumenten. Die Datensätze, die insgesamt 28.000 Beobachtungen aus 7.000 Auswahl-situationen umfassen, bilden die Basis für ein Discrete-Choice-Modell zur Modellierung der Kaufentscheidungen. Als ökonometrisches Wahlmodell dient das Mixed-Logit-Modell, das zum einen die Präferenzen hinsichtlich der gewählten Antriebstechnologien offen legt, als auch mittels Integration von Personenmerkmalen und Verkehrsverhalten zeigt, welche Personen durch staatliche Anreizsysteme zur Förderung von alternativen Antrieben vorrangig erreicht werden. Die untersuchten Anreizsysteme und Fahrzeugattribute wurden anhand einer detaillierten Literaturrecherche identifiziert und mittels Experteninterviews mit Vertretern des Automobil- und Energiesektors sowie Stadtplanungs- und Verkehrsämtern validiert.

Anhand der Modellergebnisse konnten Handlungsempfehlungen für Politik und Wirtschaft abgeleitet werden. Diese umfassen neben der Priorisierung der untersuchten Anreizsysteme u. a. die Entwicklung eines gesamtstrategischen Anreizsystems zur Förderung von Null-Emissions-Fahrzeugen, die Entwicklung von multimodalitätsfördernden Autostromtarifen sowie die Berücksichtigung von flankierenden Maßnahmen bei der Vergabe von Zuschüssen oder anderen Anreizen.

Neben dem Beitrag zur politischen Debatte um die Förderung von alternativen Antriebstechnologien in Deutschland, zeigt die vorliegende Arbeit erstmals auf,

wie das Verkehrsverhalten der Konsumenten in ökonometrische Regressionsmodelle integriert werden und welche Auswirkungen eine ungezielte Förderung von alternativen Antriebstechnologien verursachen kann.

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungen .....	13
Tabellen .....	14
Abkürzungen .....	16
<b>1 THEMATICHE EINFÜHRUNG .....</b>	<b>19</b>
1.1 Einleitung .....	19
1.2 Ziel der Arbeit .....	23
1.3 Aufbau der Arbeit .....	24
<b>2 THEORETISCHER RAHMEN .....</b>	<b>27</b>
2.1 Alternative Antriebstechnologien .....	28
2.1.1 Technologische Aspekte alternativer Antriebskonzepte	29
2.1.2 Energiespeichersysteme	33
2.1.3 Vorteile und Grenzen alternativer Antriebstechnologien	39
2.1.4 Abgrenzung der Antriebstechnologien für diese Arbeit	44
2.1.5 Aktuelle Marktdurchdringung von Zero Emission Vehicles	46
2.1.6 Bestehende Marktdurchdringungsszenarien für ZEV	48
2.1.7 Staatliche Förderung alternativer Antriebstechnologien	49
2.1.8 Zusammenfassung	51
2.2 Einfluss Faktoren auf die Pkw-Kaufentscheidung unter Berücksichtigung von alternativen Antriebstechnologien .....	54
2.2.1 Der Kaufentscheidungsprozess unter Berücksichtigung alternativer Antriebe	54
2.2.2 Hypothesenbildung	65
2.2.3 Zusammenfassung	70
2.3 Discrete-Choice-Experiment .....	71
2.3.1 Übersicht der Erhebungsmethoden zur Präferenzmessung	72
2.3.2 Choice-Based Conjoint-Analyse	79
2.3.3 Auswahl der geeigneten Erhebungsmethode	80
2.3.4 Zusammenfassung	90
2.4 Discrete-Choice-Analyse .....	91
2.4.1 Logistische Regressionsverfahren	94
2.4.2 Mixed-Logit-Modelle	105
2.4.3 Auswahl des Wahlmodells	106
2.5 Zusammenfassung .....	111
<b>3 EMPIRISCHER TEIL .....</b>	<b>113</b>
3.1 Auswahl der Anreizsysteme für die Conjoint-Analyse .....	113
3.1.1 Conjoint-Analysen zu Konsumentenpräferenzen bei ZEV	114

3.1.2	Validierung anhand von Experteninterviews	119
3.1.3	Übersicht der Merkmalsausprägungen	132
3.1.4	Restriktionen der Conjoint-Analyse	133
3.1.5	Zusammenfassung	134
3.2	Datenerhebung .....	135
3.2.1	Räumlicher Bezug	136
3.2.2	Web-basierte Erhebung	138
3.2.3	Aufbau des Fragebogens	139
3.2.4	Sample-Beschreibung	146
3.2.5	Offene Fragen	162
3.2.6	Verkehrsverhalten der Antwortpersonen	163
3.2.7	Zusammenfassung	167
3.3	Modellschätzungen .....	169
3.3.1	Alternativen-spezifisches Modell	171
3.3.2	Personenspezifisches Modell	180
3.3.3	Verkehrsverhalten-spezifisches Modell	185
3.3.4	Hypothesenprüfung	190
3.3.5	Zusammenfassung	193
<b>4</b>	<b>HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN UND WISSENSCHAFTLICHER BEITRAG.....</b>	<b>195</b>
4.1	Handlungsempfehlungen an Politik und Wirtschaft.....	195
4.2	Übertragbarkeit der Ergebnisse .....	201
4.3	Beitrag der Arbeit.....	203
4.3.1	Beitrag zur politischen und wissenschaftlichen Debatte zur Förderung der Elektromobilität und alternativer Antriebstechnologien	204
4.3.2	Handlungsempfehlungen für den zielgerichteten Miteinsatz bei Fördermaßnahmen zur Förderung von alternativen Antrieben	205
4.3.3	Erfassung des hypothetischen Kaufverhaltens einer re- präsentativen Stichprobe der Metropolregion Hamburg bezüglich alternativer Antriebstechnologien	207
4.3.4	Beitrag zu Modellbildung und Analysemöglichkeiten von Discrete-Choice-Experimenten	207
4.4	Kritische Reflexion und Grenzen der Arbeit .....	209
4.5	Zusammenfassung und Ansätze für Anschlussforschung.....	212
4.5.1	Zusammenfassung	212
4.5.2	Ansätze für Anschlussforschung	218
4.5.3	Ausblick	222
	Literaturverzeichnis.....	226
	Anhang.....	263

---

## Abbildungen

Abbildung 1:	Aufbau der Arbeit	26
Abbildung 2:	Reisedistanzen in Abhängigkeit von der Antriebstechnologie	43
Abbildung 3:	Motivhierarchie nach Maslow	57
Abbildung 4:	Schematische Darstellung des Kaufentscheidungsprozesses eines Konsumenten	59
Abbildung 5:	Schematische Darstellung der Einflussfaktoren auf den Pkw-Kaufentscheidungsprozess	60
Abbildung 6:	Kaufentscheidungsrelevante Kriterien (ohne besondere Berücksichtigung von ZEV)	63
Abbildung 7:	Logistische Funktion	95
Abbildung 8:	Verkehrsmittelwahlmodell mit MNL-Ansatz (schematisch)	103
Abbildung 9:	Verkehrsmittelwahlmodell mit NL-Ansatz (schematisch)	103
Abbildung 10:	Verkehrsmittelwahlmodell mit mehrstufigem NL-Ansatz	104
Abbildung 11:	Restriktionen (prohibitions) beim Erstellen des orthogonalen Designs	133
Abbildung 12:	Abgrenzung des Erhebungsbereichs	137
Abbildung 13:	Aufbau der Erhebung	140
Abbildung 14:	Beispiel für ein Choice Set, (Eingabewert: 15.000 - 20.000 km Fahrleistung/ Jahr)	142
Abbildung 15:	Auswahlliste der präferierten Fahrzeugtypen	157
Abbildung 16:	Häufigkeitsverteilung der Codes	162
Abbildung 17:	Beispielhafte Darstellung der ML-Schätzung und der CL-Punkt-Schätzung	176
Abbildung 18:	Berichtete Zeit- und Entfernungsangaben	273
Abbildung 19:	Einleitende Erläuterung zu den Antriebstechnologien	275
Abbildung 20:	Zuordnung der Postleitzahlen zu den Raumtypen	276

## Tabellen

Tabelle 1:	Übersicht der Fahrzeugkonzepte	38
Tabelle 2:	Entscheidungsrelevante Kriterien für den Kauf von ZEV	65
Tabelle 3:	Vorteile und Grenzen der Conjoint-Analyse*	77
Tabelle 4:	Vor- und Nachteile der Choice-Based Conjoint-Analyse	80
Tabelle 5:	Ablauf einer Conjoint-Analyse	85
Tabelle 6:	Interpretation der Regressionskoeffizienten ( $\beta_i$ ) auf die Wahrscheinlichkeit $p(y=1)$	98
Tabelle 7:	Im Experiment verwendete Elemente und deren Ausprägungen	132
Tabelle 8:	Häufigkeit der gewählten Antriebstechnologien	147
Tabelle 9:	Haushaltsnettoeinkommen aller Befragten im Vergleich mit den None-Wählern	148
Tabelle 10:	Häufigkeitsverteilung der Ausprägung „Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur“	149
Tabelle 11:	Häufigkeitsverteilung der Eigenschaftsausprägungen „Käuferzuschuss“	150
Tabelle 12:	Beschreibung der soziodemographischen und -ökonomischen Personenmerkmale	151
Tabelle 13:	Pkw- u. Führerscheinbesitz, Pkw-Verfügbarkeit und ÖPNV-Zeitkartenbesitz	152
Tabelle 14:	Gründe der Teilnehmer ohne Auto für den Fahrzeugverzicht	153
Tabelle 15:	Räumliche Verteilung der Antwortpersonen	154
Tabelle 16:	Wahl der zwei wichtigsten Probleme unserer Gesellschaft (N=1.001)	155
Tabelle 17:	Erfahrungen mit ZEV	156
Tabelle 18:	Kaufintension von ZEV	156
Tabelle 19:	Erfahrungen mit Elektro-Rädern	156
Tabelle 20:	Kaufintension zu Elektro-Rädern	157
Tabelle 21:	Verteilung der Fahrzeugtypen	158
Tabelle 22:	Verteilung der Fahrzeugklassenwechsler	159
Tabelle 23:	Ausgabebereitschaft beim Pkw-Neukauf	160
Tabelle 24:	Kreuztabelle Kenntnisstand (Beginn)/ Interesse zu Elektromobilität (Ende)	161
Tabelle 25:	Ergebnisse zur Carsharing-Nutzung (N=1.001)	161
Tabelle 26:	Verkehrsmittelnutzung werktags (am Wochenende)	163
Tabelle 27:	Anzahl Fernreisen und gewähltes Verkehrsmittel	164
Tabelle 28:	Verkehrsmittelnutzung Aktivität Arbeit nach Raumtyp	165
Tabelle 29:	Verkehrsmittelnutzung Aktivität Einkauf nach Raumtyp	165
Tabelle 30:	Verkehrsmittelnutzung Aktivität Freizeit nach Raumtyp	165
Tabelle 31:	Einstellung Ersatz des Pkw durch EV auf Arbeitswegen nach Raumtyp	166
Tabelle 32:	Einschätzung des möglichen Ersatzes des HVM durch EV	167
Tabelle 33:	Übersicht der alternativen-spezifischen Variablenbezeichnungen	170
Tabelle 34:	Alternativen-spezifisches CL-Modell (CL-1a)	171
Tabelle 35:	Alternativen-spezifisches ML-Modell mit 1.000 Wdh. (ML-1c)	174
Tabelle 36:	Referenzgrößen der alternativen-spezifischen Merkmale	177
Tabelle 37:	Auswahlwahrscheinlichkeiten aufgrund der Einführung von Anreizsystemen (ML-1c)	178
Tabelle 38:	Pro-Kopf-Einkommen des Samples	181

Tabelle 39:	Übersicht der personenspezifischen Merkmalsausprägungen je Personengruppe	183
Tabelle 40:	Übersicht der Veränderung von PZEV aufgrund verschiedener Anreize (ML-2)	184
Tabelle 41:	Übersicht der vier verkehrsverhalten-homogenen Personengruppen	187
Tabelle 42:	Übersicht der Veränderung von PZEV je nach Anreizsystem (ML-3)	189
Tabelle 43:	Literaturanalyse zu Conjoint-Analysen zu alternativen Antriebstechnologien	266
Tabelle 44:	CL-Modell (CL-1a) mit BEV, PHEV und FCEV	277
Tabelle 45:	CL-Modell (CL-1b) mit Sammelvariable altern	277
Tabelle 46:	Alternativen-spezifisches ML-Modell (ML-1a)	278
Tabelle 47:	Alternativen-spezifisches ML-Modell (ML-1b)	279
Tabelle 48:	Alternativen-spezifisches ML-Modell (ML-1d)	280
Tabelle 49:	Übersicht der personenspezifischen Interaktionsvariablen	281
Tabelle 50:	Modellergebnis ML-2-Modell (1.000 Wdh.)	282
Tabelle 51:	Auswahlwahrscheinlichkeit $P_{ij}$ für Antriebstechnologien nach Personen- gruppe (ML-2)	284
Tabelle 52:	Veränderung $P_{ij}$ unter Anreiz 1a (ML-2)	284
Tabelle 53:	Veränderung $P_{ij}$ unter Anreiz 1b (ML-2)	284
Tabelle 54:	Veränderung $P_{ij}$ unter Anreiz 2 (ML-2)	285
Tabelle 55:	Veränderung $P_{ij}$ unter Anreiz 3a (ML-2)	285
Tabelle 56:	Veränderung $P_{ij}$ unter Anreiz 3b (ML-2)	285
Tabelle 57:	Veränderung $P_{ij}$ unter Anreiz 4 (ML-2)	286
Tabelle 58:	Veränderung $P_{ij}$ unter Anreiz 5 (ML-2)	286
Tabelle 59:	Übersicht der verkehrsverhalten-spezifischen Interaktionsvariablen	287
Tabelle 60:	Modellergebnis ML-3-Modell (1.000 Wdh.)	288
Tabelle 61:	Auswahlwahrscheinlichkeit $P_{ij}$ für Antriebstechnologien nach Personen- gruppe (ML-3)	289
Tabelle 62:	Veränderung $P_{ij}$ unter Anreiz 1a (ML-3)	289
Tabelle 63:	Veränderung $P_{ij}$ unter Anreiz 1b (ML-3)	289
Tabelle 64:	Veränderung $P_{ij}$ unter Anreiz 2 (ML-3)	290
Tabelle 65:	Veränderung $P_{ij}$ unter Anreiz 3a (ML-3)	290
Tabelle 66:	Veränderung $P_{ij}$ unter Anreiz 3b (ML-3)	290
Tabelle 67:	Veränderung $P_{ij}$ unter Anreiz 4 (ML-3)	291
Tabelle 68:	Veränderung $P_{ij}$ unter Anreiz 5 (ML-3)	291

## Abkürzungen

ABS	Antiblockiersystem
ACA	Adaptive Conjoint-Analyse
AFC	Alkaline Fuel Cell
ANCOVA	Analysis of covariance
ANOVA	Analysis of variance
bbl.	Blue barrel: Bezeichnung für ein blaues normiertes Fass das 158 Liter fassen kann. Internationale Einheit für Rohöl.
BEV	Battery Electric Vehicle (Batterieelektrisches Fahrzeug; Plug-In)
BRD	Bundesrepublik Deutschland
CA	Conjoint-Analyse
CAD	Kanadischer Dollar
CBCA	Choice-Based Conjoint-Analyse
CFK	Carbonfaserverstärkter Kunststoff
CLM	Conditional-Logit-Modell
CO	Kohlenmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid (Treibhausgas)
D3	Deutschland Norm 3
D-A-CH	Deutschsprachiger Raum: Deutschland, Österreich, Schweiz
DCE	Discrete-Choice-Experiments
DMFC	Direct Methanol Fuel Cell
E10	Benzin mit einer Beimischung von Biokraftstoffen bis zu 10%
ebd.	ebenda, ebendort
ESP	Elektronisches Stabilisationsprogramm
Euro3,4,5,6	Euro-Abgasnorm 3, 4, 5, 6
EUR	Euro
EV	Electric Vehicle (allgemein alle elektrisch angetriebenen Fahrzeuge)
EW	Einwohner
F+E	Forschung und Entwicklung
Fa.	Firma
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle (Brennstoffzellenfahrzeug; allgemein alle Wasserstoff-betriebenen Fahrzeuge)
Fzg.	Fahrzeuge
HCA	Hybrid-Conjoint-Analyse
HEV	Hybrid Electric Vehicle (Hybrid Fahrzeug; auch Plug-In Hybride)
HOV Lane	High Occupancy Vehicle Lane (Fahrspur, auf der nur Pkw mit mehr als einem Insassen fahrberechtigt sind.)
HVM	Hauptverkehrsmittel
i.e.S.	Im engeren Sinne
i.w.S.	Im weiteren Sinne

---

ICV	Internal Combustion Engine Vehicle
iiia	Independence of irrelevant alternatives
IID	independent and identically distributed (unabhängig und gleichverteilt)
inkl.	Inklusive
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KiD	Kraftfahrzeuge in Deutschland
Lkw	Lastkraftwagen
m.E.	mit Einschränkungen
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell
MiD	Mobilität in Deutschland
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MMNL	Mixed-Multinomial-Logit-Modell
MNL	Multinomial-Logit-Modell
MOP	Mobilitätspanel
MWSt.	Mehrwertsteuer
ML	Mixed-Logit-Modell
Na+	Natrium-Ionen
NaCl	Natrium-Chlorid
NaNi	Natrium-Nickel
NaNiCl	Natrium-Nickelchlorid-Batterien
NaS	Natrium-Schwefel
NiCd	Nickel-Cadmium
NiMH	Nickel-Metal-Hydrid
NL	Nested-Logit-Modell
nMIV	nicht motorisierter Individualverkehr
NO <sub>x</sub>	Stickoxid
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (englisch Organisation for Economic Cooperation and Development)
OEM	Original Equipment Manufacturer (deutsch: Erstausrüster): Firmen die Komponenten bzw. Produkte in eigenen Fabriken produzieren, aber nicht selbst in den Einzelhandel bringen.
ÖPNV	Öffentlicher Personen Nahverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
p.a.	lat.: per annum (deutsch: pro Jahr)
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell
PbA	Blei-Säure (Lead-Acid)
PEFC	Polymer Electrolyte Fuel Cell
Pkw	Personenkraftwagen
PM	Particular Matter (deutsch: Feinstaub)
PM	Feinstaub (engl. particular matters)
ppm	parts per million (Teile pro einer Millionen Äquivalenzteile)
QR-Code	engl.: Quick Response: „schnelle Antwort“ (ähnlich dem Bar-Code zur Kennzeichnung und Übermittlung von Produktinformationen und Preisen)

REEV	Range Extended Electric Vehicle
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell
sog.	So genannt(e,er,es)
SUV	Sport Utility Vehicle
TCO	Total Cost of Ownership
USD	Amerikanischer Dollar
u.U.	unter Umständen

# 1 Thematische Einführung

## 1.1 Einleitung

Die weltweit stetig ansteigende Verkehrsleistung<sup>1</sup> (vgl. IPCC 2008; Stern 2006; Kutzbach 2009) und der schnell zunehmende Motorisierungsgrad<sup>2</sup> haben dazu geführt, dass der Verkehrssektor<sup>3</sup> mittlerweile über 60 % der globalen Erdölnachfrage verbrennt (IEA 2013). 2010 entfielen in Europa über 84 % der erbrachten landseitigen Verkehrsleistung des Personenverkehrs auf Pkw (EUROSTAT 2010). Die weltweite Fahrzeugflotte umfasste in diesem Jahr erstmals über eine Milliarde Fahrzeuge (WardsAuto 2011). Schätzungen zur Flottenentwicklung bis 2050 liegen zwischen zwei (IEA 2009) und drei Milliarden Fahrzeugen (Sperling et al. 1995, S. 1). Dem Verkehrssektor werden schon heute rund 19 % des weltweiten Energieverbrauchs zugesprochen. 95 % davon entfallen auf die endliche Ressource Erdöl (vgl. Huber 2012, S. 494; Gass et al. 2014, S. 3525). Damit ist alleine der Verkehrssektor für rund 23 % des globalen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes verantwortlich (Fulton 2010, S. 9) sowie für rund 20 bis 25 % der gesamten emittierten Treibhausgase (vgl. Reutter 2007; BMU 2009, S. 1).

Sowohl die Abhängigkeit von der endlichen Ressource Erdöl als auch die hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen machen eine Transformation des Verkehrssektors hin zu ressourcen- und emissionsarmen Antrieben dringend notwendig. An dieser Stelle setzt die vorliegende Arbeit an: Sie beschäftigt sich mit Möglichkeiten der Förderung von alternativen Antriebstechnologien bei Personenkraftwagen in der Transformationszeit zwischen der konventionellen Verbrennungstechnologie und der angestrebten breiten Marktdurchdringung mit alternativen Antrieben.

Die Dringlichkeit dieses Transformationsprozesses wird im Zusammenhang mit dem Konzept „Peak Oil“ diskutiert (Hirsch 2006). Es beschreibt die weltweit mögliche Ölproduktion anhand einer Glockenkurve über der Zeitachse. Nach dem Erreichen des Produktionsmaximums (*peak*) zu einem bestimmten Zeitpunkt geht die Produktion schrittweise wieder auf das Null-Niveau zurück

---

1 Steigerung der Pkw-Verkehrsleistung von 1995-2011 in Deutschland 10,2 % und EU-27 22,7 % (KOM 2013, S. 48)

2 Anzahl Pkw/ 1.000 Einwohner

3 Landverkehr, Wassertransport und Luftverkehr im Personen- und Wirtschaftsverkehr

(Bardi 2009, S. 323). Wann dieser Gipfel erreicht wird oder ob er gar schon erreicht wurde, wird in verschiedenen Szenarien unterschiedlich eingeschätzt. Der Zeitpunkt dieses Fördermaximums wird in unterschiedlichen Szenarien zwischen den Jahren 2005 und 2030 gesehen, wobei manche Institutionen das Konzept Peak-Oil gänzlich ablehnen (Hirsch 2006, S. 11–13; IEA 2010). Berücksichtigt man jedoch, dass der Transformationsprozess zu einer vollständig erdölunabhängigen Mobilität noch einige Jahrzehnte dauern wird, ist das Delta dieser Szenarien nahezu irrelevant. Sowohl mit Blick auf pessimistische als auch optimistische Rechnungen sind der Beginn und eine kontinuierliche Fortführung des Prozesses dringend nötig. Ziele wie Schutz unserer Lebensgrundlage, Sicherung des sozialen Friedens im Inneren, des globalen Friedens und unserer wirtschaftlichen Basis werden mittlerweile als dringliche Problemfelder in dieser Transformationsphase benannt (vgl. Huber 2012, S. 494).

Aufgrund der Verflechtungen zwischen konventioneller Automobilbranche und der Mineralölindustrie sowie den entsprechend abgestimmten Dienstleistungs- und Distributionsnetzwerken, die mit dem Pkw zusammenhängen, müssen für eine Transformation zu alternativen Fahrzeugantrieben jedoch hohe Hürden überwunden werden: Hersteller müssen mit der Entwicklung neuer Technologien in Vorleistung gehen. Käufer erster Prototypen müssen hohe Anschaffungskosten bei geringer Reichweite und Ladeinfrastrukturverfügbarkeit in Kauf nehmen. Städte und Kommunen wiederum müssen hohe Investitionen in neue Infrastrukturen tätigen, bei zunächst marginalen oder gar ausbleibenden Verringerungen der Emissionen. Übersteigen die Kosten eines Systemwechsels jedoch den mittelfristig erzielbaren Nutzen, ist der Systemwechsel grundsätzlich unwahrscheinlich. Ökonomen sprechen mit Blick auf das Konsumentenverhalten von einer so genannten *lock-in*-Situation (Shapiro, Varian 1999): Einmal getätigte Investitionen in langfristige Anschaffungen wie den Erwerb eines Pkw schränken die Wahlmöglichkeiten für alternative Anschaffungen während der geplanten Nutzungsdauer stark ein (Cowan, Hultén 1996, S. 65). Der Transformationsprozess hin zu *Zero Emission Vehicles (ZEV)* befindet sich aktuell inmitten einer solchen *lock-in*-Situation: Der Prozess gerät ins Stocken. Die Marktdurchdringung von ZEV schreitet nur sehr zögerlich voran.

Nationalstaaten können mit ihrer Rahmengesetzgebung als wichtige Katalysatoren der neuen Systeminfrastruktur wirken und somit Wege aus dieser *lock-in*-Situation aufzeigen. Die deutsche Bundesregierung bekennt sich seit Mitte der 2000er Jahre zu einem Umdenken im Verkehrssektor und investiert zusammen mit Industrieakteuren zwischen 2009 und 2017 über zwei Milliarden Euro in

die Weiterentwicklung von Elektro-, Hybrid- und Wasserstoffantrieben sowie in Hochleistungsenergiespeichersysteme. Diesen hohen Investitionen standen Ende 2011 insgesamt nur 4.541 zugelassene Elektrofahrzeuge in Deutschland gegenüber (KBA 2012c). Während Deutschland fast ausschließlich Fördergelder für Forschung und Entwicklung von alternativen Antriebstechnologien bereitstellt, bezuschussen andere Staaten wie die USA, China oder Frankreich direkt den Kauf eines alternativen angetriebenen Fahrzeugs.

Vor dem Hintergrund dieser komplexen Marktentwicklungsstrukturen kursieren mittlerweile eine Vielzahl von Forschungsarbeiten sowie Studien aus Beratungshäusern, die versuchen, anhand von Szenarien mögliche Entwicklungspfade aufzuzeigen (vgl. Ahrend et al. 2011; ifmo 2010; Öko-Institut 2009b; Shell 2009). Anhand von Marktdurchdringungsszenarien wird versucht, das Marktpotenzial der unterschiedlichen Antriebstechnologien abzuschätzen (vgl. McKinsey 2010b, 2010a, Roland Berger 2009; Bain 2010; FfE 2007, 2010). Nach einer Übersichtsstudie von Hacker et al. (2009, S. 135) basiert die Bestimmung der größten Zielmärkte für Elektroautos und der Anteil der elektrisch ersetzbaren Verkehrsleistung im Allgemeinen auf statistischen Regressionsanalysen bzw. Extrapolationen von technologischen Entwicklungen, Lernkurven und Skaleneffekten (*engl. economies of scale*) durch Massenherstellung.

Unklar ist noch, welche Antriebstechnologie sich auch langfristig aus dieser Transformationsphase durchsetzen wird. Relativ sicher ist, dass es in den kommenden Dekaden eine Vielzahl unterschiedlicher Antriebskonzepte, die unterschiedliche Energiequellen nutzen, geben wird (Hacker et al. 2009; Schmid et al. 2010). Zum Thema Wasserstoff formuliert Holzhausen das Henne-Ei-Problem sehr treffend: „Die Konsumenten werden keine H<sub>2</sub>-Autos kaufen, solange keine Ladeinfrastruktur dafür vorhanden ist. Die Produzenten bauen keine H<sub>2</sub>-Autos, solange keine Nachfrage dafür besteht und die Tankstellenbetreiber rüsten nicht um, solange es keine Wasserstoffautos gibt“ (Holzhausen 2004, S. 4).

Die Transformation hin zu alternativ betriebenen Fahrzeugen kann zum einen bewirken, dass von konventionellen Fahrzeugen auf ökologischere<sup>4</sup> Fahrzeuge umgestiegen wird. Zum anderen besteht natürlich auch die Möglichkeit, dass Fußgänger, Radfahrer und ÖV-Nutzer (Nutzer des sog. Umweltverbundes) auf (Elektro-)Autos umsteigen. Dieser Fall wäre aus verkehrs- und stadtplanerischer

---

4 Die Prämisse ist hier, dass der Strom aus 100 % regenerativen Energiequellen gewonnen wird und dass in Zukunft die Batterietechnologie mit einer geringeren Ausbeutung von endlichen Ressourcen auskommt.

als auch aus ökologischer Sicht nicht wünschenswert. Die Energiebilanz sowie die CO<sub>2</sub>-Bilanz (bei aktuellem Strommix<sup>5</sup>) würde sich in diesem Fall bei den Nutzern verschlechtern. Es wird davon ausgegangen, dass der Anteil erneuerbarer Energien bis 2050 stark ansteigen wird, was die aktuelle CO<sub>2</sub>-Bilanz von Elektrofahrzeugen stark verbessern würde. Der unschlagbare Vorteil von Elektroautos die Energie aus unterschiedlichen Quellen nutzen zu können sowie die Vermeidung von lokalen Emissionen macht das Elektroauto zu einem sinnvollen Ersatz im motorisierten Individualverkehr in urbanen Räumen. Hierzu muss aber vor allem bei Neukäufen die Wahl auf ein Fahrzeug mit alternativer Antriebstechnologie fallen. Ein Anstieg der Verkaufszahlen von alternativen Fahrzeugen durch Nutzer des Umweltverbundes wird aus verkehrsplanerischer Sicht nicht angestrebt. Des Weiteren ist die Möglichkeit zu beachten, dass bei Menschen aufgrund der vermeintlich „grünen“ Technologie (*zero tailpipe emissions*) und aufgrund günstigerer Kilometerkosten durch den Umstieg auf Elektroautos eine Erhöhung der Fahrleistung bewirkt werden kann (Hacker et al. 2009, S. 9–10). Die Kenntnis der Konsumenten-Präferenzen, also die Vorlieben hinsichtlich der Antriebstechnologie, ist daher nötig, um auf verschiedene Personengruppen maßgeschneiderte Angebote entwickeln zu können.

Zur Abschätzung von Konsumenten-Präferenzen für hypothetische Märkte bzw. Produkte oder Dienstleistungen hat sich die Conjoint-Analyse als eine geeignete Methode etabliert, um den Einfluss einzelner Eigenschaften eines Produktes auf die Wahl- oder Kaufentscheidung von Konsumenten zu bestimmen (Backhaus et al. 2008; Louviere 1988a; Rabe-Hesketh, Skrondal 2012; Klein 2002; Bogner 2001). Auch in der Verkehrsplanung kommen diese Verfahren (meist unter der Bezeichnung *stated preference*) zum Einsatz (Daziano, Achtnicht 2012; Raich et al. 2012; Louviere et al. 2010b; Achtnicht 2009; Baier, Bruschi 2009b; Achtnicht et al. 2008; Dagsvik et al. 2002; Axhausen, Sammer 2001; Louviere et al. 2000; McFadden, Train 2000; Brownstone, Train 1999; Axhausen 1989; FGSV 1996).

Da sich Mobilitätsverhalten und Autobesitz stark gegenseitig beeinflussen (Train 1980), ist damit zu rechnen, dass sich mit der Umstellung auf alternativ angetriebene Fahrzeuge auch das Mobilitätsverhalten bzw. die Mobilitätsroutinen der Konsumenten verändern werden. Bei der Betrachtung der Kaufentscheidung ist somit sinnvoll, gleichzeitig auch das Mobilitätsverhalten der Konsumenten zu betrachten. Dieser Aspekt wird in der Forschung jedoch bislang vernachlässigt.

---

5 Strommix Deutschland 2011: Kohle (42 %), Erneuerbare Energien (21 %), Kernenergie (18 %), Gas (14 %), Sonstige (5 %) vgl. statista 2013a; ca. 510 g CO<sub>2</sub>/ kWh (BDEW 2013a)

Um diese Forschungslücke zu füllen, werden in der vorliegenden Arbeit auf der Basis einer Stated-Preference-Befragung zum Pkw-Kaufverhalten und der gleichzeitigen Erhebung des bisherigen Verkehrsverhaltens für dieselben Nutzer Kaufentscheidungen simuliert. Anhand der Ergebnisse wird die Einflussstärke verschiedener politischer Anreizsysteme auf die Pkw-Kaufentscheidung hinsichtlich der Antriebstechnologie bestimmt und untersucht. Die aktuell sehr technologisch geprägte Szenarientwicklung für ZEV soll durch die Konsumentensicht weiter konkretisiert und verbessert werden. Die Arbeit soll sowohl einen ökologischen als auch einen ökonomischen Beitrag im Diskurs um politische Anreizsysteme zur Förderung von alternativen Antriebstechnologien leisten. So macht es etwa einen großen Unterschied, ob umweltbewusste Radfahrer künftig für kurze Wege oder Berufspendler mit langen Arbeitswegen auf CO<sub>2</sub>-arme Elektroautos umsteigen. Während ersteres Szenario die Energiebilanz verschlechtert, würde sie im zweiten Fall deutlich verbessert werden.

## 1.2 Ziel der Arbeit

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Bestimmung des Einflusses politischer Anreizsysteme auf die Kaufentscheidung von Personenkraftwagen unterschiedlicher Personengruppen. Im Fokus steht die Berücksichtigung des Verkehrsverhaltens der Personen, um daraus Empfehlungen hinsichtlich des ökologischen Effektes durch das geänderte Mobilitätsverhalten ableiten zu können. Die forschungsleitende Fragestellung lautet:

Wie beeinflussen finanzielle und infrastrukturelle Anreizsysteme zur Förderung alternativer Antriebstechnologien die Kaufentscheidungen von Konsumenten?

Daraus lassen sich fünf konkrete Forschungsfragen ableiten:

1. Lassen sich Anreizsysteme anhand ihrer Einflussstärke priorisieren?
2. Lassen sich Personengruppen identifizieren, die sich in ihren Präferenzen zur Antriebstechnologie unterscheiden?
3. Welchen Einfluss hat der Wohnstandort auf die Pkw-Kaufentscheidung hinsichtlich der Antriebstechnologie?
4. Wie stark ist der Einfluss unterschiedlicher Anreizsysteme zur Förderung alternativer Antriebstechnologien auf verschiedene verkehrsverhalten-homogene Personengruppen?
5. Welche ökologischen und verkehrlichen Auswirkungen haben die Anreizsysteme zur Förderung alternativer Antriebstechnologien?

Der Einsatz von Steuergeldern muss sozial verträglich und ökologisch vertretbar sein. Daher möchte die vorliegende Arbeit mit der Beantwortung dieser Fragen Entscheidungshilfen für politische Entscheider geben, um Fördergelder in dieser Transformationsphase an den richtigen Stellen effektiv und effizient einsetzen zu können.

### 1.3 Aufbau der Arbeit

In der ersten Sektion der vorliegenden Arbeit (Thematische Einführung) werden Aktualität und Relevanz des Forschungsgegenstandes sowie die Rahmenbedingungen und die allgemeine Problematik bei der Markteinführung von alternativ angetriebenen Fahrzeugen dargestellt. Die Zielsetzung und der Aufbau der Arbeit werden erläutert.

Sektion 2 stellt den theoretischen Rahmen der gesamten Untersuchung dar. Zunächst werden die Vor- und Nachteile von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben sowie deren unterschiedliche Energiespeichersysteme dargestellt. Hier stehen nicht nur die damit behafteten Probleme im Vordergrund, sondern genauso deren Potenziale, den Menschen auch weiterhin eine individuelle Mobilität zu ermöglichen. Nach der ausführlichen Aufarbeitung des technologischen Standes von alternativen Antrieben erfolgt die Darstellung des Kaufentscheidungsprozesses zu alternativen Antriebstechnologien von Privatpersonen. Es werden die entscheidungsrelevanten Einflussfaktoren auf die Kaufentscheidung bestimmt und daraus Hypothesen für die folgende Untersuchung abgeleitet. Das Ende dieser Sektion stellt den aktuellen Forschungsstand zu Erhebungsmethoden für Discrete-Choice-Experimente dar. Im darauffolgenden Kapitel werden Methoden der Discrete-Choice-Analyse zur Auswertung von Erhebungsdaten sowie die Auswahl der geeigneten Erhebungsmethode und des geeigneten ökonometrischen Wahlmodells dargestellt, die zur Beantwortung der Forschungsfrage dienen.

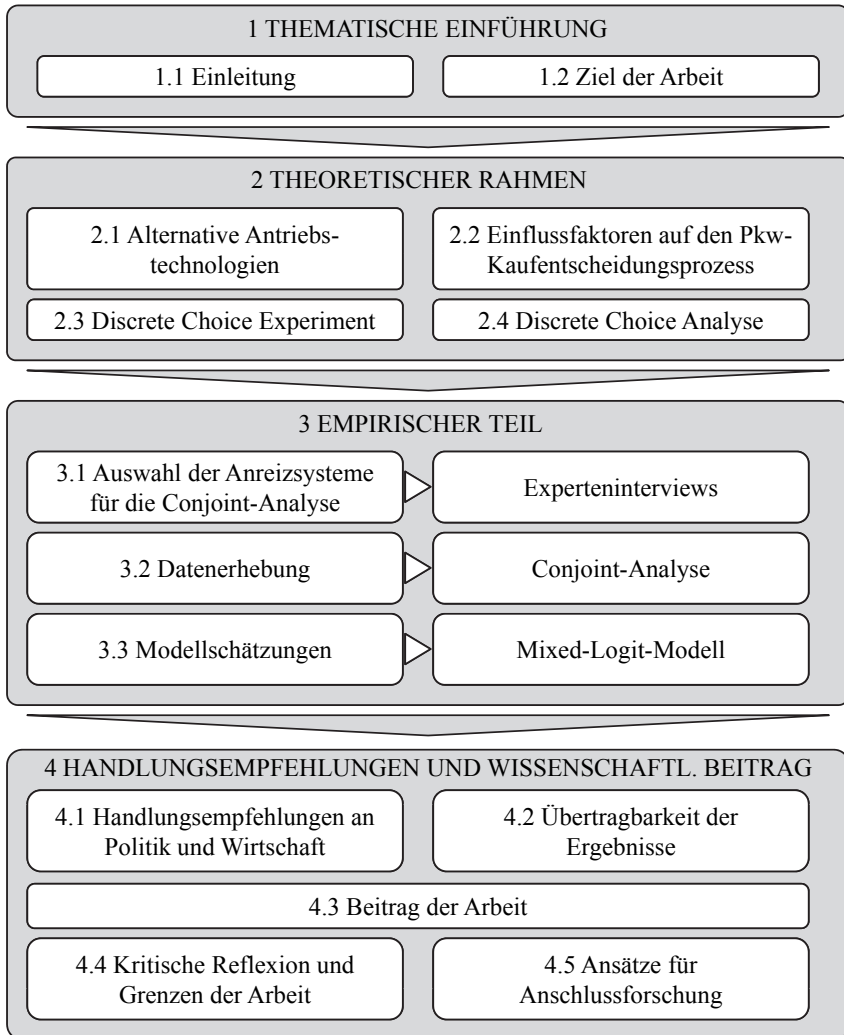
In der dritten Sektion, dem empirischen Teil dieser Arbeit, werden die Datenerhebung und die Ergebnisse der Modellschätzungen erläutert. Zu Beginn der Sektion werden die Auswahl der Anreizsysteme und deren Ausprägungen sowie die zu untersuchenden Antriebstechnologien dargestellt. Hierfür werden zunächst die Ergebnisse der Literaturanalyse zu bestehenden Conjoint-Analysen zu Konsumentenpräferenzen hinsichtlich alternativer Antriebe vorgestellt. Die Ergebnisse werden anhand von leitfadengeführten qualitativen Experteninterviews mit Vertretern des Automobil- und Energiesektors sowie mit Vertretern von Verkehrsämtern bzw. Stadtplanungsämtern von deutschen Großstädten validiert.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Erhebung dargestellt. Die Erhebung besteht aus der Erfassung der Soziodemographie der Antwortpersonen, deren Verkehrsverhalten sowie der Bestimmung der Nutzerpräferenzen zu den Antriebstechnologien unter Einfluss der Anreizsysteme anhand einer Conjoint-Analyse. Hier wird eine auswahlbasierte Conjoint-Analyse (*choice-based conjoint-analysis*) mit rd. 1.000 Antwortpersonen (Konsumenten) über ein Online-Access-Panel durchgeführt.

Am Ende der Sektion werden die Ergebnisse der Modellschätzungen unter Verwendung des Mixed-Logit-Modells vorgestellt. Anhand der Modellergebnisse werden Aussagen zu den Präferenzstrukturen der Bevölkerung der Metropolregion Hamburg zu Kaufentscheidungen bezüglich alternativer Antriebstechnologien unter Einbeziehung deren Verkehrsverhaltens möglich.

In der vierten und letzten Sektion der vorliegenden Arbeit - Handlungsempfehlungen und wissenschaftlicher Beitrag - werden die Erkenntnisse, die anhand der Modellschätzungen gewonnen werden konnten, dargelegt und daraus Handlungsempfehlungen für die Politik, die Wirtschaft und die Wissenschaft abgeleitet. Anschließend wird die Übertragbarkeit der Ergebnisse diskutiert. Am Ende der Sektion werden der methodische Beitrag der Arbeit sowie der Beitrag zur aktuellen Debatte um die Einführung politischer Anreizsysteme dargestellt. Abschließend werden das Vorgehen, die angewendeten Methoden und die Ergebnisse kritisch reflektiert und der identifizierte Forschungsbedarf in diesem Bereich formuliert. Abbildung 1 zeigt einen schematischen Überblick der Arbeit.

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit



Quelle: Eigene Darstellung

---

## 2 Theoretischer Rahmen

In Vorbereitung auf den empirischen Teil dieser Arbeit bildet dieses Kapitel den theoretischen Rahmen für das weitere Verständnis der Arbeit. Neben den theoretischen Zusammenhängen und der Darstellung des aktuellen Forschungsstandes zu alternativen Antrieben werden ausführlich Discrete-Choice-Experimente und deren Analysemöglichkeiten mit ökonomischen Modellen diskutiert.

In Kapitel 2.1 wird in erster Linie erläutert, welchen technologischen Einschränkungen Fahrzeuge mit alternativen Antrieben unterworfen sind. Das Kostengefüge dieser Fahrzeuge ist in der aktuellen Markthochlaufphase noch so hoch, dass diese weder von Unternehmen wirtschaftlich eingesetzt werden können, noch bei Privatpersonen eine Kaufbereitschaft besteht. Wie schon dargelegt, ist es der Bundesregierung aus wirtschafts- und umweltpolitischen Interessen ein besonderes Anliegen, die Marktdurchdringung alternativer Antriebstechnologien voranzutreiben und die Autonation Deutschland als Leitmarkt für Elektromobilität und alternative Antriebe zu positionieren.

Um in der Transformationsphase des Verkehrssektors das Kostengefüge für Unternehmen und Privatpersonen attraktiver zu machen, können finanzielle und infrastrukturelle Anreizsysteme oder die Vergabe von Sonderprivilegien die Nachfrage und die damit verbundene Marktdurchdringung von alternativ angetriebenen Fahrzeugen künstlich erhöhen. Die Frage „Wen will ich erreichen?“ und „Wen erreiche ich tatsächlich?“ stellt den Fokus dieser Arbeit dar.

Hierzu wird dargelegt, warum es sinnvoll ist, bei einer staatlichen Förderung von alternativen Antriebstechnologien nicht nur den gesamten Absatzmarkt zu betrachten, sondern auch den Einzelkonsumenten und dessen Präferenzen hinsichtlich dieser Antriebe. Bei der Einführung staatlicher Anreizsysteme, die Konsumenten beeinflussen sollen, sich beim Autokauf für alternative Fahrzeuge zu entscheiden, fehlt bisher die Betrachtung des Einflusses der Anreizsysteme auf unterschiedliche Personengruppen, die sich anhand von soziodemographischen und -ökonomischen Personenmerkmalen, aber auch anhand des Verkehrsverhaltens unterscheiden lassen. In einer Analyse bestehender Marktdurchdringungsszenarien zu alternativen Antriebstechnologien wird gezeigt, dass bislang versäumt wurde, diese Einzelbetrachtung zu berücksichtigen. Eine wahllose Einführung von Anreizsystemen per Gießkannenprinzip lässt außer Acht, dass möglicherweise Personen erreicht werden, die bislang ihre Mobilitätsbedürfnisse im

Umweltverbund ohne die Notwendigkeit eines eigenen Fahrzeugs befriedigen. Die Ergebnisse zeigen, dass Null-Emissions-Fahrzeuge durch das grüne Image in der Kombination von finanziellen Vorteilen und Privilegien vor allem für Personengruppen, die kein eigenes Auto besitzen, besonders attraktiv werden.

## 2.1 Alternative Antriebstechnologien

Wie einleitend angesprochen wurde, besitzen Fahrzeuge mit alternativer Antriebstechnologie gegenüber konventionellen Fahrzeugen Nutzungseinschränkungen wie beispielsweise eine verkürzte Reichweite bei langer Ladedauer. Zur Klärung der Forschungsfrage sind ein tieferes Verständnis der technologischen Einschränkungen sowie die Entwicklungen in der Antriebs- und der Energiespeichertechnologie nötig, um entscheiden zu können, ob diese Einschränkungen nur vorübergehend zu berücksichtigen sind oder auch noch länger in dieser Transformationsphase bestehen werden.

In diesem Kapitel wird ferner erläutert, welche alternativen Antriebstechnologien betrachtet werden und welche unter dem englischen Ausdruck *Zero Emission Vehicle (ZEV)* im Rahmen dieser Arbeit von anderen Fahrzeugen abgegrenzt werden. Um diese Abgrenzung leisten zu können, werden kurz die großen Gruppen der alternativen Antriebstechnologien, deren Eigenschaften sowie die wichtigsten Energiespeichersysteme vorgestellt und diskutiert.

Dieses Kapitel erhebt nicht den Anspruch, einen ganzheitlichen detaillierten wissenschaftlichen Überblick über alle Antriebstechnologien und Energiespeichertechnologien wiederzugeben. Vielmehr soll dieses Kapitel dazu dienen, die mit ZEV verbundenen Nutzungseinschränkungen gegenüber herkömmlichen Verbrennungsmotoren zu erläutern. Da der Schwerpunkt dieser Arbeit nicht auf den technischen Aspekten von alternativen Antriebstechnologien liegt, werden im Folgenden nur grob diejenigen Konzepte dargestellt, die sich stark unterscheiden. Innerhalb der unterschiedlichen Fahrzeugkonzepte gibt es jeweils eine Vielzahl von Weiterentwicklungen und Detailunterscheidungen, die hier aber nicht einzeln dargestellt werden können und hinsichtlich des Themas der Arbeit keinen Mehrwert erzeugen würden.

Am Ende des Kapitels werden zum Überblick über mögliche Auswirkungen von politischen Anreizsystemen, nationale und internationale Regierungsprogramme zur Förderung von ZEV dargestellt.

### 2.1.1 Technologische Aspekte alternativer Antriebskonzepte

Zur Übersicht der Eigenschaften der unterschiedlichen alternativen Fahrzeugkonzepte werden diese im Folgenden kurz dargestellt. Zur Verdeutlichung der technologischen Einschränkungen bei der Energiespeicherung folgt anschließend eine knappe Übersicht zu den verschiedenen Energiespeichersystemen.

#### Batterieelektrische Fahrzeuge

Das erste Automobil war ein Elektromobil, das von William Ayrtton und John Perry 1888 entwickelt wurde. Elektroautos wurden mit der Erfindung des Verbrennungsmotors durch Karl Benz und dessen überlegenen Reichweite komplett vom Markt verdrängt (Viehmann 2011). Die Elektromobilität hat sich bis heute nur bei Massentransportmitteln wie schienengebundene Verkehrsmittel (Züge, S-, U-Bahnen, Straßenbahnen, inkl. aller Abwandlungen), Seilbahnen, Aufzügen und Oberleitungsbussen durchgesetzt. Diese Transportformen haben den Vorteil, dass sie direkt mit dem Stromnetz verbunden sind und nicht auf die (beschränkte) Kapazität einer Batterie angewiesen sind. Sie haben den Nachteil, dass sie einer aufwändigen Infrastruktur bedürfen. Elektrisch angetriebene Gabelstapler, Rollstühle oder auch Golfcaddies werden schon seit langer Zeit erfolgreich eingesetzt. Bei diesen Gefährten steht vor allem die Möglichkeit der Nutzung innerhalb von geschlossenen Räumen bzw. deren geräuscharmer Motor im Vordergrund. Der eingeschränkte Bewegungsradius spielt bei diesen Fahrzeugen im Gegensatz zum Pkw nur eine sehr untergeordnete Rolle.

Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV<sup>6</sup>) sind Fahrzeuge, die ausschließlich durch einen Elektromotor angetrieben werden. Die Bereitstellung des benötigten Stroms für den Motor erfolgt mittels eines wiederaufladbaren elektrochemischen Energiespeichers (Batterie). Batterien haben gegenüber flüssigem Treibstoff den entscheidenden Nachteil, dass die Energiedichte etwa um den Faktor 100 geringer ist. Nach aktuellem Entwicklungsstand bedeutet das ein Mehrgewicht von ca. 250 - 500 kg, das bewegt werden muss. Jedoch ist der Wirkungsgrad<sup>7</sup> bei Elektromotoren im Durchschnitt etwa um das 2,7-fache höher als bei Ver-

---

6 Battery Electric Vehicle

7 Die Betrachtungsweise ist „Tank-To-Wheel“; Energieverbräuche zur Stromgewinnung bzw. Ölförderung und -raffinierung, Transport, etc. („Well-To-Tank“) gehen nicht in diese Berechnung ein.

brennungsmotoren<sup>8</sup> (Howey et al. 2011, S. 264), bei denen der größte Teil der Energie in Wärme umgewandelt wird. Dennoch reicht die Energiemenge, die in einer Batterie gespeichert werden kann, aktuell nur für eine durchschnittliche Reichweite von rd. 150 km. Im städtischen Bereich eignet sich ein elektrischer Antrieb aufgrund der stetigen Abfolge von Brems- und Beschleunigungsphasen weitaus besser als der herkömmliche Verbrennungsmotor (Vana 2006). Die bei dem Bremsvorgang entstehende mechanische Energie kann durch Rekuperation an den Energiespeicher zurückgegeben und dort in elektrische Energie umgewandelt werden. Die Energierückgewinnung kann die Reichweite beträchtlich erhöhen (Blesl et al. 2009, S. 2). E-Fahrzeuge ermöglichen aufgrund der einfacheren Bauart des Antriebsstrangs neue Raumkonzepte. Das gesamte Antriebsaggregat kann so gestaltet werden, dass sowohl Stauraum im Heckbereich des Fahrzeugs als auch im Frontbereich entsteht (Wallentowitz, Freialdenhoven 2011, S. 72). Bei Fahrzeugmodellen wie dem Model S der Firma Tesla ist dies konsequent umgesetzt. Der Pkw bietet zu den fünf vollwertigen Sitzplätzen zwei weitere Notsitze im Heckbereich sowie einen Laderaum unter der Fronthaube (hybridelektrofahrzeuge.de 2013).

#### Hybridfahrzeuge

Hybridfahrzeuge (HEV<sup>9</sup>) sind Fahrzeuge, die über zwei Antriebsmotoren, einen Verbrennungsmotor und einen Elektromotor, sowie zwei Speichermedien, einen konventionellen Tank und einer Batterie zur Versorgung des Antriebsstranges verfügen. Die Batterie, die zum Antrieb des Elektromotors dient, wird über den Verbrennungsmotor oder durch Rückführung der Bremsenergie (Rekuperation) aufgeladen. Zu unterscheiden sind Voll-Hybridfahrzeuge und Mild-Hybridfahrzeuge. Bei den Voll-Hybridfahrzeugen ist ein rein elektrisches Fahren auf kurzen Strecken möglich. Bei Mild-Hybridfahrzeuge unterstützt der Elektromotor den Verbrennungsmotor vor allem beim Anfahren. Aufgrund der fehlenden Möglichkeit, die Batterie am Stromnetz aufzuladen, ist der Betrieb dieser Fahrzeuge mit regenerativ erzeugtem Strom nicht möglich (Schuitema et al. 2012, S. 2). Für eine Übersicht verschiedener Hybridkonzepte siehe z. B. Bady und Biermann

---

8 Basierend auf dem Vergleich zwischen 51 Fahrzeugen mit Elektro-, Hybrid- und Verbrennungsmotor bei der ersten Brighton to London Future Car Challenge 2010.

9 Hybrid Electric Vehicle

(2000). Die meisten Hybridfahrzeuge sind mit Nickel-Metall-Hybrid-Batterien<sup>10</sup> ausgestattet, die einen Kompromiss aus geringen Kosten und hoher Sicherheit bei hoher Kapazität darstellen.

#### Hybridfahrzeuge mit Range-Extender

Hybridfahrzeuge mit Range Extender (REEV<sup>11</sup>) versuchen, dem Gewichtsnachteil der Hybridfahrzeuge durch einen möglichst kleinen Verbrennungsmotor entgegenzuwirken, der ausschließlich dazu dient, die Batterie aufzuladen. Er ist also nur indirekt am Antrieb des Fahrzeugs beteiligt. Das Fahrzeug wird ausschließlich über den Elektromotor angetrieben. Dieses System hat den Vorteil, dass der Verbrennungsmotor stets im optimalen Drehzahlbereich laufen kann und ein für Verbrennungsmotoren überdurchschnittlich hoher Wirkungsgrad erreicht wird.

#### Plug-in Hybridfahrzeuge

Plug-in Hybridfahrzeuge (PHEV<sup>12</sup>) stellen eine Weiterentwicklung der Hybridfahrzeuge dar. Sie verfügen genauso wie Hybride über zwei Motoren sowie Batterie und Treibstofftank. Der entscheidende Vorteil dieser Technologie ist, dass das Fahrzeug an das Stromnetz angeschlossen werden kann (vgl. Karplus et al. 2010, S. 621). Die Batterie ist größer als bei HEVs. Rein elektrisches Fahren ist über eine Distanz von 25 - 60 km möglich<sup>13</sup>. Özdemir und Hartmann (2012, S. 1) berechnen eine optimale elektrische Reichweite von 12-32 km im Hinblick auf Kosten, elektrische Fahrleistung und Gewicht. Das Potential von reinen Elektroautos ist äußerst schwierig zu berechnen und ist von vielen Annahmen abhängig, wenn die Abschätzung anhand von Verkehrserhebungen erfolgt. Da bei PHEV keine Nutzungseinschränkungen bestehen, kann die gesamte Pkw-Flotte als Austauschpotential angesehen werden. Unter der Annahme, dass die ersten 30 km der täglichen Fahrleistung rein elektrisch gefahren werden, könnten insgesamt

---

10 Nickel-Metal-Hybrid (NiMH) Batterien werden in den meisten Hybrid-Fahrzeugen verbaut. Die NiMH-Technologie war die Basis, um beispielsweise dem Toyota Prius Hybrid zur Serienreife zu verhelfen Hacker et al. 2009, S. 12. Der Toyota Prius ist das weltweit am meisten verkaufte Hybrid-Fzg.

11 Range-Extended Electric Vehicle

12 Plug-in Hybrid Electric Vehicle

13 25 km beim Toyota Prius Plug-in (Toyota 2013), 50 km beim Volkswagen Golf TwinDrive (Claas et al. 2010, S. 2), rd. 60 km beim Chevrolet Volt und beim BYD F3DM (Chevrolet 2013; BYD 2014).

im motorisierten Individualverkehr (MIV) rd. 110.000 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Tag eingespart werden<sup>14</sup> (eigene Berechnung; MID2008).

Dies stellt vor allem für den Stadtverkehr eine Revolution des MIV dar, da mit diesen Fahrzeugen rd. 46 % der täglichen Fahrleistung rein elektrisch, also ohne den Ausstoß von lokalen Emissionen, durchgeführt werden könnten. Der Anteil könnte noch weit größer sein, da bei dieser Berechnung nicht berücksichtigt ist, dass ein Großteil der Wegeketten zeitlich unterbrochen wird. Ein Zwischenladen z. B. während des Einkaufs oder während der Arbeit wäre durchaus möglich. Dadurch könnte die tägliche elektrische Fahrleistung noch größer ausfallen. Axsen et al. (2011, S. 1626) bestätigt in einem Modell für die USA das Emissionsreduzierungspotenzial von PHEV mit der Einschränkung, dass die Primärenergiegewinnung CO<sub>2</sub>-ärmer gestaltet werden muss.

#### Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Fahrzeuge

Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Fahrzeuge (FCEV<sup>15</sup>) nutzen zum größten Teil den Energieträger Wasserstoff (H<sub>2</sub>) für den Antrieb. Wasserstoff weist eine höhere Energiedichte auf als Batterien, somit können weitere Strecken bei gleichem Gewicht zurückgelegt werden. Technologisch sind zwei grundsätzlich verschiedene Systeme zu unterscheiden. Der Wasserstoffverbrennungsmotor (auch: Wasserstoffmotor) ist der Funktionsweise des Ottomotors sehr ähnlich. Es wird anstelle von Benzin Wasserstoff eingespritzt und gezündet. Die Effizienz ist jedoch geringer gegenüber einem konventionellen Motor, da die Energiedichte von Wasserstoff zwar bezogen auf das Gewicht um etwa den Faktor drei höher ist, jedoch bezogen auf das Volumen ist die Energiedichte selbst bei flüssigem Wasserstoff geringer als bei flüssigen Kraftstoffen wie Benzin oder Diesel. Diese Technologie wurde vor allem von BMW verfolgt. Aufgrund systemimmanenter Grenzen der Verbesserungsmöglichkeiten, wird diese Technologie jedoch nicht weiterentwickelt. Die vielversprechendere Technologie stellt die Brennstoffzelle dar. Auf die Funktionsweise der Brennstoffzellen soll hier nicht weiter eingegangen werden, da die technologische Funktionsweise der unterschiedlichen Antriebssysteme nicht den Fokus dieser Arbeit darstellt. Zu den Vor- und Nach-

---

14 Eigene Berechnung unter folgenden Annahmen: maximal 30 km der täglichen Pkw-Fahrleistung werden rein elektrisch gefahren; der Autostrom wird CO<sub>2</sub>-neutral produziert (Leistungs-, Transport- und Ladeverluste werden vernachlässigt); durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Ausstoß der deutschen Gesamt-Pkw-Flotte (2008): 140 g CO<sub>2</sub>/km (Quelle: Zeit online 2012); 41,3 Mio. zugelassene Pkw (Stand: 01.01.2009; KBA 2009).

15 Fuel-Cell Electric Vehicle

teilen der unterschiedlichen Brennstoffzellentechnologien sei z. B. auf Friedrich und Schmid (2011, S. 69–72) verwiesen. Eine Weiterentwicklung stellen die Brennstoffzellen-Hybridfahrzeuge dar. Diese nutzen eine Batterie für die Stromzwischen-speicherung, um die dynamische Trägheit der Brennstoffzelle auszugleichen (Blesl et al. 2009).

Dennoch bleibt zu erwähnen, dass es sich bei der Anwendung von Wasserstoff für mobile Zwecke um eine Technologie handelt, bei der immer wieder die Sicherheit hinterfragt wird. Nach aktuellem Entwicklungsstand ist der Umgang mit Wasserstoff mittlerweile so sicher wie der Umgang mit Benzin. Dramatische Unfälle in der mobilen Anwendung gibt es quasi nicht.

Der Energieträger Wasserstoff kann unter der Verwendung von regenerativen Energien hergestellt werden. Bislang ist die Herstellung jedoch sehr energieintensiv und die mobile Anwendung unter aktuellem Strommix, mit der Prämisse CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren zu wollen, problematisch. Perspektivisch stellt die Brennstoffzelle jedoch eine sehr vielversprechende und zukunftsweisende Technologie dar. Schon heute verursachen FCEV wie BEV keine lokalen Emissionen.

### 2.1.2 Energiespeichersysteme

Der Erfolg alternativer Antriebstechnologien hängt in dieser Übergangszeit wesentlich von der Leistungsfähigkeit des Energiespeichersystems ab. Die Ladekapazität der Batterie<sup>16</sup> beeinflusst entscheidend die Reichweite des Fahrzeugs. Die Reichweite rückt im Gegensatz zu konventionellen Fahrzeugen in den Fokus, da das Wiederaufladen der Batterie viel mehr Zeit benötigt als die Betankung mit Benzin oder Dieselmotorkraftstoff. Eine Vollladung bei 230 Volt benötigt bei den meisten Elektrofahrzeugen ca. sechs bis acht Stunden. Eine Schnellladung (bis 80 % der Ladekapazität) mit 400 Volt dauert rund 30 min. Aufgrund der geringen Energiedichte<sup>17</sup> von Batterien bei hohen Herstellungskosten wird momentan bei den meisten Elektroautos eine Reichweite von über 150 km unter Normalbedingungen nicht überschritten. Das Gewicht würde zu schwer werden und die Fahrzeuge unbezahlbar.

Neben den Kenngrößen Energie- und Leistungsdichte sind bei Energiespeichersystemen für Elektrofahrzeuge weitere Anforderungen zu berücksichtigen.

---

16 Der Begriff Batterie und Akkumulator (Akku) wird in dieser Arbeit synonym verwendet. Der Begriff Batterie beschreibt in dieser Arbeit ausschließlich wiederaufladbare Batterietypen.

17 Li-Ionen-Akku: ca. 0,36 – 0,5 MJ/kg; Benzin: 43 MJ/kg; Dieselmotorkraftstoff: 45,4 MJ/kg

Dazu zählen die Ladezeit, die Lebensdauer, die Zyklenbeständigkeit, die Kosten und die Sicherheit. Da die Speichersysteme wiederaufladbar sein sollen, müssen Akkumulatoren aus wiederaufladbaren Sekundärzellen bestehen. Da diese sich selbst entladen können, kommt mit der Selbstentladung ein weiterer Aspekt hinzu, der berücksichtigt werden muss (Wallentowitz, Freialdenhoven 2011, S. 85–86). Für eine detaillierte Übersicht zu technologischen Aspekten des elektrifizierten Antriebstranges wird Böcker (2010) empfohlen.

Nachfolgend werden die unterschiedlichen Batteriespeicher und deren Eigenschaften kurz vorgestellt.

#### Batteriespeicher

Die **Lithium-Ionen-Batterie (Li-Ionen)** kommt derzeit in mobilen Anwendungen aufgrund ihrer Leistungsdichte und somit geringeren Gewichts am häufigsten in Notebooks, Mobiltelefonen und Werkzeugen zum Einsatz. Aufgrund der hohen Energiespeicherkapazität von 150 - 250 Wh/kg (Sauer 2006, S. 24; Winter et al. 2010, S. 14) haben sie entscheidende Vorteile gegenüber anderen Batteriesystemen. Li-Ionen Batterien sind z. B. im Vergleich zu **Nickel-Metallhydrid-Batterien (NiMH)** etwa 30 % kleiner und 50 % leichter (ISEA 2013a) und weisen zudem bei gleicher Kapazität und geringer Selbstentladung eine längere Lebensdauer und kürzere Ladezeiten auf (Wallentowitz, Freialdenhoven 2011, S. 89–91). NiMH-Batterien kamen in der ersten Generation des Hybrid-Modells Toyota Prius zum Einsatz.

Ein entscheidender Nachteil der Li-Ionen Batterien stellen die hohen Anforderungen an die Schutzelektronik dar, die jede Zelle einzeln absichern muss (BASF 2009; Blesl et al. 2009, S. 25; Neupert 2009, S. 46; Sauer 2006, S. 24) und sich in extrem hohen Herstellungskosten äußert. Hinzu kommt, dass defekte Zellen schnell Feuer fangen können (Neupert 2009, S. 46) und die Alterung bei hohen Lade- und Entladeströmen beschleunigt wird (Heinemann 2007, S. 28; Wallentowitz, Freialdenhoven 2011, S. 91).

**Hochleistungsenergiebatteriesysteme**, wie z. B. **Metall-Luft-Batterien** (Winter et al. 2010, S. 18) weisen eine noch größere Leistungsfähigkeit als Li-Ionen-Batterien auf. **Li-Luft-Batterien** könnten eine Energiedichte von rd. 5.200 Wh/kg erreichen (Gao et al. 2012), die Reichweiten von bis zu 500 km und mehr erwarten lassen (Peled et al. 2011). Hier steht man aber noch ganz am Anfang der Entwicklung. **Zink-Luft-Batterie** weisen schon nach rd. 100 Zyklen Kapazitätsverluste auf (Haas, van Wesemael 2009; Binder, Odar 1984). Der Vorteil

gegenüber Li-Ionen-Batterien ist die geringe Reaktivität des Materials und die damit höhere Sicherheit (Arai, Hayashi 2009). Die **Bleisäurebatterie (Pb)** ist aufgrund ihrer geringen Energiedichte von rd. 40 Wh/kg (Vezzini 2010, S. 40) und des geringen Optimierungspotenzials (Gruden 2008, S. 367–368; Wallentowitz, Freialdenhoven 2011, S. 88) für Elektroautos ungeeignet. Auch **Nickel-Cadmium-Batterien (NiCd)** sind aufgrund niedriger Energiedichte, Memory-Effekt<sup>18</sup>, hoher Selbstentladung sowie giftiger Bestandteile für den Einsatz im Elektrofahrzeug nicht geeignet (Wallentowitz, Freialdenhoven 2011, S. 88). Ähnliche Probleme bestehen bei Batterien auf Natriumbasis, wie z. B. **Natrium-Chlorid (NaCl)-**, **Natrium-Nickel- (NaNi)** und **Natrium-Schwefel-Batterien (NaS)** (Gruden 2008, S. 369).

**ZEBRA-Batterien**<sup>19</sup> (Hochtemperaturbatterien) bestehend aus **Natrium-Nickelchlorid (NaNiCl)** erfordern ca. 300°C Betriebstemperatur (Heinemann 2007, S. 28–29; Neupert 2009, S. 47) und werden im Dauerbetrieb z. B. bei Hybridbussen erprobt, da hier die hohe Temperatur fortwährend aufrecht erhalten werden kann (Neupert 2009, S. 48). Diese Batterien haben den Vorteil, dass faktisch keine Nebenreaktionen auftreten und somit Wartungen nicht erforderlich sind (ebd.). Die Zyklenlebensdauer ist mit 1.500 Lade- und Entladezyklen sehr hoch. Die Energiedichte dieser Batterie ist mit 80 bis 90 Wh/kg im Vergleich sehr hoch, die Leistungsdichte mit 150 W/kg jedoch sehr gering (Heinemann 2007, S. 28).

**Elektrochemische Doppelschichtkondensatoren (DSK)** sind Hochleistungsenergiespeicher, die ohne chemische Reaktion (wie bei Batteriesystemen) auskommen. Sie können über 500.000 Ladezyklen überstehen (Sauer 2006, S. 12; Schneuwly et al. 2007, S. 3). Jedoch können sie Energie nur sehr schnell aufnehmen und wieder abgeben. Hier wird nur ein Einsatz in Hybrid-Fahrzeugen z. B. zur verlustarmen Rekuperation der Bremsenergie gesehen (Schneuwly et al. 2007, S. 5).

Eine weitere interessante Entwicklung in der Batterietechnologie für Elektroautos sind die **Redox-Flow-Batterien** (z. B. **Vanadium-Vanadium-Batterien**) (ISEA 2013b). Hier erfolgt die Speicherung der Energie in flüssigen Elektrolyten, die innerhalb weniger Minuten ausgetauscht werden können (Fraunhofer Gesellschaft 2009). Aufgrund des sehr schnellen Ladevorgangs könnte diese Art von Energiespeicher für Elektroautos interessant werden. Die Energiedichte

---

18 Memory-Effekt: Kapazitätsverlust, der bei sehr häufiger Teilentladung entsteht.

19 Benannt nach ihrem Entdeckungsprojekt „Zero Emission Battery Research Activity“ (Schuster 2009, S. 3).

konnte mittlerweile etwa auf das Niveau von Li-Ionen-Batterien angehoben werden (ebd.). Die Entwicklung steht hier noch sehr am Anfang und Aspekte wie Sicherheit, Zyklen und Energiedichte müssen noch weiter verbessert werden. Neueste Entwicklungen von **Redox-Flow-Lithium-Ionen-Batterien (RFLB)** zeigen erste vielversprechende Ergebnisse (Huang et al. 2013). Ob ein sicherer Einsatz in Elektrofahrzeugen möglich ist, ist noch unklar.

#### Biokraftstoffe

Die Beimischung von Biokraftstoffen (*engl. biofuels*<sup>20</sup>), die unter der Bezeichnung E10 vertrieben werden, können zwar einen Beitrag zur Ölunabhängigkeit (Ayhan Demirbas 2009) und zur CO<sub>2</sub>-Emissionsreduzierung leisten (Agentur für nachwachsende Rohstoffe 2010, S. 6), jedoch „[...] sind Nachteile wie ein Wettbewerb um Anbauflächen bei steigendem Nahrungsbedarf, eine potenzielle Schädigung der biologischen Vielfalt sowie soziale Auswirkungen zu beachten“ (Fournier et al. 2012, S. 410). Zu biologischen und sozialen Folgen von Biokraftstoffen siehe auch IEA (2011, S. 5–6). Bei einer Netto-Energie-Betrachtung scheint auch das CO<sub>2</sub>-Argument bei Biokraftstoffen nicht aufzugehen (Dale 2007). Aus Sicht des Autors sind Biokraftstoffe zwar im Rahmen alternativer Antriebstechnologien zu nennen, aufgrund der sozialen Probleme, mit denen diese Art des Energiespeichers behaftet ist, ist aus Sicht des Autors eine weitere Förderung dieser Kraftstoffe nicht anzustreben.

#### Gase

Neben den vorgenannten Treibstoffen ist noch Gas als Energiespeicher zu nennen. Positiv bei Gasen ist zu bewerten, dass durch die heißere Verbrennung weniger Verbrennungsrückstände (Feinstaub) emittiert werden. Autogase lassen sich in fossile Gase (LPG<sup>21</sup>, CNG<sup>22</sup>, Erdgas) und biogene Gase (Biogas) klassifizieren. Bei der Erstellung von Biogas ist meist dieselbe Konkurrenzsituation zu Nahrungsmitteln zu berücksichtigen wie bei Biokraftstoffen.

---

20 Z. B. Bioethanol

21 Liquefied Petroleum Gas

22 Compressed Natural Gas

### Zwischenfazit Energiespeichersysteme

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass als Energiespeicher in Elektrofahrzeugen Lithium-basierte Batterien aus heutiger Sicht am geeignetsten scheinen. Lithium scheint als leichtestes Metall für Batterien in der mobilen Anwendung die geeignete Wahl darzustellen. Die Herstellungskosten werden in den kommenden Jahren zwar weiter sinken, jedoch werden die Ladezeiten und die damit verbundenen Reichweiten nicht bahnbrechend verkürzt werden können (Franke 2014, S. 5), da Leistungssteigerungen durch das Anstreben größerer Reichweiten überkompensiert werden.

Aufgrund der aktuellen Entwicklungen in der Automobilindustrie, die hauptsächlich Lithium-Ionen-Batterien in Elektro- und Plug-in-Hybridfahrzeugen verbaut, werden für diese Arbeit die Einschränkungen dieser Batterietechnologie als Grundlage herangezogen. Für einen detaillierteren Überblick unterschiedlicher elektrochemischer Speicher wird The National Research Council (2010) empfohlen. Es ist damit zu rechnen, dass künftig der weltweite Bedarf an Lithium durch die Automobilindustrie bestimmt wird (Angerer et al. 2009, S. 14–15).

An dieser Stelle seien kurz die viel diskutierten Batteriewechselsysteme erwähnt. Das System sieht eine stationäre Lagerung von Wechselbatterien vor, die an tankstellenartigen Wechselstationen gelagert, beladen und vollautomatisch innerhalb weniger Minuten ausgetauscht werden können. Das System überwindet die Schwäche der Elektrofahrzeuge bezüglich der langen Ladedauern. Aufgrund der hohen Anfangsinvestitionen zum Aufbau eines flächendeckenden Systems wird diesem System aktuell wenig Chancen zugesprochen. Die Pionierfirma Betterplace, die versuchte dieses System in Israel und Dänemark zu implementieren, musste 2013 Insolvenz anmelden.

Aufgrund der scheinbar sozialen und ökologischen Unverträglichkeit von Biokraftstoffen und Biogasen und der Tatsache, dass fossile Gase (vergleichbar mit Erdöl) nicht erneuerbar sind, werden diese Antriebssysteme nicht weiter berücksichtigt. Zudem stellen diese Kraftstoffe für Nutzer keine Beeinträchtigung hinsichtlich der Handhabung des Fahrzeugs (Tankzeiten, Reichweiten, etc.) dar.

## Übersicht der Fahrzeugkonzepte

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die vorgestellten Antriebstechnologien, die jeweilige Antriebsmaschine(n), Energieträger, sowie benötigte Energiespeicher. Es wird auch dargestellt, inwiefern der Energieträger aus regenerativen Quellen erzeugt werden kann und wo das Fahrzeug betankt bzw. beladen werden kann.

Tabelle 1: Übersicht der Fahrzeugkonzepte

Technologie	Energie-träger	Energie-speicher	Antriebs-maschine	Antrieb aus 100 % erneuer-barer Energie möglich	Lade- bzw. Betankungs-ort
Elektrofahrzeug (BEV)	Strom	Batterie	Elektromotor	ja	Wallbox, (halb) öffentl. Ladesäule
Wasserstoffver-brennungsmotor	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> -Tank	Verbrennungs-motor	ja, aber sehr geringe Effizienz (ca. 38 %)	H <sub>2</sub> -Tankstelle
Brennstoffzellen-Fahrzeug (FCEV)	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> -Tank	Elektromotor	ja	H <sub>2</sub> -Tankstelle
Brennstoffzellen-Hybridfahrzeug (FCHEV)	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> -Tank	Elektromotor	ja	H <sub>2</sub> -Tankstelle
Plug-In-Hybrid-fahrzeug (PHEV)	Benzin/ Diesel & Strom	Kraftstoff-tank & Batterie	Verbrennungs-motor & Elektromotor	ja, mit Einschränkungen auf langen Fahrten	Tankstelle, Wallbox, (halb) öffentl. Ladesäule
Hybridfahrzeuge mit Range Extender (REEV)	Benzin/ Diesel & Strom	Kraftstoff-tank & Batterie	Verbrennungs-motor & Elektromotor	nein	Tankstelle
Gas-Fahrzeuge	LPG, CNG, Autogas	Gastank	Verbrennungs-motor	bedingt: nur bei Biogas, große Konkurrenz zur Nahrungsproduktion	Tankstelle
Voll-Hybridfahr-zeug (HEV <sub>full</sub> )	Benzin/ Diesel	Kraftstoff-tank & Batterie	Verbrennungs-motor & Elektromotor	nein	Tankstelle
Mild-Hybridfahr-zeug (HEV <sub>mild</sub> )	Benzin/ Diesel	Kraftstoff-tank & Batterie	Verbrennungs-motor & Elektromotor	nein	Tankstelle
Verbrennungs-motor (ICE)	Benzin/ (Bio-) Diesel	Kraftstoff-tank	Verbrennungs-motor	nein	Tankstelle

Quelle: eigene Darstellung, in Anlehnung an Blesel et al. (2009)

### 2.1.3 Vorteile und Grenzen alternativer Antriebstechnologien

Dieses Kapitel dient dazu, auf der Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln, die Unterschiede für den Nutzer weiter zu verdeutlichen und die Einflüsse, die auf den Konsument wirken, darzustellen. Die Förderung und Weiterentwicklung von alternativen Antriebstechnologien haben auf ganz unterschiedliche Bereiche einen Einfluss. Folgende Ebenen werden berührt:

- Nutzer,
- Umwelt,
- Ökonomie,
- Forschung und Entwicklung.

Nachfolgend werden die verschiedenen Aspekte kurz erläutert und deren Relevanz für die vorliegende Arbeit dargestellt. Die Unterschiede werden stets im Gegensatz zu konventionellen Fahrzeugen betrachtet.

#### Ökonomische und ökologische Unterschiede

Unter Verwendung von erneuerbaren Energiequellen kann die Fortbewegung mit einem alternativ angetriebenen Fahrzeug größtenteils CO<sub>2</sub>-neutral erfolgen. Bei Elektrofahrzeugen hängt die CO<sub>2</sub>-Bilanz wesentlich vom Strommix ab. In der Übergangszeit, in der der Strom noch zu großen Teilen aus Kohle und Gas erzeugt wird, ist dies problematisch<sup>23</sup>: Selbst wenn regenerativ erzeugter Strom zur Fortbewegung genutzt wird, fehlt dieser an anderer Stelle und muss mit konventionellem Strom bedient werden.

Die Höhe der CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Fahrzeugs gilt mittlerweile als Bewertungskriterium hinsichtlich dessen Effizienz, Umweltverträglichkeit und zu erwartender Betriebskosten für Treibstoffe. Bei Verbrennungsmotoren besteht ein linearer Zusammenhang zwischen verbranntem Kraftstoff und der emittierten CO<sub>2</sub>-Menge<sup>24</sup>. Da Strom aber auf vielfältige Weise erzeugt werden kann, besteht dieser eindeutige Zusammenhang bei alternativen Antriebstechnologien nicht.

---

23 Zu Ausbauplänen der Bundesregierung zur regenerativen Stromgewinnung siehe Deutscher Bundestag (1998).

24 Durch die Verbrennung von einem Liter Benzin entstehen ca. 2,33 kg CO<sub>2</sub>, Diesel (2,64 kg CO<sub>2</sub>), Autogas (1,64 CO<sub>2</sub>) (spritmonitor.de 2013)

Für die Bundesregierung stellt die Förderung alternativer Antriebstechnologien einen wichtigen Baustein im EEG zum Ausbau der erneuerbaren Energien dar. In ersten Feldversuchen wird untersucht, ob die Batterien der Fahrzeuge als stationäre Energiespeicher für volatile Energien verwendet werden können, während die Fahrzeuge an das Stromnetz angeschlossen sind (*smart grid*). Strom könnte in Schwachlastzeiten von den Fahrzeugbatterien in das Netz zurückgespeist werden (*vehicle-to-grid*). Elektromobilität kann somit in der Diversifizierung der Energieerzeugung und zur Ölunabhängigkeit des Verkehrssektors einen Beitrag leisten. Damit direkt verbunden ist die Reduzierung des Treibhausgasausstoßes im Verkehrssektor.

Ein weiteres Ziel der Bundesregierung, das sie mit der Förderung von alternativen Antriebstechnologien verfolgt, ist die Förderung der deutschen Automobilindustrie. Durch vielfältige Aktivitäten der Industriezweige Automobil und Energie entstehen Beschäftigungseffekte in diesen Bereichen sowie in den Bereichen Forschung und Entwicklung. Somit wirkt der Bereich der alternativen Antriebe auch als Motor der deutschen Wirtschaft. Deutschland soll als Leitmarkt der Elektromobilität etabliert werden.

Des Weiteren haben Elektrofahrzeuge und Fahrzeuge mit alternativer Antriebstechnologie den Vorteil, dass der Ausstoß von lokalen Emissionen gegenüber konventionellen Fahrzeugen stark reduziert ist. So werden die Feinstaubemissionen auf die Emissionen des Brems- und Reifenabriebs reduziert. Die Geräuschemissionen sind bis zu einer Geschwindigkeit bis ca. 45 km/h stark reduziert und Stickoxide sowie Rußpartikel werden lokal durch das Fahrzeug überhaupt nicht emittiert. Nach heutigem Strommix beschränken sich die Emissionen auf die jeweilige Energiegewinnungsform in den jeweiligen Kraftwerken. Die mit dem Elektroauto positiv konnotierten Effekte lassen sich zusammenfassen in:

- Effiziente Energieausnutzung,
- Erdölunabhängigkeit,
- Stadtverträglichkeit,
- Innovations- und Wirtschaftsmotor.

Nutzungsspezifische Unterschiede

Elektrofahrzeuge unterscheiden sich gegenüber konventionellen Fahrzeugen in ganz unterschiedlichem Ausmaß. Beim Karosseriedesign gehen die OEMs sehr unterschiedliche Wege. Toyota verpasst dem Hybridmodell Prius ein sehr

markantes und ungewöhnliches Design, das diesem Fahrzeug nicht nur antriebstechnisch, sondern auch designtechnisch ein Alleinstellungsmerkmal gibt. Auch Nissan (Leaf), Peugeot (iOn) und Renault (Zoe, Twizy) entwickeln für die Elektrofahrzeuge eigene Fahrzeug- und Designkonzepte. Andere Firmen machen optisch keine Unterschiede zwischen Verbrennungs- und Elektroantrieb (vgl. SMART ED, VW e-GOLF).

Das Raumangebot ist bei Elektrofahrzeugen teilweise etwas größer, da die Batterie im Bereich der Bodenplatte und der Antriebsmotor im Bereich zwischen Vorderrädern und/oder Hinterrädern angeordnet werden kann. So hat man teilweise einen Stauraum hinten und vorne. Das Schaltwerk in der Mittelkonsole entfällt komplett.

Die Beschleunigung ist je nach Stärke der Batterie- und der Motorleistung vergleichbar mit einem konventionellen Fahrzeug. Meist wird eine sehr viel stärkere Beschleunigung in den geringeren Geschwindigkeiten erreicht, da Elektromotoren ihr maximales Drehmoment sofort entwickeln und nicht wie Otto- oder Dieselmotoren erst in ihrem optimalen Umdrehungsbereich (Krems et al. 2011). So ist die Herstellerangabe für das Model S für die Beschleunigung von 0 auf 60 mph 4,6 Sekunden. Beschleunigung und Wendigkeit des MINI E Modells der Firma BMW wird als überraschend stark und agil bezeichnet. Der Fahrspaß wird hier von den allermeisten Testfahrern als hoch eingestuft (*ebd.*).

Reine Elektrofahrzeuge gibt es momentan fast nur in der Micro-, Kompakt- und Mittelklasse, da größere Fahrzeugklassen aufgrund ihres Gewichts und der dadurch resultierenden Batteriegröße nicht mehr finanziell darstellbar sind. Hier ist z. B. das Hamburger Unternehmen Karabag zu nennen, das das Modell Cinquecento (500) der Firma FIAT zu einem Elektroauto umbaut. Peugeot geht mit dem Modell Twizy designtechnisch neue Wege und bietet einen Kleinstwagen an, der als Quad zugelassen wird.

#### Reichweite und Ladedauer

Wie schon angesprochen stellen beim Elektroauto Reichweite und Ladedauer einen großen Unterschied zum konventionellen Fahrzeug dar. Bislang konnten Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor große Distanzen von rund 600 km - 1.000 km je nach Antriebsaggregat und Größe des Tanks mit nur einer Tankfüllung überwinden (Braess, Seiffert 2005). Das Zeitbudget für Mobilität wird durch den Tankvorgang nicht spürbar eingeschränkt und hatte auf die Planung des Weges für den Nutzer bislang kaum Einfluss. Dem Nutzer entsteht kein wesentlicher

Komfortverlust, sofern es eine flächendeckende Ladeinfrastruktur vergleichbar mit dem Tankstellennetz gibt.

Beträgt die Ladedauer aber 0,5 h (Schnellladung; ca. 80 % der Gesamtkapazität) bis 8 h (Normalladung; ca. 100 % der Gesamtkapazität), wie es momentan bei Elektrofahrzeugen der Fall ist, dann stellt die Ladekapazität der Batterie den limitierenden Faktor dar. D.h. die Ladekapazität der Batterie definiert den Einsatzradius des Fahrzeugs (Mitsubishi Motors 2011). Nach aktuellem Stand der Technik bewirken Schnellladungen ein schnelleres Altern der Batterien und somit eine geringere Verwendbarkeit und einen Wertverlust. Trotz langer Ladezeiten wird eine Reichweite von mehr als 200 km unter Idealbedingungen (moderate Temperatur, flaches Gelände, keine Zuladung) kaum erreicht. Unter Realbedingungen (Verwendung von Klimaanlage oder Heizung, Fahren in topographisch bewegten Gebiete, etc.) verkürzt sich die Reichweite meist stark.

Batteriegewicht und Ladekapazität stehen in einem ungünstigen Verhältnis zueinander. So geht eine Vergrößerung der Batterie mit einem starken Reichweitenverlust einher, um das enorme Eigengewicht der Batterie zu bewegen. Beim BMW i3 ist das Batteriegewicht mit 230 kg angegeben. Beim Renault Zoe macht die Batterie ein Gewicht von 290 kg aus (bild.de 2013). Für den Roadster der Firma Tesla sind 440 kg Batteriegewicht angegeben (wikipedia.de 2013a). Wobei das Batteriegewicht des Model S derselben Firma noch schwerer sein dürfte, da sowohl das Leergewicht<sup>25</sup> als auch die Reichweitenangaben höher sind. Modelle wie Nissan iMIEV bzw. Smart ED werden vom Hersteller mit einer Reichweite von rd. 135 km unter Normalbedingungen angegeben. In der Literatur finden sich Werte um die 200 km (Wallentowitz, Freialdenhoven 2011, S. 60).

Die Abschlussberichte der Modellregionen zeigen, dass die Reichweite<sup>26</sup> der Fahrzeuge von drei Vierteln der Nutzer als nicht ausreichend empfunden werden, um Mobilitätsgewohnheiten wie bisher durchführen zu können (Krems et al. 2011, S. 49). Die Ladedauer wurde hauptsächlich von den Testern als Problem wahrgenommen, die auf öffentliche Ladesäulen angewiesen waren.

Grundsätzlich werden Fahrzeuge mit großen Reichweiten bevorzugt. Immerhin würden aber 2013 von mehr Menschen geringere Reichweiten akzeptiert als noch 2011 (ADAC 2013, S. 2). Ein Elektrofahrzeug mit ähnlicher Reichweite wie ein konventionelles Fahrzeug zu bauen, gelingt heute nicht annähernd zu

---

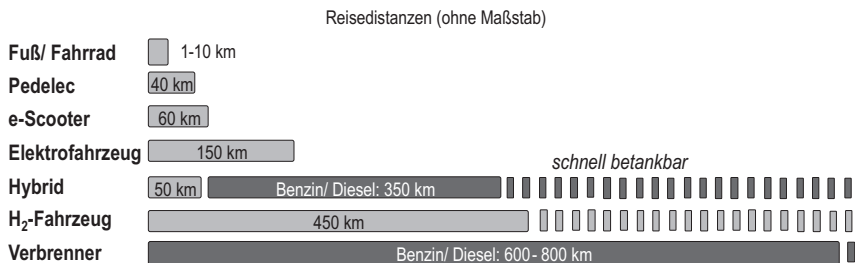
25 Das Leergewicht des Model S beträgt 900 kg mehr als das des Roadsters.

26 ca. 135 km (Angabe von BMW für MINI E); je nach Topographie, Temperatur, Fahrstil, Belastungszustand des Fahrzeugs kann die Reichweite stark verkürzt sein.

vergleichbaren Kosten. Die Frage scheint nicht zu sein, *ob* dies erreicht wird, sondern vielmehr *wann* und ob es in dieser Übergangszeit - Pearre et al. (2011) sprechen von ein bis zwei Jahrzehnten - eine ausreichend große Käuferschaft gibt, die die Mehrkosten dennoch tragen würde. Eine Auswertung von der längs-schnittorientierten Mobilitätsstudie (MOP) erbringt unter der Annahme einer täglichen Fahrleistung unter 70 km ein Verlagerungspotential von konventionellen auf Elektromobile von rd. 7,5 % mit dem Hinweis, dass das Potential auch geringer sein kann aufgrund von den hohen Anschaffungskosten von rd. 30.000 EUR für ein E-Fahrzeug (Chlund et al. 2012, S. 448).

Elektrisch unterstützte Fahrräder (Pedelegs<sup>27</sup>) wiederum haben große Vorteile gegenüber konventionellen Fahrrädern hinsichtlich der realisierbaren Reichweite. Hiermit können weitere Strecken und größere Steigungen mit einem sehr viel geringeren Kraftaufwand überwunden werden. Die Ladedauer stellt aufgrund der geringen Größe der Batterien kaum Einschränkungen dar. Abbildung 2 zeigt die unterschiedlich realisierbaren Reisedistanzen der unterschiedlichen Verkehrsmittel.

Abbildung 2: Reisedistanzen in Abhängigkeit von der Antriebstechnologie



Quelle: eigene Darstellung

<sup>27</sup> Pedelegs: Pedal Electric Vehicle oder Pedal Electric Cycle. Sie gelten rechtlich als Fahrräder solange die Motorleistung max. 250 Watt beträgt und die elektrische Unterstützung mit Treten progressiv bis 25 km/h erlischt. Es besteht weder Führerschein-, Versicherungs- noch Helmpflicht. Elektrofahräder mit größerer Motorleistung werden als S-Pedelegs oder E-Bikes bezeichnet.

#### 2.1.4 Abgrenzung der Antriebstechnologien für diese Arbeit

Dieses Kapitel dient zur Abgrenzung der Antriebskonzepte, die in dieser Arbeit untersucht werden. Die Betrachtung umfasst ausschließlich den motorisierten Individualverkehr. Die Möglichkeit des erdölunabhängigen Betriebs des Fahrzeugs stellt das entscheidende Abgrenzungskriterium dar. Unter Berücksichtigung der vorbenannten Eigenschaften der Antriebstechnologien betrifft dies nur reine Elektrofahrzeuge, Plug-in-Hybridfahrzeuge und Brennstoffzellenfahrzeuge<sup>28</sup>. Diese Fahrzeuge nutzen für den Antrieb als Energieträger entweder Strom oder Wasserstoff. Beide Energieträger können zu 100 % aus regenerativen Energiequellen erzeugt werden. Bei Elektrofahrzeugen muss daher, der Anschluss an das Stromnetz gegeben sein. Ferner sind mit diesen Fahrzeugen teilweise Nutzungseinschränkungen verbunden. Folgende vier Kriterien definieren die Antriebstechnologien, die in der vorliegenden Arbeit untersucht werden:

- **Elektrischen Reichweite:** Entfernung, die das Fahrzeug nur mit Energie aus der mitgeführten Batterie oder des mitgeführten Wasserstoff fahren.
- **Ladezeit:** Zeitspanne, die benötigt wird, um die Batterie bzw. den Wasserstofftank aufzuladen bzw. zu befüllen.
- **Energieträger:** Strom, Kraftstoffe, Wasserstoff
- **Verfügbarkeit der Lade- bzw. Tankinfrastruktur:** zeitliche und räumliche Entfernung zur nächsten Autostrom-Ladestation bzw. Wasserstofftankstelle

Nach Festlegung der Abgrenzungskriterien ist die Bezeichnung dieser Antriebstechnologien bzw. Fahrzeugkonzepte festzulegen. Der Begriff der Elektromobilität wird in dieser Arbeit weitestgehend vermieden, da dieser Begriff falsche Impulse bezüglich Fahrzeugen, die mit Strom angetrieben werden, setzen kann bzw. meist unscharf verwendet wird. Geht man von der Bedeutung des Mobilitätsbegriffes aus, wird die Möglichkeit beschrieben, eine Ortsveränderung durchführen zu können (vgl. Ahrend et al. 2013, S. 2). Folglich würde der Begriff der Elektromobilität die Möglichkeit einer Ortsveränderung mit einem elektrisch angetriebenen Fahrzeug darstellen. Elektrisch betriebene Fahrzeuge umfassen aber auch schienengebundene Fahrzeuge, Oberleitungsbusse, Segways, etc. Der Begriff wird aber derzeit fast ausschließlich für batterieelektrische und Hybridfahrzeuge verwendet. Laut Clausen und Schaumann (2012, S. 470) gibt es für den Begriff der Elektromobilität keine allgemeingültige Definition. Der Begriff

---

28 Fahrzeuge mit Wasserstoffverbrennungsmotor gehören auch in diese Kategorie, da diese Technologie, aber nicht weiterentwickelt wird, wird an dieser Stelle keine Unterscheidung zur Brennstoffzelle vorgenommen.

wird 2007 in Deutschland erstmals im integrierten Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung (BMU 2007, S. 8) als ein Baustein zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung im Verkehrssektor verwendet. Im nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität aus dem Jahre 2009 findet sich der Versuch einer Begriffsdefinition (Bundesregierung 2009a, S. 6). Hier werden Straßenfahrzeuge des Personenverkehrs, kleinere Nutzfahrzeuge, Zweiräder und Leichtfahrzeuge, Stadtbusse und andere nicht weiter definierte Fahrzeugtypen genannt. Die Definition umfasst rein elektrische Batteriefahrzeuge, Plug-in-Hybridfahrzeuge und Elektrofahrzeuge mit Range-Extender. Fahrzeuge, die mit dem Energieträger Wasserstoff betrieben werden (Wasserstoffverbrennungsmotor oder Brennstoffzelle), werden aus der Elektromobilität ausgeklammert, da sie durch das *Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie* gefördert und koordiniert werden (BMVBS 2008). Diese Definition fasst aus Sicht des Autors zu kurz, da zum einen Brennstoffzellen-Fahrzeuge durch einen Elektromotor angetrieben werden. Der Elektromotor wiederum wird durch die Umwandlung von Wasserstoff in elektrische Energie gespeist. Zum anderen müssten, wenn man den Begriff der Elektromobilität verwenden möchte, ebenso weitere elektrisch betriebene Fahrzeuge wie schienengebundene Fahrzeuge, Oberleitungsbusse etc. berücksichtigt werden.

Clausen und Schaumann (2012, S. 470) fassen unter dem Begriff der Elektromobilität für den Wirtschaftsverkehr alle Fahrzeuge zusammen, die elektrische Energie im Antriebsstrang des Fahrzeugs zur Fortbewegung nutzen. Dies umfasst alle Hybrid-Arten, reine Elektrofahrzeuge sowie Fahrzeuge, die Wasserstoff als Energieträger nutzen. Da in dieser Definition auch Hybridfahrzeuge eingeschlossen sind, die nicht an das Stromnetz mit einem Stromkabel angeschlossen und aufgeladen werden können, ist diese Definition ebenfalls nicht geeignet für eine Abgrenzung von alternativ betriebenen Fahrzeugen im Sinne der oben genannten Kriterien.

Aus Sicht des Autors ist der Begriff des Zero Emission Vehicle (ZEV) aus der angelsächsischen Literatur am treffendsten und vereint die vier oben benannten Kriterien. Im Folgenden wird meist die gängige Abkürzung ZEV für Fahrzeugkonzepte verwendet, die die drei genannten Fahrzeugkonzepte BEV; PHEV und FCEV umfasst.

### 2.1.5 Aktuelle Marktdurchdringung von Zero Emission Vehicles

Dieses Kapitel zeigt die Marktdurchdringung von Zero Emission Vehicle (ZEV) anhand aktueller Zulassungszahlen auf dem Neuwagenmarkt und den Anteil der deutschen Gesamtflotte. In Deutschland wurden im Jahr 2012 insgesamt 3.082.761 Pkw (VDA 2013) neu zugelassen<sup>29</sup>. Das Durchschnittsalter liegt bei 8,7 Jahren (KBA 2013), der Gesamtbestand umfasst rd. 43 Mio. Pkw (KBA 2012b). Die Verkaufszahlen von Elektrofahrzeuge liegen weit hinter den Erwartungen der Bundesregierung. Diese hat sich 2009 zum Ziel gesteckt, dass bis 2020 insgesamt eine Millionen Elektro-Autos<sup>30</sup> auf Deutschlands Straßen fahren (Bundesregierung 2009a). Dies würde einen Anteil von rd. 2,0 % an der deutschen Gesamtflotte bedeuten. Dieses Ziel scheint aufgrund der aktuell schleppenden Entwicklung schwer erreichbar zu sein. Die aktuellen Zulassungszahlen zeigen folgendes Bild: Ende 2012 waren in Deutschland insgesamt 4.541 BEV und PHEV zugelassen. Das entspricht bei einer Gesamtflotte von rd. 43 Millionen Pkw (zuzüglich vier Millionen Krafträder) einem Anteil von rund 0,01 %. Insgesamt sind in Deutschland rd. 53 Millionen Kfz angemeldet. Der Motorisierungsgrad liegt bei etwa 633 Pkw/ 1.000 Einwohnern (KBA 2012b). Die 47.642 zugelassenen HEV zählen nicht zum offiziellen Ziel der Bundesregierung, da diese Fahrzeuge nicht aus regenerativen Energiequellen angetrieben werden können (KBA 2012c). Insgesamt wurden im Jahr 2011 nicht mehr als 130 BEV für Privathaushalte zugelassen. Im darauffolgenden Jahr stiegen zwar die Zulassungszahlen von Elektrofahrzeuge etwas an<sup>31</sup>, dennoch ist die Skepsis groß, ob das Eine-Million-Ziel bis 2020 erreicht wird. Zum einen sind die Anschaffungskosten in dieser Übergangszeit im Gegensatz zu vergleichbar ausgestatteten Fahrzeugen sehr hoch. Zum anderen vertrauen viele Konsumenten neben der noch rudimentär ausgebauten Ladeinfrastruktur und dem geringen Angebot an Elektroautos der neuen Technik hinsichtlich Verlässlichkeit und Sicherheit noch nicht hundertprozentig. Dasselbe trifft auch für FCEV zu (Holzhausen 2004, S. 4).

---

29 Neuzulassung: Erstmalige Zulassung und Registrierung eines fabrikneuen Fahrzeugs mit einem Kennzeichen in Deutschland. Fahrzeuge, die bereits im In- oder Ausland zugelassen waren, fallen nicht darunter (KBA 2010, S. 3).

30 Hierzu zählen alle Fahrzeuge, die über einen Stecker an das Stromnetz angeschlossen werden können sowie Wasserstoff und Brennstoffzellenfahrzeuge.

31 2012 wurden in Deutschland 2.956 Elektrofahrzeuge und 21.438 Hybridfahrzeuge neu zugelassen. Bezogen auf die Neuzulassungen in Deutschland sind das etwa 1,5 %. Im Jahr 2011 wurden 2.154 Elektro- und 12.622 Hybridfahrzeuge neu zugelassen (mein-elektroauto.com (2012); KBA 2012a).

Neben einigen Fahrzeugmodellen kleinerer Start-ups, die in geringen Stückzahlen erhältlich sind, bringen nun auch die großen OEM<sup>32</sup> Elektrofahrzeuge (vor allem Hybridfahrzeuge) auf den Markt, die vorrangig in Ländern, in denen Regierungsprogramme zur Marktaktivierung alternativer Antriebe großzügige Käuferzuschüsse bereitstellen, stetig wachsende Absatzzahlen vorweisen können.

Das erste in Großserie produzierte *All-Electric-Vehicle* für Privatkunden ist das Modell LEAF der Firma Nissan (Cole 2013) und ist bisher das weltweit am meisten verkaufte BEV. Er wurde trotz des relativ hohen Kostengefüges zwischen Dezember 2010 bis Januar 2013 alleine in den USA insgesamt über 20.000 mal verkauft. Im Vergleich wurde der PHEV Chevrolet Volt (Baugleich mit OPEL Ampera) in der gleichen Zeitspanne über 32.000 mal verkauft.

Die Steuerpolitik in Norwegen fördert mit großen steuerlichen Vorteilen elektrische Antriebe. Dort ist eine maximale Steuerersparnis beim Nissan Leaf von umgerechnet einmalig rund 6.000 EUR möglich (Edelstein 2013).

In Dänemark hat das Model S der Firma Tesla Motors im August 2013 sogar einen größeren Absatz erfahren als der bisherige Bestseller VW Golf als Verbrenner-Version (Loveday 2013). Das gleiche Modell setzte sich in Norwegen im September an die Spitze der Verkaufsliste (King 2013)<sup>33</sup>. Im darauffolgenden Monat führte der Nissan Leaf die Verkaufszahlen in Norwegen an (Edelstein 2013). Der Gesetzgeber in Dänemark und in Norwegen erlässt beim Kauf von Elektrofahrzeugen die Neuwagensteuer und die Mehrwertsteuer. Dies kann je nach Fahrzeugmodell eine Ersparnis von bis zu 17.000 EUR bedeuten. Hinzu kommt der Erlass von Parkgebühren und die Möglichkeit der Mitbenutzung von Busspuren.

Der Vergleich der schwachen Verkaufszahlen in Deutschland und der hohen Zulassungsraten von ZEV in Ländern, wo Käufern von ZEV Steuervorteile und Sonderprivilegien eingeräumt werden, gibt einen ersten Hinweis darauf, dass steuerpolitisch die Marktdurchdringung von ZEV beeinflusst werden kann. Welchen Einfluss staatliche Anreizsysteme auf die Kaufentscheidung in Deutschland haben würden, soll die vorliegende Arbeit klären.

---

32 Erstausrüster (*engl. original equipment manufacturer*)

33 Der Vollständigkeit wegen muss hier erwähnt werden, dass Tesla in diesem Monat eine große Menge Fahrzeuge nach Norwegen überführt hat, für die schon Bestellungen in den vorangegangenen Monaten vorlagen. Die Zahl bezieht sich also vielmehr auf die Zulassungen, die geballt im Monat September stattfanden.

### 2.1.6 Bestehende Marktdurchdringungsszenarien für ZEV

Bestehende Marktdurchdringungsszenarien für den Pkw-Markt versuchen die Entwicklung Absatzzahlen von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Antriebstechnologien vorherzusagen. Marktabschätzungen gehen teilweise davon aus, dass bei einer Betrachtung der Kosten über den gesamten Nutzungszeitraum (TCO<sup>34</sup>) sich diese für alle Antriebarten bis ca. 2020 - 2025 in etwa angleichen werden (vgl. Blesl et al. 2009, McKinsey 2010b, 2010a, Roland Berger 2009; Bain 2010; FfE 2007, 2010; 2010). Der vorhergesagte Anteil an E-Fahrzeugen liegt je nach Studie zwischen 8 % und 50 % bis 2030 (vgl. Hacker et al. 2009; FfE 2010; Roland Berger 2009; HWWI 2009; King 2007, Öko-Institut 2009b, 2009a, 2009; PWC 2010). Die Anteile sind stark von den Annahmen zur Entwicklung der gesetzlichen Emissionsgrenzwerte und der Kosten für einzelne Fahrzeugkomponenten der unterschiedlichen Antriebstechnologien abhängig.

Neben den vorgestellten Marktdurchdringungsszenarien wurden von verschiedenen Institutionen Modelle entwickelt, die ebenso zur Marktdurchdringung von alternativ betriebenen Fahrzeugen dienen. Diese werden nachfolgend kurz dargestellt.

Karplus et al. (2010) untersucht anhand eines Modells (EPPA) des MIT<sup>35</sup> Maßnahmen und Faktoren, die die Marktpenetration von Plug-In-Hybriden bis zum Prognosejahr 2100 beeinflussen könnten und findet heraus, dass bei Mehrkosten von 80 % für einen PHEV gegenüber einem gleichwertigen konventionellen Fahrzeug eine Marktpenetration von PHEV trotz steigendem Erdölpreis<sup>36</sup> ausbleibt. Größere Möglichkeiten exogener Einflussfaktoren bei der Abschätzung zu Marktanteilen der unterschiedlichen Antriebstechnologien zu berücksichtigen, bietet das Prognose-Tool (VECTOR 21) des DLR<sup>37</sup> (Mock 2010; Friedrich, Schmid 2011, S. 124–132; Brokate et al. 2013). In die Berechnung des Modells fließen Steuerabgaben, Subventionen, Verbote u. Gebote, Emissionsgrenzwerte, Energie- und Kraftstoffpreisentwicklung und die Infrastrukturverfügbarkeit ein (vgl. Schmid et al. 2010). Hier wird der Versuch unternommen, die Einflussstärke von unterschiedlichen politischen Anreizsystemen und Rahmenbedingungen auf den Absatz-Markt von Pkw abzuschätzen, jedoch fehlt auch hier die Berücksichtigung des Konsumenten und dessen Verkehrsverhalten, um konkret

---

34 total cost of ownership

35 Massachusetts Institute of Technology

36 Die Grundannahme des Modells ist, dass der Ölpreis stärker wächst als der Strompreis.

37 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

sagen zu können, welchen ökologischen Effekt die verschiedenen Anreizsysteme auf die Einzelperson bzw. auf homogene Gruppen haben werden. Es kann nicht untersucht werden, welche Konsumenten auf die Anreizsysteme reagieren. Stets wird die Sicht einzig auf die Absatzzahlen aggregiert über die gesamte Bevölkerung gelenkt. Es wird vernachlässigt, zu untersuchen, ob Personengruppen, die man mit den Anreizsystemen erreichen würde, Personen sind, die derzeit im MIV oder im Umweltverbund unterwegs sind.

Andere Wege zur Zukunftsdarstellung sind z. B. in ifmo (2010) und in Ahrend et al. (2011) dargestellt. Hier werden anhand der Szenario-Technik Zukunftsbilder entwickelt, die mögliche Entwicklungen im Personen- und Wirtschaftsverkehr hinsichtlich alternativer Antriebskonzepte darstellen. Jedoch wird auch aus diesen Zukunftsbildern nicht deutlich, welche Personengruppen wie auf Anreizsysteme zur Förderung alternativer Antriebe reagieren werden.

Allen Szenarien ist jedoch gemeinsam, dass die Transformationszeit bis zum Verschwinden des Verbrennungsmotors, noch viele Jahre, wahrscheinlich sogar mehrere Jahrzehnte, andauern wird.

### 2.1.7 Staatliche Förderung alternativer Antriebstechnologien

Der Einsatz von staatlichen Fördergeldern zur Weiterentwicklung von alternativen Antriebstechnologien zielt vor allem auf die Weiterentwicklung der Antriebstechnologien von Pkw ab. Die deutsche Bundesregierung verabschiedet 2009, getrieben von den schon angesprochenen ambitionierten Klimazielen und den internationalen Aktivitäten zur Förderung der Elektromobilität der großen Automobilnationen, den *Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität* (Bundesregierung 2009a), um auch hierzulande die Forschung und Entwicklung alternativer Antriebstechnologien voranzutreiben. Mit rund 500 Millionen EUR fördert die Bundesregierung den Ausbau und die Marktvorbereitung der Elektromobilität aus dem Konjunkturpaket-II-Programm. Davon entfallen rund 130 Millionen EUR für Flottenversuche in *acht Modellregionen Elektromobilität* in den Jahren 2009 bis 2011, in denen unter anderem der Frage nachgegangen wird, ob die Fahrzeuge schon alltagstauglich sind (BMVBS 2011). Das umfasst die fahrzeugtechnische Verlässlichkeit sowie die Überwindung der sog. Reichweitenangst (*range anxiety*) (vgl. Neubauer, Wood 2014; Pearre et al. 2011, S. 12). Parallel läuft das mit 1,4 Milliarden EUR (50 % Förderung durch den Bund; 50 % Eigenanteil der Industrie) geförderte *Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)* mit einer Laufzeit von 2007

bis 2016 (BMVBS 2008) zur Forschung und Entwicklung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie.

Der BMVBS-Förderschwerpunkt Elektromobilität in Modellregionen erfährt nun eine Fortführung im Rahmen der vier *Schaufensterregionen Elektromobilität* mit einer Bundesförderung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit von weiteren 180 Millionen EUR<sup>38</sup> (BMU 2012; Bundesanzeiger 2011). Förderung erhalten Projekte mit Elektro-, Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeuge sowie Elektrofahrräder (Pedelecs) und Elektro-Scooter<sup>39</sup>:

Mit der Förderung der Elektromobilität werden folgende Ziele verfolgt:

- Schaffung von Alternativen zum „fossilen“ motorisierten Individualverkehr.
- Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen<sup>40</sup> gemäß den Klimaschutzvereinbarungen, die in der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen mit dem Ziel des Klimaschutzes erstmals in Kyoto 1997 beschlossen wurde.
- Stärkung der deutschen Automobilindustrie in Zeiten der Weltwirtschaftskrise mit Hilfen aus dem Konjunktur-II-Programm (Beschäftigungseffekte und Know-How-Sicherung im globalen Wettbewerb).
- Baustein der Energiewende, um volatile Energien in den Batterien von Elektroautos oder in Form von Wasserstoff speichern zu können und Lastspitzen im Stromnetz abpuffern zu können<sup>41</sup>.

International werden ebenfalls große Geldsummen zur Förderung von alternativen Antriebstechnologien zur Verfügung gestellt. Frankreich fördert zwischen 2009 und 2013 die Forschung und Entwicklung der Elektromobilität mit 400 Millionen Euro (vgl. Deutsche Bank 2009, S. 3). Die chinesische Regierung unterstützt die Forschung und Entwicklung von effizienteren Antriebstechnologien zwischen 2009 - 2011 mit umgerechnet rund einer Milliarde Euro und wendet weitere zwei Milliarden Euro in zehn Modellregionen für die Entwicklung

---

38 Die Projekte erhalten eine 50 % Förderung, d.h. weitere 180 Mio. € werden durch Industrie und Wirtschaft zur Verfügung gestellt.

39 Im Rahmen der Modellregionen Elektromobilität werden auch Projekte zur Elektrifizierung des Wirtschaftsverkehrs gefördert, die aber im Rahmen dieser Dissertationsschrift nicht betrachtet werden.

40 und weitere Emissionen, wie NO<sub>x</sub>, Feinstaub (PM<sub>2,5</sub> oder PM<sub>10</sub>), Lärm, etc.

41 Die Möglichkeit der Speicherung von regenerativen Energien in den Akkus der Elektroautos, die am Stromkabel hängen, in Zeiten hoher Energieproduktion und die Möglichkeit der Abgabe in das Netz, während Schwachlastzeiten, ist derzeit noch nicht realisierungsfähig. Technologische, rechtliche, finanzielle und verhaltensabhängige Zwänge, stellen derzeit noch zu hohe Hürden für diese Technologie dar.

und Erprobung von rund 10.000 Fahrzeugen auf. Auch die USA gibt rund zwei Milliarden Euro für die Entwicklung von Energiespeichersystemen und Komponenten für Elektrofahrzeuge an Forschungseinrichtungen und die Automobilindustrie. Weitere 400 Millionen USD werden zur Erprobung von Ladeinfrastrukturen und Alltagstauglichkeit investiert. Die japanische Regierung unterstützt mit umgerechnet 200 Millionen USD die Weiterentwicklung von Energiespeichersystemen für Elektroautos in den Jahren 2009 bis 2014 (Bundesregierung 2009a, S. 15).

### 2.1.8 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Gesellschaft hinsichtlich der Antriebstechnologien von Kraftfahrzeugen in einer Transformationsphase von konventionellen zu alternativen Antriebstechnologien befindet. Die deutsche Bundesregierung bekennt sich, diese Transformation aktiv mitzugestalten. Sie unterstützt Forschung und Entwicklung mit mehreren hundert Millionen Euro (vgl. 2.1.7). Die Transformationsphase wird noch Jahrzehnte davon geprägt sein, dass es eine Vielzahl an unterschiedlichen Antriebskonzepten geben wird. Studien zu Diffusionsraten von alternativen Antriebstechnologien zeigen, dass bis 2030 die Verbrennungstechnologie noch nicht gänzlich verdrängt wird. Daher ist die Frage berechtigt, wie durch politischen Einfluss die Kaufentscheidung von Konsumenten beeinflusst werden kann, dass bei einem Pkw-Neukauf verstärkt alternativ betriebene Fahrzeuge in Betracht gezogen werden.

Es wurde gezeigt, welche Fahrzeugkonzepte unter dem Begriff Zero Emission Vehicle (ZEV), die in dieser Arbeit untersucht werden. In 2.1.1 und 2.1.2 wurde ein knapper Überblick über die Hauptentwicklungsgruppen der Antriebstechnologien und der Energiespeichersysteme gegeben. Lithium-Ionen-Akkus scheinen für Elektrofahrzeuge aufgrund ihrer hohen Leistungsdichte in Bezug auf das Gewicht und der hohen Zyklfestigkeit nach derzeitigem Entwicklungsstand eine geeignete Speicherform darzustellen. Jedoch sind große Leistungssprünge in der Batterie- und Energiespeichertechnologie mittelfristig nicht zu erwarten. Die Produktionskosten werden mit steigenden Produktionszahlen weiter sinken, jedoch werden diese Kostensenkungen, durch den Wunsch die Reichweite weiterhin zu vergrößern, überkompensiert.

Die Möglichkeit bei einer Stromüberproduktion Wasserstoff aus regenerativen Energien herstellen zu können, macht auch diesen Energieträger für die Zukunft sehr interessant. Beiden Energiesystemen ist gemeinsam, dass sie, solange bei der

Energieerzeugung fossile Energieträger verwendet werden, ebenso wie Benzin oder Diesel zum Eintrag von CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre beitragen. Dennoch haben sie den Vorteil, dass sie sehr viel weniger lokale Emissionen als konventionelle Fahrzeuge erzeugen. Dies ist gerade in Städten, wo viele Menschen direkt von Emissionen betroffen sind, ein großer Vorteil. Ebenso stellen diese Energiespeicherformen eine Möglichkeit der Aufrechterhaltung der Individuellen Mobilität unabhängig vom Erdöl dar (vgl. 2.1.2).

In Kapitel 2.1.3 wurden die Vorteile und Grenzen von alternativen Antriebstechnologien diskutiert. Aufgrund der verschiedenen technologischen Einschränkungen bzw. Vorteile (z. B. reduzierte Lärmemissionen) der unterschiedlichen ZEV werden diese Fahrzeuge für unterschiedliche Anwendungsfälle interessant. Die Hybridtechnologie (HEV und PHEV) überwindet derzeit die technischen Einschränkungen von reinen Elektrofahrzeugen und stellt momentan das absatzstärkste Fahrzeugkonzept dar. Forschungsaktivitäten sind geprägt von der Untersuchung von Einsatzpotenzialen sowie der Alltagsverlässlichkeit von ZEV. Bei den batterieelektrischen Fahrzeugen ist die schnelle Weiterentwicklung (Leistungsdichte und Kosten) der jeweiligen Energiespeichersysteme für eine Marktdurchdringung entscheidend<sup>42</sup>. Es ist davon auszugehen, dass Elektroautos auch mittelfristig gewissen Einschränkungen gegenüber konventionellen Fahrzeugen unterliegen bzw. mit höheren Anschaffungskosten verbunden sind.

Dennoch stellen Elektroautos einen wichtigen Baustein sowohl bei der Transformation des Verkehrssektors als auch bei der Energiewende dar und können einen Beitrag zum Umweltschutz leisten.

Die Einteilung der Antriebstechnologien erfolgt anhand der Kriterien ‚Einschränkung für den Nutzer (Reichweite/ Ladedauer)‘, ‚Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur‘ und ‚Möglichkeit der Nutzung von regenerativen Energien als Primärenergie‘. In der vorliegenden Arbeit werden folgende Antriebskonzepte unterschieden:

---

42 Größte Unbekannte ist die Gesetzgebung: wird z. B. die CO<sub>2</sub>-Emissionsgrenze drastisch herabgesetzt oder gar eine Antriebstechnologie verboten, kann ein sehr schneller Systemwechsel bewirkt werden: In China ist die Nutzung von Zweirädern mit Verbrennungsmotor in Stadtzentren seit 1998 verboten. Der jährliche Absatz von Elektrofahrrädern und Elektroscootern wuchs innerhalb von 10 Jahren von 56.000 auf 21 Mio. Stück Yang 2010, S. 831.

- **Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV),**
  - **Plug-in Hybrid Fahrzeuge (PHEV),**
  - **Brennstoffzellen Fahrzeuge (FCEV)**
- und
- **Fahrzeuge mit konventionellem Verbrennungsmotor (ICV<sup>43</sup>).**
- } **Zero Emission Vehicles (ZEV)**

In Kapitel 2.1.5 wurde gezeigt, dass die Diffusionsrate von ZEV im deutschen Markt noch sehr gering ist. In Deutschland wurde 2012 insgesamt nur 2.956 ZEV zugelassen.

Des Weiteren wurde gezeigt, dass in bestehenden Marktabschätzungen der Konsument, dessen Präferenzen zu alternativen Antriebstechnologien sowie dessen Verkehrsverhalten nicht Bestand der Untersuchungen ist. Es ist zu vermuten, dass große Unterschiede beim Pkw-Kauf bezüglich der Antriebstechnologie in der Bevölkerung bestehen. Bestehende Marktabschätzungen betrachten stets den Absatzmarkt und nicht den einzelnen Konsumenten beziehungsweise Personengruppen, die sich anhand von Alter, Geschlecht, Einkommen, Bildungsniveau, Wohnort, etc. unterscheiden. Des Weiteren wurde gezeigt, dass die bestehenden Marktabschätzungen keine Rückschlüsse auf das Verkehrsverhalten der Konsumenten zulassen bzw. berücksichtigen. Dies ist aber aus verkehrsplanerischer Sicht notwendig, um auch jene Personengruppen mit gezielten Anreizsystemen erreichen zu können, die die Zielgruppe darstellen, also Personengruppen, die aktuell im MIV mit einem konventionellen Fahrzeug unterwegs sind. Nur dann kann das Substitutionspotenzial von konventionellen Fahrzeugen gegen alternativ angetriebene Fahrzeuge voll ausgeschöpft werden.

Um gezielt Anreizsysteme anbieten zu können, ist eine Auseinandersetzung mit den entscheidungsrelevanten Einflussfaktoren der Pkw-Kaufentscheidung notwendig. Dieses Thema wird im folgenden Kapitel detailliert betrachtet.

---

43 Internal Combustion Engine Vehicle

## **2.2 Einfluss Faktoren auf die Pkw-Kaufentscheidung unter Berücksichtigung von alternativen Antriebstechnologien**

Will man gezielt Anreize für den Konsumenten zur Förderung von alternativen Antriebstechnologien einführen, ist die Kenntnis der entscheidungsrelevanten Einflussfaktoren auf die Pkw-Kaufentscheidung sowie die Präferenzen verschiedener Konsumentengruppen notwendig. Die Vorteile und Grenzen von alternativen Antriebstechnologien, die im vorangegangenen Kapitel vorgestellt wurden, spielen hier eine entscheidende Rolle, da sie zusätzliche Aspekte in die Abwägung der Auswahlentscheidung einbringen. Anhand der Kenntnis der entscheidungsrelevanten Einflussfaktoren beim Kauf von ZEV werden in der vorliegenden Arbeit Präferenz-Modelle hinsichtlich der Antriebstechnologie entwickelt. Weiter wird untersucht, welchen Einfluss unterschiedliche Anreizsysteme auf die Auswahlentscheidung von Personengruppen mit homogenen soziodemographischen und sozioökonomischen Merkmalen sowie verkehrsverhalten-homogene Personengruppen haben.

Hierzu wird zunächst der Kaufentscheidungsprozess im Allgemeinen betrachtet. Daraufhin werden kaufentscheidungsrelevante Kriterien beim Pkw-Kauf beleuchtet, um abschließend die entscheidenden Kriterien beim Kauf von alternativ angetriebenen Pkw zu identifizieren. Am Ende des Kapitels folgt die Ableitung der Hypothesen, die im empirischen Teil der Arbeit untersucht werden.

### **2.2.1 Der Kaufentscheidungsprozess unter Berücksichtigung alternativer Antriebe**

Die Akzeptanz gegenüber dem Thema alternative Antriebe ist bei Konsumenten mittlerweile hoch. So können sich nach einer Studie des Umweltbundesamtes rd. 60 % der Befragten vorstellen, ein E-Auto einmal auszuprobieren, rd. 80 % finden die Technik faszinierend und 93 % sehen in Elektroautos eine umweltfreundliche Alternativen zu konventionellen Verbrennern (UBA 2013, S. 31). Dennoch besteht eine große Diskrepanz zwischen diesen Ergebnissen und der tatsächlichen Diffusionsrate von ZEV. 87 % der Befragten erachten die Anschaffungskosten von ZEV als zu hoch (ebd.). Im Folgenden wird der Kaufentscheidungsprozess dargestellt und untersucht, an welchen Stellen Anreizsysteme ansetzen müssen, um einen tatsächlichen Einfluss beim Konsumenten hervorzurufen.

Die Kaufentscheidung kann als der gesamte Prozess von der Produktwahrnehmung bis zur Produktauswahl bezeichnet werden. Im engeren Sinne stellt die

Kaufentscheidung das Zustandekommen des Kaufentschlusses dar, der wiederum individuell oder kollektiv (z. B. im Familienverband) getroffen werden kann“ (vgl. Gabler 2014). Befinden sich Kinder in der Familie, nimmt deren Einfluss auf die Kaufentscheidung mit steigendem Alter<sup>44</sup> zu (Meffert 1992). Der Kaufentscheidungsprozess von Privatpersonen unterscheiden sich grundlegend von unternehmerischen Entscheidungen.

In der vorliegenden Studie werden nur Pkw-Kaufentscheidungen von privaten Haushalten betrachtet. Kaufentscheidungen lassen sich nach Berndt (1990, S. 36) folgendermaßen typisieren:

- Impulsiv,
- gewohnheitsmäßig (habitualisiert),
- extensiv und
- vereinfacht (limitiert).

Der Pkw-Kauf lässt sich nicht eindeutig einem Kaufentscheidungstyp zuordnen. Vielmehr kann er allen vier Typen je nach Entscheidungsträger und dessen aktueller Situation zugeordnet werden. Zunächst stellt der Pkw-Kauf aufgrund der Langfristigkeit des Gutes Pkw und der damit verbundenen Kosten eine eher extensive Kaufentscheidung dar. Doch fängt der Entscheidungsprozess nicht erst dann an, wenn die Entscheidung für eine Neuanschaffung getroffen ist. Da Autos quasi omnipräsent im Straßenraum und in den Medien vertreten sind, bilden Konsumenten fortwährend - bewusst und unbewusst - Vorentscheidungen, was Marke, Modell, Größe und Antriebsart angehen (Mueller, de Haan 2009, S. 1973). Schwergewichtige Entscheidungseinflüsse stellen der Anschaffungspreis, das Modell (Fahrzeugtyp), die Marke und die Antriebsart dar (ebd.). Durch die bei vielen Konsumenten beobachtbare Markentreue lässt sich der Autokauf also auch zu den habitualisierten Käufen zuordnen. Der Autokauf kann somit auch zu den vereinfachten Kaufentscheidungen zugeordnet werden. Da der Pkw durch Marketingstrategien und Medien stark mit Emotionen aufgeladen ist, wird der rationale Pkw-Kauf auch von emotionalen Aspekten beeinflusst. „Denn Kaufentscheidungen werden zwar rational begründet, aber häufig emotional getroffen“ (Esch et al. 2013, S. 199). Es stellt sich also die Frage, welche Motive stehen hinter dem Autokauf? Diese Frage wird im folgenden Kapitel beleuchtet.

---

44 Grundsätzlich steigen Pkw-Besitz und Pkw-Nutzung mit zunehmender Familiengröße an (Steding 2004, S. 74).

### Allgemeine Motive für den Pkw-Besitz

Betrachtet man die Motive bzw. die Beweggründe für den Pkw-Besitz, stellt immer noch der Transport von Waren und Gütern und/oder von Menschen durch den Raum einen der wichtigsten Gründe dar. Die Nutzung des Pkw gegenüber dem ÖPNV oder dem Fahrrad wird von vielen als schneller, sicherer (Schutz im Dunkel) und komfortabler wahrgenommen (Wright, Egan 2000, S. 289). Auch wird oft die Verwendung des eigenen Pkw als die günstigere Alternative (im Gegensatz zum ÖPNV) wahrgenommen. Bei großen Distanzen und langwierigen Umsteigebeziehungen stellt die Nutzung von ÖPNV und Fahrrad einen zu großen Zeitverlust für den Nutzer dar. Weitere Motive lassen sich durch Veränderungen in der Haushaltsstruktur ableiten. So nimmt die Motorisierung mit der Geburt von Kindern beispielsweise zu (Scheiner 2009, S. 177–178).

Im Folgenden kann nicht die gesamte Kaufentscheidungstheorie samt aller Motive, die für den Pkw-Besitz entscheidend sind, wiedergegeben werden. Dennoch werden die für diese Arbeit aus Sicht des Autors relevanten Erkenntnisse zum Pkw-Kaufverhalten von Privatpersonen dargestellt. Anschließend werden die Motive zum Kauf eines Fahrzeugs mit alternativer Antriebstechnologie betrachtet.

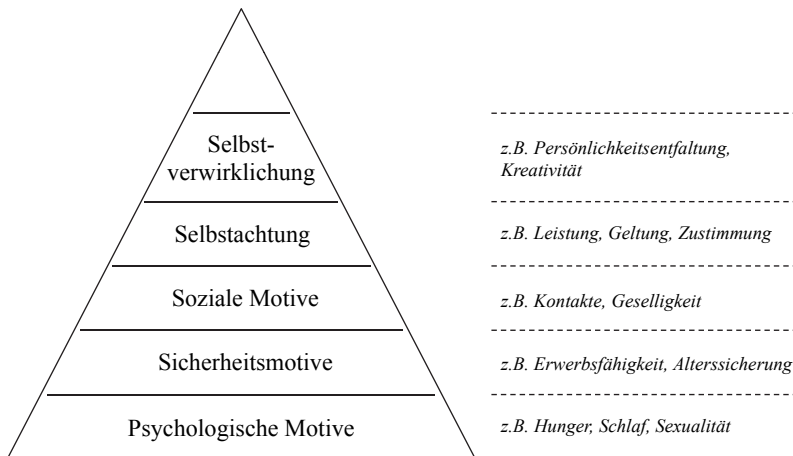
Es lässt sich feststellen, dass das Auto nicht mehr nur ein Gefährt ist, mit dem Personen und Güter transportiert werden können, sondern für viele Menschen einen geliebten emotionalen Gegenstand darstellt. Noch 1995 bezeichnete Sperling die Verbindung zwischen Auto und Mensch sogar als eine „love affair“. „The fact is people value cars. They buy cars as soon as they can afford them, and they prefer them to other means of transport“ (Sperling et al. 1995, S. 6). Das Auto bietet beispiellose Freiheit, Privatsphäre, Bequemlichkeit und Sicherheit. Gilt teilweise sogar als „Triebfeder für die heutige Art zu leben“ (Oehm 2000, S. 1). So lässt sich der Pkw-Besitz anhand von Motiven, die mit dem Besitz eines Pkw befriedigt werden können, erklären. Das Kaufverhalten von Konsumenten lässt sich anhand von intra- und interpersonalen Ansätzen erklären (Meffert 1992). Intrapersonale Erklärungsansätze betrachten aktivierende, kognitive und persönlichkeitspezifische Einflussfaktoren (sog. Determinanten). Interpersonale Ansätze beschreiben den Einfluss, der von anderen Menschen auf den Konsumenten wirkt.

Aktivierende Determinanten wie Emotionen, Einstellungen und Motive (vgl. Abbildung 5) haben einen großen Einfluss auf das Kaufverhalten (vgl. ebd., S. 46). Das Produktmarketing versucht aktivierende Prozesse (*psychische*

*Determinanten*) beim Verbraucher über beispielsweise Werbung anzusprechen (Anregen von Emotionen, Erwecken von Bedürfnissen). Mithilfe der Motivationsstheorie nach Maslow (1954; 1981) wird versucht, Kauf-Motive anhand einer Hierarchisierung der unterschiedlichen Motive zu erklären (vgl. Abbildung 3).

Demnach wird das übergeordnete Motiv erst verhaltensrelevant, wenn das darunterliegende Motiv befriedigt ist. So sind nach Berndt (1990, S. 45) auf der untersten Hierarchieebene physiologische Motive wie Hunger, Schlaf und Sexualität genannt. Danach folgen in der Motivationshierarchie Sicherheitsmotive, soziale Motive, Selbstachtung und zu Oberst das Motiv der Selbstverwirklichung.

Abbildung 3: Motivhierarchie nach Maslow



Quelle: Maslow (1981), Meffert (1992, S. 53), Berndt (1990, S. 46)

Bezogen auf die Autokaufentscheidung spielen neben technischen Merkmalen auch emotionale Aspekte wie Farbe und Design der Karosserie, Fahrspaß oder auch das Image der Marke, über die u. a. Gruppenzugehörigkeit, Zuverlässigkeit, Umweltbewusstsein, etc. transportiert wird, eine wichtige Rolle. Werbung versucht direkt diese Emotionen des Rezipienten anzusprechen. So können beispielsweise positive Gefühle wie Interesse, Freude oder Überraschung angesprochen werden. Emotionen versetzen den menschlichen Geist in einen Zustand, der die Bildung von Beziehungen (auch zu Gegenständen) begünstigt, Entscheidungsprozesse anregt und die psychische Leistung steigert (Meffert 1992, S. 48–49). Autohersteller versuchen genau diese Emotionen mit ihrer Marke zu

verbinden. So verbindet z. B. die Firma BMW ihren Markennamen mit dem Slogan *Freude am Fahren*, die Automarke SEAT gar mit *Auto Emoción*. Über die Marke wird versucht anhand der Vermittlung von positiven Gefühlen und Emotionen das Vertrauen und die Sympathie des Konsumenten zu gewinnen (vgl. Gutjahr 2011, S. 70). Konsumenten bilden sich fortwährend eine Meinung über Fahrzeuge (Marke, Fahrzeugtyp, Motorisierung, etc.), die am Markt angeboten werden (Punj, Brookes 2002, S. 384). So rücken letztendlich beim Kaufentscheidungsprozess beispielsweise nur noch wenige Marken in die engere Auswahl (*relevant set*). „Die Erfahrung zeigt, dass im Relevant Set meist nur zwei bis drei Marken vertreten sind. Aufgrund der Verhaltensrelevanz stellt die Präsenz im Relevant Set – hauptsächlich als First-Choice- und Second-Choice-Marke – einen aussagekräftigen Indikator für das Marktpotenzial einer Marke dar“ (Gutjahr 2011, S. 71).

#### Motive für den Kauf von Zero Emission Vehicles

Das Auto kann Motive auf allen fünf Ebenen der Maslow'schen Pyramide befriedigen (Wright, Egan 2000, S. 289). So kann das Auto neben den eher greifbaren Motiven wie dem Waren- und Personentransport, auch Wärme, Zuflucht, Sicherheit und Schutz bieten (untere Ebenen der Pyramide). Es kann aber auch eine soziale Umgebung (z. B. bei Familienwochenendausfahrten) bieten (mittlere Ebene). Auf der Stufe der Selbstachtung beziehungsweise des Prestiges stellt das Auto (teilweise noch) ein kraftvolles Statussymbol dar. Wobei hier Gegentendenzen in den westlichen Industrienationen und Japan zu erkennen sind. Auf der obersten Hierarchiestufe kann durch den Besitz eines Autos und dessen Images die eigene Persönlichkeit ausgedrückt werden. Wright und Egan (2000, S. 289) gehen sogar so weit, dass das Auto eine Verlängerung der menschlichen Gliedmaßen darstellt bzw. uns kräftiger und energetischer macht. Bei der Bildung einer Automarke wird versucht eher die oberen Pyramidenstufen zu erreichen, da hier Differenzierung und Alleinstellungsmerkmale einfacher zu realisieren sind und über die Ansprache von Emotionen stärkere Bindungen erreicht werden können, als bei der Befriedigung von Grundbedürfnissen, wie z. B. das Zurücklegen einer Strecke von A nach B.

An dieser Stelle können nicht alle Kaufmotive für die allgemeine Pkw-Kaufentscheidung dargestellt werden. Es werden nur die Motive dargestellt, die die Kaufentscheidung hinsichtlich eines alternativ angetriebenen Fahrzeugs begünstigen. Es lassen sich fünf Kategorien unterscheiden (vgl. Ozaki, Sevastyanova 2011, S. 2219–2220):

- Finanzielle Vorteile/ Vorteilnahme durch Gesetzgebung,
- Umweltschutz,
- Technikaffinität,
- „Grüne“ Wertvorstellung und
- Ölpreisunabhängigkeit.

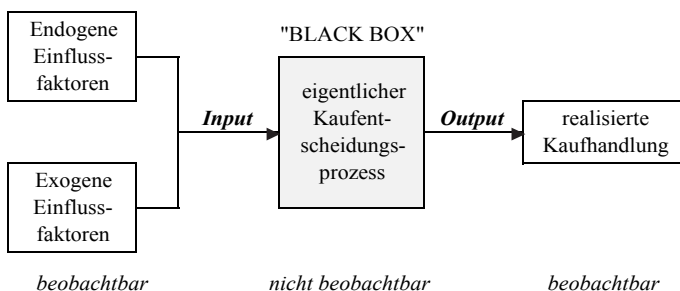
Die oben genannten Motive sind von Person zu Person sehr unterschiedlich ausgeprägt. Alternativ betriebene Fahrzeuge können einzelne oder mehrere dieser Motive befriedigen bzw. teilweise befriedigen.

Im folgenden Kapitel werden die Einflussfaktoren beleuchtet, die die Auswahl von ZEV begünstigen bzw. ausschließen. Anhand dieser Einflussfaktoren werden die entscheidungsrelevanten Kriterien abgeleitet, deren Einfluss auf die Auswahl der Antriebstechnologie modellseitig im empirischen Teil untersucht werden soll.

#### Kaufentscheidungsmodelle

Anhand von Modellen versucht man Pkw-Kaufentscheidungen nachzubilden und prognosefähige Modelle zu entwickeln (Mueller, de Haan 2009). Bei der Abbildung von Kaufentscheidungsprozessen ist zu beachten, dass nur Teile des gesamten Prozesses beobachtet werden können (Berndt 1990, S. 38). So können endogene (z. B. Personenmerkmale) und exogene Faktoren (z. B. Umwelteinflüsse) sowie die realisierte Kaufhandlung beobachtet werden. Der eigentliche Prozess, wie er sich im Kopf des Konsumenten abspielt, kann nicht beobachtet werden. Er wird nach Berndt (1990) als *black box* dargestellt.

Abbildung 4: Schematische Darstellung des Kaufentscheidungsprozesses eines Konsumenten

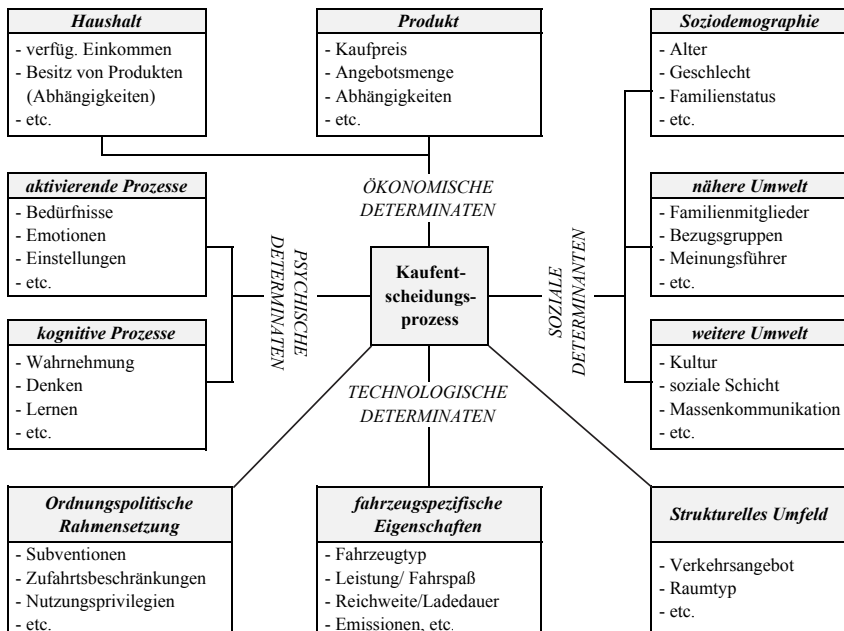


Quelle: Berndt (1990)

Anhand von Strukturmodellen wird versucht, die einzelnen Entscheidungsteilprozesse der Kaufentscheidung nachzubilden und diese *black box* zu erhellen. Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt nicht in der Erklärung dieser *black box*, sondern vielmehr in der Untersuchung der Einflussmöglichkeiten auf die Kaufentscheidung anhand von Anreizen. Daher ist es notwendig, die Einflussfaktoren auf die Kaufentscheidung und deren Wirkungsgefüge detailliert zu betrachten.

Das Konsumentenverhalten wird neben den (infra-)strukturellen und ordnungspolitischen Rahmenseetzungen durch psychische, soziale, ökonomische und technologische Einflussfaktoren (sog. Determinanten) beeinflusst (ebd., S. 39). Als äußere Rahmenbedingungen, die auf den Entscheidungsprozess wirken, zählt das strukturelle Umfeld (z. B. Verkehrsangebot) und die ordnungspolitischen Rahmenseetzungen (z. B. Steuerabgaben). Zu den psychischen Determinanten zählen aktivierende Prozesse wie Motive, Emotionen und Einstellungen, aber auch kognitive Prozesse wie z. B. die Wahrnehmung des Konsumenten. Zu den ökonomischen Determinanten zählt auf der Haushaltsseite das Einkommen bzw.

Abbildung 5: Schematische Darstellung der Einflussfaktoren auf den Pkw-Kaufentscheidungsprozess



Quelle: eigene Darstellung; beeinflusst von Berndt (1990, S. 39–41) und Meffert (1992)

das verfügbare Budget und auf der Produktseite die Anschaffungskosten, laufende Kosten (Treibstoff, Kfz-Steuer, Versicherung, etc.), aber auch unregelmäßige Kosten (Reparaturkosten, Verschleißteile, etc.). Die sozialen Determinanten, die auf den Konsumenten und dessen Entscheidung wirken, sind u. a. die Soziodemographie, soziale Herkunft und der Einfluss der Familie. Die technologischen Einflussfaktoren bei alternativ angetriebenen Fahrzeugen sind die Ladedauer, die Reichweite mit einer Vollladung sowie die Emissionen, die das Fahrzeug abgibt. Aber auch der Fahrzeugtyp oder der Fahrspaß (meist abhängig von der Motorleistung bzw. dem Drehmoment), sind hier zu nennen.

Abbildung 5 zeigt eine schematische Darstellung der Determinanten auf den Kaufentscheidungsprozess beim Pkw-Kauf von Privatpersonen.

Kriterien für den Kauf von Zero Emission Vehicles

Im vorangehenden Kapitel wurde gezeigt, dass der Entscheidungsprozess zum Kauf eines Zero Emission Vehicles von vielen Einflussfaktoren abhängt. Aus diesen Einflussfaktoren werden in diesem Kapitel Kriterien abgeleitet, die als operationalisierbare Variablen modellseitig abgebildet werden können. Diese Kriterien stiften dem Konsumenten jeweils einen Teilnutzen. Dieser kann positiv als auch negativ sein. Die Haushaltstheorie bedient sich diesem Konstrukt, geht aber von einem völlig rational handelndem Individuum aus (*homo oeconomicus*), das nach dem Nutzenmaximierungsprinzip den höchsten Nutzen unter Einsatz eines verfügbaren Budgets und vorgegebenem Produktpreis einen möglichst hohen Erfolg erzielen möchte (Schumann et al. 2011, S. 47). Dabei müssen die Ausgaben für alle Produkte unter dem Haushaltseinkommen bleiben (Berndt 1990, S. 43). Die Nutzenfunktion kann nach Schumann et al. (2011, S. 50) wie in (1) beschrieben werden:

$$U = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

mit:

$U$  = Gesamtnutzen und

$x_n$  = Verbrauchsmengen.

Zuvor wurde ausführlich dargestellt, dass der Kaufentscheidungsprozess jedoch nicht nach rein rationalen Abwägungen erfolgt. Gerade auch der Pkw-Kauf ist von vielen nicht-rationalen Einflüssen geprägt. Die Theorie des rein rational handelnden Individuums greift hier zu kurz, da auch nicht-preisbehaftete Faktoren dem Individuum einen Nutzen bzw. Teilnutzen stiften kann. Um diesen

Umstand Rechnung zu tragen, müssen weitere Faktoren in die Nutzen-Funktion einfließen, um die Kaufentscheidung realistisch abbilden zu können. Weiterentwicklungen der Haushaltstheorie führen einen stochastischen Term ein, der den nicht beobachtbaren Einfluss beinhaltet. In Kapitel 3.2.6 werden diese Weiterentwicklungen der einfachen Haushaltstheorie detailliert betrachtet.

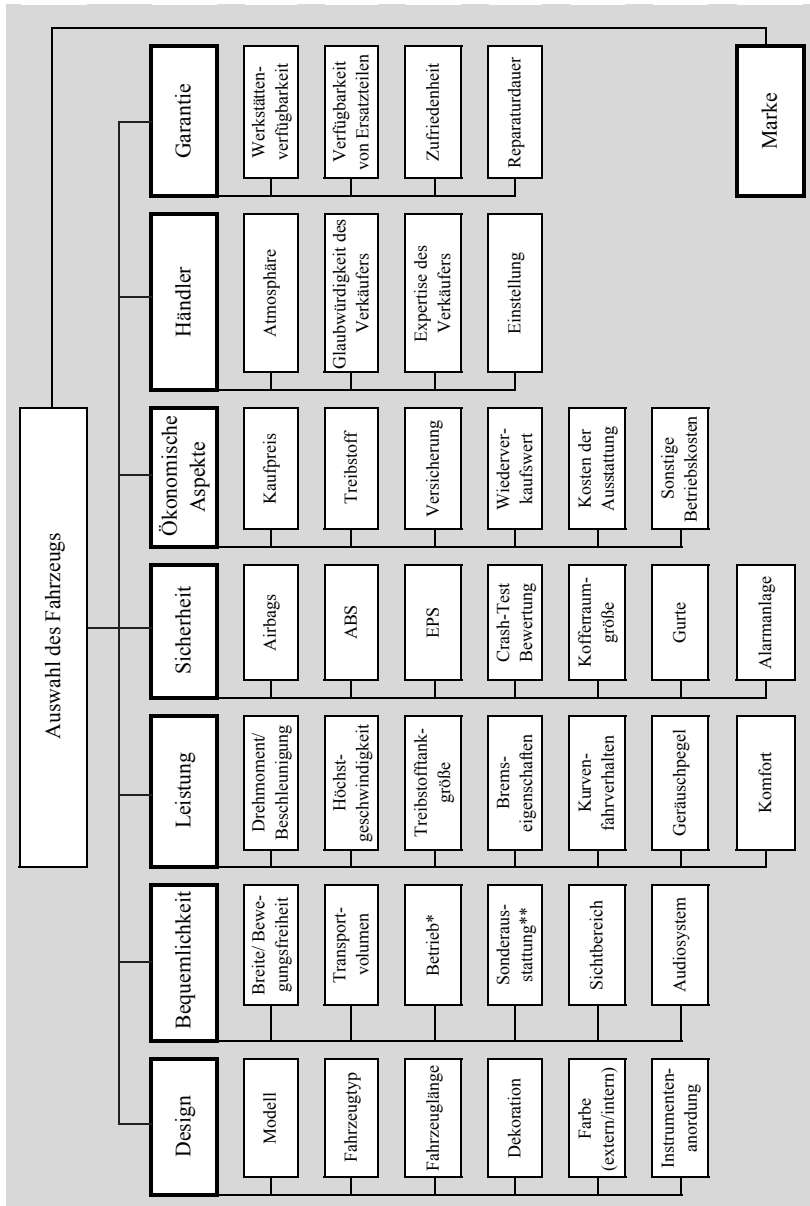
Vielfältige Gründe können für einen Haushalt entstehen, die zur Entscheidung, einen Pkw anzuschaffen, führen. So kann die Erreichbarkeit der Arbeitsstelle, die Geburt eines Kindes oder einfach der Ersatz des vorhandenen Fahrzeugs zur Kaufentscheidung führen. Ist die Kaufentscheidung einmal getroffen, erfolgt der Entscheidungsprozess, in dem festgelegt wird *welches* Fahrzeug angeschafft werden soll. Z. B. muss zwischen Neuwagen- und Gebrauchtwagenmarkt abgewogen werden. Hier spielen oft finanzielle Zwänge sowie Garantieanspruchserwartungen eine entscheidende Rolle. So kann auf dem Gebrauchtwagenmarkt zwischen dem Kauf bei einem Händler und von privater Hand abgewogen werden. Dieser Abwägungsprozess betrifft Erst-, Zweit, Drittwagen, etc. gleichermaßen. Im Hinblick auf die Kraftstoffart wird oft die eigene jährliche Fahrleistung kalkuliert, da Diesel und Benzin unterschiedlich besteuert wird und daher ab einer bestimmten jährlichen Fahrleistung ein Dieselfahrzeug günstiger werden kann. Ebenso gehen Pannenstatistiken, Kfz-Versicherung, Wartungsintervalle und die damit verbundenen Kosten in die Überlegungen ein. Sammer (2011, S. 24) benennt das Verhältnis von Kaufpreis und Betriebskosten zur Leistungsfähigkeit des Fahrzeugs<sup>45</sup> als ein entscheidendes Kaufkriterium.

Neben den ökonomischen Kriterien haben die fahrzeugspezifischen und fahrzeugtechnologischen Attribute einen großen Einfluss auf die Kaufentscheidung. Byun (2001, S. 293) identifiziert 39 kaufrelevante Fahrzeugeigenschaften, die in acht Hauptkriterien untergliedert werden können (vgl. Abbildung 6).

---

45 Motorleistung, Fahrzeugklasse, Ausstattungsmerkmale, etc.

Abbildung 6: Kaufentscheidungsrelevante Kriterien (ohne besondere Berücksichtigung von ZEV)



\* Bedienbarkeit, Schaltung, etc.

\*\* Klimaanlage, Schiebedach, Sitzheizung, etc.

Quelle: eigene Darstellung; angelehnt an Byun (2001, S. 293)

Bei alternativ angetriebenen Fahrzeugen stellen die speziellen Eigenheiten bzw. Eigenschaften von Elektrofahrzeuge oft noch entscheidende Hemmnisse dar. Neben der angesprochenen Kosten (Anschaffungskosten, Betriebskosten, etc.) stellt hier die realisierbare Reichweite (Chlund et al. 2012), die Ladedauer sowie die verfügbare Ladeinfrastruktur entscheidende Kaufkriterien dar. Die kompensatorische Wirkung zwischen den einzelnen Kaufkriterien kommt alternativ angetriebenen Fahrzeugen, die in der Technik evtl. noch Nachteile besitzen, zu Gute. „Die Anforderungen an das Produkt Auto ergeben sich aus der individuellen Gewichtung verschiedener Attribute im Rahmen der Kaufentscheidung. Dabei ist möglich, dass Produkteigenschaften von Elektroautos wie die Umweltfreundlichkeit Nachteile in anderen Fahrzeugeigenschaften ausgleichen“ (Sammer et al. 2011, S. 26). Dennoch stellt das Kostengefüge, das bei noch allen Elektrofahrzeugen selbst bei einer TCO-Betrachtung ungünstiger gegenüber konventionellen Fahrzeugen ausfällt, einen ganz entscheidenden Grund für den Kauf eines Fahrzeugs dar (vgl. UBA 2013, S. 31). Zu beachten ist auch die Tatsache, dass aufgrund der Einschränkungen, die von E-Autos ausgehen, diese eher als Zweitwagen für kürzere Wege in Betracht gezogen werden. Da Elektroautos derzeit hauptsächlich Fahrzeugklassen von Mini- bis Kompaktklasse bedienen, sind diese vor allem für Fahrten in Bereichen geeignet, wo es an Parkraum mangelt. Dies setzt natürlich die Bereitschaft voraus, auch beim Zweitwagen für eine Kaufsumme aufzukommen, die im Bereich eines Mittelklasse Neuwagens liegt. Diese Zahlungsbereitschaft wird jedoch von Privatpersonen derzeit noch nicht bzw. nur in sehr geringem Maße aufgebracht.

Nicht unbeachtet darf hier die schon oben angesprochene Markentreue der Konsumenten bleiben. Rund 47 % der über 40-Jährigen bleiben selbst bei höheren Rabatten einer anderen Automarke der alten treu. Bei den unter 40-Jährigen würden rund 61 % die Marke wechseln. Frauen tendieren stärker dazu die Marke zu wechseln. Aufgrund des sehr kleinen Angebots unterschiedlicher Elektrofahrzeuge würde meist ein Markenwechsel notwendig. Jedoch sind gerade ältere Wohlhabendere weniger zu einem Markenwechsel bereit. Dieser Zusammenhang spricht gegen eine Verbreitung von ZEV. Jedoch ist festzustellen, dass die Markentreue in Deutschland tendenziell abnimmt (ARAL, S. 11).

In Tabelle 2 sind die entscheidungsrelevanten Kriterien für den Kauf von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben dargestellt. Die Kriterien lassen sich in die Kategorien technologische, finanzielle und infrastrukturelle Kriterien sowie Nutzerprivilegien und Umwelt- und Gefühlskriterien einteilen (vgl. Daziano, Chiew 2012, S. 886).

Tabelle 2: Entscheidungsrelevante Kriterien für den Kauf von ZEV

Technologische Kriterien	Finanzielle Kriterien	Nutzervorteile (Privilegien)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reichweite</li> <li>- Ladedauer</li> <li>- Antriebstechnologie</li> <li>- CO<sub>2</sub>-Emissionen</li> <li>- Energieart</li> <li>- Geräusch-Emissionen</li> <li>- Verbrauch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kaufpreis</li> <li>- Energiekosten</li> <li>- Kfz-Steuer</li> <li>- Energiesteuer</li> <li>- Käuferzuschüsse</li> <li>- Reparaturkosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umweltzone</li> <li>- City Maut</li> <li>- Nutzung von Busspuren</li> <li>- Nutzung von carpool lanes*</li> <li>- kostenloses Parken in bewirtschafteten Zonen</li> </ul>
Infrastrukturelle Kriterien	Umwelt- und Emotions-Kriterien	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausbaugrad der Ladeinfrastruktur</li> <li>- Ausbaugrad des H<sub>2</sub>-Tankstellennetzes</li> <li>- Werkstättenetz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umweltschutz</li> <li>- persönl. CO<sub>2</sub>-footprint</li> <li>- Soziale Verantwortung</li> <li>- Energieunabhängigkeit</li> <li>- Innovation</li> <li>- Sicherheit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verlässlichkeit</li> <li>- Bedienung</li> <li>- Bequemlichkeit/ Komfort</li> <li>- Image/ Design/ Fashion</li> <li>- Lifestyle-/ Statussymbol</li> <li>- Alleinstellungsmerkmal</li> </ul>
* nicht relevant für Deutschland		

Quelle: eigene Darstellung

Anhand der Literaturrecherche konnten insgesamt 33 entscheidungsrelevante Kaufkriterien für den Kauf von ZEV identifiziert werden. In der weiteren Untersuchung werden nur die Kriterien weiter untersucht, auf die der Gesetzgeber beeinflussend einwirken kann. Dies kann er größtenteils auf die Kriterien der Kategorien finanzielle und infrastrukturelle Kriterien sowie auf die Vergabe von Nutzervorteilen.

### 2.2.2 Hypothesenbildung

Im Hinblick auf die Forschungsfrage dieser Arbeit, wie der Kauf von alternativen Antriebstechnologien über finanzielle und infrastrukturelle Anreizsysteme beeinflusst werden kann, soll die Antwort darauf direkt vom Konsumenten beantwortet werden. Hierfür wird eine repräsentative Befragung durchgeführt. Im Folgenden werden mit dem Verständnis, das in den vorangegangenen Kapiteln vermittelt wurde, folgende Hypothesen abgeleitet.

Es ist davon auszugehen, dass zukünftig größere Reichweiten durch Kapazitätssteigerungen bei den Energiespeichersystemen und durch die konsequente

Verfolgung der Leichtbauweise<sup>46</sup> realisiert werden können<sup>47</sup>. Dennoch ist zu erwarten, dass Elektroautos auch mittelfristig teurer als vergleichbare Autos mit Verbrennungsmotor bleiben. Da es hinsichtlich der fahrzeugtechnischen Aspekte zahlreiche Untersuchungen gibt (vgl. Kapitel 3.1.1), spielen diese in der vorliegenden Arbeit nur eine untergeordnete Rolle. Es geht vielmehr darum zu untersuchen, wie die Konsumenten neuen Antriebstechnologien gegenüber stehen und mit welchen Mitteln der Gesetzgeber finanzpolitisch eine Marktdurchdringung beeinflussen kann und vor allem welche Personen er dadurch erreicht.

Die Forschungs- und Entwicklungskosten von ZEV sind für die Hersteller gegenüber der produzierten Stückzahl und den erwarteten Einnahmen noch relativ hoch. Die Kosten werden über den Verkaufspreis an den Endkunden weitergegeben. Somit ist die Anschaffung für den Endverbraucher zum jetzigen Zeitpunkt von der finanziellen Seite wenig interessant. Der Kleinwagen Nissan Leaf kostet in Deutschland aktuell rd. 34.000 EUR<sup>48</sup>. Zwar kann ein Elektroauto aufgrund geringerer Steuern und einem geringen Kilometerpreis für Strom durchaus punkten, aber die hohen Anschaffungskosten stellen ein nahezu unüberwindbares Hindernis für die Kaufbereitschaft dar. Bislang sieht die Deutsche Bundesregierung von direkten Käuferzuschüssen ab. In Ländern, in denen die Regierung den Kauf von alternativ angetriebenen Fahrzeugen direkt bezuschusst, sind die höchsten Absatzzahlen zu beobachten (vgl. 2.1.7 - Staatliche Förderung alternativer Antriebstechnologien). Es lässt sich folgende These formulieren:

H1: Direkte einmalige Käuferzuschüsse begünstigen den Verkauf von Elektrofahrzeugen.

Eine Frage die mit Hypothese 1 eng verknüpft ist, wirft auf welches Verkehrsverhalten die Personen, die durch die Vergabe von direkten Kaufzuschüssen erreicht werden, aufweisen. Ebenso ist die empfehlenswerte Zuschusshöhe zu untersuchen. Die Deutsche Bundesregierung vergibt bis dato keine direkten Käuferzuschüsse für alternativ betriebene Fahrzeuge. Der Absatz von Elektroautos und alternativ betriebenen Fahrzeugen untertrifft jedoch noch die Erwartun-

---

46 Vgl. Fahrzeugmodell i3 der Firma BMW, dessen Karosserie zu einem Großteil aus CFK-Materialien gefertigt ist.

47 Das Fahrzeugmodell Model S der Firma Tesla Motors wird schon mit 480 km/ Vollladung angegeben (Stand 2013).

48 In Kalifornien stellt sich das Preisgefüge mittlerweile etwas anders dar. In den USA kostet der Wagen nach Abzug der Käuferzuschusses durch die Regierung von 7.500 USD und dem Abzug eines Zuschusses für Käufer in Kalifornien von weiteren 5.000 USD nur noch rd. 20.000 USD (Spiegel Online 2010).

gen der Bundesregierung bei weitem. Anhand der Validierung dieser Hypothese sollen Handlungsempfehlungen für den Gesetzgeber und Kommunen abgeleitet werden.

Unter der Prämisse, dass elektrische und durch Wasserstoff betriebene Fahrzeuge nur mit regenerativ gewonnener Energie geladen werden, werden diese Fahrzeuge als stadtverträgliches Transportmittel angesehen. Lokale Emissionen fallen weitestgehend nicht an:

1. Es entstehen keine *tail pipe emissions* (Auspuffabgase) wie NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> und Rußpartikel bzw. Feinstaub (PM10, PM2,5).
2. Die Feinstaubbelastung durch Bremsabrieb wegen der Nutzungsmöglichkeit der Bremsenergieerückführung (Rekuperation) ist geringer als bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor.
3. Die Geräuschemissionen sind bis zu einer Geschwindigkeit von 45 km/h<sup>49</sup> reduziert.

Die Aufwirbelung von Feinstaub vom Straßenbelag, Abrieb vom Straßenbelag durch die Reifen und der Reifenabrieb selbst bleiben auch beim E-Auto bestehen (vgl. Kugler et al. 2013, S. 12–29). Auf der Konsumentenseite gilt die Reduzierung der lokalen und auf lange Sicht der globalen Emissionen einer der großen Treiber der alternativen Antriebe, neben der Möglichkeit mittelfristig die Betriebskosten bzw. die Treibstoffkosten zu senken, dar. Das Image des Elektroautos lässt sich durchaus als „grün“, „umweltfreundlich“ und „technologisch innovativ“ beschreiben. So gibt es Aussagen von Testfahrern, dass man beim Fahren „natürlich auch irgendwo eine Spur besseres Gewissen gegenüber der Umwelt“ hat (Krems et al. 2011, S. 44). Insgesamt betrachten rd. 72 % der Nutzer in dieser Studie die Technologie als umweltverträglich. Vergleichbare Ergebnisse hat eine qualitative Befragung von BEV-Nutzern in den UK ergeben: “I think you can feel a little less guilty maybe when you go out on your Sunday drives if you’re in an electric car than you are in a petrol car” und “I felt I was actually doing something for the environment [...]” (Graham-Rowe et al. 2012, S. 147). Es stellt sich nun die Frage, ob mit diesen neuen Fortbewegungsmitteln Personengruppen angesprochen werden, die bislang auf einen eigenen konventionellen Pkw aus ökologischen und/ oder ökonomischen Gründen verzichtet haben.

---

49 Ab einer Geschwindigkeit von ca. 45 km/h überwiegt das Abrollgeräusch der Räder das Motorengeräusch (Daimler 2012).

H2: Alternativ betriebene Fahrzeuge sprechen Nutzergruppen an, die bislang kein eigenes Auto hatten.

Dem entgegen spricht die Preissensibilität der deutschen Konsumentinnen und Konsumenten. Im internationalen Vergleich gelten deutsche Verbraucher als besonders preissensibel. Das Preisbewusstsein ist in keinem anderen Land<sup>50</sup> so ausgeprägt wie in Deutschland (OC&C 2012). Die Kosten steuern zum größten Teil, ob ein Produkt angeschafft wird. Das Umweltbewusstsein kann einen Gegenpol hierzu bilden. Der Boom der Bio-Branche spiegelt wieder, dass die Zahlungsbereitschaft für ein ökologischeres Produkt teilweise höher ist als die für konventionelle Produkte. Es bleibt jedoch zu überprüfen, inwiefern die Menschen bereit sind für ein alternativ betriebenes Fahrzeug einen höheren Anschaffungspreis zu bezahlen und wie hoch diese Zahlungsbereitschaft ist. Auch die Ergebnisse der Vattenfall-Studie MINI E gibt Hinweise hierzu, dass der Aspekt der Umweltverträglichkeit gegenüber den Kosten als weniger wichtig angesehen wird. Beispielsweise wurde bei der Umfrage unter den Mini E-Testfahrern und Testfahrerinnen bei den kaufentscheidungsrelevanten Faktoren die Leasingkosten mit einer doppelt so hohen relativen Bedeutsamkeit bewertet, als der CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Fahrzeugs (Krems et al. 2011, S. 69). Dies ist besonders bemerkenswert, da die Testfahrer ein überdurchschnittlich hohes Einkommen sowie ein überdurchschnittliches Bildungsniveau aufweisen. Die Hoffnung mit einem Hybridfahrzeug bei den Treibstoffkosten Einsparungen erreichen zu können, wird durch de Haan (2006) bekräftigt, der Käufer des gleichen Fahrzeugmodells mit und ohne Hybridantrieb vergleicht. Auch hier verfügt die Käuferschaft über ein höheres Haushaltseinkommen. Als wichtigsten Kaufgrund für das Hybridmodell wurde der geringe Treibstoffverbrauch angegeben, obwohl die Fahrleistung verglichen zu den Käufern<sup>51</sup> des konventionellen Modells vergleichbar war. Interessant ist, dass die Einkommensstärkeren vermehrt Wert auf ein effizienteres Fahrzeug legen.

Eine Schweizer Studie, die sowohl Käufer eines Hybridmodelles (geräumiger SUV) als auch Käufer des selben Modells mit konventionellem Motor nach den Beweggründen der Kaufentscheidung für die jeweilige Antriebstechnologie fragt, nennen die Hybridkäufe die „Benzinkosten“ als Hauptargument, woge-

---

50 Die Studie umfasst die Länder Deutschland, China, USA, Frankreich, England und die Niederlande.

51 Die Käufer des Modells mit konventionellem Verbrennungsmotor geben als wichtigsten Grund Sicherheit an. Das Platzangebot ist auch ein wichtiges Kaufkriterien. Bei dem Fahrzeug handelt es sich um einen SUV (Sports Utility Vehicle).

gen die Verbrennungsmotorkäufer „Genügend Platz für das Gepäck“ nannten. „Zwischen den Lexus RX300-Käufern und den Lexus RX400h-Käufern besteht bezüglich Alter, Ausbildungsniveau und Geschlecht kein Unterschied. Die Lexus RX400h-Käufer haben aber ein höheres Einkommen als die Lexus RX300-Käufer“ (ebd., S. 5). Daraus lässt sich schließen, dass den Hybridkäufern trotz eines höheren Einkommens ein geringer Benzinverbrauch wichtig ist. Der SUV wird, mit einem Anschaffungspreis von etwa 65.400 CHF (rd. 52.560<sup>52</sup> EUR) für konventionellen Verbrennungsmotor und mit 85.900 CHF (rd. 69.460 EUR) für den Hybriden, zur Oberklasse gezählt. Die Übertragbarkeit auf Deutschland und andere Käuferschichten ist zu prüfen.

Die Stichproben der zitierten Studien lassen aufgrund der kleinen Sample und der starken Verzerrungen hinsichtlich des Einkommens und des Bildungsniveaus der Teilnehmer ausschließlich qualitative Aussagen zu. Eine tiefergehende Untersuchung anhand einer repräsentativen Anzahl an Personen soll erkunden, inwiefern tatsächlich z. B. CO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>- und Lärmemissionen, also die Umwelteinwirkungen des Fahrzeugs, eine Rolle bei der Kaufentscheidung spielen.

H3: Der Umweltaspekt ist beim Autokauf entscheidend.

Grundsätzlich sind Konsumenten an alternativ betriebenen Fahrzeugen interessiert und betrachten diese als eine umweltfreundliche Alternative zum konventionellen Verbrennungsmotor, fühlen sich aber zu wenig informiert. Auch ist die Skepsis groß und das Vertrauen in die neue Technik noch nicht ausreichend gegeben (UBA 2013, S. 31). Dies führt zu folgender Aussage:

H4: Menschen, die Erfahrungen mit alternativ angetriebenen Fahrzeugen gesammelt haben, tendieren stärker zur Wahl dieser Fahrzeuge.

Der Wohnstandort hat einen großen Einfluss auf das Mobilitätsverhalten. Es soll untersucht werden, ob der Wohnstandort innerhalb der Metropolregion Hamburg einen Einfluss auf die Wahl der Antriebstechnologie hat.

H5: Der Wohnstandort hat einen Einfluss auf die Auswahl der Antriebstechnologie.

Als letztes soll noch die Frage nach der Abstellmöglichkeit des Pkw geklärt werden. E-Autos müssen fast jeden Tag aufgeladen werden. Ein uneingeschränkter Zugang zu einer Lademöglichkeit ist daher zwingend notwendig. Ein Zusam-

---

52 Wechselkurs von 0,8086 am 1. Februar 2013 (yahoo Währungsrechner 2013)

menhang zwischen der Abstellmöglichkeit und der Möglichkeit einen Stromanschluss dort zu realisieren. Bezogen auf die Wahl der Antriebstechnologie lässt sich vermuten:

H6: Die Abstellmöglichkeit des Pkw hat einen Einfluss auf die Wahl der Antriebstechnologie.

Zur Hypothesenprüfung wird eine repräsentative Umfrage durchgeführt. Auf der Grundlage der gewonnenen Daten werden Handlungsempfehlungen abgeleitet, um Fördermaßnahmen gezielt auf bestimmte Käufergruppen, die als potentielle Nutzergruppen identifiziert werden, zuschneiden zu können und somit ein gezielter Einsatz von Entwicklungsgeldern ermöglicht wird.

Im folgenden Kapitel werden die möglichen Erhebungs- und Analysemöglichkeiten dargestellt und anhand einer eingehenden Abwägung erläutert, welche Methoden für die quantitative Analyse verwendet wird.

### **2.2.3 Zusammenfassung**

Es konnte gezeigt werden, dass die Pkw-Kaufentscheidung ein vielschichtiger Prozess ist - erst recht, wenn weitere Abwägungsaspekte durch alternative Antriebstechnologien hinzukommen. Verschiedene Motive wie der Wunsch sich ökologisch fortzubewegen, einer bestimmten Gruppe mit besonderen ökologischen oder innovativen Ansprüchen zuzugehören, der Wunsch die Betriebskosten zu senken oder Privilegien, wie kostenloses Parken, zu bekommen, begünstigen die Entscheidung für ein ZEV.

Anhand der Darstellung des Kaufentscheidungsprozesses unter besonderer Berücksichtigung alternativer Antriebstechnologien konnten die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Kaufentscheidung von ZEV bestimmt werden. Ausgehend von diesen Einflussfaktoren, ist es gelungen, entscheidungsrelevante Kriterien für den Kauf von Zero Emission Vehicles abzuleiten. Insgesamt konnten 33 entscheidungsrelevante Kriterien identifiziert werden, die beim Kauf eines ZEV bedacht werden können.

Im Weiteren werden nur die Kriterien betrachtet, auf die der Gesetzgeber steuernd einwirken kann. Dies sind zum größten Teil finanzielle Kriterien, also die Preisgestaltung des Energie- und Treibstoffpreises, die Vergabe von Käuferzuschüssen, oder auch die Erhöhung der jährlichen CO<sub>2</sub>-Steuer über die Kfz-Steuer. Des Weiteren können Kommunen in parkraumbewirtschafteten Zonen

einen emissionsabhängigen Tarif entwickeln und/oder den Ausbaugrad der öffentlichen Ladeinfrastruktur bzw. der H<sub>2</sub>-Tankstellen ausweiten. Anhand der gewonnen Erkenntnisse zu den entscheidungsrelevanten Kriterien werden sechs Hypothesen formuliert (2.2.2), die im empirischen Teil der Arbeit untersucht werden.

### 2.3 Discrete-Choice-Experiment

In Kapitel 2.2 wurden die entscheidungsrelevanten Kriterien für den Kauf eines Fahrzeugs mit alternativer Antriebstechnologie, auf die der Gesetzgeber einwirken kann, bestimmt und Hypothesen abgeleitet. In diesem Kapitel werden Methoden zur Untersuchung der Einflussstärke der abgeleiteten Kriterien, sog. Discrete-Choice-Experimente, vorgestellt und diskutiert, um anschließend ein geeignetes Verfahren zur Untersuchung der in Kapitel 2.2.2 aufgestellten Hypothesen auswählen zu können. Zur Untersuchung von Konsumentenvorlieben (oder auch Nutzerpräferenzen) hinsichtlich dieser Kriterien haben sich vor allem Discrete-Choice-Modelle bewährt (z. B. Lave, Train 1979; Brownstone et al. 1996; McFadden, Train 2000; Hensher, Greene 2003; Ewing, Sarigöllü 2000; Brownstone et al. 2000; Louviere 2009), auf die im nachfolgenden Kapitel eingegangen wird. Zur Erhebung der Konsumentenpräferenzen haben sich vielfältige Methoden entwickelt, die in diesem Kapitel vorgestellt werden. Im Folgenden werden kurz die unterschiedlichen Modelle vorgestellt, sowie deren Vor- und Nachteile diskutiert.

Die Untersuchung der Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Erhebungsverfahren zur Modellierung von hypothetischen Märkten ergibt, dass zur Beantwortung der Forschungsfrage die Methode der auswahlbasierten Conjoint-Analyse geeignet ist. Mithilfe der Conjoint-Analyse, ein Erhebungsverfahren der Stated-Preference-Familie, ist es möglich die Effektstärke jedes Einzelkriteriums zu bestimmen. Diese Erhebungsmethode wird im empirischen Teil der Arbeit zur Datenerhebung verwendet. Eine detaillierte Begründung ist in Kapitel 2.3.2 zu finden.

Zunächst erfolgt eine kurze Darstellung der Methoden und deren unterschiedliche Weiterentwicklungen mit anschließender Diskussion und Auswahl der geeigneten Methode.

### 2.3.1 Übersicht der Erhebungsmethoden zur Präferenzmessung

Für die Modellierung von hypothetischen Märkten (z. B. Einführung von Innovationen) werden schon seit über 30 Jahren Befragungsmethoden verwendet, bei denen die Befragten ihre Vorlieben (Präferenzen) zum Ausdruck bringen sollen (vgl. z. B. Studien zum Produktmarketing: Pommerehne 1987; Tschudin 1992; Cattin, Wittink 1982; Wittink, Cattin 1989; Wittink et al. 1992 oder Studien zur Verkehrsplanung: Louviere et al. 2000; Axhausen 1989; Axhausen, Sammer 2001; Jäggi et al. 2011). Ein Anwendungsfall in der Verkehrsplanung ist die Untersuchung des präferierten Verkehrsmittels unter der Vorgabe von verschiedenen Entscheidungskriterien wie Zeit, Komfort und Kosten, mit denen die unterschiedlichen Verkehrsmittel behaftet sind. Die Entscheidung des Befragten erfolgt bei dieser Befragungsart immer auf der Grundlage von hypothetischen Produkten oder Dienstleistungen. Die Antwortperson muss sich die Entscheidungssituation bestmöglich vorstellen bzw. in die Situation hineinversetzen können. Daraufhin legt sie dar, welche Entscheidung sie in dieser Situation treffen würde.

Die Befragungs- und Analysemethoden sind teilweise parallel sowie in ganz unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen (z. B. Marketing, Psychologie, Verkehrsplanung, Sozialwissenschaft) entwickelt worden. Aufgrund der Vielfalt der Verfahren, ihrer Abwandlungen und der unterschiedlichen Namensgebung für teilweise dieselben Verfahren ist ein „babylonischer [Namens-] Wirrwarr“ (Axhausen, Sammer 2001, S. 3) entstanden bzw. bleibt die Benennung „blurred“ (Louviere 1988b, S. 94).

In der vorliegenden Arbeit soll die Frage nach der Einflussstärke von Anreizsystemen auf die Pkw-Kaufentscheidung beantwortet werden. Über die Offenlegung der Präferenzen zu den unterschiedlichen Antriebstechnologien unter dem Einfluss verschiedener Anreizsysteme, kann eine Präferenzmessung durchgeführt werden und die Effektstärke der verschiedenen Anreize auf die Kaufentscheidung bestimmt werden. Discrete-Choice-Experimente bieten hier einen Ansatz, um hypothetisch Märkte bzw. Situationen und Produkte am Konsumenten testen zu können. Nachfolgend werden das theoretische Fundament und eine systematische Übersicht zu den unterschiedlichen Verfahren gegeben.

### Stated Response und Stated Choice

Für Befragungsmethoden, in denen die Antwortperson mehrere Alternativen beurteilen bzw. gegeneinander abwägen muss, sind unter dem englischen Ausdruck Stated Responses oder Stated Choice zusammengefasst. Alternativen können Situationen, Produkte oder Dienstleistungen sein. Die jeweiligen Alternativen werden anhand von Eigenschaften bzw. Merkmalen beschrieben, die jeweils unterschiedliche Ausprägungen annehmen. Im vorliegenden Fall wird das Produkt (Fahrzeug) durch fahrzeug-spezifische Merkmale (z. B. die Antriebstechnologie) und finanzielle Merkmale (z. B. Kaufpreis) beschrieben. Die finanziellen Merkmale können auch privilegienbehaftet sein (z. B. kostenloses Parken in parkraumbewirtschafteten Zonen). Meist werden die Methoden verwendet um hypothetische Märkte abzuschätzen, d.h. entweder existieren die Produkte noch nicht (Testen von Innovationen) oder es werden Merkmale, Ausprägungen oder Kombinationen untersucht, die es so noch nicht gibt. Die Verfahren werden der direkten Nutzenmessung zugeordnet, da die Antwortperson eine konkrete Alternative direkt bewertet (Hübner 2012, S. 25).

„Im Deutschen hat sich für den Begriff *stated response* kein eigener Begriff herausgebildet, so dass sich in einschlägigen Fachkreisen der englische Begriff *stated response* eingebürgert hat. Er ist am ehesten als Befragungsverfahren mit ‚erklärten Reaktionen bzw. Antworten‘ zu übersetzen. Im deutschen Sprachraum wird oft auch der Begriff *conjoint analysis* verwendet“ (Axhausen, Sammer 2001, S. 3). Lee-Gosselin (1996) fasst unter dem *stated response* Begriff vier Methodengruppen zusammen:

1. Stated Preference,
2. Stated Tolerance<sup>53</sup>,
3. Stated Adaptation und
4. Stated Prospect.

Alle vier Methoden dienen der Abwägung zwischen unterschiedlichen Alternativen vor dem Hintergrund unterschiedlicher Entscheidungssituationen und bestimmten Randbedingungen. Bei der Stated-Preference-Methode werden sowohl die Alternativen als auch die Entscheidungssituationen samt Randbedingungen vorgegeben. Die Antwortperson muss sich für eine Alternative entscheiden bzw. die Alternativen in eine Präferenzreihenfolge bringen. Bei der Stated-

---

53 Im Verkehrswesen auch als *transfer pricing* und in der Umweltökonomie als *contingent valuation* bekannt.

Tolerance-Methode sind die Alternativen vorgegeben und die Methode dient zur Erfassung der Randbedingungen. Die Stated-Adoption-Methode dient zur Erfassung der Alternativen bei vorgegebenen Randbedingungen bzw. vorgegebenen Entscheidungssituationen. Mithilfe der Stated-Prospect-Methode können sowohl die Alternativen als auch die Entscheidungssituationen und Randbedingungen erfasst werden (vgl. Axhausen, Sammer 2001).

Der Fokus der Arbeit besteht darin, die Effektstärke von Anreizen auf verschiedene Personengruppen unter Vorgabe von verschiedenen alternativen Antriebskonzepten zu messen. Sowohl die zu untersuchenden Antriebstechnologien als auch die Anreizsysteme werden im Vorfeld der Erhebung anhand einer Literaturanalyse und Experteninterviews selbst bestimmt. Soll nur eine Präferenzenmessung unter Vorgabe der Alternativen und der Randbedingungen erfolgen, dann ist, wie oben beschrieben, die Stated-Preference-Methode auszuwählen.

Die Hinweise zur Messung von Präferenzstrukturen mit Methoden der Stated Preferences der FGSV<sup>54</sup> (1996) geben einen detaillierten Überblick über unterschiedliche Methoden und Experimenten mit denen hypothetische Märkte anhand von Konsumenten-Präferenzen abgeschätzt werden können<sup>55</sup>.

#### Stated Preference und Conjoint-Analyse

Die Methode des Stated-Preference-Ansatzes<sup>56</sup> (SP), bei dem „die Befragten nur für die vorgegebene(n) Alternative(n) und unter einer vorgegebenen Entscheidungssituation ihre Präferenz ausdrücken dürfen“ (Axhausen, Sammer 2001, S. 7), umfasst folgende drei Untertypen:

1. **Stated Preference:** Bewertung einer Alternative auf einer Skala (*metric rating*)
2. **Stated Choice** (auch **Choice-Base Conjoint-Analyse**): Auswahl einer aus mehreren Alternativen

---

54 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) e.V.

55 Fokusgruppenbasierende Befragungen sind zur Bestimmung eines hypothetischen Marktpotentials nicht geeignet. Diese dienen dazu Erkenntnisse zu Markteintrittsbarrieren, Anforderungen und Kenntnisse der Verbraucher über ein Produkt zu gewinnen (Raich et al. 2012, S. 2; Peters, Hoffmann 2011).

56 In der Verkehrsplanung zu finden unter conjoint analysis (Axhausen, Sammer 2001, S. 3), functional measurement/ functional analysis (Sen und Benjamin (1983) zitiert nach Louviere (1988b, S. 94)) oder *direct utility assessment* bzw. *direkte Nutzenmessung* (vgl. u. a. Lerman und Louviere (1978) und FGSV (1996)).

3. **Stated Ranking** (auch **traditionelle Conjoint-Analyse**): Rangreihung mehrerer Alternativen
4. **Priority Evaluator**: Vollständige Verteilung eines festen Budgets auf verschiedene Budgetposten

Der Begriff der Conjoint-Analyse (CA) lässt sich folgendermaßen beschreiben: “The term ‘conjoint analysis’ means decomposition into part-worth utilities or values of a set of individual evaluations of, or discrete choices from, a designed set of multi attribute alternatives” (Louviere 1988b, S. 93).

Jede Angebotsalternative (z. B. ein Produkt), die der Antwortperson vorgelegt wird, wird durch die Summe seiner nutzenstiftenden Eigenschaften beschrieben. Der Gesamtnutzen setzt sich aus den Teilnutzenwerten der einzelnen Eigenschaften<sup>57</sup> (z. B. Fahrzeugsegment) und deren Eigenschaftsausprägungen<sup>58</sup> (z. B. Kleinwagen, Mittelklasse, Oberklasse, usw.) zusammen (Böhler, Scigligano 2009, S. 101). So können die Teilnutzenwerte und die Wichtigkeit der einzelnen Eigenschaften ermittelt werden (vgl. Backhaus et al. 2011, S. 318).

Alle Verfahren umfassen sowohl die Theorie, Methoden der Datenerhebung als auch der multivariaten Datenanalyse (vgl. Louviere 1988b, S. 93), „die dazu dienen, aus den globalen Präferenzurteilen von Auskunftspersonen gegenüber den Alternativen sowohl ihre intervallskalierten Gesamtnutzenwerte als auch die intervallskalierten Teilnutzenwerte der Eigenschaftsausprägungen zu schätzen“ (Böhler, Scigligano 2009, S. 101). Diese Verfahren zählen zu den sog. dekompositionellen Verfahren, die multivariate Methoden zur Analyse der Präferenzen bzw. Nutzenstrukturen von Personen verwenden (vgl. Backhaus et al. 2011, S. 318). Der Gesamtnutzen<sup>59</sup> ergibt sich hierbei linear-additiv aus den Teilnutzenwerten<sup>60</sup>. Mittlerweile wird der Ausdruck Conjoint-Analyse größtenteils für alle Aufgaben genutzt, in denen Wahlentscheidungen getroffen und Eigenschaften in ihren Ausprägungen variiert werden (vgl. Louviere et al. 2010a, S. 61). Die Conjoint-Analyse wird als die bedeutendste<sup>61</sup> Methode zur Ermittlung von Präferenzen betrachtet (vgl. Baier, Bruschi 2009b, S. 15).

---

57 *engl. attributes*

58 *engl. levels*

59 *engl. utility*

60 *engl. part worths*

61 Schon in den Jahren 1986 bis 1991 wurden in Europa knapp 1.000 Conjoint-Studien durchgeführt, in den USA waren es zwischen 1981 bis 1989 über 2.000 (Weiber, Rosendahl 1997, S. 107).

### Traditionelle Conjoint-Analyse

Die traditionelle (klassische) Conjoint-Analyse (TCA) wird seit den 80iger Jahren in der Praxis zur Präferenzbestimmung eingesetzt (vgl. Cattin, Wittink 1982; Wittink, Cattin 1989; Green, Srinivasan 1978; Green, Srinivasan 1990). In der TCA werden die Alternativen durch systematische Kombination vorab festgelegter Eigenschaften und ihrer Ausprägungen gebildet. Anschließend werden von jeder Auskunftsperson die Gesamturteile über die Konzepte erhoben und daraus Teilnutzenwerte berechnet. Der Antwortperson werden jeweils mehrere Alternativen in sogenannte Stimuli präsentiert. Die Alternativen werden durch die (Produkt-) Eigenschaften sowie deren Ausprägungen beschrieben. Für die Datenerhebung „[...] stehen grundsätzlich zwei Methoden zur Verfügung: die Profilmethode und die 2-Faktor-Methode<sup>62</sup> (*Trade-Off-Ansatz*)“ (Baier, Bruschi 2009b, S. 12).

Bei der Profilmethode sollen die Befragten die Alternativen in einer priorisierten Reihenfolge (ordinales Ranking) bringen oder anhand einer Skala bewerten (metrisches Rating; intervallskaliert). Hier wird direkt nach den Präferenzurteilen gefragt. Bei Rangreihungen eignet sich für die Auswertung z. B. der MONANOVA<sup>63</sup> Algorithmus, bei metrischen Daten kann PREFMAP oder Ordinary Least Square Regression (OLS) verwendet werden (Weiber, Rosendahl 1997, S. 108). Soll die Antwort anhand einer Skala (z. B. Likert-Skala) wiedergegeben werden, können Präferenzabstufungen durch Antwortformen wie „stimme sehr zu“ bzw. „stimme überhaupt nicht zu“ oder anhand von Schulnoten zwischen eins und sechs von der Antwortperson mitgeteilt werden. Likert-Skalen werden verwendet, um z. B. Einstellungen in ordinale Skalen zu überführen und dadurch leichter messbar zu machen. (Rabe-Hesketh, Skrondal 2012, S. 629) rät von der Verwendung von ordinalen Skalen ab, da man aus einer Unwissenheit (Angabe „weiß nicht“) nicht auf eine Neutralität schließen kann. Es wird empfohlen auch diese Skalen als nominal skalierte Kategorien zu betrachten.

Die Choice-Base Conjoint-Analyse (CBC), die adaptive Conjoint-Analyse (ACA), die Hybrid-Conjoint-Analyse (HCA) oder auch die hierarchische Conjoint-Analyse (HICA) stellen Weiterentwicklungen der TCA dar und werden

---

62 Auch: multiple Zwei-Faktor-Bewertung (Baier, Bruschi 2009b, S. 6).

63 MONANOVA (Monotonic Analysis of Variance): Computer-Programm, beruhend auf einer monotonen Varianzanalyse, die die Schätzung eines Teilnutzen-Modells in der Conjoint-Analyse ermöglicht (Kruskal 1965).

weiter unten detaillierter vorgestellt. Zunächst werden die allgemeinen Vor- und Nachteile von Conjoint-Analysen dargestellt.

#### Vorteile und Grenzen der Conjoint Analyse

Die traditionelle Conjoint-Analyse (TCA) hat neben ihren vielen Vorteilen in der praktischen Anwendung aber auch ihre Grenzen. Eine Gegenüberstellung der Vorteile und der Beschränkungen, der die Conjoint-Analyse unterliegt, ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Vorteile und Grenzen der Conjoint-Analyse\*

Vorteile	Grenzen
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isolierung und Quantifizierung der Nutzenbeiträge einzelner Eigenschaften</li> <li>- Realitätsnahe (weil indirekte, ganzheitliche) Datenerhebung</li> <li>- Vielseitiger Einsatz bei unterschiedlichen Anwendungsfeldern und Problemstellungen</li> <li>- Flexibles Instrument aufgrund weitreichender Kontrolle der Beurteilungsaufgabe</li> <li>- Ermittlung von intervallskalierten Ergebnissen</li> <li>- Möglichkeit für Rückschlüsse auf Abnehmersegmente bzw. deren Präferenzstrukturen</li> <li>- Möglichkeit zur Simulation der Produktakzeptanz und des Wahlverhaltens bei Variierung der Kombinationen der Eigenschaften bzw. Ausprägungen</li> <li>- Einsatz bei Innovationen (auch vor der Entwicklung von Prototypen) möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einsatz bei nur begrenzter Anzahl von Eigenschaften möglich</li> <li>- Häufige Verwendung von Ordinal-Skalen (bei denen formal weder Summen noch arithmetische Mittelwerte gebildet werden dürfen)</li> <li>- Übliche Addition der Teilnutzenwerte stellt eher notwendigen „Kunstbegriff“ dar</li> <li>- Überforderung der Probanden durch zahlreiche Bewertungen von Alternativen, zu denen evtl. keine eigenen Vorstellungen existieren</li> <li>- Verzerrung durch eingeschränkte Möglichkeiten bei der notwendigen Beschreibung untersuchter Eigenschaften und Ausprägungen</li> <li>- Unabhängigkeit der Ausprägungen wirkt beschränkend auf die generelle Eignung</li> <li>- Stabilität der Präferenzstruktur über die Zeit ist fraglich.</li> </ul>
<p>* Siehe auch Seite 78 für weitere Vor- und Nachteile der CBCA hinsichtlich der Präsentationsmöglichkeiten.</p>	

Quelle: Baier und Bruschi (2009b, S. 10) in Anlehnung an Bruschi (2005, S. 24)

Um Nachteile der TCA zu eliminieren, wurden weitere conjointanalytische Methoden entwickelt. Diese werden im Folgenden dargestellt.

### Adaptive Conjoint-Analyse

Eine Weiterentwicklung der TCA stellt die Adaptive Conjoint-Analyse (ACA) dar. Sie wurde entwickelt, um eine größere Vielfalt an Produkteigenschaften und eine größere Anzahl an Merkmalsausprägungen im Rahmen einer Erhebung untersuchen zu können. Anhand von Eingangsfragen wird die individuelle Relevanz und Wichtigkeit von Merkmalen und deren Ausprägungen erfragt (kompositioneller Befragungsteil). Aufgrund der Eingaben werden dann individuelle Stimuli erzeugt (dekompositioneller Befragungsteil). Die ACA kann nur computergestützt durchgeführt werden. Die Befragung kann so zielgerichteter und auf individueller Ebene erfolgen. Die ACA wird als echte Individualanalyse bezeichnet (Weiber, Rosendahl 1997, S. 110).

Ca. 70 % der Conjoint-Analysen wurden in Deutschland mittels der adaptiven Conjoint-Analyse durchgeführt. Die adaptive Conjoint-Analyse hat den unschlagbaren Vorteil, dass die Antworten auf die Eingangsfragen bei der nachfolgenden Präsentation der Stimuli berücksichtigt werden können. „Jede Information, die der Proband im Verlauf des Interviews liefert, führt also dazu, dass die Präferenzstruktur des Interviewten dem Analysten peu à peu offen gelegt wird“ (Herrmann et al. 2009, S. 114). Durch die Erkenntnisse im vorgeschalteten kompositionellen Teil kann die Komplexität bei Studien mit vielen Eigenschaftsausprägungen stark verringert werden. Nach Schubert (1995, S. 380)<sup>64</sup> können mit der ACA bis zu 30 Eigenschaften mit bis zu neun Eigenschaftsausprägungen untersucht werden.

### Hybrid-Conjoint-Analyse

Die Hybrid-Conjoint-Analyse (HCA) verknüpft den Conjoint-Ansatz mit einem sog. Punktbewertungsmodell (*self explicated model*). Anhand des Punktbewertungsmodells wird wie bei der ACA zunächst die Wichtigkeit der Eigenschaften und deren Ausprägungen erfragt, auf deren Grundlage hinsichtlich der Beurteilungsstrukturen homogene Personengruppen gebildet werden. Der Einzelne bekommt dann nur noch einen Teilblock der Stimuli. Diese Vorgehensweise lässt zunächst die Ermittlung von Nutzenwerten auf Gruppenebene zu. Zur Bestimmung der individuellen Nutzenwerte werden die Erkenntnisse des Punktbewertungsmodells verwendet. Die Nutzenfunktionen können dann nur „quasi-individuell“ geschätzt werden (Weiber, Rosendahl 1997, S. 110).

---

64 zitiert nach Weiber und Rosendahl (1997, S. 110).

### 2.3.2 Choice-Based Conjoint-Analyse

Die Auswahlbasierte Conjoint-Analyse bzw. Choice-Based Conjoint-Analyse (CBCA), zuerst beschrieben durch Louviere und Woodworth (1983), unterscheidet sich von der TCA insofern, dass die präsentierten Alternativen nicht bewertet oder in Reihenfolge gebracht werden müssen, sondern es gilt, sich für eine Alternative zu entscheiden. „[...] Im Rahmen der Choice-Based Conjoint-Analyse [werden] von der Auskunftsperson Präferenzurteile in Form von Auswahlentscheidungen verlangt. Die ‚Bewertung‘ der Stimuli erfolgt dabei durch einmalige oder wiederholte Auswahl eines Stimulus aus einem Alternativen-Set. Im Gegensatz zu allen anderen Methoden kann damit auch eine Nichtwahl-Möglichkeit im Alternativen-Set berücksichtigt werden“ (Backhaus et al. 2008, S. 494). Hintergedanke dieser Vorgehensweise ist, dass die Entscheidungssituation bei Conjoint-Analysen für den Befragten kognitiv (bei der Verwendung von einer größeren Anzahl an Eigenschaften und Ausprägungen) eine große Herausforderung darstellt und es schnell zu Ermüdungserscheinungen kommen kann (vgl. Bruschi 2009, S. 89). Es wird versucht, eine möglichst reale Situation für die Antwortperson vergleichbar der tatsächlichen Entscheidungssituation herzustellen. Es müssen zum einen Alternativen erdacht werden und zum anderen müssen diese Alternativen in Choice Sets überführt werden. Louviere formuliert es folgendermaßen: „Thus, with traditional conjoint rating or ranking methods one trades simplicity of design for unreality of task, strong response measurement level and choice simulation assumptions. With discrete choice experiments one trades simplicity of response, better understanding of choice process and minimal measurement assumptions for increased complexity of design“ (Louviere 1988b, S. 100). Auf der einen Seite wird durch die vereinfachte Form der Aufgabenstellung erreicht, dass sich die Antwortperson in einer realeren Auswahl-situation entscheiden muss. Der Abwägungsprozess stellt für die Antwortperson eine etwas geringere kognitive Herausforderung dar. Auf der anderen Seite ist der Informationsgehalt je Aufgabe jedoch geringer als beispielsweise bei der TCA.

Mittlerweile werden CBCA und CA oft synonym verwendet (vgl. Steven 1997; Backhaus et al. 2011, S. 319; Baier, Bruschi 2009a). „Die Choice-Based Conjoint-Analyse, häufig auch als Discrete-Choice-Analyse bezeichnet und wird [...] den ‚Komplexen Verfahren der multivariaten Datenanalysen‘ zugeordnet“ (Backhaus et al. 2008, S. 494).

Für diskrete Entscheidungen hat sich unter den Conjoint-Analysen die CBCA durchgesetzt, die ebenfalls zur dekompositionellen Schätzung von Nutzen- bzw. Präferenzstrukturen verwendet wird. Jedoch unterscheidet sich die Methodik

stark von der traditionellen Conjoint-Analyse. „Zudem liefert die CBC<sup>65</sup> keine Schätzungen über individuelle Nutzenstrukturen, sondern unter der Annahme einer repräsentativen Nutzenfunktion Schätzungen über Nutzenstrukturen von Populationen“ (Balderjahn et al. 2009, S. 129). Im eigentlichen Sinne ist die CBCA eine Discrete-Choice-Analyse (ebd.).

Nach einer Untersuchung von Wittink et al. (1992) ist die CBCA die am meisten verbreitete Conjoint-Analyse. In Tabelle 4 sind die Vor- und Nachteile der CBCA dargestellt.

Tabelle 4: Vor- und Nachteile der Choice-Based Conjoint-Analyse

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es können verschiedene Produkte miteinander verglichen werden.</li> <li>- Es können mehrere Merkmale mit weniger Produkten abgefragt werden.</li> <li>- Im Vergleich zur TCA kann die „None-Option“ („Ich würde keine der gezeigten Alternativen wählen.“) angewendet werden.</li> <li>- Sehr realitätsnahe Auswahl-situation</li> <li>- Verwendung von Bildern und anderen Medien möglich</li> <li>- Erstellung der Stimuli ist wenig zeit- und kostenintensiv</li> <li>- Eigenschaften können leicht aus der Gesamtbetrachtung isoliert und damit bewertet werden</li> <li>- Dargestellte Informationen sind eindeutig strukturiert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Der Aussagegehalt je Aufgabe ist geringer als z. B. beim Rank-Order-Verfahren.</li> <li>- Es wird eine große Anzahl an Teilnehmern benötigt.</li> <li>- Keine Aussagen auf Individuen-Ebene</li> <li>- Kognitive Überlastung (engl. information overload) der Befragten</li> <li>- Ermüddungserscheinungen bei den Probanden zum Ende eines Interviews</li> <li>- Beurteilung der untersuchten Eigenschaften und Ausprägungen hängt von der Vertrautheit damit ab</li> <li>- Schwierige Beschreibung von Eigenschaften, die sich auf das Design oder menschliche Sinne beziehen</li> <li>- Realitätsbezug der Beurteilungsaufgabe leidet</li> </ul>

Quelle: eigene Darstellung mit Bezug auf Bruschi (2009, S. 89; 2005, S. 53)

### 2.3.3 Auswahl der geeigneten Erhebungsmethode

Vor dem Hintergrund der Stärken und Schwächen der unterschiedlichen Erhebungsmethoden findet eine Abwägung der verschiedenen Methoden statt.

Bei der traditionellen Conjoint-Analyse entsteht durch die Bildung einer Rangreihung der vorgegebenen Alternativen je Aufgabe zwar ein höherer Informationsgehalt, dennoch ist die Aufgabenstellung realitätsfern. In der Realität wird nach einem Abwägungsprozess die Kaufentscheidung bzw. die Entscheidung für ein

<sup>65</sup> Die Firma Sawtooth hat anstelle der Abkürzung CBCA die kurze Form CBC geprägt.

bestimmtes Produkt getroffen. Es wird sich nicht die Mühe gemacht, die nicht-gewählten Alternativen in eine Präferenzenreihenfolge zu bringen. Die Choice-Based Conjoint-Analyse stellt eine Auswahl-situation her, die der Realität näher kommt. Die Antwortperson muss sich für nur eine Alternative aus einer begrenzten Anzahl von Alternativen (Choice Set) entscheiden. Der Informationsgehalt einer Aufgabe ist jedoch dementsprechend gering.

Ein weiterer Aspekt, der die CBCA so realitätsnah erscheinen lässt, ist die Möglichkeit der Modellierung der None-Option. D.h. der Antwortperson wird die Möglichkeit gegeben, keine Alternative auszuwählen. Diese Möglichkeit ist in der Realität stets gegeben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Informationsgehalt hinsichtlich der Präferenzenstruktur wenig Informationsgehalt je Auswahl-situation erzeugt. In der Literatur wird empfohlen die None-Option anzubieten (vgl. S. 85). Dies spricht auch für die CBCA, da bei der TCA die Möglichkeit der None-Option nicht gegeben ist.

Die Hybrid-Conjoint-Analyse zielt darauf ab, einen möglichst hohen Informationsgehalt mit möglichst kleinem Sample zu erhalten. Daher erfolgt eine Vorselektion der Antwortpersonen. In der vorliegenden Arbeit soll die Einflussstärke der Anreizsysteme auf die Antwortpersonen bestimmt werden. Daher müssen grundsätzlich alle Anreizsysteme allen Personengruppen gezeigt werden können. Eine Vorselektion soll nicht stattfinden. Elemente der ACA können angewendet werden, um für die Antwortpersonen die Auswahl-situation noch realitätsnäher zu gestalten. So kann über die Eingabe der jährlichen Fahrleistung die Treibstoffkosten abgeschätzt werden und individuelle Kostenangaben in den Stimuli widergegeben werden.

In der Konsequenz wird die CBCA mit Elementen der ACA als geeignete Erhebungsform zur Präferenzenmessung hinsichtlich der Antriebstechnologien vor dem Hintergrund unterschiedlicher Anreizsysteme erachtet. Die Vorteile wie z. B. der einfachen Darstellungsmöglichkeit und der dennoch scheinbar realistischen Auswahl-situation scheinen gegenüber den anderen Verfahren klare Anwendungsvorteile zu besitzen. Die große Anzahl der Untersuchungen, die zur Verkehrsmittelwahl, Fahrzeugtypen und Antriebstechnologien durchgeführt wurden (vgl. Kapitel 3.1.1) und die Literaturhinweise, die dieses Verfahren eindeutig empfehlen, sprechen ebenso für die Verwendung dieses Verfahrens.

In Bruschi (2009, S. 89–94) wird darauf hingewiesen, dass zur Erhöhung der Realitätsnähe in der Auswahl-situation auch Bilder, Videos oder sogar reale Produkte verwendet werden können. In einer Vorstudie, in der die Stimuli mit stilisierten

Bildern unterschiedlicher Fahrzeugtypen gezeigt wurden, konnte die Automarke nur teilweise verborgen werden. Die Automarke kann aber potentielle Käufer so stark beeinflussen, dass die eigentlichen Fahrzeugeigenschaften in den Hintergrund treten: “The brand name connotes an historical accumulation of utility associated with attribute levels experienced in the past, [...], often downgrading the role of currently observed [...] attribute levels” (Hensher et al. 2005, S. 113). Dieselbe Beeinflussung gilt auch für Eigenschaften wie Design, Farbe, etc. die an dieser Stelle keine Rolle spielen sollen. Daher wird eine rein verbale Choice-Based Conjoint-Analyse durchgeführt.

### Ökonometrisch-theoretische Grundlagen

Für das weitere Verständnis der Funktionsweise der CBCA ist eine kurze Darstellung der theoretischen Grundlagen dieser Methode notwendig. Daher werden in diesem Kapitel kurz die Weiterentwicklung der Haushaltstheorie vom einem rein rational handelndem homo oeconomicus zur Random-Utility-Theory (RUT), also der Nutzenfunktion, die alle unbeobachtbaren Variablen in einem zusätzlichen Zufallsterm zusammenfasst, dargestellt.

Die Conjoint-Analyse wurde aus der Theorie des Conjoint Measurement<sup>66</sup> (CM) entwickelt. Diese fußt auf Lancasters Nachfrage-Modell (theory of demand) von (1966) für das Thurstone (1927) mit der Entwicklung des Verfahrens zur Skalierung von Einstellungen zu Objekten (Law of Comparative Judgement) das theoretische Fundament legte. Die Grundannahme ist, dass Menschen sich bei Präferenzurteilen hinsichtlich einer bestimmten Eigenschaft auf eine latente Skala (z. B. eigene Wertvorstellung) beziehen, auf der die Objekte, Produkte, Dienstleistungen, etc. abgebildet sind. (Lancaster) nimmt an, dass “individuals gain utility from certain product characteristics, instead of the product per se” (Ehls et al. 2014, S. 54). Das Problem der Theorie des Conjoint Measurement ist, dass sie ein mathematisches Verfahren zur Darstellung des Verhaltens bei der Rangbildung ist. Die Theorie “[...] is purely mathematical and concerned with the behavior of number systems, not the behavior of humans or human preferences” (Louviere et al. 2010a, S. 59). Das bedeutet, dass die Axiome, die dieser Theory folgen, rein mathematischer Natur sind. „[...] Conjoint Measurement has no error theory [...]“ (Louviere 1988b, S. 95). Befragte, die unterschiedliche Produkte in eine Reihenfolge gemäß der eigenen Präferenz bringen, können diese Axiome jedoch verletzen. Mit der Entwicklung der Zufallsnutzentheorie (Random Utility

---

66 Verbundmessung (wird aber meist nicht übersetzt)

Theory - RUT) (Luce, Tukey 1964; McFadden, Zarembka 1974), nach der sich ein Mensch für die Alternative (gegenüber anderen Alternativen) entscheidet, die ihm den größten Nutzen bringt, wurde der Grundstein für eine breite und flexible Anwendung in der Praxis und der Wissenschaft gelegt.

Generell lassen sich die Präferenzen von Konsumenten mit dem von McFadden (1973) entwickelten Random Utility Model (RUM), das er zur Abschätzung der Rapid Transit Nachfrage in der Bay Area von San Francisco entwickelt hatte, bestimmen. Der Gesamtnutzen  $U$  lässt sich folgendermaßen beschreiben (vgl. auch Hensher und Greene (2003, S. 134)):

$$U = V + \varepsilon \quad (2)$$

mit:

$V$  = deterministischer Teilnutzen (beobachtet)

$\varepsilon$  = probabilistischer Teilnutzen (nicht beobachtbar; engl. *random*)

Detaillierter lässt sich dieser Zusammenhang indiziert darstellen als:

$$U_{ij} = V_{ij} + \varepsilon_{ij} = \beta' X_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

mit:

$U_{ij}$  = Nutzen für Individuum  $i$  aus Alternative  $j$   
( $j$  aus  $J$  = Anzahl der Alternativen),

$V_{ij}$  =  $V(X_{ij})$  Teilnutzen der einzelnen Attribute,

$\beta$  = Gewichtungsvektor, der die Wichtigkeit der Attribute für das Individuum berücksichtigt,

$\varepsilon_{ij}$  = Zufallsterm, beinhaltet alle nicht beobachtbaren Faktoren.

Die Zufallsnutzentheorie<sup>67</sup> (vgl. z. B. McFadden 1973, S. 105) besagt, dass die Wahrscheinlichkeit, dass Alternative  $j$  aus dem Choice Set  $J$  gewählt wird, diejenige Option ist, die der Antwortperson den größten Nutzen bringt:

$$P(j|J) = P[(V_{ij} + \varepsilon_{ij}) > \text{Max}(V_{ki} + \varepsilon_{ki})], \quad (4)$$

für alle  $k$  Alternativen des Choice Sets  $J$ .

---

67 Random Utility Theory (RUT)

Der Operator *Max* besagt hier, dass diejenige Alternative gewählt wird, deren Teilnutzen  $V$  und Zufallskomponenten  $\varepsilon$  größer sind, als bei anderen Alternativen des gleichen Choice Sets.

Der Nutzen  $V$  einer Alternative  $i$  mit den Eigenschaften  $X_1, X_2, \dots, X_K$  kann folgendermaßen formuliert werden:

$$V_i = \beta_{0i} + \beta_{1i}f(X_{1i}) + \beta_{2i}f(X_{2i}) + \beta_{3i}f(X_{3i}) + \dots + \beta_{Ki}f(X_{Ki}) \quad (5)$$

mit:

$\beta_{ii}$  stellt das Gewicht (des Parameters) dar, der mit dem Attribut  $X_i$  und der Alternative  $i$  verbunden ist.

$\beta_{0i}$  ist nicht mit einem Attribut verbunden, sondern stellt eine alternativen-spezifische Konstante dar. Sie repräsentiert alle Teilnutzen einer Alternative, die nicht beobachtet wurden.

#### Ablauf einer Conjoint-Analyse

„Wesentliches methodisches Element der Conjointanalyse ist die Konstruktion von Erhebungsdesigns auf Basis festgelegter (Produkt-)Eigenschaften und Ausprägungen“ (Baier, Bruschi 2009c, S. 73). Das gewählte Erhebungsdesign ist erheblich für Erfolg und Misserfolg der Befragung verantwortlich. Nur ein sinnvoll strukturiertes und für die Situation passendes Design garantiert einen reibungslosen Erhebungsablauf (Sammlung der Daten) und liefert plausible Ergebnisse, um Präferenzen und Effekte der einzelnen Merkmale bestimmen zu können. Dabei ist zu beachten, dass die Präsentation der Stimuli, die Teilnehmer zum einen nicht überfordert und zum anderen motiviert alle Aufgabe konzentriert zu beantworten.

Tabelle 5 zeigt den generellen Ablauf einer Conjoint-Analyse - von der Festlegung des Designs über die Datenerhebung bis hin zur Datenauswertung. Das weitere Vorgehen in der vorliegenden Arbeit orientiert sich an diesem Ablauf.

Tabelle 5: Ablauf einer Conjoint-Analyse

<b>1. Datenerhebung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ermittlung der relevanten Eigenschaften und Eigenschaftsausprägungen</li> <li>- Literaturrecherche und/ oder Experteninterviews oder Fokusgruppenbeteiligung</li> <li>- Bestimmung des conjointanalytischen Untersuchungsansatzes</li> <li>- Auswahl des Präferenzmodells und Festlegung des Erhebungsdesigns (Anzahl Stimuli; Anzahl der Alternativen je Stimuli; None-Option)</li> <li>- Festlegung der Erhebungsinstrumente</li> <li>- Konstruktion der Teststimuli (<i>choice set</i>)</li> <li>- Bewertung der Teststimuli</li> <li>- Testlauf</li> <li>- Erhebung (Präsentation der Stimuli)</li> </ul>
<b>2. Datenauswertung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Auswahl des Schätzalgorithmus</li> <li>- Individuelle Auswertung</li> <li>- Aggregierte Auswertung</li> </ul>
<b>3. Anwendungsbezogene Ergebnisnutzung</b>

Quelle: eigene Darstellung; angelehnt an Weiber und Rosendahl (1997, S. 108), Ehls (2014, S. 57), Hanley et al. (2001, S. 437)

### Die Auswahlssituation

Die Auswahlssituation enthält die Darstellung der Stimuli, die die einzelnen Produkte beschreiben, sowie die Fragestellung. Typische Fragestellungen sind: „*Unter der Annahme, dass alle Eigenschaften außer die unten Dargestellten gleich sind, für welches Produkt würden Sie sich entscheiden?*“. Die Anzahl der Produkte, die die Antwortperson in einer Auswahlssituation gegeneinander abwägen soll (inkl. einer evtl. None-Option<sup>68</sup>), bilden zusammen das *Choice Set*. Der Antwortperson werden je Auswahlssituation zwei (paarweiser Vergleich) oder mehr Alternativen präsentiert. In der vorliegenden Arbeit werden je Auswahlssituation den Empfehlungen von Backhaus (2011) folgende drei Alternativen präsentiert. Johnson und Orme (1996, S. 19) und Vermeulen et al. (2008, S. 1) empfehlen eine None-Option anzubieten, um eine realistische Marktsituation für die Teilnehmer zu erzeugen. Street und Burgess (2007, S. 228) zeigen die Vorgehensweise. Der Nutzentheorie zufolge wird die None-Option ausgewählt, wenn keine der zur Verfügung gestellten Alternativen im Choice Set einen aus-

<sup>68</sup> „*Ich würde keine der Alternativen kaufen.*“

reichenden Nutzen für den Teilnehmer erbringt (Vermeulen et al. 2008, S. 3). Nach dem psychologischen Ansatz wählt der Teilnehmer lieber keine der Alternativen, als die Möglichkeit einzugehen, eine „falsche“ Wahl zu treffen (ebd.). In der Auswahl-situation soll die None-Option in jeder Auswahl-situation präsentiert werden.

Erfahrungen haben gezeigt, dass die Anzahl der Entscheidungssituationen zwischen sieben und 15 liegen sollte. Dabei gilt: je komplexer die Aufgabe (hohe Anzahl Stimuli und hohe Anzahl Alternativen pro Choice Set), desto geringer ist die Anzahl der zu bearbeitenden Aufgaben je Befragten zu wählen. Die Befragten ermüden ansonsten zu schnell und die Datenqualität leidet darunter (Backhaus et al. 2011, S. 326). Nach Johnson und Orme (1996, S. 7–22) können bis zu 20 Auswahlentscheidungen präsentiert werden, ohne dass Ermüdungseffekte auftreten. Ab 30 Wiederholungen wurde eine etwas geringere Datenverlässlichkeit (Konsistenz innerhalb der Antworten) festgestellt (Melles et al. 2000, S. 31). Aufgrund des umfangreichen Fragebogens werden acht Auswahl-situationen mit unterschiedlichen Choice Sets präsentiert.

#### Versuchsplan

Bei der Entwicklung des sog. Versuchsplans für eine SP-Aufgabe müssen nach FGSV (1996, S. 18) folgende Randbedingungen erfüllt sein:

1. Der Fragebogen muss die zugrundegelegte/n Hypothese/n testen können.
2. Er muss vollständig sein.
3. Die zu schätzenden Parameter müssen möglichst genau schätzbar sein.
4. Er darf nicht zu viele Auswahl-situationen enthalten, um die Antwortperson nicht zu ermüden und die Abbruchquote gering zu halten.
5. Die Entscheidungssituationen sollen so realistisch wie möglich sein.

„Der Versuchsplan [...] hat die Aufgabe, den Entscheidungsraum der Befragten durch eine Folge von Entscheidungssituationen möglichst vollständig auszuloten, um die zugrundeliegenden Präferenzstrukturen der Befragten zu ermitteln“ (ebd.).

Bei der Konstruktion der Versuchspläne sind vollständige Designs zu unterscheiden, die alle Eigenschaftsausprägungskombinationen vorsehen (full factorial design) und reduzierte Designs, die nur einen Teil der möglichen Kombinationen (fractional factorial design) verwenden. Beim reduzierten Versuchsplan werden

die Kombinationen nach bestimmten Regeln reduziert (siehe hierzu Unvollständiges faktorielles Design, S. 88). Nachfolgend wird die Entwicklung effektiver Versuchspläne dargestellt.

Vollständiges faktorielles Design

Die Anzahl der möglichen Alternativen (Stimuli) eines vollständigen faktoriellen Designs berechnet sich, indem alle Eigenschaftsausprägungen miteinander multipliziert (faktoriert) werden:

$$K = M_1 * M_2 * \dots * M_j \quad (6)$$

mit:

$M_j$  = Anzahl der Merkmalsausprägungen (level) und

$J$  = Anzahl der Eigenschaften (attribute).

Bei geringer Anzahl von Merkmalen bzw. Attributen und deren Ausprägungen ist es möglich, der Antwortperson alle Kombinationen vorzulegen. Diese Anzahl kann bei einer größeren Anzahl an Attributen oder Ausprägungen schnell ein paar Tausend Kombinationen übersteigen (vgl. Backhaus et al. 2011, S. 324). Die Stimuli werden in Choice Sets der Antwortperson präsentiert (vgl. Abbildung 14, S. 142). Selbstverständlich können nicht alle möglichen Kombinationen von den Antwortpersonen beurteilt werden. Es ist daher notwendig, die Anzahl der Choice Sets zu reduzieren. Hierfür gibt es grundsätzlich drei Möglichkeiten:

- 1) die Anzahl der Alternativen und/oder Ausprägungen zu verringern,
- 2) ein fraktionelles faktorielles Design zu nutzen,
- 3) Blöcke zu nutzen

oder eine Kombination aus 2) und 3). Um den Informationsgehalt nicht zu mindern, soll von der ersten und dritten Möglichkeit abgesehen werden und die zweite Version näher betrachtet werden.

### Unvollständiges faktorielles Design

Die Anzahl der Eigenschaftsausprägungskombinationen können verringert werden, indem zufällig, systematisch oder nach anderen Kriterien einzelne Kombinationen aus dem Versuchsplan entfernt werden. Ziel ist es mit möglichst wenig Kombinationen einen möglichst hohen Informationsgehalt zu erhalten. Eine zufällige Auswahl der Eigenschaftsausprägungskombinationen würde zu einem ineffektiven Design führen. D.h. es würden sehr viele Teilnehmer benötigt, was einen hohen Zeitbedarf und höhere Erhebungskosten bedeuten würde. Mit Hilfe von statistischen Konzepten können jedoch optimale bzw. effektive reduzierte (fraktionelle) faktorielle Designs (*engl. fractional factorial design bzw. efficient designs*) erstellt werden. Unter dem Begriff des „Experimental Designs“ bedient sich die Forschung an statistischen Verfahren, um das effizienteste Design zu entwickeln (vgl. Kuhfeld 2010; Street, Burgess 2007).

Hierzu ist das Konzept der Orthogonalität zu verstehen. „Orthogonality is a mathematical constraint requiring that all attributes be statistically independent of one another“ (Hensher et al. 2005, S. 115). D.h. Orthogonalität sagt aus, dass es keine Korrelation zwischen den Eigenschaften gibt, die sich gegenseitig beeinflussen. Gibt es  $M$  Alternativen, von denen jede  $A$  Eigenschaften besitzt und jede Eigenschaft  $L$  verschiedene Eigenschaftsausprägungen annehmen kann, dann kann die Independence-of-marginal-probabilities-Bedingung mit einem  $L^{MA}$  faktoriellen Design befriedigt werden (Louviere et al. 2000, S. 120).

Der Vorteil von unabhängigen Eigenschaften ist, dass die Parameterschätzung oft genauer ist, als bei abhängigen Eigenschaften. Statistikprogramme wie PASW<sup>®</sup>, Sawtooth<sup>®</sup> und SAS<sup>®</sup> sind in der Lage orthogonale Designs schnell und effektiv zu erstellen (vgl. u. a. Chrzan, Orme 2000; SPSS Inc. 2007). Es gibt eine breite Literatur über die Erstellung von effizienten Designs (vgl. Louviere 2006, S. 176; Bliemer et al. 2009; Rose, Bliemer 2009; Scarpa, Rose 2008; Zwerina et al. 1996). Auf die genaue Methodik der Programme soll hier nicht weiter eingegangen werden. Die Erstellung der Designs ist ein komplexes Vorgehen und ist der am wenigsten verstandene Bestandteil der ganzen Stated-Choice-Methode (Hensher et al. 2005, S. 127).

Für diese Arbeit wurde für die Erstellung des Designs die Software SSI Web7 der Firma Sawtooth<sup>®</sup> verwendet. Da die Erhebung mit mindestens 1.000 Teilnehmern durchgeführt werden soll, ist die Effizienz des Fragebogens, die darauf abzielt, eine möglichst geringe Teilnehmerzahl zu befragen, in diesem Fall weniger relevant. Bei der Erstellung des Designs wurden folgende Design-Erstellungs-Algorithmen verwendet:

- Random Task Generation Method: Balanced Overlap<sup>69</sup>
- Traditional Full-Profile CBC Design

Siehe hierzu die Dokumentation der CBC-Software (Sawtooth Software 2013). Es wurden 300 verschiedene Fragebögen mit insgesamt 600 unterschiedlichen Choice Sets produziert, die auf das Sample gleichmäßig verteilt werden. Also jeder Fragebogen wird im Durchschnitt ca. dreimal beantwortet. Zusätzlich wurden jedem Teilnehmer zwei Auswahlmöglichkeiten gezeigt, die für alle Teilnehmer dieselben waren (*sog. Holdouts*).

#### Haupteffekte

Als Effekt wird der Einfluss einer Ausprägung auf die Auswahl der Antwortpersonen bezeichnet. Als Haupteffekt wird der Einfluss einer Eigenschaft bzw. eines Merkmals ungeachtet der untersuchten Merkmalsausprägungen bezeichnet. Die Anzahl der Haupteffekte entspricht der Anzahl der Merkmale. Die kleinste Anzahl an messbaren Effekten entspricht der Anzahl der Haupteffekte. Designs, die nur Haupteffekte messen können, nennt man *orthogonal main effects only designs* (Hensher et al. 2005, S. 124).

#### Interaktionseffekte

Interaktionseffekte sind Effekte, die durch die Kombination von zwei oder mehr Eigenschaften auf die Entscheidung hervorgerufen werden, die man durch die einfache Betrachtung einzelner Eigenschaften nicht feststellen könnte. Interaktionseffekte treten auf, wenn eine Merkmalsausprägung einen Einfluss auf eine andere Merkmalsausprägung hat. Zur Bildung von Interaktionsvariablen werden die beiden Eigenschaften, von denen vermutet wird, dass sie einen Interaktionseffekt auslösen, miteinander multipliziert. „Wichtig an diesem Modell ist, dass nicht nur die Interaktionsvariable in das Modell einfließt, sondern auch die beiden ‚Haupteffekte‘“ (Stein et al. 2010, S. 21). Durch die Verwendung von Interaktionsvariablen lassen sich die Effekte der Personenmerkmale auf die

---

<sup>69</sup> Die Balanced-Overlap-Methode ist ein Kompromiss zwischen dem Zufallsverfahren und dem vollständigen orthogonalen Design. Es lässt im Gegensatz zum Zufallsverfahren nur eine halb so große Überlappung zu und erhöht daher die Effizienz. Es werden keine Alternativen-Duplikate innerhalb einer Aufgabe zugelassen. “The Balanced Overlap method is nearly as efficient as the Complete Enumeration and Shortcut methods with respect to main effects, but is measurably better than either of those methods in terms of increasing the precision of estimates of interaction terms” (Sawtooth Software 2013, S. 17).

Auswahlentscheidung darstellen (vgl. Erb 2009; Li 2011). Es können also zwei alternativen-spezifische Merkmale oder ein alternativen-spezifisches mit einem personenspezifischen bzw. einem verkehrsverhalten-spezifischen Merkmal kombiniert werden. Eine besondere Rolle kommt den Interaktionsvariablen zu, die Interaktionseffekte zwischen dem Verkehrsverhalten und der Auswahl der Antriebstechnologie offen legen.

Das Mobilitätsverhalten ist wie schon angesprochen von vielen Einflüssen abhängig. Neben den soziodemographischen und sozioökonomischen Merkmalen einer Person stellen u. a. die Pkw-Verfügbarkeit, Wohnort und der Führerscheinbesitz ebenso entscheidende Faktoren dar, die das Verkehrs- und Mobilitätsverhalten beeinflussen. Der Einfluss solcher Merkmale soll ebenso anhand von Interaktionsvariablen untersucht werden.

#### Freiheitsgrade

Mit Bezug auf den Gesamtnutzen bezeichnet der Freiheitsgrad eines Experiments die Information, die der Forscher durch den Teilnutzen einer Eigenschaft gewinnt. Die Anzahl der Freiheitsgrade ist durch die Anzahl der Eigenschaften, die abgefragt werden, bestimmt. Um ein faktorielles Design fraktionieren zu können, muss untersucht werden, wie viele Freiheitsgrade für das jeweilige Modell benötigt werden, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. “The degrees of freedom for an experiment are the number of observations in a sample minus the number of independent (linear) constraints placed upon it during the modeling process. The independent (linear) constraints are the  $\beta$ -parameters we estimate” (Hensher et al. 2005, S. 118). Die Anzahl der Freiheitsgrade wird vor der Modellschätzung durch die Statistiksoftware (z. B. STATA<sup>®</sup>) automatisch ermittelt.

### 2.3.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden umfassend die bestehenden Erhebungsmethoden zur Erfassung von Konsumentenpräferenzen für hypothetische Märkte vorgestellt (vgl. Kapitel 2.3.1 bis 2.3.2). Weiterentwicklungen der klassischen Conjoint-Analyse zielen darauf ab, bei geringerem Erhebungsaufwand einen höheren Informationsgehalt zu erreichen. Es konnte gezeigt werden, dass die sehr weitverbreitete auswahlbasierte Conjoint-Analyse (Choice-Based Conjoint-Analyse) bei komplexen Produkten als Erhebungsmethode die meisten Vorteile bietet, da sie für die Antwortperson eine einfach zu erfassenden Auswahl-situation vorgibt.

Da das Discrete-Choice-Experiment (DCE) mit einem Online-Access-Panel durchgeführt werden soll (vgl. Kapitel 3.2), stellt die schnelle und einfache Begreifbarkeit der Auswahl-situation ein entscheidendes Auswahlkriterium der Erhebungsmethode dar. Der Vorteil eines DCE ist, dass in der Auswahl-situation eine reale Entscheidungsumgebung für die Antwortperson erstellt werden kann. In diskreten Entscheidungsexperimenten ist es der Antwortperson eher möglich eine realistische Entscheidung zu treffen, da sie nicht vor die Aufgabe gestellt wird, eine Alternative (von mehreren) zu bewerten bzw. eine Reihenfolge zu erstellen, sondern sich für NUR EINE Alternative entscheiden muss (vgl. Louviere 1988b, S. 100). Man geht davon aus, dass dies dem realen Entscheidungsprozess nahe kommt. In der Konsequenz fällt die einzelne Aufgabe für die Antwortperson einfacher aus.

Neben dem generellen Ablauf der Conjoint-Analyse wurde die Bildung der Auswahl-situation dargestellt und die Entwicklung des Versuchsplans erläutert. Insgesamt wurden unter Verwendung eines fraktionellen faktoriellen Designs ein effizientes Erhebungsdesign von 300 verschiedenen Fragebögen mit über 600 Choice Sets erstellt, die auf die Antwortpersonen der Erhebung gleichmäßig aufgeteilt werden.

Neben der Erhebungsmethode muss im nächsten Schritt ein geeignetes Wahlmodell zur Datenanalyse ausgewählt werden. Die Auswahl wird im folgenden Kapitel ausgeführt.

## 2.4 Discrete-Choice-Analyse

Dieses Kapitel stellt die Diskussion, Bewertung und anschließende Auswahl des Wahlmodells zur Abbildung der Kaufentscheidung dar. Das Wahlmodell dient der Messung der Einflussstärken der unterschiedlichen Anreizsysteme auf die Antwortpersonen. Eine eingehende Auseinandersetzung mit bestehenden Discrete-Choice-Analyse-Modellen ergibt, dass das Mixed-Logit-Modell ein geeignetes Wahlmodell zur Beantwortung der Forschungsfrage darstellt. Es besitzt den entscheidenden Vorteil, dass die Beantwortung mehrerer Auswahl-situationen durch eine Person berücksichtigt werden kann sowie heterogene Präferenzen geschätzt werden können. Zu beachten bei Mixed-Logit-Modellen ist, dass die Koeffizientenschätzung anhand einer simulierten Log-Likelihood-Methode geschätzt wird. Im Gegensatz zu den Mixed-Logit-Modellen gehen Multinomiale-Logit-Modelle von einer homogenen Präferenzstruktur aus.

Bei der Discrete-Choice-Analyse<sup>70</sup> ist „festgelegt, dass eine Indikatorvariable die einzelnen Wahlentscheidungen einer diskreten Menge von Alternativen einfängt und anschließend die Datengrundlage der Schätzung bildet“ (Jetzek 2009, S. 115). Diese Variable stellt in der vorliegenden Arbeit die Variable *choice* dar. In ihr wird festgehalten, welche Alternative je Choice Set während der CBCA von der Antwortperson gewählt wurde.

Im Marketing wurden die ersten Studien, die sich mit der Modellierung von Wahlentscheidungen befassen, von Green und Rao (1971) und Green und Wind (1973) erstellt. In den nachfolgenden Jahren wuchs die Anwendung von Wahlmodellen (choice models) sowohl auf akademischer als auch auf kommerzieller Seite stark an (siehe hierzu Slovic, Lichtenstein 1971, Slovic et al. 1977 und Green, Srinivasan 1978).

Die Choice-Analyse dient dazu die Teilnutzen (part worths) der Eigenschaften eines Produktes oder einer Dienstleistung zu ermitteln (Bade et al. 2012, S. 24–26). Nutzerpräferenzen und deren Zusammenhang mit den Ausprägungen einer Eigenschaft und dem damit verbundenen Teilnutzen für die Antwortperson können anhand von Teilnutzenmodellen beschrieben werden. Für jede Eigenschaft ist ein eigenes Teilnutzenmodell zu definieren. Man unterscheidet das Vektor-Modell, Idealpunkt-Modell und das Teilwert-Modell (vgl. z. B.: Bichler und Trommsdorff (2009, S. 61–65) oder Backhaus (2011, S. 330)). Die CBCA ist nicht an ein bestimmtes Nutzenmodell gebunden (Rabe-Hesketh, Skrondal 2012). Das Vektor-Modell ist nach dem Prinzip „mehr bzw. weniger ist besser“ nur für lineare Ausprägungen geeignet. Das Idealpunktmodell geht von EINEM idealen Wert aus. Der Nutzen steigt also nicht kontinuierlich wie beim Vektor-Modell, sondern hat an einer bestimmten Stelle einen Hochpunkt (höchster Nutzen). Werte davor und dahinter bringen geringere Nutzen. Aufgrund seines flexiblen Einsatzes hat sich das Teilnutzenmodell durchgesetzt. Es kann für lineare als auch für kategoriale (diskrete) Ausprägungen angewendet werden. Jeder Ausprägung wird ein spezifischer Nutzenwert zugewiesen (Bichler, Trommsdorff 2009, S. 64–65).

---

70 Die CBCA ist eine Form der Discrete-Choice-Analyse

$$u_{ip} = \sum_{k=1}^{K_i} \beta_{ik} \cdot x_{ikp} \quad (7)$$

mit:

$u_p$  = Teilnutzenwert der Eigenschaft  $i$  für Produkt  $p$ ,

$K_i$  = Anzahl der Ausprägungsstufen  $k$  der Eigenschaft  $i$ ,

$x_{ikp}$  = Dummy-Variablen für Ausprägung  $k$  der Eigenschaft  $i$  beim Produkt  $p$ :

1 = Ausprägung wahrgenommen,

0 = Ausprägung nicht wahrgenommen,

$\beta_{ik}$  = Parameter: Teilnutzenwert der Ausprägungsstufe  $k$  der Eigenschaft  $i$ .

Das Teilnutzenwertmodell wird als Nutzenfunktion aufgrund seiner flexiblen Verwendungsmöglichkeiten im Weiteren verwendet. „Das Teilnutzenwertmodell kann das Idealpunkt- und das Vektormodell als Spezialfälle abbilden“ (ebd., S. 65).

Um den Gesamtnutzen darstellen zu können, ist eine Verknüpfungsfunktion der Nutzenfunktionen zu wählen. Hier werden kompensatorische und nichtkompensatorische Modelle unterschieden, wobei in der Conjoint-Analyse grundsätzlich kompensatorische Verknüpfungsfunktionen verwendet werden (Teichert 2001, S. 61). Folglich werden an dieser Stelle die nichtkompensatorischen Modelle nicht näher betrachtet. Die Annahme bei kompensatorischen Modellen ist, dass geringe Nutzenwerte durch höhere Nutzenwerte anderer Eigenschaften kompensiert (ausgeglichen) werden können. Nun können diese Teilnutzenwerte aufsummiert werden (additiv) oder multipliziert werden. Die häufigste Form ist das additive Modell. Hieraus ergibt sich das kompensatorische additive Gesamtnutzenmodell, welches sich nach Bichler und Trommsdorff (2009, S. 70) wie folgt mathematisch darstellen lässt:

$$u_p = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^{K_i} \beta_{ik} \cdot x_{ikp} \quad (8)$$

mit:

$u_p$  = Gesamtnutzen des Produkts  $p$ ,

$I$  = Anzahl der Eigenschaften  $i$ ,

$K_i$  = Anzahl der Ausprägungsstufen  $k$  der Eigenschaft  $i$ ,

- $x_{ikp}$  = Dummy-Variable für Ausprägung  $k$  der Eigenschaft  $i$  beim Produkt  $p$ :  
1 = Ausprägung wahrgenommen,  
0 = Ausprägung nicht wahrgenommen,  
 $\beta_{ik}$  = Parameter: Teilnutzenwert der Ausprägungsstufe  $k$  der  $i$ .

Neben dem Nutzenmodell ist ein Wahlmodell (*engl. choice model*) zu wählen. Das Wahlmodell liefert die Wahrscheinlichkeit für die Wahl einer Alternative. Zu unterscheiden sind das Max-Utility-Modell (auch: First-Choice-Modell), das Random-Choice-Modell, das Attraction-Modell (auch: Bradley/ Terry/ Luce-Modell) und das Logit-Choice-Modell (Backhaus et al. 2011, S. 333). Das Logit-Modell (s. Kapitel 2.4.1) kommt aufgrund seiner der Realität am nächsten kommenden Annäherung am häufigsten zum Einsatz. Nachfolgend werden logistische Regressionsverfahren und Weiterentwicklungen des einfachen Logit-Choice-Modells vorgestellt.

### 2.4.1 Logistische Regressionsverfahren

Im Folgenden wird die Funktionsweise logistischer Regressionsverfahren beleuchtet und die Verwendung als Wahlmodell für die Analyse des DCE geprüft. Logistische Regressionen sind geeignet, um nominal skalierte abhängige Variablen zu analysieren (Lois 2010, S. 20). Bei den logistischen Regressionsverfahren sind zunächst Verfahren zur Analyse von dichotomen Variablen, also Variablen, die nur zwei Werte annehmen, zu unterscheiden. Man spricht dabei vom binären Logit Modell. Weiterentwicklungen des binären Logit Modells können auch Variablen mit mehreren kardinal skalierten Werten abbilden.

Logit

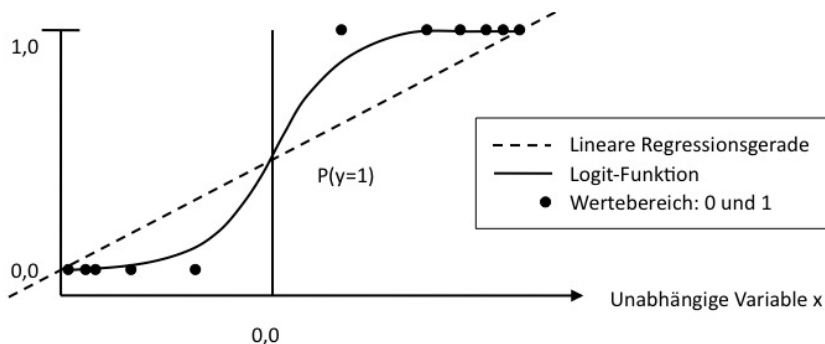
Zur Bestimmung der Verschiedenartigkeit des Kundengeschmacks zu Produkten bzw. Dienstleistungen und deren Eigenschaften werden traditionell Logit-Modelle verwendet (vgl. u. a. Hensher et al. 2008; Brownstone et al. 2000; McFadden, Train 2000; Train 1998; Train 1986; Akiva, Lerman 1985; Manski, Sherman 1980; Train 1980; Lave, Train 1979).

Der Name Logit leitet sich von der logistischen Transformation (*engl. logistic transformation*) ab. Die Logit-Funktion hat den Vorteil gegenüber einer linearen Regressionsgeraden, dass Auswahlwahrscheinlichkeiten zwischen Gruppen wie z. B. „1“ und „0“, „Ja“ und „Nein“ oder „Mann“ und „Frau“ treffender anhand dieser stetigen Funktion dargestellt werden können. Die anhand der Logit-Funk-

tion zu erklärende abhängige Variable kann auch aus mehr als zwei Kategorien-  
gruppen mit nominalem Skalenniveau bestehen (Backhaus et al. 2008, S. 244).

Es wird nicht die Gruppenzugehörigkeit ( $y=1$ ) selbst als abhängige Variable betrachtet, sondern die Wahrscheinlichkeit der Gruppenzugehörigkeit  $p(y=1)$ . In anderen Worten: „Während die klassische Regressionsanalyse unmittelbar versuchen würde, den empirischen Beobachtungswert ‚Kauf‘ (z. B. gemessen über eine Ratingskala zur Beurteilung der ‚Kaufbereitschaft‘ von 1 = gering bis 6 = hoch) zu erheben, zielt die logistische Regression auf die Ableitung einer Eintrittswahrscheinlichkeit für das empirisch beobachtete Ergebnis ‚Kauf‘ ab“ (ebd., S. 244f). Abbildung 7 zeigt einen typischen Verlauf einer logistischen Funktion.

Abbildung 7: Logistische Funktion



Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an Fromm (2005, S. 7)

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis eintritt oder dass eine Person eine bestimmte Entscheidung trifft, kann über das einfache Verhältnis der günstigen Ergebnisse, also dass eine bestimmte Wahl getroffen wurde, gegenüber allen Beobachtungen, berechnet werden. Die sog. klassische Definition wurde von Christiaan Huygens und Jakob I. Bernoulli entwickelt und von Laplace erstmalig formuliert. Sie bildet die Grundlage für die klassische Wahrscheinlichkeitstheorie. Wahrscheinlichkeiten können nur im Intervall  $[0;1]$  variieren (vgl. u. a. Fromm (2005, S. 22) oder auch Rabe-Hesketh, Skrondal (2012, S. 502)).

Lineare Wahrscheinlichkeitsmodelle (lineare Regressionsfunktion) sind nicht geeignet, um dichotome Variablen abzubilden. Der Wertebereich der linearen Regression ist unbeschränkt  $[-\infty; +\infty]$ . In der Konsequenz können lineare Wahrscheinlichkeitsmodelle Vorhersagewerte außerhalb des zulässigen Bereichs von  $[0; 1]$  produzieren. Daher ist die Verwendung von linearen Wahrscheinlichkeits-

modellen für diese Anwendung nicht geeignet. Als Lösung wird die logistische Regression verwendet. „Im Gegensatz zur linearen Regression führt die logistische Regression keine Vorhersage der metrischen  $y_i$ -Werte der abhängigen Variablen durch, sondern eine Vorhersage der Eintrittswahrscheinlichkeit der (dichotomen)  $y_i$ -Werte“ (Stein et al. 2010, S. 53). Dies ist vor allem bei der Interpretation der Modellergebnisse zu berücksichtigen.

Abhängige Variablen sollen Werte von  $-\infty$  bis  $+\infty$  annehmen können. Die Betrachtung der Chance (*engl. odds*) also dem Quotienten zwischen der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis nicht eintritt, liefert einen Wertebereich von  $[0; +\infty]$ . „Die Chance ist definiert als das Verhältnis von zwei Wahrscheinlichkeiten“ (Lois 2010, S. 24).

$$odds = \frac{p(y = 1)}{1 - p(y = 1)} \quad (9)$$

Die Bildung der logarithmierten odds wird der Wertebereich  $[-\infty; +\infty]$  erreicht. Die logarithmierten odds werden auch Linkfunktion zwischen dem Regressionsausdruck und der Wahrscheinlichkeit  $p$  bezeichnet (Stein et al. 2010, S. 57). Die logarithmierten odds werden auch *Logit* genannt.

$$\ln(odds) = \ln \frac{p(y = 1)}{1 - p(y = 1)} = \text{Logit} \quad (10)$$

Mit der Berechnung der *odds ratio* (Chancenverhältnis) können zwei getrennt berechnete Chancen ins Verhältnis gesetzt werden (Lois 2010, S. 28).

Mit Hilfe des Logit kann nun durch Einsetzen der Nutzenfunktion  $V$  in Formel (11) die Wahrscheinlichkeit für  $y = 1$  bestimmt werden.

$$p(y = 1) = \frac{e^V}{1+e^V} \quad \text{bzw.} \quad p(y = 1) = \frac{1}{1+e^{-V}} \quad (11)$$

### Interpretation der Ergebnisse

Da die Interpretation von Logit-Modellen wie gezeigt kompliziert sein kann, werden im Folgenden kurz die Interpretationskriterien für signifikante Koeffizienten und die Nullhypothese dargestellt.

### Standardfehler, z-Statistik und Irrtumswahrscheinlichkeit

Der Standardfehler gibt an, „wie groß das Risiko ist, dass sich zwischen den Stichprobenschätzungen und den wahren Werten in der Grundgesamtheit größere Abweichungen ergeben“ (Lois (2010, S. 29). Der Standardfehler dient somit als Gütekriterium für die Modell-Schätzung. Positive Auswirkungen auf den Standardfehler (also der Standardfehler wird kleiner) ergeben sich, wenn die Stichprobe groß ist, ein starker Effekt der unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable vorliegt sowie eine große Varianz der unabhängigen Variablen gegeben ist (ebd.).

Die Statistiksoftware STATA<sup>®</sup>, die für die Auswertungen neben MS<sup>®</sup> EXCEL<sup>®</sup> verwendet wird, berechnet anhand des Standardfehlers die z-Statistik und die Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  (Signifikanz). Die z-Statistik<sup>71</sup> berechnet sich als Quotient aus dem  $\beta$ -Koeffizient und seinem Standardfehler ( $z = \beta / SE_{\beta}$ ). Mit ihr kann die Nullhypothese getestet werden. Die Nullhypothese besagt, dass es in der Grundgesamtheit bezüglich eines Aspektes (erklärende Variable) keinen Unterschied gibt<sup>72</sup>. Wird die Nullhypothese abgelehnt, besteht dennoch eine entsprechende Irrtumswahrscheinlichkeit, die mit dem  $p$ -Wert ausgedrückt wird.

Es wird deutlich, dass die Interpretation von Logit-Modellen keineswegs trivial ist. Zum weiteren Verständnis der Interpretation der Ergebnisse wird in Tabelle 6 eine Übersicht über die Interpretationsmöglichkeiten zu den Auswirkungen der Regressionskoeffizienten ( $\beta_i$ ) auf die Wahrscheinlichkeit gegeben (vgl. Lois 2010, S. 31).

---

71 z-Statistik = Equivalent zur t-Statistik in der linearen Regression.

72 Folgende Richtwerte gelten für den z-Wert: das 90 %-Signifikanzniveau wird etwa bei einem z-Wert von 1,7 erreicht, das 95 %-Signifikanzniveau ungefähr bei 2,0 und das 99 %-Signifikanzniveau bei etwa 2,7 (Lois 2010, S. 39).

Tabelle 6: Interpretation der Regressionskoeffizienten ( $\beta_i$ ) auf die Wahrscheinlichkeit  $p(y=1)$

$\beta$	OR ( $e^\beta$ )	Logit bzw. ln(odd)	Chance (odd)	$p(y=1)$
$\beta > 0$	$e^\beta < 1$	steigt um $\beta$	steigt um $e^\beta$	steigt
$\beta < 0$	$e^\beta > 1$	sinkt um $\beta$	sinkt um $e^\beta$	sinkt

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Backhaus (2008, S. 445)

Betrachtet man nur die  $\beta$ -Koeffizienten, lassen sich hinsichtlich der Auswahlwahrscheinlichkeiten nur qualitative Aussagen wie ‚sinkt‘ oder ‚steigt‘ treffen. Die Interpretation über die odds ratio wird erreicht, indem man die  $\beta$ -Koeffizienten exponiert ( $e^\beta$ )<sup>73</sup>.

Anhand Umrechnung der odds können die Wahrscheinlichkeiten berechnet werden (Wahrscheinlichkeitsinterpretation). „Das Problem bei der Interpretation der Wahrscheinlichkeiten besteht nun aber darin, dass sie nicht linear mit der Erhöhung der unabhängigen Variablen ansteigen. Eine Erhöhung von  $x_j$  um eine Einheit hat also nicht immer denselben Effekt“ (Stein et al. 2010, S. 58). So kann für jeden  $z_k$ -Wert die Wahrscheinlichkeit über

$$p(y = 1) = \frac{1}{1 + e^{-z_k}} \quad (12)$$

mit:

$$z_k = \beta_0 + \sum_{j=1}^J \beta_j x_{ij}$$

berechnet werden.

#### Multinomial-Logit-Modell

Die Erweiterung des binären Logit Modells stellt das Multinomial-Logit-Modell (MNL) dar. Während das binäre Logit-Modell nur die Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Fälle  $y=1$  und  $y \neq 1$  berechnen kann, können mit dem MNL-Modell Auswahlwahrscheinlichkeiten für Variablen berechnet werden, die mehr als zwei Kategorien besitzen. Ein Beispiel wäre die Verkehrsmittelwahl, die die Wahlmöglichkeit zwischen Auto, ÖPNV, Rad und Fuß bietet. Die Summe der Wahrscheinlichkeiten addiert sich auch hier wie beim binären Logit-Modell zu Eins.

73 Wird auch Effekt-Koeffizient genannt (Stein et al. 2010, S. 58).

$$p(y = 1) = \frac{e^{x' i \beta}}{\sum e^{x' i \beta}} \quad (13)$$

MNL Modelle sind geeignet, um den Einfluss der personenspezifischen Merkmale der Antwortperson zu analysieren. “Regardless of what is said about advanced discrete choice models, the MNL model should always be the starting point for empirical investigation. It remains a major input into the modelling process, helping to ensure that the data are clean and that sensible results (e.g. parameter signs and significance) can be obtained from models that are not ‘cluttered’ with complex relationships (see Louviere et al. 2000)” (Hensher, Greene 2003, S. 171)

#### IIA-Restriktion

Zur korrekten Berechnung von MNL-Modellen muss eine wichtige Voraussetzung erfüllt sein: die Annahme der „*Independence from Irrelevant Alternatives (IIA)*“, die schon 1959 durch (Luce) beschrieben wurde. Die Annahme fordert, dass die Auswahlwahrscheinlichkeit zweier Konzepte unabhängig von weiteren Konzepten bzw. Alternativen ist. Bildet man das Verhältnis zweier Auswahlwahrscheinlichkeiten, so wird das Ergebnis nur noch von den Eigenschaften des betrachteten Konzepts abhängen. Probleme kann es hierbei geben, wenn das Choice Set Alternativen enthält, die von der Antwortperson sehr ähnlich bewertet werden. Dieses Phänomen ist als Red-Bus-Blue-Bus-Paradoxon bekannt (vgl. hierzu z. B. Bade et al. 2012, S. 27; Winkelmann, Boes 2006, S. 163–164; Maier, Weiss 1990; Train 2003, S. 50).

Zur Erläuterung: Stehen im Choice Set als Verkehrsmittelwahl ein roter Bus und ein Auto zur Verfügung, für die jeweils eine Auswahlwahrscheinlichkeit von 50 % berechnet wird, dann beträgt das Verhältnis beider Auswahlwahrscheinlichkeiten den Wert 1. Erweitert man nun das Choice Set um ein weiteres Verkehrsmittel, einen blauen Bus, dann ist davon auszugehen, dass die Farbe die Auswahl des Verkehrsmittels (ob Bus oder Auto) nicht beeinflussen wird. Somit würden immer noch 50 % Auswahlwahrscheinlichkeit auf das Auto und jeweils 25 % auf den roten und blauen Bus entfallen. Mit dieser Annahme wird aber die IIA-Eigenschaft verletzt, da sich das Auswahlverhältnis zwischen Auto (50 %) und rotem Bus (25 %; vorher 50 %) verändert hat. Das Logit berechnet unter Einhaltung der IIA-Eigenschaft eine Auswahlwahrscheinlichkeit von jeweils 33 % für jedes der drei Verkehrsmittel (Train 2003, S. 49–51).

Die IIA-Eigenschaft bietet vor allem praktische Vorteile. So können ohne Auswirkungen auf die Wahrscheinlichkeitsberechnung einzelner Alternativen mit einer kleinen Auswahl aus allen Alternativen (*subset*) die jeweiligen Wahrscheinlichkeiten berechnet werden. Dies kann teilweise Rechenzeit ersparen. Ebenso können Antwortpersonen, die Alternativen ausgewählt haben, die in der Analyse nicht betrachtet werden sollen, ohne Einfluss auf die Parameterschätzung von der Analyse ausgeschlossen werden (vgl. ebd., S. 53).

MNL-Modelle sind jedoch nicht geeignet, um alternativen-spezifische Eigenschaften zu analysieren (Rabe-Hesketh, Skrondal 2012, S. 640). In der vorliegenden Arbeit sollen die Antriebstechnologien und die Anreizsysteme anhand der alternativen-spezifischen Eigenschaften modelliert werden. Daher ist das MNL-Modell für die Fragestellung ungeeignet.

#### Conditional-Logit-Modell

Das Conditional-Logit-Modell<sup>74</sup> (CL) basiert auf Lancasters Modell der Konsumentenwahl von (1966) und fußt ebenso wie das MNL-Modell auf der Random Utility Theory (RUT) von Luce (2005; vgl. auch McFadden 1974).

Unter Berücksichtigung der Annahme, dass die Fehlerterme  $\varepsilon$  der ökonometrischen Nutzenformel ( 2 ) identisch und unabhängig nach der Extremwertverteilung (Typ 1, Gumbel) verteilt sind<sup>75</sup> und der IIA-Annahme erfüllt ist, lässt sich die Wahrscheinlichkeit  $P_{ij}$ , dass ein Teilnehmer  $i$  die Alternative  $j$  wählt, nach McFadden (1973) wie folgt bestimmen:

$$p(y = 1) = \frac{e^{V_{ij}}}{\sum_{k=1}^J e^{V_{ik}}} = \frac{e^{(\beta' x_{ij})}}{\sum_{k=1}^J e^{(\beta' x_{ik})}} \quad (14)$$

Die Berechnung der Wahrscheinlichkeit  $p$ , dass eine Antwort in eine bestimmte Kategorie fällt, erfolgt über die Nutzen-Maximierung (*utility maximization*) (vgl. Rabe-Hesketh, Skrondal 2012, S. 630), bei der die Kategorie mit dem höchsten Nutzen bzw. der höchsten Attraktivität bestimmend ist (vgl. Kapitel 2.3.3, S. 80).

<sup>74</sup> Wird auch als Fixed-Effects-Logit-Modell bezeichnet

<sup>75</sup> engl. independently and identically distributed (iid); d.h. die kumulative Dichtefunktion ist nach Cushing und Cushing (2007, S. 3) durch  $F(\varepsilon_{ij}) = \exp(\exp(\varepsilon_{ij}))$  beschrieben; mit konstanter Varianz  $2/6$  (Haan 2006, S. 4).

Die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten erfolgt bei MNL-Modellen nach demselben Prinzip. CL-Modelle schätzen die Koeffizienten von alternativen-spezifischen Variablen im Gegensatz zu MNL-Modellen, mit denen personenspezifische Variablen untersucht werden.

Unter der Annahme, dass die Veränderung einer Eigenschaft Auswirkungen auf alle Alternativen hat, lassen sich Vorhersagen sogar zu hypothetischen Alternativen treffen, selbst wenn diese nicht im Datensatz enthalten sind (ebd., S. 638–639). Das CL-Modell<sup>76</sup> schätzt das Modell mit den Kovariaten<sup>77</sup>, die die Alternativen eines Choice Sets beschreiben: z. B. die Kosten für eine Reise mit dem Auto, Bus, Zug oder Flugzeug.

Die Kovariate  $x_i$  des CL-Modells hat einen Koeffizienten  $\beta$ , der sich nicht von Alternative zu Alternative verändert<sup>78</sup>, sondern die Kovariate  $x_i$  ändert sich von Alternative zu Alternative. Das CL-Modell eignet sich nach Train (2003), um eine erste gute Annäherung an Modelle, die die IIA-Annahme auflösen, zu erzielen. Anhand der Ergebnisse des CL-Modells können Aussagen über Entscheidungen des aggregierten Samples gemacht werden. Interessiert der Einfluss einzelner Eigenschaften bzw. Merkmale, müssen Modelle verwendet werden, die die IIA-Annahme auflösen (Cushing, Cushing 2007, S. 19–20). Der Einfluss von personenspezifischen Merkmalen kann über die modellseitige Integration von Interaktionsvariablen untersucht werden.

---

76 Das Conditional-Logit-Modell hat die Bedingung, dass die Summe der abhängigen Variable 1 ergibt. Daher die Bezeichnung *Conditional*. Die abhängige Variable (hier: choice) muss als Dummy-Variable modellseitig abgebildet werden (Rabe-Hesketh, Skrondal 2012, S. 642). Für die gewählte Alternative nimmt *choice* den Wert 1 ein, für die nichtgewählten Alternativen nimmt *choice* den Wert 0 an.

77 Die Kovariate werden meist Attribute oder Eigenschaften eines Produkts bzw. einer Dienstleistung genannt.

78 im Gegensatz zum MNL-Modell

### Generalisierte Extremwert-Modelle

Logit-Modelle sind durch ihre IIA-Eigenschaft in Anwendung für viele Fragestellungen nur sehr eingeschränkt verwendbar bzw. völlig ungeeignet. Hierzu wurden Modelle entwickelt, die die IIA-Eigenschaft „aufweichen“ und auch mit von der Antwortperson sehr ähnlich bewerteten Alternativen sinnvolle Ergebnisse liefern (McFadden 1977; Akiva, Lerman 1985). Diese sog. generalisierten Extremwert-Modelle (*engl. generalized extrem value model (GEV)*) bestehen aus einer großen Gruppe verschiedener Weiterentwicklungen wie z. B. heteroskedastische Logit-Modelle (vgl. Anhang 5) oder die Gruppe der Nested-Logit-Modelle (z.B: einfaches Nested-Logit-, Drei-Stufen-Nested-Logit oder auch Overlapping Nested-Logit-Modelle, vgl. hierzu z. B. Train 2003). Zu der Familie der Extremwert-Modelle können auch das Multiple-Discrete-Continuous-Extreme-Value-Modell (MDCEV) von Bhat (2005) sowie das Mixed-Multiple-Discrete-Continuous-Extreme-Value-Modell (MMDCEV) gezählt werden. Diese sind extra für die Modellierung des Autobesitzes entwickelt worden. Sind aber aufgrund ihrer statischen Funktionsweise (vgl. Bhat, Sen 2006, S. 5) nicht für die Analyse von CBCA geeignet.

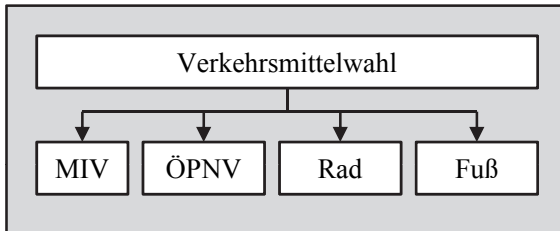
Im Folgenden wird das einfache Nested-Logit-Modell näher erläutert.

#### Nested-Logit-Modell

Um die IIA-Eigenschaft nicht zu verletzen, aber dennoch sehr ähnliche Alternativen testen zu können, wurde das Nested-Logit-Modell entwickelt. Die Bildung von sog. Nestern, in denen eigenschaftsähnliche Alternativengruppen zusammengefasst werden, ermöglicht die Einhaltung der IIA-Eigenschaft des Modells. So können z. B. bei der Verkehrsmittelwahl mit einem MNL-Modell hinsichtlich der Beförderungsgeschwindigkeit nur die vier Transportmittel MIV, ÖPNV, Rad und Fuß unterschieden werden (vgl. Abbildung 8).

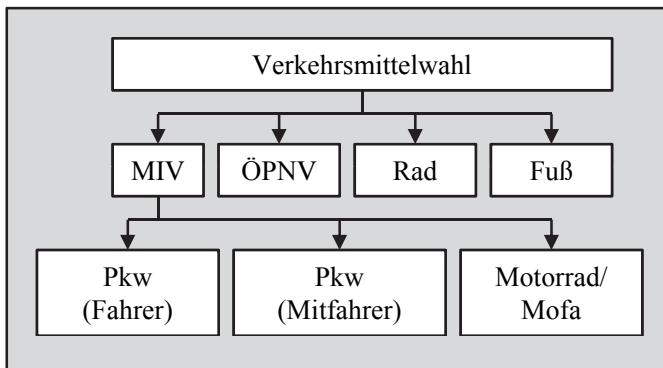
Würde tatsächlich nur die Beförderungsgeschwindigkeit untersucht, dann wären sich die Alternativen Pkw-Fahrer, Pkw-Mitfahrer und Motorrad/Mofa zu ähnlich. Die IIA-Eigenschaft des Modells wäre nicht mehr gegeben. Durch die Bildung eines Nestes unter MIV, das diese drei Alternativen enthält, kann die IIA-Eigenschaft eingehalten werden (vgl. Abbildung 9).

Abbildung 8: Verkehrsmittelwahlmodell mit MNL-Ansatz (schematisch)



Quelle: Eigene Darstellung

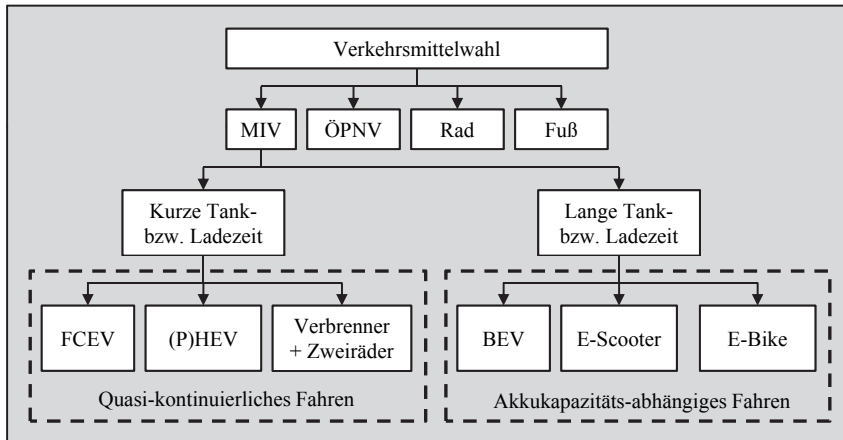
Abbildung 9: Verkehrsmittelwahlmodell mit NL-Ansatz (schematisch)



Quelle: Eigene Darstellung

Bezogen auf ZEV könnte ein Nested-Logit-Modell (NL-Modell) für die Untersuchung von Lade- bzw. Tankzeit oder auch hinsichtlich der Reichweite entwickelt werden. Es wird vorgeschlagen ein zweistufiges NL-Modell zu verwenden. So können unter MIV noch weitere Gruppen (hier: kurze Tank- bzw. Ladezeit und lange Tank- bzw. Ladezeit) unterschieden werden, innerhalb derer dann wiederum die unterschiedlichen Antriebskonzepte unterschieden werden können.

Abbildung 10: Verkehrsmittelwahlmodell mit mehrstufigem NL-Ansatz



Quelle: Eigene Darstellung

Das Nested-Logit-Modell unterliegt jedoch der selben Restriktion hinsichtlich der Analysemöglichkeiten der alternativen-spezifischen Variablen. Das NL-Modell wird als interessantes Instrument zur sehr groben Einteilung von ähnlichen Alternativen betrachtet und wird oft für Analysen in der Verkehrsplanung eingesetzt (vgl. u. a. Louviere et al. 2000; Choo, Mokhtarian 2004; Mannering et al. 2002). Dennoch findet es in der vorliegenden Arbeit keine Anwendung, da auch hier Auswertungen nur aggregiert über alle Antwortpersonen durchgeführt werden können.

#### Probit-Modelle

Während in GEV-Modellen gegenüber Logit-Modellen die IIA-Eigenschaft nicht erfüllt sein muss, sind diese Modelle (wie auch Logit-Modelle) nicht in der Lage, zufällige Variationen des Konsumentengeschmacks (*random taste variation*) zu berücksichtigen. Ebenso wenig sind diese Modelle für Panel-Daten geeignet, also Daten, bei denen sich die Einstellung einer Antwortperson über die Zeit verändern kann, also zeitlich korrelieren. Probit-Modelle können mit einer Einschränkung alle diese Aspekte berücksichtigen: alle unbeobachteten Teilnutzenwerte müssen normalverteilt sein. Diese Vorgabe wird auch als iid-Annahme (*independent and identically distributed*) bezeichnet. Gerade bei der Bestimmung von Preiskomponenten kann diese Einschränkung zu falschen

Ergebnissen führen. Eine Normalverteilung des Preiskoeffizienten würde aufgrund der Dichteverteilung auf beiden Seiten der Null dazu führen, dass ein Produkt präferiert wird, je höher der Preis ist (für eine Darstellung des Multinomial Probit Modells siehe Anhang 5). Lognormal-Verteilungen würden dieses Problem eliminieren. Diese können Probit-Modelle aber nicht verwenden (Train 2003). Diesbezüglich bieten Mixed-Logit-Modelle einen interessanten Ansatz, da sie die iid-Annahme völlig auflösen und flexibel in der Verwendung von Verteilungen sind. Nachfolgend wird das Mixed-Logit-Modell vorgestellt.

### 2.4.2 Mixed-Logit-Modelle

Zur Auswertung von Conjoint-Choice-Experimenten sind Mixed-Logit-Modelle<sup>79</sup> aufgrund ihrer breiten Einsatzmöglichkeiten hervorragend geeignet (Small, Verhoef 2007, S. 41). “Mixed logit is also called random parameters logit and error-components logit” (Train 2012; Li 2011). Small et al. (2005) empfehlen Mixed-Logit-Modelle bei Choice-Experimenten, bei denen ein Teilnehmer mehrere Entscheidungen in aufeinander folgenden Aufgaben treffen muss, wie es in der CBCA der Fall ist (vgl. auch Hole (2007a, S. 388). Auch Train (2003, S. 138) empfiehlt als äußerst flexibel anwendbares Modell für jede Art von *random utility model* das Mixed-Logit-Modell: “It obviates the three limitations of standard logit by allowing for random taste variation, unrestricted substitution patterns, and correlation in unobserved factors over time” (ebd.). Sobald die iid-Annahme der Variablen nicht erfüllt ist, sollten Mixed-Logit-Modelle zur Anwendung kommen (Adamowicz et al. 1998, S. 26).

Mixed-Logit-Modelle (ML) haben den Vorteil gegenüber den vorgenannten Modellen, dass sie zum einen die strikten Annahmen von MNL-Modellen relativieren (Hübner 2012, S. 51) und zum anderen wird die Annahme einer fixen Verteilung der beobachtbaren Koeffizienten fallen gelassen, zudem werden heterogene Präferenzen in den Koeffizienten des Wahlmodells berücksichtigt (Sándor, Wedel 2002, S. 1). Zur Darstellung der heterogenen Präferenzen werden die variierenden Koeffizienten mit einem Mittelwert (*mean*) und der Standardabweichung verwendet.

In den Zufalls-Komponenten (*random*) können verschiedene Verteilungen, wie normal, lognormal oder triangular, berücksichtigt werden. In der Konsequenz wird das Problem mit den Preiskoeffizienten dadurch beseitigt (vgl. Probit

---

79 Auch zu finden als mixed multinomial logit model (MMNL) (vgl. u. a. Sándor und Wedel, 2002)

Modelle, S. 104). ML-Modelle können nach Train (2003) nicht analytisch, sondern nur anhand einer Simulation gelöst werden (anstelle einer numerischen Integration wie bei MNL- oder CL-Modellen). Dies ist bei komplexen Modellen mit enormer Rechenzeit verbunden und stellt für die angewandte Forschung einen „*bemerkenswerten*“ Nachteil dar (Haan 2006, S. 7).

### 2.4.3 Auswahl des Wahlmodells

Im Folgenden wird die Auswahl des geeigneten Wahlmodells zur Analyse der erhobenen Daten dargestellt. Die vorgestellten Discrete-Choice-Modelle dienen zur Auswertung der anhand des Discrete-Choice-Experiments, in diesem Fall einer auswahlbasierten Conjoint-Analyse, erhobene Daten auszuwerten. Ziel der Auswertungen stellt die Messung des Einflusses der verschiedenen Anreizsysteme auf die Auswahl der Antriebstechnologie dar. Dabei sollen die Präferenzunterschiede zwischen den Antwortpersonen bestimmt werden. Die Auswahl des Wahlmodells erfolgt anhand der folgenden Bewertungskriterien:

#### 1. Homogenität der Präferenzen:

Unter der Annahme von homogenen Präferenzen über alle Antwortpersonen bei der Bestimmung der Präferenzen durch die Koeffizientenschätzung, wie es bei Multinomial-Logit-Modellen der Fall ist, kann anhand der Substitutionsbeziehung der Koeffizienten der Nutzenfunktion die Bestimmung der Effektstärke der verschiedenen Anreize erfolgen.

#### 2. Heterogenität der Präferenzen:

Gegenüber 1. kann für die Antwortpersonen die Annahme von heterogenen bzw. individuen-spezifischen Präferenzen getroffen werden. Die Annahme heterogener Präferenzen kann mit dem Mixed-Logit-Modell abgebildet werden. Hierzu müssen Annahmen getroffen werden, wie die Präferenzen zu den Anreizsystemen und den Antriebstechnologien verteilt sind. „Der Grad der Präferenzheterogenität [kann] anhand der geschätzten Standardabweichungen abgelesen werden, die umso größer ist, je heterogener die Präferenzen sind“ (Hübner 2012, S. 64).

### 3. Mehrheitsauswahl:

Unter der Annahme der heterogener Präferenzen können auch die Einzelentscheidungen für jede Antwortperson separat analysiert werden und die Anzahl der Auswahl-situationen, in denen ein alternativ betriebenes Fahrzeug gewählt wurde, ausgewertet werden. Auch diese Annahme kann mit dem Mixed-Logit-Modell analysiert werden. Die Verteilungen für die Anreizsysteme und die Antriebstechnologien müssen vorab festgelegt werden. Die Berechnung der Zustimmungsanteile kann durch die geschätzten Mittelwerte und Standardabweichungen des Mixed-Logit-Modell separat für alle Anreize und die Antriebstechnologien erfolgen.

Unter Berücksichtigung des Kriteriums der homogenen Präferenzen kann die Auswertung anhand eines Multinomial-Logit-Modells erfolgen. Sie strikte IIA-Annahme muss berücksichtigt werden. Zur Untersuchung der Anreize und Antriebstechnologien wird das Conditional-Logit-Modell, eine Sonderform des MNL-Modells zur Schätzung von alternativen-spezifischen Variablen, die in diesem Fall die Anreize und Antriebstechnologien beinhalten, angewendet. Ebenso wird unter der Auflösung der IIA-Annahme und der Annahme von heterogenen Präferenzen bezüglich der Antriebstechnologien das Mixed-Logit-Modell angewendet. Anhand des Mixed-Logit-Modells können sowohl alternativen-spezifische als auch personenspezifische Merkmale berücksichtigen können. Im Folgenden wird zum besseren Verständnis das Mixed-Logit-Modell detailliert beschrieben.

Beschreibung des verwendeten Modells<sup>80</sup>

Mit der Statistik-Software STATA<sup>®</sup> können seit der Implementierung des ML-Modells durch den Anwender Arne Risa Hole auch solche Modelle geschätzt (Hole 2007b). Der Schätzalgorithmus kann über den Befehl `mixlogit` ausgeführt werden. Das Mixed-Logit-Modell, wie es in STATA<sup>®</sup> implementiert ist, erlaubt die Verwendung von bis zu 20 Random-Variablen. Das Modell von Hole (2007a) wird nachfolgend kurz erläutert:

Das Modell orientiert sich an Revelt und Train (1998). Unter der Annahme von  $N$  Teilnehmern, die aus  $J$  Alternativen in  $T$  Einzelentscheidungsaufgaben auswäh-

---

<sup>80</sup> Die Beschreibung ist der STATA<sup>®</sup>-Dokumentation (vgl. Hole 2007a) entnommen und wird hier teilweise übersetzt wiedergegeben.

len können, ergibt sich der Nutzen  $U$  für den einzelnen Teilnehmer  $n$ , der sich für Alternative  $j$  in der Aufgabe  $t$  entscheidet in Anlehnung an ( 3 ) zu:

$$U_{njt} = \beta'_n x_{njt} + \varepsilon_{njt} \quad (15)$$

mit:

$\beta_n$  = Vektor der individual-spezifischen Koeffizienten,

$x_{njt}$  = Vektor der beobachtbaren Eigenschaften, die sich auf Antwortperson  $n$  und Alternative  $j$  in Aufgabe  $t$  beziehen.

$\varepsilon_{njt}$  = Zufallsterm (iid).

Siehe hierzu auch detailliert Hensher und Greene (2003), die das stochastische Element  $\varepsilon_{njt}$  in zwei Teile  $\varepsilon_{njt}$  und  $\eta_{njt}$  aufteilen, um der *iid*-Bedingung Rechnung zu tragen und um die alternativen-spezifische und die individual-spezifische Komponente zu berücksichtigen.

Die Kenntnis über die Verteilungen des Vektors  $\beta_n$  vorausgesetzt, lässt sich die Wahrscheinlichkeit ( $L$ = likelihood), dass ein Teilnehmer  $n$  die Alternative  $j$  in einer Aufgabe  $t$  wählt, nach folgender Formel berechnen:

$$L_{njt}(\beta_n) = \frac{\exp(\beta'_n x_{njt})}{\sum_{j=1}^J \exp(\beta'_n x_{njt})} \quad (16)$$

Die Wahrscheinlichkeit der beobachteten Folge der Auswahlentscheidungen, die in mehreren hintereinander gestellten Aufgaben getroffen wurden, wird mit folgender Funktion beschrieben:

$$S_n(\beta_n) = \prod_{t=1}^T L_{nj(n,t)t}(\beta_n) \quad (17)$$

Wobei  $j(n, t)$  die Alternative, die von Antwortperson  $n$  in Aufgabe  $t$  gewählt wurde, kennzeichnet. Die Bedingung hierfür ist, dass der Vektor  $\beta_n$  (bestehend aus personenspezifischen Koeffizienten) bekannt ist (*conditional probability*).

Die unbedingte Wahrscheinlichkeit (*unconditional probability*) der tatsächlich getroffenen Auswahlfolge wird durch das Integral der bedingten Wahrscheinlichkeit (*conditional probability*) berechnet, wobei die Dichteverteilung von  $\beta$  durch die Dichtefunktion  $f(\beta|\theta)$  beschrieben wird.  $\theta$  stellt die Parameter der Verteilung dar (vgl. Formel 18).

$$P_n(\theta) = \int S_n(\beta) f(\beta|\theta) d\beta \quad (18)$$

Modelle dieser Form werden deshalb Mixed-Logit-Modelle genannt, da die Auswahlwahrscheinlichkeit  $P_n$  eine Zusammenstellung (*mix*) aus Logits darstellt mit  $f$  als Funktion, die verschiedene Verteilungen zulässt („*mixing distribution*“). Die iid-Annahme ist demnach aufgelöst.

Die unbedingte Wahrscheinlichkeit ist somit der gewichtete Durchschnitt eines Produkts von Logit-Modellen, die durch verschiedene  $\beta$ -Werte mit der durch die Dichtefunktion  $f$  gegebenen Wichtungen beschrieben werden. Dieser Ausdruck ist zunächst allgemein, da hiermit Modelle mit erklärenden Variablen erstellt werden können, die sowohl personen- als auch alternativen-spezifische Komponenten enthalten (Hole 2007a, S. 389).

#### Maximum-Likelihood-Schätzung

Zur Schätzung der Modellparameter (Koeffizienten) bei der logistischen Regression wird standardmäßig die *Maximum-Likelihood-Methode* verwendet (Train 2003). Die Koeffizienten werden so geschätzt, dass die Wahrscheinlichkeit (Likelihood), die beobachteten Erhebungsdaten zu erhalten, maximiert ist (Backhaus et al. 2008, S. 252). Um das Maximierungsproblem zu vereinfachen, wird der Logarithmus naturalis (ln) herangezogen, was zur LogLikelihood-Funktion (LL) führt. Für eine detaillierte Darstellung der Log-Likelihood-Funktion vgl. u. a. Backhaus (2008, S. 253) oder Train (2003).

Die Koeffizienten werden durch Iteration, meist über den Newton-Raphson-Algorithmus geschätzt. Auf eine detaillierte Beschreibung des Algorithmus sei auf SPSS (2007, S. 424, 509) verwiesen.

Die Simulation wird durchgeführt, indem *quasi-zufällige* Zahlen (sog. *intelligent draws*) gezogen werden. Dieses Verfahren wird nach Halton benannt und hat den Vorteil gegenüber der Monte Carlo Methode, dass weniger Zufallszahlen gezogen werden müssen. Dennoch bleibt zu erwähnen, dass die Anzahl der *draws*, bis verlässliche Ergebnisse erzielt werden, stark von der Komplexität des zu schätzenden Modells und der Anzahl der Zufallseffekte abhängig ist (Hensher et al. 2005). Es ist durchaus möglich, dass zuverlässige Ergebnisse erst nach über 10.000 Halton-Draws zustande kommen (Rabe-Hesketh, Skrondal 2012, S. 670–671). Für eine detaillierte Beschreibung des simulierten Maximum-Likelihood-Verfahrens für diskrete Wahlmodelle wird Train (2003) empfohlen.

Der mit der Log-Likelihood-Funktion geschätzte Vektor  $\beta$  ist definiert als:

$$\text{Log}(L(\theta)) = \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J y_{nj} \ln P_{nj} \quad (19)$$

mit:

$y_{nj}$  = 1, wenn Person  $n$  Alternative  $j$  gewählt wurde und 0, wenn nicht,

$P_{nj}$  = Wahrscheinlichkeit, dass Person  $n$  Alternative  $j$  wählt,

$\theta$  = Vektor (enthält alle Parameter-Verteilungen),

$N$  = Anzahl der Antwortpersonen,

$J$  = Anzahl der Alternativen.

Zur Ermittlung des Maximalwertes (Extremwertes) wird die erste Ableitung gleich Null gesetzt:

$$\frac{d\text{Log}(L(\theta))}{d\theta} = 0 \quad (20)$$

Simulated-Maximum-Likelihood-Schätzung

Dieser Ausdruck kann nicht analytisch gelöst werden und muss daher näherungsweise mit einer Simulationsmethode (ebd.) gelöst werden.

Die Simulationsvorschrift lautet folgendermaßen:

$$\text{SimLog}(L(\theta)) = \sum_{n=1}^N \ln \left\{ \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R S_i(\beta^r) \right\} \quad (21)$$

mit:

$R$  ist die Anzahl der Wiederholungen und

$\beta^r$  ist der  $r$ te Halton-Draw aus  $f(\beta|\theta)$ .

Für eine ausführliche Erläuterung des Verfahrens wird Hensher und Greene (2003, S. 134–138) empfohlen.

Die Wahrscheinlichkeiten können auch ohne die strikte Einhaltung der IIA-Bedingung unter dieser Vorschrift berechnet werden (ebd., S. 135). Bei der Verwendung der Simulated-Maximum-Likelihood-Methode ist Vorsicht gefragt. "The use of Halton draws and other quasi-random numbers in simulation-based estimation is fairly new and not completely understood" (Train 2003, S. 230).

Rabe-Hesketh, Skrondal (2012, S. 672) zufolge ist ein geeignetes Vorgehen, eine Simulationsreihe (50, 500, 1.000 Halton-Draws, usw.) durchzuführen, um zu beobachten, wie sich die geschätzten Koeffizienten verändern.

## 2.5 Zusammenfassung

In Kapitel 2.4.1 wurden verschiedene Analysemodelle (Logit-Modelle sowie Weiterentwicklungen, Generalisierte Extremwert-Modelle und Probit-Modelle) für Discrete-Choice-Experimente vorgestellt. Jedes Modell hat seine Vor- und Nachteile. Während (Multinomial-) Logit-Modelle aufgrund der IIA-Restriktion in ihrer Aussagekraft hinsichtlich Präferenzheterogenitäten eingeschränkt sind, müssen zur Auswertung von Mixed-Logit-Modellen anhand der dafür notwendigen Simulationen über eine selbst festzulegende Anzahl von Pseudozufallszahlen bei langer Rechenzeit die Ergebnisse geschätzt werden. Der Kompromiss bei Discrete-Choice-Modellen besteht darin, „[...] dass nur analysiert werden kann, was auch beobachtet wurde und statistisch vertretbar ist“ (Hübner 2012, S. 62–63).

Nested-Logit-Modelle lösen zwar die IIA-Eigenschaft von (Multinomial-)Logit-Modellen auf, sind aber aufgrund ihrer Einschränkung hinsichtlich der Berücksichtigung von Mehrfachauswahlen einer Antwortpersonen nicht geeignet. Dasselbe trifft für GEV-Modelle zu.

Die Schätzung eines CL-Modells wird von Hensher und Greene (2003) empfohlen, um einschätzen zu können, ob Variablen signifikant sind und ob die Daten im richtigen Format vorliegen. Cushing und Cushing (2007, S. 22) ermitteln anhand des selben Datensatzes sehr unterschiedliche Konvergenz-Zeiten für das CL-Modell (1:23 min), das NL-Modell (35:20 min) und das ML-Modell (9:52 h) anhand des selben Datensatzes.

Das Mixed-Logit-Modell (auch: Random-Parameter-Logit-Modell) bietet mit Abstand die größte Flexibilität hinsichtlich der Auswertung von ähnlich bewerteten Alternativen (IIA-Annahme) und der Koeffizienten-Verteilungen (iid-Annahme). Zusätzlich können multiple Auswahl-situationen einer Person zugeordnet werden sowie Präferenzheterogenitäten gemessen werden. Daher werden im Weiteren die Modellschätzungen mit dem Mixed-Logit-Ansatz durchgeführt.

Zur Ermittlung der Güte des Datenbestandes, der relevanten Variablen und als Vergleich der aggregierten Daten mit den Ergebnissen des ML-Modells wird das Conditional-Logit-Modell verwendet. Da die Koeffizienten anhand einer

Punktschätzung und nicht anhand einer Simulation erfolgt, bietet das CL-Modell bezüglich der geringen Rechenzeit entscheidende Vorteile.

Folglich werden aufgrund der Literaturempfehlungen und der Analysemöglichkeiten sowohl das Conditional-Logit-Modell (unter der IIA-Annahme) sowie das Mixed-Logit-Modell (IIA-Annahme aufgelöst; Berücksichtigung von Heterogenitäten zwischen den Antwortpersonen) für die Koeffizientenschätzungen verwendet. Anhand der Integration von Interaktionsvariablen können Interaktionseffekte offengelegt werden.

Anhand der Maximum-Likelihood-Schätzung werden die Koeffizienten geschätzt bzw. beim Mixed-Logit-Modell simuliert. Für die Koeffizientensimulation ist die Angabe der Verteilung der Zufallsterm-behafteten Attribute zu berücksichtigen.

## 3 Empirischer Teil

### 3.1 Auswahl der Anreizsysteme für die Conjoint-Analyse

Nachdem in Kapitel 2.2 die handlungsrelevanten Kriterien beim Kauf eines alternativ angetriebenen Pkw herausgearbeitet wurden, folgt in diesem Kapitel die Auswahl der Anreizsysteme, die die Kaufentscheidung von Pkw hinsichtlich der Antriebstechnologie beeinflussen können. Bei der Conjoint-Analyse fließen die Anreizsysteme als Merkmale ein. Die Ausprägungen der jeweiligen Anreizsysteme entsprechen den Merkmalsausprägungen. Anhand der Ausprägungen werden in der auswahlbasierten Conjoint-Analyse die unterschiedlichen Konsumentenpräferenzen bezüglich der unterschiedlichen Anreizsysteme bestimmt. Anhand einer Literaturanalyse zu bestehenden Conjoint-Analysen und Stated-Preference-Untersuchungen zu alternativen Antriebstechnologien werden die verwendeten Elemente und deren Ausprägungen dargestellt. Es wird deutlich, dass bestehende Präferenzenmessungen hauptsächlich technologische Aspekte berücksichtigen. Eine Präferenzenmessung, die das gesamte Kostengefüge unter Berücksichtigung unterschiedlicher Anreizsysteme untersucht, konnte für den deutschen Raum nicht identifiziert werden. Folglich werden in der vorliegenden Arbeit diese Aspekte untersucht.

Im nächsten Schritt werden die identifizierten Anreize anhand von leitfadengeführten Experteninterviews mit Vertretern der Automobil- und Energiewirtschaft sowie mit behördlichen Vertretern aus Verkehrs- und Stadtplanungsämtern zur Bestimmung der zu untersuchenden Anreizsysteme validiert. In sind die zu untersuchenden Anreizsysteme dargestellt. Nachfolgend werden die verwendeten Restriktionen zwischen Antriebstechnologie und bestimmten Ausprägungen der Anreizsysteme dargestellt. Z. B. ist es nicht sinnvoll den Kauf von konventionellen Fahrzeugen zu subventionieren.

Bei der Auswahl der zu untersuchenden Elemente sind nach Weiber und Mühlhaus (2009, S. 45) drei Ebenen zu beachten: die Anwenderebene, die Subjektenebene (Ebene der Antwortperson) und die Modellebene. Redundante Merkmale sind vom Anwender zu vermeiden. Dennoch müssen alle relevanten Merkmale abgefragt werden, da sonst, das Modell die getroffenen Entscheidung nicht richtig erklären kann. Ferner sollen nur Merkmalsausprägungen geprüft werden, die vom Entscheider beeinflusst und realisiert werden können. Je näher sich die

Antwortperson in die Auswahl-situation hineinversetzen kann, desto validere Ergebnisse sind zu erwarten.

Auf der Subjektebene, also auf Seiten der Antwortperson sollen nur Merkmalsausprägungen getestet werden, die eine Veränderung der Präferenz bewirken können. Diese Merkmalsausprägungen werden als determinant, also bestimmend, bezeichnet. Des Weiteren müssen die Ausprägungen wichtig sein (potentiell relevant) und sie müssen „bzgl. der Beurteilungsobjekte differenzieren können“ (ebd., S. 47).

Auf der Modellebene sind Merkmale so zu wählen, dass der Nutzenbeitrag eines Merkmals von allen anderen Merkmalen unabhängig ist, da sonst die Gefahr einer Verzerrung besteht. Merkmale, die eine Variante komplett ausschließen (sog. K.O.- oder Ausschlusskriterien), weil sie für die Auskunftsperson nicht in Frage kommen, sollten, soweit man das vorhersehen kann, vermieden werden.

Nachfolgend wird kurz auf den Untersuchungsgegenstand der verschiedenen Studien eingegangen und die Elemente, die untersucht werden, abgeleitet.

### 3.1.1 Conjoint-Analysen zu Konsumentenpräferenzen bei ZEV

Parallel mit der technologischen Entwicklung von alternativen Antriebstechnologien werden in den letzten Jahren vermehrt Präferenzmessungen zu alternativen Fahrzeugkonzepten und deren technologischen Anforderungen durchgeführt. Die Literaturanalyse soll zeigen, welche Elemente (Eigenschaften) und Ausprägungen bisher conjointanalytisch untersucht wurden. Teilweise sollen die Erkenntnisse als Referenz dienen (z. B. bei der Festlegung der Höhe des Kaufpreises der verschiedenen Fahrzeugkonzepte) oder zur Identifizierung von Forschungslücken (z. B. Bestimmung der Einflussstärke verschiedener Anreizsysteme). In diesem Kapitel werden Ergebnisse im In- und Ausland dargestellt. Die Studien sind grob in Japan, Nordamerika (USA u. Kanada), Europa (ohne D-A-CH, inkl. Türkei) und D-A-CH<sup>81</sup> eingeteilt.

Ito et al. (2013) führt auf dem japanischen Markt eine CBCA durch, um die Zahlungsbereitschaft (*willingness to pay*) für alternativ betriebene Fahrzeuge und damit verbundene Investitionen für die notwendige Infrastruktur zu untersuchen. Hierin werden neun verschiedene Fahrzeugparameter untersucht. Die Choice Sets umfassen den Fahrzeugtyp, den Hersteller, die Reichweite, die Ladedauer,

---

81 deutschsprachiger Raum: Deutschland, Österreich, Schweiz

CO<sub>2</sub>-Ausstoß, Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur, Kaufpreis und die jährlichen Treibstoffkosten. Sie stellen mit neun Einflussgrößen und deren Ausprägungen eine recht komplexe Conjoint-Befragung dar, da neun Einflussgrößen durch die Teilnehmer gegeneinander abgewogen werden müssen. Die Gefahr eines vorzeitigen Abbruchs scheint hier groß zu sein (Responserate: 23,6% ebd., S. 3). Grundsätzlich liegt die Anzahl der Einflussgrößen und deren Ausprägungen jedoch noch innerhalb der Empfehlungen von fünf bis sechs Eigenschaften (Green, Srinivasan 1978) bis maximal 20 Eigenschaften (Thomas 1983, S. 310; zitiert nach Weiber und Mühlhaus 2009, S. 47). Itos Auswahl an Eigenschaften und Ausprägungen stützen sich vor allem auf die Studie von Potoglou und Kanaroglou (2006), die eine CBCA (N=490) in Canada durchführen. Es zeigt sich ein hoher Einfluss auf Inzentives wie Erlass der Mehrwertsteuer beim Kauf eines alternativ angetriebenen Fahrzeugs oder auch ein geringer CO<sub>2</sub>-Verbrauch. Die Modellergebnisse zeigen, dass die Nutzung von Carpool-Fahrspuren oder kostenlosem Parken nur einen sehr geringen Einfluss auf die Kaufentscheidung haben. Die CBCA umfasst neun Eigenschaften, je drei Alternativen pro Auswahl-situation. Acht aufeinanderfolgende Auswahl-situationen mussten bearbeitet werden. Die Studie legt offen, dass Nutzerprivilegien in Japan nur eine sehr geringe kompensatorische Wirkung gegenüber den preisbehafteten Variablen haben. Ob die Ergebnisse auf deutsche Konsumenten übertragbar sind, bleibt zu prüfen.

Ewing und Sarigöllü (2000) führen eine CBCA (N=881) mit regelmäßigen Pendlern durch. Hier werden Preis, Kosten für Reparatur und Unterhalt, Beschleunigung, Ladedauer, Reichweite, Emissionen und Inzentives in Form von kürzerer Reisedauer durch die Nutzung von Carpool-Spuren und günstigeren Treibstoffkosten (möglich durch günstigeren Strom) und reduzierte Parkgebühren. Treibstoffkosten und Parkgebühren wurden zu einem Attribut addiert. Das Ergebnis zeigt, dass staatliche Inzentives, wie der Erlass von Parkgebühren, die Bepreisung von Kraftstoff oder der Steuererlass für Autostrom sowie die Nutzungserlaubnis von Carpool-Spuren, nur einen geringen Effekt im Gegensatz zu den fahrzeugtechnischen Merkmalen haben. Solange diese noch eine geringere Leistung gegenüber konventionellen Fahrzeugen zeigen, wird vorgeschlagen, staatliche Mittel für F&E bereitzustellen, anstelle direkt den Kauf zu subventionieren. Aufgrund der Zusammenführung der Parkgebühren, Treibstoffkosten und der Pendelzeit in eine Variable sind Rückschlüsse auf den Einfluss der Einzelelemente nicht möglich.

Axsen et al. (2009) untersucht für den kanadischen und kalifornischen Markt mit rund 1.000 Antwortpersonen anhand einer Stated-Preference-Analyse finanzielle

Anreizsysteme für HEV. Die Studie unterscheidet bei der Antriebstechnologie nur konventionelle Verbrennungsmotoren und Hybridfahrzeuge, die in der vorliegenden Arbeit nicht zum Untersuchungsgegenstand (ZEV) zählen. Brownstone et al. (1996) führt eine groß angelegte Erhebung (n=4.654) zur Kaufentscheidung hinsichtlich Fahrzeugtyp, Fahrzeugklasse und Antriebstechnologie im Westen der USA durch (vgl. auch Brownstone, Train 1999; McFadden, Train 2000)<sup>82</sup>. In dieser Studie liegt der Fokus auf der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Fahrzeugkonzept (Typ, Größe, Klasse) und der Antriebstechnologie und ist somit für die weitere Untersuchung nur hinsichtlich der untersuchten Technologien interessant.

Daziano und Achtnicht (2012), s. auch Achtnicht (2009; 2008) untersuchen in einer deutschlandweiten Studie die Zahlungsbereitschaft für alternativ angetriebene Fahrzeuge anhand eines Stated-Preference-Experiments (N=598), bei dem die Befragten sechs Choice-Aufgaben mit je sieben Fahrzeugkonzepten zur Auswahl vorgelegt bekommen (vgl. auch Ziegler 2012). Folgende Einflussgrößen wurden abgefragt: Kaufpreis, Treibstoffkosten/100 km, Motorleistung, CO<sub>2</sub>-Emissionen, Ladeinfrastrukturverfügbarkeit sowie Kraftstofftyp. In dieser Studie werden staatliche Anreizsysteme nur zur Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur untersucht.

Raich (2012) findet anhand einer Stated-Preference-Befragung heraus, *„dass Kosteneigenschaften einen größeren Einfluss auf die Autokaufentscheidung haben als technische Fahrzeugeigenschaften. Die große Bedeutung, die der Reichweite und der Ladedauer zugewiesen werden, kann nicht bestätigt werden“* (ebd., S. 1)<sup>83</sup>. Es werden in jeder Aufgabe immer ein Elektro, ein Hybrid und ein Referenzfahrzeug (konventionell) vorgelegt, die durch Kaufpreis, Reichweite, CO<sub>2</sub>-Emissionen, Lade-/Tankdauer, Leistung und laufende Kosten beschrieben werden. Für 2025 wird ein Anteil von sechs Prozent an E-Fahrzeugen für den österreichischen Pkw-Markt prognostiziert. Mit den Testfahrern der MINI E Studie in Berlin wurde vor und nach dem dreimonatigen Nutzungs-Test eine CBCA (n=30) durchgeführt. Hier wurden die Fahrzeuge anhand von Reichweite, Ladedauer, CO<sub>2</sub>-Emissionen und einer monatliche Leasingrate beschrieben (Krems 2011). Auch hier ergibt das Ergebnis, *„dass der Preis den bedeutendsten Einfluss auf eine simulierte Kaufentscheidung hatte, während der Ladedauer in allen Nutzergruppen eine untergeordnete Bedeutung zukam“* (Krems et al. 2011, S. 5). Die

---

82 Die vielfach zitierten Studien von Bunch et al. (1993, S. 241) und Brownstone et al. (1994) werden wegen fehlender Aktualität nicht berücksichtigt.

83 Zur Einsicht der vollständigen Dokumentation des Forschungsprojektes siehe Leitinger et al. (2011).

Ergebnisse wurden mit den Ergebnissen der selben Befragung verglichen, die vor Beginn der Testperiode durchgeführt wurde (Krems 2011). Bei dieser Untersuchung wird das Preisgefüge von ZEV untersucht. Der Einfluss unterschiedlicher Anreizsysteme auf die Konsumenten kann daraus nicht bestimmt werden.

In Dänemark führen Mabit und Fosgerau (2011) eine CBCA (N=2146) mit jeweils fünf Alternativen pro Stimulus und insgesamt zwölf Wiederholungen durch. Fünf verschiedene Antriebstechnologien, jährliche Betriebskosten, Kaufpreis, Reichweite, Tank- bzw. Ladevorgänge pro Woche, Beschleunigung und eine Dummy-Variable für Service-Kosten, die anzeigt, ob die Reparaturkosten in den Betriebskosten enthalten sind, wurden untersucht. Aus Sicht des Autors ist die Wahl der Eigenschaftsausprägungen in dieser Studie nicht nachvollziehbar<sup>84</sup>, sodass die Ergebnisse in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt werden.

Dagsvik et al. (2002) führt eine TCA (N=642) für den norwegischen Markt durch, in der die Antwortpersonen in 15 Auswahl-situationen jeweils drei Fahrzeugkonzepte in ihre jeweils präferierte Reihenfolge bringen sollen. Die Fahrzeugkonzepte werden nur durch vier Eigenschaften beschrieben: Kaufpreis, Höchstgeschwindigkeit, Reichweite und Energieverbrauch.

Knockaert (2005) untersucht für den belgischen Markt anhand einer CBCA mit 207 Antwortpersonen die Kaufbereitschaft zu ZEV. Als kostenbehaftete Variablen werden in dieser Studie der Kaufpreis, die Betriebskosten und der Treibstoffverbrauch berücksichtigt. Neben der Antriebstechnologie gehen als fahrzeugspezifische Eigenschaften die Reichweite, die Emissionen und der Stauraum in die Untersuchung ein. Staatliche Anreizsysteme werden in dieser Studie nicht untersucht.

Tabelle 43 (Anhang 3) zeigt eine Übersicht der Studien sowie die untersuchten Eigenschaften und deren jeweiligen Ausprägungen dar. Die meisten Studien haben auch adaptive Elemente (z. B. Abfrage der Zahlungsbereitschaft für einen Neuwagen, die dann in die Berechnung des Kaufpreises einfließt und in der Auswahl-situation präsentiert wird (Ito et al. 2013; Leitinger et al. 2011; Mabit, Fosgerau 2011; Axsen et al. 2009; Achtnicht et al. 2008; Achtnicht 2009; Ziegler 2012; Daziano, Achtnicht 2012; Potoglou, Kanaroglou 2006; Knockaert 2005).

---

84 Z. B. wird bei BEV eine Spannweite des Kaufpreises zwischen min. 6.027 EUR/ max. 187.267 EUR und bei der Reichweite min. 300 km/ max. 1425 km angenommen (Mabit, Fosgerau 2011, S. 227). Auch die Betankungs- bzw. Ladehäufigkeit zwischen vier und sieben Tagen ist eine eigenwillige Konstruktion, da dies sehr vom individuellen Verkehrsverhalten abhängt.

Die Literaturanalyse hat ergeben, dass die Choice-Based Conjoint-Analyse die am häufigsten verwendete Methode darstellt. Die untersuchten Studien zeigen vor allem zwischen den drei Märkten Japan, Nordamerika, D-A-CH und den Rest Europas, dass Unterschiede in der Zahlungsbereitschaft für ZEV bestehen. So zeigt sich, dass in Nordamerika der Fokus stärker auf der Leistung und der Verlässlichkeit des Fahrzeugs liegt. Dem Kaufpreis kommt nur eine untergeordnete Rolle zu. Dem entgegen stehen die Erkenntnisse für Länder, die hohe Neuwagensteuern und Registrierungsgebühren aufweisen. In diesen Ländern können starke Preiserleichterungen über den Erlass der Neuwagensteuer bei Kauf eines ZEV gegeben werden. Die rasant ansteigenden Neuwagenverkäufe von BEV in Dänemark und Norwegen, die diese Anreize eingeführt haben, zeigen, dass diese große Auswirkungen auf die Kaufentscheidung haben können.

Auch in der D-A-CH-Region ist das Kostengefüge entscheidend für die Wahl eines alternativ angetriebenen Fahrzeugs. Die Modelle zeigen, dass die fahrzeugtechnischen Einschränkungen erst nachgeordnet die Wahl beeinflussen.

Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse der Literaturanalyse lässt sich ableiten, dass bislang die Einflussmöglichkeiten des Gesetzgebers und der Regional- und Stadtverwaltungen auf die Kaufentscheidung unzureichend, wogegen die technischen Eigenschaften ausreichend untersucht wurden.

Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Arbeit der Fokus auf die Einflussmöglichkeiten des Gesetzgebers auf das gesamte Preisgefüge gelegt. So sollen neben der Antriebstechnologie nur Kriterien untersucht werden, auf die steuer- und ordnungspolitisch Einfluss genommen werden kann. Das sind der Kaufpreis<sup>85</sup>, direkte staatliche Zuschüsse beim Neuwagenkauf, die Kfz-Steuer<sup>86</sup> bzw. eine erhöhte CO<sub>2</sub>-Steuer, die jährlichen Treibstoff- bzw. Stromkosten<sup>87</sup>, die Parkgebühren und die Verfügbarkeit der Tank- bzw. Ladeinfrastruktur.

---

85 Der Kaufpreis wird von den OEM und Händlern bestimmt. Dieser ist dennoch unabdingbar in der Erhebung genannt zu werden. In China bekommt der Händler beim Verkauf eines BEV oder PHEV einen Zuschuss, den der Händler direkt an den Käufer weitergibt, um sich einen Marktvorteil zu verschaffen.

86 Seit 07/2009 enthält die Kfz-Steuer eine CO<sub>2</sub>-abhängige Komponente. Durch eine separate Erhebung einer CO<sub>2</sub>-Steuer könnte das Bewusstsein für die Emissionen gehoben werden.

87 Hier greift der Gesetzgeber bisher schon stark mit der Erhebung der Energiesteuer auf den Kaufpreis von fossilen Treibstoffen ein. Autostrom wird bislang wie Haushaltsstrom besteuert. Daraus resultieren momentan auch noch die günstigen Betriebskosten für ein BEV oder PHEV.

### 3.1.2 Validierung anhand von Experteninterviews

Um auf möglichst aktuellen Aussagen von Schlüsselakteuren der an der Transformationsphase beteiligten Branchen aufbauen zu können, sollen die Erkenntnisse der Literaturrecherche zur Bestimmung der entscheidungsrelevanten Kriterien für die Markteinführung und den Markthochlauf anhand von Expertenmeinungen überprüft werden. Die zu untersuchenden finanziellen und infrastrukturellen Anreizsysteme sowie Nutzerprivilegien werden aufbauend auf der Literaturanalyse anhand von Expertenmeinungen validiert bzw. vervollständigt.

Zur Bestimmung der kaufentscheidungsrelevanten Kriterien wurde neben einer detaillierten Literaturrecherche im Zeitraum November 2010 bis März 2011 den Empfehlungen von Meffert (1992) und Götze (1991) folgend elf<sup>88</sup> leitfadengeführte Experteninterviews mit insgesamt 15 Interviewpartnern aus der Energie<sup>89</sup>- und Automobilindustrie<sup>90</sup> sowie mit behördlichen Vertretern<sup>91</sup> geführt. Zwei Interviews erfolgten per Telefon. „Für die Auswahl der Interviewpartner, war es wichtig, dass das jeweilige Unternehmen bzw. Behörde Teilnehmer bei den Modellregionen Elektromobilität ist, um eine möglichst hohe Kompetenz und aktuelle Erfahrungen bezüglich erster Flottenversuche und Genehmigungsprozessen aufweisen zu können“ (Rudolph 2012, S. 85). Die Vorgehensweise ist in Rudolph (2012) detailliert dargestellt. Folgende Abkürzungen kommen zur Kenntlichmachung der Interviewer zum Einsatz:

- Stadt1 (Zwei Interviewpartner, durchgeführt am 08.12.2010)
- Stadt2 (Zwei Interviewpartner, durchgeführt am 02.12.2010)
- Stadt3 (Zwei Interviewpartner; durchgeführt am 02.03.2011)
- Automobil1 (Ein Interviewpartner, durchgeführt am 09.02.2011)
- Automobil2 (Ein Interviewpartner, durchgeführt am 16.02.2011)
- Automobil3 (Ein Interviewpartner, durchgeführt am 14.02.2011)
- Automobil4 (Ein Interviewpartner, durchgeführt am 02.03.2011)

---

88 Drei Interviews mit jeweils zwei Behördenvertretern (Stadtplanungsamt bzw. Verkehrsbehörde) aus Berlin, München und Hamburg; vier Interviews mit jeweils einem Vertreter verschiedener deutscher OEM (Audi, BMW, Opel, Society & Research GmbH (Daimler Benz)); vier Interviews mit insgesamt fünf Interviewpartnern von regionalen und internationalen Energieversorgern (E.ON Deutschland, EWE Oldenburg, Hamburg Energie, Vattenfall Innovation GmbH).

89 Bereitsteller von Ladeinfrastruktur (Strom) und Tankinfrastruktur (Wasserstoff)

90 OEM müssen Zero-Emission-Vehicles in ihr Portfolio aufnehmen.

91 Die Zuständigkeit für die Lokalisierung und Genehmigung der Ladeinfrastruktur im öffentl. Raum obliegt den Behörden.

- Energie1 (Ein Interviewpartner, durchgeführt am 22.11.2010)
- Energie2 (Ein Interviewpartner, durchgeführt am 24.11.2010)
- Energie3 (Ein Interviewpartner, durchgeführt am 19.01.2011)
- Energie4 (Ein Interviewpartner, durchgeführt am 01.12.2010)

Die Transkriptionen der Interviews können auf Nachfrage beim Autor eingesehen werden. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Literaturrecherche unterstützt mit den Ergebnissen der Experteninterviews integriert dargestellt.

### Kaufpreis

Der größte Inhibitor stellt neben der sehr geringen Produktauswahl der viel zu hohe Kaufpreis bei verminderter Funktionalität dar, der den Kunden abschreckt ein Elektroauto zu kaufen (Automobil2, Automobil3, Energie3). „*Der Preis [...] ist ein ganz wichtiges Kaufkriterium!*“ (Automobil2). Mehrkosten beim Anschaffungspreis müssen durch andere Anreizsysteme kompensiert werden: „*Wenn ich fünftausend, zehntausend oder vielleicht sogar zwanzigttausend Euro Aufpreis zahle, dann brauche ich irgendein anderes Angebot*“ (Automobil2). „*[...] die Fahrzeuge kosten ab fünfundvierzig-, fünfzig-, sechzigtausend Euro Aufpreis, dann ist es natürlich extrem schwierig, dieses Ziel zu erreichen, denn so viele Early-Adopters mit einem entsprechenden Haushaltsnettoeinkommen werden Sie wahrscheinlich in Deutschland nicht finden*“ (Automobil3). Auch auf längere Sicht wird das Elektroauto gegenüber einem konventionellen Fahrzeug teurer bleiben (Energie3).

Die Preisentwicklung bei alternativ angetriebenen Fahrzeugen ist aktuell (2013) großen Sprüngen ausgesetzt<sup>92</sup>. Grundsätzlich sind BEV und PHEV wesentlich teurer als vergleichbare konventionelle Fahrzeuge. Jedoch machen sich erste Skaleneffekte und Lernkurven von in Großserie produzierten Fahrzeugen bemerkbar und günstigere Preise können an den Kunden weitergegeben werden (McConnell, Turrentine 2010, S. 24).

Um eine Zahlungsbereitschaft für eine bestimmte Merkmalsausprägung bestimmen zu können, muss der Kaufpreis Teil der Untersuchung sein. Anhand der Expertenmeinungen konnten eindeutige Kaufpreise für ZEV nicht festgelegt werden. Dennoch stimmen die Aussagen der Experten überein, dass ZEV

---

92 Toyota bewirbt das Modell Auris Hybrid (HEV) im Januar 2013 als erstmals günstiger (200 EURO Ersparnis bei einem Preis von 22.950 EUR (auto motor und sport (online) 2012)) als der vergleichbare Zweiliter-Diesel-Modell.

auch mittelfristig wesentlich teurer sein werden als vergleichbare konventionelle Modelle. Er wird aufgrund der aktuellen Preisgestaltung von Elektrofahrzeugen (vgl. Kapitel 2) und der Studienanalyse (vgl. Kapitel 3.1.1) folgende Ausprägungen für die CBCA angenommen: 30.000 EUR, 35.000 EUR, 40.000 EUR und 45.000 EUR<sup>93</sup>.

#### Direkte Käuferzuschüssen

Da sich die Bundesregierung verpflichtet hat, den Treibhausgasausstoß bis 2020 um mindestens 20 % gegenüber dem Stand von 1990 zu reduzieren (vgl. EUR-LEX 2009, S. 1), hat sie ein Interesse Kaufentscheidungen dahin gehend zu beeinflussen, dass beim Neuwagenkauf treibstoffeffizientere Fahrzeuge angeschafft werden. Um Reboundeffekte zu vermeiden, versucht die Bundesregierung Maßnahmen zu identifizieren, die eben diese vermeiden. Reboundeffekte in der Energieökonomie sind Effekte, bei denen die eigentliche technologische Weiterentwicklung und damit verbundene Effizienzsteigerung durch eine Mehrnutzung zunichte gemacht bzw. gar überkompensiert werden (sog. Backfire). Als Reboundeffekt im Verkehrswesen lässt sich folgendes Beispiel beschreiben: Die Anschaffung eines Elektrofahrzeugs führt dazu, dass dies nun für deutlich mehr Pkw-Fahrten als vorher verwendet wird, da die Fortbewegung mit einem E-Fahrzeug als ökologisch(er) betrachtet wird (de Haan et al. 2007, S. 6).

Aus ökonomischer Sicht steht ein Potpourri an Maßnahmen, die die Kaufentscheidung beeinflussen können, zur Verfügung. Hier können langfristige Anreizsysteme (Veränderung des Produktmixes) und kurzfristige Anreizsysteme (Veränderung des Verkaufsmixes) aufgrund der Preiselastizitäten beim Neuwagenkauf unterschieden werden (ebd., S. 10). Grundsätzlich wird bei einem Anreizsystem die Aufmerksamkeit des Konsumenten auf ein bestimmtes Produkt oder auf Produkte mit bestimmten Eigenschaften gelenkt, die vorher evtl. nicht in Betracht gezogen wurde.

Tritt ein Marktversagen bei einem beispielsweise ökologisch sinnvollen Produkt auf, kann die Politik steuernd auf die Marktdurchdringung dieses Produktes einwirken. So hat der Staat die Möglichkeit über Steuern und Subventionen

---

93 Die vier am meisten verkauften Pkw in Deutschland (Listenpreise der Hersteller 2013; Preisspannen jeweils zwischen Basismodell und Komfort-Ausstattung): VW Golf (ab 17.500 € - 31.000 €; Listenpreis eGolf 35.000 € (2014), VW Passat (25.000 - 46.000 €), VW Polo (12.500 - 19.500 €), MB C-Klasse (33.600 € - 41.600 €) (autohaus24.de 2013; KBA 2012; statista 2013, S. 17)

(ökonomische Instrumente) regulierend in den Automobilmarkt einzugreifen. Käuferzuschüsse können je nach Höhe des Zuschusses sehr schnelle Erfolge zeigen. So hat die Stadt Shanghai im Januar 2013 die direkten Käuferzuschüsse der Zentralregierung (umgerechnet ca. 7.240,- EUR) um weitere 4.825,- EUR erhöht und stellt gebührenfrei und zeitnah ein Kennzeichen aus (Gegenwert: ca. 9.050,- EUR<sup>94</sup>). Die gesamte Kostenerleichterung beträgt rund 21.000,- EUR und führte kurz nach der Einführung des Anreizes zu der Pressemeldung, dass in nur einem Autohaus innerhalb einer Woche über 200 Elektroautos verkauft wurden (schwarzfarbig.de 2013). Es ist jedoch unklar zu welchen Anteilen die schnellere Zulassungsmöglichkeit und der finanzielle Anreiz die Kaufentscheidung beeinflusst haben.

Im Bundesstaat Kalifornien werden Käuferzuschüsse bis zu 12.500 USD beim Kauf eines BEV vergeben. Im Rest der USA gibt die Regierung bis maximal 5.500 USD Zuschuss für den Neukauf eines PHEV je nach Batteriegröße. So bekommt der Käufer eines Nissan Leaf oder Chevrolet Volt 7.500 USD, ein Käufer eines Toyota Prius Plug-In-Hybrid nur 2.500 USD (Voelcker 2009). Eine Analyse der Käuferschaft in Kanada, die sich während des dortigen Subventionsprogramms ein HEV gekauft hat, zeigt, dass nur 26 % der Käufer ein HEV wegen der Prämie gekauft hat (Bhat et al. 2010). Das bedeutet, dass 74 % des Geldes Käufern zu Gute gekommen sind, die sich auch ohne dieses Programm ein HEV gekauft hätten. Diese Klientel ist zudem wohlhabender als der Durchschnitt. In einigen kanadischen Provinzen werden zurzeit umgerechnet noch zwischen 3.700 bis 6.300 EUR beim Kauf eines E-Autos zugeschossen (Ministry of Transportation 2011). Frankreich gibt je nach CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Fahrzeugs zwischen 550 und 7.000 EUR staatlichen Zuschuss beim Kauf eines ZEV (NUSSBAUMER 2012). Gass et al. (2014, S. 3530) berechnet Szenarien für Österreich mit Käuferzuschüssen von bis zu 10.000 EUR<sup>95</sup>.

Noch weitere EU- und Nicht-EU-Länder gewähren direkte Kaufprämien beim Kauf von Fahrzeugen mit alternativer Antriebstechnologie. Für eine Übersicht der einmaligen Kaufprämien in unterschiedlichen Ländern siehe z. B. statista (2012, S. 21)

---

94 In Shanghai und anderen Mega-Metropolen in China werden für die Zulassung von Pkw die Kennzeichen verlost bzw. versteigert. Der durchschnittliche Auktionspreis in Shanghai beträgt ca. 9.050,- € bei mehreren Monaten Wartezeit. Alternativ betriebene Fahrzeuge werden noch am selben Tag der Beantragung zugelassen (schwarzfarbig.de 2013).

95 10.000 € im ersten Jahr (2011); die staatliche Unterstützung beim Neuwagenkauf wird in dem Modell von Jahr zu Jahr geringer angenommen: 8.000 € (2012), 5.500 € (2013), 3.000 € (2014), 0 € (2015).

Es ist zu erkennen, dass in allen Ländern, in denen keine bzw. nur geringe staatliche Zuschüsse gegeben werden, bleiben die Absatzzahlen von Elektroautos weit hinter den Erwartungen der jeweiligen Regierungszielen zurück. Die deutsche Bundesregierung sieht nach wie vor von einer Strategie mit direkten Käuferzuschüssen für den Kauf eines Neuwagens ab.

Der Gesetzgeber hat die Möglichkeit anhand von direkten Käuferzuschüssen auf den Kaufpreis und somit u.U. auf die Kaufentscheidung Einfluss zu nehmen, da diese beiden Posten direkt miteinander verrechnet werden können. Der Kaufpreis stellt nach Krems (2011, S. 5) „den bedeutendsten Einfluss auf eine simulierte Kaufentscheidung“ dar. Einmalige Käuferzuschüsse können also einen sehr direkten Einfluss auf die Kaufentscheidung nehmen. Die deutsche Bundesregierung hat 2010 bekannt gegeben, dass sie keine direkten Käuferzuschüsse vergeben wird, sondern ausschließlich Forschungs- und Entwicklungsgelder bereitstellt sowie Steuerausnahmen für ZEV gewährt (ACEA 2010).

Im Rahmen des Konjunkturpaket II (*„Pakt für die Beschäftigung und Stabilität in Deutschland zur Sicherung der Arbeitsplätze, Stärkung der Wachstumskräfte und Modernisierung des Landes“*) wurde über die euphemistisch bezeichnete „Umweltprämie“ (besser bekannt unter dem Titel Abfrackprämie) 2009 eine staatlichen Subvention von 2.500 EUR beim Kauf eines Neuwagens vergeben. Diese war an die Bedingung geknüpft, einen Altwagen im Gegenzug verschrotten zu lassen. 2009 wurden 23,2 % mehr Pkw als im Vorjahr zugelassen. Nach dem kompletten Ausschöpfen der Subventionsmittel fiel der Absatz an Neuwagen in 2010 wieder um 23,4 % ab (Engel 2011).

Die Industrievertreter selbst sind nur zu einem geringen Anteil daran interessiert, die Entwicklungs- und Herstellungskosten von ZEV quer zu subventionieren und sehen den Staat in der Pflicht, F+E-Gelder vor der Marktreife bereitzustellen „*man macht eine gewisse Risikoaufteilung*“ (Energie1). Sie hoffen auf Anreizsysteme durch den Staat, um Elektrofahrzeuge für Privatkunden und Flottenbetreiber attraktiver zu machen. „*Ich [der Staat] mach dir steuerlichen Anreiz, dass du Ladesäulen auf deinen Arbeitsplatz hinstellst, dann ist das glaube ich auch ein Markttreiber, der dazu führt, dass eine Durchdringung sehr sehr stark zustande kommt und dazu führt, dass wir diese eine Million Fahrzeuge 2020 sehr wohl auf den Straßen haben werden, da sehe ich überhaupt keine Bedenken*“ (Automobil1). Die Städte können aus finanzieller Sicht nur Anreize hinsichtlich der Parksituation geben: „*Anreize sind nur im Bereich Infrastruktur möglich. Also Parkerleichterung zum Beispiel, bevorzugter Parkraum usw.*“ (Stadt1). Um aus Sicht der viel zu hohen Anschaffungskosten Käufer zu gewinnen, kann der Ge-

setzgeber direkte Käuferzuschüsse beim Kauf eines emissionsarmen Fahrzeugs geben. Käuferzuschüsse müssen vom Bund kommen und werden auch von den Stadtverwaltungen gewünscht: *„Finanzielle Anreize, hoffen wir, kommen dann vom Bund. Das ist in anderen Ländern auch so, dass Zuschüsse bezahlt werden, beim Kauf eines Elektroautos. Das wird aller Wahrscheinlichkeit nach, nicht von der Stadt kommen“* [...] *„Solange der Bund nicht den Kauf eines Elektrofahrzeugs fördert, wird es hier nicht so eine Marktdurchdringung haben“* (Stadt1).

Aufgrund der Literaturrecherche und der in anderen Ländern bereitgestellten staatlichen Prämien werden in der vorliegenden Studie folgende direkte Kaufzuschüsse für ZEV untersucht: 0, 1.000 EUR, 3.000 EUR, 5.000 EUR und 10.000 EUR.

Die Zuschüsse werden als eigenständiges Element in der CBCA ausgewiesen und nicht direkt mit dem Kaufpreis verrechnet. Es soll untersucht werden, welche Effekte direkte Zuschüsse auf die Kaufentscheidung haben.

#### Treibstoff- und Stromkosten

Ein weiterer Anstieg des Ölpreises auf dem Weltmarkt, kann die Marktdurchdringung von Elektroautos fördern. Manche Prognosen gehen von einem Weltmarktpreis für ein Barrel Erdöl von rd. 200 USD im Jahr 2030 aus (vgl. ifmo 2010, S. 8). Bei der Einschätzung des Einflusses des Ölpreises herrscht bei den befragten Experten ein sehr heterogenes Bild, von *„Ich denke, der Benzinpreis spielt hier keine große Rolle, fungiert hier also nicht als Treiber“* (Energie2) bis hin zu *„[...] letztendlich ist alles vom Ölpreis abhängig“* (Stadt2). Der *„Handlungsdruck“* (Automobil1) ist bei den OEM angekommen, bleibt der Ölpreis jedoch unten *„[sind] Diesel [...] die bessere Alternative“* (Automobil3). Der niedrige Strompreis kann sich positiv auf die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeuge auswirken. Die Betriebskosten für E-Fahrzeuge sind nach derzeitigem Preisgefüge extrem niedrig gegenüber konventionellen Fahrzeugen, vor allem wenn der Ölpreis weiter ansteigt. *„Und dieser Vorteil eines Elektroautos, die Betriebskosten, kann nur darin bestehen, dass die Betriebskosten niedrig bleiben [...] es muss ein relativer Vorteil von Strom gegenüber dem Erdöl oder Mineralöl bestehen bleiben, damit Elektromobilität den Kostenvorteil ausspielen kann“* (Energie3). *„[...] wenn der Ölpreis [...] nach oben steigt, dann rechnet sich jede Alternative immer schneller und wenn er [...] unten bleibt, dann hat es eine Alternative schwer“* (Energie1).

In Deutschland sind Energieerzeugnisse<sup>96</sup> mit einer hohen Verbrauchssteuer der Energiesteuer belegt. Bei Benzin beträgt der Steueranteil inkl. Mehrwertsteuer<sup>97</sup> ca. 59,3 % (BMF 2011). Die Energiesteuer ist ein Festbetrag pro Liter, bei Benzin 65,45 EUR-Cent, bei Diesel beträgt sie 47,04 EUR-Cent (EnergieStG). Aufgrund des fixen Anteils der Energiesteuer, die rund 43,3 % am Einkaufspreis ausmacht, sind Ölpreiserhöhungen auf dem Weltmarkt in Deutschland prozentual geringer zu spüren, als in Ländern, wo der Steueranteil des Treibstoffpreises kleiner ist. Die Energiesteuer (ehemals Mineralölsteuer) kann aufgrund der eindeutigen Korrelation zwischen Menge des verbrannten Treibstoffs zu erzeugter CO<sub>2</sub>-Menge auch als CO<sub>2</sub>-Steuer betrachtet werden (Achtnicht 2009, S. 5). Laut Karplus (2010, S. 631) würde eine gesetzliche Verschärfung der CO<sub>2</sub>-Emissionsgrenzwerte hinsichtlich der Marktfähigkeit von Elektroautos einen ähnlichen Effekt wie eine Vergrößerung der elektrischen Reichweite bewirken. Eine weitere Erhöhung der Energiesteuer kann zu einer Beschleunigung der Marktdurchdringung von alternativen Antrieben beitragen (McConnell, Turrentine 2010, S. 23; Small 2010).

Anders als beim Kaufpreis sind die laufenden Kosten für Treibstoffe abhängig von der individuellen Fahrleistung. Dieser Umstand soll bei der Entwicklung der Merkmalsausprägungen berücksichtigt werden. Achtnicht (2009) gibt der Antwortperson für den Treibstoffpreis die Alternativen 5 EUR, 10 EUR und 20 EUR bezogen auf 100 km an. Diese Methode erhöht die Komplexität der Aufgabe unnötig. Auch erscheint die Spreizung zwischen den Werten zu groß. Andere Autoren gehen den Weg, dass monatliche bzw. jährliche Treibstoffkosten oder die jährliche Fahrleistung der Antwortperson im Vorfeld abgefragt werden (vgl. z. B. Ito et al. 2013; Raich et al. 2012; Ewing, Sarigöllü 2000; Potoglou, Kanaroglou 2006). In Raich et al. (2012) wurden die jährlichen Treibstoffkosten durch die Eingabe der jährlichen Fahrleistung der Antwortperson berechnet und in der CBCA als alternativen-spezifisches Attribut verwendet. Diese Vorgehensweise wird übernommen, da sie der Antwortperson ein sehr realistisches Bild über die eigenen zu erwartenden jährlichen Treibstoffkosten wiedergibt. Die Kosten für konventionelle Treibstoffe und alternative Antriebsarten werden anhand der ein-

---

96 Darunter Benzinkraftstoffe, Dieselmkraftstoffe, Biokraftstoffe, Heizöle, Schmierstoffe, etc.

97 Aktuell beträgt die MWSt. 19 %

gegebenen Fahrleistung berechnet und in den verschiedenen Stimuli variiert.<sup>98</sup> Als Anhaltswert wurde der durchschnittliche Flottenverbrauchswert sowie der durchschnittliche Treibstoffpreis (Berechnet aus 2/3 Benzin und 1/3 Diesel<sup>99</sup>) herangezogen und variiert.

#### CO<sub>2</sub>-Steuer

Die Besteuerung der Fahrzeuge wird von den Experten als ein wichtiges Lenkungsinstrument für den Markterfolg von E-Fahrzeugen angesehen. Es kommt darauf an „[...] *dass man nachhaltige Steuerpolitik betreibt, weil schlussendlich kommt es auf die Betriebskosten [...] an*“ (Energie3). Bei aktuellen Strompreisen sind aufgrund der Effizienz des Elektromotors die Kosten<sup>100</sup> für einen gefahrenen Kilometer sehr viel günstiger als beim konventionellen Fahrzeug. „*Günstig während der Markteinführung – also Treiber – wird aber unwichtig werden, wenn der Mobilitätsstrom besteuert wird*“ [...] „*Auf längere Sicht wird die Regierung den Mobilitätsstrom besteuern müssen*“ (Energie2). Hier sind sich die Experten einig: „[...] *dann wird sicher unser Finanzminister findig genug sein auch Autostrom besonders zu besteuern [...]*“ (Energie1). „*Mit dem zunehmenden Maß, wo Steuergesetzgebung – CO<sub>2</sub>-getrieben oder auch andere Steuergesetzgebung – es attraktiver gemacht haben, elektrisch zu fahren, hat/ beginnt der Markt, im Moment sich zu entwickeln*“ (Automobil2).

Das leistungs- und emissionsabhängige Besteuerungssystem der Kfz-Steuer belastet Halter von emissionsstarken Kraftfahrzeugen finanziell stärker, als Halter von emissionsarmen Kraftfahrzeugen. Nach der aktuellen gesetzlichen Regelung werden Fahrzeuge, die der Abgasnorm Euro3/ D3 und besser entsprechen seit 1. Juli 2009 mit einer Zweikomponenten-Steuer belegt<sup>101</sup> deren Höhe abhängig vom Hubraumvolumen des Motors und vom CO<sub>2</sub>-Ausstoß ist.

98 Als Referenzpreis wird der Brutto-Benzinpreis des Monats September 2012 in der CBCA verwendet. Hier lag der durchschnittliche Preis für einen Liter Superbenzin an deutschen Tankstellen bei rd. 1,75 EUR (statista 2013b). Eigenschaftsausprägung 1 wird mit 150 % des Eingabewertes berechnet, Ausprägung 2 mit 65 % des Eingabewertes und Ausprägung 3 mit 45 % des Eingabewertes.

99 Die Verteilung entspricht den Anteilen an der deutschen Pkw-Gesamtflotte (KBA 2012c).

100 Vergleich zwischen den Kosten zur Energiebereitstellung von Strom und Benzin/Diesel.

101 Otto-Motoren werden mit 2,00 EUR/ 100cm<sup>3</sup> Hubraum und 2,00 EUR je g CO<sub>2</sub>/ km über 120 g CO<sub>2</sub>/ km besteuert. Seit 1. Januar 2012 wurde die Grenze auf 110g CO<sub>2</sub>/ km herabgesetzt. Bei Dieselfahrzeugen beträgt die Besteuerung des Hubraums 9,50 EUR/ 100 cm<sup>3</sup>. Die CO<sub>2</sub>-Besteuerung ist gleich wie beim Otto-Motor. So kostet beispielsweise der VW Polo (Modell 2012), 1,4 TSI Blue GT (105 g CO<sub>2</sub>/ km; Euro5) jährlich 28,00 EUR Kfz-Steuern (wikipedia.de 2013b). Halter von BEV sind die ersten zehn Jahre von der Steuer befreit (GGEMO 2012).

Um Halter von emissionsstarken Fahrzeugen höher zu belasten, könnten höhere Steuer-Abgaben eingeführt werden. Eine CO<sub>2</sub>-Steuer könnte an unterschiedlichen Stellen ansetzen. So kann die CO<sub>2</sub>-abhängige Kfz-Steuer für konventionelle Fahrzeuge weiter angehoben werden (fester jährlicher Betrag) oder die Energiesteuer kann angehoben werden (verbrauchsabhängig). Eine 2011 in Dänemark durchgeführte Erhebung hat gezeigt, dass Kfz-Steuer-Erleichterungen zu einer größeren Marktdurchdringung alternativ angetriebener Fahrzeuge führen kann. Das Modell zeigt, dass die Dänen bereit sind, um einen Euro pro Jahr zu sparen, insgesamt einmalig vier Euro beim Kauf des Fahrzeugs mehr auszugeben (Mabit, Fosgerau 2011). In Dänemark und Norwegen ist dies mittlerweile über den Erlass der Mehrwertsteuer beim Neukauf eines ZEV sowie dem Erlass der Neuwagen-Registrierungsgebühr umgesetzt worden.

Mit Blick auf die derzeitige Höhe der Kfz-Steuer werden folgende Werte für die separate CO<sub>2</sub>-Steuer gewählt: 0 EUR, 200 EUR, 300 EUR, 400 EUR.

Nutzerprivilegien - kostenloses Parken in der City

Die Einräumung von Nutzerprivilegien für Fahrer von schadstoffarmen Fahrzeugen wird vielfach diskutiert und umgesetzt. Es gibt vielfältige Instrumente, um Nutzerprivilegien bzw. Verbote durchzusetzen. So wird beispielsweise durch Inkrafttreten des Feinstaubgesetzes schadstoffreichen Fahrzeugen die Einfahrt in die sog. Umweltzonen verwehrt. Die Einfahrt in Umweltzonen<sup>102</sup>, die viele Städte schon eingeführt haben, richtet sich nach dem CO<sub>2</sub>- und Feinstaub-Ausstoß des Fahrzeugs. Die Stadt London verschärft zum Juli 2013 die Emissionsgrenze der Congestion-Charge-Zone<sup>103</sup> für Fahrzeuge, die kostenlos in die Zone einfahren dürfen, von 100 g CO<sub>2</sub>/ km auf 75 g CO<sub>2</sub>/ km (carsite.co.uk 2012). Somit dürfen kostenlos praktisch nur noch Hybrid- und Elektroautos in die Zone einfahren. Alle anderen müssen eine Rate von 9 GBP (ca. 10,70 EUR) zahlen. In den USA und Kanada können Führer eines HEV, PHEV oder BEV die sog. Carpool- bzw. HOV-Lanes<sup>104</sup> auch in Einzelbesetzung nutzen. Die Benutzung dieser speziellen Fahrspuren ist generell erst ab einer Mindestbesetzung von zwei Personen gestattet. Aufgrund des massiven Verkehrsaufkommens und ständigen Staus, kann die Nutzung von HOV-Lanes erhebliche Zeitersparnisse für die Nutzer bedeuten,

---

102 Am 01.03.2007 trat das Feinstaubgesetz in Kraft. Die ersten Umweltzonen wurden in Berlin, Hannover und Köln am 01.01.2008 eingeführt. Seitdem sind viele (Groß-)Städte nachgezogen.

103 Staugebühr

104 High occupancy vehicle lane

da diese oft weniger stark frequentiert werden. Die Kennzeichnung alternativ betriebener Fahrzeuge erfolgt anhand eines Aufklebers. Nach der Einführung des Privilegs in Kalifornien wurden 40.000 dieser Aufkleber innerhalb von drei Monaten ausgegeben. Die Erlaubnis ist zunächst bis Januar 2019 beschränkt (transportevolved.com 2014). In Deutschland wird diskutiert, Busspuren für alternativ betriebene Fahrzeuge freizugeben. Die Nutzung von Busspuren wurde zu der Zeit, als die Interviews durchgeführt wurden, von allen Stadtverwaltungen abgelehnt (vgl. Stadt1, Stadt2, Stadt3). 2013 überlegt die Stadt Hamburg, ob nicht doch Busspuren für Elektroautos freigegeben werden können (Novitzki 2013).

Eine Studie der IHK Stuttgart fordert von den Kommunen, Verkehrsflächen für Carsharingfahrzeuge mit alternativem Antrieb freizugeben, sowie Standorte und Flächen für private Betreiber für Ladeinfrastruktur auszuweisen (IHK Region Stuttgart 2010). Auch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit fordert in seinem Programm zur Marktaktivierung von 100.000 Elektrofahrzeugen bis 2017 die Schaffung von Nutzervorteilen für Elektroautos (Bundesregierung 2009b).

Zudem gibt es die Empfehlungen, dass Kommunen kostenlose Parkplätze für Elektrofahrzeuge bereitstellen sollten (PWC 2010). *„Das kostenlose Parken in den Innenstädten und die Fast-Garantie einen freien kostenlosen Parkplatz in äußerst attraktiver Lage zu finden, können nur während der Markteinführung als Anreize aufrecht erhalten werden. Dies wird sich mit der Marktdurchdringung erledigen“* (Energie2). Nutzerprivilegien wie kostenloses Parken wird nur während der Einführungsphase gesehen, aber nicht langfristig aufrecht erhalten werden: *„Das ist aber auf lange Sicht ja nicht so vorgesehen. [...] In der Initialphase vollkommen richtig, später ist wieder davon abzusehen“* (Stadt2). In Baden-Württemberg, Hamburg und Köln wurden Bundesratsanfragen zu den Themen kostenloses Parken in den Innenstädten und die dafür notwendige offizielle Kennzeichnung von besonders schadstoffarmen Fahrzeugen gestellt (vgl. dpa 2013; baden-wuerttemberg.de 2013; Görtz 2013).

In der vorliegenden Arbeit wird der Einfluss von emissionsabhängigen Parkplatzgebühren untersucht. Als stündliche Parkgebühren werden die Werte 0 EUR/ h, 3 EUR/ h, 4 EUR/ h und 5 EUR/ h variiert.

Reichweite, Batteriekapazität und Batteriekosten

Die Reichweite und die damit verbundene Batteriekapazität sowie deren Kosten werden als entscheidende Treiber für die Elektromobilität benannt: „*Entscheidend für eine erfolgreiche Markteinführung ist, wie die Batterieentwicklung voranschreitet*“ (Energie2). Teilweise ist große Skepsis hinsichtlich der Entwicklung der Energiedichte in Batterien vorhanden: „*Menschen, die glauben, dass wir jetzt plötzlich den Faktor fünf oder noch mehr haben, halte ich für Utopisten*“ [...] „*dieses Konzept hat gewisse systemimmanente Mängel, die nicht gelöst werden können*“ (Automobil2). Aber auch große Zuversicht ist innerhalb der Automobilbranche gegeben „*Und das ist vielleicht dann natürlich in zehn Jahren gar kein Thema mehr. Also ich persönlich glaube, die Batterien werden sich gehörig weiterentwickeln*“ (Automobil3). Der Fokus der Automobilhersteller liegt zunächst darin, eine Reichweite von mindestens 100 km anzustreben, um die durchschnittlichen Pendelwege zum größten Teil abbilden zu können. Kunden, die die Möglichkeit haben zuhause zu parken, stellen die erste Zielgruppe dar (Automobil1).

Die tägliche Fahrleistung eines Fahrzeugs (im Unterschied zur täglichen Fahrleistung einer Person), beträgt laut MiD2008 bei rund 90 % der Fahrzeuge unter 100 km, bei rund 93 % unter 130 km<sup>105</sup>. Diese Reichweite erreichen mittlerweile die meisten auf dem Markt erhältlichen Elektrofahrzeuge (unter Normalbedingungen). Das Problem stellt aber nicht der durchschnittliche Tag dar, sondern die aperiodischen Fahrten, bei denen größere Distanzen zurückgelegt werden müssen. Ein konventioneller Pkw ist in der Lage lange Strecken zu absolvieren. Daraus resultiert die Erwartungshaltung, dass neue Fahrzeuge auch für weitere Fahrten nutzbar sein müssen. Diese Erwartungshaltung bzw. die Erwartung, diese Möglichkeit zu haben, stellt den Erfolg von Elektroautos nach heutigem Entwicklungsstand in Frage.

Die Auswertung des Flottenversuchs der Studie „Mini E sponsored by Vattenfall“ bei dem die Alltagstauglichkeit von Elektrofahrzeugen mit 30 Testkandidaten über fünf Monate untersucht wurde, ergab folgende Ergebnisse: rd. 70 Prozent der Kandidaten empfinden die Reichweite von ca. 150 km als Nachteil. Die lange Ladedauer wird von ca. 15 % der Probanden als Nachteil empfunden (Krems et al. 2011, S. 47). Zu den ausgewählten Testfahrern der Studie wurden aus 1.867 Bewerbern nur 30 ausgewählt. „Die ausgewählten Nutzer waren insgesamt sehr

---

105 eigene Berechnung

gut ausgebildet und verfügten über ein überdurchschnittlich hohes Einkommen“ (ebd., S. 26).

Wie in Kapitel 3.1.1 dargestellt, stehen ausreichende Untersuchungen zu präferierten Reichweiten, Ladedauern, etc. von Elektroautos zur Verfügung. Fahrzeugtechnische Eigenschaften sollen daher nicht direkt Teil der CA sein. Informationen zu Reichweite, Ladedauer und der Energiequellen sind dennoch wichtige Informationen, die allen Antwortpersonen der Befragung zur Verfügung stehen müssen. Als einleitende Informationsseite zu Beginn der CA werden den Antwortpersonen die wichtigsten Fakten zu ZEV präsentiert (vgl. Anhang 7, S. 274f).

#### Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur

Das Wiederaufladen einer Batterie mittels Induktion ermöglicht eine berührungsfreie Übertragung der Energie. Das induktive Laden bietet einen ungleich höheren Komfort gegenüber dem Aufladen an einer Ladesäule. *„Die öffentliche Ladeinfrastruktur hat ja auch gerade so Akzeptanzprobleme im Winter oder wenn es regnet, dann ist das Kabel dann eben nass und liegt dann im Matsch und was weiß ich nicht alles – es macht alles keinen Spaß!“* (Energie1).

Der berührungsfreie Ladevorgang ermöglicht auch das Aufladen während der Fahrt, würde man Induktionsschleifen in die Fahrbahn einbringen. Aufgrund unverhältnismäßig hoher Investitionskosten, ungeklärter Aspekte der Sicherheit und hoher Energieverluste, die bei aktuellem Technikstand nicht zu vermeiden sind, wird der Realisierung einer solchen Ladeinfrastruktur mittelfristig keine Chancen in Aussicht gestellt.

Akkuwechselstationen bieten ebenfalls einen hohen Komfort für den Nutzer. Der Austausch der Fahrzeugbatterie erfolgt innerhalb von wenigen Minuten. Diesem System wurde von den befragten Experten wenig bis gar keine Marktfähigkeit zugesprochen. Zwar erhofft man sich, die Autobatterien als Puffer für volatile regenerativ erzeugte Energien nutzen zu können (*„[...] einige geladene Akkus [...] bilden einen großen gut steuerbaren Energiespeicher. Diese Technik könnte zur Förderung der erneuerbaren Energien beitragen“* (Energie2)). Jedoch ist die Einschätzungen der Interviewpartner zu Aspekten wie *„Anfangsinvest“* (Automobil2), das *„Verteilungsproblem“* (Automobil2) und die damit verbundene *„absolute Inakzeptanz“* (Automobil2) des Nutzers bei einem *„absoluten System-*

*fehler*<sup>106</sup>“ (Automobil2) und der Ablehnung des Systems der OEM „*Geht nicht! Wollen wir nicht! Ist nicht rentabel!*“<sup>107</sup>“ (Energie2 zur Einschätzung von OEM), dass diese Technologie kaum Erfolgsaussichten hat. Tatsächlich zieht sich der Pionier dieses Systems die US-amerikanische Firma Better Place schon nach kurzer Zeit aus den Märkten USA und Australien zurück und konzentriert sich auf die beiden kleinen Kernmärkte Israel und Dänemark (Baeuchle 2013). Mitte 2013 meldet das Unternehmen Insolvenz an (tagesschau.de 2013).

Die Expertenmeinungen sind hinsichtlich der Bereitstellung einer Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum durch Kommunen oder den Gesetzgeber sehr ähnlich: Für sog. Laternenparker, also Nutzer, die ihr Fahrzeug im öffentlichen Raum abstellen (z. B. in Gründerzeitvierteln), gibt es noch keine wirtschaftlichen Konzepte. Daher liegen diese „28 % [der Nutzer, die die Laternenparker ausmachen]“ (Automobil3) zunächst nicht „*als erstes im Fokus*“ (Automobil1). Auf der anderen Seite konzentrieren sich z. B. (e-)Carsharing-Angebote gerade auf diese Quartiere, da hier vermutlich eine hinreichend große Anzahl an „Early Adopters“ leben.

Fast alle Experten betonen, dass Lademöglichkeiten im öffentlichen Raum nicht bzw. kaum genutzt werden, da es für die Nutzer komfortabler ist, zu Hause zu laden. Die Reichweite ist nach einer gewissen Anfangsskepsis für die meisten Wege ausreichend. Dennoch wird die psychologische Wirkung von öffentlichen Ladesäulen als extrem hoch angesehen und von fast allen Befragten erwähnt. Die öffentlichen Ladesäulen dienen zu „*Marketingzwecken*“ und der „*Sichtbarkeit*“ und vermitteln ein „*psychologisches Sicherheitsgefühl*“ (Energie1, Energie3, Automobil1, Automobil3, Stadt2). „*Die Frage, wie viele Ladesäulen oder Zugänge zu Steckdosen im öffentlichen Raum will denn eine Stadt, die muss sich ja auch noch beantworten*“ (Automobil4). Auch die Frage nach der Refinanzierung bzw. dem Geschäftsmodell, öffentliche Ladesäulen zu erstellen und zu betreiben, die keine Förderung von der Bundesregierung erhalten, ist absolut ungeklärt (vgl. Energie3). Lademöglichkeiten im halböffentlichen Raum, z. B. auf Parkplätzen von Supermärkten oder Einkaufszentren, werden als die künftig leicht durchzusetzende Form aufgrund einfacherer Genehmigungsverfahren und der Kostenübernahme durch Privatunternehmen gesehen. Städte bevorzugen das

---

106 Als *absoluten Systemfehler* bezeichnet der Interviewpartner das logistische Verteilungsproblem der Batterien, wenn aufgrund zu hoher Nachfrage eine Batteriewechselstation keine aufgeladenen Akkus anbieten kann und der Kunde nicht mehr weiter fahren kann.

107 Das Anfangsinvest stellt eine zu hohe Hürde dar: „*Irgendjemand muss das Anfangsinvest in diesen Batteriepark machen [...] dann sind das wahrscheinlich Milliarden*“ (Automobil2).

Errichten von Lademöglichkeiten an P+R-Anlagen, um die Autos aus der Stadt zu halten und somit den MIV nachhaltig steuern zu können (Stadt1). Der Arbeitgeber wird als zweitgrößtes Potential nach den „Zuhause-Ladern“ angesehen (Stadt1, Stadt2, Automobil1, Automobil3, Energie2, Energie3).

Der Ausbaugrad der Ladeinfrastruktur bzw. die Verfügbarkeit von Ladesäulen im öffentlichen und halböffentlichen Raum gilt als ein wesentlicher Treiber für ZEV und als effektives und wichtiges PR-Tool. “Charging infrastructure is considered to be a major factor in customer acceptability of electric vehicles” (vgl. CARB 2007, S. 11; auch Hacker et al. 2009, S. 56). Die Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur wird durch den Gesetzgeber stark vorangetrieben. So wurden im Rahmen der Modellregionen Elektromobilität bis Ende 2012 insgesamt 3.819 öffentliche Stromladesäulen in 580 Kommunen für EV installiert (BDEW 2013b).

Anhand der Literaturrecherche und der Aussagen der Experten werden für die Erreichbarkeit der Ladesäulen folgende Gehminuten angenommen: 0,5 min, 1 min, 5 min, 10 min, 15 min, 20 min und 30 min.

### 3.1.3 Übersicht der Merkmalsausprägungen

Tabelle 7 zeigt eine Übersicht aller Elemente sowie deren Ausprägungen, die in der CBCA verwendet werden.

Tabelle 7: Im Experiment verwendete Elemente und deren Ausprägungen

Eigenschaft	[Anzahl]	Ausprägungen
Antriebsart	[4]	BEV, PHEV, FCEV, ICV
Kaufpreis [€]	[4]	30.000, 35.000, 40.000, 45.000
Treibstoffkosten [€/Jahr]	[3]	plus 20%, minus 50%, minus 65% <sup>1</sup>
CO <sub>2</sub> -Steuer [€/Jahr]	[4]	0, 200, 300, 400
Käuferzuschuss [€]	[5]	0, 1.000, 3.000, 5.000, 10.000
Parkgebühren [€/h]	[4]	0, 3, 4, 5
Entfernung Ladestation [min] <sup>2</sup>	[7]	0,5, 1, 5, 10, 15, 20, 30

<sup>1</sup> Berechnung erfolgt nach Eingabe der jährl. Fahrleistung der Antwortpersonen.  
<sup>2</sup> Gehminuten zur nächsten freien Ladesäule

Quelle: eigene Darstellung

### 3.1.4 Restriktionen der Conjoint-Analyse

Bei der Generierung des Untersuchungsplans werden grundsätzlich alle Eigenschaftsausprägungen der unterschiedlichen Eigenschaften miteinander kombiniert. Für diese Untersuchung ist ein volles faktorielles Design nicht sinnvoll, da z. B. Käuferzuschüsse beim Kauf eines konventionellen Fahrzeugs nicht vergeben werden sollen. Es ist möglich durch die Berücksichtigung von Restriktionen (*sog. prohibitions*) bei der Generierung des Aufgabendesigns, bestimmte Kombination von Eigenschaftsausprägungen und Eigenschaften nicht zuzulassen. Ferner hat der Ausbaugrad der Lade- und Tankinfrastruktur offensichtlich je nach Antriebsart unterschiedliche Bedeutung. Das Anbieten einer fußläufig erreichbaren Tankinfrastruktur für konventionelle Fahrzeuge widerspricht den Zielen der Förderung von ZEV. Ähnliches gilt für wasserstoffbetriebene Fahrzeuge, da Wasserstoff nur an H<sub>2</sub>-Tankstellen bezogen werden kann. So werden H<sub>2</sub>-Tankstellen wie auch konventionelle Tankstellen nicht mit Gehminuten unter zehn Minuten angeboten. Abbildung 11 zeigt die Matrix aller Restriktionen zwischen der Antriebstechnologie und dem Ausbaugrad der Lade- und Tankinfrastruktur, die bei der Erstellung des Designs für die Choice-Based Conjoint-Analyse berücksichtigt wurden. Der in der Sawtooth Software implementierte Pretest des Designs ergibt, dass das Design effizient ist und verwendet werden kann.

Abbildung 11: Restriktionen (prohibitions) beim Erstellen des orthogonalen Designs

Verwendete Restriktionen bei der CBCA			
1.	BEV nicht mit 10.000 Zuschuss	9.	FCEV nicht mit 5 min
2.	PHEV nicht mit 10.000 Zuschuss	10.	FCEV nicht mit 10 min
3.	ICV nicht mit 1.000 Zuschuss	11.	ICV nicht mit 0,5 min
4.	ICV nicht mit 3.000 Zuschuss	12.	ICV nicht mit 1 min
5.	ICV nicht mit 5.000 Zuschuss	13.	ICV nicht mit 5 min
6.	ICV nicht mit 10.000 Zuschuss	14.	ICV nicht mit 10 min
7.	FCEV nicht mit 0,5 min	15.	ICV nicht mit 20 min
8.	FCEV nicht mit 1 min	16.	ICV nicht mit 30 min

Quelle: eigene Darstellung

### 3.1.5 Zusammenfassung

Anhand einer detaillierten Literaturanalyse von CBCA-Studien zur Untersuchung von Pkw-Kaufentscheidungen mit alternativen Antriebstechnologien wurden die entscheidungsrelevanten Fahrzeugattribute bestimmt (vgl. 3.1.1). Die gewonnenen Erkenntnisse wurden den Literaturempfehlungen zur Szenarientwicklung anhand von Experteninterviews validiert (vgl. 3.1.2). Als wesentliche Treiber für alternative Antriebe sehen die Experten das Kostengefüge, die Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur und die Entwicklung der Energiespeichersysteme. Wechsel-Akkus und induktives Laden werden aufgrund der zu hohen Investitionskosten als chancenlos gesehen. Beim Aufladen an der Steckdose wird der Vorrang vom Nutzer klar der eigenen Steckdose auf dem Privatgrundstück gegeben. Große Treiber sind auch Privatunternehmen mit Stellplatzflächen im privaten und halb-öffentlichen Bereich, die ihren Angestellten das Laden während der Arbeitszeit ermöglichen bzw. den Kunden während der Einkaufszeit eine Lademöglichkeit anbieten. Die Anschaffungskosten stellen momentan eine zu hohe Hürde für den Markteintritt dar. Diese können nicht durch den Anreiz der sehr geringen Betriebskosten bzw. einer TCO-Betrachtung ausgeglichen werden. Die Forderung nach staatlicher Subvention (direkte Käuferzuschüsse) und der Einräumung und Nutzerprivilegien für besonders schadstoffarme Fahrzeuge besteht sowohl bei den Schlüsselakteuren als auch bei den Nutzern, damit die hohen Anfangsinvestitionen nicht alleine von Privathaushalten getragen werden müssen. Bei der Argumentation hinsichtlich des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes als Grundlage zur Besteuerung oder zur Gestaltung von Privilegien ist eine Technologieneutralität zu gewahren, um die Weiterentwicklung aller zukunftssträchtigen Technologien zu gewährleisten.

Die Experteninterviews ergaben wichtige Erkenntnisse und Impulse für die Spiegelung der Expertenmeinungen an den Konsumenten. Die Befragung der Konsumenten ist insofern notwendig, da die Erfahrungen zum Nutzerverhalten bei Experten momentan weitgehend nur auf den ersten Erkenntnissen aus den Modellregionen basieren. Da die Testteilnehmer der Modellregionen jedoch nicht willkürlich ausgewählt wurden, sondern ein Bewerbungsverfahren durchlaufen haben, ist die Übertragbarkeit auf die Bevölkerung fraglich.

In der vorliegenden Arbeit stehen die Einflussmöglichkeiten der öffentlichen Hand anhand von finanziellen und infrastrukturellen Anreizsystemen im Vordergrund. Auf der Zusammenführung der Erkenntnisse der Literaturanalyse und der Interviews basierend, konnten sieben Elemente und deren Ausprägungen für die Conjoint-Analyse festgelegt werden (vgl. Kapitel 3.1.3). So wird der Einfluss von Kaufpreis, direkten Käuferzuschüssen, Treibstoff- bzw. Stromkosten, CO<sub>2</sub>-

Steuer, Parkgebühren, die Antriebstechnologie und die Verfügbarkeit der Tank- bzw. Ladeinfrastruktur auf die Kaufentscheidung untersucht.

Durch die Verwendung von Restriktionen können Paarungen bestimmter Ausprägungen vermieden werden, die entweder nicht Forschungsgegenstand sind bzw. Paarungen, die grundsätzlich nicht sinnvoll sind oder direkt zu einem Ausschlusskriterium führen würden (vgl. Kapitel 3.1.4).

In den folgenden Kapiteln werden die Durchführung der Datenerhebung, das Verkehrsverhalten der Antwortpersonen sowie die Modellergebnisse der Conjoint-Based Conjoint-Analyse dargestellt.

## 3.2 Datenerhebung

In diesem Kapitel wird die Durchführung der Erhebung anhand eines Online-Access-Panels erläutert sowie detailliert die Soziodemographie und weitere Personenmerkmale wie z. B. das Verkehrsverhalten der Antwortpersonen dargestellt. Zunächst erfolgt die Darstellung des räumlichen Bezugs der Erhebung zur Metropolregion Hamburg (vgl. 3.2.1). In 3.2.2 werden Vor- und Nachteile einer Online-Erhebung diskutiert. In Kapitel 3.2.3 wird der Aufbau des Fragebogens und vorgestellt und erläutert, wie die soziodemographischen und -ökonomischen Personenmerkmale sowie deren Verkehrsverhalten erfasst werden. Hier wird auch die Präsentation der Auswahl-situation (Stimuli) der Choice-Based Conjoint-Analyse dargestellt.

In Kapitel 3.2.4 erfolgt die Darstellung der Erhebungsergebnisse. Die Untersuchung des Samples anhand seiner Soziodemographie hat gezeigt, dass das Sample die Bevölkerungsverteilung der Metropolregion Hamburg sehr gut abbildet. Das Bildungsniveau ist, wie zu erwarten war, im Online-Panel etwas höher als in der Metropolregion. Auch sind ältere Personen etwas unterrepräsentiert.

In Kapitel 3.2.6 wird detailliert das Verkehrsverhalten der Antwortpersonen beschrieben. Die Erfassung des Verkehrsverhaltens der Antwortpersonen ist im Rahmen dieser 15-minütigen Erhebung eine schwierige Aufgabe. Bei der Erfassung des Verkehrsverhaltens der Antwortpersonen ist darauf zu achten, dass die Fragen möglichst einfach zu verstehen und zu beantworten sind, damit valide Ergebnisse zustande kommen. Ein umfangreiches Abfragen im Stile eines MID-Fahrtenbuches ist im Rahmen dieser Erhebung nicht möglich. Das Verkehrsverhalten wurde letztendlich auf die Erfassung der Hauptverkehrsmittel zur Arbeit, zum Einkauf und in der Freizeit abstrahiert. Um noch einen größeren Überblick

über das Verkehrsverhalten zu erlangen, wird auch u. a. die Nutzungshäufigkeit verschiedener Verkehrsmittel abgefragt.

### 3.2.1 Räumlicher Bezug

Da der räumliche Bezug bei der Erhebung der vorliegenden Arbeit einen Schwerpunkt darstellt und als räumliche Abgrenzung die Metropolregion Hamburg (Hamburg-City und Umland) gilt, ist hier auf eine Bevölkerungsrepräsentation innerhalb der Postleitzahlenabgrenzung sowohl auf dem Stadtgebiet der Freien und Hansestadt Hamburg als auch im Umland zu achten.

Die Beschränkung auf die Metropolregion Hamburg<sup>108</sup> wurde aus verschiedenen Gründen gewählt: Zum einen liegen umfassende Daten zur Metropolregion Hamburg am Institut für Verkehrsplanung und Logistik der TU Hamburg-Harburg vor, die als Ergänzung zu den Auswertungen hinzugenommen werden können. Zum anderen wird untersucht, ob ein Einfluss der Entscheidungen hinsichtlich des Wohnortes (Kernstadt, Randbezirk, ländlich geprägt, Umlandzentrum) besteht. Da dieser Aspekt in direktem Vergleich zwischen der Bevölkerung im Umland und der Kernstadt einer Metropole erfolgen soll, wird der Untersuchungsraum auf die Metropolgrenzen beschränkt.

Es wird ein Verteilungsschlüssel zwischen Umland und Freie und Hansestadt Hamburg gewählt, der der Einwohneranzahl der beiden Teilbereiche entspricht. So entfallen rund 2/3 des Samples auf das Umland und rund 1/3 auf das Stadtgebiet Hamburg. Die genaue Bevölkerungsverteilung beträgt:

- rd. 1.774.000 Einwohner der Freien und Hansestadt Hamburg<sup>109</sup>
  - rd. 3.596.000 Einwohner des Umlandes<sup>110</sup>
- ⇒ rd. 5.370.000 Gesamtbevölkerung der Metropolregion
- ⇒ Ratio Hansestadt/ Metropolregion: rd. 0,33

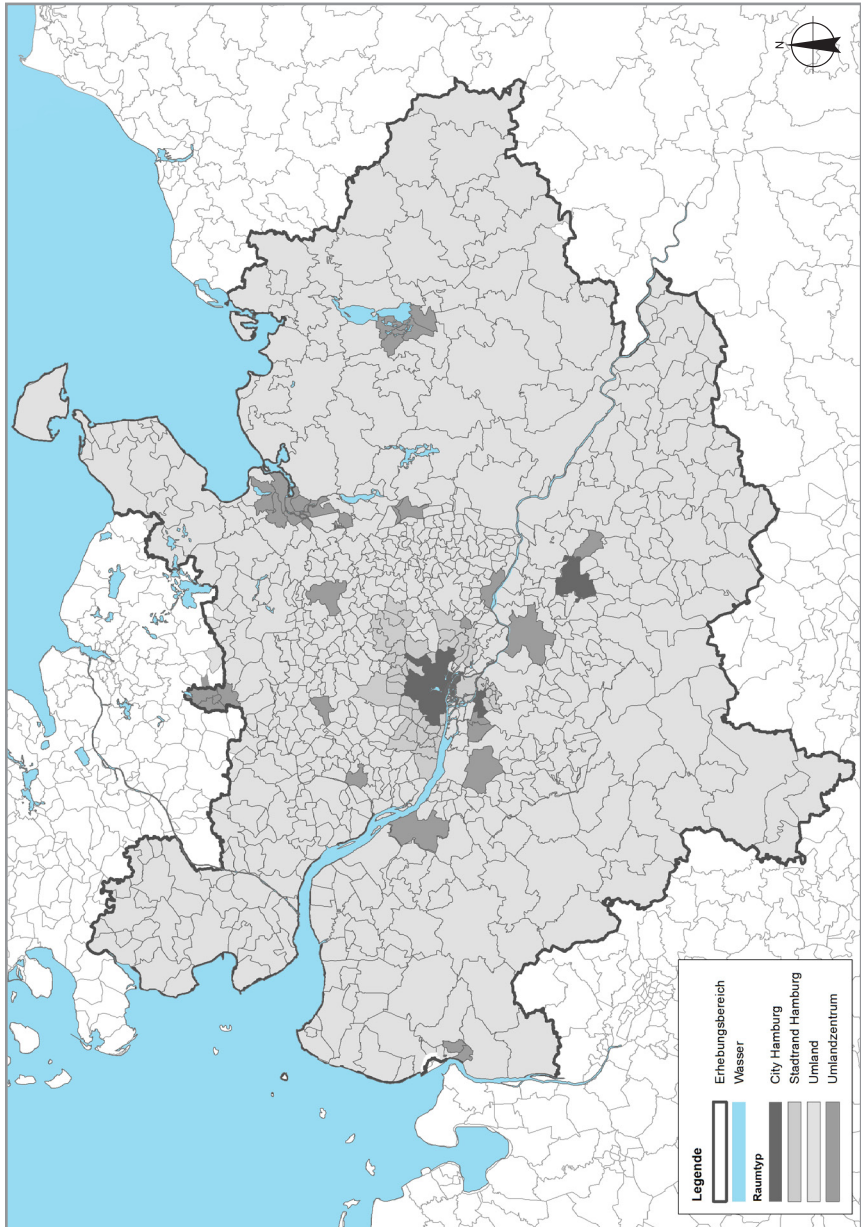
---

<sup>108</sup> Eine Übersichtskarte der Metropolregion ist unter <http://metropolregion.hamburg.de/karte/> abrufbar.

<sup>109</sup> PLZ-Bereich: 20095 - 21149 und 22041 - 22769 (Statistikamt Nord 2012)

<sup>110</sup> PLZ-Bereich: 19053 - 19417 und 21217 - 21789 und 22844 - 29699 (Statistikamt Nord 2012; Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen 2012)

Abbildung 12: Abgrenzung des Erhebungsbereichs



Quelle: eigene Darstellung

### 3.2.2 Web-basierte Erhebung

Während 1998 noch große Skepsis gegenüber online-geführten Befragungen bestand (Bandilla, Hauptmanns 1998, S. 1), stieg die Anzahl der Online-Erhebungen in den letzten Jahren stetig an (Fritz 2011, S. 9). Seit 2007 übersteigt die Anzahl der internetbasierten Befragungen die der persönlich Durchgeführten (Zerback et al. 2008, S. 15).

Vorteile der Online-Befragung sind z. B. schnelle Durchführbarkeit und die Möglichkeit viele Teilnehmer zeitlich parallel kontaktieren zu können (Berz 2013, S. 1). Ein weiterer großer Vorteil bei Online-Befragungen stellt die Möglichkeit dar, die Befragung über einen Dienstleister (Online Access Panel) abwickeln zu können, der genaue Kenntnis über die soziodemographischen und sozioökonomischen Personenmerkmale seines Panels hat. Mit der Kenntnis dieser Daten können zielgerichtet Personen hinsichtlich der Bevölkerungsrepräsentativität angeschrieben werden. Um möglichst eine bevölkerungsrepräsentative Grundgesamtheit befragen zu können, wird die Durchführung anhand eines Online-Access-Panels als die geeignete Form für die Erhebung erachtet. Die langwierige Suche nach Teilnehmern entfällt dadurch für den Forscher.

Evans und Mathur (2005) führen eine breit angelegte Untersuchung zur Qualität und Vergleichbarkeit von Online-Erhebungen durch. Die identifizierten Schwächen (wie z. B. das Fehlen eines Internet-Anschlusses) sind größtenteils technischer Art und bestehen im Jahr 2013 in Industrienationen wie Deutschland eigentlich nicht mehr. In Kuß (2012, S. 128–129) sind Hinweise hinsichtlich der Repräsentanz zu finden. So sind „insbesondere ältere potenzielle Auskunftspersonen und Angehörige niedriger sozialer Schichten [...] mit Online-Befragungen schlecht erreichbar und wären deswegen eher unterrepräsentiert“ (ebd., S. 128). Die Unterschiede hinsichtlich der Bevölkerungsrepräsentativität werden durch die selektive Auswahl des Panel-Providers aus einer großen Teilnehmerschaft ausgeglichen. Das Problem der Selbstselektion<sup>111</sup> besteht bei per E-Mail versendeten Fragebögen prinzipiell nicht.

Es ist zu prüfen, ob die Stichprobe die Bevölkerung repräsentativ abbilden kann. „Repräsentativ ist eine Erhebung, wenn sie mit ihren befragten Personen die Proportionen einer Grundgesamtheit - also z. B. die Alters- und Sozialstruktur der Gesamtbevölkerung in ihrer räumlichen Verteilung auf den Planungsraum - rea-

---

<sup>111</sup> Selbstselektion besteht, wenn die Antwortperson proaktiv über die Teilnahme selbst entscheiden kann und würde einer Stichprobenziehung widersprechen (vgl. Kuß 2012, S. 128).

listisch wiedergibt“ (Kutter 2003, S. 41). Ein Vergleich zwischen der deutschen Gesamtbevölkerung und den Internetnutzern zeigt, dass alle Teile der Bevölkerung mittlerweile (Stand 2013) online vertreten sind. Bei der Altersgruppe 60+ ist der Anteil jedoch nur halb so groß. Bei den Teilnehmern an Online Panels ist das Bildungsniveau grundsätzlich etwas höher als in der Bevölkerung (vgl. AGOF 2013, S. 4–5).

Es gibt Literaturhinweise, dass bei Online-Erhebungen Vorsicht geboten ist, da der Forscher weder eingreifen noch überprüfen kann, ob die Antwortperson die Frage richtig verstanden hat. “A web-based survey is infeasible for this study because assistance is required from various institutions and because respondents’ clarifying questions about the survey cannot be answered when it is conducted online” (Zhang et al. 2011, S. 7019). “It is worth noting here that the sample may involve additional bias associated with the Internet as a method of data collection” (Potoglou, Kanaroglou 2006, S. 6). Bezogen auf die Durchführung von Conjoint-Analysen werden bezüglich der Datenverlässlichkeit teilweise sogar bessere Werte (Cronbach’s Alpha; Guttman Split-Half Test) bei Internet-Erhebungen gegenüber traditionellen schriftlichen Erhebungen erzielt (vgl. u. a. Foytik (1999) und Melles et al. (2000, S. 33)).

Die Vorteile der Online-Datenerhebung überwiegen und werden vom Verfasser der vorliegenden Arbeit als verlässliches Instrument für die Datensammlung erachtet.

Discrete-Choice-Experimente sind besonders geeignet für Online-Access-Panels, da der Entscheidungsprozess im Experiment dem tatsächlichen sehr nahe kommt. Der Informationsgehalt je Auswahl-situation ist wie schon beschrieben gering, mit dem Online-Access-Panel können jedoch hinreichend viele Informationen generiert werden, um diese Einschränkung auszugleichen.

### 3.2.3 Aufbau des Fragebogens

In diesem Unterkapitel wird die Erstellung des Onlinefragebogens erläutert. Dieser besteht aus mehreren thematischen Teilen:

- Begrüßungsseite<sup>112</sup>,

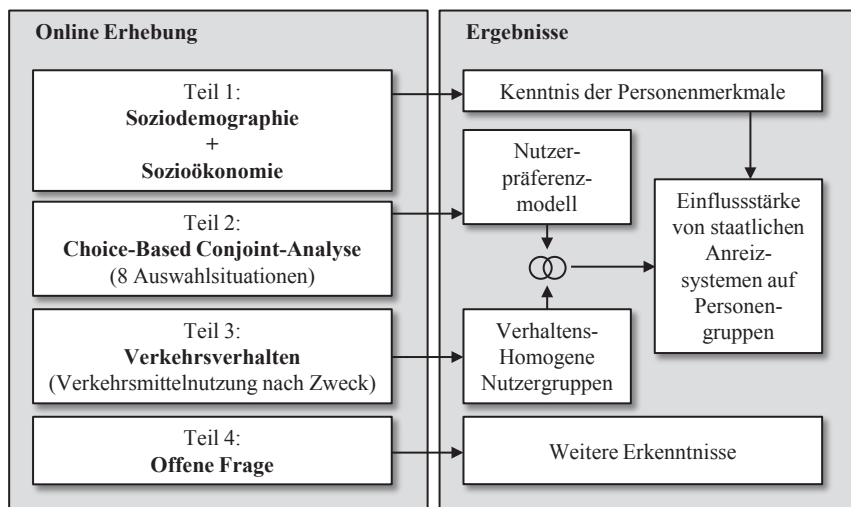
---

<sup>112</sup> Die Begrüßungsseite enthält Informationen über die voraussichtliche Bearbeitungsdauer, über die Einhaltung des Datenschutzes und der Anonymisierung der personenbezogenen Daten sowie zum thematischen Inhalt des Fragebogens. Es wird darauf hingewiesen, dass es sich um eine rein wissenschaftliche und keine kommerzielle Erhebung handelt.

- Erfassen der sozioökonomischen und soziodemographischen Personenmerkmale sowie Einstellungsfragen,
- Stated-Preference-Experiment (CBCA),
- Erfassen des Mobilitätsverhaltens,
- offene Frage.

Abbildung 13 zeigt den schematischen Aufbau der Erhebung und die zu erwartenden Ergebnisse.

Abbildung 13: Aufbau der Erhebung



Quelle: eigene Darstellung

Erhebung der soziodemographischen und -ökonomischen Personenmerkmale

Im ersten Teil des Fragebogens werden zunächst soziodemographische und sozioökonomische Merkmale der Antwortperson gesammelt. Anhand dieser Daten kann das befragte Sample mit der Gesamtbevölkerung verglichen und ggf. anhand von Gewichtungsfaktoren angepasst werden. Das befragte Sample soll die Bevölkerung der Metropolregion Hamburg möglichst gut repräsentieren.

Untersuchungen in der Schweiz haben gezeigt, dass die Käuferschicht von Hybrid-Autos signifikant wohlhabender und gebildeter und ein stärkeres Bewusstsein für laufende Betriebskosten (hauptsächlich hinsichtlich des Treibstoffver-

brauchs) sowie den Umweltschutz haben (de Haan et al. 2006; de Haan 2006). Die vorliegende Arbeit geht jedoch über diese vier Personenmerkmale hinaus. Folgende Merkmale werden abgefragt:

- Alter,
- Geschlecht,
- höchster Schulabschluss,
- Postleitzahl des aktuellen Hauptwohnsitzes,
- Anzahl der Personen im Haushalt (HH) und HH-Nettoeinkommen<sup>113</sup>,
- aktuelle berufliche Situation,
- Führerscheinbesitz, Zeitkartenbesitz für den ÖPNV,
- Anzahl Pkw im HH, deren Fahrzeugklasse und die Pkw-Verfügbarkeit,
- Jährlichen Fahrleistung<sup>114</sup>,
- Abstellmöglichkeit des Pkw,
- Zufriedenheit ÖPNV-Anschluss des Wohnortes.

Dem Befragungsteil zu den Personenmerkmalen folgen Fragen zur Einstellung zu den wichtigsten Problemen unserer Gesellschaft, zur Selbsteinschätzung hinsichtlich des Kenntnisstandes zu ZEV und künftigen Pkw-Kaufintentionen, präferierten Fahrzeugtyps sowie der Ausgabebereitschaft.

Die Einstellungsfragen sollen anhand einer Likert-Skala beantwortet werden. Bei der Wahl der Anzahl der Skalenwerte gibt es verschiedene Punkte zu bedenken. Um die Antwortperson nicht zu einer Tendenz zu zwingen, die sie evtl. gar nicht einnehmen möchte, wird ein sieben-skaliges Antwortschema verwendet<sup>115</sup>. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei einer ungeraden Antwortskala der mittlere Wert unterschiedlich interpretiert werden kann. Er kann als „im mittlerem Maße“, als „weiß nicht“, als für die Antwortperson irrelevante Frage, als „Protest“ oder

---

113 Fragen nach dem Nettoeinkommen werden oft aufgrund von sozialer Erwünschtheit und der resultierenden Selbst- bzw. Fremdtäuschung verzerrt wiedergegeben (vgl. Thiemann 2006, S. 7 oder Mayerhofer 2010, S. 59). Selbiges gilt bei der Angabe der aktuellen beruflichen Situation. So ist für die Antwortperson die Angabe „Sonstiges“ angenehmer als „arbeitssuchend“. Da die Umfrage mit einem Online-Access-Panel durchgeführt wird, sprechen zwei Gründe dafür, an dieser Stelle dennoch sehr verlässliche Angaben zu bekommen. Erstens sind die Teilnehmer von Online-Panels daran gewöhnt Angaben zum Einkommen und dem beruflichen Status zu machen und zweitens findet die Beantwortung in einer anonymen Umgebung statt. Der Antwortperson steht kein Interviewer gegenüber, vor dem sie das „Gesicht verlieren“ könnte.

114 Anhand der Angabe werden die jährlichen Treibstoffkosten für die CBCA berechnet.


115 Der Vorteil gegenüber einer 5er-Skala ist, dass Antwortpersonen generell differenzierter antworten. Bei 5er-Skalen werden oft nur die äußeren Werte bzw. die Mitte gewählt.

als „Zaghaftigkeit“ der Antwortperson interpretiert werden (Mummendey 2003, S. 57). Trotz der problematischen Interpretationsmöglichkeiten des mittleren Antwortwertes soll die Antwortperson nicht zu einer Tendenz gezwungen werden.

#### Präsentation der Stimuli

Nach der Erfassung der Soziodemographie und den oben genannten Aspekten erfolgt die Conjoint-Analyse. Unter Berücksichtigung der vorgenannten Rahmenbedingungen wurden mit der Software die Stimuli erzeugt. Insgesamt werden 300 unterschiedliche Fragebögen á acht Auswahl-situationen erzeugt, die dann nach einem Zufallsauswahlverfahren den Teilnehmern gleichverteilt zugeordnet werden. Abbildung 14 zeigt ein Beispiel für so eine Auswahl-situation. Diese besteht aus der einleitenden Frage, den drei Choice Sets für die jeweils alternativ wählbaren Fahrzeugkonzepte sowie der Präsentation der none-Option.

Abbildung 14: Beispiel für ein Choice Set, (Eingabewert: 15.000 - 20.000 km Fahrleistung/ Jahr)


  
Technische Universität Hamburg-Harburg

### Für welches Fahrzeug würden Sie sich entscheiden?

*Alle Eigenschaften, die hier nicht aufgelistet sind, sind bei allen Pkw gleich.*

	<b>Elektro</b>	<b>Plug-In-Hybrid</b>	<b>Benzin oder Diesel</b>	
Kaufpreis	30.000 €	30.000 €	30.000 €	Ich würde mir keine der Alternativen kaufen
Treibstoffkosten/Jahr	1050 €	1500 €	3600 €	
CO <sub>2</sub> -Steuer	0 €	200 €/ Jahr	300 €/Jahr	
Staatlicher Zuschuss	5.000 € einmalig	3.000 € einmalig	0	
Parkgebühren in Einkaufsbereichen und im Stadtzentrum	kostenlos	kostenlos	4 €/Stunde	
Entfernung zur nächsten Lade- bzw. Tankmöglichkeit	5 min (ca. 350m)	5 min (ca. 350m)	Tankstelle	
	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	

← →

0%  100%

Quelle: eigene Darstellung

### Erhebung des Verkehrsverhaltens

Im Hinblick auf die Auswertung der Ergebnisse ist ein zentraler Fokus die Verknüpfung der Kaufentscheidung mit dem Verkehrsverhalten der Antwortpersonen, um Rückschlüsse zu den Auswirkungen von Anreizsystemen auf das Verkehrsverhalten ziehen zu können. Es wird angenommen, dass die Entscheidung im Experiment tendenziell auf die reale Entscheidung übertragbar ist. Die wissenschaftliche Debatte über die Definition von Mobilität und Verkehr sowie der damit jeweils verbundenen Begriffe wie Mobilitätshandeln, -verhalten und -routinen sowie Verkehrshandeln, -verhalten und -routinen kann an dieser Stelle nicht in Gänze wiedergegeben werden. Es werden lediglich die aktuellen Definitionen des Fachgebiets Integrierte Verkehrsplanung der Technischen Universität Berlin (Ahrend et al. 2013) herangezogen<sup>116</sup>. Demnach bezeichnet Mobilität „antizipierte potentielle Ortsveränderungen [...] von Personen“ (ebd., S. 2) wogegen Verkehr sich auf die tatsächlichen realisierten Ortsveränderungen bezieht. Die Verkehrsplanung strebt an, die Möglichkeit der Ortsveränderungen (Mobilität) für alle weiter zu erhöhen und dabei den Verkehr ökologisch sinnvoll zu reduzieren. Aus der Abgrenzung der beiden Begriffe ergibt sich für das Mobilitätsverhalten die unbewusste antizipierte Möglichkeit der Ortsveränderung, wogegen das Verkehrsverhalten die unbewusst ausgeführten Ortsveränderungen umfasst. Das Handeln (Mobilitäts- bzw. Verkehrshandeln) stellt die jeweils bewusste antizipierte bzw. ausgeführte Ortsveränderung dar. Routinen im Gegensatz stellen „internalisierte und wiederholt durchgeführte Entscheidungen“ (ebd., S. 10) dar. Auch hier wird zwischen der möglichen Ortsveränderung vor der Verkehrsmittelwahl (Mobilitätsroutinen) und der tatsächlichen Ortsveränderung durch das gewählte Verkehrsmittel (Verkehrsroutinen) unterschieden.

Von theoretischer Seite kann das Verkehrsverhalten auf die Nutzentheorie zurückgeführt werden. Der zufolge jeweils das Verkehrsmittel gewählt wird, das nach rationaler Abwägung dem Reisenden in dem Moment den höchsten Nutzen (Reisezeit, Geld, Komfort, etc.) bringt.

Um das Verkehrsverhalten im Rahmen der Online-Erhebung bestmöglich erfassen zu können, gibt es unterschiedliche Methoden, die sich in Erhebungsaufwand und Informationsgehalt stark unterscheiden. Es lassen sich die beiden Gruppen der qualitativen und quantitativen Erhebungsmethoden unterscheiden. Diese lassen sich von der Erhebungsdurchführung in Beobachtungsverfahren, mündliche/

---

<sup>116</sup> Die Definitionen betreffen jeweils die sozialwissenschaftliche Perspektive bezogen auf den Personenverkehr.

schriftliche und telefonische Befragungen einteilen. Weitere Erhebungsformen stellen Gruppendiskussionen, Panelerhebungen, Experimente, Internetbefragungen und handybasierte Befragungen (Steierwald et al. 2005, S. 117) dar.

Die Herausforderung, die sich bei einer 15-minütigen Onlineerhebung stellt, ist die Diskrepanz zwischen berichtetem Mobilitätsverhalten (berichtete Wege, Wegekette, gewählte Verkehrsmittel, Wegezweck, etc.) und dem tatsächlich durchgeführten Verkehrsverhalten. Die Erhebung soll direkte Rückschlüsse zwischen dem bisherigen Verkehrsverhalten und der Kaufentscheidung der Testpersonen zulassen<sup>117</sup>. Die Stated-Preference-Aufgabe aus dem zweiten Teil der Erhebung stellt für die Befragten eine kognitiv anspruchsvolle Aufgabe dar. Daher soll die Erhebung des Verkehrsverhaltens so einfach wie möglich bei maximalem Aussagegehalt gestaltet werden. Verkehrsroutinen bestimmen den Alltag und gewöhnlich wird nicht jeden Tag aufs Neue die Abwägung der Vor- und Nachteile zwischen den möglichen Verkehrsmitteln durchgeführt. Abgeleitet von der Rational-Choice-Theorie wird bei Alltagsentscheidungen nicht so lange geprüft, bis ein Optimum erreicht wird, sondern nur so lange, bis eine zufriedenstellende Lösung gefunden ist. Dieses Verhalten gilt nach Esser (1993, S. 224) als äußerst rationale Entscheidung, da weiteres Suchen und Prüfen zu höheren Kosten führen würde (vgl. Wilke 2002, S. 15).

Bei der Erhebung des individuellen Verhaltens der Verkehrsteilnehmer (Verkehrsverhaltens bzw. der Verkehrsroutinen) müssen folgende Aspekte (u. a. nach Kutter 2003, S. 48) berücksichtigt werden:

- „Wichtige“ und „aufwendige“ Wege sind der Antwortperson präsenter als „unwichtige“ und „einfache“ Wege.
- Die Pkw-Benutzung wird als bequem und selbstverständlich und quasi nicht mehr „als Verkehr“ betrachtet.
- Bei Wegen, die mit dem Pkw durchgeführt werden, kann die Entfernung relativ gut eingeschätzt werden.
- Wege, die mit dem ÖPNV, mit dem Rad oder zu Fuß durchgeführt werden, können besser zeitlich eingeschätzt werden.
- Wege, die nicht täglich durchgeführt werden (Alltagswege), unterliegen einer hohen Fehlerquote.

---

<sup>117</sup> Das Problem bei der Nutzung der Ergebnisse der großen deutschen Mobilitäts-erhebungen (MiD, MOP, SrV) ist, dass individuelle Mobilitätsprofile nicht mit den Kaufentscheidungen und der daraus resultierenden späteren Verkehrsmittelwahl eindeutig zugeordnet werden können.

- Wege, die länger als einen Tag zurückliegen, können nicht korrekt wiedergegeben werden.
- Falschangaben zur Verkehrsmittelnutzung wegen sozialer Erwünschtheit.

Das Berichten aller Wege, die am Vortag durchgeführt wurden (Ausfüllen eines Wegetagebuches) wie z. B. bei MiD oder MOP, ist aufgrund der begrenzten Zeit während der Online-Erhebung a) nicht möglich und b) würde die geringe Stichprobe keine brauchbaren Ergebnisse liefern. Hinzu kommt, dass es zu erheblichen Abweichungen<sup>118</sup> zwischen berichteten Wegen und den tatsächlich durchgeführten Wegen kommen kann (ebd.).

In der vorliegenden Studie steht nicht die exakte Erfassung aller Wege und Aktivitäten der Antwortpersonen und des dabei benutzten Verkehrsmittels (VM) im Vordergrund, sondern vielmehr die Erfassung der täglichen Verkehrsroutinen. Also welche Verkehrsmittel „normalerweise“ auf Routinewegen (Arbeit, Einkaufen, Freizeit) genutzt werden. Die Antwortperson wird nach dem Hauptverkehrsmittel (HVM) für den Arbeitsweg, für den Lebensmitteleinkauf und zum Erreichen von Freizeitaktivitäten gefragt. Hierzu sind relativ zuverlässige Antworten zu erwarten, da sich hierbei die Antwortperson nicht an einen bestimmten Weg erinnern muss, sondern „nur“ das HVM seiner Routinewege berichten muss.

Beim Berichten von Wegelängen und zeitlichen Entfernungen ist zu beachten, dass meist in 5-Minuten-Intervallen abgeschätzt wird (5 km, 10 km, 15 km, usw. bzw. 5 min, 10 min, 15 min, usw.). Zu Veranschaulichung ist in Abbildung 18 (Anhang 6) ein Ausschnitt der Zeit- und Entfernungsangaben der Antwortpersonen der MiD 2008 dargestellt.

Die Verkehrsroutinen werden folglich unter Beachtung der oben genannten Aspekte anhand der Skalenwerte *nie*, *manchmal* und *täglich* erhoben. Die Erfassung des Mobilitätsverhaltens ist in sechs Teilfragen aufgeteilt:

1. Nutzungshäufigkeit werktags und am Wochenende der VM: Fuß, Rad, Pedelec, ÖV, Pkw (Fahrer), Pkw (Mitfahrer) und Carsharing.
2. Hauptverkehrsmittel (HVM) für den Arbeitsweg sowie Entfernung in Kilometern und die dafür benötigte Zeit in Minuten.

---

<sup>118</sup> Vor allem das Verkehrsmittel Auto wird in der untersuchten Studie häufig unter- und öffentliche Verkehrsmittel überschätzt. Kutter (2003) vermutet einen Zusammenhang zwischen dem durchführenden Organ der Befragung (in diesem Fall die Verkehrsbetriebe Berlin) zusammen mit der sozialen Erwünschtheit (*social desirability*) (vgl. u. a. Mummendey 2003, S. 161).

3. HVM für Lebensmitteleinkäufe.
4. HVM bei Freizeitaktivitäten<sup>119</sup>.
5. Anzahl an Fernreisen über 150 km und das verwendete HVM.
6. Car-Sharing Nutzung.

Nach der Erfassung der routinierten Verkehrsmittelnutzung werden Fragen zur Einschätzung zur hypothetischen Nutzung von ZEV zu unterschiedlichen Aktivitäten (Arbeit, Einkauf bei periodischem und aperiodischem Bedarf, Freizeitaktivitäten) befragt. Anschließend folgen zwei Fragen zu bestehenden Erfahrungen mit ZEV und zur Kaufintension von ZEV.

### 3.2.4 Sample-Beschreibung

Die Erhebungsdaten wurden im Zeitraum vom 17.06.2013 bis 26.06.2013 erfasst. Die Erhebungsdaten wurden auf dem FTP-Server der Technischen Universität Hamburg-Harburg gespeichert. Die durchschnittliche Bearbeitungsdauer des gesamten Fragebogens beträgt rd. 13,2 Minuten.

#### Datenbereinigung

Insgesamt wurden 1.010 Datensätze erhoben. Davon hatten sechs in ihrem Internet-Browser die Ausführung von JavaScript-Code deaktiviert. Da die Treibstoffkosten in der Conjoint-Analyse nur mit aktiviertem JavaScript korrekt angezeigt werden konnten (adaptives Element der CA), müssen diese sechs Datensätze aus dem Sample entfernt werden. Zwei Datensätze hatten die selbe Identifikationsnummer<sup>120</sup>. Der zweite Datensatz in der Reihenfolge wird entfernt. Insgesamt wurde nur von einem Teilnehmer bei allen Aufgaben Alternative 1 gewählt und von einem Teilnehmer Alternative 2. Keiner der Teilnehmer hat nur Alternative 3 gewählt. Es wird davon ausgegangen, dass diese beiden Teilnehmer die Aufgabe nicht mit der notwendigen Ernsthaftigkeit bearbeitet haben. Die beiden Datensätze werden im Folgenden nicht weiter beachtet. Somit beschränkt sich das weitere Sample auf  $N = 1.001$  Datensätze.

---

119 Bei 3. und 4. werden Entfernung und benötigte Zeit nicht erhoben, da die Aktivitäten Einkaufen und Freizeitaktivitäten meist sehr unterschiedlich gestaltet werden und in sehr unterschiedlichen Entfernungen liegen können. Hier wird nur das HVM ermittelt.

120 Dies betraf die Teilnehmer-Identifikationsnummer 1.666: Der Teufel steckt bekanntlich im Detail! (Anmerkung des Verfassers).

122 Teilnehmer haben bei der jährlichen Fahrleistung „*weiß nicht*“ angegeben. Vier Teilnehmer geben eine Fahrleistung über 60.000 km/ Jahr an. Da bei beiden Angaben keine sinnvollen Ausgaben in der Conjoint-Analyse im Feld „Kraftstoffkosten“ angezeigt werden konnten, werden diese Teilnehmer bei der Auswertung der Conjoint-Analyse nicht weiter berücksichtigt. Es resultieren 1.001 Datensätze für die deskriptiven Auswertungen und 875 Datensätze für die Auswertung der Conjoint-Analyse.

#### Beschreibung der None-Option Wähler

Tabelle 8 zeigt, dass von 7.000 Aufgaben (875 Teilnehmer á 8 Aufgaben) insgesamt 5.224 mal ein Fahrzeugkonzept ausgewählt wurde. Dabei wurde 4.014 mal ein Fahrzeugkonzept mit alternativer Antriebstechnologie gewählt. In rund 25 % der Fälle (1.776) haben die Teilnehmer die none-Option gewählt. Dieser Wert ist verglichen mit den Werten in der Literatur verhältnismäßig hoch. Der Wert liegt rund 5,6 Prozentpunkte über dem Durchschnittswert von 21,4 %, den Johnson und Orme (1996, S. 20) ermitteln. Insgesamt haben von den 875 Teilnehmern 88 Teilnehmer bei allen acht Aufgaben „Ich würde keine der dargestellten Alternativen wählen“ ausgewählt.

Tabelle 8: Häufigkeit der gewählten Antriebstechnologien

choice (N=875)			
Antriebstechnologie	gewählt	nicht gewählt	gesamt
None-Option	1.776	5.224	7.000
Elektro	1.508	4.620	6.128
H <sub>2</sub>	1.040	3.187	4.227
Plug-In Hybrid	1.466	4.684	6.150
Verbrenner	1.210	3.285	4.495
<b>Total</b>	<b>7.000</b>	<b>21.000</b>	<b>28.000</b>

Quelle: eigene Darstellung

Die Gegenüberstellung zwischen den Teilnehmern, die in allen acht Aufgaben die None-Option gewählt haben und dem Rest des Samples sind beim Haushaltseinkommen signifikante Unterschiede festzustellen (vgl. Tabelle 9). Auffällig ist, dass die unteren Einkommensklassen bei den None-Option-Wählern stärker vertreten sind, als beim Rest der Teilnehmer. Viele None-Wähler haben demnach ein eher niedriges Haushaltseinkommen zur Verfügung. Eine Erklärung für dieses Verhalten kann das relativ hohe Preisgefüge der Anschaffungskosten sein, die sich zwischen 20.000 - 45.000 EUR je nach Antriebstechnologie bewegen.

Tabelle 9: Haushaltsnettoeinkommen aller Befragten im Vergleich mit den None-Wählern

monatl. Einkommen [€]	Gesamt	[%]	none-Wähler	[%]	andere	[%]
unter 500	20	(2,3)	4	(4,5)	16	(2,0)
ab 500 bis 1.000	63	(7,2)	11	(12,5)	52	(6,6)
ab 1.000 bis 2.000	105	(12,0)	8	(9,1)	97	(12,3)
ab 1.500 bis 2.000	134	(15,3)	12	(13,6)	122	(15,5)
ab 2.000 bis 3.000	285	(32,6)	36	(40,9)	249	(31,6)
ab 3.000 bis 4.000	170	(19,4)	13	(14,8)	157	(19,9)
über 4.000	98	(11,2)	4	(4,5)	94	(11,9)
<b>Total</b>	<b>875</b>	<b>(100)</b>	<b>88</b>	<b>(100)</b>	<b>787</b>	<b>(100)</b>

Quelle: eigene Darstellung

Vermeulen et al. (2008) finden heraus, dass es keinen signifikanten Unterschied macht, ob zur Auswertung die None-Option als Dummy-Variable modelliert wird, alle Attribute auf den Wert „0“ gesetzt werden oder ignoriert werden. Achtnicht (2009)<sup>121</sup> wendet die Strategie, alle Attributlevel der None-Option mit dem Wert „0“ zu belegen, an und modelliert die None-Option als weitere Auswahlmöglichkeit. Der Empfehlung von Achtnicht folgend, wird bei der weiteren Auswertung die None-Option als weitere Auswahlmöglichkeit (wie sie auch im Experiment den Teilnehmern angeboten wurde) modelliert. Somit fließen in die Auswertung alle Wahlentscheidungen ein. Eine Dummy-Variable „*none\_option*“ wird gebildet (vgl. Li 2011, S. 34), um die Auswahl der None-Option als erklärende Variable abbilden zu können.

#### Effekte der Restriktionen

Das verwendete Design wurde unter der Vorgabe von einigen Restriktionen (vgl. Kapitel 3.1.4) erstellt. Das Design wurde intensiv mit dem von Sawtooth implementierten Test-Modul auf Effizienz und Verwendbarkeit getestet. Das Design wurde von der Software ohne Einschränkungen als verwendbar bewertet (zum Vorgehen vgl. Johnson und Orme (2003, S. 1). Ein Blick auf die Verteilung der Eigenschaftsausprägungen, die aufgrund des gewählten Designs bei der Umfrage verwendet wurden, zeigt die Häufigkeitsverteilung der unterschiedlichen Ausprägungen wie in den Aufgaben den Teilnehmern gezeigt wurden (vgl. Tabelle 10).

<sup>121</sup> Wurde auf Anfrage per E-Mail mitgeteilt, da dies aus dem Paper nicht ersichtlich ist.

Tabelle 10: Häufigkeitsverteilung der Ausprägung „Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur“

zeitlicher Aufwand zum Erreichen der Lade- bzw. Tankinfrastruktur*							
Antrieb	0.5 min	1 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min
Elektro	1.933	1.044	1.930	1.031	-	96	94
Plug-In Hybrid	1.053	1.905	1.942	1.056	-	101	93
H <sub>2</sub>	-	-	-	-	17	2.112	2.098
Verbrenner	-	-	-	-	4.495	-	-
<b>Total</b>	<b>2.986</b>	<b>2.949</b>	<b>3.872</b>	<b>2.087</b>	<b>4.512</b>	<b>2.309</b>	<b>2.285</b>
- = Prohibition							
*Bei Verbrenner und Wasserstoff inklusive Betankungszeit des Fahrzeugs							

Quelle: eigene Darstellung

Problematisch bei dem erstellten Design ist aufgrund der verwendeten Restriktionen die stark schwankende zahlenmäßige Verteilung auf die verschiedenen Eigenschaftsausprägungen. So wurde beispielsweise die Verfügbarkeit von Wasserstoff bei einem zeitlichen Aufwand von 15 min insgesamt nur 17 mal gezeigt. Dem gegenüber stehen jeweils über 2.000 Fälle, in denen ein zeitlicher Aufwand für eine Wasserstoffbetankung von 20 bzw. 30 Minuten gezeigt wurde. Durch die sehr heterogene Verteilung der Fälle innerhalb einer Eigenschaft müssen Aussagen zu dem Thema Ausbauzustand der Ladeinfrastruktur kritisch betrachtet werden. Dennoch ist aufgrund der Linearität der Variable und der großen Samplegröße die Verwendung der Ergebnisse möglich.

Bei der Variable direkte Käuferzuschüsse wurden ebenso Restriktionen berücksichtigt. Es sollte nicht jede Antriebstechnologie mit jeder Zuschusshöhe kombiniert werden. Zuschüsse bei Pkw mit Verbrennungsmotoren wurden nicht erlaubt. Auch wurden Einschränkungen bei Elektro- und Hybridantrieb gemacht (keine Zuschüsse von 10.000 EUR). Bei den Wasserstofffahrzeugen wurde aufgrund der noch sehr teuren Technologie auf jeden Fall ein Zuschuss von 10.000 EUR gegeben. Da hier aber weniger Restriktionen zur Anwendung kamen, ist die Verteilung homogener als bei der Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur. Tabelle 11 zeigt die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Elemente.

Tabelle 11: Häufigkeitsverteilung der Eigenschaftsausprägungen „Käuferzuschuss“

Käuferzuschuss [€]					
Antrieb	0	1.000	3.000	5.000	10.000
BEV	333	1.351	2.220	2.224	-
PHEV	323	1.340	2.253	2.234	-
FCEV	-	502	470	480	2.775
ICV	4.495	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>5.151</b>	<b>3.193</b>	<b>4.943</b>	<b>4.938</b>	<b>2.775</b>
- = Prohibition					

Quelle: eigene Darstellung

Die Daten können für die Auswertung verwendet werden, da die Stichprobe hinreichend viele Beobachtungen enthält.

Für künftige Untersuchungen wird davon abgeraten Restriktionen zu verwenden. Ist die Verwendung von Restriktionen unbedingt notwendig, so können zwei verschiedene Strategien angewendet werden:

1. Es sollte eine noch größere Stichprobe genutzt werden, um eine schiefe Verteilung anhand der Anzahl der Beobachtungen statistisch noch besser ausgleichen zu können.
2. Eine muss eine Möglichkeit gefunden werden, wie man eine gleichmäßige Verteilung der Merkmalsausprägungen trotz Restriktionen gewährleisten kann.

#### Demographie

Tabelle 12 gibt einen Überblick über die Verteilung der soziodemographischen und sozioökonomischen Merkmale des Samples getrennt für alle Datensätze (N=1.001) und für Datensätze, die für die Auswertung der Conjoint-Analyse verwendet werden (n=875).

Tabelle 12: Beschreibung der soziodemographischen und -ökonomischen Personenmerkmale

Soziodemographie und Sozioökonomie des Sampels	Gesamt-Sample (N=1001) [%]	Sample (n=875) [%]	Deutschland <sup>1</sup> [%]
<b>Geschlecht</b>			
Weiblich	51,4	50,4	51,1
Männlich	48,7	49,6	48,9
<b>Alter</b>			
18 - 24	13,0	12,6	13,1 <sup>3</sup>
25 - 34	19,0	19,5	19,6 <sup>3</sup>
35 - 44	23,2	23,9	19,8 <sup>3</sup>
45 - 54	24,9	25,1	26,2 <sup>3</sup>
55 - 65	20,0	18,9	21,3 <sup>3</sup>
<b>Bildung</b>			
(noch)kein Schulabschluss	0,1	0,1	7,6 <sup>4</sup>
Haupt-/ Volksschulabschluss	12,1	11,3	37,0 <sup>4</sup>
Mittlerer Schulabschluss, Mittlere Reife	40,8	40,6	28,9 <sup>4</sup>
Abitur, (Fach-) Hochschulabschluss	47,1	48,0	25,8 <sup>4</sup>
ohne Angabe	-		0,4 <sup>4</sup>
<b>berufliche Tätigkeit</b>			
Vollzeit erwerbstätig	53,0	55,3	
Teilzeit erwerbstätig	15,0	14,6	
in Ausbildung	11,4	11,1	
nicht erwerbstätig	19,5	17,7	
Sonstiges	1,2	1,3	
<b>Haushalts-Netto-Einkommen [€]</b>			
unter 500	2,8	2,3	2,0 <sup>5</sup>
500 - 1.000 (500 - 900) <sup>2</sup>	9,2	7,2	7,0 <sup>5</sup>
1.000 - 1.500 (900 - 1.500) <sup>2</sup>	13,4	12,0	18,0 <sup>5</sup>
1.500 - 2.000	16,3	15,3	16,0 <sup>5</sup>
2.000 - 3.000	30,4	32,6	23,0 <sup>5</sup>
3.000 - 4.000	18,1	19,4	12,0 <sup>5</sup>
über 4.000	9,9	11,2	10,0 <sup>5</sup>
<b>Verteilung in der Metropolregion Hamburg</b>			
Hansestadt Hamburg	32,0	29,9	33,0 <sup>6</sup>
Metropolregion Hamburg	66,0	70,1	67,0 <sup>6</sup>
außerhalb Metropolregion Hamburg	2,0		
<sup>1</sup> Die Metropolregion bildet aufgrund ihrer Größe und der heterogenen Bevölkerungsstruktur die deutsche Bevölkerung in etwa ab.			
<sup>2</sup> Kategoriespannbreite in infas (2008)			
<sup>3</sup> 100% entsprechen alle Personen zwischen 18 und 65 (Quelle: www.destatis.de/bevoelkerungspyramide/)			
<sup>4</sup> Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung - DIPF (2012: 236)			
<sup>5</sup> infas (2008): Mobilität in Deutschland - Ergebnisbericht (S. 57)			
<sup>6</sup> Statistische Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein - Anstalt des öffentlichen Rechts - (Statistikamt Nord 2013)			

Quelle: eigene Darstellung

## Führerscheinverfügbarkeit und Zeitkartenbesitz

Der Vergleich zwischen dem Gesamtsample und der Gesamtbevölkerung der BRD zeigt, dass die Bevölkerung hinsichtlich des Pkw-Besitzes und der Pkw-Verfügbarkeit sowie des Führerschein- und ÖPNV-Zeitkarten-Besitzes sehr gut abgebildet wird. Größte Abweichungen zeigen sich beim ÖPNV-Zeitkartenbesitz. Hier weicht das Sample um vier Prozent zu Gunsten der Zeitkartenbesitzer ab. Insgesamt leben 172 Teilnehmer (17,2 %) in einem Haushalt ohne Pkw. 71,2 % geben an frei über einen Pkw verfügen zu können, 17,2 % können einen Pkw in Absprache nutzen und 11,6 % haben nicht die Möglichkeit einen Pkw zu nutzen. Rund 30 % der Teilnehmer besitzen eine Zeitkarte für den öffentlichen Nahverkehr.

Im Teilsample (n=875) sind Pkw-Besitz, Pkw-Verfügbarkeit und der Führerscheinbesitz im Vergleich zum Gesamtsample etwas erhöht.

Tabelle 13: Pkw- u. Führerscheinbesitz, Pkw-Verfügbarkeit und ÖPNV-Zeitkartenbesitz

Pkw- u. Führerscheinbesitz, Pkw-Besitz/ -Verfügbarkeit	Samplel (N=1001) [%]	(n=875) [%]	Population [%]
<b>Pkw-Besitz</b>			
kein	17,2	7,7	18,0 *
1 Pkw	51,3	56,8	53,0 *
2 Pkw	27,6	30,0	24,0 *
3 Pkw und mehr	4,0	5,5	5,0 *
<b>Pkw-Verfügbarkeit</b>			
ständig	71,2	80,5	
in Absprache	17,2	16,2	
nein	11,6	3,3	
<b>Führerscheinbesitz</b>			
ja	92,4	97,1	88,0 **
nein	7,6	2,9	12,0 **
<b>ÖPNV-Zeitkartenbesitz</b>			
ja	30,0	25,5	26,0 ***
nein	70,0	74,5	74,0 ***
* infas (2008): Mobilität in Deutschland - Ergebnisbericht (S. 60)			
** alle über 18 Jahre			
*** infas (2008 S.73): Summe von Jobticket, Semesterticket, Wochen, Monats- Jahresticket (mit und ohne Abo) und andere Zeitkarten			

Quelle: eigene Darstellung

Von den 172 Antwortpersonen, die angeben, kein Auto zur Verfügung zu haben, begründen dies 115 damit, dass sie überall auch ohne Auto hinkommen. Knapp 70 davon sind mit ihrem Anschluss an den ÖPNV zufrieden. 77 Antwortpersonen benennen Kostengründe für den Autoverzicht. Nur 24 gaben Umweltaspekte als Grund an, kein Auto zu besitzen. Weitere Gründe warum manche Teilnehmer kein Fahrzeug haben, werden aus Tabelle 14 ersichtlich.

Tabelle 14: Gründe der Teilnehmer ohne Auto für den Fahrzeugverzicht

"Warum haben Sie kein Auto?" (n=172*)	"ja"
Ich komme überall auch ohne Auto hin.	115
Ein Auto ist zu teuer.	77
Ich habe aus Umweltgründen kein Auto.	24
Andere Gründe.	22
Ich kann mir ein Auto leihen.	21
Ich nutze Car-Sharing.	20
Ich habe aus Überzeugung kein Auto.	14
* mehrere Antworten sind zulässig	

Quelle: eigene Darstellung

#### Räumliche Verteilung der Antwortpersonen

Die Antwortpersonen können anhand der Postleitzahlen innerhalb der Metropolregion der Hansestadt Hamburg und dem Umland zugeordnet werden. Die Verteilung liegt bei etwa einem Drittel innerhalb der Stadtgrenzen und zwei Drittel im Umland (vgl. Kapitel 3.2.1). Diese räumliche Einteilung ist jedoch für eine Auswertung, die Wahlentscheidungen bezogen auf den Wohnstandort (Berücksichtigung von Erreichbarkeiten von Infrastruktureinrichtungen des periodischen und aperiodischen Bedarfs), erklären soll, zu grobteilig.

Matthes (2014, S. 5–6) bildet sechs Raumtypen, um die Verkehrssparsamkeit der unterschiedlichen Wohnstandorte zu berücksichtigen, anhand von sieben Variablen: ÖV-Erreichbarkeit des Stadtzentrums (ÖV-Reisezeit), ÖV- und Rad-erreichbarkeit des lokalen Zentrums (ÖV-Reisezeit, Straßenkilometer), Arbeitsplatz-erreichbarkeit (ÖV), Arbeitsplatzdichte, nahräumliche Versorgung (Anteil von Siedlungsfläche in fußläufiger Entfernung zu Einzelhandel) und Bevölkerungsdichte. Für die vorliegende Arbeit ist die Einteilung in sechs Raumtypen zu kleinteilig. Ähnliche Raumtypen werden daher zusammengefasst. Es werden

nur die vier Raumtypen Innenstadt (City Hamburg)<sup>122</sup>, Stadtrand, Umland<sup>123</sup> und Umlandszentrum unterschieden. Die Postleitzahlenbereiche werden den vier Raumtypen zugeordnet, die sich in den oben beschriebenen Kriterien unterscheiden. Die Raumtypenbenennung sowie die Häufigkeitsverteilung der Antwortpersonen je Raumtyp ist in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Räumliche Verteilung der Antwortpersonen

Raumtyp*		Anzahl	[%]
Raumtyp 1	(City Hamburg)	189	18,9
Raumtyp 2	(Stadtrand)	154	15,4
Raumtyp 3	(Umland)	369	36,9
Raumtyp 4	(Umlandszentrum**)	289	28,9
<b>Total</b>		<b>1.001</b>	<b>100</b>
* Postleitzahlenverteilung vgl. Anhang 8			
** z.B. Schwerin, Rostock, Lüneburg			

Quelle: eigene Darstellung

Nach verschiedenen Signifikanztests anhand von CL Modellen zwischen den vier verschiedenen Raumtypen und deren Einfluss auf die Wahlentscheidung lassen sich die Raumtypen 1 und 4 zu einer Raumkategorie zusammenfassen.

#### Involvement

„Grundsätzlich bezeichnet Involvement den Grad der Ich-Beteiligung oder des Engagements einer Person, sich für bestimmte Sachverhalte [...] zu interessieren oder einzusetzen“ (Gröppel-Klein 2013). Nach Meffert (1992, S. 66) dient Involvement zur Messung der persönlichen Relevanz einer Information beim Individuum. Im Marketing werden High- bzw. Low-Involvement-Käufe unterschieden, die je nach finanziellem, sozialem und/oder psychologischem Risiko unterschiedliche Wichtigkeit durch den Konsumenten erfahren (ebd., S. 67).

Zur Messung des Items Involvement in Sachen Umweltschutz und Verkehrspolitik und ob dies einen Einfluss auf die Wahl der Antriebstechnologie hat, wurden den Antwortpersonen verschiedene gesellschaftspolitische Felder zur Auswahl gegeben und die Antwortpersonen sollten zwei Felder benennen, die sie am wichtigsten halten. BEV, HEV, PHEV und FCEV gelten aufgrund ih-

122 Nach Matthes (2014, S. 5–6) Innenstadt und Innenstadtrand zusammengefasst.

123 Nach Matthes (2014, S. 5–6) ÖV-Achse und Peripherie zusammengefasst.

rer neuen Antriebstechnologie und der Nutzungsmöglichkeit von erneuerbaren Energien und der Vermeidung von lokalen Emissionen als stadtverträglicher, umweltfreundlicher, und nachhaltiger als konventionelle Fahrzeuge. Ihnen wird allgemein ein „grünes“ Image zugesprochen. So finden diese Fahrzeuge ihre Anhängerschaft meist bei Menschen, denen die Umwelt bzw. zumindest das Umweltlabel wichtig ist. Diese Pro-Umwelt-Identifikation, die sich in diesem Fall über einen bestimmten Antrieb widerspiegelt, kann sogar eine spezielle Form der sozialen Identität darstellen (Whitmarsh, O’Neill 2010). Tabelle 16 zeigt die Antwortmöglichkeiten und das jeweilige prozentuale Ergebnis der Umfrage.

Es wird deutlich, dass die Verkehrspolitik (2,0 %) den mit Abstand geringsten Anteil ausmacht. Umweltschutz mit 16,9 % liegt im unteren Mittelfeld. Die wichtigsten Probleme für die Teilnehmer sind soziale Sicherung (25,6 %), Wirtschafts- und Finanzpolitik (24,6 %), Rentenpolitik (24,4 %), der generelle Vertrauensverlust in die Politik (23,8 %) und der Arbeitsmarkt (22,9 %).

Tabelle 16: Wahl der zwei wichtigsten Probleme unserer Gesellschaft (N=1.001)

<b>"Was glauben Sie, sind die zwei wichtigsten Probleme, dem sich unser Land heute gegenüber sieht?"</b>	<b>[%]</b>
Soziale Sicherung	25,6
Wirtschafts- und Finanzpolitik	24,6
Rentenpolitik	24,4
Vertrauensverlust in die Politik	23,8
Arbeitsmarktpolitik	22,9
Bildungspolitik	19,8
Umweltschutz	16,9
Ausländer/Migration	15,4
Kriminalität/Friede/Sicherheit	12,9
Gesundheitspolitik	11,9
Verkehrspolitik	2,0

Quelle: eigene Darstellung

Erfahrung mit ZEV sowie geplante Anschaffungen

Acht Teilnehmer nutzen regelmäßig einen alternativ betriebenen Pkw (0,8 %) und weitere 15 % der Antwortpersonen haben schon einmal Erfahrungen mit Elektroautos sammeln können. Die restlichen Teilnehmer hatten bislang noch keinen Kontakt mit alternativ betriebenen Fahrzeugen (vgl. Tabelle 17).

Tabelle 17: Erfahrungen mit ZEV

<b>"Sind Sie schon einmal ein Elektroauto, Hybrid- oder Wasserstoffauto gefahren?"</b>	
ja, nutze ich regelmäßig.	8
ja, schon einmal getestet.	146
nein, noch nicht.	874

Quelle: eigene Darstellung

Etwa 3 % der Antwortpersonen haben vor, in den kommenden zwei Jahren ein alternativ betriebenes Auto anzuschaffen und immerhin knapp 32 % können sich dies schon in den kommenden fünf Jahren vorstellen. 65 % Prozent der Antwortpersonen haben auch längerfristig nicht vor, ein alternativ betriebenes Fahrzeug anzuschaffen (vgl. Tabelle 18).

Tabelle 18: Kaufintension von ZEV

<b>"Ist es wahrscheinlich, dass Sie sich in naher Zukunft ein alternativ betriebenes Auto kaufen werden? (z.B. Elektro-, Hybrid-, Wasserstoff-Pkw)"</b>	
ja, kurzfristig (innerhalb der kommenden 2 Jahre).	34
ja, mittelfristig (innerhalb der nächsten 2 bis 5 Jahre).	318
nein, auf längere Sicht ist keine Anschaffung geplant.	649

Quelle: eigene Darstellung

Die Erfahrungs-Verteilung bei Elektro-Rädern ist fast identisch zu den Elektroautos: 1,7 % der Teilnehmer nutzen regelmäßig ein Pedelec, rund 15 % haben ein Pedelec schon einmal gefahren bzw. getestet und rd. 83 % sind mit einem Pedelec noch nicht in Berührung gekommen (vgl. Tabelle 19).

Tabelle 19: Erfahrungen mit Elektro-Rädern

<b>"Sind Sie schon einmal ein Fahrrad mit Elektrounterstützung (z.B. Pedelec, E-Bike) gefahren?"</b>	
ja, nutze ich regelmäßig.	17
ja, schon einmal getestet.	153
nein, noch nicht.	831

Quelle: eigene Darstellung

Immerhin 32 Teilnehmer planen kurzfristig (innerhalb der nächsten 2 Jahre) ein Elektro-Rad zu kaufen. Für 80 % kommt die Anschaffung eines Pedelecs auf längere Sicht nicht in Frage (vgl. Tabelle 20).

Tabelle 20: Kaufintensio zu Elektro-Rädern

"Ist es wahrscheinlich, dass Sie sich in naher Zukunft ein Pedelec oder E-Bike kaufen werden?"	
ja, kurzfristig (innerhalb der kommenden 2 Jahre).	32
ja, mittelfristig (innerhalb der nächsten 2 bis 5 Jahre).	172
nein, auf längere Sicht ist keine Anschaffung geplant.	797

Quelle: eigene Darstellung

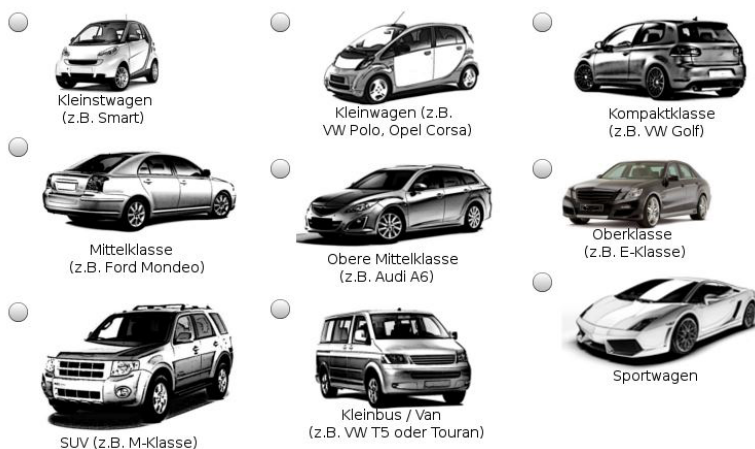
### Bevorzugter Fahrzeugklasse und Ausgabebereitschaft

Zur Erfassung der bevorzugten Fahrzeugklasse wurde den Antwortpersonen neun verschiedene Fahrzeugklassen<sup>124</sup> zur Auswahl angeboten (s. Abbildung 15), aus denen sie die Fahrzeugklasse wählen sollten, die im Falle einer Neuanschaffung am ehesten gekauft werden würde.

Abbildung 15: Auswahlliste der präferierten Fahrzeugtypen

#### Welchen Fahrzeugtyp würden Sie bei einer Neuanschaffung kaufen?

(Es geht hier um die Fahrzeugklasse, nicht um das genau Modell oder Marke.)



Quelle: eigene Darstellung

<sup>124</sup> Das Kraftfahrtbundesamt (KBA) unterscheidet bei Pkw insgesamt zwölf Fahrzeugklassen (sog. Fahrzeugsegmente). Das Segment Wohnmobil wurde aufgrund der geringen Relevanz (rd. 2,7 %) und der Alltagsuntauglichkeit in der Auswahl nicht präsentiert. Die Segmente Mini-Van, Vans, Kleinbusse und Utilities wurden in einem Segment (Van, Minibus) zusammengefasst.

Knapp 30 % der Befragten würden sich für einen Wagen der Kompaktklasse (z. B. VW Golf) entscheiden. Etwa 23 % für einen Kleinwagen und rd. 20 % für einen Mittelklassewagen. Das Interesse an Kleinstwagen (rd. 4,3 %), die sich momentan am besten für eine Elektrifizierung des Antriebsstranges eignen, ist sehr gering und kann mit dem Interesse für SUVs verglichen werden (rd. 4,5 %). Die Oberklasse wurde nur in rund zwei Prozent der Fälle und Sportwagen von nur rund ein Prozent gewählt.

In Tabelle 21 sind die Verteilungen für N=1.001 und N=875 und zum Vergleich die Verteilung der zugelassenen Fahrzeugtypen in der Bundesrepublik (KBA 2012a) dargestellt. Zum Vergleich ist die Verteilung der Fahrzeugklassen, die künftig gewählt würden, auf der rechten Seite der Tabelle dargestellt. Zum Großteil würden die Personen die gleiche Fahrzeugklasse wählen.

Tabelle 21: Verteilung der Fahrzeugtypen

Verteilung der Fahrzeugtypen	vorhandene Fahrzeugklassen			gewählte Klasse	
	(N=1001) [%]	(n=875) [%]	BRD** [%]	(n=875) [%]	$\Delta$ [%]
Kleinstwagen, Micro, Mini	4,3	4,3	6,0 *	3,5	- 0,8
Kleinwagen	22,7	22,6	20,5 *	19,7	- 2,9
Kompaktklasse	29,8	29,3	27,2 *	32,5	+3,2
Mittelklasse	20,1	20,5	18,3 *	16,1	- 4,4
Obere Mittelklasse	8,0	8,0	5,4 *	9,8	+1,8
Oberklasse	2,0	1,9	0,6 *	1,5	- 0,4
SUV	4,5	4,7	4,8 *	7,3	+2,6
Kleinbus, Van	7,5	7,7	12,1 *	7,5	- 0,2
Sportwagen	1,0	1,1	1,7 *	2,1	+1,0

\* Kraftfahrtbundesamt (2012)

\*\* excl. 2.5 % Wohnmobile, die in der Erhebung nicht zur Auswahl standen.

Quelle: eigene Darstellung

Die Fahrzeugklasse ist zunächst unabhängig von der Antriebstechnologie. Bei konventionellen Fahrzeugen hat jedoch die Fahrzeugklasse eine entscheidende Auswirkung auf das Gewicht des Fahrzeugs und somit auch auf den Kraftstoffverbrauch. Daher ist es interessant zu erfahren, welche Art von Fahrzeug sich die Antwortpersonen kaufen würden. Die genaue Betrachtung der „Fahrzeugklassenwechsler“ ist in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22: Verteilung der Fahrzeugklassenwechsler

		vorhandene Fahrzeugklasse								
Fahrzeugklasse		Mini	Kleinwagen	Kompaktklasse	Mittelklasse	Obere Mittelklasse	Oberklasse	SUV	Kleinbus, Van	Sportwagen
		(36)	(191)	(248)	(173)	(68)	(16)	(40)	(65)	(9)
Wunschauto [%]	Kleinstwagen, Micro, Mini	<b>41,7</b>	2,1	1,6	0,6	1,5	12,5	2,5	-	11,1
	Kleinwagen	30,6	<b>55,5</b>	10,9	5,2	5,9	6,3	2,5	6,2	-
	Kompaktklasse	13,9	29,8	<b>60,9</b>	22,0	14,7	-	5,0	15,4	-
	Mittelklasse	5,6	4,7	11,3	<b>49,1</b>	8,8	6,3	12,5	7,7	-
	Obere Mittelklasse	-	4,7	4,4	11,0	<b>52,9</b>	18,8	2,5	3,1	11,1
	Oberklasse	-	-	0,8	0,6	4,4	<b>31,3</b>	-	-	-
	SUV	2,8	1,1	4,0	8,1	4,4	6,3	<b>65,0</b>	9,2	11,1
	Kleinbus, Van	5,6	1,6	4,8	1,7	2,9	12,5	10,0	<b>56,9</b>	-
	Sportwagen	-	0,5	1,2	1,7	4,4	6,3	-	1,5	<b>66,7</b>

Quelle: eigene Darstellung; eigene Erhebung Juni 2013

Das größte Wechselverhalten wird in der Oberklasse bekundet. Hier würden nur knapp über 30 % dieselbe Fahrzeugklasse wählen. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass insgesamt nur 16 Teilnehmer der Erhebung angeben, Besitzer einer solchen Fahrzeugklasse zu sein. Bei Nutzern der Kleinwagen-, Kompakt- und Mittelklasse werden Wechsel meist nur in eine Klasse darüber oder darunter vollzogen.

#### Ausgabebereitschaft bei Pkw-Neukauf

Die Ausgabebereitschaft (vgl. Tabelle 23) bei einem Pkw-Neukauf ist über die Antwortpersonen in etwa normalverteilt. So gibt der Großteil der Antwortpersonen (rd. 35 %) eine Ausgabebereitschaft zwischen 10.000 und 20.000 EUR an. Zwischen 20.000 und 30.000 EUR wären rd. 24 % der Antwortpersonen bereit zu bezahlen. Nicht mehr als zwischen 5.000 und 10.000 EUR würden rd. 20 % ausgeben. Immerhin würden noch knapp 8 % der Antwortpersonen eine Investition zwischen 30.000 und 40.000 EUR tätigen. Zwei Prozent würden sogar über 40.000 EUR für einen Pkw ausgeben.

Tabelle 23: Ausgabebereitschaft beim Pkw-Neukauf

Ausgabebereitschaft in €	%
0 - 1.000	2,7
1.000 - 5.000	8,6
5.000 - 10.000	20,2
10.000 - 20.000	35,2
20.000 - 30.000	23,7
30.000 - 40.000	7,8
mehr als 40.000	1,9
<b>Total</b>	<b>100,0</b>

Quelle: eigene Darstellung

#### Kenntnisstand und Interesse

Generell fühlen sich Konsumenten in Deutschland (rund 74 %) auch im Jahr 2012 noch nicht ausreichend zum Thema Elektromobilität und alternative Antriebstechnologien informiert bzw. aufgeklärt (UBA 2013, S. 31). Die Hypothese, dass ein gesteigertes Interesse und ein besserer Kenntnisstand zu einer höheren Kaufbereitschaft von ZEV führt, ist zu überprüfen. Daher wird am Anfang der Umfrage eine Selbsteinschätzung des Kenntnisstandes zum Thema Elektromobilität abgefragt und am Ende wird die Frage zum künftigen Interesse an dem Thema Elektromobilität gestellt.

In Tabelle 24 ist die Selbsteinschätzung bezüglich des Kenntnisstandes zum Thema Elektromobilität (*y-Achse*) gegenüber dem Interesse, sich künftig besser über dieses Thema zu informieren (*x-Achse*), aufgetragen. Das Bild zeigt deutlich, dass die Antwortpersonen eher schlecht über Elektromobilität informiert sind. Das Interesse, sich künftig besser über Elektromobilität zu informieren, ist mit knapp 50 % recht hoch. Ein Viertel der Antwortpersonen drücken durch die Wahl des mittleren Skalenwertes eher eine Gleichgültigkeit aus. Ein Viertel wird sich künftig nicht stärker informieren. Betrachtet man die Kreuztabelle, wird deutlich, dass ein größerer Teil ( $n=210$ ) der vorher schlecht informiert war, künftig ein höheres Interesse hat. Der kleinere Teil, der vorher schlecht informiert war, wird wahrscheinlich auch künftig an dem Thema kein Interesse haben ( $n=125$ ).

Tabelle 24: Kreuztabelle Kenntnisstand (Beginn)/ Interesse zu Elektromobilität (Ende)

		"In Zukunft werde ich mich stärker über Elektromobilität informieren."						
		stimme zu	2	3	4	5	6	stimme nicht zu
"Ich fühle mich zum Thema Elektromobilität ausreichend informiert."	stimme zu	10	3	5	13	1	3	12
	2	16	22	23	20	7	5	12
	3	19	30	39	29	14	9	11
	4	23	34	45	84	30	17	17
	5	13	26	46	53	15	16	11
	6	12	35	38	40	21	10	6
	stimme nicht zu	9	16	15	20	11	15	20
			210				125	

Quelle: eigene Darstellung

### Carsharing

Die Fragen zum Carsharing wurden auf einer 7er Likert-Skala von den Teilnehmern beantwortet. Für über 44 % kommt Carsharing definitiv (nur Antwort 7) nicht in Frage. Ob die Reichweite von Elektroautos für das Carsharing schon jetzt ausreichen würde, beantworteten rd. 36 % „eher positiv“ (Addition der Antworten von 1 bis 3) und rd. 43 % „eher negativ“ (Addition der Antworten von 5 bis 7). Rund 71 % der Teilnehmer (Addition der Antworten von 5 bis 7) sind nicht bereit für ein Elektroauto im Carsharing-Angebot eine höhere Gebühr zu zahlen (vgl. Tabelle 25).

Tabelle 25: Ergebnisse zur Carsharing-Nutzung (N=1.001)

	stimme zu	2	3	4	5	6	stimme nicht zu
Ich kann mir vorstellen, Car-Sharing zu nutzen.	111	75	79	128	78	89	441
Die Reichweite von Elektroautos ist für Car-Sharing ausreichend.	115	117	127	214	102	74	252
"Ich wäre bereit, für ein Elektroauto im Car-Sharing eine höhere Gebühr gegenüber einem vergleichbaren Benziner zu bezahlen."	28	48	80	137	110	126	472

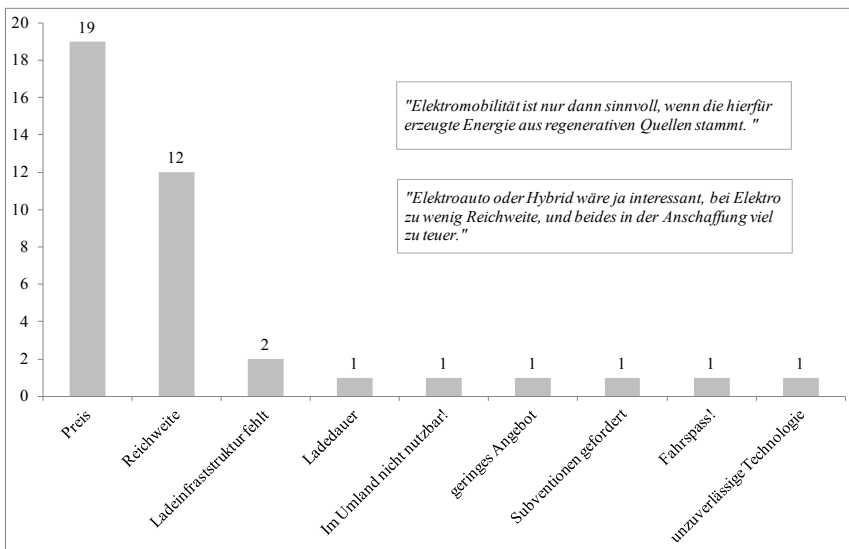
Quelle: eigene Darstellung

### 3.2.5 Offene Fragen

Am Ende des Fragebogens wurde eine offene Frage gestellt, die das Eingeben von Freitext ermöglicht: „Hier können Sie uns mitteilen, wenn Sie zu der Umfrage noch etwas los werden wollen bzw. etwas unklar war.“

Von den 1.001 Antwortpersonen haben 84 einen Kommentar hinterlassen. Kommentare, die eher auf technische Aspekte des Fragebogens beziehen, sind nicht berücksichtigt. Die Antworten wurden offen kodiert. Der Preis wurde am häufigsten thematisiert. Insgesamt neunzehnmal wurde der Kaufpreis von ZEV als zu hoch für Privatpersonen genannt. Insgesamt zwölfmal wurde die zu geringe Reichweite bemängelt. Interessant ist, dass nur von einer Antwortperson die Ladedauer als Problem genannt wurde. Einige Antwortpersonen bekundeten, dass die Ladeinfrastruktur noch fehle und daher vor allem im ländlichen Gebiet Elektroautos nicht verwendbar seien. Auch die Verlässlichkeit der relativ neuen Technologien sei noch nicht gegeben bzw. ausgereift. Aufgrund des hohen Kostengefüges müsste eine staatliche Unterstützung angeboten werden. Eine Antwortperson verwies auf den Fahrspaß, den sie beim Fahren eines BEV erlebt hatte.

Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung der Codes



Quelle: eigene Darstellung

### 3.2.6 Verkehrsverhalten der Antwortpersonen

Das Verkehrsverhalten wurde, wie in Kapitel 3.2.3 beschrieben, erhoben. Die Datengüte ist hoch: Im Vergleich zur MiD2008 unterscheiden sich die durchschnittlichen Wegelängen, die mit dem Pkw für den Zweck Arbeit zurückgelegt werden, nur um knapp 400 m<sup>125</sup>.

Verkehrsmittelnutzung werktags und am Wochenende

Tabelle 26 zeigt die Nutzungshäufigkeit unterschiedlicher Verkehrsmittel der Teilnehmer separat für Werktag und am Wochenende. Das mit Abstand am häufigsten genutzte Verkehrsmittel ist der Pkw (als Fahrer). Insgesamt geben 477 der Teilnehmer (Fahrer und Mitfahrer) an, das Auto täglich zu nutzen. Das Fahrrad sowie der ÖPNV werden fast zu gleichen Anteilen täglich genutzt (ca. 20 % der Teilnehmer). Die hohe Pkw-Affinität zeigt am Wochenende einen fast ebenso hohen Wert. Demgegenüber sinkt die Nutzung des ÖPNV am Wochenende deutlich (ca. 50 %)<sup>126</sup>.

Tabelle 26: Verkehrsmittelnutzung werktags (am Wochenende)

Verkehrsmittel- nutzung	n=1001						n=875					
	werktags (am Wochenende)											
	nie		manch- mal		täglich		nie		manch- mal		täglich	
zu Fuß	57	(46)	381	(462)	563	(493)	53	(42)	361	(427)	461	(406)
Fahrrad	274	(233)	532	(578)	195	(190)	233	(195)	478	(518)	164	(162)
Elektrorad	974	(962)	22	(31)	5	(8)	849	(836)	21	(31)	5	(8)
ÖPNV	281	(329)	494	(555)	226	(117)	276	(316)	442	(491)	157	(68)
MIV als Fahrer/in	254	(236)	329	(426)	418	(339)	148	(132)	313	(411)	414	(332)
MIV als Mitfahrer/in	412	(349)	530	(538)	59	(114)	328	(275)	491	(493)	56	(107)
Car-Sharing	920	(921)	78	(77)	3	(3)	802	(804)	70	(68)	3	(3)

Quelle: eigene Darstellung

<sup>125</sup> Der Datensatz wurde von Angaben der Wegelängen mit 0 km für diesen Vergleich bereinigt. MiD 2008-Berechnung anhand von korrigierten Wegelängen.

<sup>126</sup> In UBA (2013) geben rund 82 % der Nutzer an, öffentliche Verkehrsmittel aus Gründen der Umweltverträglichkeit zu nutzen.

Anzahl der Fernreisen (über 150 km pro Richtung)

Das Auto ist ganz klar die Wahl, wenn es um Fernreisen über 150 km (pro Richtung) geht. Von über 63 % wurde das Auto als das überwiegend benutzte Verkehrsmittel (VM) angegeben. Sechs Prozent der Kandidaten unternehmen wöchentlich solch eine Fahrt und über 27 % noch ein- bis zweimal im Monat. Tabelle 27 zeigt die Anzahl der Fernreisen und das jeweils gewählte Hauptverkehrsmittel. Zug und Flugzeug werden quasi nur genutzt, sofern die Reise seltener als ein- bis zweimal pro Monat durchgeführt wird. Dies lässt darauf schließen, dass diese Reisen weit höhere Distanzen aufweisen als die Pkw-Fernreisen, die relativ häufig durchgeführt werden.

Tabelle 27: Anzahl Fernreisen und gewähltes Verkehrsmittel

[%]	Auto	Mofa/Moped/ Motorrad	Kombi ÖV - Auto	Zug	Flugzeug
wöchentlich	4,9	0,2	0,3	0,7	0,6
1- bis 2-mal im Monat	23,5	0,2	0,6	2,4	3,1
seltener	41,7	0,1	1,6	11,2	8,8

Quelle: eigene Darstellung

Verkehrsmittelnutzung zum Erreichen von Aktivitätsorten nach Raumtyp

Die Gegenüberstellung der Verkehrsmittelnutzung je nach Wegezweck (Arbeit, Freizeit, Einkauf) und der Wohnstandortes der Antwortpersonen ist in Tabelle 28, Tabelle 29 und Tabelle 30 dargestellt.

Der Anteil der Pkw-Nutzung für den Arbeitsweg ist bei den Umlandbewohnern um 23,6 % höher als bei den Stadtbewohnern. Dafür ist die ÖV-Nutzung um rund 20 % geringer und wird nur von knapp sieben Prozent genutzt. Das Ergebnis ist nicht überraschend, da das ÖV-Angebot in ländlichen Gebieten generell schlechter ausgebaut ist als in städtischen Bereichen. Auffällig ist, dass alle anderen Verkehrsmittel und Kombinationen sehr ähnlich in der Stadt und im Umland genutzt werden. Das VM Pkw wird unabhängig vom Wohnort öfter genutzt für die Aktivitäten Arbeit und Einkauf als zum Erreichen von Freizeitaktivitäten. Der ÖV spielt beim Einkauf quasi keine wichtige Rolle. Dagegen werden in der Stadt, wahrscheinlich aufgrund der besseren Nahversorgung, eklatant mehr Einkaufswege zu Fuß erledigt (21,2 %).

Tabelle 28: Verkehrsmittelnutzung Aktivität Arbeit nach Raumtyp

VM Arbeit	Auto	M-Rad	ÖPNV	Rad	Leih- rad	Zu Fuß	ÖV + Rad	ÖV + Auto	Total
Raumtyp 1+4 (Stadt)	188	4	103	60	2	27	4	8	396
[%]	<b>47,5</b>	1,0	26,0	15,2	0,5	6,8	1,0	2,0	100
Raumtyp 2 (Stadttrand)	70	1	40	11	0	5	0	6	133
[%]	52,6	0,8	<b>30,1</b>	8,3	0,0	3,8	0,0	4,5	100
Raumtyp 3 (Umland)	246	5	23	41	0	24	2	5	346
[%]	<b>71,1</b>	1,4	<b>6,6</b>	11,8	0,0	6,9	0,6	1,4	100

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 29: Verkehrsmittelnutzung Aktivität Einkauf nach Raumtyp

VM Einkauf	Auto	M-Rad	ÖPNV	Rad	Leih- rad	Zu Fuß	ÖV + Rad	ÖV + Auto	Total
Raumtyp 1+4 (Stadt)	230	3	20	43	0	98	0	2	396
[%]	<b>58,1</b>	0,8	5,1	10,9	0,0	<b>24,7</b>	0,0	0,5	100
Raumtyp 2 (Stadttrand)	90,0	0,0	8,0	17,0	0,0	14,0	0,0	4,0	133
[%]	67,7	0,0	<b>6,0</b>	12,8	0,0	10,5	0,0	3,0	100
Raumtyp 3 (Umland)	288	0	6	30	0	19	0	3	346
[%]	<b>83,2</b>	0,0	<b>1,7</b>	8,7	0,0	<b>5,5</b>	0,0	0,9	100

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 30: Verkehrsmittelnutzung Aktivität Freizeit nach Raumtyp

VM Freizeit	Auto	M-Rad	ÖPNV	Rad	Leih- rad	Zu Fuß	ÖV + Rad	ÖV + Auto	Total
Raumtyp 1+4 (Stadt)	199	5	70	81	4	22	4	11	396
[%]	<b>50,3</b>	1,3	17,7	20,5	1,0	5,6	1,0	2,8	100
Raumtyp 2 (Stadttrand)	80,0	0,0	26,0	21,0	0,0	4,0	0,0	2,0	133
[%]	60,2	0,0	<b>19,5</b>	15,8	0,0	3,0	0,0	1,5	100
Raumtyp 3 (Umland)	243	5	9	67	1	17	1	3	346
[%]	<b>70,2</b>	1,4	<b>2,6</b>	19,4	0,3	4,9	0,3	0,9	100

Quelle: eigene Darstellung

Die VM-Nutzung zum Erreichen von Einkaufsgelegenheiten stellt sich ganz ähnlich zur VM-Nutzung zum Erreichen des Arbeitsplatzes dar. Die Pkw-Nutzung ist auch in der Freizeit im ländlichen Raum mit rund 20 % höher als in der Stadt. Die ÖPNV-Nutzung ist am Stadtrand mit 19,5 % am höchsten. Hier liegt ein Unterschied von 16,9 % im Gegensatz zum Land vor (vgl. Tabelle 24).

Auch zum Aufsuchen von Freizeitgelegenheiten ist der Pkw das meist genutzte Verkehrsmittel. Im Ländlichen liegt der Anteil sogar bei über 83 %. Auch in der Stadt sind es knapp 60 %. In der Stadt werden Freizeitaktivitäten fast fünfmal häufiger zu Fuß erreicht als auf dem Lande. Die ÖPNV-Nutzung ist auch hier wieder am Stadtrand mit sechs Prozent am höchsten.

Die Frage nach dem Ersatz des konventionellen Fahrzeugs durch ein ZEV für die Arbeitswege, wird von der Stadtbevölkerung prozentual höher gesehen als von den Bewohnern aus den ländlich geprägten Gebieten. So ist der Anteil<sup>127</sup> bei den Stadtbewohnern um sieben Prozent größer als bei den Bewohnern des Umlandes (vgl. Tabelle 31).

Tabelle 31: Einstellung Ersatz des Pkw durch EV auf Arbeitswegen nach Raumtyp

Ersatz des Pkw durch EV auf Arbeitsweg	Stadt* [%]	Umland [%]	Total [%]
Ja	60	53	57
Nein	40	47	43
Total	60	40	100

\* Stadt = City HH + Stadtrand + Umlandzentrum

Quelle: eigene Darstellung

Der größte Einsatzbereich von EV zur Bewältigung des Arbeitsweges wird im Ersatz gegen einen Pkw vor allem von den Personen gesehen, die Pkw als HVM angegeben haben. 62 % können sich ein EV anstelle eines konventionellen Fahrzeugs vorstellen. Die durchschnittliche Wegestrecke der Antwortpersonen, die sich einen Ersatz vorstellen können, ist mit rund 15,5 km (einfache Wegestrecke) ca. 6,4 km kürzer als von den Personen, die sich ein EV nicht als Pendelfahrzeug vorstellen können (vgl. Tabelle 32).

Den Einsatz eines EV anstelle des ÖPNV als HVM können sich ein Drittel der Antwortpersonen vorstellen, wo diese einen durchschnittlich längeren Arbeitsweg (rd. 5,4 km) haben, als der Rest der Personen, die den ÖPNV als HVM angegeben haben. Bei den Personen, die hauptsächlich zur Arbeit zu Fuß gehen, können sich ein Fünftel vorstellen, diesen Weg mit einem EV zu absolvieren. Die kleinste Gruppe stellen die Radfahrer dar. Hier sind es nur 16 %, die auch mit einem EV anstelle des Rades zur Arbeit fahren würden (vgl. Tabelle 32).

<sup>127</sup> Antwortmöglichkeiten waren auf einer 7er-Likert-Skala zwischen *stimme zu* bis *stimme nicht zu* möglich. Als positive Antwort wurden die Skalenwerte 1, 2 und 3 aufsummiert.

Tabelle 32: Einschätzung des möglichen Ersatzes des HVM durch EV

Ersatz des Hauptverkehrsmittels durch EV	EV Ersatz für...		EV kein Ersatz für...	
Pkw	62 %	(15,5)*	38 %	(21,9)
ÖPNV	33 %	(17,7)	67 %	(16,5)
Rad	16 %	(4,0)	84 %	(4,3)
Fuß	20 %	(0,8)	80 %	(1,0)

\* Ø Arbeitswegelänge mit dem jeweiligen VM in [km]; einfacher Weg

Quelle: eigene Darstellung

Es zeichnet sich folgendes Bild: Es bestehen signifikante Unterschiede zwischen der Verkehrsmittelnutzung in der Innenstadt bzw. Umlandzentrum, dem Stadtrand und auf dem Land. Das Auto ist das am häufigsten eingesetzte Verkehrsmittel bei allen drei Aktivitäten (Arbeit, Freizeit, Einkauf). Die ÖV-Nutzung ist am Stadtrand am höchsten. Einkäufe werden deutlich öfter in der Stadt zu Fuß unternommen.

Ein Elektrofahrzeug auf dem Arbeitsweg einzusetzen, können sich in der Stadt 7 % mehr Personen vorstellen als auf dem Land. Dieses Ergebnis ist positiv zu werten, da in der Stadt mehr Menschen von Fahrzeug-Emissionen betroffen sind als auf dem Land. Überraschender ist das Ergebnis hinsichtlich der durchschnittlichen Arbeitswegelänge. Die Personen, die sich einen Ersatz für ihr konventionelles Fahrzeug vorstellen können, haben zwar durchschnittlich einen 6,4 km kurzen Arbeitsweg, jedoch ist die durchschnittliche Arbeitswegelänge der Personen, die sich eine Ersatz des konventionellen Pkw durch ein Elektroauto nicht vorstellen können, auch nur knapp 22 km lang. Auch diese Wegelänge kann problemlos von jedem Elektroauto absolviert werden. Eine Erklärung für diese Diskrepanz kann daran liegen, dass der längere Arbeitsweg von 22 km schon als zu weit für ein Elektroauto angesehen wird oder die durchschnittliche Arbeitswegelänge nicht zur Erklärung für die Potenzialeinschätzung dient.

### 3.2.7 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde dargestellt, was bei einer Onlineerhebung zu beachten ist und welche Probleme auftreten können (vgl. 3.2.2) und wie der Fragebogen erstellt wurde (vgl. 3.2.3). Daneben wurde beispielhaft dargestellt, wie die Stimuli-Präsentation der Conjoint-Analyse erfolgt und wie Kenntnisse über das Verkehrsverhalten der Antwortpersonen bestmöglich im Rahmen der beschränkten Möglichkeiten der Online-Befragung gewonnen werden können.

Die Erhebung über das Online-Panel lief problemlos und zügig ab. Die Daten liegen in einer hohen Qualität in Tabellenform vor und können mit Tabellenkalkulationsprogrammen bzw. Statistikprogrammen ausgewertet werden. Nur neun Datensätze können nicht für die weitere Auswertung verwendet werden. Das Sample umfasst 1.001 Antwortpersonen und repräsentiert die Bevölkerung der Metropole Hamburg hinsichtlich der sozioökonomischen und -demographischen Personenmerkmale. Die räumliche Verteilung der Antwortpersonen entspricht der realen Verteilung innerhalb der Metropolregion Hamburg (1/3 Hansestadt und 2/3 Umland). Gewichtungen werden nicht vorgenommen.

Für nur 17 % der Antwortpersonen stellt der Umweltschutz eines der dringlichsten politischen Handlungsfelder dar. Die Verkehrspolitik bildet mit 2 % das Schlusslicht. Der Besitz einer Fahrerlaubnis liegt mit 92,4 % knapp 4,5 % über dem Bundesdurchschnitt. Eine höhere Zahlungsbereitschaft für alternativ angetriebene Fahrzeuge im Car-Sharing-Angebot ist nicht gegeben. Rund 15 % des Samples hat schon Erfahrungen mit EVs und Elektro-Rädern gesammelt.

Rund 35 % der Antwortpersonen geben an, dass sie für eine Pkw-Anschaffung zwischen 10.000 und 20.000 EUR bezahlen würden. Rund 24 % geben an zwischen 20.000 bis 30.000 EUR aufzuwenden. Noch knapp acht Prozent würden sogar 30.000 - 40.000 EUR für einen Pkw ausgeben.

Das Interesse an alternativen Antriebstechnologien ist grundsätzlich hoch. Das Interesse an alternativen Antriebstechnologien scheint durch Denkanstöße und Informationsmaterial bzw. Kampagnen steigerbar zu sein.

Bei den offenen Fragen machten 19 Teilnehmer von sich aus eine Anmerkung, dass generell Interesse besteht ein E-Fahrzeug zu besitzen, die Kostenaspekt dies aber nicht erlauben würde. Der Aspekt der beschränkten Reichweite führten 12 Teilnehmer als Hauptproblem auf.

Die Erfassung des Verkehrsverhaltens der Antwortpersonen ergibt, dass am häufigsten täglich zu Fuß gegangen wird. Das Auto wird jedoch mit über 40 % am zweit-häufigsten angegeben. Darunter liegen ÖPNV und das Fahrrad fast gleich auf. Der ÖPNV wird am Wochenende deutlich seltener benutzt.

Auf Fernreisen wird mit Abstand am häufigsten der Zug genutzt. Das HVM mit der häufigsten Nutzung ist der Pkw. Der Zug wird nur dann deutlich häufiger genutzt, wenn seltener als ein- bis zweimal im Monat eine Fernreise durchgeführt wird.

Die Betrachtung der Hauptverkehrsmittelnutzung bezogen auf den Wohnstandort zeigt deutlich, dass die Nutzung des Pkw bei Personen, die in ländlich geprägten Gebieten wohnen, für den Arbeitsweg deutlich höher ist. Dafür ist die Nutzung des ÖPNV geringer.

Bei Einkäufen spielt das Auto ebenfalls auf dem Land eine größere Rolle als in der Stadt. Aufgrund der besseren Nahversorgung in städtisch geprägten Gebieten werden deutlich mehr Einkäufe zu Fuß unternommen als auf dem Land.

Die Verkehrsmittelnutzung zum Erreichen von Freizeitaktivitäten ist sehr ähnlich wie zum Erreichen der Arbeit bzw. Ausbildungsstelle. So wird auf dem Land häufiger das Auto genutzt, wogegen in der Stadt häufiger der ÖPNV als auf dem Land genutzt wird.

### 3.3 Modellschätzungen

In diesem Kapitel werden sämtliche Auswertungen des Discrete-Choice-Experiments (Conjoint-Analyse) detailliert beschrieben und die Ergebnisse interpretiert. Anhand der Conditional-Logit- und Mixed-Logit-Modelle werden die Präferenzen für die jeweilige Antriebstechnologie sowie die Reaktionen vor dem Hintergrund der staatlichen Anreizsysteme, wie Vergabe von direkten Käuferzuschüssen, Variation der Treibstoffkosten, Auferlegen einer emissionsabhängigen CO<sub>2</sub>-Steuer bzw. Erheben von Parkgebühren und der Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur, untersucht. Hieraus abgeleitet werden die Merkmale ermittelt, die in besonderem Maße (stochastisch signifikant) die Entscheidung für ein alternativ betriebenes Fahrzeug begünstigen bzw. begründen. Bestand dieses Kapitels ist auch ein detaillierter Vergleich der Ergebnisse zwischen den zwei unterschiedlichen Modellansätzen Conditional-Logit und Mixed-Logit. Im Folgenden werden wesentlich drei unterschiedliche Modelle geschätzt. Zunächst wird im alternativen-spezifischen Modell untersucht, wie die Präferenzen hinsichtlich der Antriebstechnologien aggregiert über das Gesamtsample verteilt sind und wie mithilfe staatlicher Anreizsysteme die Auswahlwahrscheinlichkeit der unterschiedlichen Antriebstechnologien angehoben werden kann. Im zweiten Modell, dem personenspezifischen Modell werden Personenmerkmale modellseitig eingeführt, um Aussagen zu homogenen Personengruppen hinsichtlich der Auswahl von ZEV treffen zu können (vgl. 3.3.1). Die verschiedenen Anreizsysteme zeigen, dass große Präferenz-Unterschiede in der Bevölkerung hinsichtlich des Geschlechtes, des Bildungsgrades, des Wohnortes, etc. bestehen (siehe hierzu 3.3.2). Im dritten Modell, das verkehrsverhalten-spezifische Modell, werden Merkmale

zum Verkehrsverhalten, die in 3.2.6 detailliert erläutert wurden, modellseitig integriert (siehe hierzu 3.3.3). Anhand der Modellergebnisse wurde gezeigt, dass bei der Einführung staatlicher Substitutionen oder anderer Anreizsysteme die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass das höchst mögliche Substitutionspotenzial von konventionellen Fahrzeugen durch alternativ angetriebene Fahrzeuge nicht ausgenutzt wird. Vielmehr werden Menschen erreicht, die derzeit nicht mit einem eigenen Pkw, sondern im Umweltverbund unterwegs sind.

Die Modellschätzungen basieren auf 28.000 Beobachtungen aus 7.000 Aufgaben ( $n=875$ ) und wurden mit der Statistiksoftware STATA<sup>®</sup> durchgeführt. Um den die Anzahl der Nachkommastellen der geschätzten Merkmals-Koeffizienten in vergleichbare Größenordnungen zu überführen, wurden die Variablen folgendermaßen geteilt:

- price / 10.000
- fuel / 1.000
- subsidy / 10.000
- tax / 100

Folgende Variablen-Bezeichnungen und Ausprägungen der Eigenschaften wurden zur Modellschätzung verwendet (vgl. Tabelle 33).

Tabelle 33: Übersicht der alternativen-spezifischen Variablenbezeichnungen

Variablen-Bezeichnung	Merkmal	Variablen-Typ	Ausprägungen
	Antriebstechnologie:		
BEV	- Batterieelektrisches Fzg.	Dummy	1, wenn BEV, sonst 0
PHEV	- Plug-In Hybrid	Dummy	1, wenn PHEV, sonst 0
FCEV	- Brennstoffzellen-Fzg.	Dummy	1, wenn FCEV, sonst 0
ZEV	- Zero Emission Vehicle	Dummy	1, wenn BEV=1 & PHEV=1 & FCEV=1, sonst 0
ICV	- konventionelles Fzg.	Dummy	1, wenn ICV, sonst 0
price	Kaufpreis [€]	linear	30.000, 35.000, 40.000, 45.000
fuel	Treibstoffkosten [€/Jahr]	linear	plus 20%, minus 50%, minus 65%
tax	CO <sub>2</sub> -Steuer [€/Jahr]	linear	0, 200, 300, 400
subsidy	Käuferzuschuss [€]	linear	0, 1.000, 3.000, 5.000, 10.000
fee	Parkgebühren [€/h]	linear	0, 3, 4, 5
charge	Entfernung Ladestation	linear	0,5 min*, 1 min, 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 30 min
none_option	None-Option	Dummy	1, wenn none_option, sonst 0
* Gehminuten zur nächsten freien Ladesäule			

Quelle: eigene Darstellung

### 3.3.1 Alternativen-spezifisches Modell

Das alternativen-spezifische Modell beinhaltet als erklärende Variablen nur die alternativen-spezifischen Merkmale der in der Conjoint-Analyse gezeigten Fahrzeugkonzepte. Anhand des Conditional-Logit- und Mixed-Logit-Modells kann der Einfluss der einzelnen Merkmale auf die Auswahlentscheidung bestimmt werden. Anhand des Mixed-Logit-Modells kann zusätzlich abgelesen werden, wie groß die Heterogenitäten zwischen den Antwortpersonen sind und dass eine Person mehrere Auswahl-situationen bearbeitet hat. Beim Conditional-Logit-Modell erfolgt die Auswertung aggregiert über alle Auswahl-situationen. Die Bestimmung der Präferenzunterschiede zwischen definierten Personengruppen erfolgt in den darauffolgenden Kapiteln.

Koeffizientenschätzung

Zunächst wird eine Koeffizientenschätzung anhand eines Conditional-Logit-Modells durchgeführt. Als erklärende Variablen werden im Modell nur die alternativen-spezifischen Merkmale berücksichtigt. Die Ergebnisse der Punktschätzung des CL-Modells (CL-1a) sind in Tabelle 34 dargestellt.

Tabelle 34: Alternativen-spezifisches CL-Modell (CL-1a)

Conditional (fixed-effects) logistic regression					Number of obs = 28000	
					LR chi2(10) = 953,14	
					Prob > chi2 = 0,000	
Log likelihood = -9227,4924					Pseudo R2 = 0,0491	
choice	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95 % Conf. Interval]	
price	-0,5269	0,0314	-16,79	0,000	-0,5884	-0,4654
BEV	-0,9104	0,0678	-13,44	0,000	-1,0432	-0,7776
PHEV	-0,9206	0,0676	-13,62	0,000	-1,0530	-0,7881
FCEV	-0,7417	0,0934	-7,94	0,000	-0,9247	-0,5587
fuel	-0,1780	0,0140	-12,69	0,000	-0,2055	-0,1505
subsidy	0,7414	0,0849	8,73	0,000	0,5750	0,9079
fee	-0,0728	0,0084	-8,70	0,000	-0,0893	-0,0564
tax	-0,1153	0,0111	-10,41	0,000	-0,1370	-0,0936
charge	-0,0188	0,0040	-4,71	0,000	-0,0266	-0,0109
none_option	-3,2436	0,1429	-22,70	0,000	-3,5237	-2,9636

Quelle: eigene Erhebung Juni 2013

Tabelle 34 zeigt die geschätzten Koeffizienten, den jeweiligen Standardfehler, das Signifikanzniveau ( $z$ ), die Irrtumswahrscheinlichkeit ( $P > |z|$ ) und das 95 % Konfidenzintervall. Der Log-Likelihood-Test ergibt einen Wert von -9227,5. McFaddens Pseudo  $R^2$  beträgt 0,0491 bei zehn Freiheitsgraden.

Der Signifikanztest und die Irrtumswahrscheinlichkeit zeigen, dass alle Variablen hoch signifikant sind (99 % Signifikanzniveau), d.h. die Variablen des Modells erklären die Auswahlwahrscheinlichkeit sehr genau. In der ersten Spalte werden die Werte für den  $\beta$ -Koeffizienten dargestellt. In der letzten Spalte sind die Odds Ratio ( $OR = e^\beta$ ) dargestellt. Der Koeffizient für den Kaufpreis ist negativ. Ein höherer Kaufpreis führt wie erwartet zu einer geringeren Attraktivität der jeweiligen Alternative.

Die alternativen Antriebstechnologien BEV, PHEV und FCEV stehen dem Referenzwert ICV im Modell gegenüber. Es lässt sich feststellen, dass Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor den alternativen Fahrzeugen generell vorgezogen werden, wenn alle anderen Variablen kontrolliert werden. Höhere Treibstoffkosten, Parkgebühren sowie Steuern wirken wie erwartet negativ auf die Auswahlwahrscheinlichkeit. Ebenso eine größere Entfernung zur nächsten Ladestation. Je höher jedoch der Zuschuss beim Kauf eines Fahrzeugs, desto größer ist auch die Auswahlwahrscheinlichkeit, wenn alle anderen Variablen kontrolliert werden.

Die Schätzergebnisse der Mixed-Logit-Modelle sollen die Realität genauer wieder geben als CL- oder MNL-Modelle, da Heterogenitäten zwischen den Antwortpersonen berücksichtigt werden. Es wird nicht ein Punktwert eines Koeffizienten geschätzt, sondern die Verteilung samt Standardabweichung mit der Simulated-Maximum-Likelihood-Methode simuliert. Diese zeigt an, wie groß die Vorlieben-Unterschiede unter den Antwortpersonen sind. Zudem wird berücksichtigt, dass *ein* Teilnehmer *mehrere* Aufgaben bearbeitet. Beim ML-Modell müssen die Verteilungen der Koeffizienten bedacht werden. Die Grundeinstellung von STATA<sup>®</sup> sieht für den nichtbeobachtbaren Teil der Koeffizienten standardmäßig eine Normalverteilung vor. Kann eine Produkteigenschaft sowohl einen positiven als auch einen negativen Nutzen für den Teilnehmer bringen, dann ist diese normal verteilt. Bei preisbehafteten Variablen geht man davon aus, dass diese von allen Antwortpersonen negativ betrachtet werden. Der Nutzen sinkt, je höher die Kosten. Für den Koeffizienten *Kosten* käme also nur ein Vorzeichen in Frage. Dieser Koeffizient wäre dann lognormal verteilt. Es wird untersucht, welche Auswirkungen die Verteilung auf das Ergebnis hat.

Der Vorteil, den Koeffizienten der Kaufpreisvariable konstant (fixed) zu halten, hat gegenüber einer Simulation mit random-Term den Vorteil, dass normalver-

teilte Schätzungen für die Zahlungsbereitschaft für die nicht-preisbehafteten Variablen berechnet werden können. Train (2000, S. 7) empfiehlt den Kaufpreis konstant zu belassen, da dies neben dem oben genannten Vorteil zur Berechnung der Zahlungsbereitschaft nicht preis-behaftete Attribut noch weitere Vorteile bietet. So kann dies zur Vermeidung von Modellinstabilitäten - Mixed-Logit-Modelle neigen hierzu - beitragen (Ruud 1996). Hinzu kommt, dass die Wahl der Verteilung bei der Preis-Variablen problematisch ist. Zum einen kann eine Normalverteilung auch positive Werte annehmen, was per se beim Kaufpreis unrealistisch ist. Zum anderen bewirkt eine Log-Normal-Verteilung unrealistisch hohe Werte für die Zahlungsbereitschaft (Train 2000, S. 7). Unterschiede in den Ergebnissen unterschiedlicher Verteilungen der Kaufpreisvariable werden im Folgenden untersucht.

Der Empfehlung von Rabe-Hesketh, Skrondal (2012, S. 672) und Train (2003, S. 231–234) folgend wird die Simulation mit 50 (ML-1a), 500 (ML-1b) und 1.000 (ML-1c) Wiederholungen (Wdh.) sog. Intelligenten Halton-Draws<sup>128</sup> durchgeführt. Die Variable Kaufpreis hat als einzige Variable keine stochastische Komponente (*random*), sondern wird als konstant (*fixed*) angenommen.

In Modell ML-1d wird das Ergebnis geprüft, wenn der Variable *Kaufpreis* eine Lognormal-Verteilung zugewiesen wird (vgl. Tabelle 46 bis Tabelle 48 in Anhang 10). Die Ergebnisse der Modellschätzungen sind in Anhang 10 dargestellt. Während sich die Modellgüte bei einer Erhöhung der Wiederholungen von 50 auf 500 noch deutlich verbessert (rd. 2,4 %), ist die Verbesserung bei einer Erhöhung von 500 auf 1.000 Wiederholungen bei gleichzeitig sehr langen Simulationszeiten nur noch marginal (<0,1%). Tabelle 35 zeigt das Modellergebnis für 1.000 Halton Draws. Der Log-Likelihood-Test ergibt einen Wert von -6914,53. Das Modell hat neun Freiheitsgrade. Der obere Teil der Tabelle zeigt die Mittelwerte der Koeffizienten. Der untere Teil der Tabelle zeigt die jeweiligen Standardabweichungen der Koeffizienten samt Zufalls-Anteil. Alle im Modell verwendeten Attribute sind hochsignifikant (vgl. z-Statistik), die Irrtumswahrscheinlichkeit ist sehr gering ( $P > |z|$ -Werte sind alle kleiner als 0,000). Das Modell hat neun Freiheitsgrade und weist beim Likelihood-Ratio-Test für die gemeinsame Signifikanz der Standardabweichungen einen Wert von 4625,92 auf (vgl. Tabelle 35). Der zugehörige Wahrscheinlichkeitswert ist kleiner als 0,000, das bedeutet, dass die Null-Hypothese (alle Standardabweichungen = 0; vgl. 2.4.1, S. 97) abgelehnt wird.

---

128 In STATA<sup>®</sup> wird dies durch die Option `nrep(500)` bzw. `nrep(1000)` ermöglicht.

Tabelle 35: Alternativen-spezifisches ML-Modell mit 1.000 Wdh. (ML-1c)

Mixed logit model					Number of obs =	28000
					LR chi2(10) =	4625,92
Log likelihood = -6914,5339					Prob > chi2 =	0,000
choice	Coef.	Std. Err.	z	P>  z	[95% Conf. Interval]	
price	-1,0120	0,0511	-19,79	0,000	-1,1122	-0,9118
BEV	-1,9665	0,1374	-14,31	0,000	-2,2358	-1,6972
PHEV	-1,6921	0,1229	-13,76	0,000	-1,9330	-1,4511
FCEV	-1,3801	0,1589	-8,68	0,000	-1,6916	-1,0686
fuel	-0,7387	0,0459	-16,11	0,000	-0,8286	-0,6489
subsidy	0,6687	0,1801	3,71	0,000	0,3157	1,0217
fee	-0,1359	0,0143	-9,48	0,000	-0,1640	-0,1079
tax	-0,2125	0,0185	-11,46	0,000	-0,2488	-0,1761
charge	-0,0404	0,0065	-6,21	0,000	-0,0531	-0,0276
none_option	-8,1162	0,3087	-26,29	0,000	-8,7212	-7,5112
SD						
BEV	2,1168	0,1251	16,92	0,000	1,8716	2,3620
PHEV	1,7028	0,1062	16,03	0,000	1,4946	1,9110
FCEV	1,5001	0,1690	8,88	0,000	1,1689	1,8313
fuel	0,6361	0,0449	14,17	0,000	0,5481	0,7241
subsidy	3,2536	0,1927	16,88	0,000	2,8759	3,6313
fee	-0,1443	0,0280	-5,15	0,000	-0,1992	-0,0894
tax	0,1569	0,0356	4,41	0,000	0,0871	0,2266
charge	0,0399	0,0087	4,57	0,000	0,0228	0,0569
none_option	3,5813	0,1857	19,29	0,000	3,2174	3,9453
The sign of the estimated standard deviations is irrelevant: interpret them as being positive						

Quelle: eigene Darstellung

Die Ergebnisse des Schätzmodells mit einer lognormal-verteilten random-behafteten Preis-Variable ist in Tabelle 48 (Anhang 10) dargestellt.

Der Koeffizient für die Kaufpreisvariable wird wie folgt berechnet:

$$Mean(\beta_{Preis}) = \exp\left(b_p + \frac{s_p^2}{2}\right) \quad (22)$$

Und die Standardabweichung:

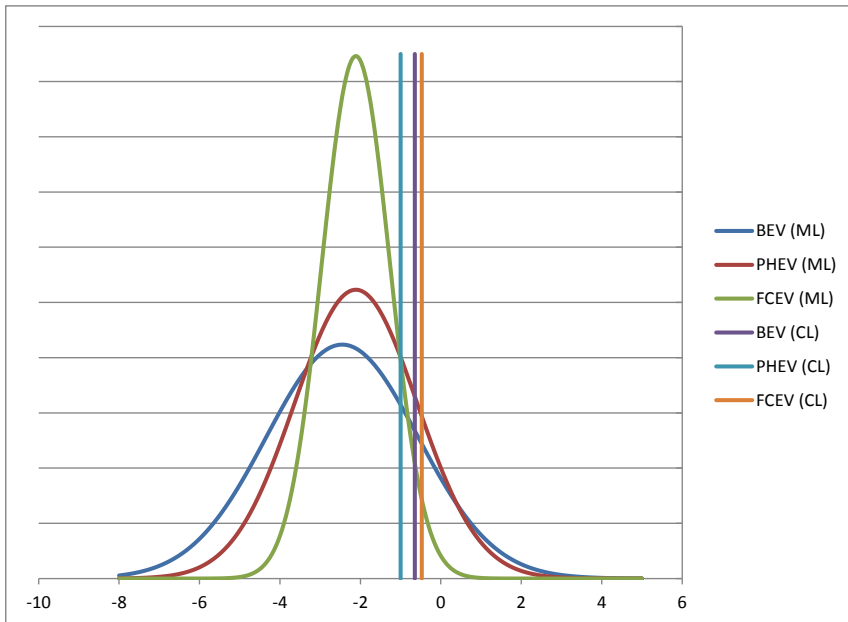
$$SD(\beta_{Preis}) = \exp\left(b_p + \frac{s_p^2}{2}\right) \times \sqrt{\exp(s_p^2) - 1} \quad (23)$$

Für  $\beta_{Preis}$  ergibt sich ein Mittelwert der Preisvariable von -1,0778. Für den Wert der Standardabweichung wird hier der Wert -0,8088 berechnet. Der Vergleich mit den Resultaten der ML-Modell-Ergebnisse mit normalverteilter Preisvariable zeigen nur marginale Abweichungen. Teilweise nur in der zweiten Nachkommastelle (vgl. ML-1c und ML-1d). Bezüglich der Größenordnung der restlichen Variablen sind ebenso nur marginale Unterschiede festzustellen.

Da die Zuweisung der Log-Normal-Verteilung die Komplexität des Modells, dessen Auswertung sowie den zeitlichen Simulationsaufwand stark erhöht, aber grundsätzlich keinen Erkenntnisgewinn zur Beantwortung der Forschungsfragen beiträgt, wird in den weiteren Modellen die Verteilung des Koeffizienten der Preisvariable als normalverteilt betrachtet. Die Ergebnisse des Log-Likelihood-Tests können nicht mit den vorangegangenen Modellen verglichen werden, da das Modell zehn Freiheitsgrade besitzt.

Der Vergleich der Ergebnisse der Mixed-Logit- und Conditional-Logit-Modelle zeigt, dass ähnliche Größenordnungen für die Wahl der Antriebstechnologien ermittelt werden. Jedoch legen die Auswertungsmöglichkeiten des Mixed-Logit-Modells offen, inwiefern Präferenzenunterschiede (Heterogenitäten) zu den verschiedenen Technologien bestehen. ICV werden generell ZEV vorgezogen. Anhand der Standardabweichung (SD) lässt sich ablesen, dass Heterogenitäten bei den drei Antriebstechnologien BEV, PHEV und FCEV zwischen den Antwortpersonen bestehen. Noch größer ist die Standardabweichung bei den Käuferzuschüssen und der none-Option. Abbildung 17 zeigt die Verteilung der  $\beta$ -Koeffizienten der alternativen-spezifischen Variablen BEV, PHEV und FCEV. Die Visualisierung zeigt die Ergebnisse der unterschiedlichen Schätzmethode der jeweiligen Modelle. Das CL-Modell berechnet zu den  $\beta$ -Koeffizienten einen Punktwert. Das ML-Modell schätzt über Simulation unter der Angabe der Normalverteilungen die  $\beta$ -Koeffizienten. Je breiter die Verteilung auseinandergezogen ist, desto größer sind die Heterogenitäten zwischen den Antwortpersonen. Die Heterogenitäten sind beim BEV am größten und beim FCEV am kleinsten.

Abbildung 17: Beispielhafte Darstellung der ML-Schätzung und der CL-Punkt-Schätzung



Quelle: eigene Darstellung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Koeffizienten von CL- und ML-Modell in etwa die gleichen Größenordnungen aufweisen. Größte Unterschiede gibt es bei der Antriebstechnologie. Die Differenzen zwischen den verschiedenen Variablen sind sehr ähnlich. Es lässt sich feststellen, dass scheinbar beide Modelle für die Auswertung geeignet sind. Der Zeitaufwand für die Simulation der Maximum-Likelihood-Schätzung beim Mixlogit-Modell wächst je nach Anzahl der gewählten Halton-Draws. Bei einer Simulation mit 1.000 Halton-Draws dauert die Simulation mehrere Stunden bis das Modell konvergiert. Demnach bietet das Mixed-Logit-Modell einen größeren Auswertungsumfang und schätzt die Ergebnisse hinsichtlich der Zuordnung mehrerer Auswahl-situationen zu einer Person grundsätzlich genauer. Ferner lässt sich sagen, dass die Simulationsergebnisse zunächst die erwarteten Werte liefern:

- Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor werden alternativ angetriebenen Fahrzeugen vorgezogen.
- Kostenattribute werden negativ bewertet.

- Zuschüsse werden positiv bewertet.
- Ein größerer Ladeinfrastrukturausbau wird positiv bewertet.

Aufgrund der diskutierten Vorteile des Mixed-Logit-Modells werden alle weiteren Untersuchungen anhand des Mixed-Logit-Modells durchgeführt.

#### Bestimmung der Referenzwerte

Zur Bestimmung der Effekte bzw. Einflüsse der politischen Anreizsysteme auf das Kaufverhalten der Antwortpersonen müssen Referenzwerte bestimmt werden, auf das die Veränderungen im Wahlverhalten bezogen wird. Für jede alternativen-spezifische Eigenschaft muss eine Eigenschaftsausprägung als Referenzwert festgelegt werden. Unter Verwendung der geschätzten Koeffizienten kann dann die Auswahlwahrscheinlichkeit berechnet werden. Tabelle 36 zeigt die Übersicht der Eigenschaftsausprägungen der Referenzgrößen, die im Folgenden für alle Modelle als Ausgangspunkt dienen.

Tabelle 36: Referenzgrößen der alternativen-spezifischen Merkmale

Eigenschaft	konv. Auto	BEV	PHEV	FCEV	none
Kaufpreis [€]	20.000	30.000	25.000	45.000	
Treibstoffkosten [€/a]	1.000	300	600	500	-
Zuschuss [€]	-	-	-	-	-
Parkgebühren [€/h]	2	2	2	2	-
CO <sub>2</sub> -Steuer [€/a]	-	-	-	-	-
Verfügbarkeit Ladestation [min]	5	5	5	5	-

Quelle: eigene Darstellung

Ein Zuschuss und die Erhebung einer separaten CO<sub>2</sub>-Steuer werden in der Ausgangssituation nicht vergeben. Die Parkgebühren sind in parkraumbewirtschafteten Bereichen für alle Fahrzeuge gleich (2 EUR/ h). Für den Tankvorgang bzw. das Erreichen der nächsten Ladesäule wird bei allen Antrieben mit fünf Minuten angegeben.

#### Effekte politischer Anreizsysteme auf die Auswahlwahrscheinlichkeit von ZEV

Im Folgenden wird diskutiert, welche Auswirkungen finanzielle und infrastrukturelle Anreizsysteme zur Förderung der Marktdurchdringung von ZEV auf die Auswahlwahrscheinlichkeiten der verschiedenen Antriebstechnologien haben. Im Detail werden folgende Anreizsysteme untersucht:

- 1a) Einmaliger Zuschuss beim Kauf eines ZEV von 5.000 EUR,
- 1b) Einmaliger Zuschuss beim Kauf eines ZEV von 10.000 EUR,
- 2) CO<sub>2</sub>-Steuer für ICV: 500 EUR/ Jahr,
- 3a) Treibstoffkostenanstieg für konventionelle Fahrzeuge: 100 %,
- 3b) Erhöhung Ausbaugrad Ladeinfrastruktur (max. eine min. Gehzeit),
- 4) Kostenloses Parken für ZEV,
- 5) Kostenloses Parken für ZEV; 5 EUR/ h für konventionelle Fahrzeuge.

Die Berechnung der Auswahlwahrscheinlichkeiten, die sich aufgrund der unterschiedlichen Anreizsysteme ergeben, wird nach Rechenvorschrift ( 14 ), S. 100 berechnet. Tabelle 37 zeigt die berechneten Auswahlwahrscheinlichkeiten, die sich unter Verwendung der geschätzten Koeffizienten des ML-1c-Modells ergeben.

Tabelle 37: Auswahlwahrscheinlichkeiten aufgrund der Einführung von Anreizsystemen (ML-1c)

Anreizsystem	Auswahlwahrscheinlichkeiten [%]					PZEV*	Δ**
	ICV	BEV	PHEV	FCEV	none		
Referenzszenario	78,7	6,7	11,7	2,3	0,6	<b>20,7</b>	-
1a) Zuschuss für ZEV: 5.000 €	69,1	8,2	14,4	7,7	0,5	<b>30,3</b>	<b>+9,6</b>
1b) Zuschuss für ZEV: 10.000 €	61,7	10,3	18,0	9,6	0,5	<b>37,8</b>	<b>+17,1</b>
2) CO <sub>2</sub> -Steuer für ICV: 500 €	73,6	7,0	12,2	6,5	0,6	<b>25,7</b>	<b>+5,0</b>
3a) kostenloses Parken für ZEV	70,4	7,9	13,8	7,4	0,5	<b>29,0</b>	<b>+8,3</b>
3b) kostenloses Parken für ZEV; 5 €/ h für ICV	61,3	10,3	18,0	9,6	0,7	<b>38,0</b>	<b>+17,3</b>
4) Treibstoffkostenanstieg für ICV durch Steuer: 100 %	59,7	10,7	18,7	10,0	1,0	<b>39,3</b>	<b>+18,6</b>
5) Ladeinfrastruktur: max. 1 min Gehzeit	73,4	7,4	12,9	5,9	0,6	<b>26,1</b>	<b>+5,3</b>
* PZEV: $\sum$ (BEV, PHEV, FCEV)							
** Δ: Veränderung der Auswahlwahrscheinlichkeit aufgrund des jeweiligen Anreizes							

Quelle: eigene Darstellung

Die Ergebnisse zeigen, dass unter den oben gewählten Ausgangswerten (Referenzszenario) die Auswahlwahrscheinlichkeit für konventionelle Fahrzeuge (ICV) bei knapp 79 % liegt. Der Wert ist aggregiert über alle Antwortpersonen des Samples zu sehen. Die Auswahlwahrscheinlichkeit für ein BEV beträgt rund sieben Prozent, wohingegen die Auswahlwahrscheinlichkeit von Plug-in-Hybridfahrzeugen rund 12 % beträgt. FCEV bilden mit 2,3 % das Schlusslicht der

vier zur Auswahl stehenden Antriebstechnologien. Die Wahrscheinlichkeit, kein Fahrzeugkonzept zu wählen, beträgt knapp ein Prozent. D.h. die Wahrscheinlichkeit, dass ein Fahrzeug mit alternativer Antriebstechnologie gewählt wird, liegt bei knapp 21 %.

Folgende Aussagen lassen sich aus den Berechnungen der Wahrscheinlichkeiten aggregiert über alle Antwortpersonen ableiten (Unter PZEV sind die Auswahlwahrscheinlichkeiten für die drei alternativen Antriebstechnologien BEV, PHEV und FCEV summiert dargestellt):

**1a - Einmaliger Käufer-Zuschuss 5.000 EUR:** Der Zuschuss bewirkt, dass die Wahrscheinlichkeit ein ZEV zu wählen um knapp zehn Prozent ansteigt.

**1b - Einmaliger Käufer-Zuschuss 10.000 EUR:** Bei einem Zuschuss von 10.000 EUR ist die Auswahlwahrscheinlichkeit rd. 17 % höher gegenüber dem Referenzszenario.

**2 - Separate CO<sub>2</sub>-Steuer für konventionelle Fahrzeuge von 500 EUR/ Jahr:** Die Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Steuer um 500 EUR/ Jahr für konventionelle Fahrzeuge bewirkt eine leichte Erhöhung der Auswahlwahrscheinlichkeit für ZEV von rund fünf Prozent.

**3a - Kostenloses Parken für ZEV in parkraumbewirtschafteten Gebieten:** Dieser Anreiz erhöht die Auswahlwahrscheinlichkeit für diese Fahrzeuge um rund acht Prozent.

**3b - Kostenloses Parken für ZEV bei Erhöhung der Parkgebühren für konventionelle Fahrzeuge auf 5 EUR/ h in parkraumbewirtschafteten Gebieten:** Wird die Parkgebühr für konventionelle Fahrzeuge gleichzeitig auf fünf Euro pro Stunde angehoben, erhöht sich die Auswahlwahrscheinlichkeit für ZEV um über 17 %.

**4 - Erhöhung der Treibstoffkosten durch Steuererhöhung für konventionelle Fahrzeuge um 100 %:** Wird der Treibstoffpreis durch die Erhöhung der Kraftstoffsteuer für konventionelle Fahrzeuge an der Tankstelle für den Endverbraucher doppelt so teuer gegenüber dem Referenzszenario, bewirkt dies einen Anstieg der Auswahlwahrscheinlichkeit von ZEV um fast 19 %.

**5 - Erhöhung des Ausbaugrades der Ladeinfrastruktur für BEV und PHEV, sodass nur noch max. eine Minute Gehzeit zur nächsten Ladesäule aufgewendet werden muss:** Wird die Ladeinfrastruktur für BEV und PHEV so weit ausgebaut, dass diese in max. einer Gehminute erreichbar ist, erhöht das die Auswahlwahrscheinlichkeit von ZEV um etwas mehr als fünf Prozent.

Anhand dieser Ergebnisse kann die Effektstärke der unterschiedlichen Anreizsysteme aggregiert über das Gesamtsample gezeigt werden. Zu beachten ist die Korrelation zwischen Höhe des Anreizes und der Effektstärke. Um personenspezifische Aussagen hinsichtlich der Anreizsysteme tätigen zu können, sind weitere Betrachtungen notwendig. Im folgenden Modell werden personenspezifische Merkmale in das Modell integriert.

### 3.3.2 Personenspezifisches Modell

Um die Auswahlentscheidungen anhand von soziodemographischen und sozioökonomischen Personeneigenschaften erklären zu können, werden Interaktionsvariablen zwischen den alternativen-spezifischen Variablen und den personenspezifischen Variablen modellseitig integriert (zur Vorgehensweise vgl. z. B.: Adamowicz et al. 1998, S. 24). Die Anzahl der Interaktionsvariablen darf dabei nicht zu groß sein, damit die Qualität der Modellgüte gewährleistet ist. Aus diesem Grund werden die alternativen Antriebsvariablen in einer Variable *altern*<sup>129</sup> zusammengefasst.

Die Interaktionsvariablen mit den Personenmerkmalen *Alter*, *Geschlecht*, *Erfahrung mit ZEV*, *Ausbildungsniveau*, *Umwelteinstellung (Involvement)*, *Wohnort* sowie *monatliches Personen-Netto-Einkommen* werden ausschließlich mit der Variable *altern* gebildet<sup>130</sup>.

Das Haushaltseinkommen kann in diesem Fall nicht als absolute Größe in das Modell einfließen, sondern muss auf ein Pro-Kopf-Netto-Einkommen umgerechnet werden. Es werden drei Kategorien gebildet. Niedriges Einkommen (bis 1.000 EUR/ Person), mittleres Einkommen (1.000 - 2.000 EUR/ Person) und hohes Einkommen (über 2.000 EUR/ Person). Die daraus resultierende Verteilung im Sample ist in Tabelle 38 dargestellt.

---

129 *altern*: Abkürzung für alternative Antriebstechnologie bzw. *alternative propulsion system*; Ein Vergleich zwischen Modell CL-1b und dem Modell CL-1a (vgl. Anhang 9) zeigt, dass keine signifikanten Unterschiede in der Einzelvariablenberechnung gegeben ist.

130 Dieselben personenspezifischen Variablen werden mit der none-Option gekreuzt. So lässt sich erkennen, wenn kein ZEV gewählt wurde, ob ein ICV oder keine Alternative (none-Option) gewählt wurde.

Tabelle 38: Pro-Kopf-Einkommen des Samples

Einkommensverteilung relativ zur Haushaltsgröße		
Einkommenskategorie		n
niedrig	[1] (bis 1.000 €/ Per.)	404
mittel	[2] (1.000 - 2.000 €/ Per.)	383
hoch	[3] (über 2.000 €/ Per.)	88
<b>Total</b>		<b>875</b>

Quelle: eigene Erhebung Juni 2013

### Koeffizienten-Schätzung

Tabelle 49 in Anhang 11 zeigt eine Übersicht der Variablen, ihrer Bezeichnung und die Werte, mit denen die Variablen belegt sind. In Tabelle 50 (Anhang 11) sind die Ergebnisse der Koeffizienten-Schätzung des Mixed-Logit-Modells (ML-2) dargestellt. Der Loglikelihood-Test ergibt einen Wert von -6818,3, der Likelihood-Ratio-Test einen Wert von 4203,8 bei neun Freiheitsgraden.

Die Ergebnisse zeigen:

1. Weibliche Antwortpersonen wählen signifikant seltener alternative Antriebe als männliche ( $\beta = -0,355$ ;  $z = -2,27$ ;  $P = 0,023$ ).
2. Je höher der Bildungsabschluss je eher werden ZEV gewählt. So wählen Personen mit Realschulabschluss bzw. Mittlere Reife seltener ZEV als Personen mit Abitur bzw. Fachhochschulreife ( $\beta = -0,571$ ;  $z = -3,43$ ;  $P = 0,001$ ). Bei Personen mit Volksschul- bzw. Hauptschulabschluss<sup>131</sup> ist der Unterschied noch größer ( $\beta = -0,8712$ ;  $z = -3,32$ ;  $P = 0,001$ ).
3. In der Altersgruppe der 35- bis 44-Jährigen werden alternative Antriebe signifikant weniger gewählt, als in der Referenzpersonengruppe der 25- bis 34-Jährigen ( $\beta = -0,6239$ ;  $z = -2,68$ ;  $P = 0,007$ ). Auch in der Altersgruppe zwischen 55 und 66 Jahren werden signifikant seltener ZEV gewählt ( $\beta = -0,4948$ ;  $z = -1,88$ ;  $P = 0,060$ ).
4. Das personenspezifische Netto-Einkommen ergibt keine signifikanten Unterschiede bei der Wahl der Antriebstechnologie.

<sup>131</sup> Es hat nur eine Antwortperson im Sampel „keinen Schulabschluss“ angegeben. Sie wurde der Kategorie „Volks- bzw. Realschulabschluss“ zugeordnet.

5. Personen, die in ländlich geprägten Gebieten leben, wählen signifikant weniger ZEV als Personen, die in der Innenstadt bzw. in Umlandzentren leben ( $\beta = -0,3529$ ;  $z = -2,04$ ;  $P = 0,041$ ).
6. Personen, für die der Umweltschutz ein wichtiges Thema bzw. ein wichtiges politisches Ziel darstellt, wählen deutlich öfter Fahrzeuge mit ZEV ( $\beta = 1,0885$ ;  $z = 5,33$ ;  $P = 0,000$ ). Das Ergebnis ist statistisch hoch signifikant und weist einen hohen  $\beta$ -Koeffizienten auf.
7. Personen, die schon einmal Erfahrungen gesammelt haben, wählen deutlich häufiger alternative Antriebe, als Personen, die noch keine Erfahrungen mit ZEV gesammelt haben ( $\beta = 0,5306$ ;  $z = 2,55$ ;  $P = 0,011$ ).

Dass Personen, denen der Umweltschutz ein wichtiges Anliegen ist, eher zu ZEV tendieren, überrascht nicht sehr. Jedoch wählen auch Personen, die schon erste Erfahrungen mit ZEV gesammelt haben, signifikant häufiger ZEV, als Personen, die mit alternativen Antrieben noch keine Berührung hatten.

Effekte politischer Anreizsysteme auf  $P_{ZEV}$

Im nächsten Schritt werden die Heterogenitäten zwischen den Personengruppen mit homogenen Personenmerkmalen hinsichtlich der Auswahlwahrscheinlichkeit von ZEV untersucht. Die große Anzahl an Personeneigenschaften und Eigenschaftsausprägungen macht es unmöglich alle Personengruppe zu untersuchen, die anhand der Merkmalsausprägungen theoretisch untersucht werden könnten. Daher werden zur Untersuchung der Spannweite der Präferenzenunterschiede drei homogene Personengruppen untersucht. Personengruppe 1 (PG-1) bezeichnet die Gruppe, die im Modell als Referenzgruppe dient. Die Merkmale von Personengruppe 2 und 3 (PG-2/ PG-3) werden anhand der Koeffizientenschätzungen bestimmt. Für PG-2 werden jeweils die Koeffizienten mit den kleinsten der signifikanten Werten und für PG-3 jeweils die Koeffizienten mit dem größten Werte herangezogen. Im Folgenden werden kurz die Personengruppen anhand ihrer Unterscheidungsmerkmale dargestellt:

**PG-1:** Die Referenzgruppe vereint männliche Personen zwischen 24 und 35 Jahren, wohnhaft in der Innenstadt bzw. im Umlandzentrum. Als höchsten Bildungsabschluss haben sie das Abitur bzw. eine Fachhochschulreife und noch keine Erfahrungen mit ZEV gemacht. Umweltpolitik stellt für diese Personengruppe keines der zwei wichtigsten Politikfelder dar. Es liegen noch keine Erfahrungen mit ZEV vor.

**PG-2:** Diese Personengruppe unterscheidet sich von Personengruppe 1 nur hinsichtlich des Umwelt-Involvements und der Erfahrung mit ZEV. Die Teilnehmer dieser Gruppe haben Umweltthemen als eines der zwei dringlichsten gesellschaftlichen Probleme benannt und haben schon Erfahrungen mit ZEV sammeln können.

**PG-3:** In dieser Personengruppe sind weibliche Personen im Alter von 35 - 44 Jahren zusammengefasst. Sie weisen das niedrigsten Bildungsniveau im Sample auf, leben in eher ländlich geprägten Raumtypen und konnten weder Erfahrungen mit ZEV sammeln noch stellen für sie Umweltthemen die dringlichsten gesellschaftlichen Probleme dar.

Da die Modellschätzung keinen signifikanten Einfluss des Einkommens auf die Auswahlwahrscheinlichkeit von ZEV ergeben hat, muss diese Variable kontrolliert werden. D.h. sie nimmt den selben Wert in allen Berechnungen an, da sonst die Ergebnisse verfälscht würden. In Tabelle 39 zeigt eine Übersicht der Merkmalsausprägungen der drei Personengruppen.

Tabelle 39: Übersicht der personenspezifischen Merkmalsausprägungen je Personengruppe

Personengruppe	Geschlecht	Alter	höchster Schulabschluss	Raumtyp	Umwelt-Involvement	Erfahrung mit ZEV	Einkommen [€/Person u. Monat]
PG-1*	m	25 - 34	Abi	1	nein	nein	1.000 - 2.000
PG-2	m	24 - 34	Abi	1	ja	ja	1.000 - 2.000
PG-3	w	35 - 44	Haupt	3	nein	nein	1.000 - 2.000

\* Referenzgruppe

Quelle: eigene Darstellung

In Tabelle 40 sind die Auswahlwahrscheinlichkeiten der jeweiligen Antriebstechnologien für die drei Personengruppen dargestellt. In Tabelle 51 bis Tabelle 58 (Anhang 12) sind detaillierte Berechnungen zu den verschiedenen Anreizsystemen und der jeweiligen Einflussstärke auf die Personengruppen für jede Antriebstechnologie dargestellt.

Tabelle 40: Übersicht der Veränderung von PZEV aufgrund verschiedener Anreize (ML-2)

Personengruppe	PG-1**	PG-2	PG-3
Referenzszenario $P_{ZEV}^*$ [%]	31,7	70,2	6,9
Veränderung $P_{ZEV}$ [%]			
1a) Zuschuss für ZEV: 5.000 €	+9,3	+7,7	+3,1
1b) Zuschuss für ZEV: 10.000 €	+19,3	+13,9	+7,3
2) CO <sub>2</sub> -Steuer für ICV: 500 €	+2,3	+2,2	+0,7
3a) kostenloses Parken für ZEV	+8,6	+7,3	+2,8
3b) kostenloses Parken für ZEV; 5 €/h für ICV	+15,9	+12,0	+5,8
4) 100 % Treibstoffkostenanstieg für ICV	+17,4	+13,0	+6,5
5) Ladeinfrastruktur: max. 1 min Gehzeit	+3,1	+2,8	+1,0
* $P_{ZEV}$ : $\sum$ (BEV, PHEV, FCEV)			
** Referenzgruppe			

Quelle: eigene Darstellung

Folgende Zusammenhänge lassen sich daraus ableiten:

1. Es bestehen große Unterschiede zwischen den Personengruppen hinsichtlich der Präferenz von alternativen Antriebstechnologien ( $\Delta$ PG-2, PG-3 > 60 %).
2. Alle Anreizsysteme haben auf alle Personengruppen positive Auswirkungen auf die Kaufbereitschaft.
3. Die Anreizsysteme wirken je nach Personengruppe stark auf die Auswahlentscheidung (z. B.: Zuschuss für ZEV von 10.000 EUR:  $\Delta$ PG-1, PG-3 = 12 %)

Es lässt sich feststellen, dass große Unterschiede sowohl zwischen der generellen Wirkung der Anreizsysteme bestehen als auch zwischen der Wirkung der Anreizsysteme auf die verschiedenen Personengruppen.

Die drei Anreizsysteme Käuferzuschüsse von einmalig 10.000 EUR, kostenloses Parken mit Erhöhung der Kosten für ICV und der Treibstoffkostenanstieg um 100 % für ICV haben den höchsten Einfluss auf die Auswahl von alternativen Antrieben. Den geringsten Einfluss haben die Anreize Ausbau der Ladeinfrastruktur und Erhebung einer separaten CO<sub>2</sub>-Steuer für ICV.

### 3.3.3 Verkehrsverhalten-spezifisches Modell

In diesem Kapitel wird das in Kapitel 3.2.6 dargestellte Verkehrsverhalten der Antwortpersonen in das Modell über verkehrsverhalten-spezifische Interaktionsvariablen integriert. Über die Bildung von verkehrsverhalten-homogenen Personengruppen kann gezeigt werden, dass die Anreizsysteme in sehr unterschiedlicher Effektivität die Personengruppen erreichen. Die Berechnung der Veränderungen der Auswahlwahrscheinlichkeiten von ZEV zeigt, dass vor allem Personen, die als Hauptverkehrsmittel einen Pkw angeben, geringes Interesse an ZEV haben, wogegen Personen, die eher den ÖPNV nutzen, sich deutlich häufiger für ZEV entscheiden würden.

Der Einfluss folgender verkehrsverhalten-spezifischer Merkmale soll auf die Auswahlwahrscheinlichkeit von alternativen Antrieben bestimmt werden. Folgende Aspekte werden anhand der Modellergebnisse beleuchtet:

1. die jährliche Fahrleistung,
2. der ÖPNV-Zeitkartenbesitz
3. die Nutzungshäufigkeit des Verkehrsmittels ÖPNV und
4. die Nutzungshäufigkeit des Verkehrsmittels Fahrrad.

Die unter 1. bis 4. genannten verkehrsverhalten-spezifischen Merkmale werden über die Bildung von Interaktionsvariablen in das Modell integriert. Die Bildung der Interaktionsvariablen erfolgt jeweils mit der Variable *altern* und der Variable für die *None-Option*<sup>132</sup>.

Koeffizientenschätzung

Tabelle 59 (Anhang 13) zeigt eine Übersicht der Variablen, ihrer Bezeichnung und die Werte, mit denen die Variablen belegt sind. Tabelle 60 zeigt die Ergebnisse des ML-3-Modells mit 1.000 Wiederholungen. Der Log-Likelihood-Test ergibt einen Wert von -6850,7. Der Likelihood-Ratio-Test ergibt 4393,2 bei neun Freiheitsgraden.

Die Ergebnisse zeigen:

---

<sup>132</sup> Anhand der Kreuzvariablen kann erklärt werden, ob die Person eher KEINE Alternative oder EINE ANDERE wählen würde.

1. Antwortpersonen mit einer jährlichen Fahrleistung von bis zu 15.000 km wählen signifikant häufiger ZEV als Personen, die mehr als 15.000 km im Jahr fahren ( $\beta = 0,3654$ ;  $z = 2,33$ ;  $P = 0,000$ ).
2. Die Wahrscheinlichkeit, dass ÖPNV-Zeitkartenbesitzer ZEV auswählen, ist größer als bei Personen ohne Zeitkarte ( $\beta = 0,6986$ ;  $z = 2,67$ ;  $P = 0,008$ ).

Hinsichtlich der Nutzungshäufigkeit unterschiedlicher Verkehrsmittel lassen sich folgende Aussagen treffen:

3. Die Wahrscheinlichkeit, dass Personen, die täglich das Fahrrad nutzen, ZEV wählen, ist signifikant höher, als bei Personen, die manchmal oder nie das Fahrrad nutzen ( $\beta = 1,2191$ ;  $z = 5,09$ ;  $P = 0,000$ ).
4. Ebenso ist die Wahrscheinlichkeit, dass Personen, die manchmal das Fahrrad nutzen, ZEV wählen, signifikant höher, als bei Personen, die nie das Fahrrad nutzen ( $\beta = 0,6228$ ;  $z = 3,34$ ;  $P = 0,001$ ).
5. Die Wahrscheinlichkeit, dass Personen, die täglich den öffentlichen Nahverkehr nutzen, ZEV wählen, ist signifikant höher, als bei Personen, die manchmal oder nie den ÖPNV nutzen ( $\beta = 1,0584$ ;  $z = 3,09$ ;  $P = 0,002$ ).
6. Ebenso ist die Wahrscheinlichkeit, dass Personen, die manchmal den ÖPNV nutzen, ein alternatives Auto wählen, signifikant höher, als bei Personen, die nie den ÖPNV nutzen ( $\beta = 0,6155$ ;  $z = 3,36$ ;  $P = 0,001$ ).

Effekte politischer Anreizsysteme auf  $P_{ZEV}$

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 3.3.1 gewählten alternativen-spezifischen Referenzgrößen, werden die Auswahlwahrscheinlichkeiten der jeweiligen Alternativen anhand der geschätzten Koeffizienten mit der Rechenvorschrift ( 14 ), S. 100 berechnet.

Die Vorgehensweise ist wieder ähnlich wie in Kapitel 3.3.2. Als politische Werkzeuge werden wieder dieselben Anreizsysteme mit denselben Ausprägungen betrachtet. Auch für diese Modellschätzungen werden zunächst verhaltenshomogene Personengruppen gebildet, die im Folgenden anhand ihres charakteristischen Verkehrsverhaltens beschrieben werden:

Auto-Affine (PG-A): Diese Personengruppe umfasst alle Antwortpersonen, die eine mittlere jährliche Fahrleistung über 15.000 km/ Jahr aufweisen und keine Zeitkarte für den öffentlichen Personennahverkehr besitzen. Sowohl das Fahrrad als auch der ÖPNV werden als alternative Verkehrsmittel nicht in Betracht gezogen. Der Pkw ist für diese Personengruppe das wichtigste Verkehrsmittel.

ÖV-Affine (PG-B): Diese Personengruppe bezeichnet Personen, die eine geringere jährliche Fahrleistung aufweisen (bis 15.000 km/ Jahr). Der öffentliche Nahverkehr ist für sie das wichtigste Transportmittel. Sie besitzen selbstverständlich eine ÖPNV-Zeitkarte. Diese Nutzergruppe ist sehr auf die Nutzung des ÖPNV fokussiert. Die Nutzung eines Fahrrades wird nicht in Betracht gezogen.

Multimodale - mit Auto-Affinität (PG-C): Die Multimodalen mit Auto-Affinität zeichnet aus, dass sie eine jährliche Fahrleistung wie die Auto-Affinen von über 15.000 km aufweisen. Jedoch wird sowohl das Fahrrad als auch der ÖPNV manchmal als Verkehrsmittel genutzt. Diese Gruppe besitzt keine ÖPNV-Zeitkarte. Das Auto stellt auch für diese Personengruppe das wichtigste Fortbewegungsmittel dar.

Multimodale - mit ÖV-Affinität (PG-D): Die Multimodalen mit ÖV-Affinität weisen eine jährliche Fahrleistung bis maximal 15.000 km/ Jahr auf. Bei dieser Gruppe spielt der ÖPNV als Fortbewegungsmittel die wichtigste Rolle. Der Besitz einer ÖPNV-Zeitkarte ist hier selbstverständlich. Während der ÖPNV täglich genutzt wird, dient das Fahrrad nur manchmal der Fortbewegung.

Als Referenzpersonengruppe dient Personengruppe A (PG-A). Eine tabellarische Übersicht der oben beschriebenen Personengruppen ist in Tabelle 41 dargestellt.

Tabelle 41: Übersicht der vier verkehrsverhalten-homogenen Personengruppen

Merkmal des Verkehrsverhaltens	PG-A* Auto-Affine	PG-B ÖV-Affine	PG-C Multimodale mit Auto-Affinität	PG-D Multimodale mit ÖV-Affinität
jährliche Pkw-Fahrleistung unter 15.000 km	0	1	0	1
jährliche Pkw-Fahrleistung über 15.000 km	1	0	1	0
ÖPNV-Ticketbesitz ja	0	1	0	1
ÖPNV-Ticketbesitz nein	1	0	1	0
Fahrradnutzung täglich	0	0	0	0
Fahrradnutzung manchmal	0	0	1	1
Fahrradnutzung nie	1	1	0	0
ÖPNV-Nutzung täglich	0	1	0	1
ÖPNV-Nutzung manchmal	0	0	1	0
ÖPNV-Nutzung nie	1	0	0	0
* Referenzgruppe				

Quelle: eigene Darstellung

Auch hier wurde bei der Festlegung der vier Personengruppen darauf Wert gelegt, dass möglichst das gesamte Vorliebensspektrum hinsichtlich der Antriebstechnologie abgebildet wird.

Folgende Auswirkungen ergeben die unterschiedlichen Anreizsysteme:

1a - Einmaliger Käufer-Zuschuss 5.000 EUR: Den größten Einfluss hat dieser Anreiz auf die Multimodalen mit ÖV-Affinität (PG-D) und die ÖV-Affinen (PG-B). In diesen Gruppen würde die Auswahlwahrscheinlichkeit von ZEV um 9,5 bzw. 8,9 Prozentpunkte steigen. Den kleinsten Einfluss hat der Anreiz auf die Auto-Affinen (PG-A). Hier steigt die Wahrscheinlichkeit um nur 2,4 Prozentpunkte.

1b - Einmaliger Käufer-Zuschuss 10.000 EUR: Mit einem so hohen Zuschuss kann die Auswahlwahrscheinlichkeit in den Gruppen PG-D und PG-B um rund 18,5 % erhöht werden. PG-A bildet auch hier wieder mit einer Veränderung von 5,8 Prozentpunkten das Schlusslicht.

2 - Separate CO<sub>2</sub>-Steuer für ICV von 500 EUR/ Jahr: Dieser Anreiz unterscheidet sich grundlegend von Anreiz 1. Da es den Käufer eines ZEV nicht belohnt, sondern den Fahrzeughalter eines ICV monetär bestraft. Die Auswirkungen sind im Gegensatz zu 1a und 1b auf einem niedrigeren Niveau und bewirken eine maximale Veränderung von 2,6 Prozentpunkten (PG-D). Hier Eine Überprüfung mit Steuerabgaben für ICV von mehreren Tausend Euro pro Jahr verändert das Ergebnis nur um ein paar Prozentpunkte. Auch hier zeigen sich die Auto-Affinen wieder am wenigsten beeindruckt.

3a - Kostenloses Parken für ZEV in parkraumbewirtschafteten Gebieten: Dieser Anreiz zeigt eine sehr ähnliche Wirkung wie Anreiz 2, jedoch auf einem etwas höherem Niveau.

3b - Kostenloses Parken für ZEV bei Erhöhung der Parkgebühren für ICV auf 5 EUR/ h in parkraumbewirtschafteten Gebieten: Die gleichzeitige Einführung von einer emissionsabhängigen Parkgebühr für verbrennungsmotorische Fahrzeuge zeigt ihren Einfluss und erhöht die Wahrscheinlichkeit zur Auswahl von ZEV um da 2,5-fache gegenüber 3a mit Ausnahme der Auto-Affinen, bei denen sich die Auswahlwahrscheinlichkeit verdreifacht.

4 - Erhöhung der Treibstoffkosten durch Steuererhöhung für ICV um 100 %: Die Erhöhung der Treibstoffkosten durch z. B. eine Erhöhung der Energiesteuer für flüssige Treibstoffe hat auf die Multimodalen mit ÖV-Affinität und die ÖV-Affinen wieder einen sehr viel stärkeren Effekt, als auf die Auto-Affinen oder auch die Multimodalen mit Auto-Affinität. Mit diesem Anreizsystem können

die zweithöchsten Veränderungen betrachtet über alle Personengruppen erreicht werden.

5 - Erhöhung des Ausbaugrades der Ladeinfrastruktur für BEV und PHEV, so dass nur noch max. eine Minute Gehzeit zur nächsten Ladesäule aufgewendet werden muss: Dieses Anreizsystem stellt nach 2) das schwächste Anreizsysteme dar. Auch hier reagieren die Personengruppen ohne eigenes Auto sehr viel stärker als die Gruppen mit Auto. Jedoch finden die Wahrscheinlichkeitsveränderung auf einem sehr niedrigen Niveau statt ( $\Delta_{\max} < 3,2 \%$ ).

Tabelle 42 zeigt eine Übersicht der eben dargestellten Auswahlveränderung von ZEV unter dem Einfluss der Anreizsysteme 1 bis 5.

Tabelle 42: Übersicht der Veränderung von PZEV je nach Anreizsystem (ML-3)

Personengruppe	PG-A	PG-B	PG-C	PG-D
Referenzszenario P <sub>ZEV</sub> * [%]	5,6	32,8	10,0	47,6
Veränderung P <sub>ZEV</sub> [%]				
1a) Zuschuss für ZEV: 5.000 €	+2,4	+8,9	+4,0	+9,5
1b) Zuschuss für ZEV: 10.000 €	+5,8	+18,5	+9,3	+18,6
2) CO <sub>2</sub> -Steuer für ICV: 500 €	+0,6	+2,3	+1,0	+2,6
3a) kostenloses Parken für ZEV	+1,5	+5,9	+2,6	+6,4
3b) kostenloses Parken für ZEV; 5 €/ h für ICV	+4,5	+15,1	+7,4	+15,5
4) Treibstoffkostenanstieg für ICV durch Steuer: 100 %	+5,2	+16,8	+8,5	+17,0
5) Ladeinfrastruktur: max. 1 min Gehzeit	+0,8	+3,2	+1,4	+3,6
* P <sub>ZEV</sub> : $\sum$ (BEV, PHEV, FCEV)				

Quelle: eigene Darstellung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass staatliche Anreizsysteme positiv auf die Kaufentscheidung von ZEV wirken können. Jedoch ist die Einflussstärke bei Personen, die kein eigenes Fahrzeug fahren, also momentan den Umweltverbund zur Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse nutzen, am stärksten reagieren. Um das Substitutionspotenzial von ZEV gegen konventionelle Fahrzeuge möglichst ausnutzen zu können, müssen weitere Maßnahmen getroffen werden. Diese werden im Folgenden diskutiert. Zunächst erfolgt die Spiegelung der Ergebnisse an den anfangs aufgestellten Hypothesen.

### 3.3.4 Hypothesenprüfung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Modellschätzungen und die Erkenntnisse der Erhebung reflektiert und die in Kapitel 2.2.2 aufgestellten Hypothesen überprüft beziehungsweise die Erkenntnisse der Untersuchungen hinsichtlich der aufgestellten Hypothesen dargestellt. Hypothese 1 und Hypothese 2 werden integriert beantwortet

Hypothese 1: Direkte einmalige Käuferzuschüsse begünstigen den Verkauf von alternativ angetriebenen Fahrzeugen.

Hypothese 2: Alternativ angetriebene Fahrzeuge sprechen Nutzergruppen an, die bislang kein eigenes Auto hatten.

Die Modellschätzungen zeigen eindeutig, dass Käuferzuschüsse die Auswahlwahrscheinlichkeit im Modell anheben. Es konnte gezeigt werden, dass die Einflussstärke auf die Auswahlwahrscheinlichkeit bei Zuschüssen von 10.000 EUR je nach soziodemographischem und -ökonomischem Hintergrund zwischen sechs und 19 Prozent schwanken können. Ein Zuschuss von 5.000 EUR halbiert die Auswahlwahrscheinlichkeit dementsprechend um etwa die Hälfte. Damit ist eine der wichtigsten Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit verbunden: Der positive Einfluss auf die Auswahlwahrscheinlichkeit von ZEV bei Zuschüssen zeigt sich vor allem bei den Personengruppen deutlich, die bislang nicht mit einem Pkw unterwegs waren. Dies betrifft die Gruppe der ÖV-Affinen und die Gruppe der Multimodalen mit ÖV-Affinität. Der Anstieg der Auswahlwahrscheinlichkeit bei den ÖV-Affinen ist mit rd. 8,9 % bei einem Zuschuss von 5.000 EUR rund 3,7-fach höher als bei den Auto-Affinen (2,4 %). Bei einem Zuschuss von 10.000 EUR beträgt der Unterschied noch das 3,2-fache. Bei den Multimodalen mit ÖV-Affinität steigt die Auswahlwahrscheinlichkeit (rd. 18,6 %) um genau um das Doppelte gegenüber den Multimodalen mit Auto-Affinität (9,3 %) an.

Das bedeutet, dass der Gesetzgeber mit einer ungesteuerten Subventionierung durch Käuferzuschüsse, das ökologische Ziel eines möglichst hohen Austausch der bestehenden konventionellen Pkw-Flotte verfehlen würde. Es besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass die Fahrzeugflotte durch Käufer, die sich bislang im Umweltverbund bewegen, weiter anwachsen würde. Die Folge wäre eine ansteigende Fahrleistung im MIV, ein höherer Ressourcen-Verbrauch sowie ein noch größerer Platzbedarf für weitere Fahrzeuge. Dies hätte zudem weitere

negative Auswirkungen auf die Straßenverkehrssicherheit, da ein erhöhtes MIV-Aufkommen meist mit einer Erhöhung der Verkehrsunfälle einhergeht.

Diese Erkenntnis lässt sich mit vergleichbaren Ergebnissen auf die anderen Anreizsysteme übertragen. Eine Erhöhung der Treibstoffkosten für Benzin und Diesel, die über die Energiesteuer realisiert werden kann, beeinflusst im Modell vor allem die ÖV-Affinen und die Multimodalen mit Auto-Affinität. Auch hier ist der Anstieg gegenüber den Auto-Affinen fast dreimal so hoch.

Die Einführung von emissions-abhängigen Parkraumbewirtschaftungstarifen (kostenloses Parken für ZEV; fünf Euro/Stunde für ICV) hat im Modell die größten Auswirkungen auf die Multimodalen mit ÖV-Affinität. Dieses Anreizsystem verursacht einen dreifachen Anstieg der Auswahlwahrscheinlichkeit bei den Multimodalen ohne Auto gegenüber den Auto-Affinen.

Zu Hypothese 1 lässt sich noch hinzufügen, dass die Auswahlwahrscheinlichkeit von ZEV zwar durch alle untersuchten Anreizsysteme anheben lässt. Die Auswirkungen der Anreizsysteme auf die Bevölkerung können jedoch personenspezifisch sehr unterschiedlich ausfallen.

Hypothese 3: Der Umweltaspekt ist beim Autokauf entscheidend.

Die Hypothese kann nicht eindeutig beantwortet werden, aber dennoch sind interessante Aussagen zum Umweltaspekt möglich. Anhand der entwickelten Modelle lässt sich zwar nicht eindeutig ablesen, dass generell allen Personen der Umweltaspekt beim Autokauf wichtig oder gar entscheidend ist. Es lässt sich jedoch sagen, dass den Personen, für die der Umweltschutz ein dringliches politisches Problem darstellt, eine signifikant höhere Auswahlwahrscheinlichkeit, beim Autokauf ein ZEV zu wählen, aufweisen, als Personen, für die der Umweltschutz nicht so wichtig ist. Der Vergleich der verschiedenen Personengruppen zeigt, dass dieses Merkmal einen sehr hohen Einfluss auf die Wahl der Antriebstechnologie hat. Aus diesem Zusammenhang lässt sich folgern, dass ZEV als ökologische bzw. grüne Fahrzeuge angesehen werden. Es ist davon auszugehen, dass durch weitere Schärfung des Umweltbewusstseins der Bevölkerung, noch mehr Menschen künftig ZEV kaufen würden.

Hypothese 4: Menschen, die Erfahrungen mit alternativ angetriebene Fahrzeugen gesammelt haben, tendieren stärker zur Wahl dieser Fahrzeuge.

Die Modellschätzungen zeigen, dass Personen, die schon Erfahrungen mit ZEV gesammelt haben, eine signifikant höhere Auswahlwahrscheinlichkeit von alternativ angetriebenen Fahrzeugen aufweisen, als Personen, die noch keine Erfahrungen mit ZEV besitzen. Diese Erkenntnis hat interessante Implikationen hinsichtlich der Vermarktung von ZEV. Hersteller und Händler sollten vermehrt versuchen, Personen in physischen Kontakt mit diesen Fahrzeugen zu bringen. Es besteht scheinbar eine Skepsis gegenüber alternativ angetriebenen Fahrzeugen, die durch erste Erfahrungen damit beseitigt werden könnten. Aus dieser Betrachtung heraus ist die Strategie potenzielle Kunden über Carsharing-Systeme (z. B. Flinkster, Multicity, car-to-go, etc.) mit alternativ betriebenen Fahrzeugen in Kontakt zu bringen, um bestehende Bedenken zu beseitigen, erfolgsversprechend.

Hypothese 5: Der Wohnstandort hat einen Einfluss auf die Auswahl der Antriebstechnologie.

Es konnte gezeigt werden, dass der Wohnstandort mit Einschränkungen einen Einfluss auf die Auswahlwahrscheinlichkeit der Antriebstechnologie hat. Die Einteilung der Metropolregion Hamburg in vier Raumtypen, die sich hinsichtlich ihrer Erreichbarkeiten von Orten des periodischen und aperiodischen Bedarfes sowie der infrastrukturellen Ausstattung (Straßen, ÖPNV, etc.) unterscheiden, ergab keine statistisch signifikanten Unterschiede. Erst eine Zusammenfassung der infrastrukturell sehr ähnlichen Umlandzentren mit der Hamburger Innenstadt ergibt signifikante Unterschiede bezüglich der Auswahlwahrscheinlichkeit bezogen auf die Antriebstechnologie. Die Koeffizienten-Schätzung ergibt einen signifikanten Unterschied zwischen innenstädtisch geprägten Gebieten (Raumtyp 1 + Raumtyp 4) und ländlich geprägten Gebieten (Raumtyp 3). So wählen Personen aus den ländlich geprägten Gebieten deutlich seltener ein ZEV in der Conjoint-Analyse als die Bewohner der Raumtyp 1 und 4. Zur Auswahlwahrscheinlichkeit hinsichtlich der Antriebstechnologie wurden über die Bewohner des Stadtrandgebietes keine signifikanten Ergebnisse gewonnen.

Wirft man den Blick auf die durchschnittliche Fahrleistung bezogen auf den Arbeitsweg, ist diese in der Stadt (60 km) um rd. 11 % größer als im Umland (53 km). Aus verkehrsplanerischer Sicht ist dies ein interessantes Ergebnis, da es erstrebenswert ist, konventionelle Fahrzeuge dort zu ersetzen, wo möglichst

viele Menschen durch Kfz-Emissionen betroffen sind. Des Weiteren möchte man die elektrische Reichweite möglichst ausnutzen, um einen möglichst hohen ökologischen Effekt zu generieren.

Hypothese 6: Die Abstellmöglichkeit des Pkw hat einen Einfluss auf die Wahl der Antriebstechnologie.

Die Abstellmöglichkeit wurde versucht in den Logit-Modellen zu berücksichtigen. Dafür wurde die Abstellmöglichkeit des Pkw in drei Kategorien unterteilt. Stellplatz auf eigenem Grundstück, gemieteter Stellplatz und Abstellmöglichkeit im öffentlichen Straßenraum (Laternenparker). Jedoch ergab sich in den Modellergebnissen kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der verschiedenen Abstellmöglichkeiten.

### 3.3.5 Zusammenfassung

Der Fokus dieses Kapitels stellt die Modellbildung der Kaufentscheidung hinsichtlich der Antriebstechnologie dar. Anhand der Modelle werden unterschiedliche politische Anreizsysteme und deren Einfluss auf die Kaufentscheidung untersucht. Es ist gelungen, sowohl soziodemographische und sozioökonomische Personenmerkmal als auch das Verkehrsverhalten der Antwortpersonen in die Modelle zu integrieren. Dabei stand im Vordergrund (verhaltens-) homogene Personengruppen zu bilden, um bewerten zu können, welche Auswirkungen die Anreizsysteme auf diese erzeugen. Es zeigt sich, dass der Einfluss eines Anreizsystems eine sehr unterschiedliche Effektstärke je nach Personengruppe bewirken kann. Als Wahlmodell dient ein Mixed-Logit-Modell. Folgende Anreizsysteme wurden untersucht:

- Einführung von direkten Kaufzuschüssen,
- Einführung von emissions-abhängigen Parkraumbewirtschaftungstarifen,
- Einführung einer separaten CO<sub>2</sub>-Steuer,
- Erhöhung der Treibstoffkosten für Benzin und Diesel über eine Erhöhung der Energiesteuer sowie
- Erhöhung der Verfügbarkeit von öffentlichen Ladestationen und H<sub>2</sub>-Tankstellen.

Die Berechnungen zeigen, dass alle Anreizsysteme positiv auf die Auswahlwahrscheinlichkeit von ZEV wirken. D.h. die Auswahlwahrscheinlichkeit erhöht sich bei der Einführung eines Anreizsystems. Es konnte gezeigt werden, dass bei ei-

ner aggregierten Betrachtung aller Antwortpersonen die die Einführung eines Kaufzuschusses von 10.000 EUR bei ZEV den höchsten Einfluss auf die Auswahlwahrscheinlichkeit hat. Fast ebenso großen Einfluss hat die Verdopplung der Spritpreise an der Tankstelle und die Einführung eines emissionsabhängigen Parkraumbewirtschaftungstarifes, der kostenloses Parken für ZEV und fünf Euro pro Stunde für ICV vorsieht.

Über die Integration von personenspezifischen Merkmalen konnten Personengruppen identifiziert werden, die eine größere Wahrscheinlichkeit aufweisen, sich bei einem Neuwagenkauf für ein alternativ betriebenes Fahrzeug zu entscheiden. Auch wurde bestimmt, unter welchen Rahmenbedingungen die Kaufbereitschaft begünstigt wird.

Die verkehrsverhalten-spezifischen Merkmale konnten ebenso in das Mixed-Logit-Modell per Interaktionsvariablen integriert werden. Unter Bildung von vier verkehrsverhalten-homogenen Personengruppen konnten die Effekte der Anreizsysteme zur Förderung von emissions-freien Fahrzeugen bestimmt werden.

Tatsächlich bestehen große Unterschiede in der Bevölkerung, was die Auswahlwahrscheinlichkeit eines ZEV beim Neuwagenkauf betrifft. Der Effekt einer politischen Maßnahme zwischen den Personengruppen ist teilweise sehr unterschiedlich und teilweise ähnlich.

Es wurde gezeigt, dass eine detaillierte Betrachtung vor Einführung von staatlichen Anreizsystemen durchzuführen ist, da die Gefahr besteht, dass genau die Personen erreicht werden, die man aus verkehrsplanerischer und aus ökologischer Sicht nicht erreichen möchte. Es wurde anhand der Modellergebnisse gezeigt, dass die ÖV-Affinen und Multimodalen ohne eigenen Pkw am stärksten auf die Anreizsysteme reagieren und bei der Kaufentscheidung stärker dazu neigen, sich für ein ZEV zu entscheiden. Der geringste Einfluss durch Anreize auf die Pkw-Kaufentscheidung wurde bei den Auto-Affinen festgestellt.

## 4 Handlungsempfehlungen und wissenschaftlicher Beitrag

In diesem Kapitel werden Handlungsempfehlungen für Politik, Kommunen und Wirtschaft aus den Modell-Ergebnissen abgeleitet und der wissenschaftliche Beitrag der vorliegenden Arbeit dargestellt. Nach einer kritischen Reflexion der methodischen Vorgehensweise, der Ergebnisse und deren Übertragbarkeit werden Ansätze zur Anschlussforschung dargestellt.

Die Handlungsempfehlungen wenden sich vorrangig an den Gesetzgeber und Kommunen, aber auch an Automobilhersteller und deren Händlernetzwerke sowie an Infrastrukturhersteller und -betreiber der Ladeinfrastruktur für ZEV. Die Interpretation der Modellergebnisse erlaubt aufgrund des großen Stichprobenumfangs, belastbare Aussagen zu Entscheidungstendenzen und Präferenzunterschiede in der Bevölkerung zu treffen. Die Handlungsempfehlungen sollen vor allem vermitteln, dass ein weiteres intensives Auseinandersetzen mit den Konsumenten notwendig ist, um eine zielgerichtete finanzpolitische und infrastrukturelle Förderung alternativer Antriebstechnologien betreiben zu können.

### 4.1 Handlungsempfehlungen an Politik und Wirtschaft

Abgeleitet aus den Hypothesen und den Erkenntnissen der Untersuchung werden nachfolgend Handlungsempfehlungen abgeleitet. Adressaten der Handlungsempfehlungen sind vorrangig der Gesetzgeber und Kommunen. Sie können den Transformationsprozess aktiv mitgestalten und durch ihre Aktivitäten, Genehmigungsvorgaben bzw. finanzielle Förderung beeinflussend eingreifen. Ebenso sind sie es, die flankierende Maßnahmen zu Anreizsystemen einleiten können. Es werden aber auch die Automobilhersteller und deren Händlernetz angesprochen, da diese für die Vermarktung von Zero Emission Vehicle maßgeblich verantwortlich sind. Zu guter Letzt werden auch die Infrastrukturersteller und -betreiber angesprochen, da sie das Stromnetz für die Zukunft aufbauen und die Ladeinfrastruktur bereitstellen werden, sowohl im öffentlichen Raum als auch auf privaten Grundstücken. Es hat sich ebenso gezeigt, dass die laufenden Betriebskosten für Energie (Treibstoff, Strom oder Wasserstoff) die Kaufentscheidung stark beeinflussen, sodass die Energieversorger ebenso lenkend mittels Tarifstrukturen auf die Diffusion von alternativ angetriebenen Fahrzeugen einwirken können.

## 1. Entwicklung eines gesamtstrategischen Anreizsystems zur Förderung von ZEV

Die Einzelbetrachtung der Anreizsysteme zeigt, dass jedes Anreizsystem verschieden hohen Einfluss auf die Kaufentscheidung bei unterschiedlichen Personengruppen ausübt. Dabei ist es egal, ob die Personengruppen anhand ihrer Soziodemographie unterschieden werden oder anhand des Verkehrsverhaltens. Dem Gesetzgeber und Kommunen wird daher empfohlen, sofern sie sich entscheiden weitere Anreizsysteme für Privatkunden zur Förderung von ZEV einzuführen, eine gut abgestimmte Gesamtstrategie zu entwickeln. Dafür sollte ein sorgfältiges Abwägen der verschiedenen Anreizsysteme unter Berücksichtigung deren Auswirkungen auf die Auswahlentscheidung auf unterschiedliche Personengruppen im Vorfeld erfolgen.

Zur Entwicklung einer Gesamtstrategie, die die Einführung von mehreren Anreizsystemen gleichzeitig oder sukzessive vorsieht, sind vorab die Wechselwirkungen der vorgestellten Anreizsysteme zu untersuchen. Es ist vorstellbar, dass die gegenseitige Beeinflussung der unterschiedlichen Anreize wiederum sehr unterschiedliche Effektstärken auf die Kaufentscheidung bewirken kann. Dieser Schritt konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht geleistet werden.

## 2. Anreizsysteme müssen priorisiert werden

Mit Blick auf die Ergebnisse der Modellschätzungen unter dem Einfluss von finanziellen und infrastrukturellen Anreizsystemen wird empfohlen, eine Priorisierung der Anreizsysteme vorzunehmen. Dies macht zum einen Sinn bei der Entwicklung einer Gesamtstrategie als auch bei der Betrachtung der Einzelmaßnahmen. Eine Priorisierung ist vor allem mit Blick auf die Ergebnisse des verkehrsverhalten-spezifischen Modells möglich. Im Hinblick auf die unterschiedliche Beeinflussung der vier verkehrsverhalten-homogenen Personengruppen ist aus verkehrsplanerischer und ökologischer Sicht darauf zu achten, dass möglichst die Auto-Affinen am stärksten von den Anreizen positiv beeinflusst werden und die ÖV-Affinen am schwächsten. In der Reihenfolge nach den Auto-Affinen sollten die Multimodalen mit Auto-Affinität und dann die Multimodalen mit ÖV-Affinität beeinflusst werden.

Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen zeigt die Einführung eines Käuferzuschusses bei Kauf eines ZEV zwar den größten Effekt jedoch ist dieser sehr stark von der Höhe des Zuschusses abhängig. Es wurden Zuschüsse in Höhe von 5.000 und 10.000 EUR untersucht. Der Zuschuss in Höhe von 10.000 EUR zeigt nur einen gering stärkeren Effekt als die Einführung einer innerstädtischen

Parkraumbewirtschaftung oder dem Anheben der Treibstoffkosten. Trotz etwas geringerem Effekt wird empfohlen eine Parkraumbewirtschaftung in Stadtgebieten einzuführen, da hier die Betroffenheit durch lokale Emissionen am höchsten ist. Eine Parkraumbewirtschaftung müsste ein emissionsabhängiges Tarifsystem beinhalten, das während der Transformationsphase ein kostenloses Abstellen für ZEV und hohe Parkgebühren für emissionsstarke Fahrzeuge vorsieht.

Ein Indiz dafür, dass diese Strategie funktionieren würde, stellen die Registrierungsdaten von car2go in der italienischen Stadt Mailand dar. Hier registrierten sich nach Einführung des Free-Floating-Carsharing-Systems innerhalb von zehn Monaten 4 % der Stadtbevölkerung (Der Anteil der Fahrberechtigten ist demnach noch viel höher). „Vor allem die Möglichkeit, mit dem car2go in den mautpflichtigen Innenstadtbereich zu fahren und die Fahrzeuge bei Mietende auf allen öffentlichen Parkflächen abstellen zu können, führen zu begeisternden Kundenreaktionen.“ (car2go 2014). Im Zuge einer Erwägung zur Einführung einer flächendeckenden Parkraumbewirtschaftungszone sollte auch über die Einführung einer City-Maut nachgedacht werden (Beispiel hierfür: Mailand, London, Stockholm).

In der Priorisierung an zweiter Stelle ist die Anhebung der Treibstoffkosten über die Energie-Steuern zu nennen. Hiermit wird eine raumstrukturunabhängige Förderung von ZEV erreicht und Emissionsverursacher stärker bestraft (Verursacherprinzip). Das gewählte Beispiel, das eine Anhebung um 100 % vorsieht, ist evtl. etwas zu hoch gewählt, dennoch ist zu erwarten, dass sich die Interdependenzen zwischen den Personengruppen in ähnlichen Größenordnungen abspielen werden. Die Erhöhung der Treibstoffpreise sorgt in der Bevölkerung stets für große Diskussionen und Missmut. Für die Politik ist dies eine gewagte Maßnahme hinsichtlich der Wählerstimmen. Dennoch wird aufgrund der Modellergebnisse dieses scheinbar effektvolle Anreizsystem empfohlen.

An dritter Stelle wird die Vergabe von Käuferzuschüssen empfohlen. Die Modellergebnisse zeigen hohe Effekte bei allen Personengruppen. Bei der Betrachtung der verkehrsverhalten-homogenen Personengruppen zeigen auch hier die Multi-modalen ohne Pkw und die ÖV-Affinen die größten Veränderungen in der Auswahlwahrscheinlichkeit von ZEV. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Effektstärke stark von der Höhe des Zuschusses abhängt. Die Effektstärkenunterschiede zwischen den vier Personengruppen variiert jedoch auf gleichem Niveau. Diese Maßnahme sollte selbstverständlich zunächst auf ein limitiertes Budget gedeckelt werden (vgl. Umweltprämie). Flankierend sollte hier eine wissenschaftliche Evaluierung durchgeführt werden, um ein detailliertes Bild der Käuferschaft und deren Merkmale zu gewinnen und ggf. Maßnahmen anzupassen.

Als nächstes wird die Einführung einer separaten CO<sub>2</sub>-Steuer für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor empfohlen. Diese sollte explizit separat ausgewiesen werden, um für dieses Thema noch stärker zu sensibilisieren bzw. die Wahrnehmung der finanziellen Vorteile eines emissionsarmen Fahrzeugs zu schärfen. Die Kfz-Steuer ist auch jetzt schon CO<sub>2</sub>-abhängig gestaffelt, dennoch wird dies nur bei einer detaillierteren Betrachtung der Kfz-Steuergesetzgebung deutlich.

Als letztes wird der weitere Ausbau von öffentlichen Ladesäulen empfohlen. Der Anreiz zeigt nur sehr geringe Auswirkungen auf die Auswahlwahrscheinlichkeit von ZEV, selbst wenn die maximale fußläufige Erreichbarkeit der nächsten Ladesäule auf eine Minute gesenkt werden kann. Die Recherchen und Gespräche, die im Rahmen dieser Arbeit geführt wurden, zeichnen ein ambivalentes Bild zu diesem Thema. Erste Flottenversuche haben gezeigt, dass Ladesäulen im öffentlichen Bereich von Privatnutzern kaum genutzt werden. Der Genehmigungsprozess ist zeitaufwendig, die Erstellung und der Betrieb kostenintensiv und der Bedarf an öffentlicher Fläche für Ladesäule und Stellplatz ist hoch. Zudem kommt in der angesprochenen Übergangszeit eine sehr geringe Auslastung der Ladestationen, die eine Rentabilität fast unmöglich machen. Dennoch sind im Hinblick auf eCarsharing-Angebote öffentlich zugängliche Ladesäulen unabdingbar. Da die öffentliche Hand bei Tankstellen auch nicht in Vorleistung geht, um deren Erstellung und Betrieb zu subventionieren, sollte darüber nachgedacht werden, ob man nicht noch stärker Ladebereiche im halböffentlichen Raum, also auf Privatgrundstücken von Unternehmen finden und fördern möchte, die für die Allgemeinheit frei zugänglich sind.

Zusammenfassend ergibt sich folgende Prioritätenliste:

- a. Einführung eines emissionsabhängigen Parkraumbewirtschaftungssystems
- b. Treibstoffpreisanhebung durch Energiesteuererhöhung
- c. Einführung von direkten Käuferzuschüssen beim Kauf von ZEV
- d. Einführung einer separaten CO<sub>2</sub>-Steuer für Diesel- und Ottomotoren
- e. Erhöhung des Ausbaugrad der Ladeinfrastruktur für Elektroautos im halböffentlichen Raum.

### 3. Entwicklung von multimodalitätsfördernden Autostromtarifen

Das Anreizsystem, das am stärksten Fahrer und Fahrerinnen von konventionellen Fahrzeugen anspricht, stellt eine empfindliche Erhöhung des Treibstoffpreises von Benzin und Diesel dar. Die Höhe des Treibstoffpreises kann durch den Gesetzgeber anhand der Energiesteuer zu einem Großteil geregelt werden. Entscheidet sich der Gesetzgeber an dieser Stelle die Treibstoffkosten weiter anzuheben, dann muss parallel auch dafür gesorgt werden, dass der Autostrom deutlich günstiger bleibt. Eine parallele Anhebung der Autostromkosten über die Energiesteuer würde diesen Finanzhebel kannibalisieren. Mit Blick auf die Modellergebnisse wird deutlich, dass dieses Anreizsystem den größten Einfluss auf die Personengruppe der Multimodalen ohne eigenen Pkw hat. Es ist also nicht nur darauf zu achten, dass der Autostrompreis generell zunächst niedrig bleibt, sondern auch, dass personenspezifische Tarifsysteme für Multimodale angeboten werden, die die Multimodalität fördern und nicht eine ungezügelter Pkw-Nutzung. Hierzu ist eine intensive Erforschung des Verkehrsverhaltens von multimodalen Personen mit und ohne eigenes Auto notwendig. Anhand der Kenntnis der Mobilitätsmuster hinsichtlich der Verkehrsmittelnutzung, Wegelängen und -ketten im zeitlichen Verlauf ist zu erforschen, ob darauf angepasste Stromtarife entwickelt werden können, die die Verwendung multipler Verkehrsmittel eher fördern, als ein komplettes Umsteigen auf ZEV begünstigen.

### 4. Flankierende Maßnahmen bei der Vergabe von Zuschüssen und anderen Anreizen

Es konnte gezeigt werden, dass die Vergabe von Käuferzuschüssen mit hoher Wahrscheinlichkeit eher Personengruppen beeinflusst, die derzeit mit dem Umweltverbund oder Multimodal (ohne eigenem Pkw) ihr Mobilitätsbedürfnis befriedigen. Dies hätte mehrere negative Folgen: Aus ökologischer Sicht würden mehr Personenkilometer mit einem Pkw durchgeführt, was wiederum einen höheren Energieverbrauch und einen größeren Emissionseintrag bedeuten würde. Des Weiteren würden mehr Autos verkauft werden, was hinsichtlich einer Ressourcenschonung kontraproduktiv ist. Zusätzlich besteht ein größerer Platzbedarf im Straßenraum zur Abwicklung des Verkehrs sowie zum Abstellen der Fahrzeuge. Zudem sinkt bewiesenermaßen die Sicherheit im Straßenverkehr, wenn Verkehrsaufkommen bzw. Fahrleistung im MIV zunimmt.

Aus diesen Überlegungen heraus sind bei der Einführung dieses Anreizsystems flankierende Maßnahmen zu berücksichtigen. Diese Maßnahmen sollten auf die Nutzer des Umweltverbundes abgestimmt sein und Anreize anbieten, die ein

„Umsteigen“ möglichst unattraktiv machen. Wird dies bei Einführung von Zuschüssen versäumt, besteht durchaus eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass man Steuergelder für den Kauf eines ZEV für Personen bereitstellt, die bislang nicht mit einem eigenen Pkw unterwegs waren. Das Austauschpotential von emissionsstarken Fahrzeugen wird dann möglicherweise nicht voll ausgenutzt. Gerade bei beschränkten finanziellen Mitteln, sollte auf einen effektiven Einsatz von Steuergeldern geachtet werden. Es ist anzustreben möglichst die Personen zu erreichen, die Fahrzeuge mit hohem Verbrauch bzw. hohen Emissionswerten fahren. Bei Kenntnis der hypothetischen Kaufentscheidung von ZEV dieser Personen, könnten Maßnahmen gezielt auf diese Personen ausrichten. An dieser Stelle wird weiterer Forschungsbedarf gesehen: Die integrierte Messung der Präferenzen dieser Personen hinsichtlich der Kaufentscheidung von alternativen Fahrzeugen ist besonders interessant, um das Substitutionspotenzial möglichst ausschöpfen zu können.

Das oben Genannte gilt auch für die anderen Anreizsysteme, die einen geringen Einfluss auf die Auto-Affinen und einen großen Einfluss auf die Nutzer des Umweltverbundes haben.

##### 5. Probefahrten und Ausbau des eCarsharing-Angebots

Anhand der Erkenntnis, dass sich die Auswahlwahrscheinlichkeit von ZEV deutlich erhöht, wenn Erfahrungen mit diesen Fahrzeugen gemacht wurden, wird empfohlen, noch stärker Berührungsängste und evtl. bestehende Skepsis gegenüber ZEV abzubauen. So kann der Gesetzgeber sowie Kommunen zum einen als Vorbild und Vorreiter fungieren und bei der Fahrzeugbeschaffung vorrangig ZEV ankaufen bzw. leasen. Auf der anderen Seite können auch bundesweite Aufklärungs-Kampagnen zum Abbau von Vorurteilen zu Nutzungseinschränkungen durchgeführt werden. Automobilhersteller und Autohändler sollten zudem vermehrt Energie aufwenden, um den Menschen einen ersten Kontakt sowie erste Fahrerfahrungen zu ermöglichen. Da Frauen gegenüber den neuen Technologien reservierter gegenüberstehen als Männer, sollten Kampagnen und Probefahrt-Aktionen stärker Frauen ansprechen, um Skepsis, Vorurteile und Ängste abzubauen.

Die Möglichkeit über eCarsharing-Angebote ein Elektroauto in Ruhe ausgiebig testen zu können, stellt für die Förderung von ZEV einen wichtigen Beitrag dar. Im Positionspapier des Bundesverbands CarSharing e.V. ist zu lesen, dass Elektroautos generell von Carsharing-Unternehmen aufgrund ihrer ökologischen

Bewertung bei Verwendung von Ökostrom und der günstigen Betriebskosten begrüßt werden. „CarSharing [sic] und Elektromobilität passen gut zusammen“ (Bundesverband CarSharing 2012, S. 2). Jedoch sind derzeit Elektroautos aufgrund der hohen Anschaffungskosten zusammen mit der geringeren Auslastungsfähigkeit wegen langer Ladedauern nicht wirtschaftlich in die Flotte integrierbar. Momentan ist dies nur mit der Zuhilfenahme von Fördergeldern möglich.

#### 6. Berücksichtigung des Wohnstandortes bei der Förderung von ZEV

Die Modellergebnisse haben gezeigt, dass Personen in ländlich geprägter Umgebung eher weniger bereit sind, ein ZEV auszuwählen. Weitere Auswertungen haben gezeigt, dass die Antwortpersonen in der Innenstadt und aus den Umlandzentren einen rund sieben Kilometer längeren Arbeitsweg haben als die Landbewohner. Grundsätzlich ist dies eine positive Entwicklung, da innerhalb von Ballungsräumen mehr Menschen von Pkw-Emissionen betroffen sind und das Austauschpotential von konventioneller Fahrleistung gegen elektrische Fahrleistung sollte möglichst hoch sein. Dennoch stellen auch die Fahrzeuge, die in ländlich geprägten Regionen genutzt werden, ein Potenzial dar. Anhand von Maßnahmen, die auf Pkw-Fahrer und -Fahrerinnen im ländlichen Raum abzielen, sollte die Bereitschaft, ein alternativ betriebenes Fahrzeug beim nächsten Pkw-Kauf in Betracht zu ziehen, erhöht werden.

## 4.2 Übertragbarkeit der Ergebnisse

Die Frage, ob die Modellergebnisse und die Erkenntnisse dieser Arbeit auf die Realität übertragbar sind, ist berechtigt. Die vorgestellten Ergebnisse basieren auf einem Bevölkerungsausschnitt der Metropolregion Hamburg von knapp 1.000 Menschen. Es wurde gezeigt, dass das Sample die Bevölkerungsstruktur der Metropolregion hinsichtlich der Verteilung des Wohnortes und der sozioökonomischen und soziodemographischen Personenmerkmale gut abbildet. Eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bei einer Wiederholung des Experiments sollte dadurch gegeben sein.

In der Diskussion zur Übertragbarkeit der Ergebnisse der Conjoint-Analyse, bei der jede Antwortperson in acht hypothetischen Kaufentscheidungssituationen aus drei Fahrzeugkonzepten eines auswählen sollten, ist folgendes zu beachten: Die Auswahl der Methode, der Anreizsysteme und der Ausprägungen für die Erstellung der Auswahlsituation erfolgte auf der Grundlage einer intensi-

ven Literaturrecherche mit anschließender Prüfung der Ergebnisse anhand von Experteninterviews.

Da die Antwortpersonen durch die Beantwortung der Fragen keine finanziellen oder sonstige Konsequenzen zu erwarten hatten, wie es normalerweise beim Kauf eines Produktes gegeben ist, konnten die Personen frei nach ihren Vorlieben und Vorstellungen antworten. Die Auswahl der conjointanalytischen Elemente, der Erhebungs- und Auswertungsmethode erfolgte stets auf intensiven Recherchen und nach bestem Gewissen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die finanzielle Einschränkung gerade beim Pkw-Kauf in der Realität oft groß ist. Ein etwas verzerrtes Bild in Richtung „Wunschvorstellung“ ist nicht auszuschließen. Dennoch: Die Auswertungen erfolgten anhand der Bewertung von 28.000 choice sets in 7.000 Auswahl-situationen durch 875 Personen. Aufgrund der großen Anzahl an Auswahl-situationen und der statistisch signifikanten Modellschätzungen werden die Ergebnisse als valide eingeschätzt.

Die Methode der Conjoint-Analyse stellt in verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen wie dem Marketing, der Psychologie, der Ökonomie und der Verkehrswissenschaft eine anerkannte Methode zur Erfassung der Nutzerpräferenzen dar. Der Forscher ist stets vor die Entscheidung gestellt eine Revealed Preference Analyse bzw. Befragung anhand von tatsächlich getroffenen Entscheidungen durchzuführen oder eine Stated-Preference-Befragung zu hypothetischen Märkten. Anhand von Revealed Preference Befragungen ist es nicht möglich, Konsumentenentscheidungen vor dem Hintergrund noch nicht existierender Produkte oder Situation abzubilden. Die Stated-Preference-Methode wird trotz ihrer Unsicherheiten zur Beantwortung der Forschungsfrage als geeignet angesehen.

Die Handlungsempfehlungen wurden anhand der Modellschätzungen abgeleitet. Die Modellschätzungen bilden einen zeitlich begrenzten Meinungs-Ausschnitt der Metropolbevölkerung ab, unter den vorgegebenen Rahmenbedingungen. Dennoch sind Tendenzen und vor allem die Unterschiede zwischen den Personengruppen klar zu erkennen. Die Handlungsempfehlungen sollen erste Hinweise an Entscheidungsträger geben. Es ist jedoch zwingend notwendig die Forschungsarbeit auf diesem Gebiet weiter voranzutreiben, um abschließend maßgeschneiderte personenspezifische Fördermaßnahmen anbieten zu können, die genau die Effekte bewirken, die gewünscht sind. Trotz maßgeschneidertere Fördermaßnahmen ist eine diskriminierungsfreie Förderung zu gewährleisten.

Die räumliche Abgrenzung bei der Erhebung auf die Metropolregion Hamburg ist bei einem Transfer auf andere Regionen bzw. auf die gesamte BRD zu be-

rücksichtigen. Der Vergleich zwischen Sample und der Bevölkerungsstruktur der BRD (vgl. Kapitel 3.2.4, S. 151) zeigt, dass nur geringe Abweichungen bestehen. Der Vergleich des Subsamples, das zur Modellschätzung verwendet werden konnte, zeigt, dass hier Einkommensstarke etwas überrepräsentiert und Haushalte ohne Fahrzeuge unterrepräsentiert sind. Bei der Auswahl der Stichprobe wurde überlegt, ob die Stichprobe eher die Bevölkerung der BRD oder die Bevölkerung der Metropolregion abbilden soll. Aufgrund der beschränkten Möglichkeiten ein größeres Sample aus allen Teilen der BRD zu befragen, wurde sich für letzteres entschieden. Bei weiteren Untersuchungen zu diesem Thema wird empfohlen, eine deutschlandweite Untersuchung anzulegen, um noch besser eine generelle Übertragbarkeit rechtfertigen zu können.

### 4.3 Beitrag der Arbeit

Vor dem Hintergrund der dieser Arbeit zugrunde liegenden Forschungsfrage nach der Beeinflussbarkeit der Kaufentscheidung von alternativ betriebenen Fahrzeugen durch finanzielle und infrastrukturelle Anreizsysteme liefert die vorliegende Arbeit in unterschiedlichen Bereichen ihren Beitrag:

1. Sie liefert einen Beitrag zur politischen und wissenschaftlichen Debatte zur Förderung der Elektromobilität und alternativer Antriebstechnologien.
2. Basierend auf den Modellergebnissen einer repräsentativen Umfrage für die Metropolregion Hamburg wurden Handlungsempfehlungen für den zielgerichteten Mitteleinsatz zur Förderung von alternativen Antrieben abgeleitet.
3. Im Rahmen der Arbeit wurde umfassend das hypothetische Kaufverhalten einer repräsentativen Stichprobe der Metropolregion Hamburg bezüglich alternativer Antriebstechnologien sowie der Bestimmung des Einflusses unterschiedlicher Anreizsysteme auf verhaltenshomogene Personengruppen erfasst.
4. Die Arbeit liefert methodisch einen Beitrag zu Modellbildung und Analysemöglichkeiten von Discrete-Choice-Experimenten unter Berücksichtigung von sozioökonomischen und soziogeographischen Personenmerkmalen sowie verhaltensspezifischen Merkmalen. Zudem werden die Effektstärken unterschiedlicher Anreize bestimmt.

### 4.3.1 Beitrag zur politischen und wissenschaftlichen Debatte zur Förderung der Elektromobilität und alternativer Antriebstechnologien

Wie anfangs gezeigt wurde, unterstützen mittlerweile fast alle großen Industriestaaten die Erforschung und Weiterentwicklung von alternativen Antriebstechnologien, um eine Transformation des Verkehrssektors, der zu fast 100 % vom Erdöl abhängt, anzubahnen. Elektrische und wasserstoffbetriebene Motoren spielen bei dieser Transformation eine entscheidende Rolle, da beide Energieträger durch regenerative Energieerzeugnisse gespeist werden können. Es wurde dargelegt, dass die Industriestaaten bei der Förderpolitik unterschiedliche Ansätze verfolgen. Während die deutsche Bundesregierung hauptsächlich die Industrie und Wissenschaft durch Fördergelder für Forschung und Entwicklung unterstützt, wenden sich andere Staaten wie Frankreich und die USA direkt an den Konsumenten und subventionieren den Kauf eines Zero Emission Vehicles (ZEV). Dänemark und Norwegen erlassen Käufern von ZEV die Neuwagen- und die Mehrwertsteuer, die einen großen Teil der Anschaffungskosten ausmachen und China gibt den Herstellern für jedes verkaufte ZEV eine Geldsumme, die wiederum an den Kunden weitergegeben wird.

Es zeigt sich, dass in Ländern, wo die Käuferschaft eines ZEV extrem hohe Kostenvorteile gegenüber dem Kauf eines konventionellen Fahrzeugs vom Gesetzgeber eingeräumt bekommt, die Absatzzahlen sprunghaft ansteigen. Als Beispiele wurden der Bundesstaat Kalifornien, Dänemark und Norwegen genannt, die mit sehr hohen Förderquoten die Marktdurchdringung unterstützen.

Die Bundesregierung verfolgt mit ihrer Förderungsstrategie der Elektromobilität und alternativer Antriebe unter anderem die Ziele ‚Schaffung von Alternativen zum „fossilen“ MIV‘, ‚Senkung der MIV-verursachten Emissionen‘, ‚Stärkung der deutschen Automobilindustrie‘ sowie die ‚Unterstützung der Energiewende‘. Im Hinblick auf das erste Ziel ist die Industrie auf einem guten Weg. Die Fahrzeuge haben ihr Einsatzpotenzial im Rahmen der Modellregionen beweisen können (BMVBS 2011, S. 19). Auch dem zweiten Ziel wird mit ZEV Rechnung getragen. Zumindest die Reduzierung von lokalen Emissionen kann durch ZEV gesenkt werden. Bis die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch eine ökologischere Kraftwerkszusammensetzung weiter gesenkt werden können, werden wohl noch viele Jahre vergehen.

Im Hinblick auf das dritte Ziel - Stärkung der deutschen Automobilindustrie - legt die vorliegende Arbeit offen, dass alle fünf untersuchten Anreizsysteme auf alle Personengruppen eine positive Wirkung hinsichtlich der Auswahlwahr-

scheinlichkeit eines alternativ angetriebenen Fahrzeugs ausüben. Gleichwohl ist zu bemerken, dass sowohl die Effektstärken der unterschiedlichen Anreizsysteme unterschiedlich hoch sind, als auch dass die Effektstärke eines Anreizsystems bei verschiedenen Personengruppen einen unterschiedlich hohen Einfluss zeigt. Die Integration des Verkehrsverhaltens bei der Modellierung der Kaufentscheidung und die Betrachtung von verkehrsverhalten-homogenen Personengruppen und deren Reaktionen auf die Anreizsysteme zeigen ein ernst zu nehmendes Bild, welches durch die verkehrlichen und ökologischen Effekte einer wahllosen flächendeckenden staatlichen Förderung von ZEV verursacht werden könnte. Zwar würde die Automobilbranche zweifelsohne durch Mehrverkäufe gestärkt werden, dennoch würde dann das zweite Ziel - Senkung der verkehrsbedingten Emissionen - konterkariert werden. Vor allem den Umweltverbund nutzende Personen (ÖV-Affine) und Multimodale ohne eigenen Pkw zeigen eine hohe Beeinflussbarkeit auf deren Kaufentscheidung hinsichtlich alternativ betriebener Fahrzeuge. Das Ziel, gerade emissionsstarke Fahrzeuge mit Diesel- oder Ottomotor gegen ZEV auszutauschen, würde weitestgehend verfehlt. Die aktuelle Debatte zeigt, dass die Bundesregierung neue Förderstrategien vorbereitet. Eine umfassende Förderstrategie fehlt aber noch. Es ist von einem „Sammelsurium von Einzelmaßnahmen“ die Rede (Der Tagesspiegel 2014).

Gerade die Debatte um Käuferzuschüsse ist in der Bundesregierung jüngst wieder auf die Agenda gerutscht. Die vorliegende Arbeit möchte dafür sensibilisieren, dass eine ziellose Vergabe von Käuferzuschüssen oder auch anderen Maßnahmen zur Förderung von ZEV zwar dem politischen Mantra von 1.000.000 Elektroautos bis 2020 auf deutsche Straßen zu bringen, einen großen Schritt näher bringen würde. Die eigentlichen ökologischen Ziele, nämlich die Verbesserung der Qualität in den Städten und die Ressourceneinsparung, würden durch den Umstieg von ÖV-Affinen und Multimodalen, die stärker als Pkw-Halter auf die Anreizsysteme reagieren, verfehlt werden. Die absolute Fahrleistung im MIV und die damit verbundenen Emissionen sowie der Platzbedarf für Pkw würde den Modellergebnissen zufolge steigen.

#### **4.3.2 Handlungsempfehlungen für den zielgerichteten Miteinsatz bei Fördermaßnahmen zur Förderung von alternativen Antrieben**

Ferner leistet die vorliegende Arbeit einen Beitrag in der konkreten Formulierung von Handlungsempfehlungen sowie einer Priorisierung der untersuchten Anreizsysteme. Die Handlungsempfehlungen konnten aufgrund der Modeller-

gebnisse abgeleitet werden und fußen auf einem wissenschaftlich begründeten Fundament. Folgende Handlungsempfehlungen wurden formuliert (vgl. Kapitel 4.1):

1. Entwicklung eines gesamtstrategischen Anreizsystems zur Förderung von ZEV
2. Anreizsysteme müssen priorisieren werden
3. Entwicklung von multimodalitätsfördernden Autostromtarifen
4. Flankierende Maßnahmen bei der Vergabe von Zuschüssen und anderen Anreizen
5. Probefahrten und Ausbau des eCarsharing-Angebotes
6. Berücksichtigung des Wohnstandortes bei der Förderung von ZEV

Des Weiteren wurde im Rahmen der Entwicklung von Handlungsempfehlung 2 die untersuchten Anreizsysteme anhand der Modellergebnisse priorisiert. Bei der Priorisierung stand im Vordergrund, möglichst die Anreizsysteme zu priorisieren, bei denen die Effektunterschiede des Anreizes auf die Auswahlwahrscheinlichkeit von alternativ betriebenen Fahrzeugen zwischen Auto-Affinen und ÖV-Affinen am geringsten ist. Folgende Rangreihung wurde ermittelt:

- a. Einführung eines emissionsabhängigen Parkraumbewirtschaftungssystems
- b. Treibstoffpreisanhebung durch Energiesteuererhöhung
- c. Einführung von direkten Käuferzuschüssen beim Kauf von ZEV
- d. Einführung einer separaten CO<sub>2</sub>-Steuer für Diesel- und Ottomotoren
- e. Ausbaugrad der Ladeinfrastruktur für Elektroautos.

Im Rahmen dieser Arbeit konnten die Wechselwirkungen zwischen den Anreizsystemen nicht weiter untersucht werden. Diese sind jedoch zu erwarten. Bei der Entwicklung einer Gesamtstrategie zur Förderung von ZEV ist es zwingend notwendig, sofern mehrere Anreizsysteme gleichzeitig eingeführt werden, die Wechselwirkungen der Anreizsysteme auf unterschiedliche Personen zu untersuchen.

### 4.3.3 Erfassung des hypothetischen Kaufverhaltens einer repräsentativen Stichprobe der Metropolregion Hamburg bezüglich alternativer Antriebstechnologien

Im Rahmen der Arbeit wurde das hypothetische Kaufverhalten der Bevölkerung der Metropolregion Hamburg hinsichtlich der Antriebstechnologie vor dem Hintergrund unterschiedlicher Preisgestaltung und Finanzierungskonzepten erfasst. Es konnte ein umfassendes Bild der Pkw-Kaufentscheidungen zu alternativen Antrieben sowie der Reaktionen auf Anreizsysteme gewonnen werden. Grundsätzlich hat sich gezeigt, dass bei einer Betrachtung des aggregierten Bevölkerungsausschnitts Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor bevorzugt werden. Die Betrachtung unterschiedlicher Personengruppen zeigt ein ganz anderes Bild. Es bestehen teilweise gravierende Unterschiede in den Präferenzen zur Antriebstechnologie des Pkw.

Interessanterweise konnte kein signifikanter Unterschied bei der Unterscheidung des Pro-Kopf-Einkommens festgestellt werden. Dennoch bestehen Unterschiede bei der Auswahlwahrscheinlichkeit von ZEV bezüglich des Geschlechts, des Alters und des Bildungsniveaus. Zusätzlich konnten signifikante Unterschiede bezüglich des Wohnstandortes und der Einstellung zum Umweltschutz gewonnen werden. Zudem entscheiden sich Personen, die schon Erfahrungen mit ZEV gesammelt haben, bei der Kaufentscheidung mit größerer Wahrscheinlichkeit für ZEV als Personen, die noch nicht mit ZEV in Kontakt gekommen sind.

### 4.3.4 Beitrag zu Modellbildung und Analysemöglichkeiten von Discrete-Choice-Experimenten

Zentrales Element der vorliegenden Arbeit stellen die Modellergebnisse des Discrete-Choice-Experiments zum hypothetischen Kaufverhalten der Antwortpersonen dar. Inhaltlich wurden drei verschiedene Modelle entwickelt. Als Wahlmodell wurden sowohl ein Sonderfall des Multinomial-Logit-Modells, das Conditional-Logit-Modell (*fixed parameter logit model*) verwendet, als auch das Mixed-Logit-Modell (*random parameter logit model*). Die Modelle haben unterschiedliche Vor- und Nachteile, die in Kapitel 2.4 diskutiert wurden. Aufgrund der flexiblen Einsatzmöglichkeiten des Mixed-Logit-Modells wie z.B. die Bestimmung der Heterogenitäten oder auch der Berücksichtigung unterschiedlicher Verteilungen, wurden die Modellschätzungen mit diesem Modell durchgeführt. Das Conditional-Logit-Modell wurde zur schnellen Signifikanz-Bestimmung der Variablen genutzt, da die Simulationen des Mixed-Logit-Modells mit steigen-

der Komplexität einen sehr hohen Zeitbedarf haben können. Die Simulation des ML-3-Modells dauerte z.B. über 36 Stunden. Das CL-Modell wurde Anhand der drei Modelle wurde detailliert das Wahlverhalten der teilnehmenden Personen hinsichtlich der Vorlieben zu unterschiedlichen Antriebstechnologien bestimmt und der Einfluss unterschiedlicher Anreizsysteme untersucht. Die drei Modelle unterscheiden sich inhaltlich hinsichtlich der Eingangsvariablen.

In Modell 1 fließen nur die alternativen-spezifischen Variablen, also die verschiedenen Anreizsysteme, die Antriebstechnologie sowie der Kaufpreis, ein. In Modell 2 werden durch die Integration von personenspezifischen Merkmalen die Spannbreiten der Auswahlwahrscheinlichkeit von ZEV für unterschiedliche Personengruppen untersucht. In Modell 3 erfolgt die Integration des Verkehrsverhaltens der Antwortpersonen.

Die Verknüpfung des Präferenzmodells mit dem Verkehrsverhalten der Antwortpersonen wurde anhand der Bildung von Interaktionsvariablen von verkehrsverhalten-spezifischen Variablen und der gewählten Antriebstechnologie ermöglicht. So können Heterogenitäten (Präferenzunterschiede) zwischen den Personengruppen bestimmt werden. Des Weiteren ermittelt das ML-Modell Heterogenitäten innerhalb einer Personen-Gruppe.

Grundsätzlich sind CL-Modelle (eine Sonderform der Multinomial-Logit-Modelle) und ML-Modelle geeignet, um das Wahlverhalten modellseitig abzubilden.

Die Implementierung von soziodemographischen sowie -ökonomischen Personenmerkmalen in Logit-Modelle ist in der Literatur zu finden und kommt in vielen Untersuchungen zur praktischen Anwendung. Die Integration von verkehrsverhalten-spezifischen Merkmalen wurde bislang noch nicht realisiert. Tatsächlich stellt die Erhebung des Verkehrsverhaltens gewisse Herausforderungen in einer Online-Befragung dar. Zum einen kann im Rahmen einer zeitlich kurzen Online-Umfrage (ca. 15-20 min) nicht detailliert das Mobilitäts- bzw. Verkehrsverhalten der teilnehmenden Personen erfasst werden. Die Fehlerquote wäre hier zu groß, würde man beispielsweise bei der MiD nach jedem einzelnen Weg und das dafür verwendete Verkehrsmittel fragen. Für die vorliegende Arbeit wurde nach langem Abwägen als geeignetes Mittel die Erhebung des Hauptverkehrsmittels auf Arbeits- und Einkaufs- und Freizeitwegen erachtet, sowie die Nutzungshäufigkeit der unterschiedlichen Verkehrsmittel im Verlauf der Woche. Hierzu konnte zwischen drei Kategorien gewählt werden: nie, manchmal oder täglich. Anhand dieses Vorgehens konnten Interaktionsvariablen zwischen dem Verkehrsverhalten und der Auswahlentscheidung gebildet werden. Die gleiche

Erhebungsmethodik wurde bei den anderen verkehrsverhalten-spezifischen Merkmalen angewendet. Anhand der Schätzergebnisse konnten Rückschlüsse auf das Verkehrsverhalten und der Präferenz der Antriebstechnologie unter Vorgabe unterschiedlicher Anreizsysteme gezogen werden.

#### 4.4 Kritische Reflexion und Grenzen der Arbeit

In diesem Kapitel wird die angewendete Methode kritisch reflektiert und die Grenzen der Arbeit aufgezeigt.

##### Potenzialabschätzung

Die Diskussion zu den notwendigen zu untersuchenden Personenmerkmalen hat eine Fülle an alternativen-spezifischen, personenspezifischen und verkehrsverhalten-spezifischen Merkmalen jeweils mit unterschiedlichen Ausprägungen ergeben. Trotz der Vielzahl an Personenmerkmalen konnte das Sample durch die detaillierten Informationen, die dem Panel-Betreiber über seine Kunden vorliegen, gut getroffen werden. Insgesamt konnten 875 vollständige Datensätze für die Conjoint-Analyse verwendet werden. Die Einteilung der Antwortpersonen in Personengruppen, die anhand der Merkmale beschrieben werden, ist mit einer Einschränkung bei kleinen Samples verbunden. Eine Potenzialabschätzung muss abgelehnt werden, da die Anzahl der Personen, die die Merkmalsausprägungen einer Personengruppe besitzen, zu gering ist, um ein statistisch belastbare Hochrechnung durchzuführen. Eine Potentialabschätzung kann aus Signifikanzgründen nicht durchgeführt werden, da die Anzahl der Personen, die genau alle diese Ausprägungen besitzen und ein statistisch signifikantes Subsample bilden würden, im Sample zu gering ist. Modellseitig stellt dies zwar kein Problem dar, dennoch ist es nicht gelungen eine zahlenmäßige Abschätzung samt Hochrechnung für die Metropolregion durchzuführen.

Dieser Umstand spricht dafür, in weiteren Untersuchungen eher weniger Eigenschaften und Eigenschaftsausprägungen zu verwenden und/oder das Sample drastisch zu vergrößern, um auf jeden Fall eine ausreichende Menge an Personen in den Untergruppen zu haben. Eine weitere Möglichkeit stellt die Nutzung einer Adaptiven Conjoint-Analyse bei der Datenerhebung dar, bei der die Antwortpersonen schon bei der Beantwortung der Soziodemographie gefiltert werden und somit eine gezieltere Auswahl schon bei der Erhebung zu gewährleisten.

Verwendung von Restriktionen bei der Conjoint-Analysen-Design-Erstellung

Die Designerstellung der Conjoint-Analyse sowie die Verteilung der Fragebögen auf die Antwortpersonen wurden mit der Sawtooth-Software durchgeführt. Die Software nutzt für die Design-Erstellung einen für den Forscher nur teilweise nachvollziehbaren Algorithmus. Die Software bietet ein Modul an mit dem die Effizienz und damit die Verwendbarkeit des vorgeschlagenen Designs getestet werden kann. Es finden sich zwar Warnungen in der Literatur, die vor der Verwendung von Restriktionen (*sog. Prohibitions*), also dem Ausschließen von bestimmten Merkmalsausprägungspaaren, wurden aufgrund des positiven Testergebnisses an den Restriktionen festgehalten.

Die Verwendung von Prohibitions bei der Erstellung des Conjoint-Designs ist äußerst kritisch zu betrachten und kann zu großen Problemen bei der Auswertung führen. Das Design ist im Vorfeld intensiv zu testen. Auf der einen Seite können Prohibitions verursachen, dass Merkmalsausprägungen in sehr unterschiedlicher Anzahl in Auswahl-situationen gezeigt werden und somit die statistische Signifikanz gefährdet ist. Auf der anderen Seite sind Prohibitions notwendig, um unlogische bzw. irreführende Kombinationen zwischen Alternativen und Merkmalsausprägungen zu vermeiden. Der Forscher muss den *trade-off* für sich machen, das Risiko einzugehen «problematische» Kombinationen zuzulassen oder ein problematisches Design zu entwerfen, welches Probleme bei der Auswertung bewirken kann. Werden zu viele Prohibitions verwendet, ist es möglich, dass eine statistisch signifikante Auswertung nicht mehr möglich ist.

Durch die Verwendung von Restriktionen in dieser Umfrage wurde eine ungleiche Häufigkeitsverteilung der Merkmalsausprägungen in den Choice Sets ausgelöst. Aufgrund der großen Anzahl von 28.000 Choice Sets konnten die Ergebnisse alle verwendet werden. Dennoch wird empfohlen, von Restriktionen bei der Verwendung der Conjoint-Analyse zur Präferenzmessung gänzlich abzusehen. Eine Möglichkeit die Anzahl der Merkmalsausprägungen trotz Restriktionen manuell anzupassen wurde nicht gefunden. Müssen Restriktionen unbedingt verwendet werden, ist darauf zu achten, dass ein sehr großes Sample befragt wird, um eventuelle Ungleichverteilungen ausgleichen zu können.

Verteilungen der Zufallsterm-behafteten Attribute

Anhand der Zufallsparameter (*random parameter*) können individuelle Vorlieben bestimmt werden (Ehls et al. 2014, S. 120). “Choice analysis has often been described as a way of explaining variations in the behaviour of a sample of individuals” (Greene, Hensher 2010, S. 414). Es können sowohl Heterogenitäten zwischen den Antwortpersonen als auch Veränderungen beim Beantworten des Fragebogens von einer Person bestimmt werden. Jedoch erhöht sich mit jedem Zufallsparameter die Komplexität des Modells und es kann passieren, dass das Modell nicht konvergiert.

Es ist daher kritisch zu prüfen, welche Parameter tatsächlich einen *random term* haben und welcher Verteilung dieser am ehesten entspricht. Die Bestimmung der Verteilung erfolgt anhand der Überlegung, welches Vorzeichen die Koeffizienten einnehmen können (Hensher, Greene 2003, S. 145–146). Kann eine Produkteigenschaft sowohl einen positiven als auch einen negativen Nutzen für den Teilnehmer haben, dann ist diese normal verteilt. Bei kostenbehafteten Variablen ist zu prüfen, ob eine Normalverteilung verwendet werden kann, da sie dazu führen kann, dass ein höherer Preis zu einer höheren Nachfrage führen würde, der Nutzen also sinken würde, je größer die Kosten sind.

Nach Hensher und Greene (2003, S. 145) sind als Verteilungen auch uniforme und trianguläre Verteilungen möglich. Nach Ehls (2014, S. 121) sind diese selten genutzt. Meist bewirken sie höhere Varianzwerte der Parameter. Der `mixlogit` Befehl in STATA<sup>®</sup> nimmt zunächst an, dass alle Koeffizienten normal verteilt sind. Mit der Option `ln(#)` kann den Koeffizienten eine Log-Normal-Verteilung zugewiesen werden. Die Präferenzverteilung in der Bevölkerung hinsichtlich der Antriebstechnologie ist wahrscheinlich normalverteilt.

Eine Untersuchung der Auswirkungen der Verteilungsfunktionen der preisbehafteten Koeffizienten wurde durchgeführt. Zwar hat die Zuweisung der Log-Normal-Verteilung zum Kaufpreis ein plausibles Ergebnis ergeben. Dennoch wurde von der Verwendung der Log-Normal-Verteilung im Weiteren abgesehen, da die Ergebnisse keine entscheidenden Abweichungen gegenüber der Normalverteilung erbrachten. In einem weiteren Schritt wären die Auswirkungen zu prüfen, würde man allen preisbehafteten Koeffizienten eine Log-Normal-Verteilung zuordnen.

## 4.5 Zusammenfassung und Ansätze für Anschlussforschung

### 4.5.1 Zusammenfassung

Der motorisierte Individual Verkehr (MIV) befindet sich momentan in einer Transformationsphase. Sie ist davon geprägt, dass alternative Antriebstechnologien für Straßenverkehrsfahrzeuge und die dafür notwendigen Energiespeichersysteme von der Marktvorbereitung zur Serienreife überführt werden. Die Peak-Oil-Debatte, ein möglicher Klimawandel und die Gesundheitsgefährdung durch Verkehrsemissionen machen eine Transformation des Verkehrssektors für die Gesellschaft zwingend notwendig.

Ein weiteres Merkmal dieser Transformationsphase ist, dass es nur sehr wenige marktreife Modelle mit alternativer Antriebstechnologie gibt, die gänzlich erdölunabhängig sind und mit erneuerbaren Energien betrieben werden können. Die aktuell erhältlichen Zero Emission Vehicles (ZEV) sind im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen sehr teuer und zudem in ihrer Leistung und im Nutzerkomfort aufgrund langer Ladezeiten, geringer Reichweiten und einer noch nicht flächenhaft verfügbaren Ladeinfrastruktur stark eingeschränkt. Selbst eine Total-Cost-of-Ownership-Betrachtung (TCO), eine Gesamtkostenbetrachtung über den gesamten Nutzungszeitraum des Fahrzeugs, zeigt, dass für Privathaushalte die Anschaffung eines ZEV deutlich teurer ist als ein vergleichbares konventionelles Fahrzeug. Selbst die günstigeren Betriebskosten aufgrund von effizienten Elektromotoren und günstigerem Strom können die hohen Anschaffungskosten nicht wieder ausgleichen. Da der Markt für alternative Antriebe nicht konsumentengetrieben, sondern vielmehr von der Politik und der Wirtschaft vorangetrieben wird, ist diese Transformationsphase gezeichnet von hohen staatlichen Beihilfen für Forschung und Entwicklung, aber auch in Form von direkten Käuferzuschüssen, betrachtet man auch internationale Förderprogramme. Die Staaten versuchen so, auf die Kaufentscheidung der Konsumenten aktiv einzuwirken. Die Kaufentscheidung wird aber nicht nur durch finanzielle Anreizsysteme versucht zu beeinflussen, sondern auch durch infrastrukturelle Maßnahmen (Ausbau des Lade- und Wasserstofftankstellennetzes) oder der Vergabe von Nutzerprivilegien wie z.B. die Nutzungsberechtigung der Busspuren, der HOV-Lanes (nur USA und Canada) oder das kostenlose innerstädtische Parken). Dänemark und Norwegen erlassen für ZEV die Neuwagensteuer sowie die Mehrwertsteuer. Die Deutsche Regierung hat die letzten Jahre ausschließlich F+E-Gelder zur Verfügung gestellt, um die Elektromobilität voranzutreiben. Von anderen Anreizsystemen wurde bislang abgesehen. Ebenso ist unklar, wie die Konsumenten auf die verschiedenen Anreizsysteme reagieren werden.

### Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit setzt an dieser Stelle an und versucht die Effektstärke bzw. der Einfluss verschiedener Anreizsysteme auf die Pkw-Kaufentscheidung zu klären. Die anfängliche Forschungsfrage lautet: „Wie beeinflussen finanzielle und infrastrukturelle Anreizsysteme für alternative Antriebstechnologien die Kaufentscheidungen von Konsumenten?“

Weiter detailliert sollte geklärt werden:

1. Lassen sich Personengruppen identifizieren, die sich hinsichtlich ihrer Präferenzen zu ZEV unterscheiden?
2. Inwiefern unterscheiden sich diese hinsichtlich sozioökonomischer und -demographischer Merkmale?
3. Inwiefern unterscheiden sich diese hinsichtlich verkehrsverhalten-spezifischer Merkmale?
4. Wie groß sind die Effektstärkenunterschiede verschiedener Anreizsysteme auf die Kaufentscheidung hinsichtlich der Antriebstechnologie?
5. Lassen sich hieraus Handlungsempfehlungen für Entscheider ableiten?

Zum einen leistet die vorliegende Arbeit einen wissenschaftlichen Beitrag zur Erstellung von Discrete-Choice-Modellen unter Berücksichtigung von Interdependenzen zwischen den Kaufentscheidungen und dem Verkehrsverhalten der Antwortpersonen. Zum anderen liefert die Arbeit wesentliche Aspekte zur Debatte um die Förderung der Elektromobilität und alternativer Antriebstechnologien. Konkret werden Handlungsempfehlungen zu finanziellen und infrastrukturellen Anreizsystemen an Politik und Wirtschaft abgeleitet, die auf empirisch belastbare Daten basieren.

Durch die Verknüpfung verkehrsverhaltenshomogener Personengruppen und deren Kaufentscheidung zu alternativen Antrieben werden Effektstärken der verschiedenen Anreizsysteme bestimmt. Hierzu wurde mit einem repräsentativen Bevölkerungsausschnitt für die Metropolregion Hamburg eine Erhebung durchgeführt, die erstens die soziodemographischen und -ökonomischen Personenmerkmale erfasst, zweitens das Verkehrsverhalten der Antwortpersonen erhebt und drittens anhand einer auswahlbasierten Conjoint-Analyse in Form eines Discrete-Choice-Experiments die Kaufentscheidungen hinsichtlich alternativer Antriebstechnologien und dafür abgestimmte Anreizsysteme abbildet.

Einflussfaktoren der Kaufentscheidung von Null-Emissions-Fahrzeugen

Zur modellseitigen Abbildung der Kaufentscheidung von Null-Emissions-Fahrzeugen (ZEV) wird eine Präferenzenmessung zu verschiedenen Antriebstechnologien, Kosten und Anreizsystem anhand der Conjoint-Analyse durchgeführt. Zur Entscheidungsfindung der zu untersuchenden Elemente ist das Verständnis des Kaufentscheidungsprozesses notwendig. Hierzu werden die Einflussfaktoren, die auf die Entscheidung wirken, detailliert betrachtet.

Es wurde gezeigt, dass ZEV gegenüber konventionellen Fahrzeugen eine Vielzahl weiterer Merkmale in sich vereinen, die bei Fahrzeugkauf entscheidungsrelevant sind. Zum Beispiel lässt sich hier das grüne Image nennen, das von Elektroautos transportiert wird, da die Möglichkeit quasi emissionsfrei fahren zu können, suggeriert wird. Oder auch der Fahrspaß, den die Nutzer bei der Beschleunigung der drehmomentstarken ZEV verspüren.

Auf der anderen Seite stehen die leichter messbaren Entscheidungskriterien wie die Reichweite oder die Ladedauer. Im Rahmen der Analyse des Entscheidungsprozesses konnten insgesamt 33 Einzelkriterien in fünf verschiedenen Kategorien identifizieren:

1. Technologische Kriterien,
2. Finanzielle Kriterien,
3. Nutzer-Vorteile (Privilegien),
4. Infrastrukturelle Kriterien und
5. Umwelt- und Emotionskriterien.

Aus dieser Fülle an Kriterien wurden dann unter der Berücksichtigung der Motive Anreizsysteme abgeleitet sowie deren Ausprägungen anhand einer strukturierten Literaturanalyse zu Arbeiten auf diesem Gebiet bestimmt. Diese wurden anhand von Experteninterviews validiert. Die Ergebnisse ergaben fünf Anreizsysteme, deren Einfluss auf die Kaufentscheidung hinsichtlich der Antriebstechnologie untersucht werden. Die Anreizsysteme besitzen teils finanzielle, teils infrastrukturelle Aspekte:

1. Direkte Käuferzuschüsse,
2. Einführung einer CO<sub>2</sub>-Steuer für konventionelle Pkw,
3. Einführung einer emissionsabhängigen Parkraumbewirtschaftung,

4. Treibstoffkostenanstieg durch die Erhöhung der Energiesteuer für Otto- und Dieselmotoren,
5. Erhöhung des Ausbaugrades der Ladeinfrastruktur für ZEV und FCEV.

Wahl der geeigneten Methode zur Erhebung von Konsumentenpräferenzen bei ZEV

Nach Festlegung der zu untersuchenden Anreizsysteme wurden Methoden zur Messung der Nutzerpräferenzen hinsichtlich der Antriebstechnologien und der darauf abgestimmten Anreizsysteme diskutiert. Die auswahlbasierte Conjoint-Analyse wurde als geeignetes Instrument für diese Fragestellung identifiziert. Anhand der Variation der Merkmalsausprägungen kann mit dieser Methode die Präferenzstärken und Auswahlwahrscheinlichkeiten der verschiedenen Eigenschaften (hier Anreize, Antriebstechnologie und Kaufpreis) geschätzt werden. Hierzu ist die Auswahl eines ökonomischen Wahlmodells notwendig.

Wahl des ökonomischen Modells zur Abbildung der Kaufentscheidung

Das Mixed-Logit-Modell (ML-Modell) als ökonomisches Wahlmodell zur Modellierung der Auswahlentscheidungen zum Pkw-Kauf ist aufgrund seiner flexiblen Einsatzmöglichkeiten besonders für die Modellierung der Kaufentscheidung geeignet. Das ML-Modell stützt sich auf die Random Utility Theory, die der Nutzenfunktion einen Zufallsterm anhängt, in dem alle nicht-beobachtbaren bzw. erklärbaren Variablen (*random parameter*) vereint werden. Es kann berücksichtigt werden, dass eine Antwortperson mehrere Auswahl-situationen bearbeitet. Aufgrund der offenen Form des Integrals zur Bestimmung der Auswahlwahrscheinlichkeit wird die Wahrscheinlichkeit anhand der Maximum-Likelihood-Funktion simuliert.

Empirische Erfassung der Personenmerkmale, des Verkehrsverhaltens und der auswahlbasierten Conjoint-Analyse

Die Erhebung der Daten erfolgt über ein Online-Access-Panel. Es wurden rd. 1.000 Datensätze erhoben, von denen 875 zur Auswertung der Conjoint-Analyse verwendet werden. Die Umfrage umfasste neben der Conjoint-Analyse eine Erfassung zu den personenspezifischen Merkmalen der Antwortpersonen und dem allgemeinen Verkehrsverhalten. Der Bevölkerungsausschnitt bildet die Bevölkerungsstruktur der Metropolregion Hamburg hinsichtlich der soziodemographischen und sozioökonomischen Personenmerkmale beinahe perfekt ab. Aufgrund

der problematischen Variablenbelegung bei der Antwort „ich weiß nicht“ zur Erfassung der jährlichen Fahrleistung, konnten 126 Datensätze bei der Modellierung der Kaufentscheidung nicht berücksichtigt werden. Daher resultiert eine kleine Überrepräsentativität der überdurchschnittlich Verdienenden sowie der Haushalte mit Pkw.

Anhand der Erhebungsdaten konnte ein umfassendes Bild über die Teilnehmer und deren Verkehrsverhalten gewonnen werden. Die Daten zum Verkehrsverhalten fließen über die Bildung von Interaktionsvariablen in das Wahlmodell ein.

### Modellergebnisse

Es werden drei Modelle zur Abbildung der Kaufentscheidung und der Auswahlwahrscheinlichkeit von ZEV entwickelt. In das alternativenspezifische Modell fließen die Anreizsysteme, die Antriebstechnologien und der Kaufpreis ein. Anhand des Modells können aggregiert über das Gesamt-sample Erkenntnisse zu Effekten von Anreizen auf die Auswahlwahrscheinlichkeit gewonnen werden. In das personenspezifische Modell werden Personenmerkmale integriert. So kann Präferenzstruktur für verschiedene Personengruppen bestimmt werden. In das verkehrsverhalten-spezifische Modell werden Merkmale des Verkehrsverhaltens integriert, um Rückschlüsse hinsichtlich des Verkehrsverhaltens ziehen zu können.

Das personenspezifische Modell, das Merkmale wie Einkommen, Alter und Bildungsniveau abbildet, zeigt deutliche Präferenzenunterschiede zwischen verschiedenen Personengruppen. Es wurde neben der Referenzgruppe anhand der signifikanten Koeffizientenausprägungen die Personengruppe mit der höchsten Auswahlwahrscheinlichkeit von ZEV und die Personengruppe mit der höchsten Auswahlwahrscheinlichkeit von ICV identifiziert. Anhand dieser drei Personengruppen werden die Anreizsysteme und deren Effektstärkenunterschiede untersucht. Die Unterschiede in den Auswahlwahrscheinlichkeiten respektive der Kaufentscheidung sind gravierend. Sie unterscheiden sich im Referenzszenario zwischen den beiden Extremgruppen um mehr als 60 Prozent. Die Effektstärken zwischen unterschiedlichen Anreizen und unterschiedlichen Personengruppen beträgt knapp 20 %.

Die Ergebnisse des verkehrsverhalten-spezifischen Modells zeigen ebenso große Präferenzenunterschiede zwischen den Personengruppen. Es wurden vier Personengruppen gebildet. Auto-Affine, ÖV-Affine, Multimodale mit und ohne eigenen Pkw. Die Anreize haben alle eine positive Wirkung auf die Auswahl-

wahrscheinlichkeit von ZEV. Die Unterschiede zwischen den Personengruppen sind auch hier groß. Es zeigt sich, dass die Anreizsysteme vor allem die ÖV-Affinen und die Multimodalen ohne eigenes Auto beeinflusst. D.h. eine Förderung alternativer Antriebstechnologien sollte nicht unbedacht über die Vergabe von flächendeckenden Anreizen verteilt werden, sondern es sollte versucht werden, im Rahmen einer Strategie genau die Leute zu erreichen, die das größte Substitutionspotenzial von konventionellen Fahrzeugen darstellen.

#### Handlungsempfehlungen

Aus den erzielten Modellergebnissen wurde abschließend eine Priorisierung der Maßnahmen bzw. Anreizsysteme abgeleitet. Es hat sich gezeigt, dass vor allem Personen, die derzeit nicht mit eigenem Pkw ihre Mobilitätsbedürfnisse erfüllen, eine besonders hohe Auswahlwahrscheinlichkeit von alternativ betriebenen Fahrzeugen besitzen und viel stärker auf Anreize reagieren. Daher wurde bei der Priorisierung als Entscheidungskriterium die Effektstärke der Anreize auf die Personengruppe verwendet. Dabei erhielt der Anreiz die höchste Priorität, der die größte Effektstärke auf die Personengruppe der Auto-Affinen zeigt und die geringste Effektstärke auf die Personengruppen der ÖV-Affinen und Multimodalen ohne eigenen Pkw. Die Priorisierung ergibt folgende Rangreihung:

1. Einführung eines emissionsabhängigen Parkraumbewirtschaftungssystems,
2. Treibstoffpreisanhebung durch Energiesteuererhöhung,
3. Einführung von direkten Käuferzuschüssen beim Kauf von ZEV,
4. Einführung einer separaten CO<sub>2</sub>-Steuer für Diesel- und Ottomotoren,
5. Ausbaugrad der Ladeinfrastruktur für Elektroautos.

Darüber hinaus wurden folgende Handlungsempfehlungen anhand der Modellergebnisse der drei Modelle abgeleitet:

1. Entwicklung eines gesamtstrategischen Anreizsystems zur Förderung von ZEV,
2. Entwicklung von multimodalitätsfördernden Autostromtarifen,
3. Flankierende Maßnahmen bei der Vergabe von Zuschüssen und anderen Anreizen,
4. Anbieten von Probefahrten und Ausbau des eCarsharing-Angebots.

#### 4.5.2 Ansätze für Anschlussforschung

Abschließend werden die während der Arbeit identifizierten Ansatzmöglichkeiten für weitere Forschungsaktivitäten wiedergegeben.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Zusammenhänge zwischen der Kaufentscheidung bezüglich der Antriebstechnologie und dem Verkehrsverhalten der Antwortpersonen offengelegt. Anhand exemplarischer Personengruppen konnten generelle Antworten und auf die Forschungsfrage hinsichtlich der Einflussstärke von Anreizsystemen zur Förderung alternativer Antriebe gewonnen werden. Dennoch werfen die Untersuchungen weitere Fragen auf, die im Rahmen dieser Arbeit nicht abschließend geklärt werden konnten. Die Ansätze lassen sich in die zwei Themengruppen Anreizsysteme im Rahmen der Förderung von alternativen Antriebstechnologien und im Bereich der Modellierung von Kaufentscheidungen gliedern. Diese werden im Folgenden dargestellt.

##### 1. Anreizsysteme im Rahmen der Förderung von alternativen Antriebstechnologien

###### *Ausprägungsgröße der Anreizsysteme*

Die Präferenzenmessung zeigt, dass große Unterschiede in der Bevölkerung beim Kauf von Fahrzeugen mit alternativer Antriebstechnologie bestehen und dass der Einfluss von Anreizsystemen auf verschiedene Personengruppen unterschiedlich groß ist. Im Rahmen wurden die Personengruppen anhand der Erkenntnisse aus den Modellschätzungen abgeleitet. Es wurden jeweils die Koeffizienten mit der größten Ausprägung und gleichem Vorzeichen zusammengenommen. Anhand der geschätzten Koeffizienten können die Auswirkungen unterschiedlich hoher Anreize auf die Auswahlwahrscheinlichkeit untersucht werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurden fünf verschiedene Anreizsysteme untersucht. Bei zwei Anreizsystemen wurde die Ausprägungshöhe des Anreizes variiert. Es zeigt sich, dass eine Erhöhung des Anreizes, vorausgesetzt er bringt dem Nutzer einen Vorteil, eine Erhöhung der Auswahlwahrscheinlichkeit bewirkt. Aus dieser Erkenntnis heraus ist zu überprüfen, welche Anreizhöhe den gewünschten Effekt bezüglich der Anzahl der Menschen und dem Verkehrsverhalten erzielen würde.

*Wechselwirkungen bei Anreizsystemkombinationen*

Im Fokus der Arbeit steht die Erforschung der Auswirkungen der Einzelanreizsysteme. Die Vermutung liegt nahe, dass Kombinationen von mehreren Anreizsystemen Wechselwirkungen auf die Kaufentscheidung zeigen. Hier ist zu vermuten, dass die Auswahl der Anreizsysteme (Anzahl der Anreize die parallel eingeführt werden) genauso wie die jeweilige Ausprägungsgröße (z. B. Zuschusshöhe) der Einzelanreize, unterschiedliche Einflusstärken bei verschiedenen Personen zeigen. Es ist daher zu prüfen, welche Kombinationen mit welchen Ausprägungen die gewünschten Auswirkungen zeigen. Bezogen auf ein beschränktes Förderbudget ist gerade die Frage nach dem Maximaleffekt (Ausnutzung des größten Substitutionspotenzials von konventionellen Fahrzeugen) hinsichtlich der Anzahl der Personen und deren Merkmale, die erreicht werden sollen, interessant. Im Rahmen dieser Arbeit konnte nicht untersucht werden, inwiefern die Kombination von Anreizen, die parallel oder sukzessiv eingeführt werden, die Entscheidung beeinflussen. Eine umfassende Untersuchung zu den Wechselwirkungen der einzelnen Anreize sollte vor der Entwicklung einer Gesamtstrategie zur Förderung alternativer Antriebe erfolgen.

*Weitere Anreizsysteme*

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden insgesamt nur fünf verschiedene Anreizsysteme untersucht. Zu der Zeit, als die Experteninterviews und die Vorbereitung der Konsumentenerhebung durchgeführt wurde, war die Ablehnung in Deutschland seitens der Kommunen und der Verkehrsbetriebe hoch, Bus- und Taxispuren für Zero Emission Vehicle freizugeben. Nachdem die Marktdurchdringung in Deutschland nur sehr langsam voranschreitet, wird die Idee der Freigabe der Busspuren für ZEV wieder aufgegriffen. Hierin wird ein Verstärkungspotenzial gesehen, dass den Absatz von ZEV anheben könnte. Hierfür ist eine einheitliche Kennzeichnung von Nullemissions-Fahrzeugen notwendig. In den USA beispielsweise gibt es mittlerweile einen Aufkleber, der ZEV deutlich kennzeichnet.

Im Hinblick auf eine Gesamtstrategie sind weitere Anreizsysteme zu untersuchen. So sind auch die Auswirkungen von Zufahrtsverboten bzw. Beschränkungen zu emissionsensiblen Bereichen zu analysieren. Beispielsweise können die Anforderungen der bestehenden Umweltzonen weiter verschärft werden, sodass faktisch nur noch ZEV in diese Bereiche einfahren dürfen.

### *Flankierende Maßnahmen*

Des Weiteren wurde gezeigt, dass ÖV-Affine und Multimodale stärker auf die untersuchten Anreizsysteme reagieren als die Auto-Affinen. Es wird empfohlen, bei der Einführung von Anreizen flankierende Maßnahmen für die Nicht-Auto-Affinen Personengruppen zu treffen. Diese Maßnahmen wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter ausformuliert. Hintergrund der Maßnahmen soll sein, dass Menschen, die den Umweltverbund nutzen, vom „Umsteigen“ in einen eigenen Pkw abgehalten werden bzw. das Umsteigen unattraktiv gemacht wird. Anreize, die an den ÖPNV-Zeitkartenbesitz gekoppelt sind und die Kunden dazu animieren auch weiterhin den ÖPNV zu nutzen, sind denkbar. An dieser Stelle besteht weiterer Forschungsbedarf, um zu erkunden, welche Maßnahmen an dieser Stelle den gewünschten Effekt bewirken würden.

Des Weiteren wird empfohlen multimodalitätsfördernde Stromtarife zu entwickeln, um die Attraktivität des ÖPNV für Multimodale auch weiterhin hoch zu halten. Die Modellergebnisse zeigen, dass die Möglichkeit einer erhöhten Nutzung eines eigenen Fahrzeugs bei den Multimodalen im Falle eines Kaufes durchaus bestehen könnte. Um einen steuernden Stromtarif für diese Nutzergruppe anbieten zu können, ist die detaillierte Erforschung des Verkehrsverhaltens dieser Nutzergruppe notwendig. Exakte Erkenntnisse zu den genauen Verkehrsroutinen und Verkehrsmittelwahlentscheidungen von Multimodalen sind noch unzureichend erforscht. Ebenso müssen Veränderungen des Verkehrsverhaltens unter der Berücksichtigung von neuen Verkehrsangeboten (z.B. Free-Float-CarSharing, Fahrradleihsysteme), Verkehrsdienstleistern (Fernbuslinien) und verkehrsnahen Dienstleistungen (moovel-App, mytaxi-App) noch in Gänze erfasst und bewertet werden.

## 2. Modellierung der Kaufentscheidung

### *Zusammenführung der Modelle*

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurden die personenspezifischen und die verkehrsverhalten-spezifischen Personenmerkmale in zwei voneinander getrennten Modellen untersucht. Anhand der Modelle sind Aussagen nur getrennt für die unterschiedlichen Personengruppen möglich. Weiterer Forschungsbedarf wird in der Zusammenführung dieser zwei Modell gesehen. Die Adressierung der Personen, die den Umweltverbund nutzen, ist auch unter der vorgegebenen Modellwahl möglich, beispielsweise über den Verkehrsverbund HVV. Jedoch lässt

eine getrennte Betrachtung keine Rückschlüsse zwischen Verkehrsverhalten und Soziodemographie bzw. -ökonomie zu. Die Zusammenführung der Modelle würde unter der Anzahl der personenbezogenen Variablen dazu führen, dass die Modellschätzungen mit großer Wahrscheinlichkeit keine statistisch belastbaren Ergebnisse generieren würden. Hierzu wäre genau zu prüfen, welche personenspezifischen und welche verkehrsverhalten-spezifischen Variablen zeitgleich in ein Modell integriert werden können.

#### *Samplegröße*

Die Bildung der homogenen Personengruppen anhand der sieben Personenmerkmale mit insgesamt 20 Ausprägungen führt dazu, dass nur sehr wenige Personen mit exakt den für jede Personengruppe ausgewählten Merkmalsausprägungen im Gesamtsample vertreten sind. Aufgrund der Unterrepräsentanz der Personen in den jeweiligen Personengruppen, ist es nicht möglich Potentialabschätzungen für die Metropolregion durchzuführen. Im Hinblick auf weitere Befragungen wird empfohlen, aufgrund der durch diese Arbeit gewonnen Erkenntnisse die Personengruppen schon vor der Befragung zu bilden und anhand einer adaptiven Conjoint-Analyse gezielt Personen zu befragen, auf die die Beschreibung der Merkmalsausprägungen zutrifft. Auf diesem Wege wäre es möglich, ausreichend viele Personen innerhalb einer Personengruppe zu erreichen, deren Präferenzen zu bestimmen und Hochrechnungen durchzuführen.

#### *Log-Normal-Verteilung der Koeffizienten*

Anhand der drei entwickelten Modelle ist es möglich die Kaufentscheidung hinsichtlich der Antriebstechnologie unter dem Einfluss verschiedener Anreizsysteme abzubilden und Erkenntnisse hinsichtlich des Einfluss der Anreize auf verschiedene Personengruppen zu gewinnen. Das Mixed-Logit-Modell zur Abbildung der Entscheidungen bietet gegenüber anderen Modellen entscheidende Vorteile. Besonders die flexible Einsatzmöglichkeit hinsichtlich der Verteilungen der zu schätzenden Koeffizienten wird häufig in der Literatur genannt (vgl. Kapitel 2.4.2). Genau diese Flexibilität birgt für den Anwender jedoch auch eine gewisse Herausforderung. Er muss entscheiden, welcher Verteilung die Variablen folgen und diese im Modell zuweisen. In den Zufalls-Komponenten können Normal-, Log-Normal- und Triangular-Verteilungen berücksichtigt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Kaufpreisvariable sowohl mit Normalverteilung als auch mit Log-Normal-Verteilung simuliert. Die Ergebnisse zeigen eine

etwas größere Spreizung bei den Antriebstechnologien BEV, PHEV und FCEV, die anderen Koeffizienten einschließlich der Kaufpreisvariable zeigen sehr ähnliche Größenordnungen. Weitere Tests mit Zuweisungen der Log-Normal-Verteilung zu den anderen kostenbehafteten Variablen mit geringer Anzahl von Halton-Draws ergaben hinsichtlich der Koeffizientenschätzungen keine signifikanten Abweichungen. Aufgrund der sehr viel längeren Rechenzeiten, die das Simulationsmodell für die Berechnung der Koeffizienten benötigt<sup>133</sup>, wurde für das weitere Vorgehen die Normalverteilung bei allen preisbehafteten Variablen angenommen.

Dennoch wird für nachfolgende Forschungsarbeiten empfohlen, den Einfluss der Koeffizienten-Verteilungen intensiv zu testen.

#### 4.5.3 Ausblick

Zu Letzt wird ein kurzer Ausblick auf die aktuellen politischen Entwicklungen gegeben. Eine Diversifizierung der Antriebstechnologie, die eine Nutzung von regenerativen Energiequellen ermöglicht, verfolgt unterschiedlichste Ziele. Erstens wird mit der Schaffung von Alternativen im MIV erreicht, dass sich die Menschen bei knapper werdenden Ölreserven und steigenden Energiepreisen auch weiterhin automobil bewegen können. Zweitens kann durch die emissionsreduzierten Antriebskonzepte die Lebensqualität in stark befahrenen Bereichen verbessert werden. Drittens dient die Transformation zu alternativen Antriebstechnologien als Wirtschaftsmotor, zeigt Beschäftigungseffekte und stärkt die deutsche Automobilindustrie.

Elektrofahrzeuge werden in der Verkehrswissenschaft kontrovers diskutiert. Wird das Fahrzeugkonzept als solches jedoch einfach beibehalten, dann werden auch weiterhin verkehrstechnische (z.B. Staus, Verkehrssicherheit), städtebauliche (z.B. Platzmangel, Stellplatzmangel) und ressourcenabhängige Probleme (z.B. Einsatz von Platin bei Brennstoffzellen, seltene Metalle und Erden für Batterietechnologie) mit dem Individualverkehr bestehen bleiben. Zudem werden auch Lärmemissionen nur im niedrigen Geschwindigkeitsniveau<sup>134</sup> gemindert.

---

133 Die Simulationszeit für das verkehrsverhalten-spezifische Mixed-Logit-Modell (ML-3) bei 1.000 Wiederholungen und Normalverteilung beträgt rund 36 Stunden (Die Berechnung erfolgte mit einem Windows 8/ 64-Bit-System, ausgestattet mit Dual Core CPU Intel(R) Core(TM) i7-3517U CPU @ 1.90GHz).

134 Ab einer Geschwindigkeit über 45 km/h.

Erste gesellschaftliche Trends sind zu beobachten, die einen Wertewandel bezüglich des Pkw als Statussymbol andeuten. So ist vom Verlust der „Spitzenposition als Statussymbol“ und der „emotionale[n] Bindung zum Automobil“ die Rede (vgl. Terporten et al. 2012, S. 370; Progenium 2011, S. 1; Kruse 2009). Zudem ändert sich vermehrt die Einstellung zum Besitz von Gütern. Das Konzept ‚Nutzen statt Besitzen‘, auch bekannt unter Shareconomy, collaborative consumption oder Kokonsum, findet nicht nur bei Carsharing-Angeboten immer mehr Anhänger (Gossen 2012, S. 11–12), sondern auch in anderen Bereichen werden Gegenstände geteilt, vermietet oder nach der Nutzung schnell weiterverkauft. Dem Auto wiederfährt eine Reduzierung auf dessen Grundnutzen, nämlich dem Transport von Menschen und Gütern zwischen zwei Orten (Fournier et al. 2012, S. 370). Smartphones und die Möglichkeiten der einfach zu bedienenden Apps<sup>135</sup> machen eine spontane Mobilität möglich. So kann völlig unkompliziert mit dem Handy z.B. ein Carsharing-Fahrzeug für eine „One-Way“-Miete reserviert werden, eine Mitfahrgelegenheit in eine andere Stadt gebucht oder ein Handyticket für den ÖPNV bzw. den Fernverkehr bargeld- und papierlos gebucht werden.

Trends wie gesteigertes Umweltbewusstsein, die Einrichtung von Umweltzonen und City Mauts (Prud‘homme, Bocarejo 2005), der Anstieg ungleicher Einkommensverteilung, Verstädterung und höhere Preise für die Anschaffung und den Unterhaltung eines Pkw machen den Besitz eines eigenen Pkw sowohl aus finanzieller als auch kognitiver Sicht vermehrt unattraktiv (Fournier et al. 2012, S. 368–370). Bei 18- bis 24-Jährigen sinkt die Pkw-Ausstattung und die Führerscheinquote (vgl. u. a. infas 2010, S. 100 oder Shell 2009, S. 21–25). Die Neuwagen-Käuferschaft wird durchschnittlich älter (MiD 2010). Erhebungen zum Mobilitätsverhalten in Deutschland wie MiD, SrV und MOP (infas 2010; Ahrens 2009; Vortisch et al. 2013) zeigen, dass immer mehr Menschen multi- und intermodal ihre alltäglichen und nicht alltäglichen Wege durchführen (vgl. auch Chlond et al. 2012, S. 452). D.h. für diese Menschen kommt die Nutzung aller bzw. vieler verschiedener Verkehrsangebote in Frage. Es findet kaum noch eine Festlegung auf ein bestimmtes Verkehrsmittel statt (Inter- bzw. Multimodalität). Auch werden innerhalb einer Wegeketten mehrere Verkehrsmittel genutzt (Intramodalität). Die Debatte um die Ökologisierung des MIV unter dem Begriff der postfossilen Mobilität ist geprägt, von der Erarbeitung neuer Mobilitätskonzepte die versuchen Intermodalität unter Einbindung der Elektromobilität noch einfacher zu ermöglichen (z.B. Projekt BeMobility der DB AG: Einbindung

---

135 Neudeutsche Bezeichnung für Programme auf Smartphones, die teilweise kostenlos und teilweise kostenpflichtig zum Download angeboten werden.

von Pedelecs in das DB call-a-bike-System und E-Autos in das DB Flinkster Carsharing-System).

Der Trend hin zum Carsharing und weg vom eigenen Pkw scheint auf der einen Seite ein Fluch für die Automobilindustrie, auf der anderen Seite ein Segen für die Verbreitung von Elektrofahrzeugen zu sein. Ist in dieser Übergangszeit das Kostengefüge eines Elektrofahrzeugs noch zu hoch für den Privatnutzer, können Carsharing-Unternehmen die Kosten besser in ihrem Fuhrpark verteilen. Doch ohne staatliche Subvention lassen sich Elektroautos auch von Carsharing-Unternehmen noch nicht wirtschaftlich betreiben: Der Bundesverband CarSharing e.V. stellt dar, dass zwar Elektrofahrzeuge grundsätzlich mit dem Gedanken des Carsharing verträglich und sinnvoll sind. Jedoch ist die Verwendung von Elektroautos in der Flotte für Carsharing-Unternehmen zum derzeitigen Preisgefüge von Elektroautos ohne öffentliche Zuschüsse wirtschaftlich nicht darstellbar. Elektroautos sind zwar im Betrieb günstiger als konventionelle Autos, weisen aber aufgrund der Ladezeiten einen geringeren Auslastungsgrad auf (Bundesverband CarSharing 2012). Dennoch wachsen die Angebote von Carsharing-Angeboten mit Elektro-Fahrzeugen (z.B. car2go, Multicity) stetig an (Stuttgarter Nachrichten 2014).

Pressemitteilungen zu technologischen Entwicklungen in der Batterie- und Ladetechnik zeigen, dass die Debatte um Reichweiten und Ladedauern womöglich in ein paar Jahren schon abgeschlossen sein könnte. Im April 2013 hat ein Forscherteam in den USA einen Akku entwickelt, der eine 30-mal höhere Energiedichte haben könnte und bis zu 1.000-mal schneller geladen werden könnte. Ein solcher Akku würde sowohl die Reichweiten als auch die Ladedauerproblematik mit einem Schlag beseitigen. Auch würde ein solcher Akku die Ressourcenknappheit an Lithium in ein neues Licht rücken, da der Materialverbrauch um den Faktor 30 zurück gehen würde (krone.at 2013). Dennoch konnte solch eine Batterie bisher nur virtuell erzeugt werden. Bis zu ihrer Marktreife sollte die Produktion gelingen, wird noch einige Jahre vergehen. Auf der anderen Seite wirbt Volkswagen seit Einführung des Pkw eUP!, ein Fahrzeug der Kleinwagenklasse, mit Ladedauern von nur 20 min in denen die Batterie bis zu 80 % der Ladekapazität aufgeladen werden kann. Dies würde nach Herstellerangaben für 160 km elektrische Reichweite ausreichen (Volkswagen AG 2013). Neueste Entwicklungen bei der Redox-Flow-Lithium-Ionen-Batterien-Technologie (RFLB) zeigen vielversprechende Verbesserung in der Ladekapazität (Huang et al. 2013). Hier könnte das aufgeladene Elektrolyt einfach ausgetauscht werden. Der Vorgang wäre vergleichbar mit dem Tankvorgang eines konventionellen Pkw.

Die Diskussion über weitere Fördermaßnahmen für alternative Antriebstechnologien ist jüngst wieder aufgenommen worden. Nachdem sich die Bundesregierung entschieden hat nur Fördermittel für Forschung und Entwicklung bereitzustellen, wird jetzt über weitere Anreizsysteme, die direkt beim Konsumenten ansetzen, nachgedacht. Wenige kleinere Maßnahmen wurden schon gesetzlich umgesetzt. So sind Elektroautos bis Dezember 2015 von der Kfz-Steuer befreit. Auch das Dienstwagengesetz wurde geändert, sodass dem privaten Dienstwagennutzer keine Nachteile durch die teurere Anschaffung eines Elektroautos entstehen. Die Bundesregierung ist in der Vorbereitung eines neuen Gesetzesentwurfs, der Elektroautos privilegieren soll. In der Diskussion stehen die Nutzung von besonderen Parkplätzen, von Busspuren und die Aufhebung von Zufahrtsverboten für E-Fahrzeuge. Auch wird über eine Befreiung von Parkgebühren diskutiert. Es wird jedoch bemängelt, dass die „Lex Dobrindt“ (Elektromobilitätsförderungsgesetz) halbherzig sei und keiner schlüssigen Gesamtstrategie folge. Die Forderungen nach direkten Käuferzuschüssen sind groß, wenn Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität werden möchte (Der Tagesspiegel 2014).

Interessant wird auch die weitere Entwicklung zum Aufbau von öffentlichen Ladestationen werden, da in diesem Bereich sehr unterschiedliche Aktivitäten zu beobachten sind: Firmen wie Siemens, RWE und E.ON haben ihre Geschäftsaktivitäten auf diesem Bereich zurückgefahren, da im Rahmen der Modellregionen kein tragfähiges Geschäftsmodell entwickelt werden konnte. Andere Firmen wie Tesla Motors beginnen entlang von Autobahnen in den USA und Europa Schnellladestationen aufzubauen, an denen Tesla-Fahrer und -Fahrerinnen kostenlos ihre Batterien aufladen können.

Das 2009 zu Beginn der Modellregionen formulierte Ziel der Bundesregierung von „1 Millionen Elektroautos auf deutschen Straßen“ ist nun um den Zusatz „in allen unterschiedlichen Varianten“ angepasst worden. Die Bundesregierung möchte im Verlauf diesen Jahres (2014) das Elektromobilitätsförderungsgesetz verabschieden, in dem zum ersten Mal definiert werden soll, welche Antriebskonzepte unter dem Begriff Elektro-Fahrzeug aus Sicht der Regierung verstanden werden (ebd.).

## Literaturverzeichnis

- ACEA (2010): Overview of Tax Incentives for Electric Vehicles in the EU. European Automobile Manufacturers Association. Online verfügbar unter [http://www.acea.be/images/uploads/files/20100420\\_EV\\_tax\\_overview.pdf](http://www.acea.be/images/uploads/files/20100420_EV_tax_overview.pdf), zuletzt geprüft am 15.12.2011.
- Achtnicht, Martin (2009): German Car Buyers' Willingness to Pay to Reduce CO2 Emissions. Discussion Paper No. 09-058. ZEW Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH. Mannheim. Online verfügbar unter <ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp09058.pdf>, zuletzt geprüft am 11.12.2012.
- Achtnicht, Martin; Bühler, Georg; Hermeling, Claudia (2008): Impact of service station networks on purchase decisions of alternative-fuel vehicles. ZEW Discussion Paper No. 08-088. ZEW Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH. Mannheim. Online verfügbar unter <http://www.econstor.eu/bitstream/10419/27565/1/dp08088.pdf>, zuletzt geprüft am 08.03.2014.
- ADAC (2013): ADAC Elektromobilität 2013. Umfrage im Auftrag des ADAC Technik Zentrums. Landsberg am Lech. Online verfügbar unter, zuletzt geprüft am 19.02.2014.
- Adamowicz, Wiktor; Louviere, Jordan J.; Swait, Joffre (1998): Introduction to attribute-based stated choice methods. In: NOAA-National Oceanic Atmospheric Administration, Washington, USA.
- Agentur für nachwachsende Rohstoffe (Hg.) (2010): Biokraftstoffe. Basisdaten Deutschland. Rostock.
- AGOF (2013): internet facts 2013-05. Grafiken zur Internetnutzung. AGOF e. V. Online verfügbar unter [http://www.agof.de/download/Downloads\\_Internet\\_Facts/Downloads\\_Internet\\_Facts\\_2013-05/05-2013\\_AGOF%20internet%20facts%202013-05.pdf](http://www.agof.de/download/Downloads_Internet_Facts/Downloads_Internet_Facts_2013-05/05-2013_AGOF%20internet%20facts%202013-05.pdf), zuletzt geprüft am 10.10.2013.
- Ahrend, Christine; Daubitz, Stephan; Schwedes, Oliver; Böhme, Uwe; Herget, Melanie (2013): Kleiner Begriffskanon der Mobilitätsforschung. IVP-Discussion Paper. Heft 1/2013. Berlin. Online verfügbar unter <http://>

- [www.ivp.tu-berlin.de/fileadmin/fg93/Dokumente/Discussion\\_Paper/DP1\\_Ahrend\\_et\\_al.pdf](http://www.ivp.tu-berlin.de/fileadmin/fg93/Dokumente/Discussion_Paper/DP1_Ahrend_et_al.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2014.
- Ahrend, Christine (Hg.); Kollosche, Ingo; Steinmüller, Karl-Heinz; Schulz-Montag, Beate (2011): E-Mobility 2025. Szenarien für die Region Berlin. Teilvorhaben Analyse Nutzerverhalten und Raumplanung regionale Infrastruktur - Szenarioreport. Berlin. Online verfügbar unter [http://www.ivp.tu-berlin.de/fileadmin/fg93/Forschung/Projekte/e-mobility/Szenariobericht\\_TU\\_Berlin\\_final.pdf](http://www.ivp.tu-berlin.de/fileadmin/fg93/Forschung/Projekte/e-mobility/Szenariobericht_TU_Berlin_final.pdf), zuletzt geprüft am 30.06.2014.
- Ahrens, Gerd-Axel (2009): Endbericht zur Verkehrserhebung „Mobilität in Städten - SrV 2008“ und Auswertungen zum SrV-Städtepegel. Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der Technischen Universität Dresden. Dresden. Online verfügbar unter [http://tu-dresden.de/die\\_tu\\_dresden/fakultaeten/vkw/ivs/srv/dateien/staedtepegel\\_srv2008.pdf](http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/vkw/ivs/srv/dateien/staedtepegel_srv2008.pdf), zuletzt geprüft am 14.05.2014.
- Akiva, Moshe E. Ben; Lerman, Steven R. (1985): Discrete choice analysis: theory and application to predict travel demand (9). Cambridge London.
- Angerer, Gerhard; Marscheider-Weidemann, Frank; Wendl, Matthias; Wiettschel, Martin (2009): Lithium für Zukunftstechnologien. Nachfrage und Angebot unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität. Fraunhofer ISI. Karlsruhe. Online verfügbar unter <http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn:nbn:de:0011-n-1233149.pdf>, zuletzt geprüft am 03.05.2013.
- Arai, H.; Hayashi, M. (2009): Primary Batteries - Aqueous Systems | Zinc–Air. In: Editor-in-Chief: Jürgen Garche (Hg.): Encyclopedia of Electrochemical Power Sources. Amsterdam: Elsevier, S. 55–61.
- ARAL: Trends beim Autokauf 2013. Aral Aktiengesellschaft. Online verfügbar unter <http://www.aral.de/presse/trends-beim-autokauf.html>, zuletzt geprüft am 11.04.2014.
- Auto Motor und Sport (2012): Toyota Auris Preise: Hybrid günstiger als Diesel. Online-Ausgabe. Online verfügbar unter <http://www.auto-motor-und-sport.de/news/toyota-auris-preise-hybrid-guenstiger-als-diesel-5998075.html>, zuletzt geprüft am 19.02.2013.
- AutoblogGreen (2013): Tesla Model S EV becomes Norway’s best selling car in September. Pressemitteilung vom 10.10.2013. Online verfügbar unter

<http://green.autoblog.com/2013/10/10/tesla-model-s-ev-is-norways-best-selling-car-in-september/>, zuletzt geprüft am 13.10.2013.

- Axhausen, K.W. (1989): Direkte Nutzenmessung: Ein Ansatz zur Schätzung von Entscheidungsmodellen-Zwei Anwendungen. In: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, Jg. 60, H. 4.
- Axhausen, K.W.; Sammer, G. (2001): „stated responses“: Überblick, Grenzen, Möglichkeiten. ETH, IVT Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau. <http://dx.doi.org/10.3929/ethz-a-004232317>
- Axsen, Jonn; Kurani, Kenneth S.; McCarthy, Ryan; Yang, Christopher (2011): Plug-in hybrid vehicle GHG impacts in California: Integrating consumer-informed recharge profiles with an electricity-dispatch model. In: Energy Policy, Jg. 39, H. 3, S. 1617–1629.
- Axsen, Jonn; Mountain, Dean C.; Jaccard, Mark (2009): Combining stated and revealed choice research to simulate the neighbor effect: The case of hybrid-electric vehicles. In: Resource and Energy Economics, Jg. 31, H. 3, S. 221–238.
- Ayhan Demirbas (2009): Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review. In: Applied Energy, 86, Supplement 1, H. 0, S. S108 - S117.
- Backhaus, Klaus; Erichson, Bernd; Plinke, Wulff; Weiber, Rolf (2008): Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. 12. Aufl. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch).
- Backhaus, Klaus; Erichson, Bernd; Weiber, Rolf (2011): Fortgeschrittene multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch).
- Bade, Stephanie; Staub, Cornelia; von Grünigen, Stefan; Ott, Walter; Steiner, Pia (2012): Erhebung der Zahlungsbereitschaft für Massnahmen zur Förderung der Biodiversität im Wald. Bericht. Herausgegeben von Bundesamt für Umwelt. econcept AG. Online verfügbar unter [www.econcept.ch/uploads/media/687\\_Biodiversitaet\\_final\\_01.pdf](http://www.econcept.ch/uploads/media/687_Biodiversitaet_final_01.pdf), zuletzt geprüft am 30.06.2014
- baden-wuerttemberg.de (2013): Privilegien für schadstoffarme Autos ermöglichen, 24.09.2013. Online verfügbar unter <http://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/privilegien-fuer-schad->

- stoffarme-autos-ermoeglichen/?type=98&cHash= 62a83db4f8d6a7b54a8f5c7b2a6e7152&print=1, zuletzt geprüft am 02.03.2014.
- Bady, Ralf; Biermann, Jan-Welm (2000): Hybrid-Elektrofahrzeuge - Strukturen und zukünftige Entwicklungen. 6. Symposium „Elektrische Straßenfahrzeuge“ Technische Akademie Esslingen, 11./12.05.2000. Veranstaltung vom 11.05.2000. Aachen. Online verfügbar unter <http://www.ika.rwth-aachen.de/forschung/veroeffentlichung/2000/11.-12.05/by1000d.pdf>, zuletzt geprüft am 30.06.2014.
- Baier, Daniel; Bruschi, Michael (Hg.) (2009a): Conjointanalyse. Methoden - Anwendungen - Praxisbeispiele. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Baier, Daniel; Bruschi, Michael (2009b): Erfassung von Kundenpräferenzen für Produkte und Dienstleistungen. In: Baier, Daniel; Bruschi, Michael (Hg.): Conjointanalyse. Methoden - Anwendungen - Praxisbeispiele. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 3–18.
- Baier, Daniel; Bruschi, Michael (2009c): Konstruktion von Erhebungsdesigns bei der Conjointanalyse. In: Baier, Daniel; Bruschi, Michael (Hg.): Conjointanalyse. Methoden - Anwendungen - Praxisbeispiele. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 73-82.
- Bain (2010): E-Mobility-Studie: Bis 2020 hat die Hälfte aller neuen Autos einen Elektroantrieb. Pressemitteilung vom 26.02.2010, zuletzt geprüft am 26.08.2011.
- Balderjahn, Ingo; Hedergott, Doreen; Peyer, Mathias (2009): Choice-Based Conjointanalyse. In: Baier, Daniel; Bruschi, Michael (Hg.): Conjointanalyse. Methoden - Anwendungen - Praxisbeispiele. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 129-146
- Bandilla, Wolfgang; Hauptmanns, Peter (1998): Internetbasierte Umfragen als Datenerhebungstechnik für die empirische Sozialforschung? In: ZUMA Nachrichten, Jg. 22, H. 43, S. 36–53.
- Bardi, Ugo (2009): Peak oil: The four stages of a new idea. In: WESC 2006 6th World Energy System Conference Advances in Energy Studies 5th workshop on Advances, Innovation and Visions in Energy and Energy-related Environmental and Socio-Economic Issues, Jg. 34, H. 3, S. 323–326.

- BASF (2009): Wettlauf zu neuen Lithium-Ionen-Akkus gestartet. Pressemitteilung vom 26.03.2009. Online verfügbar unter <http://basf.com/group/corporate/de/function/conversions:/publish/content/news-and-media-relations/news-releases/downloads/P158-d-Lithium-Ionen-Akku.pdf>, zuletzt geprüft am 03.05.2013.
- BDEW (2013a): CO2-Emissionen 2012. Pressemitteilung vom 20.03.2013. Berlin. Online verfügbar unter [http://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE\\_Spezifische\\_klimarelevante\\_CO2-Emissionen\\_der\\_Kraftwerke\\_der\\_allgemeinen\\_Versorgung\\_einschl\\_DB\\_A?open&ccm=900030](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE_Spezifische_klimarelevante_CO2-Emissionen_der_Kraftwerke_der_allgemeinen_Versorgung_einschl_DB_A?open&ccm=900030), zuletzt geprüft am 18.03.2014.
- BDEW (2013b): Wichtiger Schritt für den Erfolg der Elektromobilität. Code-Vergabe ermöglicht allen Nutzern einfachen Zugang zu jeder öffentlichen Ladesäule / Es gibt inzwischen 3819 Stromladesäulen in 580 Kommunen. Pressemitteilung vom 13.06.2013. Online verfügbar unter <http://www.bdew.de/internet.nsf/id/20130613-pi-wichtiger-schritt-fuer-den-erfolg-der-elektromobilitaet-de?open&ccm=900030>, zuletzt geprüft am 09.03.2014.
- Berndt, Ralph (1990): Marketing 1. Käuferverhalten, Marktforschung und Marketing-Prognosen. Berlin, Heidelberg: Springer (Springer-Lehrbuch).
- Berz, Nicola (2013): Wird die Online-Befragung den Standards der empirischen Sozialforschung gerecht?: Eine Analyse von Repräsentativität mit besonderem Blick auf die Stichprobenproblematik web-basierter Befragungen und deren Zukunftspotential: GRIN Verlag GmbH. Online verfügbar unter <http://www.grin.com/de/e-book/208836/wird-die-online-befragung-den-standards-der-empirischen-sozialforschung>, zuletzt geprüft am 09.03.2014.
- Bhat, Chandra R. (2005): A multiple discrete–continuous extreme value model: formulation and application to discretionary time-use decisions. In: *Transportation Research Part B: Methodological*, Jg. 39, H. 8, S. 679–707.
- Bhat, Chandra R.; Sen, Sudeshna (2006): Household vehicle type holdings and usage: an application of the multiple discrete-continuous extreme value (MDCEV) model. In: *Transportation Research Part B: Methodological*, Jg. 40, H. 1, S. 35–53.
- Bichler, Axel; Trommsdorff, Volker (2009): Präferenzmodelle bei der Conjointanalyse. In: Baier, Daniel; Bruschi, Michael (Hg.): *Conjointanalyse. Me-*

- thoden - Anwendungen - Praxisbeispiele. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 59-71.
- bild.de (2013): Drei Elektroautos im Vergleich. Der spannendste Test des Jahres. BMWs neuer i3 muss gegen die Stromer Renault Zoe und Nissan Leaf zeigen, was er wirklich kann. Pressemitteilung vom 29.11.2013. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.bild.de/auto/tests/elektroauto/test-vergleich-elektroauto-33584004.bild.html>, zuletzt geprüft am 18.02.2014.
- Binder, L; Odar, W. (1984): Experimental survey of rechargeable alkaline zinc electrodes. In: Journal of Power Sources, Jg. 13, H. 1, S. 9–21.
- Blesl, M; Bruchof, D; Hartmann, N; Özdemir, U; Fahl, U; Eltrop, L; Voß, A. (2009): Entwicklungsstand und Perspektiven der Elektromobilität. Endbericht. Herausgegeben von A. Prof. Dr. Ing. Voß. Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Stuttgart. Online verfügbar unter [http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2010/5218/pdf/Elektromobilitaet\\_Endbericht\\_20100322.pdf](http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2010/5218/pdf/Elektromobilitaet_Endbericht_20100322.pdf), zuletzt geprüft am 26.08.2011.
- Bliemer, Michiel C. J.; Rose, John M.; Hensher, David A. (2009): Efficient stated choice experiments for estimating nested logit models. In: Transportation Research Part B: Methodological, Jg. 43, H. 1, S. 19–35.
- BMF (2011): Wie setzt sich der Benzinpreis zusammen? Online verfügbar unter [http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Service/Einfach\\_erklaert/2011-05-25-benzinpreisrechner-flash-infografik.html](http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Service/Einfach_erklaert/2011-05-25-benzinpreisrechner-flash-infografik.html), zuletzt geprüft am 08.03.2014.
- BMJ (2006): Energiesteuergesetz. EnergieStG.
- BMU (2007): Integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung. Pressemitteilung vom 2007. Berlin.
- BMU (2009): Die EU-Verordnung zur Verminderung der CO<sub>2</sub> - Emissionen von Personenkraftwagen. Online verfügbar unter [http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eu\\_verordnung\\_co2\\_emissionen\\_pkw.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eu_verordnung_co2_emissionen_pkw.pdf), zuletzt geprüft am 30.06.2014.
- BMU (2012): Startschuss für „Schaufenster Elektromobilität“ Bekanntmachung Richtlinien zur Förderung von Forschung und Entwicklung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Pressemitteilung vom 01.06.2012. Berlin.

- BMVBS (2008): Förderrichtlinie für das „Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ (NIP). Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Berlin. Online verfügbar unter [http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user\\_upload/ RE-Downloads/ RE\\_DL\\_Foerderrichtlinie\\_NIP/Foerderrichtlinie.pdf](http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user_upload/RE-Downloads/RE_DL_Foerderrichtlinie_NIP/Foerderrichtlinie.pdf), zuletzt geprüft am 30.06.2014..
- BMVBS (2011): Ergebnisbericht 2011 der Modellregionen Elektromobilität. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). Berlin.
- Böcker, Joachim (2010): Elektrofahrzeuge: Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf; Studie der Energietechnischen Gesellschaft im VDE (ETG). Frankfurt.
- Bogner, Wolfgang (2001): Verkehrsplanung - Conjoint Analysis - Concept and practical experience. In: Internationales Verkehrswesen : Transport and mobility management, Jg. 53, 7-8, S. 332–336.
- Böhler, Heymo; Scigliano, Dino (2009): Traditionelle Conjointanalyse. In: Bailer, Daniel; Brusch, Michael (Hg.): Conjointanalyse. Methoden - Anwendungen - Praxisbeispiele. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 101-112.
- Braess, Hans-Hermann; Seiffert, Ulrich (2005): Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. Mit 91 Tabellen. 4. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Vieweg (ATZ/MTZ-Fachbuch).
- Brokate, Jens; Özdemir, Enver Doruk; Kugler, Ulrike (2013): Der Pkw-Markt bis 2040: Was das Auto von morgen antreibt. Szenario-Analyse im Auftrag des Mineralölwirtschaftsverbandes. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR). Institut für Fahrzeugkonzepte. Stuttgart. Online verfügbar unter <http://www.mwv.de/index.php/service/publikationen>, zuletzt geprüft am 22.02.2014.
- Brownstone, David; Bunch, David S.; Golob, Thomas F. (1994): A demand forecasting system for clean-fuel vehicles. Präsentiert auf der OECD-Konferenz zu “Fuel Efficient and Clean Motor Vehicles” in Mexico City. Working Paper UTCT No. 221. Berkeley. Online verfügbar unter [www.uctc.net/papers/221.pdf](http://www.uctc.net/papers/221.pdf) ,zuletzt geprüft am 30.06.2014.
- Brownstone, David; Bunch, David S.; Golob, Thomas F.; Ren, Weiping (1996): A transactions choice model for forecasting demand for alternative-fuel vehicles. In: Research in Transportation Economics, Jg. 4, H. 0, S. 87–129.

- Brownstone, David; Bunch, David S.; Train, Kenneth (2000): Joint mixed logit models of stated and revealed preferences for alternative-fuel vehicles. In: *Transportation Research Part B: Methodological*, Jg. 34, H. 5, S. 315–338.
- Brownstone, David; Train, Kenneth (1999): Forecasting new product penetration with flexible substitution patterns. In: *Journal of Econometrics*, H. 89, S. 109–129.
- Brusch, Michael (2005): Präferenzanalyse für Dienstleistungsinnovationen mittels multimedialgestützter Conjointanalyse. Wiesbaden, Cottbus. Brandenburg. Techn. Univ.
- Brusch, Michael (2009): Präsentation der Stimuli bei der Conjointanalyse. In: Baier, Daniel; Bruschi, Michael (Hg.): *Conjointanalyse. Methoden - Anwendungen - Praxisbeispiele*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 83-98.
- Bunch, David S.; Bradley, Mark; Golob, Thomas F.; Kitamura, Ryuichi; Occhiuzzo, Gareth P. (1993): Demand for clean-fuel vehicles in California: A discrete-choice stated preference pilot project. In: *Special Issue Energy and Global Climate Change*, Jg. 27, H. 3, S. 237–253.
- Bundesanzeiger (2011): Bekanntmachung Richtlinien zur Förderung von Forschung und Entwicklung „Schaufenster Elektromobilität“. Pressemitteilung vom 28.10.2011. Berlin.
- Bundesregierung (2009a): Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung. Berlin.
- Bundesregierung (2009b): Programm zur Marktaktivierung für Elektrofahrzeuge - 100.000 Stück bis Ende 2014. Pressemitteilung vom 16.09.2009. Berlin.
- Bundesverband CarSharing (2012): Positionspapier Elektromobilität. Online verfügbar unter [http://www.carsharing.de/images/stories/pdf\\_dateien/bcs\\_positionspapier\\_elektromobilitaet\\_und\\_carsharing\\_07-2012.pdf](http://www.carsharing.de/images/stories/pdf_dateien/bcs_positionspapier_elektromobilitaet_und_carsharing_07-2012.pdf), zuletzt geprüft am 08.11.2013.
- BYD (2014): F3DM. Specs. Online verfügbar unter <http://www.byd.com/la/auto/f3dm.html>, zuletzt geprüft am 01.04.2014.
- Byun, Dae-Ho (2001): The AHP approach for selecting an automobile purchase model. In: *Information & Management*, Jg. 38, H. 5, S. 289–297.

- car2go (2014): Rekordstart: Nach 10 Wochen 50.000 Kunden in Mailand. Pressemitteilung vom 2014. Esslingen. Online verfügbar unter <https://www.car2go.com/de/berlin/presse/>, zuletzt geprüft am 30.06.2014.
- CARB (2007): Status and Prospects for Zero Emissions Vehicle Technology. Report of the ARB Independent Expert Panel 2007. Unter Mitarbeit von Fritz R. Kalhammer, Bruce M Kopf und David H. Swan et al. California Air Resources Board (CARB). Online verfügbar unter [http://www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/zevreview/zev\\_panel\\_report.pdf](http://www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/zevreview/zev_panel_report.pdf), zuletzt geprüft am 31.08.2011.
- carsite.co.uk (2012): TfL to lower Congestion Charge cut-off. Pressemitteilung vom 2012. Online verfügbar unter <http://www.carsite.co.uk/news/article/tfl-to-lower-congestion-charge-cutoff/13244>, zuletzt geprüft am 25.04.2013.
- Cattin, Philippe; Wittink, Dick R. (1982): Commercial Use of Conjoint Analysis: A Survey. In: *Journal of Marketing*, Jg. 46, H. 3, S. 44–53.
- Chandra, Ambarish; Gulati, Sumeet; Kandlikar, Milind (2010): Green drivers or free riders? An analysis of tax rebates for hybrid vehicles. In: *Journal of Environmental Economics and Management*, Jg. 60, H. 2, S. 78–93.
- Chevrolet (2013): Volt. Online verfügbar unter <http://www.chevrolet.com/volt-electric-car.html>, zuletzt geprüft am 01.04.2014.
- Chlond, Bastian; Kagerbauer, Martin; Vortisch, Peter (2012): Welche Anforderungen sollen Elektrofahrzeuge erfüllen? In: Proff, Heike; Schönharting, Jörg; Schramm, Dieter; Ziegler, Jürgen (Hg.): *Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität*: Gabler Verlag, S. 445-454.
- Choo, Sangho; Mokhtarian, Patricia L. (2004): What type of vehicle do people drive? The role of attitude and lifestyle in influencing vehicle type choice. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Jg. 38, H. 3, S. 201–222.
- Chrzan, Keith; Orme, Bryan (2000): An overview and comparison of design strategies for choice-based conjoint analysis. In: *Proceedings of the Sawtooth Software Conference*, S. 161–178.
- Claas, B.; Marker, S.; Bickert, S.; Linssen, J.; Strunz, K. (2010): Integration of Plug-In Hybrid and Electric Vehicles: Experience from Germany. Power and Energy Society General Meeting. IEEE. Online verfügbar unter [ieeexplore.ieee.org](http://ieeexplore.ieee.org), zuletzt geprüft am 01.04.2014.

- Clausen, Uwe; Schaumann, Henning (2012): Entwicklung eines Konzepts zur Innenstadtbelieferung mittels Elektromobilität. In: Proff, Heike; Schönharting, Jörg; Schramm, Dieter; Ziegler, Jürgen (Hg.): Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität: Gabler Verlag, S. 467-478.
- Cole, Jay (2013): January 2013 Plug-In Electric Vehicle Sales Report Card. Inside EVs. Online verfügbar unter <http://insideevs.com/january-2013-plug-in-electric-vehicle-sales-report-card/>, zuletzt geprüft am 14.02.2013.
- Cowan, Robin; Hultén, Staffan (1996): Escaping lock-in: The case of the electric vehicle. In: *Technology and the Environment*, Jg. 53, H. 1, S. 61–79.
- Cushing, Christiadi; Cushing, Brian (2007): Conditional Logit, IIA, and Alternatives for Estimating Models of Interstate Migration. In: annual meeting of the Southern Regional Science Association. Charleston, SC.
- Dagsvik, John K.; Wennemo, Tom; Wetterwald, Dag G.; Aaberge, Rolf (2002): Potential demand for alternative fuel vehicles. In: *Transportation Research Part B: Methodological*, Jg. 36, H. 4, S. 361–384.
- Daimler (2012): Lärmemissionen. Online verfügbar unter <http://nachhaltigkeit.daimler.com/reports/daimler/annual/2012/nb/German/4535/laermemissionen.html>, zuletzt geprüft am 03.03.2014.
- Dale, Bruce E. (2007): Thinking clearly about biofuels: ending the irrelevant ‘net energy’ debate and developing better performance metrics for alternative fuels. In: *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, Jg. 1, H. 1, S. 14–17.
- Daziano, Ricardo A.; Achtnicht, Martin (2012): Forecasting Adoption of Ultra-low-emission Vehicles Using the GHK Simulator and Bayes Estimates of a Multinomial Probit Model. Discussion Paper No. 12-017. Mannheim. Online verfügbar unter <http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp12017.pdf>, zuletzt geprüft am 11.12.2012.
- Daziano, Ricardo A.; Chiew, Esther (2012): Electric vehicles rising from the dead: Data needs for forecasting consumer response toward sustainable energy sources in personal transportation. In: *Renewable Energy in China*, Jg. 51, H. 0, S. 876–894.
- de Haan, P. (2006): Charakteristika von KäuferInnen des hybriden Lexus RX400h und des konventionellen Lexus RX300. Bericht zum Schweizer Autokaufverhalten Nr. 13. Forschungsbericht zum Projekt Hybridfahrzeugkäufer. Zürich. Online verfügbar unter <http://www.uns.ethz.ch/res/>

- irl/emdm/ETH\_CH-Autokauf\_13\_RX400h\_EMDM1471.pdf, zuletzt geprüft am 01.02.2013.
- de Haan, P.; Duthaler, C.; Peters, A. (2006): Käufer des Hybridfahrzeugs Toyota Prius im Vergleich mit Käufern von Toyota Corolla und Toyota Avenis. Forschungsbericht zum Projekt Hybridfahrzeuge. Berichte zum Schweizer Autokaufverhalten Nr. 6. IED-NSSI, report EMDM1152. ETH Zurich. Zürich. Online verfügbar unter (download from <http://www.nssi.ethz.ch/res/emdm/>), zuletzt geprüft am 12.02.2013.
- de Haan, P.; Mueller, M.G.; Peters, A. (2007): Anreizsysteme beim Neuwagenkauf: Wirkungsarten, Wirksamkeit und Wirkungseffizienz. Bericht zum Schweizer Autokaufverhalten Nr. 14. ETH Zurich. Zürich. (IED-NSSI, report EMDM1561). Online verfügbar unter <http://www.nssi.ethz.ch/res/emdm/>, zuletzt geprüft am 06.02.2013.
- Der Tagesspiegel (2014): Die Marktmacher. In: Der Tagesspiegel - eMobility. Das Magazin für Elektromobilität, Nr. 01.
- Deutsche Bank (2009): Electric Cars: Plugged In 2. A mega-theme gains momentum. Deutsche Bank Securities Inc. (FITT Research). Online verfügbar unter <http://www.fullermoney.com/content/2009-11-03/ElectricCarsPluggedIn2.pdf>, zuletzt aktualisiert am 03.11.2009, zuletzt geprüft am 31.08.2011.
- Deutscher Bundestag (1998): Gesetz über den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG). Konsolidierte (unverbindliche) Fassung des Gesetzestextes in der ab 1. Januar 2012 geltenden Fassung (Abdruck).
- dpa (2013): Bundesratsinitiative zu Privilegien für umweltfreundliche Autos. In: Focus online, 24.09.2013. Online verfügbar unter [http://www.focus.de/regional/stuttgart/regierung-bundesratsinitiative-zu-privilegien-fuer-umweltfreundliche-autos\\_aid\\_1110155.html](http://www.focus.de/regional/stuttgart/regierung-bundesratsinitiative-zu-privilegien-fuer-umweltfreundliche-autos_aid_1110155.html), zuletzt geprüft am 02.03.2014.
- Ehls, Daniel; Herstatt, Cornelius; Raasch, Christina (2014): Joining decisions in open collaborative innovation communities. Wiesbaden, Hamburg-Harburg. Techn. Univ., Institut für Technologie- und Innovationsmanagement; Institut für Technologie- und Innovationsmanagement.
- Engel, Björn (2011): Abwrackprämie war nicht mehr als ein Strohfleuer. In: Welt online, 07.01.2011. Online verfügbar unter <http://www.welt.de/motor/>

- article12009230/Abwrackpraemie-war-nicht-mehr-als-ein-Strohfeuer.html, zuletzt geprüft am 09.03.2014.
- Erb, Prisca (2009): Privathaushaltsituation, Umweltbewusstsein und Umweltverhalten: Die Privathaushaltsituation als Determinante des Umweltverhaltens in der Schweiz: GRIN Verlag GmbH.
- Esch, Franz-Rudolf; Stenger, Daniel; Krieger, KaiHarald; Knörle, Christian (2013): Die Kommunikation orchestrieren. In: Esch, Franz-Rudolf (Hg.): Strategie und Technik des Automobilmarketing: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 171-213.
- Esser, H. (1993): Soziologie: allgemeine Grundlagen: Campus-Verlag. Frankfurt/New York.
- EU Kommission (2014): Zeitreihen - Mit und ohne Abgaben und Verbrauch für alle Länder; EU-Durchschnitt. Online verfügbar unter [http://ec.europa.eu/energy/observatory/oil/bulletin\\_de.htm](http://ec.europa.eu/energy/observatory/oil/bulletin_de.htm).
- EUR-LEX (2009): Verordnung (EG) Nr. 443/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO -Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen. Fundstelle: <http://eur-lex.europa.eu>. Online verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0001:0015:DE:PDF>.
- EUROSTAT (2010): Statistik des Personenverkehrs. Europäische Kommission. Online verfügbar unter [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/Passenger\\_transport\\_statistics/de#Personenverkehr\\_mit\\_Kraftfahrzeugen](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Passenger_transport_statistics/de#Personenverkehr_mit_Kraftfahrzeugen), zuletzt geprüft am 30.03.2014.
- Evans, Joel R.; Mathur, Anil (2005): The value of online surveys. In: Internet Research, Jg. 15, H. 2, S. 195–219.
- Ewing, G.O.; Sarigöllü, E. (2000): Assessing Consumer Preferences for Clean-Fuel Vehicles: A Discrete Choice Experiment. In: Journal of Public Policy & Marketing, Vol. 19 (1), S. 106–118.
- FfE (2007): Elektrostraßenfahrzeuge. Elektrizitätswirtschaftliche Einbindung von Elektrostraßenfahrzeugen. Endbericht. Unter Mitarbeit von Tobias Blank. Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE). Online verfügbar unter [http://www.ffe.de/download/langberichte/E.ON\\_Elektrostras-senfahrzeuge\\_Endbericht\\_20080611.pdf](http://www.ffe.de/download/langberichte/E.ON_Elektrostras-senfahrzeuge_Endbericht_20080611.pdf), zuletzt geprüft am 30.08.2011.

- FfE (2010): Modellregion Elektromobilität München. Szenarien für das Potential an Elektrofahrzeugen im Münchner Individualverkehr bis 2030. Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE).
- FGSV (1996): Hinweise zur Messung von Präferenzstrukturen mit Methoden der Stated Preferences. 1996. Aufl. Köln: FGSV (FGSV, 129).
- Fournier, Guy; Würzer, Dominik; Seign, René; Hinderer, Henning (2012): Der Weg zur emissionsfreien Mobilität. In: Proff, Heike; Schönharting, Jörg; Schramm, Dieter; Ziegler, Jürgen (Hg.): Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität: Gabler Verlag, S. 405–423.
- Foytik, Michael (1999): Conjoint on the Web - Lessons Learned. In: Proceedings of the Sawtooth Software Conference, S. 9–22.
- Franke, Thomas (2014): Nachhaltige Mobilität mit begrenzten Ressourcen: Erleben und Verhalten im Umgang mit der Reichweite von Elektrofahrzeugen. Dissertation. Betreut von Josef F. Krems. Chemnitz. Online verfügbar unter [http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/13350/Dissertation\\_Thomas\\_Franke.pdf](http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/13350/Dissertation_Thomas_Franke.pdf), zuletzt geprüft 05.06.2014.
- Fraunhofer Gesellschaft (2009): Verbesserte RedoxFlowBatterien für Elektroautos. Pressemitteilung vom 16.9.2009. Online verfügbar unter <http://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2009/09/redox-flow-batterie-fuer-elektroautos.html>, zuletzt geprüft am 03.05.2013.
- Friedrich, Horst E; Schmid, Stephan A. (2011): Strukturanalyse von Automobilkomponenten für zukünftige elektrifizierte Fahrzeugantriebe: Stuttgart. Online verfügbar unter <http://core.kmi.open.ac.uk/download/pdf/11150082.pdf>, zuletzt geprüft am 14.05.2013.
- Fritz, W. (2011): MROCS - Marktforschung 2.0 mit Market Research Online Communities. Veranstaltung vom 07.12.2011. Braunschweig.
- Fromm, Sabine (2005): Binäre Einführung für Sozialwissenschaftler mit SPSS für Windows. Eine Einführung für Sozialwissenschaftler in SPSS für Windows. Herausgegeben von Gerhard Schulze und Leila Akremi. (Bamberger Beiträge zur empirischen Sozialforschung, Nr. 11). Online verfügbar unter [http://www.uni-bamberg.de/fileadmin/uni/fakultaeten/sowi\\_lehrstuehle/empirische\\_sozialforschung/pdf/bambergerbeitraege/Log-Reg-BBES.pdf](http://www.uni-bamberg.de/fileadmin/uni/fakultaeten/sowi_lehrstuehle/empirische_sozialforschung/pdf/bambergerbeitraege/Log-Reg-BBES.pdf), zuletzt geprüft am 14.05.2012.

- Fulton, Lew (2010): Scenarios for Cutting Carbon Dioxide in Transport 70 Percent Worldwide by 2050. Chapter 2. In: Sperling, Daniel; Cannon, James S. (Hg.): *Climate and Transportation Solutions. Findings from the 2009 Asilomay Conference on Transportation and Energy Policy*. Davis, California: Institute of Transportation Studies University of California, Davis, S. 9–23.
- Gabler (2014): *Gabler Wirtschaftslexikon*, Stichwort: Kaufentscheidung. Herausgegeben von Springer Gabler Verlag. Online verfügbar unter <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/10297/kaufentscheidung-v8.html>, zuletzt geprüft am 07.04.2014.
- Gao, Yong; Wang, Cheng; Pu, Weihua; Liu, Zhixiang; Deng, Changsheng; Zhang, Ping; Mao, Zongqiang (2012): Preparation of high-capacity air electrode for lithium-air batteries. In: 12th CHEC, Jg. 37, H. 17, S. 12725–12730.
- Gass, Viktoria; Schmidt, Johannes; Schmid, Erwin (2014): Analysis of alternative policy instruments to promote electric vehicles in Austria. In: *Renewable Energy*, Jg. 61, S. 96–101.
- GGEMO (2012): *Regierungsprogramm Elektromobilität - Übersicht zu umgesetzten oder initiierten Maßnahmen - Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung (GGEMO)*. Online verfügbar unter [http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bericht\\_emob\\_3\\_regierungsprogramm\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bericht_emob_3_regierungsprogramm_bf.pdf), zuletzt geprüft am 07.02.2013.
- Görtz, Oliver (2013): CDU Forderung: Gratis-Parken für Elektroautos. In: *Kölner Stadt-Anzeiger (ksta.de)*, 25.09.2013. Online verfügbar unter <http://www.ksta.de/koeln/-cdu-forderung-gratis-parken-fuer-elektroautos,15187530,24443022.html>, zuletzt geprüft am 02.03.2014.
- Gossen, Maike (2012): Nutzen statt Besitzen. Motive und Potenziale der internetgestützten gemeinsamen Nutzung am Beispiel des Peer-to-Peer Car-Sharing. In: *Schriftenreihe des IÖW*, 202/12, S. 12.
- Götze, Uwe (1991): *Szenario-Technik in der strategischen Unternehmensplanung*: Deutscher Universitätsverlag.
- Graham-Rowe, Ella; Gardner, Benjamin; Abraham, Charles; Skippon, Stephen; Dittmar, Helga; Hutchins, Rebecca; Stannard, Jenny (2012): *Mainstream consumers driving plug-in battery-electric and plug-in hybrid electric*

- cars: A qualitative analysis of responses and evaluations. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Jg. 46, H. 1, S. 140–153.
- Green, Paul E.; Rao, Vithala R. (1971): Conjoint measurement for quantifying judgmental data. In: *Journal of Marketing Research*, S. 355–363.
- Green, Paul E.; Srinivasan, Venkat (1990): Conjoint analysis in marketing: new developments with implications for research and practice. In: *The Journal of Marketing*, S. 3–19.
- Green, Paul E.; Srinivasan, Venkatachary (1978): Conjoint analysis in consumer research: issues and outlook. In: *Journal of consumer research*, S. 103–123.
- Green, Paul E.; Wind, Yoram (1973): *Multiattribute decisions in marketing. A measurement approach*. Hinsdale, Ill: Dryden Press (Editor's series in marketing).
- greencarsreport.com (2013): Nissan Leaf Bumps Tesla Model S to Top Norway Oct Sales Charts. Pressemitteilung vom 04.11.2013, zuletzt geprüft am 10.11.2013.
- Greene, William H.; Hensher, David A. (2010): Does scale heterogeneity across individuals matter? An empirical assessment of alternative logit models. In: *Transportation*, Jg. 37, H. 3, S. 413–428.
- Gröppel-Klein, Andrea (2013): *Konsumentenverhalten*. 10., überarb., aktualisierte und erg. Aufl. München: Vahlen (Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften).
- Gruden, Dušan (2008): *Umweltschutz in der Automobilindustrie. Motor, Kraftstoffe, Recycling; mit 16 Tabellen*. 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner (Kraftfahrzeugtechnik).
- Gutjahr, Gert (2011): *Markenpsychologie. Wie Marken wirken - Was Marken stark macht*. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden.
- Haan, Peter (2006): Much ado about nothing: Conditional logit vs. random coefficient models for estimating labour supply elasticities. In: *Applied Economics Letters*, Jg. 13, H. 4, S. 251–256.
- Haas, O.; van Wesemael, J. (2009): Secondary Batteries - Metal -Air Systems | Zinc-Air: Electrical Recharge. In: Editor-in-Chief: Jürgen Garcke (Hg.):

- Encyclopedia of Electrochemical Power Sources. Amsterdam: Elsevier, S. 384–392.
- Hacker, F.; Harthan, R.; Matthies, M.; Zimmer, W. (2009): Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe. Critical Review of Literature. ETC/ACC Technical Paper 2009/4. Öko-Institut e.V. Berlin, zuletzt geprüft am 26.08.2011.
- Hanley, Nick; Mourato, Susana; Wright, Robert E. (2001): Choice Modelling Approaches: A Superior Alternative for Environmental Valuation? In: Journal of economic surveys, Jg. 15, H. 3, S. 435–462.
- Heinemann, Detlef (2007): Strukturen von Batterie- und Energiemanagementsystemen mit Bleibatterien und Ultracaps. Berlin, Berlin. Techn. Univ. Online verfügbar unter <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01dd01/527662690.pdf>, zuletzt geprüft am 30.06.2014.
- Hensher, David A.; Greene, William H. (2003): The Mixed Logit model: The state of practice. In: Transportation, Jg. 30, H. 2, S. 133–176.
- Hensher, David A.; Rose, John M.; Greene, William H. (2005): Applied choice analysis. A primer. Transferred to digital printing. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Hensher, David A.; Rose, John M.; Greene, William H. (2008): Combining RP and SP data: biases in using the nested logit ‘trick’ – contrasts with flexible mixed logit incorporating panel and scale effects. In: Journal of Transport Geography, Jg. 16, H. 2, S. 126–133.
- Herrmann, Andreas; Huber, Frank; Regier, Stefanie (2009): Adaptive Conjointanalyse. In: Baier, Daniel; Bruschi, Michael (Hg.): Conjointanalyse. Methoden - Anwendungen - Praxisbeispiele. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 113–127.
- Hirsch, Robert L. (2006): Peaking of world oil production. An overview. Präsentation auf dem Atlantic Council Workshop on Transatlantic Energy Issues 23.10.2006. Online verfügbar unter <http://unknown.shambalayogi.net/vipreports/hirschpeakingatlanticcouncil06.pdf>, zuletzt geprüft am 29.03.2014.
- Hole, A. R. (2007a): Fitting mixed logit models by using maximum simulated likelihood. In: Stata Journal, Jg. 7, H. 3, S. 388–401(14). Online verfügbar

- unter <http://www.stata-journal.com/article.html?article=st0133>, zuletzt geprüft am 01.05.2014.
- Hole, Arne Risa (2007b): Estimating mixed logit models using maximum simulated likelihood. In: *Stata J*, Jg. 7, H. 3, S. 388–401.
- Holzhausen, Antje (2004): Durchsetzung neuer Antriebstechnologien bei Automobilen. Berlin, Mannheim. Univ.
- Howey, D. A.; Martinez-Botas, R. F.; Cussons, B.; Lytton, L. (2011): Comparative measurements of the energy consumption of 51 electric, hybrid and internal combustion engine vehicles. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Jg. 16, H. 6, S. 459–464.
- Huang, Qizhao; Li, Hong; Gratzel, Michael; Wang, Qing (2013): Reversible chemical delithiation/lithiation of LiFePO<sub>4</sub>: towards a redox flow lithium-ion battery. In: *Phys. Chem. Chem. Phys.*, Jg. 15, H. 6, S. 1793–1797.
- Huber, Felix (2012): Verkehr in der postfossilen Gesellschaft. In: Proff, Heike; Schönharting, Jörg; Schramm, Dieter; Ziegler, Jürgen (Hg.): *Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität*: Gabler Verlag, S. 493-500.
- Hübner, Christian (2012): Beitrag von Stated Choice Experiments (SCEs) zur polit-ökonomischen Erklärung der gesellschaftlichen Nachfrage nach multiattributiven Umweltgütern. Dissertation. TU-Berlin. Berlin.
- HWWI (2009): Mobilität. Strategie 2030. Hamburgisches WeltWirtschaftsInstitut. Online verfügbar unter [http://www.hwwi.org/fileadmin/hwwi/Publikationen/Partnerpublikationen/Berenberg/Strategie-2030\\_Mobilitaet.pdf](http://www.hwwi.org/fileadmin/hwwi/Publikationen/Partnerpublikationen/Berenberg/Strategie-2030_Mobilitaet.pdf), zuletzt geprüft am 31.08.2011.
- Hybrid-elektrofahrzeuge.de (2013). Tesla Model S. Pressemitteilung vom 19.01.2013. Online verfügbar unter [http://www.hybrid-elektrofahrzeuge.de/elektroautos/tesla\\_model-s.html](http://www.hybrid-elektrofahrzeuge.de/elektroautos/tesla_model-s.html), zuletzt geprüft am 16.06.2014.
- IEA (2009): *Transport, Energy and CO<sub>2</sub>: Moving towards Sustainability*. Online verfügbar unter <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2009/transport2009.pdf>, zuletzt geprüft am 30.08.2011.
- IEA (2010): *World Energy Outlook 2010. Key Graphs*. Herausgegeben von World Energy Outlook 2010. Paris.
- IEA (2011): *Technology Roadmap. Biofuels for Transport*. International Energy Agency (IEA). Paris.

- IEA (2013): Key World Energy Statistics. 2013. International Energy Agency (IEA). Paris. Online verfügbar unter <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013.pdf>, zuletzt geprüft am 30.03.2014.
- ifmo (2010): Zukunft der Mobilität. Szenarien für das Jahr 2030 ; zweite Fortschreibung. 1. Aufl. München: BMW Verl (ifmo-Studien).
- IHK Region Stuttgart (2010): Otto-, Diesel-, Elektromotor - wer macht das Rennen? Handlungsfelder zur Sicherung des Automobilstandorts Region Stuttgart. Unter Mitarbeit von Diez, Willi Prof. Dr. und Markus Kohler. Herausgegeben von IHK Stuttgart. Stuttgart.
- infas (2010): Mobilität in Deutschland 2008. Ergebnisbericht. Projektseite: [www.mobilitaet-in-deutschland.de](http://www.mobilitaet-in-deutschland.de). infas Institut für angewandte Sozialforschung; DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Institut für Verkehrsforschung. Bonn und Berlin. Online verfügbar unter [http://www.infas.de/fileadmin/images/themenfelder/transport/MiD2008\\_Abschlussbericht\\_I.pdf](http://www.infas.de/fileadmin/images/themenfelder/transport/MiD2008_Abschlussbericht_I.pdf), zuletzt geprüft am 12.02.2013.
- insideevs (2013): Tesla Model S Outsells VW Golf to Become Norway's Top Selling Vehicle; Captures 6.9% of Market. Pressemitteilung vom 24.09.2013. Online verfügbar unter <http://insideevs.com/tesla-model-s-outsells-vw-golf-to-become-norways-top-selling-vehicle-captures-6-9-of-market/>, zuletzt geprüft am 08.10.2013.
- IPCC (2008): Climate Change 2007. Syntheses Report. Herausgegeben von Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. Berlin.
- ISEA (2013a): Batterietechnologie und Speichersysteme - Lithium-Batterien. Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe. Online verfügbar unter [http://www.isea.rwth-aachen.de/de/energy\\_storage\\_systems\\_technology\\_lithium\\_batterien/](http://www.isea.rwth-aachen.de/de/energy_storage_systems_technology_lithium_batterien/), zuletzt geprüft am 03.05.2013.
- ISEA (2013b): Batterietechnologie und Speichersysteme - Redox-Flow-Batteriesysteme. Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe. Online verfügbar unter [http://www.isea.rwth-aachen.de/de/energy\\_storage\\_systems\\_technology\\_redox\\_flow\\_batteries/](http://www.isea.rwth-aachen.de/de/energy_storage_systems_technology_redox_flow_batteries/), zuletzt geprüft am 03.05.2013.
- Ito, Nobuyuki; Takeuchi, Kenji; Managi, Shunsuke (2013): Willingness-to-pay for infrastructure investments for alternative fuel vehicles. In: Transportation Research Part D: Transport and Environment, Jg. 18, S. 1–8.

- Jashuah (2012): Ölpreise der Sorten Brent und WTI in Dollar pro Barrel von 2000 bis 2012. Daten von Stooq. wikipedia.de.
- Jäggi, Boris; Erath, Alexander; Dobler, Christoph; Axhausen, Kay W. (2011): Modeling household fleet choice as a function of fuel price using a multiple discrete-continuous. choice model. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, IVT, zuletzt geprüft am 26.03.2012.
- Jetzek, Florian (2009): Conjoint- und Discrete-Choice-Analyse als Präferenzmodelle zur Beurteilung des präventivmedizinischen Risikoverhaltens - Theorie und computerunterstützte Umsetzung unter Verwendung von SMRT. Dissertation.
- Johnson, Richard M.; Orme, Bryan K. (2003): Getting the Most from CBC. In: Sawtooth software research paper series, Jg. 81.
- Johnson, Richard M.; Orme, Bryan K. (1996): How many questions should you ask in choice-based conjoint studies. In: Sawtooth Software Technical Paper.
- Karplus, Valerie J.; Paltsev, Sergey; Reilly, John M. (2010): Prospects for plug-in hybrid electric vehicles in the United States and Japan: A general equilibrium analysis. In: Special Section on Climate Change and Transportation Policy: Gaps and Facts, Jg. 44, H. 8, S. 620–641.
- KBA(2009): Der Fahrzeugbestand am 1. Januar 2009. Pressemitteilung Nr. 7/2009. Pressemitteilung vom 2009. Flensburg. Online verfügbar unter [http://www.kba.de/nn\\_124832/DE/Presse/Pressemitteilungen/2006\\_\\_2010/2009/Fahrzeugbestand/fz\\_bestand\\_01\\_01\\_09\\_PDF\\_\\_templateId=raw,property=publicationFile.pdf/fz\\_bestand\\_01\\_01\\_09\\_PDF.pdf](http://www.kba.de/nn_124832/DE/Presse/Pressemitteilungen/2006__2010/2009/Fahrzeugbestand/fz_bestand_01_01_09_PDF__templateId=raw,property=publicationFile.pdf/fz_bestand_01_01_09_PDF.pdf), zuletzt geprüft am 20.02.2014.
- KBA (2010): Methodische Erläuterungen zu Statistiken über Fahrzeugzulassungen. Herausgegeben von Kraftfahrtbundesamt. Online verfügbar unter [http://www.kba.de/nn\\_212378/DE/Statistik/Fahrzeuge/fz\\_methodische\\_erlaeueterungen\\_201003\\_\\_pdf,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/fz\\_methodische\\_erlaeueterungen\\_201003\\_\\_pdf.pdf](http://www.kba.de/nn_212378/DE/Statistik/Fahrzeuge/fz_methodische_erlaeueterungen_201003__pdf,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/fz_methodische_erlaeueterungen_201003__pdf.pdf), zuletzt geprüft am 20.02.2014.
- KBA (2012a): Bestand an Personenkraftwagen am 1. Januar 2012 gegenüber 1. Januar 2011 nach Segmenten und Modellreihen (Zulassungen ab 1990). Online verfügbar unter [http://www.kba.de/cln\\_031/nn\\_212378/DE/Statistik/Fahrzeuge/Publikationen/2012/fz12\\_\\_2012\\_\\_pdf,templateId=ra](http://www.kba.de/cln_031/nn_212378/DE/Statistik/Fahrzeuge/Publikationen/2012/fz12__2012__pdf,templateId=ra)

- w,property=publicationFile.pdf/fz12\_2012\_pdf.pdf, zuletzt geprüft am 26.02.2013.
- KBA (2012b): Der Fahrzeugbestand im Überblick am 1. Januar 2012 gegenüber 1. Januar 2011. Online verfügbar unter [http://www.kba.de/cln\\_031/nn\\_125398/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/2011\\_\\_b\\_ueberblick\\_pdf,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/2011\\_\\_b\\_ueberblick\\_pdf.pdf](http://www.kba.de/cln_031/nn_125398/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/2011__b_ueberblick_pdf,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/2011__b_ueberblick_pdf.pdf), zuletzt geprüft am 26.02.2013.
- KBA (2012c): Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2012. Kraftfahrtbundesamt. Online verfügbar unter [http://www.kba.de/nn\\_125398/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/2012\\_\\_b\\_\\_jahresbilanz.html](http://www.kba.de/nn_125398/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/2012__b__jahresbilanz.html), zuletzt geprüft am 14.02.2013.
- KBA (2013). Kraftfahrtbundesamt. Online verfügbar unter [http://www.kba.de/cln\\_031/nn\\_125398/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Kurzbericht/2013\\_\\_b\\_\\_text.html#rechts](http://www.kba.de/cln_031/nn_125398/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Kurzbericht/2013__b__text.html#rechts), zuletzt geprüft am 09.10.2013.
- kfz-betrieb.vogel.de (2013): Better Place auf dem Rückzug: E-Mobil-Pionier konzentriert sich auf Kernmärkte. Pressemitteilung vom 11.02.2013. Würzburg.
- Klein, Markus (2002): Die Conjoint-Analyse. Eine Einführung in das Verfahren mit einem Ausblick auf mögliche sozialwissenschaftliche Anwendungen. ZA-Information 50 Mai 2002. Herausgegeben von Zentralarchiv für Empirische Sozialforschung Universität zu Köln. Online verfügbar unter [http://www.gesis.org/fileadmin/upload/forschung/publikationen/zeitschriften/za\\_information/ZA-Info-50.pdf](http://www.gesis.org/fileadmin/upload/forschung/publikationen/zeitschriften/za_information/ZA-Info-50.pdf), zuletzt geprüft am 09.02.2012.
- Knockaert, Jasper (2005): The choice for alternative cars. In: Energy, Transport and Environment Center For Economic Studies, Leuven, Belgium.
- KOM (2013): EU transport in figures. Statistical Pocketbook 2013. Europäische Kommission.
- Krems, J.F. (2011): MiniEVatt Berlin - Freude am umweltgerechten Fahren. Verbundprojekt Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen - MINI E 1.0 Berlin (Abschlussbericht, Förderkennzeichen 16EM0003). Online verfügbar unter [http://www.tu-chemnitz.de/hsw/psychologie/professuren/allpsy1/pdf/110217\\_Abschlussbericht\\_MINIE\\_1.0.pdf](http://www.tu-chemnitz.de/hsw/psychologie/professuren/allpsy1/pdf/110217_Abschlussbericht_MINIE_1.0.pdf), zuletzt geprüft am 26.03.2012.

- Krems, J.F.; Bartholdt, L.; Cocron, P.; Dielmann, B.; Franke, T.; Henning, M.J.; Ischebeck, M.; Schleinitz, K.; Zilyte-Lennertz, M. (2011): MINI E powered by Vattenfall V2.0. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben Verbundprojekt: MINI E powered by Vattenfall V2.0 (Abschlussbericht, Förderkennzeichen 16EM0070). Online verfügbar unter [http://www.tu-chemnitz.de/hsw/psychologie/professuren/allpsy1/pdf/111024\\_Abschlussbericht\\_MINIE\\_2.0.pdf](http://www.tu-chemnitz.de/hsw/psychologie/professuren/allpsy1/pdf/111024_Abschlussbericht_MINIE_2.0.pdf), zuletzt aktualisiert am 24.10.2011, zuletzt geprüft am 26.03.2012.
- krone.at (2013): Forscher stellen 30 Mal stärkere Super-Akkus in Aussicht. Pressemitteilung vom 18.04.2013. Wien.
- Kruse, Peter (2009): Ein Kultobjekt wird abgewrackt. In: GDI IMPULS - Wissensmagazin für Wirtschaft, Gesellschaft, Handel (1), S. 12–19.
- Kruskal, Joseph B. (1965): Analysis of factorial experiments by estimating monotone transformations of the data. In: Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), S. 251–263.
- Kugler, Ulrike; Theloke, Jochen; Jörß, Wolfram (2013): Verkehrsemissionsmodellierung – Modellvergleich und Alternative Szenarien. Teilbericht zum F&E-Vorhaben „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung - PAREST“. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4521.html>, zuletzt geprüft am 24.3.2014.
- Kuhfeld, Warren F. (2010): Marketing research methods in SAS experimental design, choice, conjoint, and graphical techniques (SAS Edition 9.2). „Technical Document MR2010“.
- Kuß, Alfred (2012): Marktforschung. Grundlagen der Datenerhebung und Datenanalyse. 4., überarb. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Kutter, Eckhard (2003): Modellierung für die Verkehrsplanung. Theoretische, empirische und planungspraktische Rahmenbedingungen. Hamburg: ECTL Europ. Centre for Transportation and Logistics (ECTL working paper, 21). Hamburg.
- Kutzbach, Mark J. (2009): Motorization in developing countries: Causes, consequences, and effectiveness of policy options. In: Journal of Urban Economics, Jg. 65, H. 2, S. 154–166.
- Lancaster, Kelvin J. (1966): A new approach to consumer theory. In: The journal of political economy, Jg. 74, H. 2, S. 132–157.

- Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen (2012): Bevölkerung des Landes Niedersachsen am 31.12.2011. Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen. Online verfügbar unter [http://www.niedersachsen.de/land\\_leute/land/zahlen\\_fakten/bevoelkerung/19947.html](http://www.niedersachsen.de/land_leute/land/zahlen_fakten/bevoelkerung/19947.html), zuletzt geprüft am 13.05.2014.
- Lave, Charles A.; Train, Kenneth (1979): A Disaggregate Model of Auto-Type Choice. In: *Transportation Research*. Vol. 13A, pp. 1-9, Pergamon Press Ltd.
- Lee-Gosselin, Martin E. H. (1996): Scope and potential of interactive stated response data collection methods. In: *Transportation Research Board Conference Proceedings*.
- Leitinger, C.; Litzlbauer, M.; Schuster, A.; Brauner, G.; Simic, D.; Hiller, G.; Bäuml, T.; Stark, J.; Link, C.; Raich, C.; Sammer, G. (2011): Smart Electric Mobility - Speichereinsatz für regenerative elektrische Mobilität und Netzstabilität, FFG-Forschungsprojekt, NE2020, 2. AS, Projektnummer: 821886, Endbericht. Wien. Online verfügbar unter [http://www.ea.tuwien.ac.at/fileadmin/t/ea/projekte/E-Mobility/SEM-821886\\_Publizierbare\\_rEndbericht\\_final\\_120131.pdf](http://www.ea.tuwien.ac.at/fileadmin/t/ea/projekte/E-Mobility/SEM-821886_Publizierbare_rEndbericht_final_120131.pdf), zuletzt geprüft am 14.04.2014.
- Lerman, Stephen R.; Louviere, Jordan J. (1978): On the use of direct utility assessment to identify the functional form of utility and destination choice models. In: *Transportation Research Record*, Jg. 673, S. 78–86.
- Li, Xiaogu (2011): Consumer Willingness to Pay for Eco-labeled Refrigerators. Master's Thesis. University of Tennessee. Online verfügbar unter [http://trace.tennessee.edu/utk\\_gradthes/893](http://trace.tennessee.edu/utk_gradthes/893), zuletzt geprüft am 30.06.2014.
- Lois, Daniel (2010): Arbeitspapier: Binäre und multinomiale logistische Regression (Stand: Januar 2010). Institut für Soziologie - Professur für empirische Sozialforschung der Technischen Universität Chemnitz. Chemnitz.
- Louviere, Jordan J. (1988a): *Analyzing decision making: Metric conjoint analysis*: Sage.
- Louviere, Jordan J. (1988b): Conjoint analysis modelling of stated preferences: a review of theory, methods, recent developments and external validity. In: *Journal of transport economics and policy*, S. 93–119.

- Louviere, Jordan J. (2006): What you don't know might hurt you: some unresolved issues in the design and analysis of discrete choice experiments. In: *Environmental and Resource Economics*, Jg. 34, H. 1, S. 173–188.
- Louviere, Jordan J. (2009): *Analyzing decision making. Metric conjoint analysis*. [Nachdr.]. Newbury Park, Calif: Sage Publ (Sage University papers Quantitative applications in the social sciences, 67).
- Louviere, Jordan J.; Flynn, Terry N.; Carson, Richard T. (2010a): Discrete choice experiments are not conjoint analysis. In: *Journal of Choice Modelling*, Bd. 3.2010, H. 3, S. 57–72.
- Louviere, Jordan J.; Hensher, David A.; Swait, Joffre D. (2000): *Stated choice methods: analysis and applications*: Cambridge University Press. Cambridge.
- Louviere, Jordan J.; Hensher, David A.; Swait, Joffre D.; Adamowicz, Wiktor (2010b): *Stated choice methods. Analysis and applications*. 7. Aufl. Cambridge University Press. Cambridge.
- Louviere, Jordan J.; Woodworth, George (1983): Design and Analysis of Simulated Consumer Choice or Allocation Experiments: An Approach Based on Aggregate Data. In: *Journal of Marketing Research (JMR)*, Jg. 20, H. 4, S. 350–367.
- Luce, R. D. (1959): *Individual choice behavior*. John Wiley and Sons. In: Chap, Jg. 1, S. 1–37.
- Luce, R. Duncan; Tukey, John W. (1964): Simultaneous conjoint measurement: A new type of fundamental measurement. In: *Journal of Mathematical Psychology*, Jg. 1, H. 1, S. 1–27.
- Luce, Robert Duncan (2005): *Individual choice behavior. A theoretical analysis*. Mineola, N.Y: Dover Publications.
- Mabit, Stefan L.; Fosgerau, Mogens (2011): Demand for alternative-fuel vehicles when registration taxes are high. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Jg. 16, H. 3, S. 225–231.
- Maier, Gunther; Weiss, Peter (1990): *Modelle diskreter Entscheidungen*: Springer DE.
- Mannering, Fred; Winston, Clifford; Starkey, William (2002): An exploratory analysis of automobile leasing by US households. In: *Journal of Urban Economics*, Jg. 52, H. 1, S. 154–176.

- Manski, Charles F.; Sherman, Leonard (1980): An empirical analysis of household choice among motor vehicles. In: *Transportation Research Part A: General*, Jg. 14, 5–6, S. 349–366
- Maslow, Abraham H. (1954): *Motivation and personality*. New York, NY: Harper & Row.
- Maslow, Abraham H. (1981): *Motivation und Persönlichkeit*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Matthes, Gesa (2014): Zur Quantifizierung von Reurbanisierungstendenzen. In: *Raumordnung und Raumforschung*, S. 1-14. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/s13147-014-0300-0>.
- Mayerhofer, Wolfgang (2010): Soziale Erwünschtheit in Online-Panels. In: *transfer Werbeforschung und Praxis*, H. 01, S. 59–60.
- McConnell, Virginia; Turrentine, Tom (2010): Should Hybrid Vehicles Be Subsidized? *Resources for the Future*. Online verfügbar unter <http://www.rff.org/RFF/Documents/RFF-BCK-McConnellTurrentine-Hybrids.pdf>, zuletzt aktualisiert am 16.07.2010, zuletzt geprüft am 31.08.2011.
- McFadden, Daniel (1973): Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. In: P. Zarembka (Ed.), *Frontiers in Econometrics*, Academic Press, New York.
- McFadden, Daniel (1977): *Modelling the Choice of Residential Location*. Cowles Foundation Discussion Paper No. 477. Online verfügbar unter <http://cowles.econ.yale.edu/P/cd/d04b/d0477.pdf>, zuletzt geprüft am 09.09.2011.
- McFadden, Daniel; Train, Kenneth (2000): Mixed MNL models for discrete response. In: *Journal of Applied Econometrics*, Jg. 15, H. 5, S. 447–470.
- McFadden, Daniel; Zarembka, Paul (1974): *Frontiers in econometrics*. In: *Conditional logit analysis of qualitative choice behavior*, S. 105.
- McKinsey (2010a): *Boost! Transforming the powertrain value chain – a portfolio challenge*, Automotive & Assembly. Unter Mitarbeit von Achim Kampker und Bastian Franzkoch. Herausgegeben von McKinsey & Company und der RWTH Aachen.
- McKinsey (2010b): *The role of Battery Electric Vehicles, Plug-in Hybrids and Fuel Cell Electric Vehicles. A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis*. McKinsey.

- Meffert, Heribert (1992): Marketingforschung und Käuferverhalten. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- mein-elektroauto.com (2012): Neuzulassungen von Hybrid- und Elektroautos in Deutschland im Jahr 2012 gestiegen (Quelle: KBA). Online verfügbar unter <http://www.mein-elektroauto.com/2013/01/neuzulassungen-von-hybrid-und-elektroautos-in-deutschland-im-jahr-2012-gestiegen/7216/>, zuletzt geprüft am 12.02.2013.
- Melles, Torsten; Laumann, Ralf; Holling, Heinz (2000): Validity and reliability of online conjoint analysis. In: Proceedings of the Sawtooth Software Conference, S. 31–40.
- Metropolregion Hamburg (2014): Karte der Metropolregion Hamburg. Online verfügbar unter <http://metropolregion.hamburg.de/karte/>, zuletzt geprüft am 29.04.2014.
- MiD (2010): Mobilität in Deutschland 2008. Ergebnisbericht. Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends. Unter Mitarbeit von R. Follmer, D. Gruschwitz und B. Jesske et al. Herausgegeben von Bau und Stadtentwicklung Bundesministerium für Verkehr. infas Institut für angewandte Sozialforschung; Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR. Bonn und Berlin.
- Ministry of Transportation, Ontario (2011): “Which cars are eligible for Ontario’s Electric Vehicle Incentive Program?”. Online verfügbar unter <http://www.mto.gov.on.ca/english/dandv/vehicle/electric/ev-faq.shtml#incentive>, zuletzt geprüft am 19.02.2013.
- Mitsubishi Motors (2011). Online verfügbar unter <http://imiev.de/>, zuletzt geprüft am 26.08.2011.
- Mock, Peter (2010): Entwicklung eines Szenariomodells zur Simulation der zukünftigen Marktanteile und CO<sub>2</sub>-Emissionen von Kraftfahrzeugen (VECTOR21). Forschungsbericht 2010-26. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Fahrzeugkonzepte. Stuttgart.
- Mueller, Michel G.; de Haan, Peter (2009): How much do incentives affect car purchase? Agent-based microsimulation of consumer choice of new cars—Part I: Model structure, simulation of bounded rationality, and model validation. In: Energy Policy, Jg. 37, H. 3, S. 1072–1082.

- Mummendey, Hans Dieter (2003): Die Fragebogen-Methode. Grundlagen und Anwendungen in Persönlichkeits-, Einstellungs- und Selbstkonzeptforschung. 4. Aufl. Göttingen: Hogrefe Verlag für Psychologie.
- Neubauer, Jeremy; Wood, Eric (2014): The impact of range anxiety and home, workplace, and public charging infrastructure on simulated battery electric vehicle lifetime utility. In: Journal of Power Sources.
- Neupert, Ulrik (2009): Energiespeicher. Technische Grundlagen und energie-wirtschaftliches Potenzial. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verlag.
- Novitzki, Stefan (2013): Blaue Schilder für Stromer. In: autobild.de, 29.09.2013. Online verfügbar unter <http://www.autobild.de/artikel/kfz-kennzeichen-fuer-elektroautos-4389184.html>, zuletzt geprüft am 02.03.2014.
- Nussbaumer, Yoann (2012): France: Consumer bonuses for electric and hybrid cars. Online verfügbar unter <http://en.automobile-propre.com/france-consumer-bonuses-for-electric-and-hybrid-cars/>, zuletzt geprüft am 19.02.2013.
- OC&C (2012): Keine billigen Tricks! Preisstudie 2011/2012.
- Oehm, Erhard (2000): Gesellschaftliche Trends und Kundenwünsche. im Zeitalter der selbstverständlichen Mobilität. In: ZfAW : Zeitschrift für die gesamte Wertschöpfungskette Automobilwirtschaft. Bamberg: FAW-Verl., Bd. 4, S. 76–81.
- Öko-Institut (2009a): RENEWBILITY „Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030“. Teil 2: Szenario-Prozess und Szenarioergebnisse. Öko-Institut e.V. und DLR-Institut für Verkehrsforschung. Online verfügbar unter [http://www.renewbility.de/fileadmin/download/endbericht\\_renewbility\\_teil2V1.pdf](http://www.renewbility.de/fileadmin/download/endbericht_renewbility_teil2V1.pdf), zuletzt geprüft am 01.09.2011.
- Öko-Institut (2009b): RENEWBILITY „Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030“. Teil 1: Methodik und Datenbasis. Öko-Institut e.V. und DLR-Institut für Verkehrsforschung. Online verfügbar unter [http://www.renewbility.de/fileadmin/download/endbericht\\_renewbility\\_teil1V1.pdf](http://www.renewbility.de/fileadmin/download/endbericht_renewbility_teil1V1.pdf), zuletzt geprüft am 01.09.2011.
- Ozaki, Ritsuko; Sevastyanova, Katerina (2011): Going hybrid: An analysis of consumer purchase motivations. In: Energy Policy, Jg. 39, H. 5, S. 2217–2227.

- Özdemir, Enver Doruk; Hartmann, Niklas (2012): Impact of electric range and fossil fuel price level on the economics of plug-in hybrid vehicles and greenhouse gas abatement costs. In: *Energy Policy*, Jg. 46, H. 0, S. 185–192.
- Pearre, Nathaniel S.; Kempton, Willett; Guensler, Randall L.; Elango, Vetri V. (2011): Electric vehicles: How much range is required for a day's driving? In: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Jg. 19, H. 6, S. 1171–1184.
- Peled, E.; Golodnitsky, D.; Mazor, H.; Goor, M.; Avshalomov, S. (2011): Parameter analysis of a practical lithium- and sodium-air electric vehicle battery. In: *15th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB)*, Jg. 196, H. 16, S. 6835–6840.
- Peters, Anja; Hoffmann, Jana (2011): Nutzerakzeptanz von Elektromobilität. Eine empirische Studie zu attraktiven Nutzungsvarianten, Fahrzeugkonzepten und Geschäftsmodellen aus Sicht potenzieller Nutzer. Ergebnisse aus dem Projekt Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität FSEM Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Fraunhofer ISI. Karlsruhe. Online verfügbar unter [http://www.forum-elektromobilitaet.ch/fileadmin/DATA\\_Forum/Publikationen/FSEM-2011-Forschungsergebnisse\\_Nutzerakzeptanz\\_Elektromobilitaet.pdf](http://www.forum-elektromobilitaet.ch/fileadmin/DATA_Forum/Publikationen/FSEM-2011-Forschungsergebnisse_Nutzerakzeptanz_Elektromobilitaet.pdf), zuletzt geprüft am 16.01.2013.
- Pommerehne, Werner W. (1987): Präferenzen für öffentliche Güter. Ansätze zu ihrer Erfassung. Tübingen: Mohr (Die Einheit der Gesellschaftswissenschaften, 50).
- Potoglou, D.; Kanaroglou, P.S. (2006): Household Demand and Willingness to Pay for Alternative Fuelled Vehicles. Hamilton, ON, Canada. Online verfügbar unter <http://www.science.mcmaster.ca/cspa/papers/CSpA%20WP%20018.pdf>, zuletzt geprüft am 15.01.2013.
- Progenium (2011): Auto nicht mehr Wunschobjekt der Deutschen. Pressemitteilung vom 28.03.2011. München. Online verfügbar unter <http://www.progenium.com/Publikationen/DE/data/upload/publikation/1347872477.pdf?v.61190604,d.ZGU&cad=rja>, zuletzt geprüft am 12.02.2014.
- Prud'homme, Rémy; Bocarejo, Juan Pablo (2005): The London congestion charge: a tentative economic appraisal. In: *Transport Policy*, Jg. 12, H. 3, S. 279–287.

- Punj, Girish; Brookes, Richard (2002): The influence of pre-decisional constraints on information search and consideration set formation in new automobile purchases. In: *International Journal of Research in Marketing*, Jg. 19, H. 4, S. 383–400.
- PWC (2010): Elektromobilität. Herausforderungen für Industrie und öffentliche Hand. In Zusammenarbeit mit Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. Herausgegeben von PricewaterhouseCoopers AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft / Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. Frankfurt, Online verfügbar unter [http://www.pwc.de/de\\_DE/de/automobilindustrie/assets/elektromobilitaet.pdf](http://www.pwc.de/de_DE/de/automobilindustrie/assets/elektromobilitaet.pdf), zuletzt geprüft am 26.08.2011.
- Rabe-Hesketh, Sophia; Skrondal, Anders (2012): *Multilevel and longitudinal modeling using stata*. 3. Aufl. College Station, Tex: Stata Press.
- Raich, Ulrike; Link, C.; Stark, J. (2012): Möglichkeiten und Grenzen der individuellen Elektromobilität. Kauf von Elektroautos. In: Technische Universität Dresden, Tagungsband Verkehrswissenschaftliche Tage. Dresden.
- Reutter, Oscar (2007): *Herausforderungen nachhaltiger Verkehrspolitik. Welche Rolle spielt Verkehrsverlagerung?* Herausgegeben von Wuppertal Institut. Berlin.
- Revelt, David; Train, Kenneth (1998): Mixed logit with repeated choices: households' choices of appliance efficiency level. In: *Review of economics and statistics*, Jg. 80, H. 4, S. 647–657.
- Roland Berger (2009): *Powertrain 2020 - The Future Drives Electric*. Unter Mitarbeit von Michael Valentine-Urbschat und Wolfgang Bernhart. Herausgegeben von Roland Berger.
- Rose, John M.; Bliemer, Michiel C. J. (2009): Constructing efficient stated choice experimental designs. In: *Transport Reviews*, Jg. 29, H. 5, S. 587–617.
- Rudolph, Christian (2012): Die Rolle der Kommunen bei Marktdurchdringungsszenarien für Elektromobilität. In: Proff, Heike; Schönharting, Jörg; Schramm, Dieter; Ziegler, Jürgen (Hg.): *Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität*: Gabler Verlag, S. 81-89.
- Ruud, Paul A. (1996): *Approximation and Simulation of the Multinomial Probit Model: An Analysis of Covariance Matrix Estimation*. Department of Economics, University of California, Berkeley. (working paper). Online

- verfügbar unter <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.208.8116&rep=rep1&type=pdf>, zuletzt geprüft am 22.03.2014.
- Sammer, G.; Stark, J.; Link, Ch. (2011): Einflussfaktoren auf die Nachfrage nach Elektroautos. Online verfügbar unter <http://www.springerlink.com/content/g20657r083x80633/fulltext.pdf>, zuletzt geprüft am 20.09.2011.
- Sándor, Zsolt; Wedel, Michel (2002): Profile construction in experimental choice designs for mixed logit models. In: *Marketing Science*, Jg. 21, H. 4, S. 455–475.
- Sauer, Dirk Uwe (2006): Speicherung elektrischer Energie in Energieversorgungssystemen mit regenerativer Stromerzeugung. In: *Solarzeitalter* 4/2006, Dezember 2006.
- Sawtooth Software (2013): *The CBC System for Choice-Based Conjoint Analysis Version 8*. Orem, Utah.
- Scarpa, Riccardo; Rose, John M. (2008): Design efficiency for non-market valuation with choice modelling: how to measure it, what to report and why. In: *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, Jg. 52, H. 3, S. 253–282.
- Scheiner, Joachim (2009): *Sozialer Wandel, Raum und Mobilität. Empirische Untersuchungen zur Subjektivierung der Verkehrsnachfrage*. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Schmid, Stephan A.; Mock, Peter; Friedrich, Horst (2010): Welche Antriebstechnologien prägen die Mobilität in 25 Jahren? Politische Weichenstellungen und Kundenentscheidungen geben die Antwort. In: *e|m|w - Zeitschrift für Energie, Markt, Wettbewerb*, 4 / 2010, H. 4, S. 6–10.
- Schneuwly, A; Prummer, M; Auer, J. Maxwell (2009): *Neue Energiespeichersysteme für Kraftfahrzeuge*. White Paper. Online verfügbar unter [http://www.maxwell.com/products/ultracapacitors/docs/200904\\_whitepaper\\_neueenergiespeicherkonzepteimkraftfahrzeug.pdf](http://www.maxwell.com/products/ultracapacitors/docs/200904_whitepaper_neueenergiespeicherkonzepteimkraftfahrzeug.pdf), zuletzt geprüft am 30.06.2014.
- Schubert, B. (1995): Conjoint-Analyse. In: Tietz, Bruno (Hg.): *Handwörterbuch des Marketing*. 2., völlig neu gestaltete Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel (Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre, ; Bd. 4), S. 376–389.

- Schuitema, Geertje; Anable, Jillian; Skippon, Stephen; Kinnear, Neale (2012): The role of instrumental, hedonic and symbolic attributes in the intention to adopt electric vehicles. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice, zuletzt geprüft am 13.11.2012.
- Schumann, Jochen; Meyer, Ulrich; Ströbele, Wolfgang (2011): Grundzüge der mikroökonomischen Theorie. 9., aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).
- Schuster, Andreas (2009): Eigenschaften heutiger Batterie- und Wasserstoffspeichersysteme für eine nachhaltige elektrische Mobilität. In: IEWT (2009) - Energie, Wirtschaft und technologischer Fortschritt in Zeiten hoher Energiepreise, Paper-Nr. 3C 3, 20 S. Wien.
- schwarzfarbig.de (2013): Shanghai zahlt bis zu 20.000 Euro Zuschuss für private Elektroautos. Online verfügbar unter <http://www.schwarzfarbig.com/index.php/2013/01/26/shanghai-zahlt-bis-zu-20000-euro-zuschuss-fur-private-elektroautos/>, zuletzt geprüft am 24.10.2013.
- Sen, Lalita; Benjamin, Julian (1983): An empirical test of the utility of attitudinal measures for short-term public transportation planning final report. Washington, D.C.: U.S. Dept. of Transportation, Research and Special Programs Administration, Office of University Research.
- Shapiro, Carl; Varian, Hal R. (1999): Information rules. In: Harvard Business School Press, Cambridge, MA.
- Shell (2009): Shell Pkw-Szenarien bis 2030. Fakten, Trends und Handlungsoptionen für nachhaltige Auto-Mobilität. Shell Deutschland Oil GmbH, Online verfügbar unter <http://s02.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/country/deu/downloads/pdf/publications-2009shellmobilityscenarios.pdf>, zuletzt geprüft am 30.08.2011.
- Slovic, Paul; Fischhoff, Baruch; Lichtenstein, Sarah (1977): Behavioral decision theory. In: Annual review of psychology, Jg. 28, H. 1, S. 1–39.
- Slovic, Paul; Lichtenstein, Sarah (1971): Comparison of Bayesian and regression approaches to the study of information processing in judgment. In: Organizational behavior and human performance, Jg. 6, H. 6, S. 649–744.
- Small, Kenneth A. (2010): Energy Policies for Automobile Transportation: A Comparison Using the National Energy Modeling System. Online verfügbar unter <http://www.rff.org/Documents/Features/NEPI/RFF-BCK-Small-AutoPolicies.pdf>, zuletzt geprüft am 19.02.2013.

- Small, Kenneth A.; Verhoef, Erik T. (2007): The economics of urban transportation: Routledge.
- Small, Kenneth A.; Winston, Clifford; Yan, Jia (2005): Uncovering the Distribution of Motorists' Preferences for Travel Time and Reliability. In: *Econometrica*, Jg. 73, H. 4, S. 1367–1382.
- Sperling, Daniel; Delucchi, Mark A; Davis, Patricia M; Burke, Andrew F. (1995): *Future drive. Electric vehicles and sustainable transportation*. Washington, D.C: Island Press.
- Spiegel Online (2010): Elektroauto Leaf: Nissans KampfpPreis schockiert die Branche. Online verfügbar unter <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/elektroauto-leaf-nissans-kampfpPreis-schockiert-die-branche-a-696532.html>, zuletzt geprüft am 14.02.2013.
- spritmonitor.de (2013): Informationen zur Berechnung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. Online verfügbar unter [http://www.spritmonitor.de/de/berechnung\\_co2\\_ausstoss.html](http://www.spritmonitor.de/de/berechnung_co2_ausstoss.html), zuletzt geprüft am 3/8/2014.
- SPSS Inc. (2007): PASW Conjoint 18.
- SPSS Inc. (2007): SPSS 16.0 Algorithms.
- statista (2012): Elektromobilität - statista-dossier 2012.
- statista (2013a): Anteil der einzelnen Energieträger an der Nettostromerzeugung in Deutschland in den Jahren 2008 bis 2011. Quelle: BDEW. Online verfügbar unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/75405/umfrage/stromerzeugung-in-deutschland-seit-2008/>, zuletzt geprüft am 29.04.2013.
- statista (2013b): Durchschnittlicher Preis für einen Liter Superbenzin in Deutschland von Februar 2012 bis Februar 2013 (in Cent). Online verfügbar unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/1690/umfrage/preis-fuer-einen-liter-superbenzin-monatsdurchschnittswerte/>, zuletzt geprüft am 30.03.2013.
- statista (2013): Kfz-Neuzulassungen - Statista-Dossier 2012.
- Statistikamt Nord (2012): Bevölkerung in Schleswig-Holstein 2012. Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein. Online verfügbar unter [http://www.statistik-nord.de/uploads/tx\\_standocuments/SI13\\_118.pdf](http://www.statistik-nord.de/uploads/tx_standocuments/SI13_118.pdf), zuletzt geprüft am 10.10.2013.

- Steding, Dirk (Hg.) (2004): Carsharing - sozialinnovativ und kulturell selektiv? Möglichkeiten und Grenzen einer nachhaltigen Mobilität. 1. Aufl. Münster: Zentrum für Umweltforschung (ZUFO-Berichte, 3).
- Steierwald, Gerd; Künne, Hans-Dieter; Vogt, Walter (Hg.) (2005): Stadtverkehrsplanung. Grundlagen, Methoden, Ziele. Berlin: Springer.
- Stein, P.; Pavetic, M.; Noack, M. (2010): Multivariate Analyseverfahren. Online verfügbar unter <http://www.uni-due.de/imperia/md/content/soziologie/stein/multivariate.pdf>, zuletzt geprüft am 11.10.2013.
- Stern, Nicholas (2006): Stern Review: The Economics of Climate Change. Executive Summary. Online verfügbar unter [http://www.hm-treasury.gov.uk/d/Executive\\_Summary.pdf](http://www.hm-treasury.gov.uk/d/Executive_Summary.pdf), zuletzt geprüft am 13.12.2012.
- Steven, Cohen H. (1997): Perfect Union. CBCA marries the best of conjoint and discrete choice models. In: Marketing Research, Spring. Online verfügbar unter <http://in4ins.com/pdfs/perfectunion.pdf>, zuletzt geprüft am 23.04.2012.
- Street, Deborah J; Burgess, Leonie (2007): The construction of optimal stated choice experiments: theory and methods: John Wiley & Sons (647).
- tagesschau.de (2013): Der gescheiterte Traum von Better Place. Israelischer Elektroauto-Anbieter insolvent. Pressemitteilung vom 27.05.2013. Tel Aviv. Online verfügbar unter <http://www.tagesschau.de/wirtschaft/better-place100.html>, zuletzt geprüft am 16.04.2014.
- Teichert, Thorsten (2001): Nutzenschätzung in Conjoint-Analysen. Theoretische Fundierung und empirische Aussagekraft. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag (Neue betriebswirtschaftliche Forschung, 282).
- Terporten, Michael; Bialdyga, Dorothee; Planing, Patrick (2012): Veränderte Kundenwünsche als Chance zur Differenzierung. In: Proff, Heike; Schönharting, Jörg; Schramm, Dieter; Ziegler, Jürgen (Hg.): Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität: Gabler Verlag, S. 367-382.
- The National Research Council (2010): Transitions to alternative transportation technologies. Plug-in hybrid electric vehicles. Washington, D.C: National Academies Press.
- Thiemann, Helge (2006): Sozial erwünschte Antworttendenzen bei der Bewerberauswahl mit Persönlichkeitsfragebögen. Bochum.

- Thomas, Lutz (1983): Der Einfluß von Kindern auf Produktpräferenzen ihrer Mütter. Berlin: Duncker & Humblot ((Schriften zum Marketing, 16)).
- Thurstone, Louis L. (1927): A law of comparative judgment. In: Psychological review, Jg. 34, H. 4, S. 273.
- Toyota (2013). Online verfügbar unter [http://www.toyota.de/cars/new\\_cars/prius-plugin/index.tmx](http://www.toyota.de/cars/new_cars/prius-plugin/index.tmx), zuletzt geprüft am 01.04.2014.
- Train, Kenneth (1980): A structured logit model of auto ownership and mode choice. In: The Review of Economic Studies, Jg. 47, H. 2, S. 357–370.
- Train, Kenneth (1986): Qualitative Choice Analysis: Theory, Econometrics, and an Application to Automobile Demand. Cambridge.
- Train, Kenneth (2000): Halton Sequences for Mixed Logit. Online verfügbar unter <http://www.escholarship.org/uc/item/6zs694tp>, zuletzt geprüft am 30.06.2014.
- Train, Kenneth (2012): A distant Learning Course on Discrete Choice Methods with Simulation. University of California, Berkeley. Online verfügbar unter <http://elsa.berkeley.edu/users/train/distant.html>, zuletzt geprüft am 30.06.2014.
- Train, Kenneth E. (1998): Recreation demand models with taste differences over people. In: Land economics, Vol. 74 , No. 2, May 1998, S. 230–239.
- Train, Kenneth E. (2003): Discrete choice methods with simulation. 2nd ed. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- transportevolved.com (2014): California DMV Ends Dealer Pre-Registration For Green Plug-in HOV-Lane Decals. Pressemitteilung vom 18.03.2014. Bristol. Online verfügbar unter <http://transportevolved.com/2014/03/18/california-dmv-ends-dealer-pre-registration-green-plug-hov-lane-decals/>, zuletzt geprüft am 19.03.2014.
- King (2007): The King Review of low-carbon cars Part I: the potential for CO2 reduction. Online verfügbar unter [hm-treasury.gov.uk/king](http://hm-treasury.gov.uk/king), zuletzt geprüft am 31.08.2011.
- Tscheulin, Dieter K. (1992): Optimale Produktgestaltung. Wiesbaden.
- UBA (2013): Umweltbewusstsein in Deutschland 2012. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. 1. Auflage. Herausgegeben von Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und Umweltbundesamt (UBA) Bundesministerium für Umwelt. Umweltbundesamt (UBA). Berlin/ Dessau.

- Vana, Ch. (2006): Der elektrische Antriebsstrang in Nahverkehrssystemen. In: *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, Jg. 123, H. 10, S. 419–423. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/s00502-006-0376-5>, zuletzt geprüft am 24.07.2012.
- VDA (2013): Anzahl der Neuzulassungen von Pkw in Deutschland von Januar 2012 bis Januar 2013 Anzahl der Neuzulassungen von Pkw von Januar 2012 bis Januar 2013. (zitiert nach statista). Online verfügbar unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/76739/umfrage/neuzulassungen-von-pkw-in-deutschland/>, zuletzt geprüft am 07.02.2013.
- Vermeulen, Bart; Goos, Peter; Vandebroek, Martina (2008): Models and optimal designs for conjoint choice experiments including a no-choice option. In: *International Journal of Research in Marketing*, Jg. 25, H. 2, S. 94–103.
- Vezzini, Andrea (2010): Elektrofahrzeuge. Mobilität und erneuerbare Energie. In: *Physik in unserer Zeit*, Jg. 41, H. 1, S. 36–42. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1002/piuz.201001221>, zuletzt geprüft am 07.03.2013.
- Viehmann, Sebastian (2011): Das vergessene erste Auto – ein Elektromobil. In: *Zeit online*, 21.11.2011. Online verfügbar unter <http://www.zeit.de/auto/2011-11/elektroauto-pionier>, zuletzt geprüft am 25.03.2012.
- Voelcker, John (2009): Toyota Prius Plug-In Hybrid On Sale in 2011, Less Than \$10K More. Herausgegeben von Green Car Reports. Onlineportal. Online verfügbar unter [http://www.greencarreports.com/news/1040132\\_toyota-prius-plug-in-hybrid-on-sale-in-2011-less-than-10k-more](http://www.greencarreports.com/news/1040132_toyota-prius-plug-in-hybrid-on-sale-in-2011-less-than-10k-more), zuletzt geprüft am 19.02.2013.
- Volkswagen AG (2013): Erste öffentliche Schnellladesäule für Elektrofahrzeuge in Wolfsburg eingeweiht. e-up! Erstes Elektrofahrzeug zum schnellen Laden. Pressemitteilung vom 19.06.2013. Wolfsburg. Online verfügbar unter [https://www.volkswagen-media-services.com/medias\\_publish/ms/content/de/pressemitteilungen/2013/06/19/erste\\_oeffentliche.standard.gid-oeffentlichkeit.html](https://www.volkswagen-media-services.com/medias_publish/ms/content/de/pressemitteilungen/2013/06/19/erste_oeffentliche.standard.gid-oeffentlichkeit.html), zuletzt geprüft am 30.06.2014.
- Vortisch, Peter; Chlond, B.; Weiß, C.; Streit, T.; Wirtz, M.; Zumkeller, D. (2013): Deutsches Mobilitätspanel (MOP) – wissenschaftliche Begleitung und erste Auswertungen. Bericht 2011/2012: Alltagsmobilität und Tankbuch. Institut für Verkehrswesen Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

- Wallentowitz, Henning; Freialdenhoven, Arndt (2011): Strategien zur Elektrifizierung des Antriebsstranges. Technologien, Märkte und Implikationen. 2. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner (Studium).
- WardsAuto (2011): World Vehicle Population Tops 1 Billion Units. Pressemitteilung vom 15.08.2011. Online verfügbar unter [http://wardsauto.com/ar/world\\_vehicle\\_population\\_110815](http://wardsauto.com/ar/world_vehicle_population_110815), zuletzt geprüft am 24.04.2014.
- Weiber, Rolf; Mühlhaus, Daniel (2009): Auswahl von Eigenschaften und Ausprägungen bei der Conjointanalyse. In: Baier, Daniel; Bruschi, Michael (Hg.): Conjointanalyse. Methoden - Anwendungen - Praxisbeispiele. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 43–58.
- Weiber, Rolf; Rosendahl, Thomas (1997): Anwendungsprobleme der Conjoint-Analyse. Die Eignung conjointanalytischer Untersuchungsansätze zur Abbildung realer Entscheidungsprozesse. In: Marketing : Zeitschrift für Forschung und Praxis, Heft 2, 1997.
- Whitmarsh, Lorraine; O'Neill, Saffron (2010): Green identity, green living? The role of pro-environmental self-identity in determining consistency across diverse pro-environmental behaviours. In: Journal of Environmental Psychology. Online verfügbar unter <http://psych.cf.ac.uk/home2/whitmarsh/Whitmarsh%20O'Neill%20J%20Env%20Psych%202010.pdf>, zuletzt geprüft am 19.11.2012.
- wikipedia.de (2013a): Tesla Roadster. Online verfügbar unter [http://de.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_Roadster](http://de.wikipedia.org/wiki/Tesla_Roadster), zuletzt geprüft am 2/20/2014.
- wikipedia.de (2013b): VW Polo V. Online verfügbar unter [http://de.wikipedia.org/wiki/VW\\_Polo\\_V](http://de.wikipedia.org/wiki/VW_Polo_V), zuletzt geprüft am 26.02.2013.
- Wilke, Georg (2002): Neue Mobilitätsdienstleistungen und Alltagspraxis. Wuppertal Papers. Nr. 127. Online verfügbar unter <http://www.wupperinst.org>, zuletzt geprüft am 12.03.2014.
- Winkelmann, Rainer; Boes, Stefan (2006): Analysis of microdata. Springer.
- Winter, Martin; Kunze, Miriam; Lex-Balducci, Alexandra (2010): Elektromobil in die Zukunft. In: forschung, Jg. 35, H. 2, S. 14–18.
- Wittink, Dick; Vriens, Marco; Burhenne, Wim (1992): Commercial Use of Conjoint Analysis in Europe: Results and Critical Reflections. Herausgegeben von Sawtooth Software. Sequim, WA, USA. (Research Paper Series). Online verfügbar unter <http://www.sawtoothsoftware.com/download/techpap/caeurope.pdf>, zuletzt geprüft am 25.01.2013.

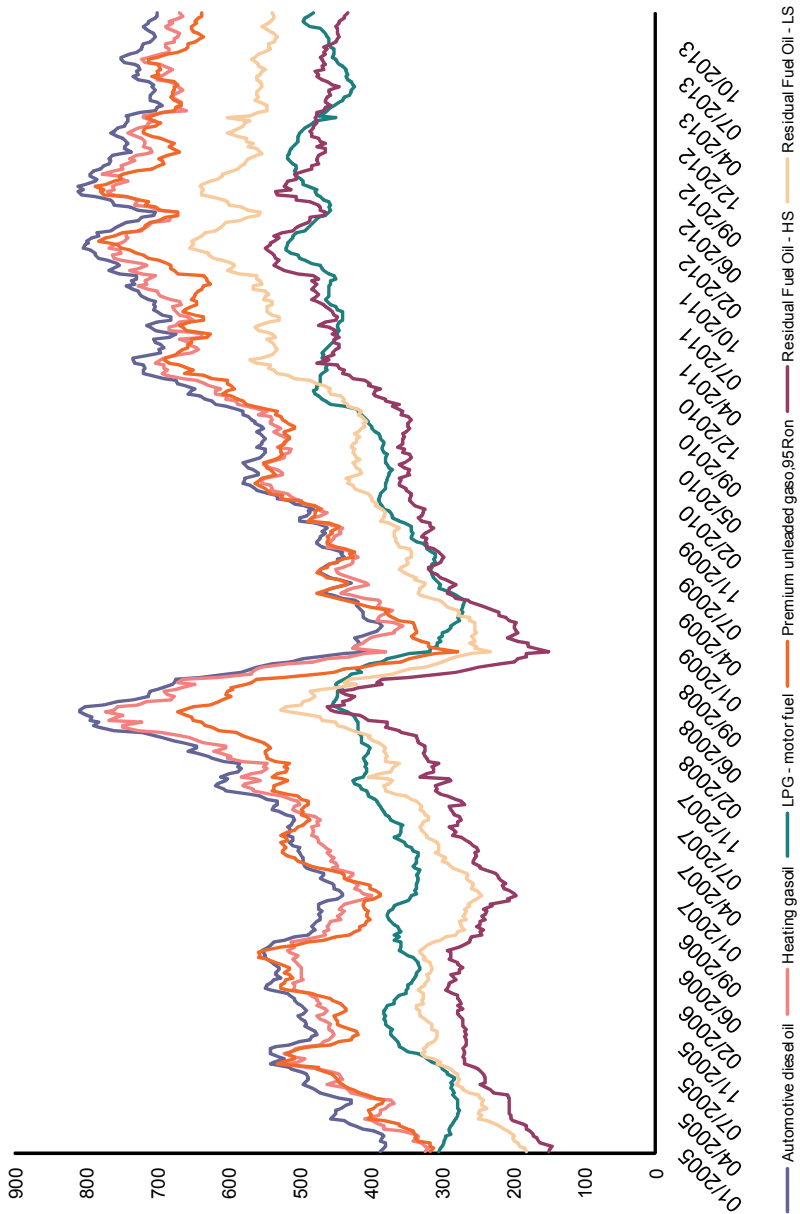
- Wittink, Dick R.; Cattin, Philippe (1989): Commercial Use of Conjoint Analysis: An Update. In: *Journal of Marketing*, Jg. 53, H. 3, S. 91–96.
- Wright, C.; Egan, J. (2000): De-marketing the car. In: *Transport Policy*, Jg. 7, H. 4, S. 287–294.
- Yang, Chi-Jen (2010): Launching strategy for electric vehicles: Lessons from China and Taiwan. In: *Technological Forecasting and Social Change*, Jg. 77, H. 5, S. 831–834.
- Zeit online (2012): CO2-Grenzwerte: Die Autoindustrie jammert zu Unrecht. In: *Zeit online*, 30.10.2012. Online verfügbar unter <http://www.zeit.de/auto/2012-10/klimaschutz-autoindustrie-eu>, zuletzt geprüft am 20.02.2014.
- Zerback, Thomas von; Schoen, Harald; Jakob, Nikolaus; Schlereth, Stefanie (2008): Zehn Jahre Sozialforschung mit dem Internet—eine Analyse zur Nutzung von Online-Befragungen in den Sozialwissenschaften. In: Jakob, Nikolaus; Schoen, Harald; Zerback, Thomas (Hg.): *Sozialforschung im Internet: Methodologie und Praxis der Online-Befragung*: Springer DE, S. 15–31.
- Zhang, Yong; Yu, Yifeng; Zou, Bai (2011): Analyzing public awareness and acceptance of alternative fuel vehicles in China: The case of EV. In: *Asian Energy Security*, Jg. 39, H. 11, S. 7015–7024.
- Ziegler, Andreas (2012): Individual characteristics and stated preferences for alternative energy sources and propulsion technologies in vehicles: A discrete choice analysis for Germany. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Jg. 46, H. 8, S. 1372–1385.
- Zwerina, Klaus; Huber, Joel; Kuhfeld, Warren F. (1996): A general method for constructing efficient choice designs. In: Durham, NC: Fuqua School of Business, Duke University. Online verfügbar unter <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.31.9438&rep=rep1&type=pdf>, zuletzt geprüft am 30.06.2014.



## Anhang

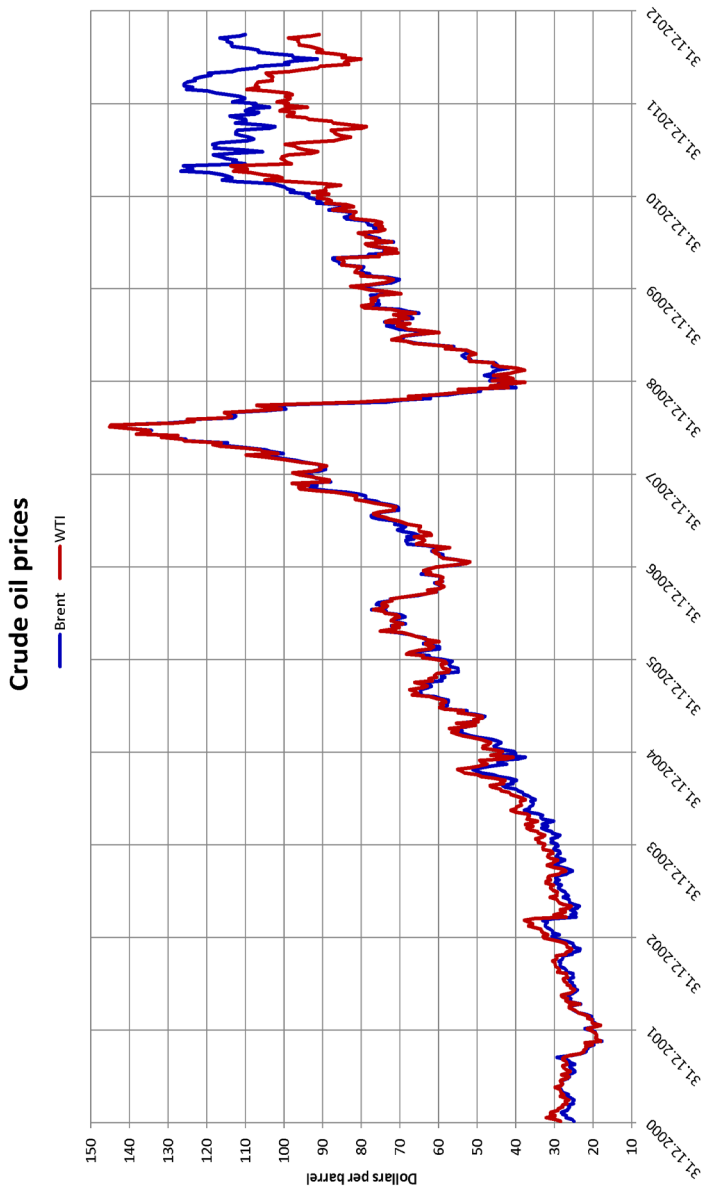
Anhang 1:	Benzinpreise ohne Steuern und Abgaben (EU-Durchschnitt, gewichtet)	264
Anhang 2:	Ölpreise der Sorten Brent und WTI in Dollar pro Barrel von 2000 bis 2012	265
Anhang 3:	Literaturanalyse Conjoint-Analysen zu alternativen Antriebstechnologien	266
Anhang 4:	Leitfaden Experteninterview (Seite 1 von 2)	270
Anhang 5:	Discrete-Choice-Modelle u. Annahmen zu Wahrscheinlichkeitsverteilungen	272
Anhang 6:	Entfernungs- und Zeitangaben in MiD 2008	273
Anhang 7:	Hinweis zur Ladedauer und zur Reichweite	274
Anhang 8:	Erhebungsbereich nach Postleitzahlen	276
Anhang 9:	Vergleich der CL-Modelle	277
Anhang 10:	Alternativen-spezifische Mixed-Logit-Modelle	278
Anhang 11:	Personenspezifische Modelle	281
Anhang 12:	Effekte finanzieller und infrastruktureller Anreizsysteme im personenspezifischen Modell	284
Anhang 13:	Verkehrsverhalten-spezifisches Modell (ML-3)	287
Anhang 14:	Einfluss der Anreizsysteme im verkehrsverhalten-spezifisches Modell	289

Anhang 1: Benzinpreise ohne Steuern und Abgaben (EU-Durchschnitt, gewichtet)



Quelle: EU Kommission, Eurostats, Zeitreihen (2014)

Anhang 2: Ölpreise der Sorten Brent und WTI in Dollar pro Barrel von 2000 bis 2012



Quelle: Jashuah (2012); Daten von Stooq (Wikipedia.de)

## Anhang 3: Literaturanalyse Conjoint-Analysen zu alternativen Antriebstechnologien

Tabelle 43: Literaturanalyse zu Conjoint-Analysen zu alternativen Antriebstechnologien (1 von 2)

Autor (Jahr)	Ito et al. (2012)	Leitinger et al. (2011), Raich (2012)	Mabit u. Fosgerau (2011)	Krems et al. (2011), Krems (2011)	Axsen et al. (2009)
Land	Japan	Österreich	Dänemark	Deutschland	USA/ Canada
Anzahl der Antwortpersonen	k.A.	220 (aus 179 Haushalten)	2.146	30 Teilnehmer des Projektes	408 (Kalifornien) + 535 (Canada)
Erhebungsart	ACA (WEB)	CBC + Rank-Order (CAPI)	stated choice survey (WEB)	CBC, mit Interviewer	SP
Antriebstechnologie bzw. Treibstofftyp	ICE, HEV EV, FCV	ICE, BEV, HEV	ICE, FCEV, HEV, BEV, Bio-Diesel	-	ICE, HEV
Kaufpreis (inkl. MwSt. Steuer)	ICE: E; HEV: E+20%, E+40%, E+60%; BEV/FCEV: E+40%, E+60%, E+80%	nach Eingabe	nach Eingabe	monatl. Leasingrate: 200 €/m, 400 €/m, 600 €/m, 800 €/m	ICE: E-10%, E, E-25%; HEV: E+10%, E+20%, E+50%
Betriebskosten	-	nach Eingabe	nach Eingabe	-	-
CO <sub>2</sub> -Emissionen	ICE: E-5%; HEV: E-40%, E-60%; BEV/FCV: E-100%	nach Eingabe	ICE: E*; BEV/FCEV: 0; HEV: E-50%; Bio-Diesel: E-50%;	5 g/km, 50 g/km, 90 g/km, 130 g/km	-
Reichweite [km bzw. miles]	ICE: 800km; HEV: 1000km; BEV: 50, 100, 150, 200km; FCEV: 300, 400, 500, 600km	nach Eingabe	-	100 km, 200 km, 300 km, 400 km	-
Beschleunigung	-	-	-	-	-

Autor (Jahr)	Ito et al. (2012)	Leitinger et al. (2011), Raich (2012)	Mabit u. Fosgerau (2011)	Krems et al. (2011), Krems (2011)	Axsen et al. (2009)
jährliche Treibstoffkosten	ICE: E; HEV: E-10%, E-20%, E-40%; BEV/FCEV: E-20%, E-50%, E-80%	nach Eingabe	nach Eingabe	-	ICE: E-50, 0, E+50%
Verfügbarkeit Ladeinfrastruktur	ICE/HEV: alle Tankstellen (TS) <sup>**</sup> ; BEV: 10% TS, 50% TS, Zuhause, Zuhause&Supermarkt; FCEV: 10% TS, 50% TS†	flächendeckend	-	-	-
Motorleistung	-	nach Eingabe	-	-	ICE: E; HEV: E-30%, E-15%, E+15%
Fahrzeugklasse	2 Klassen durch E	-	-	-	-
Verbrauch	-	-	-	-	ICE + HEV: E* x Benzinpreis x Verbrauch
Ladedauer	ICE/HEV/FCEV: 5min; BEV: 5min (Exchange), 30min, 8h	-	-	0,5h, 4h, 8h, 12h	-
Hersteller	4 japanische Hersteller	-	-	-	-
Benzinpreis (Tankstelle)	-	-	-	-	ICE: E-20, E, E+20%; HEV: E-50%, E-25%, E-10%
Staatl. Zuschuss	-	-	-	-	ICE: 0; HEV: 0, 5%, 10% von E
* E: Eingabewert durch Antwortperson					
** Tankstelle					

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 43 (Fortsetzung): Literaturanalyse zu CA zu alternativen Antriebstechnologien  
(2 von 2)

Autor (Jahr)	Achtmicht et al. (2008); (vgl. auch Achtmicht 2009; Daziano und Achtmicht 2012; Ziegler 2012)	Potoglou und Kanaroglou (2006)	Knockaert (2005)	Ewing und Sarigöllü (2000)	Brownstone et al. (1996); (vgl. auch Brownstone u. Train 1999, McFadden und Train 2000)
Land	Deutschland	Canada	Belgien	Canada	USA
Anzahl (n)	598	490	207	1.500	4.654
Erhebungsart	CBC (CAPI)	CBC (WEB)	(CATI)	(Telefon)	DCE (CATI)
Antriebs- technologie bzw. Treibstofftyp	Gasoline, Diesel, HEV, Gas, Biofuel, FCEV, BEV	ICE, HEV, AFV**	ICE (+Hybrid) AFV (+Hy- brid), BEV, FCEV	ICE, BEV, effizienterer ICE, alternativer Treibstoff (AFV*)	ICE, Methanol, CNG, BEV
Kaufpreis (inkl. MW/St. Steuer)	alle: 75%, 100%, 125% gegen- über dem Referenzpreis durch E	E*-20%, E-10%, E, E+10%	E-15%, E, E+15%	E-10%, E, E+10%	-
Betriebs- kosten	-	E-50%, E-25%, E, E+25%	E*0,135, E*0,15, E*0,165	E-25%, E, E+25%	-
CO <sub>2</sub> -Emissionen	0g/km, 90g/km, 130g/km, 170/kmg, 250g/km	E, E-10%, E-25%, E-50%, E-75%	AFV: ICE- 75%, ICE- 50%, ICE; andere: 0%	ICE: E-35%, E-65%; BEV: 0	-
Reichweite [km bzw. miles]	-	-	ICE: 500km; andere: 200km, 300km, 500km	ICE: 300 miles; EV: 100, 200, 300 miles	-
Beschleunigung	-	6s, 9s, 12s, 15s	-	E-25%, E, E+25%	-
jährliche Treibstoffkosten	€5/100km, €10/100km, €20/100km	E-80%, E-60%, E-40%, E-20%	5, 7, 10 Cent/km	Variation bis zu E*3	-
Verfügbarkeit Ladeinfrastruktur	E-20%, E-60%, E-100%	75%, 50%, 25%, 10% der Tankstellen	-	-	-

Autor (Jahr)	Achtnicht et al. (2008); (vgl. auch Achtnicht 2009; Daziano und Achtnicht 2012; Ziegler 2012)	Potoglou und Kanaroglou (2006)	Knockaert (2005)	Ewing und Sarigöllü (2000)	Brownstone et al. (1996); (vgl. auch Brownstone u. Train 1999, McFadden und Train 2000)
Fahrzeugklasse	-	Kleinwagen, Van, Kompakt, Mittel- klasse, Oberklasse, Pick-up, SUV	-	-	Mini, Kleinwa- gen, Kompakt, Mittelklasse, Oberklasse
Fahrzeugtyp	-	-	-	-	Limousine, Pick-up, Kombi Sport, SUV, Van
Max. Geschwindigkeit	-	60 miles/h	-	-	-
Stauraum	-	-	AFV, BEV, FCEV: 100 %, 30 % von ICE	-	-
Ladedauer	-	-	-	ICE: 5 min; AFV: 5, 10, 15 min; BEV: 0,25 h, 0,5 h, 5 h (Zuhause, Arbeit)	-
Inzentives	-	keine Parkgebühren, Carpool Lane, Erlass Neuwagensteuer	-	-	-
Pendelzeit	-	-	-	ICE: Eingabewert; AFV: E, E-25%, E-50%; BEV: (0, E-25%, E-50%) von ICE/AFV	-
Pendelkos- ten und Stellplatzkosten	-	-	-	ICE: E*(1, 2, 3)+PG***; AFV: wie ICE, E-25 % +PG, E-50%+PG; BEV: wie AFV, E-50%+PG, E-75%+PG	-
*E: Eingabewert durch Antwortperson		**AFV: Alternative Fueled Vehicle		***PG: Parkgebühren	

Quelle: eigene Darstellung

## Anhang 4: Leitfaden Experteninterview (Seite 1 von 2)

Leitfadengeführtes Experteninterview zu den Themen:

- Welche Faktoren sind entscheidend für die Marktdurchdringung von E-Fahrzeugen?
- Lassen sich die Faktoren in ihrer Relevanz unterscheiden bzw. ordnen?
- Wie wird sich das Mobilitätsverhalten mit der Einführung der Elektromobilität ändern?

Soll-Ergebnis: relevanzbegründete Faktoren (Treiber/ Inhibitoren) für Elektromobilität.

Befragte Sektoren: Automobilindustrie, Internationale und regionale Energieversorger, Behörden  
(hier: **Internationaler Energieversorger: Energie1**)

### Thema 1: Stellenwert der Elektromobilität im Konzern

Die Regierung hat ein Interesse den Verkehr emissions-frei zu gestalten. Wie kam es dazu, dass Sie sich jetzt als Energieversorger im Mobilitätssektor engagieren? (*Energiespeicherung für volatile Energieerzeugung in Autobatterien?*)

(Wenn aus Frage zuvor nicht klar geworden: Was war der ausschlaggebende Faktor für die Entscheidung Energie1 in den Mobilitätsbereich zu gehen?)

Haben Sie als Energie1 einen freien Etat für die Forschung und Entwicklung von Mobilitätslösungen? Wo und wie wurde die Entscheidung getroffen, Geld für die Entwicklung zu investieren?

Inwiefern hat die Ausschreibung des Bundes für die „Modellregionen Elektromobilität“ für die Entscheidung beigetragen?

Welche Laufzeit haben Elektromobilitäts-Projekte in Ihrem Unternehmen? Welche Laufzeit hat Ihre Mobilitätsstrategie?



Ihre F+E Abteilung forscht derzeit an unterschiedlichen Techniken zur CO<sub>2</sub>-Minderung: Würde man ihren Forschungsset verdreifachen. In welchen Sektor würden Sie verstärkt investieren?  
(*Gedankenspiel*)

Warum in diesen Sektor? Warum nicht in die anderen?

*Je nach Antwort der Frage zuvor:* Welche Chancen sehen Sie kurz/mittel/langfristig für Wasserstoffzellen / Brennstoffzellen / Elektrofahrzeuge? - Warum?

Elektrofahrzeuge werden stark propagiert, da sie lokal kaum Emissionen abgeben und sollte ein Ausbau der Erneuerbaren Energien gelingen könnten sie CO<sub>2</sub> neutral betrieben werden. Inwiefern spielt ein damit verbundener Imagegewinn für ihr Unternehmen eine Rolle?

### Thema 2: Infrastrukturbereitstellung

Energie1 stellt in den Modellregionen Hamburg und Berlin und beim Mini E Projekt das Netzmanagement und die Ladeinfrastruktur zur Verfügung. Welche Erfahrungen haben Sie mit dem Aufstellen von Ladesäulen auf **privatem Grund** z.B. bei Unternehmen gemacht?





Wie stellt sich der Ablauf im **öffentlichen Bereich** dar? Welche Erfahrungen wurden hier gemacht?

Gibt es Unterschiede (mit den Behörden) in Berlin und Hamburg?

McDonalds macht es vor: Mit McCharger kann man nun kostenlos sein Fahrzeug aufladen, wenn man dort speist. Andere Unternehmen ziehen nach. Am liebsten lädt der Nutzer doch sein Fahrzeug auf, wenn er es nicht benötigt, nachts, beim Einkaufen oder beim Essen. Welche Relevanz ordnen Sie den Ladesäulen im **öffentlichen Raum** zu?

Die ersten Ergebnisse aus dem Mini E Projekt haben gezeigt, dass sich Ladesäulen nicht wirtschaftlich betreiben lassen. Nutzer wollen lieber zu Hause ihr Fahrzeug laden. Haben Sie diese Verhalten erwartet? Wie gehen Sie damit um?

## Leiffaden Experteninterview (Seite 2 von 2)

Experteninterviews Elektromobilität	Christian Rudolph
	Was müsste sich Ihrer Meinung nach ändern, dass Ladesäulen im öffentlichen Raum für Energieversorger wirtschaftlich betrieben werden können? ( <i>Gedankenspiel</i> )
	<i>Wenn Antwort so, dass Säulen sich lohnen könnten:</i> Droht neben der "Verspargelung" der Landschaft (Windkraftanlagen) nun auch ein ähnliches Bild dem öffentlichen Raum mit den Ladesäulen? Wie ist generell die Akzeptanz von Ladesäulen im öffentlichen Raum bei den Bürgern?
	Sind diese Ladesäulen vielmehr ein Treiber/Multiplikator nur während der Markteinführung (Sichtbarkeit, Präsenz, Akzeptanzschaffung, etc.)?
	<b><u>Thema 3: Zielgruppe/ Zielmärkte</u></b>
	Die ersten Elektrofahrzeuge, die Ihren Strom tanken werden, gehen in den nächsten Jahren in Serie. Welche Zielmärkte haben Sie als Stromversorger im Visier? Welche Rolle spielt Deutschland? Warum?
	Welche Zielgruppe ist für Sie zunächst interessant? Warum genau diese Gruppe? ( <i>First Movers, Early Adopters, Zweitauto, Unternehmens-/ Leasingflotten, Fahrzeugverleih</i> )
	Wenn wir diese Zielgruppe nun räumlich differenzieren würden: Wie würden Sie die Nach-frage im <u>stark verdichteten</u> Gebiet sehen, wie im <u>suburbanen</u> Raum und wie im <u>ländlichen</u> ?
	Was müsste sich ändern, um weitere Zielgruppen ansprechen zu können? Wie würden Sie die Faktoren <i>Subventionen, Anschaffungskosten, Betriebskosten, Reichweite, Ausbaugrad der Ladeinfrastruktur, Zuverlässigkeit, Akkusicherheit, Ausbaugrad Renewables und Fahrspaß</i> nach Relevanz ordnen?
	Welche Rolle spielt der Benzinpreis bei der Marktdurchdringung von Elektromobilität? Was würde passieren, wenn sich der Benzinpreis verdoppelt oder verdreifacht?
	<b><u>Thema 4: Mobilitätsverhalten</u></b>
	Laut der ersten Ergebnisse des Mini E Projekts, die von Hr. Weber vorgestellt wurden, hat sich das Mobilitätsverhalten von rd. 35 % der Nutzer geändert. Die Nutzer fühlen sich jetzt weniger schuldig und empfinden größeren Fahrspaß. Daraus folgere ich dass sowohl Verkehrsleistung als auch Verkehrsaufkommen steigen wird. Im Sinne einer nachhaltigen Verkehrsplanung ist dies ein Rückschritt: Wie bewerten Sie als Promotor erneuerbarer Energien diesen Aspekt?
	Wie (in welchen Bereichen) wird sich der Nutzer bei der Benutzung von E-Fahrzeugen umstellen müssen?
	Wie wird sich das Mobilitätsverhalten der Nutzer ändern? Werden wir künftig über all mit dem Auto hin fahren, da CO <sub>2</sub> -neutral und kostengünstig im Betrieb?
	Den „Mobilitätsstrom“ beziehen Sie aus 100% erneuerbaren Quellen. Inkl. Zertifikat. Wie ist die Strategie Ihres Unternehmens im Bereich erneuerbarer Energiequellen? Die Frage zielt darauf ab, ob Sie den Strombedarf für Mobilität auch in Zukunft aus erneuerbaren Energiequellen erzeugen bzw. ausreichende Mengen hinzukaufen?
	Letzte Frage: Wie wird Ihr Privatwagen 2015 angetrieben sein?
	Vielen Dank für das Gespräch.

Quelle: eigene Darstellung

Anhang 5: Discrete-Choice-Modelle u. Annahmen zu  
Wahrscheinlichkeitsverteilungen

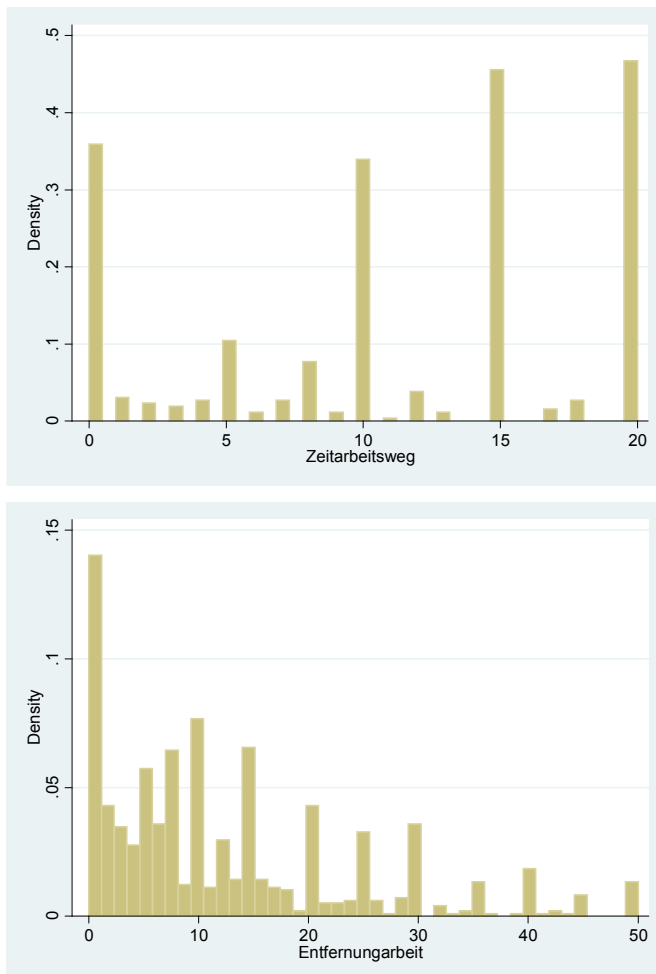
Modell	Nutzenfunktion	Annahmen zur (unbeobachteten) Zufallskomponente
Conditional Logit (CL)	$U_{ij} = \alpha' Z_{ij} + \varepsilon_{ij}$	$\varepsilon_{ij}$ sind iid und folgt der Extremwertverteilungsfunktion.
Nested Logit (NL)	$U_{ij} = \alpha' Z_{ij} + \varepsilon_{ij}$ Aus $Z_{ij} = A_{ij} + B_{ij}$ folgt: $U_{ij} = \alpha' A_{ij} + \alpha' B_{ij} + \varepsilon_{ij}$  A steht für Variablen, die zwischen Nestern variieren, B sind Variablen, die innerhalb eines Nestes variieren	$\varepsilon_{ij}$ korrelieren zwischen den Entscheidungen innerhalb eines Nestes, sind aber iid (verteilt) zwischen Entscheidungen von Nest zu Nest. $\varepsilon_{ij}$ folgt der generalisierten Extremwertverteilungsfunktion.
Mixed Logit (ML)	$U_{ij} = \alpha'_i Z_{ij} + \varepsilon_{ij}$  Da $\alpha$ zwischen Antwortpersonen variiert, folgt: 1) $\alpha = \alpha + \zeta_i$ , mit $\alpha$ = Mittelwert von $\alpha$ 2) $U_{ij} = \alpha' Z_{ij} + \zeta'_i Z_{ij} + \varepsilon_{ij}$	$\varepsilon_{ij}$ sind iid (verteilt) und folgt der Extremwertverteilungsfunktion. $\zeta'_i Z_{ij}$ korrelieren und können unterschiedlichen Verteilungsfunktionen unterworfen sein.
Multinomial Probit (MNP)	$U_{ij} = \alpha' Z_{ij} + \varepsilon_{ij}$	$\varepsilon_{ij}$ korrelieren und folgen der Normalverteilung
	Wie das Mixed Logit Modell erlaubt das MNP die Variation von $\alpha$ zwischen den Antwortpersonen  $U_{ij} = \alpha' Z_{ij} + \zeta'_i Z_{ij} + \varepsilon_{ij}$ $= \alpha' Z_{ij} + \eta_{ij}$	Im zweiten Fall korrelieren $\eta_{ij}$ und folgen einer gemeinsamen Normalverteilung. Wenn $\zeta'_i Z_{ij}$ korreliert und normal verteilt sind, führt die iid von $\varepsilon_{ij}$ zum MNP.
Heteroscedastic Extreme Value (HEV)	$U_{ij} = \alpha'_i Z_{ij} + \varepsilon_{ij}$	$\varepsilon_{ij}$ sind unabhängig aber nicht identisch (nicht homoskedastisch) und folgen der heteroskedastischen Extremwertverteilung.

Quelle: Cushing und Cushing (2007, S. 21); aus dem Englischen übersetzt

## Anhang 6: Entfernung- und Zeitangaben in MiD 2008

Die Kumulierungen (*peaks*) an den 5-Minuten- bzw. 5-km-Intervallgrenzen sind deutlich zu erkennen.

Abbildung 18: Berichtete Zeit- und Entfernungsangaben



Quelle: eigene Darstellung<sup>1</sup>; Datenquelle: MiD 2008

1 Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird hier nur ein Ausschnitt bis 20 min und bis 50 km gezeigt.


## Anhang 7: Hinweis zur Ladedauer und zur Reichweite

Für die Betankungszeit bei Fahrzeugen Brennstoffzelle (Betankung mit  $H_2$ ) werden fünf Minuten angegeben. Bei Elektrofahrzeugen wird unterschieden zwischen 100 % Aufladung in acht Stunden bei Normalstrom und 30 Minuten bei Starkstrom (80 % Aufladung). Da die Entwicklung hier rasant fortschreitet, wird in der Untersuchung auf die Ladedauer nicht detaillierter eingegangen<sup>2</sup>. Die Antwortperson bekommt auf einer einleitenden Seite kurz bevor Beginn der CBCA, Informationen zu Ladedauern und Reichweiten der unterschiedlichen alternativen Antriebsformen präsentiert (vgl. Abbildung 19: Einleitende Erläuterung zu den Antriebstechnologien). Die elektrische Reichweiten für BEV sind mit 150 - 200 km, für PHEV mit 50 km und für FCEV mit 450 - 500 km angegeben. Zuzüglich wird am Ende der Seite der Hinweis gegeben, dass alle alternativ betriebenen Fahrzeuge mit erneuerbarem Strom bzw. Wasserstoff  $CO_2$ -neutral gefahren werden können.

---

2 Während des Erhebungszeitraum verkündet VW per Pressemitteilung, dass die Batterie des Modells e-up! Innerhalb von 20 Minuten mittels Schnellladung auf ca. 80 % aufgeladen werden kann Volkswagen AG 2013.

Abbildung 19: Einleitende Erläuterung zu den Antriebstechnologien

  
Technische Universität Hamburg-Harburg

### Hier ein paar Infos über Fahrzeuge mit alternativen Antrieben


**Elektro-Fahrzeuge:** Die Ladezeit beträgt zwischen 30 min (an öffentlichen Ladesäulen) und 8 Stunden (an normaler Haushaltssteckdose). Die Reichweite mit einer Vollladung beträgt je nach Modell etwa 150 - 200 km.


**Plug-In-Hybride:** Besitzen sowohl Elektro- als auch Verbrennungsmotor und können an der Steckdose aufgeladen sowie an der Tankstelle betankt werden. Die Reichweite des Elektromotors liegt meist bei ca. 50 km.

**Wasserstoff- bzw. Brennstoffzellen-Fahrzeuge:** Können an speziellen Tankstellen mit Wasserstoff betankt werden. Tankzeit wie bei Benzinern. Die Reichweite liegt bei etwa 450 - 500 km.

**--> Alle Fahrzeuge können mit erneuerbarem Strom bzw. Wasserstoff CO2-neutral betrieben werden.**

*"Wenn Sie die Infos gelesen haben, bitte weiter klicken."*





Quelle: eigene Darstellung

## Anhang 8: Erhebungsbereich nach Postleitzahlen

Abbildung 20: Zuordnung der Postleitzahlen zu den Raumtypen

POSTLEITZAHLEN									
Raumtyp 1		Raumtyp 2		Raumtyp 3			Raumtyp 4		
20095	22149	20457	22417	19258	21442	22846	24629	21029	21706
20097	22159	20539	22419	20539	21444	22848	24632	21037	21714
20099	22175	21029	22453	21029	21445	22851	24640	21039	21717
20144	22177	21031	22455	21035	21447	22880	24641	21075	21723
20146	22179	21033	22457	21037	21449	22885	24643	21079	21739
20148	22297	21035	22459	21039	21465	22889	24649	21147	23843
20149	22299	21037	22523	21075	21481	22926	25335	21149	23845
20249	22301	21039	22525	21077	21483	22929	25336	21224	23847
20251	22303	21073	22527	21079	21493	22941	25337	21279	23858
20253	22305	21075	22529	21129	21502	22946	25355	21335	23879
20255	22307	21077	22547	21147	21509	22949	25358	21337	23881
20257	22309	21079	22549	21149	21514	22952	25364	21339	23883
20259	22335	21107	22559	21217	21516	22956	25365	21357	23896
20354	22337	21109	22587	21218	21521	22958	25370	21360	23899
20355	22339	21129	22589	21220	21522	22959	25371	21365	24558
20357	22391	21217	22605	21224	21524	22961	25373	21379	24568
20359	22415	21218	22607	21227	21526	22962	25421	21391	24629
20457	22453	21224	22609	21228	21527	22964	25436	21394	25335
20459	22525	21465	22763	21244	21529	22965	25451	21395	25336
20535	22527	21509	22844	21255	21614	22967	25462	21397	25337
20537	22529	21521	22846	21256	21629	22969	25474	21400	25370
20539	22547	21635	22848	21258	21635	23619	25479	21403	25371
21031	22549	22043	22850	21259	21640	23795	25482	21406	25485
21033	22605	22045	22851	21261	21641	23812	25485	21407	25486
21037	22607	22047	22869	21266	21643	23816	25486	21409	25489
21073	22761	22049	22880	21271	21644	23826	25488	21423	25491
21075	22763	22113	22885	21272	21646	23829	25489	21435	
21077	22765	22115	22889	21274	21647	23843	25491	21436	
21079	22767	22117	22926	21279	21649	23845	25492	21438	
21107	22769	22119	22927	21339	21680	23847	25494	21441	
21109	22885	22143	22941	21354	21683	23858	25495	21445	
21149		22145	22946	21357	21684	23860	25497	21447	
21224		22147	22949	21358	21698	23863	25499	21449	
22041		22149	22952	21360	21702	23866	25563	21465	
22043		22159	22955	21365	21706	23867	25597	21481	
22045		22175	22961	21376	21720	23869	27389	21483	
22047		22177	22962	21379	21723	23879	27419	21502	
22049		22179	22965	21380	21739	23881	29640	21516	
22081		22305	22969	21382	22113	23883	29646	21521	
22083		22307	24558	21385	22117	23896		21614	
22085		22335	25421	21388	22143	23898		21629	
22087		22337	25451	21391	22145	23899		21635	
22089		22339	25462	21394	22149	23919		21640	
22111		22359	25469	21395	22395	24558		21641	
22113		22391	25474	21423	22397	24568		21643	
22115		22393	25482	21435	22399	24576		21647	
22117		22395	25491	21436	22455	24598		21680	
22119		22397	25494	21438	22457	24616		21682	
22145		22399	25497	21439	22559	24623		21683	
22147		22415	25499	21441	22844	24628		21684	

Quelle: eigene Darstellung

## Anhang 9: Vergleich der CL-Modelle

Vergleich zwischen CL-Modell mit BEV, PHEV, FCEV zwischen unterschiedlichen alternativen Antrieben und der Zusammenfassung aller alternativen Formen in einer Variablen (altern).

Tabelle 44: CL-Modell (CL-1a) mit BEV, PHEV und FCEV

Conditional (fixed-effects) logistic regression						Number of obs =	28000
						LR chi2(10) =	953,14
						Prob > chi2 =	0,000
Log likelihood = -9227,4924						Pseudo R2 =	0,0491
choice	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95 % Conf. Interval]	OR ( $e^\beta$ )	
price	-0,5269	0,0314	-16,79	0,000	-0,5884	-0,4654	0,5904
<b>BEV</b>	<b>-0,9104</b>	<b>0,0678</b>	<b>-13,44</b>	<b>0,000</b>	<b>-1,0432</b>	<b>-0,7776</b>	<b>0,4024</b>
<b>PHEV</b>	<b>-0,9206</b>	<b>0,0676</b>	<b>-13,62</b>	<b>0,000</b>	<b>-1,0530</b>	<b>-0,7881</b>	<b>0,3983</b>
<b>FCEV</b>	<b>-0,7417</b>	<b>0,0934</b>	<b>-7,94</b>	<b>0,000</b>	<b>-0,9247</b>	<b>-0,5587</b>	<b>0,4763</b>
fuel	-0,1780	0,0140	-12,69	0,000	-0,2055	-0,1505	0,8369
subsidy	0,7414	0,0849	8,73	0,000	0,5750	0,9079	2,0989
parking_fee	-0,0728	0,0084	-8,70	0,000	-0,0893	-0,0564	0,9297
tax	-0,1153	0,0111	-10,41	0,000	-0,1370	-0,0936	0,8911
distcharge	-0,0188	0,0040	-4,71	0,000	-0,0266	-0,0109	0,9814
none_option	-3,2436	0,1429	-22,70	0,000	-3,5237	-2,9636	0,0390

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 45: CL-Modell (CL-1b) mit Sammelvariable altern

Conditional (fixed-effects) logistic regression						Number of obs =	28000
						LR chi2(8) =	950,05
						Prob > chi2 =	0,000
Log likelihood = -9229,035						Pseudo R2 =	0,0490
choice	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95 % Conf. Interval]	OR ( $e^\beta$ )	
price	-0,5237	0,0313	-16,75	0,000	-0,5850	-0,4624	0,5923
<b>altern</b>	<b>-0,8686</b>	<b>0,0586</b>	<b>-14,82</b>	<b>0,000</b>	<b>-0,9835</b>	<b>-0,7537</b>	<b>0,4195</b>
fuel	-0,1777	0,0140	-12,69	0,000	-0,2051	-0,1502	0,8372
subsidy	0,8043	0,0771	10,43	0,000	0,6532	0,9555	2,2351
parking_fee	-0,0725	0,0084	-8,66	0,000	-0,0889	-0,0561	0,9301
tax	-0,1152	0,0110	-10,46	0,000	-0,1367	-0,0936	0,8912
distcharge	-0,0132	0,0024	-5,62	0,000	-0,0178	-0,0086	0,9869
none_option	-3,1482	0,1316	-23,91	0,000	-3,4062	-2,8901	0,0429

Quelle: eigene Darstellung

## Anhang 10: Alternativen-spezifische Mixed-Logit-Modelle

Tabelle 46: Alternativen-spezifisches ML-Modell (ML-1a)

Mixed logit model				Number of obs =	28000	
				LR chi2(9) =	4279,95	
				Prob > chi2 =	0,0000	
Log likelihood = -7087,5194						
choice	Coef.	Std. Err.	z	P>  z	[95 % Conf. Interval]	
<b>Mean</b>						
price	-0,8641	0,0439	-19,70	0,000	-0,9501	-0,7782
BEV	-1,7031	0,1095	-15,55	0,000	-1,9178	-1,4884
PHEV	-1,5470	0,1038	-14,90	0,000	-1,7505	-1,3435
FCEV	-1,1608	0,1335	-8,70	0,000	-1,4224	-0,8992
fuel	-0,5188	0,0313	-16,57	0,000	-0,5802	-0,4575
subsidy	0,6004	0,1435	4,18	0,000	0,3191	0,8818
fee	-0,1197	0,0117	-10,22	0,000	-0,1427	-0,0968
tax	-0,1807	0,0154	-11,74	0,000	-0,2109	-0,1505
charge	-0,0316	0,0055	-5,77	0,000	-0,0423	-0,0209
none_option	-6,8231	0,2454	-27,81	0,000	-7,3040	-6,3422
<b>SD</b>						
BEV	1,8119	0,0928	19,53	0,000	1,6301	1,9937
PHEV	1,4450	0,0907	15,94	0,000	1,2673	1,6227
FCEV	-0,9910	0,1473	-6,73	0,000	-1,2797	-0,7023
fuel	0,4616	0,0338	13,66	0,000	0,3954	0,5279
subsidy	2,6713	0,1436	18,60	0,000	2,3899	2,9527
fee	0,0536	0,0182	2,94	0,003	0,0178	0,0894
tax	0,0450	0,0386	1,17	0,244	-0,0307	0,1207
charge	0,0048	0,0058	0,83	0,409	-0,0066	0,0161
none_option	3,1945	0,1529	20,89	0,000	2,8948	3,4942
The sign of the estimated standard deviations is irrelevant: interpret them as being positive						

Quelle: eigene Darstellung

- $\beta$ -Preis: fixed
- Alle anderen  $\beta$ -Koeffizienten: random, normalverteilt
- Wiederholungen: 50

Tabelle 47: Alternativen-spezifisches ML-Modell (ML-1b)

Mixed logit model				Number of obs =	28000	
				LR chi2(9) =	4614,60	
				Prob > chi2 =	0,0000	
Log likelihood = -6920,19						
choice	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95 % Conf. Interval]	
<b>Mean</b>						
price	-1,0110	0,0511	-19,78	0,000	-1,1112	-0,9108
BEV	-1,9749	0,1349	-14,64	0,000	-2,2393	-1,7104
PHEV	-1,7307	0,1232	-14,05	0,000	-1,9721	-1,4893
FCEV	-1,4241	0,1663	-8,56	0,000	-1,7501	-1,0981
fuel	-0,7378	0,0452	-16,31	0,000	-0,8265	-0,6492
subsidy	0,7043	0,1767	3,98	0,000	0,3579	1,0507
fee	-0,1370	0,0143	-9,61	0,000	-0,1649	-0,1090
tax	-0,2091	0,0185	-11,30	0,000	-0,2454	-0,1729
charge	-0,0393	0,0065	-6,03	0,000	-0,0521	-0,0265
none_option	-7,9149	0,2964	-26,70	0,000	-8,4958	-7,3340
<b>SD</b>						
BEV	2,0279	0,1170	17,34	0,000	1,7986	2,2572
PHEV	1,6899	0,1043	16,21	0,000	1,4855	1,8942
FCEV	1,6058	0,1897	8,47	0,000	1,2340	1,9775
fuel	0,6707	0,0454	14,79	0,000	0,5818	0,7596
subsidy	-3,1194	0,1791	-17,42	0,000	-3,4703	-2,7684
fee	-0,1395	0,0248	-5,62	0,000	-0,1882	-0,0909
tax	-0,1701	0,0333	-5,11	0,000	-0,2354	-0,1048
charge	-0,0489	0,0070	-7,03	0,000	-0,0625	-0,0353
none_option	3,5358	0,1754	20,15	0,000	3,1919	3,8797
The sign of the estimated standard deviations is irrelevant: interpret them as being positive						

Quelle: eigene Darstellung

- $\beta$ -Preis: fixed
- Alle anderen  $\beta$ -Koeffizienten: random, normalverteilt
- Wiederholungen: 500

Tabelle 48: Alternativen-spezifisches ML-Modell (ML-1d)

Mixed logit model				Number of obs =	28000	
				LR chi2(9) =	4145,45	
				Prob > chi2 =	0,0000	
Log likelihood = -7154.767						
choice	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95 % Conf. Interval]	
<b>Mean</b>						
mprice	<b>-0,1485</b>	<b>0,0585</b>	<b>-2,54</b>	<b>0,011</b>	<b>-0,2631</b>	<b>-0,0339</b>
BEV	-1,6996	0,1116	-15,22	0,000	-1,9184	-1,4808
PHEV	-1,4878	0,1038	-14,34	0,000	-1,6912	-1,2844
FCEV	-1,0191	0,1228	-8,30	0,000	-1,2599	-0,7784
fuel	-0,5015	0,0287	-17,47	0,000	-0,5577	-0,4452
subsidy	0,6787	0,1418	4,79	0,000	0,4008	0,9566
fee	-0,1147	0,0117	-9,79	0,000	-0,1376	-0,0917
tax	-0,1823	0,0152	-11,97	0,000	-0,2121	-0,1524
charge	-0,0322	0,0055	-5,82	0,000	-0,0430	-0,0213
none_option	-7,2166	0,2464	-29,29	0,000	-7,6995	-6,7338
<b>SD</b>						
mprice	<b>0,6684</b>	<b>0,0404</b>	<b>16,56</b>	<b>0,000</b>	<b>0,5893</b>	<b>0,7475</b>
BEV	1,8151	0,0922	19,68	0,000	1,6343	1,9958
PHEV	1,3930	0,0824	16,91	0,000	1,2316	1,5544
FCEV	0,5093	0,1352	3,77	0,000	0,2444	0,7742
fuel	-0,4151	0,0299	-13,87	0,000	-0,4738	-0,3565
subsidy	2,7249	0,1339	20,35	0,000	2,4624	2,9874
fee	0,0469	0,0280	1,67	0,095	-0,0081	0,1018
tax	-0,0157	0,0263	-0,60	0,551	-0,0672	0,0359
charge	0,0223	0,0061	3,65	0,000	0,0103	0,0343
none_option	-2,0038	0,1387	-14,45	0,000	-2,2756	-1,7319
The sign of the estimated standard deviations is irrelevant: interpret them as being positive						

Quelle: eigene Darstellung

- $\beta_{\text{Preis}}$ : random; lognormal verteilt;  $m_{\text{price}} = \text{price} * (-1)$
- Alle anderen  $\beta$ -Koeffizienten: random, normalverteilt
- Mean ( $\beta_{\text{Preis}}$ ):  $-1,0778^3$ ; SD ( $\beta_{\text{Preis}}$ ):  $-0,8088$
- Wiederholungen: 50

3 Mean ( $\beta_{\text{Preis}}$ ) =  $\exp\left(b_p + \frac{s_p^2}{2}\right)$ ; SD ( $\beta_{\text{Preis}}$ ) =  $\exp\left(b_p + \frac{s_p^2}{2}\right) \times \sqrt{\exp(s_p^2) - 1}$

## Anhang 11: Personenspezifische Modelle

Tabelle 49: Übersicht der personenspezifischen Interaktionsvariablen

Interaktionsvariable	Merkmal	Wert / Beschreibung
age1Xaltern	Alter	1, wenn Alter zwischen 18 u. 24 Jahre, 0 sonst
<b>age2Xaltern*</b>		1, wenn Alter zwischen 25 u. 34 Jahre, 0 sonst
age3Xaltern		1, wenn Alter zwischen 35 u. 44 Jahre, 0 sonst
age4Xaltern		1, wenn Alter zwischen 45 u. 54 Jahre, 0 sonst
age5Xaltern		1, wenn Alter zwischen 55 u. 64 Jahre, 0 sonst
womanXaltern	Geschlecht	1, wenn Frau, 0 sonst
expXaltern	Erfahrung mit ZEV	1, wenn Erfahrung mit ZEV, 0 sonst
educ1Xaltern	Bildungsniveau	1, wenn kein oder Haupt- bzw. Volksschulabschluss, 0 sonst
educ2Xaltern		1, wenn Realschulabschluss oder Mittlere Reife, 0 sonst
<b>educ3Xaltern*</b>		1, wenn Abitur oder Fachhochschulabschluss, 0 sonst
involv_environXaltern	Involvement	1, wenn Involvement "Umweltschutz" = 1, 0 sonst
	"Umweltschutz"	
personincome1Xaltern	Personen-Netto-	1, wenn Personen-Eink. bis 1.000 €/ Monat, 0 sonst
<b>personincome2Xaltern*</b>	Einkommen	1, wenn Personen-Eink. zw. 1.000 u. 2.000 €/ Monat, 0 sonst
personincome3Xaltern		1, wenn Personen-Eink. über 2.000 €/ Monat, 0 sonst
<b>cityXaltern*</b>	Raumtyp	1, wenn wohnhaft in Raumtyp1, 0 sonst
outercityXaltern		1, wenn wohnhaft in Raumtyp2, 0 sonst
ruralXaltern		1, wenn wohnhaft in Raumtyp3, 0 sonst
* Fett markierte Variablen stellen den Referenzwert dar. Bei dichotomen Variablen dient der Wert 0 als Referenzwert. Referenzwerte werden bei der Darstellung der Modellergebnisse nicht ausgegeben.		

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 50: Modellergebnis ML-2-Modell (1.000 Wdh.)

Mixed logit model				Number of obs =	28000		
				LR chi2(9) =	4203,81		
Log likelihood = -6818,2523				Prob > chi2 =	0,0000		
choice	Coef.	Std. Err.	z	P>  z	[95 % Conf. Interval]		
price	-1,0009	0,0512	-19,55	0,000	-1,1013	-0,9006	
BEV	-1,3521	0,2550	-5,30	0,000	-1,8519	-0,8523	
PHEV	-1,1557	0,2508	-4,61	0,000	-1,6473	-0,6642	
FCEV	-0,8435	0,2732	-3,09	0,002	-1,3789	-0,3082	
fuel	-0,7422	0,0473	-15,69	0,000	-0,8350	-0,6495	
subsidy	0,8067	0,1732	4,66	0,000	0,4672	1,1462	
fee	-0,1353	0,0142	-9,54	0,000	-0,1631	-0,1075	
tax	-0,2135	0,0187	-11,41	0,000	-0,2502	-0,1768	
charge	-0,0390	0,0064	-6,07	0,000	-0,0516	-0,0264	
none_option	-7,8996	0,5293	-14,93	0,000	-8,9369	-6,8623	
age1Xaltern	0,1805	0,2743	0,66	0,511	-0,3571	0,7181	
age3Xaltern	-0,6239	0,2328	-2,68	0,007	-1,0801	-0,1678	
age4Xaltern	-0,0783	0,2348	-0,33	0,739	-0,5385	0,3820	
age5Xaltern	-0,4948	0,2631	-1,88	0,060	-1,0104	0,0208	
womanXaltern	-0,3554	0,1563	-2,27	0,023	-0,6619	-0,0490	
expXaltern	0,5306	0,2079	2,55	0,011	0,1231	0,9381	
educ1Xaltern	-0,8712	0,2622	-3,32	0,001	-1,3851	-0,3573	
educ2Xaltern	-0,5713	0,1668	-3,43	0,001	-0,8982	-0,2444	
involv_environXaltern	1,0885	0,2042	5,33	0,000	0,6883	1,4886	
personincome1Xaltern	0,1708	0,1674	1,02	0,307	-0,1572	0,4988	
personincome3Xaltern	-0,3470	0,2697	-1,29	0,198	-0,8755	0,1816	
outercityXaltern	-0,3467	0,2278	-1,52	0,128	-0,7932	0,0998	
ruralXaltern	-0,3529	0,1729	-2,04	0,041	-0,6917	-0,0141	
age1Xnone	-1,5471	0,7125	-2,17	0,030	-2,9436	-0,1506	
age3Xnone	0,6721	0,4800	1,40	0,161	-0,2686	1,6129	
age4Xnone	1,2917	0,4582	2,82	0,005	0,3937	2,1896	
age5Xnone	2,4920	0,5176	4,81	0,000	1,4774	3,5066	
womanXnone	-0,6413	0,3312	-1,94	0,053	-1,2905	0,0079	
expXnone	-0,6950	0,4316	-1,61	0,107	-1,5409	0,1508	
educ1Xnone	-21,247	1969,37	-0,01	0,991	-3881,1	3838,6	
educ2Xnone	-0,8567	0,4899	-1,75	0,080	-1,8169	0,1034	
involv_environXnone	-0,7416	0,4339	-1,71	0,087	-1,5920	0,1088	
personincome1Xnone	0,1141	0,3233	0,35	0,724	-0,5197	0,7478	
personincome3Xnone	-0,2491	0,6393	-0,39	0,697	-1,5022	1,0039	
outercityXnone	-0,4166	0,4961	-0,84	0,401	-1,3890	0,5557	
ruralXnone	-0,5669	0,3521	-1,61	0,107	-1,2571	0,1232	

Quelle: eigene Darstellung

- $\beta$ -Preis: fixed
- Alle anderen  $\beta$ -Koeffizienten: random, normalverteilt
- 

(Fortführung der Tabelle 50)

Standardabweichung

variable	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95 % Conf. Interval]	
BEV	2,0659	0,1178	17,53	0,000	1,8349	2,2969
PHEV	-1,7415	0,1102	-15,80	0,000	-1,9576	-1,5255
FCEV	1,7224	0,1601	10,76	0,000	1,4086	2,0363
fuel	0,6520	0,0455	14,34	0,000	0,5629	0,7412
subsidy	3,0885	0,1862	16,59	0,000	2,7236	3,4535
fee	0,1308	0,0282	4,63	0,000	0,0755	0,1861
tax	-0,1719	0,0341	-5,05	0,000	-0,2387	-0,1052
charge	0,0343	0,0123	2,78	0,005	0,0102	0,0584
none_option	3,4148	0,2084	16,39	0,000	3,0064	3,8231

Anhang 12: Effekte finanzieller und infrastruktureller Anreizsysteme im personenspezifischen Modell

Tabelle 51: Auswahlwahrscheinlichkeit  $P_{ij}$  für Antriebstechnologien nach Personengruppe (ML-2)

Wahrscheinlichkeit $P_{ij}$ für die jeweilige Alternative nach Personengruppe [%]							
Personen-Gruppe	ICV	BEV	PHEV	FCEV	none	$\Sigma_{ZEV^*}$	Bemerkung
PG-1	67,7	10,8	17,4	3,5	0,6	31,7	Referenz
PG-2	29,7	24,0	38,5	7,7	0,1	70,2	max
PG-3	93,1	2,3	3,8	0,7	0,0	6,9	min

\*  $\Sigma_{ZEV} = BEV + PHEV + FCEV$

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 52: Veränderung  $P_{ij}$  unter Anreiz 1a (ML-2)

Zuschuss für ZEV: 5.000 € (Veränderung der Auswahlwahrscheinlichkeit gegenüber Referenzszenario)							
Personen-Gruppe	ICV	BEV	PHEV	FCEV	none	$\Sigma_{ZEV^*}$	Extrema
PG-1	-9,2	3,2	5,1	1,0	-0,1	9,3	max
PG-2	-7,7	2,6	4,2	0,8	0,0	7,7	
PG-3	-3,1	1,0	1,7	0,3	0,0	3,1	min

\*  $\Sigma_{ZEV} = BEV + PHEV + FCEV$

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 53: Veränderung  $P_{ij}$  unter Anreiz 1b (ML-2)

Zuschuss für ZEV: 10.000 € (Veränderung der Auswahlwahrscheinlichkeit gegenüber Referenzszenario)							
Personen-Gruppe	ICV	BEV	PHEV	FCEV	none	$\Sigma_{ZEV^*}$	Extrema
PG-1	-19,1	6,6	10,6	2,1	-0,2	19,3	max
PG-2	-13,8	4,7	7,6	1,5	0,0	13,9	
PG-3	-7,3	2,5	4,0	0,8	0,0	7,3	min

\*  $\Sigma_{ZEV} = BEV + PHEV + FCEV$

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 54: Veränderung  $P_{ij}$  unter Anreiz 2 (ML-2)

<b>Treibstoffkostenanstieg für ICV durch Steuer: 100 %</b> (Veränderung der Auswahlwahrscheinlichkeit gegenüber Referenzszenario)							
Personen-Gruppe	ICV	BEV	PHEV	FCEV	none	$\sum_{ZEV^*}$	Extrema
PG-1	-17,8	6,0	9,6	1,9	0,3	17,4	max
PG-2	-13,0	4,4	7,1	1,4	0,0	13,0	
PG-3	-6,5	2,2	3,6	0,7	0,0	6,5	min

\*  $\sum_{ZEV} = BEV + PHEV + FCEV$

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 55: Veränderung  $P_{ij}$  unter Anreiz 3a (ML-2)

<b>Kostenloses Parken für ZEV</b> (Veränderung der Auswahlwahrscheinlichkeit gegenüber Referenzszenario)							
Personen-Gruppe	ICV	BEV	PHEV	FCEV	none	$\sum_{ZEV^*}$	Extrema
PG-1	-8,6	3,0	4,7	0,9	0,0	8,6	max
PG-2	-7,2	2,5	4,0	0,8	0,0	7,3	
PG-3	-2,8	1,0	1,6	0,3	0,0	2,8	min

\*  $\sum_{ZEV} = BEV + PHEV + FCEV$

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 56: Veränderung  $P_{ij}$  unter Anreiz 3b (ML-2)

<b>Kostenloses Parken für ZEV; 5 €/ h für ICV</b> (Veränderung der Auswahlwahrscheinlichkeit gegenüber Referenzszenario)							
Personen-Gruppe	ICV	BEV	PHEV	FCEV	none	$\sum_{ZEV^*}$	Extrema
PG-1	-16,0	5,4	8,7	1,7	0,1	15,9	max
PG-2	-12,0	4,1	6,6	1,3	0,0	12,0	
PG-3	-5,8	2,0	3,2	0,6	0,0	5,8	min

\*  $\sum_{ZEV} = BEV + PHEV + FCEV$

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 57: Veränderung  $P_{ij}$  unter Anreiz 4 (ML-2)

<b>Treibstoffkostenanstieg für ICV durch Steuer: 100 %</b> (Veränderung der Auswahlwahrscheinlichkeit gegenüber Referenzszenario)							
Personen-Gruppe	ICV	BEV	PHEV	FCEV	none	$\sum_{ZEV^*}$	Extrema
PG-1	-17,8	6,0	9,6	1,9	0,3	17,4	max
PG-2	-13,0	4,4	7,1	1,4	0,0	13,0	
PG-3	-6,5	2,2	3,6	0,7	0,0	6,5	min
* $\sum_{ZEV} = BEV + PHEV + FCEV$							

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 58: Veränderung  $P_{ij}$  unter Anreiz 5 (ML-2)

<b>Erhöhung Ausbaugrad Ladeinfrastruktur (max. 1 min. Gehzeit)</b> (Veränderung der Auswahlwahrscheinlichkeit gegenüber Referenzszenario)							
Personen-Gruppe	ICV	BEV	PHEV	FCEV	none	$\sum_{ZEV^*}$	Extrema
PG-1	-3,1	1,3	2,0	-0,2	0,0	3,1	max
PG-2	-2,8	1,4	2,2	-0,7	0,0	2,8	
PG-3	-1,0	0,4	0,6	0,0	0,0	1,0	min
* $\sum_{ZEV} = BEV + PHEV + FCEV$							

Quelle: eigene Darstellung

## Anhang 13: Verkehrsverhalten-spezifisches Modell (ML-3)

Tabelle 59: Übersicht der verkehrsverhalten-spezifischen Interaktionsvariablen

Interaktionsvariable	Merkmal	Wert / Beschreibung
vmyear1Xaltern	Fahrleistung	1, wenn jährl. Fahrleistung zw. 0 und 15.000 km, 0 sonst
<b>vmyear2Xaltern</b>		1, wenn jährl. Fahrleistung über 15.000 km, 0 sonst
ticketXaltern	ÖPNV-Zeitkartenbesitz	1, ÖPNV-Zeitkartenhalter, 0 sonst
TM_bike_dailyXaltern	Nutzungshäufigkeit	1, wenn "Fahrrad" = täglich, 0 sonst
TM_bike_sometimesXaltern	"Fahrrad"	1, wenn "Fahrrad" = manchmal, 0 sonst
<b>TM_bike_neverXaltern</b>		1, wenn "Fahrrad" = nie, 0 sonst
TM_pt_dailyXaltern	Nutzungshäufigkeit	1, wenn "ÖPNV" = täglich, 0 sonst
TM_pt_sometimesXaltern	"ÖPNV"	1, wenn "ÖPNV" = manchmal, 0 sonst
<b>TM_pt_neverXaltern</b>		1, wenn "ÖPNV" = nie, 0 sonst
* Fett markierte Variablen stellen den Referenzwert dar. Bei dichotomen Variablen dient der Wert 0 als Referenzwert. Referenzwerte werden bei der Darstellung der Modellergebnisse nicht ausgegeben.		

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 60: Modellergebnis ML-3-Modell (1.000 Wdh.)

Mixed logit model				Number of obs =	28000		
				LR chi2(9) =	4393,15		
Log likelihood = -6850.6727				Prob > chi2 =	0,0000		
choice	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95 % Conf. Interval]		
price	-0,9930	0,0508	-19,55	0,000	-1,0926	-0,8934	
BEV	-3,4447	0,2372	-14,52	0,000	-3,9097	-2,9798	
PHEV	-3,1919	0,2299	-13,88	0,000	-3,6426	-2,7413	
FCEV	-2,8798	0,2539	-11,34	0,000	-3,3774	-2,3822	
fuel	-0,7200	0,0449	-16,05	0,000	-0,8079	-0,6320	
subsidy	0,7679	0,1828	4,20	0,000	0,4097	1,1261	
fee	-0,1284	0,0139	-9,23	0,000	-0,1557	-0,1011	
tax	-0,2129	0,0187	-11,41	0,000	-0,2495	-0,1763	
charge	-0,0397	0,4939	-18,47	0,000	-10,0890	-8,1529	
none_option	-9,1209	0,3800	-0,46	0,648	-0,9183	0,5714	
vmyear1Xaltern	0,3654	0,1568	2,33	0,020	0,0581	0,6728	
ticketXaltern	0,6986	0,2616	2,67	0,008	0,1858	1,2114	
TM_bike_dailyXaltern	1,2191	0,2397	5,09	0,000	0,7492	1,6889	
TM_bike_sometimesXaltern	0,6228	0,1862	3,34	0,001	0,2578	0,9877	
TM_pt_dailyXaltern	1,0584	0,3426	3,09	0,002	0,3869	1,7300	
TM_pt_sometimesXaltern	0,6155	0,1834	3,36	0,001	0,2560	0,9751	
vmyear1Xnone	1,8322	0,3689	4,97	0,000	1,1092	2,5551	
ticketXnone	-0,1790	0,5379	-0,33	0,739	-1,2333	0,8753	
TM_bike_dailyXnone	0,7584	0,4311	1,76	0,079	-0,0865	1,6033	
TM_bike_neverXnone	0,2404	0,3906	0,62	0,538	-0,5251	1,0060	
TM_pt_dailyXnone	0,3384	0,7905	0,43	0,669	-1,2111	1,8878	
TM_pt_sometimesXnone	-0,1735	0,3800	-0,46	0,648	-0,9183	0,5714	
<b>SD</b>							
BEV	1,9817	0,1207	16,42	0,000	1,7451	2,2182	
PHEV	1,7388	0,1148	15,15	0,000	1,5139	1,9638	
FCEV	1,6300	0,1917	8,50	0,000	1,2543	2,0056	
fuel	0,6155	0,0459	13,41	0,000	0,5255	0,7054	
subsidy	3,0777	0,1839	16,73	0,000	2,7172	3,4382	
fee	-0,1169	0,0393	-2,98	0,003	-0,1938	-0,0400	
tax	0,1612	0,0433	3,72	0,000	0,0763	0,2461	
charge	-0,0359	0,0112	-3,21	0,001	-0,0578	-0,0140	
none_option	3,5287	0,2079	16,98	0,000	3,1213	3,9362	

Quelle: eigene Darstellung

## Anhang 14: Einfluss der Anreizsysteme im verkehrsverhalten-spezifisches Modell

Tabelle 61: Auswahlwahrscheinlichkeit  $P_{ij}$  für Antriebstechnologien nach Personengruppe (ML-3)

<b>Referenzszenario</b>							
Wahrscheinlichkeit $P$ für die jeweilige Alternative nach Personengruppe [%]							
Personen-Gruppe	ICV	BEV	PHEV	FCEV	none	$\sum_{ZEV}^*$	Extrema
PG-A	94,14	1,84	3,14	0,63	0,24	5,6	min
PG-B	65,92	10,77	18,36	3,70	1,25	32,8	
PG-C	89,73	3,27	5,58	1,12	0,29	10,0	
PG-D	51,21	15,60	26,59	5,36	1,23	47,6	max

\*  $\sum_{ZEV} = BEV + PHEV + FCEV$

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 62: Veränderung  $P_{ij}$  unter Anreiz 1a (ML-3)

<b>Zuschuss für ZEV: 5.000 €</b>							
Wahrscheinlichkeit $P$ für die jeweilige Alternative nach Personengruppe [%]							
Personen-Gruppe	ICV	BEV	PHEV	FCEV	none	$\sum_{ZEV}^*$	Extrema
PG-A	-2,41	0,79	1,35	0,27	-0,01	2,4	min
PG-B	-8,78	2,94	5,00	1,01	-0,17	8,9	
PG-C	-4,00	1,32	2,25	0,45	-0,01	4,0	
PG-D	-9,32	3,13	5,34	1,08	-0,22	9,5	max

\*  $\sum_{ZEV} = BEV + PHEV + FCEV$

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 63: Veränderung  $P_{ij}$  unter Anreiz 1b (ML-3)

<b>Zuschuss für ZEV: 10.000 €</b>							
Wahrscheinlichkeit $P$ für die jeweilige Alternative nach Personengruppe [%]							
Personen-Gruppe	ICV	BEV	PHEV	FCEV	none	$\sum_{ZEV}^*$	Extrema
PG-A	-5,74	1,89	3,22	0,65	-0,01	5,8	min
PG-B	-18,13	6,06	10,33	2,08	-0,34	18,5	
PG-C	-9,27	3,05	5,20	1,05	-0,03	9,3	
PG-D	-18,16	6,10	10,40	2,10	-0,44	18,6	max

\*  $\sum_{ZEV} = BEV + PHEV + FCEV$

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 64: Veränderung  $P_{ij}$  unter Anreiz 2 (ML-3)

<b>CO<sub>2</sub>-Steuer für ICV: 500 €/ Jahr</b>							
Wahrscheinlichkeit $P$ für die jeweilige Alternative nach Personengruppe [%]							
Personen-Gruppe	ICV	BEV	PHEV	FCEV	none	$\Sigma_{ZEV^*}$	Extrema
PG-A	-0,62	0,19	0,33	0,07	0,03	0,6	min
PG-B	-2,43	0,77	1,31	0,26	0,09	2,3	
PG-C	-1,02	0,33	0,56	0,11	0,03	1,0	
PG-D	-2,66	0,85	1,45	0,29	0,07	2,6	max

\*  $\Sigma_{ZEV} = BEV + PHEV + FCEV$

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 65: Veränderung  $P_{ij}$  unter Anreiz 3a (ML-3)

<b>Kostenloses Parken für ZEV</b>							
Wahrscheinlichkeit $P$ für die jeweilige Alternative nach Personengruppe [%]							
Personen-Gruppe	ICV	BEV	PHEV	FCEV	none	$\Sigma_{ZEV^*}$	Extrema
PG-A	-1,52	0,50	0,85	0,17	0,00	1,5	min
PG-B	-5,78	1,93	3,29	0,66	-0,11	5,9	
PG-C	-2,55	0,84	1,43	0,29	-0,01	2,6	
PG-D	-6,26	2,10	3,58	0,72	-0,15	6,4	max

\*  $\Sigma_{ZEV} = BEV + PHEV + FCEV$

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 66: Veränderung  $P_{ij}$  unter Anreiz 3b (ML-3)

<b>Kostenloses Parken für ZEV; 5 €/h für ICV</b>							
Wahrscheinlichkeit $P$ für die jeweilige Alternative nach Personengruppe [%]							
Personen-Gruppe	ICV	BEV	PHEV	FCEV	none	$\Sigma_{ZEV^*}$	Extrema
PG-A	-4,63	1,49	2,53	0,51	0,10	4,5	min
PG-B	-15,27	4,96	8,45	1,70	0,16	15,1	
PG-C	-7,50	2,43	4,14	0,83	0,10	7,4	
PG-D	-15,50	5,07	8,65	1,74	0,03	15,5	max

\*  $\Sigma_{ZEV} = BEV + PHEV + FCEV$

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 67: Veränderung  $P_{ij}$  unter Anreiz 4 (ML-3)

<b>Treibstoffkostenanstieg für ICV durch Steuer: 100 %</b>							
Wahrscheinlichkeit $P$ für die jeweilige Alternative nach Personengruppe [%]							
Personen-Gruppe	ICV	BEV	PHEV	FCEV	none	$\sum_{ZEV^*}$	Extrema
PG-A	-5,48	1,72	2,94	0,59	0,23	5,2	min
PG-B	-17,43	5,51	9,39	1,89	0,64	16,8	
PG-C	-8,77	2,79	4,76	0,96	0,25	8,5	
PG-D	-17,40	5,56	9,48	1,91	0,44	17,0	max

\*  $\sum_{ZEV^*} = BEV + PHEV + FCEV$

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 68: Veränderung  $P_{ij}$  unter Anreiz 5 (ML-3)

<b>Ladeinfrastruktur max. eine min. Gehzeit</b>							
Wahrscheinlichkeit $P$ für die jeweilige Alternative nach Personengruppe [%]							
Personen-Gruppe	ICV	BEV	PHEV	FCEV	none	$\sum_{ZEV^*}$	Extrema
PG-A	-0,80	0,30	0,51	-0,01	0,00	0,8	min
PG-B	-3,15	1,25	2,13	-0,18	-0,06	3,2	
PG-C	-1,35	0,51	0,86	-0,02	0,00	1,4	
PG-D	-3,47	1,45	2,47	-0,36	-0,08	3,6	max

\*  $\sum_{ZEV^*} = BEV + PHEV + FCEV$

Quelle: eigene Darstellung