



Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science (M.Sc.)

Akzeptanz von E-Autos als Energiespeicher im Smart Grid – eine Stated Choice Befragung zu variablen Vergütungen für Besitzer von E-Autos

vorgelegt von: Richard Granse

Studiengang: Verkehrswirtschaft Master

Verantwortlicher

Hochschullehrer: Prof. Dr. rer. pol. habil. Ostap Okhrin

Zweitgutachter: Prof. Dr. rer. pol. habil. Georg Hirte

Betreuer: Dr. rer. nat. Martin Treiber

Dresden, den 11.03.2022



Kurzfassung

Diese Masterarbeit untersucht die Fragestellung, ob die Einwohner Deutschlands zukünftig E-Autos als Energiespeicher im Smart Grid akzeptieren und inwiefern variable Preise zur Vergütung der Fahrzeugbesitzer geeignet sind. Zu diesem Zweck wurde eine Stated Choice Befragung durchgeführt. Der ermittelte Datensatz wurde anhand drei verschiedener Conjoint-Analysen ausgewertet. Dazu wurde jeweils ein Teilwert-Modell als Nutzenmodell und ein multinomiales Logit-Choice-Modell formuliert. Der Top-Down-Ansatz wurde genutzt, um reduzierte Modelle zu bilden, welche ausschließlich signifikante Schätzer enthalten. Zur Überprüfung der Modelle wurden globale Gütemaße herangezogen. Bei der Auswertung der Modelle ergab sich, dass die Probanden ihre Wahl hauptsächlich von der Alternative selbst – Fixpreis oder variabler Preis – abhängig machen und weniger von der Ausgestaltung der Preise.

Abstract

This master's thesis examines the question of whether the inhabitants of Germany will accept electric cars as energy storage devices in the smart grid in the future and to what extent variable prices are suitable for remuneration of vehicle owners. A Stated Choice survey was conducted for this purpose. The determined data set was evaluated using three different conjoint analyses. For this purpose, a partial value model as a utility model and a multinomial logit choice model were established. The top-down method was used to build reduced models containing only significant estimators. Measures of goodness of fit were used to check the models. When evaluating the models, it emerged that the subjects made their choice mainly dependent on the alternative itself – fixed price or variable price – and less on the structure of the prices.



Themenbeschreibung der Forschungsarbeit

Titel:

E-Autos als Teil des “Smart Grid”

Motivation:

Wenn es – in der Zukunft – einen signifikanten Anteil an E-Fahrzeugen gibt, könnten diese auch als temporärer Energiespeicher dienen.

Aufgabenstellung:

Das Hauptproblem der erneuerbaren Energien ist die Diskrepanz zwischen der zeitlichen Verteilung des Angebots und der Nachfrage sowie die Tatsache, dass man Strom nicht speichern kann. Die Batterien von E-Autos könnten als Teil eines verteilten Energiespeichers dienen, wenn die Nutzer beim Aufladen zeitlich flexibel sind und/oder nicht die volle Batteriekapazität beanspruchen (und dafür finanzielle Vorteile genießen). Dies soll quantitativ mit Methoden eigener Wahl (z.B. diskrete Wahltheorie, Regressionsanalyse etc.) analysiert werden.

Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG.....	I
THEMENBESCHREIBUNG DER FORSCHUNGSARBEIT.....	II
INHALTSVERZEICHNIS	III
KAPITEL 1 EINLEITUNG.....	1
1.1 MOTIVATION	1
1.2 PROBLEMSTELLUNG.....	2
1.3 AUFBAU DER ARBEIT.....	2
KAPITEL 2 DEFINITION RELEVANTER BEGRIFFE.....	3
2.1 DAS DEUTSCHE STROMNETZ.....	3
2.2 DAS SMART GRID	6
2.3 ELEKTROFAHRZEUGE.....	8
2.4 BIDIREKTIONALES LADEN.....	10
2.5 VARIABLE PREISE	12
KAPITEL 3 THEORETISCHE GRUNDLAGEN	15
3.1 CONJOINT-ANALYSE.....	15
3.2 ABLAUF DER CHOICE BASED CONJOINT-ANALYSE.....	17
3.3 DISCRETE-CHOICE-MODELLE.....	20
3.3.1 <i>Multinomiales Logit-Choice-Modell.....</i>	<i>23</i>
3.3.2 <i>Nested-Logit-Modell.....</i>	<i>26</i>
3.3.3 <i>Latent-Class-Modell.....</i>	<i>27</i>
3.3.4 <i>Mixed-Multinomial-Logit-Modell.....</i>	<i>28</i>
KAPITEL 4 VORSTELLUNG DES FRAGEBOGENS.....	29
KAPITEL 5 DATENAUSWERTUNG	34
5.1 MODELLAUFSTELLUNG.....	34
5.1.1 <i>Modell 1 – Variable Preise nach Netzauslastung.....</i>	<i>36</i>
5.1.2 <i>Modell 2 – Variable Preise bei frei verfügbarem Akku</i>	<i>37</i>
5.1.3 <i>Modell 3 – Vergütung nach Strommenge oder Fixpreis</i>	<i>38</i>
5.2 AUSWERTUNG.....	39
5.2.1 <i>Ergebnisse Modell 1 – Variable Preise nach Netzauslastung</i>	<i>40</i>
5.2.2 <i>Ergebnisse Modell 2 – Variable Preise bei frei verfügbarem Akku.....</i>	<i>42</i>
5.2.3 <i>Ergebnisse Modell 3 – Vergütung nach Strommenge oder Fixpreis</i>	<i>43</i>



5.2.4	<i>Güteprüfung</i>	44
5.3	INTERPRETATION DER ERHALTENEN ERGEBNISSE.....	46
5.4	FEHLERBETRACHTUNG	48
5.5	AUSBLICK	49
KAPITEL 6	FAZIT	51
LITERATURVERZEICHNIS	VIII
ANHANG	XIII



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der deutsche Strommix 2011 – 2020 [Strom-Report]	3
Abbildung 2: Netzebenen und Stromfluss im deutschen Stromnetz [NPM].....	4
Abbildung 3: Anzahl der Elektroautos in Deutschland von 2011 bis 2021 [Statista (2021b)]	9
Abbildung 4: Elementare Nutzenmodelle [Backhaus u.a. (2015, S. 188)]	19
Abbildung 5: Binomiales Logit-Choice-Modell [eig. Darstellung nach Backhaus u.a. (2015, S. 194)].....	26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schätzer Modell 1 [eigene Darstellung]	34
Tabelle 2: Ergebnisse Modell 1 – signifikante Parameter [eigene Darstellung]	40
Tabelle 3: Ergebnisse Modell 2 – signifikante Parameter [eigene Darstellung]	42
Tabelle 4: Ergebnisse Modell 3 – signifikante Parameter [eigene Darstellung]	43
Tabelle 5: Likelihood-Ratio-Statistik [eigene Darstellung]	45

Symbole

Symbol	Einheit	Beschreibung
P	kW	Kilowatt: Maß für die elektrische Leistung momentaner Energieverbrauch
W	kWh	Kilowattstunde: Maß für die elektrische Arbeit Energieverbrauch über einen bestimmten Zeitraum

Abkürzungsverzeichnis

AC	Alternativenspezifische Konstante
BEV	Battery Electric Vehicle (Elektrofahrzeug)
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BNetzA	Bundesnetzagentur
CBCA	Choice Based Conjoint-Analyse (wahlbasierte Conjoint-Analyse)
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CPP	Critical Peak Pricing
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
ETG	Energetische Gesellschaft



IIA-Annahme	Independence of Irrelevant Alternatives-Annahme
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
ML-Methode	Maximum-Likelihood-Methode
MNL-Modell	Multinomiales Logit-Choice-Modell
MMNL-Modell	Mixed-Multinomial-Logit-Modell
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle (Plug-in-Hybrid)
REEV	Range Extended Electric Vehicle (Elektrofahrzeug mit Reichweitenverlängerer)
RTP	Real Time Pricing
TCA	Traditionelle Conjoint-Analyse
ToU	Time of Use
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.



Kapitel 1 Einleitung

1.1 Motivation

Das in Deutschland im Jahr 2021 neu gewählte Regierungsbündnis, bestehend aus SPD, Bündnis90/Die Grünen und FDP, hat es sich zum Ziel gesetzt, in den 2020er Jahren eine nachhaltige Mobilität zu etablieren. Dies bedeutet, dass der Verkehrssektor in Deutschland zukünftig, im Zuge des Klimaschutzes, deutlich weniger CO₂ ausstoßen soll [SPD, Grüne, FDP (2021, S. 48)]. Im Zuge dessen haben die Parteien in ihrem Koalitionsvertrag das Ziel formuliert, dass es im Jahr 2030 mindestens 15 Millionen zugelassene Elektroautos in Deutschland gibt. Zur Erreichung dieses Ziels soll ein umfassender Ausbau der Ladeinfrastruktur erfolgen [SPD, Grüne, FDP (2021, S. 51)].

Damit einhergehend formulieren die Regierungsparteien: „Wir werden bidirektionales Laden ermöglichen“ [SPD, Grüne, FDP (2021, S. 52)]. Die zukünftig bestehende Anzahl an Elektrofahrzeugen wird es erlauben, bidirektionales Laden flächendeckend zur Stabilisierung des Stromnetzes einzusetzen. Auf diese Weise kann überflüssige elektrische Energie aus dem Stromnetz in Elektrofahrzeugen zwischengespeichert werden, um sie später wieder in das Stromnetz zurückzuführen.

Die Notwendigkeit dieses Vorgehens ergibt sich daraus, dass in Deutschland vermehrt erneuerbare Energien zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Dadurch wird zwar der Ausstoß klimaschädlicher Treibhausgase reduziert, es ergibt sich jedoch der Nachteil, dass die Stromproduktion in Zukunft unregelmäßiger als gegenwärtig erfolgen wird. Um diese Unregelmäßigkeiten bei der Stromerzeugung auszugleichen, wird es nötig sein, elektrische Energie zu speichern. Dazu bieten sich Elektroautos an, da sie über große Batteriekapazitäten verfügen und die meiste Zeit des Tages nicht zum Fahren genutzt werden [Thielmann u.a. (2020, S.19)].

In den kommenden Jahren wird sich den Stromnetzbetreibern die Frage stellen, wie die Vergütung der E-Auto-Besitzer für das Zwischenspeichern von Strom ausgestaltet sein soll. Daher ist es von Interesse zu ergründen, ob variable Strompreise hierfür geeignet sind.



1.2 Problemstellung

Diese Masterarbeit behandelt die Frage, ob zukünftig in der Bevölkerung eine Akzeptanz von E-Autos als Energiespeicher im Smart Grid bestehen wird. Das Ziel der Arbeit besteht darin, Erkenntnisse darüber zu gewinnen, welche Form der Vergütung bei diesem Geschäftsmodell die höchste Akzeptanz erfährt. Zur Untersuchung dieser Fragestellung wird eine Stated Choice Befragung durchgeführt. In dieser werden die Probanden vor hypothetische Auswahlzenarien gestellt, welche jeweils verschiedene Vergütungsstufen abbilden. Die Umfrage umfasst drei verschiedene statistische Modelle.

Zum einen wird ermittelt, ob die Teilnehmenden eher variierende Preise oder Fixpreise bevorzugen, wenn sie die Hälfte ihres Fahrzeugakkus als Stromspeicher zur Verfügung stellen und der Netzbetreiber diesen frei be- und entladen kann. Ein weiteres Modell untersucht, inwiefern die Teilnehmenden variable Strompreise zum Laden ihres E-Autos akzeptieren, wenn sie dabei jederzeit über die volle Kapazität ihres Akkus verfügen können. In einem dritten Modell wird die Fragestellung beleuchtet, ob die Teilnehmenden für die Dienstleistung des Stromspeicherns eine Vergütung in Abhängigkeit der gespeicherten Kilowattstunden oder eine feste Tagesvergütung als vorteilhafter ansehen.

Um zu analysieren, wie stark der Einfluss der verschiedenen Preise und der soziodemografischen Faktoren auf das Auswahlverhalten der Probanden ist, wird die diskrete Wahltheorie genutzt. Im Zuge dessen werden Teilwert-Modelle als Nutzenmodelle und multinomiale Logit-Choice-Modelle als Auswahlmodelle formuliert. Anhand dieser wird der erhobene Datensatz ausgewertet.

1.3 Aufbau der Arbeit

Im zweiten Kapitel dieser Arbeit wird eine Definition relevanter Begrifflichkeiten gegeben. Daraufhin wird im dritten Kapitel eine allgemeine theoretische Erklärung der Conjoint-Analyse und damit verbunden der diskreten Wahltheorie vorgenommen. Das vierte Kapitel befasst sich mit der Erstellung des Fragebogens, welcher dieser Arbeit zugrunde liegt. In Kapitel 5 wird schließlich die Auswertung und Interpretation der erhaltenen Daten vorgenommen.

Kapitel 2 Definition relevanter Begriffe

2.1 Das deutsche Stromnetz

Strom fließt in Deutschland durch ein flächendeckendes Verbundnetz. Alle Erzeuger und Verbraucher sind an dieses angeschlossen. Die Stromerzeuger speisen den Strom in das Stromnetz ein. Er wird zum einen aus den klassischen Formen der Kohle-, Gas- und Kernkraftwerke, aber auch vermehrt aus erneuerbaren Energien gewonnen, wie Abbildung 1 veranschaulicht.

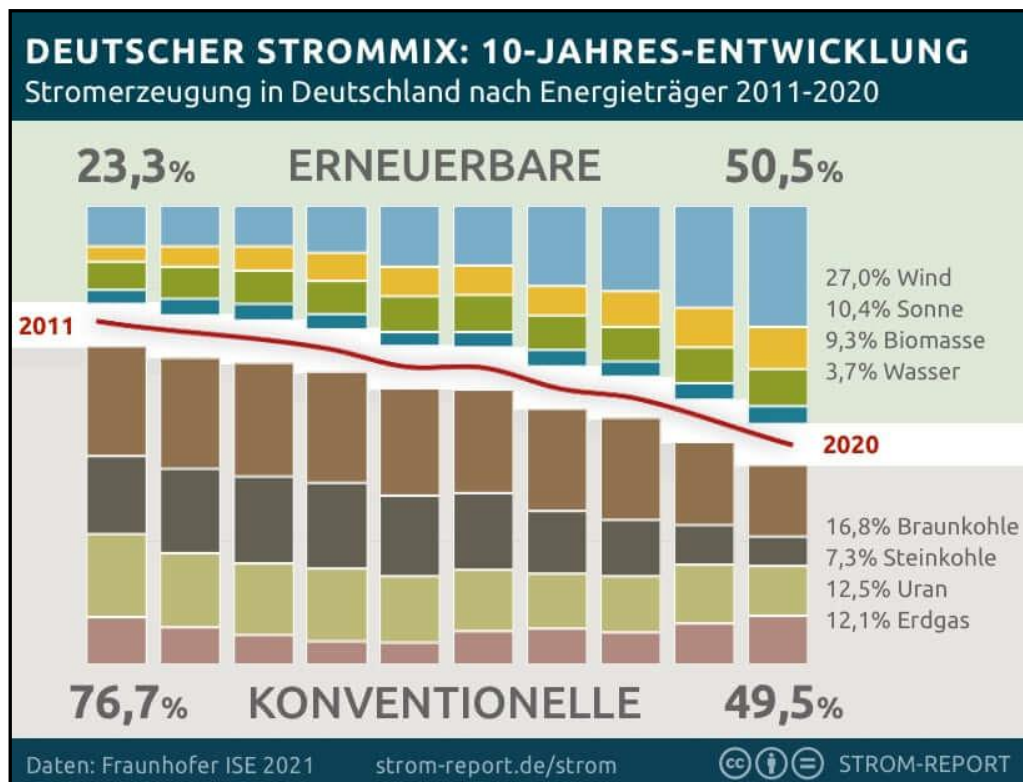


Abbildung 1: Der deutsche Strommix 2011 – 2020 [Strom-Report]

Das deutsche Stromnetz gliedert sich in vier verschiedene Spannungsebenen, wie in Abbildung 2 zu erkennen ist. Je höher die Stromspannung ist, desto mehr Stromleistung kann übertragen werden. Zur überregionalen Stromübertragung werden demzufolge sehr hohe Spannungen verwendet, um höhere Mengen Strom transportieren zu können. Im regionalen Bereich, wo geringere Mengen Strom transportiert werden müssen, werden geringere Spannungen eingesetzt.

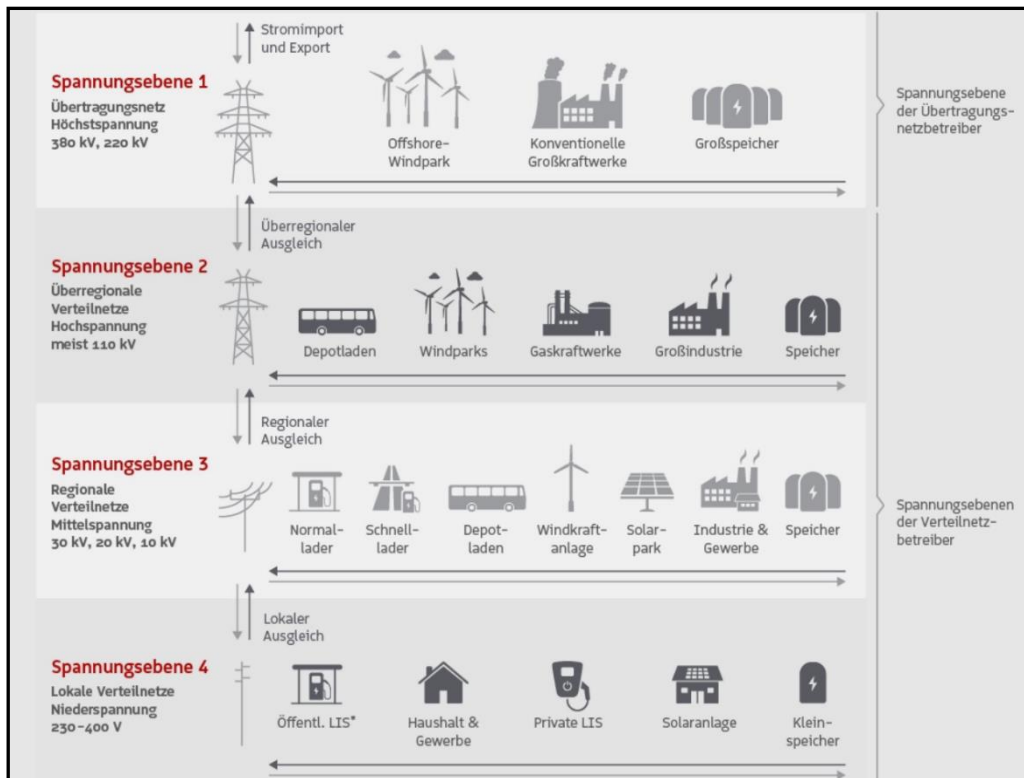


Abbildung 2: Netzebenen und Stromfluss im deutschen Stromnetz [NPM]

Für den Betrieb des Stromnetzes sind verschiedene Netzbetreiber verantwortlich. Auf der Ebene des Übertragungsnetzes der Höchstspannung sind dies vier Netzbetreiber in Deutschland. Auf dieser Netzebene findet nicht nur der überregionale Stromtransport statt, sondern es wird auch, je nach Bedarf, Strom an deutsche Nachbarstaaten exportiert oder aus ihnen importiert. Die Verteilnetze, welche in niedrigeren Spannungsbereichen angesiedelt sind, werden von den Verteilnetzbetreibern betrieben. Im Jahr 2021 gab es 872 Verteilnetzbetreiber in Deutschland [Statista (2021a)].

Die vielen verschiedenen Netzbetreiber stehen nicht in direktem Wettbewerb zueinander, sondern decken jeweils ein ihnen zugewiesenes Gebiet ab. Dies ist darin begründet, dass es unwirtschaftlich wäre, in einem Gebiet mehrere Stromnetze parallel zu betreiben. Stromnetze sind demnach natürliche Monopole. Um Monopolgewinne und damit eine Schlechterstellung anderer Marktteilnehmer zu verhindern, überwacht die Bundesnetzagentur (BNetzA) die Stromnetzbetreiber. Das System der Anreizregulierung soll dabei auf der einen Seite für faire Preise sorgen und gleichzeitig den Netzbetreibern ihre Kostendeckung garantieren [BNetzA (2022)].



Beim Betrieb des Stromnetzes besteht die grundsätzliche Aufgabe im Stromtransport. Dabei müssen die Netzbetreiber vier grundsätzliche Systemdienstleistungen erbringen. Dazu zählen die technischen Gesichtspunkte der Frequenz- und Spannungshaltung sowie der Versorgungswiederaufbau im Falle eines Stromausfalls. Die vierte Systemdienstleistung, welche für den Rahmen dieser Arbeit besonders relevant ist, ist die Betriebsführung des Stromnetzes. Dazu zählt, dass die Netzbetreiber das Stromnetz überwachen und steuern, um Engpässe oder Überschüsse in der Stromversorgung auszugleichen. Dazu zählt u.a. der bereits angesprochene Import oder Export von Strom. Aber auch die dezentrale Speicherung von Strom, welche diese Arbeit behandelt, wird zukünftig durch die Netzbetreiber organisiert werden müssen [BMWi (2022)].

Der Grund hierfür ist die im Zuge des Klimawandels notwendig gewordene Energiewende. Um den Ausstoß von Treibhausgasen zu senken, entwickelt sich der Strommix von Jahr zu Jahr weg von den konventionellen Energieträgern hin zu den erneuerbaren Energien, wie Abbildung 1 aufzeigt. Erneuerbare Energiequellen haben den Nachteil, dass sie nicht konstant dieselbe Strommenge erzeugen. Außerdem sind Anlagen, welche mittels erneuerbarer Energien Strom erzeugen, oft dezentral an das Stromnetz angeschlossen. Diese Umstände führen dazu, dass in einem Netzabschnitt die Stromerzeugung vorübergehend die Nachfrage übersteigt oder umgekehrt.

Damit das Netz der dezentralen und unregelmäßigen Stromerzeugung durch die erneuerbaren Energien entgegenwirken kann, muss es zukünftig flexibler werden. Zum einen wird dies durch eine Veränderung der Betriebsabläufe im Netz erreicht. Dazu zählt, wie bereits erwähnt, die dezentrale Speicherung von Strom, aber auch das gezielte Lastmanagement. Bei diesem werden den Verbrauchern gezielte Anreize gesetzt, um zu bestimmten Zeiten auf die Nutzung stromintensiver Geräte zu verzichten [Zander u.a. (2017, S. XI)].

Neben der Veränderung der Betriebsabläufe ist der zweite wichtige Aspekt eines flexibleren Stromnetzes der Netzausbau. Auch dieser trägt dazu bei, die dezentrale Stromerzeugung auszugleichen, indem zusätzliche Kapazitäten geschaffen werden, um Strom zwischen benachbarten Regionen zu transportieren. Ein Netzausbau wird jedoch auch in der überregionalen Übertragungsebene der Höchstspannung benötigt, um bspw. den in Offshore-Windkraftanlagen gewonnenen Strom vom Norden in den Süden Deutschlands zu



transportieren. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass die zentrale Lage Deutschlands innerhalb Europas dazu führen wird, dass Deutschland ein Transitland für Strom wird. Diese Annahme begründet sich darin, dass die Umstellung auf erneuerbare Energien dazu führen wird, dass innerhalb Europas stärker als bisher ein länderübergreifender Stromaustausch stattfinden wird [Netzentwicklungsplan Strom].

Neben den Stromerzeugern, den Netzbetreibern und den Verbrauchern gibt es noch eine vierte Akteursgruppe im deutschen Strommarkt: die Stromversorger. Vom Stromversorger bzw. -anbieter bezieht der Endverbraucher den Strom. Der Stromversorger kauft diesen zuvor an der Strombörse oder direkt beim Stromerzeuger ein. Um den Strom von seinem Erzeugungs- oder Speicherort zum Verbraucher zu befördern, nutzt der Stromversorger die Infrastruktur der Netzbetreiber. Dafür sind von der BNetzA festgelegte Entgelte an die entsprechenden Netzbetreiber zu zahlen. Im Gegensatz zu den Netzbetreibern können in einem Gebiet viele verschiedene Stromversorger konkurrierend auftreten. Dadurch entsteht eine Wettbewerbssituation, bei der Verbraucher die Möglichkeit haben, den Anbieter mit dem günstigsten Preis zu wählen [E.ON (2022a)].

Die in der Theorie vorgesehene Trennung von Stromversorger und Netzbetreiber ist eine vom Staat gewollte Entflechtungsmaßnahme. Diese soll gleiche Wettbewerbsbedingungen für alle Marktteilnehmer garantieren, indem verhindert wird, dass Stromversorger ihren Strom zu günstigeren Konditionen durch das Netz leiten, wenn sie gleichzeitig auch Netzbetreiber sind [Jochem (2018)]. In der Praxis sind jedoch ca. 90 % der Netzbetreiber aufgrund der De-minimis-Regelung von dieser Maßnahme zur Entflechtung ausgenommen. Nur große Netzbetreiber, welche mehr als 100.000 Kunden versorgen, sind zur Entflechtung von Stromversorgung und Netzbetrieb verpflichtet [EnBW (2021)].

2.2 Das Smart Grid

Es wurde bereits erläutert, dass das deutsche Stromnetz aufgrund des Hinwendens zu nachhaltigen Energieformen flexibler werden muss, damit die Ungleichmäßigkeit bei der Erzeugung erneuerbaren Energien ausgeglichen werden kann. Die Notwendigkeit dazu entsteht durch die Tatsache, dass das Stromnetz an sich nicht dazu in der Lage ist, Strom zu speichern, sondern lediglich ihn zu transportieren. Um auch zukünftig die Stromversorgung



in Deutschland sicherstellen zu können, ist es erforderlich, die Energieflüsse im Netz intelligent zu managen. Zu diesem Zweck ist die Transformation des Stromnetzes hin zu einem *Smart Grid* entscheidend.

Die DKE beschreibt das Smart Grid als „ein ganzheitliches, intelligentes Energieversorgungssystem“ [DKE (2016, S. 13)]. Dabei wird eine umfassende Digitalisierung des Netzes durch die Automatisierung aller wichtigen Teilbereiche und Komponenten ermöglicht. Von entscheidender Bedeutung ist, dass das Smart Grid alle Akteure des Stromnetzes in den Digitalisierungsprozess einbezieht, da nur so eine ganzheitliche intelligente Steuerung ermöglicht wird [DKE (2016, S. 13)].

Die Planbarkeit in der Produktion von Strom, wie sie bei traditionellen Kraftwerken vorliegt, wird zukünftig nicht mehr gegeben sein. Im zukünftigen Stromnetz wird Energie nicht mehr dann produziert werden können, wenn sie tatsächlich verbraucht wird. Stattdessen wird es erforderlich sein, Strom in der Zeit zwischen der Erzeugung und dem Verbrauch zu speichern. Dabei wird es teilweise nötig sein, Strom zum Speichern in andere Energieformen zu überführen [VDE/VDI (2021, S. 3)].

Aber auch die Akteursgruppe der privaten Haushalte wird in den Prozess des Stromspeicherns eingebunden werden. Bereits heute treten private Haushalte nicht nur ausschließlich als Stromverbraucher, sondern in Teilen auch als Stromproduzenten auf, indem sie Strom mittels Photovoltaikanlagen herstellen. Es ist zu erwarten, dass sich der Anteil der privaten Haushalte, die Strom produzieren, in den nächsten Jahren weiter erhöht. Die Umstände, dass private Haushalte in Zukunft noch stärker als Stromproduzenten und zusätzlich als Stromspeicher auftreten werden, erfordern es, sie in die Digitalisierung des Stromnetzes umfassend einzubeziehen. Dies ist auch notwendig, um in Zukunft detailliertere Informationen zum Stromverbrauch der einzelnen Haushalte zu erlangen, was für die Planbarkeit im Smart Grid unerlässlich ist [DKE (2016, S. 13 f.)].

Um beim Aufbau des Smart Grids die Stromkonsumenten in den Digitalisierungsprozess einzubeziehen, ist der flächendeckende Einbau von Smart Metern nötig. Smart Meter sind intelligente Stromzähler, welche mit dem Internet verbunden sind. Dadurch können sie nicht nur lokal, sondern auch aus der Ferne ausgelesen werden. Dies ist sowohl dem jeweiligen Verbraucher als auch dem Netzbetreiber möglich. Der Netzbetreiber hat dadurch jederzeit Zugriff auf die aktuellen Stromverbräuche der Verbraucher. Doch auch die Verbraucher

selbst können die vom Smart Meter gesammelten Informationen nutzen, um ihren eigenen Stromverbrauch zu überwachen und zu koordinieren. Seit 2020 findet in Deutschland ein Rollout von Smart Metern statt. Wenn ein Haushalt weniger als 6000 kWh pro Jahr verbraucht, ist ihm derzeit jedoch noch der Einbau eines digitalen Stromzählers ohne Internetfunktion gestattet. Derzeit ist geplant, ab 2032 Smart Meter verpflichtend für jede Messstelle zu machen [E.ON (2022b)].

Bei der Errichtung des Smart Grids wird der Schutz vor Cyberkriminalität eine wichtige Rolle einnehmen. Durch eine vollumfassende Digitalisierung des Stromnetzes werden sich Kriminellen neue Möglichkeiten zum Angriff auf dieses eröffnen. Kriminelle Akte könnten sich nicht nur gegen das Stromnetz an sich richten, sondern z.B. auch gegen die digitalen Smart Meter, um Betrug bei der Stromabrechnung zu begehen [VDE/VDI (2021, S. 6)].

2.3 Elektrofahrzeuge

Da diese Arbeit von der Akzeptanz von Elektroautos als Energiespeicher handelt, wird in diesem Kapitel kurz erläutert, worum es sich bei einem Elektroauto handelt. Als Elektrofahrzeuge betrachtet die Bundesregierung Fahrzeuge, welche von einem Elektromotor angetrieben werden. Dabei wird grundsätzlich in drei Kategorien unterschieden: rein elektrisch betriebene Fahrzeuge (BEV), Elektrofahrzeuge, welche mit einem kleinen Verbrennungsmotor ausgestattet sind (REEV) und Hybridfahrzeuge, welche über einen normalen Verbrennungsmotor sowie einen kleinen Elektromotor verfügen (PHEV)

[BMUV (2016)]. Diese Arbeit befasst sich hauptsächlich mit rein elektrisch angetriebenen Pkw (BEV), welche im Weiteren vereinfacht als Elektroauto oder E-Auto bezeichnet werden.

Wie Abbildung 3 zeigt, stieg die Anzahl der Elektroautos in den vergangenen Jahren exponentiell stark an. Während zu Beginn des Jahres 2021 noch 309.000 Elektroautos in Deutschland zugelassen waren, waren es neun Monate später bereits 516.000. Im Jahr 2021 wurden insgesamt 355.000 rein elektrisch betriebene Pkw neu zugelassen, was einem Marktanteil von 13,6 % an allen zugelassenen Pkw entspricht [KBA (2022)]. Schätzungen gehen davon aus, dass es 2030 in Deutschland 11,55 Millionen zugelassene BEV und PHEV

geben wird. Dies würde einem Anteil von rund 25 % am gesamten Pkw-Bestand entsprechen [Statista (2020)].

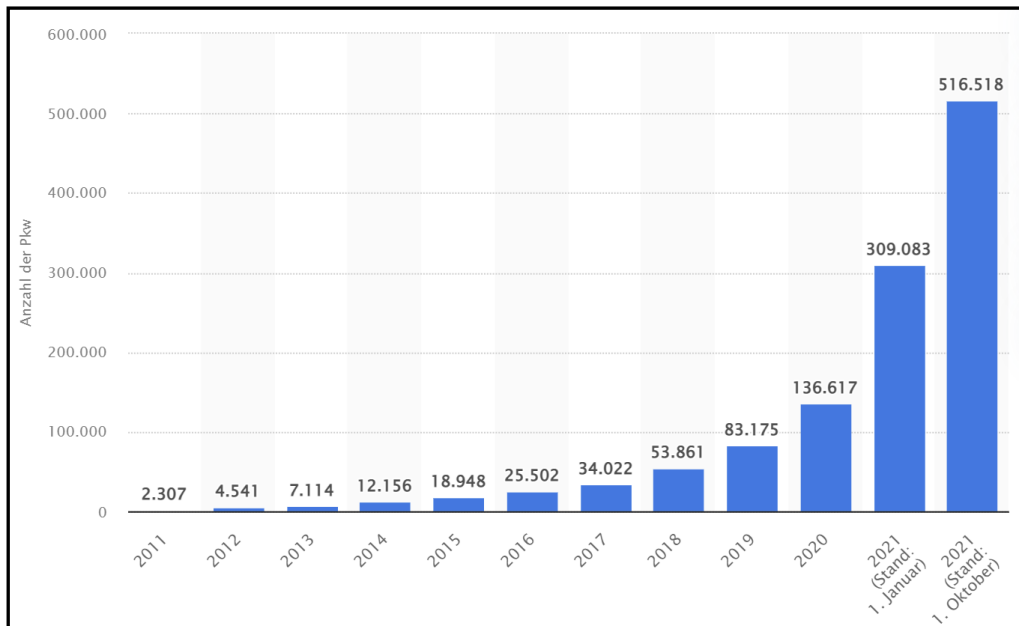


Abbildung 3: Anzahl der Elektroautos in Deutschland von 2011 bis 2021 [Statista (2021b)]

Das deutsche Stromnetz wird durch die steigende Anzahl an E-Autos einer höheren Belastung ausgesetzt sein. Das Fraunhofer Institut geht davon aus, dass die reine Stromnachfrage in Deutschland um ca. 20 % steigen würde, wenn alle 45 Millionen Pkw rein elektrisch betriebene Fahrzeuge (BEV) wären. Bei einer prognostizierten Zahl von 10 Millionen BEV im Jahr 2030 stiege die Stromnachfrage, im Vergleich zu 2020, um ca. 4,5 % [Thielmann u.a. (2020, S.19 f.)]. Die Strommenge, welche zusätzlich produziert werden müsste, ist demnach nicht unverhältnismäßig hoch.

Allerdings könnte es zu Netzüberlastungen kommen, wenn viele Besitzer von E-Autos in einem Gebiet zur gleichen Zeit ihr Fahrzeug laden wollen. Die Entwicklung des deutschen Stromnetzes hin zum Smart Grid wird dem jedoch entgegenwirken. Auf diese Weise werden die Netzbetreiber die Möglichkeit haben bei Bedarf die Ladeleistung von E-Autos anzupassen. Ein flächendeckendes Schnellladen aller E-Autos zur gleichen Zeit wird demzufolge nicht möglich sein. Dies wird allerdings auch nicht erforderlich sein. Schätzungen zufolge werden höchstens 30 % aller E-Autos zur gleichen Zeit geladen [Thielmann u.a. (2020, S.19 f.)].

Um ein gesteuertes Laden von E-Autos im Rahmen des Smart Grid umzusetzen, müssen viele Menschen die Möglichkeit haben, ihr E-Auto zu Hause oder auf der Arbeit an einen

Ladepunkt anzuschließen. Dafür muss eine entsprechende Infrastruktur geschaffen werden. Der übermäßige Ausbau von Schnellladesäulen, an welchen mit bis zu 300 kW geladen werden kann, ist dafür nicht erforderlich. Wichtiger ist stattdessen der Ausbau von Wallboxen, welche theoretisch überall errichtet werden können, wo ein Stromanschluss vorliegt. An einer Wallbox kann mit bis zu 22 kW geladen werden. Dadurch ergeben sich für die Nutzer zwar deutlich längere Ladezeiten als an einer Schnellladestation, jedoch wird der Pkw ohnehin meist über viele Stunden am Tag und in der Nacht geparkt. Diese Zeit wird zum langsamen Beladen der Batterie genutzt. Das Errichten einer Wallbox wird in Deutschland staatlich mit bis zu 900 Euro bezuschusst. Dabei achtet das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) bei den Bedingungen zur Förderung auf wesentliche Aspekte, welche zur nachhaltigen Energiewende beitragen. Der Strom, mit welchem das E-Auto geladen werden soll, muss zu 100 % aus erneuerbaren Energien stammen. Des Weiteren darf eine Wallbox, die gefördert werden soll, höchstens mit 11 kW laden. Außerdem müssen entsprechende Wallboxen technisch in der Lage sein, in das Smart Grid integriert werden zu können. Auf diese Weise möchte der Gesetzgeber durch seine Förderung zu einer Ladeinfrastruktur beitragen, welche das Stromnetz auch in Zukunft nicht überlastet [energielösung (2021)].

2.4 Bidirektionales Laden

Die in Zukunft vorherrschende Art, wie private Haushalte Strom speichern werden, könnte das Elektroauto sein. Inwiefern und bei welcher Vergütungsform Privatpersonen es akzeptieren, Strom in ihrem privaten E-Auto zwischenspeichern, stellt das Thema dieser Arbeit dar. Dazu ist die technische Lösung des bidirektionalen Ladens notwendig.

Beim bidirektionalen Laden „kann der Strom auch kontrolliert aus einer Fahrzeugbatterie wieder zurück über die Ladesäule ins Stromnetz oder eigene Haus fließen, wenn er benötigt wird.“ [VDE Mobility (2019, S. 1)]. Durch eine intelligente Steuerung der Energieflüsse kann die Belastung des Stromnetzes optimiert werden. Der Vorteil des Speicherns von Strom in Fahrzeugbatterien besteht darin, dass die elektrische Energie zur Speicherung nicht in andere Energieformen umgewandelt werden muss. Dadurch kann die elektrische Energie im Bedarfsfall wieder schnell in das Stromnetz zurückgeführt werden.



Der Strom muss beim bidirektionalen Laden allerdings mithilfe eines AC/DC-Wandlers umgewandelt werden. Die Ursache dafür ist, dass der im Stromnetz transportierte Strom Wechselstrom ist, aber Fahrzeugbatterien elektrische Energie lediglich in Form von Gleichstrom speichern können. Demzufolge müssen für das bidirektionale Laden AC/DC-Wandler installiert sein, welche Wechselstrom in Gleichstrom sowie Gleichstrom in Wechselstrom transformieren können. Diese können entweder in der Ladestation bzw. Wallbox oder direkt im E-Auto verbaut sein [ETG (2013)]. Derzeit sind sie i.d.R. noch nicht in Wallboxen verbaut und nur vereinzelte Autohersteller installieren sie in ihren Elektrofahrzeugen. Allerdings hat Volkswagen angekündigt, ab dem aktuellen Jahr 2022 in jedes neu auf dem Markt erscheinenden E-Auto einen AC/DC-Wandler einzubauen, welcher bidirektionales Laden ermöglicht. Da Volkswagen ein Branchenprimus ist, könnte sich demnach in Zukunft der Standard etablieren, dass derartige Wandler direkt im Fahrzeug verbaut werden [Handelsblatt (2021)].

Um das bidirektionale Laden zielführend in das Smart Grid integrieren zu können, müssen sowohl Ladestationen bzw. Wallboxen sowie die E-Autos mit dem Smart Grid vernetzt sein. Damit einhergehend ist es jedoch auch wichtig, dass die Besitzer die Bereitstellung relevanter Daten akzeptieren. Entsprechende Regelungen, welche Daten der Netzbetreiber in welchem Umfang erfassen darf, sind noch zu erarbeiten [VDE Mobility (2019, S. 3)].

Es gibt vier Varianten, wie bidirektionales Laden bei einem E-Auto eingesetzt werden kann. Bereits angesprochen wurde Vehicle-to-Grid-Konzept (V2G), bei welchem das E-Auto als Zwischenspeicher für das Stromnetz fungiert. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, das E-Auto als Speicher für selbst produzierten Strom aus einer Photovoltaikanlage zu nutzen, welcher bei Bedarf wieder an das eigene Haus zurückgeführt werden kann. Dieses Konzept wird Vehicle-to-Home (V2H) genannt. Wenn die Batterie des eigenen E-Autos als Notstromaggregat für bestimmte Geräte dienen soll, ist von Vehicle-to-Device (V2D) die Rede. Außerdem wäre auch der Anwendungsfall des Vehicle-to-Vehicle (V2V) denkbar, bei dem ein Elektrofahrzeug ein anderes mit dem Strom aus seiner Batterie aufladen kann [VDE Mobility (2019, S. 2)].

Befürchtungen, dass häufiges be- und entladen die Lebensdauer einer Fahrzeugbatterie verkürzen, werden sich vermutlich nicht bestätigen. Untersuchungen gehen derzeit davon aus, dass das kalendarische Altern der Batterie gegenüber dem zyklischen Altern überwiegen



wird. Demnach ist das Altern der Fahrzeugbatterie im Laufe der Zeit normal und nur geringfügig von der Anzahl der Ladungen abhängig. Generell wird das geplante Laden im Smart Grid dazu beitragen, Batterien i.d.R. langsam zu laden und sie stets im optimalen Ladezustand zwischen 20 und 80 % zu halten. Dadurch könnten sich längere Lebensdauern der Batterien ergeben [ETG (2013)].

Für Fahrzeugbesitzer ergibt sich beim bidirektionalen Laden die Möglichkeit einer zusätzlichen Verdienstmöglichkeit. In dieser Arbeit wird der Fragestellung nachgegangen, inwiefern potenzielle E-Auto-Besitzer bereit sind, über den Tag variierende Preise als Vergütung zu akzeptieren oder ob sie eher fixe Preise bevorzugen. Darüber hinaus wird untersucht, ob die Nutzer einen Fixpreis für die Bereitstellung ihrer Batterie vorziehen oder eine Vergütung in Abhängigkeit der eingespeisten Strommenge.

Beim bidirektionalen Laden ist die direkte Vergütung des E-Autos-Besitzers jedoch nicht das einzig mögliche Zukunftsszenario. Volkswagen plant ein Geschäftsmodell, bei welchem der Autohersteller einen Teil der Batteriekapazitäten der E-Autos seiner Kunden abkauft oder mietet. Diese Batteriekapazitäten bietet der Autohersteller daraufhin den Netzbetreibern zur Stabilisierung des Stromnetzes an, wofür er wiederum vergütet wird. Volkswagen plant demzufolge, beim Speichern von Strom in E-Autos als Zwischenhändler aufzutreten und auf diese Weise an diesem Markt teilzuhaben [Handelsblatt (2021)].

2.5 Variable Preise

Der Preis eines Gutes bildet im Optimalfall die Nachfrage nach diesem Gut ab. Bei hoher Nachfrage und damit einhergehend knappen Ressourcen steigt der Preis, bei niedriger Nachfrage sinkt er. Diese Funktion ist nicht gegeben, wenn eine dauerhafte Fixierung des Preises stattfindet [Stadler u.a. (2004, S. 11 f.)]. Am derzeitigen deutschen Strommarkt sind fixe Preise, welche auf Grundlage der Durchschnittskosten gebildet werden, die Regel. Die Preise sind demnach entkoppelt von der tatsächlichen aktuellen Nachfrage. Die Einführung variabler Preise würde dieser Problematik entgegenwirken.

Variable Preise, welche darauf abzielen den Lastgang von Verbrauchern zu beeinflussen, werden in der englischsprachigen Literatur unter dem Begriff *Demand Response*



(Lastmanagement) zusammengefasst. Demand Response-Maßnahmen sind abzugrenzen von reinen Energiesparmaßnahmen. Im Gegensatz zu diesen besteht das Ziel von Demand Response-Maßnahmen nicht darin, insgesamt weniger Energie zu verbrauchen, sondern der Zeitpunkt des Energieverbrauchs soll verschoben werden [Nabe u.a. (2009, S. 40)].

Die verschiedenen Demand Response-Maßnahmen nehmen entweder direkt oder indirekt Einfluss auf den aktuellen Energieverbrauch des Verbrauchers. Direkter Einfluss wird bei bonusbasierten Programmen ausgeübt. Dies bedeutet, dass ein Kunde zur Belohnung für seine Lastverschiebung einen Bonus ausgezahlt bekommt. Preisbasierte Programme wirken dagegen indirekt, indem sich der Preis über einen gewissen Zeitraum ändert, mit der Absicht, den Kunden in seinem Verbrauchsverhalten zu beeinflussen [Nabe u.a. (2009, S. 41)]. Für das weitere Vorgehen in dieser Arbeit sind die preisbasierten Programme von Interesse. Diese unterscheiden sich in drei Kategorien: Time of Use (ToU), Critical Peak Pricing (CPP) und Real Time Pricing (RTP).

Das grundsätzliche Prinzip der nachfolgend vorgestellten Demand Response-Maßnahmen wird im Rahmen dieser Arbeit zum Teil abgeändert. Die Methode des Lastmanagements versucht im Standardfall, den Kunden beim Verbrauch des Stroms zu beeinflussen. Dabei muss der Kunde variable Preise zahlen. Diese Vorgehensweise wird in einem der in dieser Arbeit durchgeführten Modelle angewendet. Darüber hinaus wird dieses Prinzip in einem der durchgeführten Modelle umgekehrt, indem der Verbraucher keine variablen Preise zahlen muss, sondern mit variablen Preisen vergütet wird. Der Wirkmechanismus variabler Preise zum Lastmanagement bleibt dabei bestehen. Ebenso unverändert bleibt, dass der Netzbetreiber die variablen Preise vorgibt.

Bei Time of Use variiert der Preis über einen bestimmten Zeitraum entsprechend dem Angebot oder der Nachfrage. Dies kann saisonal, im Tages- oder im Wochenverlauf geschehen. Die Preise werden im Vorhinein für mehrere Monate oder ein Jahr festgelegt. Die Preisprognose wird anhand der Daten zu Angebot und Nachfrage vergangener Jahre vorgenommen. Die variablen Preise bilden beim ToU demnach nicht die aktuelle Nachfrage bzw. Netzauslastung ab [Dütschke u.a. (2012, S. 4 f.)].

Beim ToU-Verfahren mit variablen Preisen im Tagesverlauf wird der Tag in mehrere Zeitabschnitte eingeteilt. In jedem Zeitabschnitt gilt ein festgelegter Preis. Der Stromanbieter weiß bspw., aufgrund seiner Erfahrungswerte, dass die Stromnachfrage in der



Nacht geringer ist als am Tag. Aus diesem Grund veranschlagt er in der Nacht einen niedrigeren Strompreis als am Tag, um Verbraucher zu einer Lastverlagerung zu bewegen, indem bestimmte Geräte (z.B. Geschirrspüler) nur in der Nacht verwendet werden [Dütschke u.a. (2012, S. 5)].

In der in dieser Arbeit durchgeführten Umfrage wird das ToU-Verfahren verwendet, um verschiedene Auslastungen des Stromnetzes abzubilden. In diesen gelten unterschiedliche Vergütungen, welche ein E-Auto-Besitzer erhält, wenn er sein Fahrzeug im jeweiligen Zeitabschnitt als Batteriespeicher zur Verfügung stellt.

Das Critical Peak Pricing übernimmt die Struktur des ToU und erweitert diese, indem außergewöhnliche Ereignisse in die Preisstruktur einbezogen werden. An normalen Tagen gelten demnach weiterhin die variablen Preise zu bestimmten Zeiträumen. Darüber hinaus können zu besonderen Ereignissen weitaus höherer Preisstufen gelten, um Spitzenlasten entgegenzuwirken. Diese Spitzenpreise müssen im Vorhinein innerhalb einer bestimmten Frist angekündigt werden, damit die Verbraucher sich auf sie einstellen können [Dütschke u.a. (2012, S. 5)].

Die dritte Form des preisbasierten Lastmanagements ist das Real Time Pricing. Bei diesem werden die Anzahl, die Länge und die Höhe der Preisstufen jeden Tag neu festgelegt. Der Verbraucher erfährt die Preise kurzfristig. Der Zeitpunkt der Bekanntgabe kann, je nach Modell, zwischen einer und 24 Stunden im Voraus stattfinden. Je kürzer die Zeitspanne zwischen Preisbekanntgabe und Inkrafttreten des Preises ist, desto genauer bildet der Preis die tatsächliche Marktsituation ab [Dütschke u.a. (2012, S. 6)].



Kapitel 3 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die für diese Arbeit notwendigen theoretischen Grundlagen gegeben. Dazu wird in Kapitel 3.1 eine allgemeine Definition der Conjoint-Analyse gegeben, ehe in Kapitel 3.2 der genaue Ablauf der Choice Based Conjoint-Analyse (CBCA) aufgezeigt wird. Im Abschnitt 3.3 werden schließlich die wichtigsten Discrete Choice-Modelle vorgestellt.

3.1 Conjoint-Analyse

Nach Backhaus u.a. sind *Conjoint-Analysen* „multivariate Methoden zur Analyse der Präferenzen bzw. Nutzenstrukturen von Personen.“ [Backhaus u.a. (2015, S. 176)]. Sie gehören zu den *Strukturen-prüfenden Verfahren*, da vorher bereits vermutete Zusammenhänge überprüft werden. [Backhaus u.a. (1994, S. XVI)]. Des Weiteren sind Conjoint-Analysen den *dekompositionellen Verfahren* zuzurechnen. Bei diesen werden zunächst die Präferenzen bezüglich verschiedener Produkte bei den Probanden abgefragt. Im Anschluss werden die sogenannten *Teilnutzen* ermittelt. Dies bedeutet, dass anhand der gewonnenen Daten der Einfluss einzelner Produkteigenschaften auf die Auswahlentscheidung der Probanden geschätzt wird. Alle Teilnutzen zusammen ergeben den Gesamtnutzen eines Produktes. Durch die Schätzung der Teilnutzen kann ermittelt werden, welche Eigenschaften für die Nutzer bei der Produktauswahl besonders bedeutsam sind. Dies stellt das eigentliche Ziel der Conjoint-Analyse dar [Backhaus u.a. (2015, S. 176)].

Es gibt verschiedene Arten von Conjoint-Analysen. *Traditionelle Conjoint-Analysen (TCA)*, wurden vor allem in der Vergangenheit durchgeführt, indem die Präferenzen der Nutzer direkt abgefragt wurden. Bei der TCA werden den Probanden verschiedene Produkte mit unterschiedlichen Eigenschaftsausprägungen vorgestellt, welche von den Probanden in eine Rangfolge zu bringen oder zu bewerten sind [Backhaus u.a. (2015, S. 177)].

Die Weiterentwicklung dieser Form stellt die *Choice Based Conjoint-Analyse (CBCA)* dar. Im Deutschen wird auch der Begriff *wahlbasierte Conjoint-Analyse* gebraucht. Bei der



CBCA werden die Präferenzen der Probanden nicht mehr direkt, sondern indirekt abgefragt. Dazu müssen die Probanden angeben, welches der zur Auswahl stehenden Produkte sie wählen. Dabei werden ihnen verschiedene *Choice Sets* (Auswahlszenarien) vorgegeben, in denen einzelne Produkteigenschaften unterschiedliche Ausprägungen haben [Backhaus u.a. (2015, S. 177)].

Die Befragungsform der der CBCA ist gegenüber der TCA näher an der Realität, da sich Personen i.d.R. für genau ein zur Verfügung stehendes Gut entscheiden und dabei keine genaue Einteilung aller zur Verfügung stehenden Optionen vornehmen. Das Verwenden einer CBCA geht im Vergleich zur TCA jedoch mit einem Informationsverlust einher, da nur ermittelt wird, welches der Produkte dem Probanden den höchsten Nutzen bringt. Die Rangfolge der übrigen zur Auswahl stehenden Produkte bleibt, ebenso wie die Höhe der Nutzen, unbeobachtet. Ein weiterer Unterschied der beiden Verfahren besteht darin, dass die Schätzung der Teilnutzenwerte bei der TCA für jedes befragte Individuum einzeln erfolgt. Im Gegensatz dazu können die Teilnutzenwerte bei der CBCA nur für die Gesamtheit aller Umfrageteilnehmer bzw. bestimmte Gruppen (z.B. alle Männer) geschätzt werden [Backhaus u.a. (2015, S. 177 f.)].

Die CBCA baut auf dem Prinzip der *Stated Choice-Befragung* auf. Bei dieser sind die Auswahl-situationen für die Testpersonen rein hypothetischer Natur. Die Testpersonen müssen dabei angeben, wie sie sich unter den gegebenen Umständen zwischen den Alternativen entscheiden würden. Dies steht im Gegensatz zur *Revealed Preference-Theorie*, bei welcher tatsächlich getroffene Entscheidungen der Probanden betrachtet werden. Durch das Designen hypothetischer Auswahl-situationen mithilfe der Stated Choice-Methode ergeben sich gewisse Vorteile. Zum einen kann das Experiment derart gestaltet werden, dass genau jene Einflussfaktoren betrachtet werden, welche von besonderem Interesse sind. Zum anderen können auf diese Weise auch Auswahl-szenarien untersucht werden, welche sich noch in Planung befinden. Ein Nachteil dieser Befragungsform ist jedoch, dass Testpersonen sich in einer hypothetischen Situation unter Umständen anders verhalten, als sie es in Wirklichkeit tun würden [Louviere u.a. (2009, S. 20 ff.)].

3.2 Ablauf der Choice Based Conjoint-Analyse

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine auswahlbasierte Conjoint-Analyse (CBCA) durchgeführt. Aus diesem Grund wird im Folgenden ausschließlich auf die Vorgehensweise bei einer CBCA eingegangen. Backhaus u.a. definieren hierfür fünf Schritte.

Im ersten Schritt werden die Alternativen (auch Stimuli genannt) gestaltet. Es geht bei diesem Schritt darum festzulegen, wie viele Eigenschaften betrachtet und wie viele Ausprägungen pro Eigenschaft abgefragt werden sollen. Um die Probanden nicht zu überfordern, sollte die Anzahl der Eigenschaften und ihrer Ausprägungen möglichst gering gehalten werden. Ebenso muss darauf geachtet werden, dass die Eigenschaften substituierbar (gegenseitig ersetzbar) sind. Außerdem gilt es, nur Eigenschaften einzubeziehen, welche relevant, beeinflussbar und realisierbar sind. Es ist zudem wichtig, dass die Eigenschaften voneinander unabhängig sind. Dies bedeutet, dass der Nutzen einer Eigenschaft nicht von einer anderen Eigenschaft abhängig sein darf [Backhaus u.a. (1994, S. 503 f.)]. Im ersten Schritt der CBCA muss auch entschieden werden, ob die Probanden die Möglichkeit erhalten sollen, keine der vorgeschlagenen Alternativen zu wählen. Enthält die Fragestellung die Antwortmöglichkeit „keine Antwort“ nicht, wird dies als „forced choice“ (erzwungene Entscheidung) bezeichnet [Backhaus u.a. (2015, S. 181)].

Zur Gestaltung der Stimuli gehört es auch, die passende Art der Präsentation zu wählen. Als Standard kann die Beschreibung der Alternativen angesehen werden. Es ist jedoch genauso möglich, die Stimuli visuell zu präsentieren, bspw. durch Bilder oder, bei computergestützten Befragungen, durch Videos. Bei persönlichen Befragungen ist es zudem möglich, Modelle des Produkts als physische Präsentationsform zu wählen [Backhaus u.a. (2015, S. 182)].

Der zweite Schritt zur Durchführung einer CBCA ist die Gestaltung der Auswahl-situationen. Eine Auswahl-situation beschreibt die Alternativen, von denen der Proband eine auswählen soll, sowie die dazugehörige Fragestellung. In der Literatur wird dieser Vorgang als *Choice Set* bezeichnet. Während der Umfrage werden dem Probanden mehrere Choice Sets vorgelegt, bei denen sich jeweils die Ausprägungen der Eigenschaften unterscheiden. Außerdem ist es möglich, in den verschiedenen Choice Sets unterschiedliche Produkteigenschaften abzufragen. Ergeben sich durch die Kombination der verschiedenen

Eigenschaftsausprägungen zu viele Choice Sets, muss der Untersuchende eine sinnvolle Auswahl treffen, da die Versuchsteilnehmer anderenfalls überfordert sein könnten [Backhaus u.a. (2015, S. 183)].

Bei der CBCA wird ein Nutzenmodell mit einem Auswahlmodell kombiniert. Daher ist es im dritten Schritt der CBCA nötig, ein *Nutzenmodell* zu erstellen, ehe im vierten Schritt das *Auswahlmodell* formuliert wird.

Das *Nutzenmodell* gibt Auskunft über den Zusammenhang, welcher zwischen den Ausprägungen der verschiedenen Produkteigenschaften und dem Nutzen für die Probanden besteht. Es kann in drei wesentliche Teilmodelle unterschieden werden: *Vektor-*, *Idealpunkt-* und *Teilwert-Modell*.

Das *Vektor-Modell* geht davon aus, dass der Nutzen in linearem Zusammenhang mit den Ausprägungen einer Eigenschaft steht. Steigt die Ausprägung einer Eigenschaft, so steigt oder fällt der Nutzen linear dazu.

Im Gegensatz dazu wird beim *Idealpunkt-Modell* angenommen, dass der Nutzen zunächst mit steigender Ausprägung einer Eigenschaft steigt, dann jedoch ein Maximum erreicht. Steigt die Ausprägung nach dem Erreichen dieses Maximums weiterhin, so fällt der Nutzen wieder ab. Dem Modell liegt die Annahme zugrunde, dass es für den Nutzer nur eine optimale Ausprägung einer Eigenschaft gibt, welche durch das Maximum der Nutzenfunktion beschrieben ist.

Wenn die zu untersuchende Eigenschaft keinen stetigen Verlauf hat, sondern ein qualitatives Merkmal ist (z.B. Farbe, Marke), wird das *Teilwert-Modell* verwendet. Das Teilwert-Modell ist demnach ein diskretes Modell, welches allerdings sehr flexibel angewendet werden kann, da jedes quantitative Merkmal in ein qualitatives umgewandelt werden kann. Dabei muss jedoch ein Informationsverlust in Kauf genommen werden [Backhaus u.a. (2015, S. 187)].

Eine grafische Darstellung der drei Nutzenmodelle ist in Abbildung 4 gegeben.

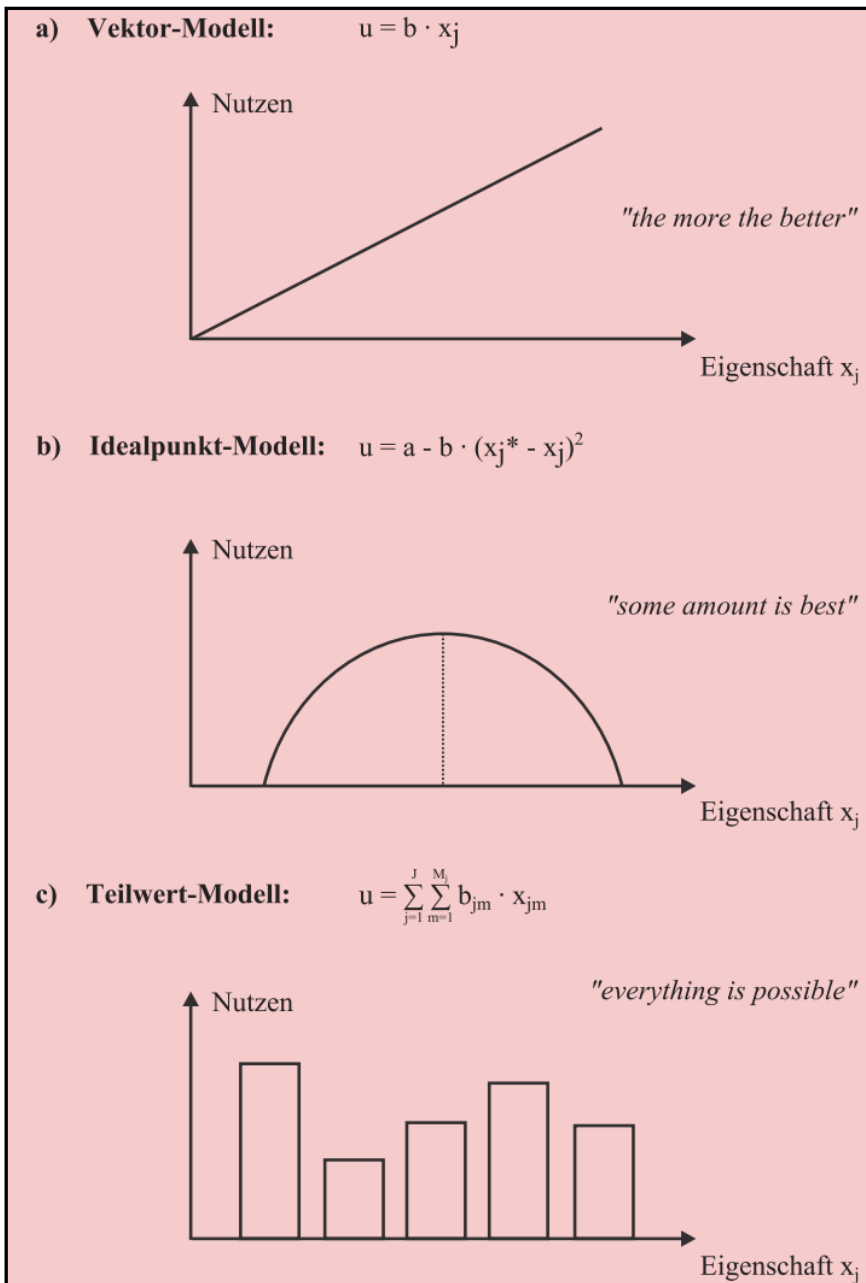


Abbildung 4: Elementare Nutzenmodelle [Backhaus u.a. (2015, S. 188)]

Für jede Eigenschaft eines Stimulus wird ein Teilnutzenmodell erstellt. Die verschiedenen Teilnutzenmodelle werden zu einem Gesamtnutzenmodell zusammengefügt, wobei auch unterschiedliche Modellformen miteinander verbunden werden können. Bei der CBCA wird i.d.R. das *additive Teilwert-Nutzenmodell* verwendet. Dies bedeutet, dass einzelne Teilwert-Modelle durch Addition miteinander verknüpft werden [Backhaus u.a. (2015, S.189)].

Zusätzlich zum Nutzenmodell wird im nächsten Schritt der CBCA ein *Auswahlmodell* (engl.: *Choice-Model*) formuliert. Dieses prognostiziert die Wahrscheinlichkeit, mit der der sich



eine Person für eine Alternative entscheidet. Die Grundlage für diese Wahrscheinlichkeit bilden die Nutzensvorstellungen der Personen über die Alternativen. Von den verschiedenen Auswahlmodellen wird in der Literatur das *Logit-Choice-Modell* als das bedeutendste angesehen und zur Durchführung einer CBCA genutzt. Bei zwei Alternativen wird es als *binomiales Logit-Choice-Modell* bezeichnet. Stehen mehr als zwei Alternativen zur Auswahl, ist von einem *multinomialen Logit-Choice-Modell (MNL-Modell)* die Rede [Backhaus u.a. (2015, S. 191 f.)].

Die durch das Logit-Choice-Modell errechneten Wahrscheinlichkeiten sind ausschließlich von den Differenzen der Nutzenwerte abhängig. Die absolute Höhe der Nutzenwerte ist dabei nicht von Belang. Des Weiteren ist es unwichtig, ob sich weitere Alternativen im Choice Set befinden oder nicht, wenn das Verhältnis von zwei Alternativen betrachtet wird [Backhaus u.a. (2015, S. 194)].

Im fünften Schritt der CBCA müssen die Teilnutzenwerte geschätzt werden. Als Schätzmethode wird die *Maximum-Likelihood-Methode (ML-Methode)* genutzt. Bei dieser werden die Teilnutzen so geschätzt, dass die Wahrscheinlichkeiten für die gewählten Alternativen so groß wie möglich sind. Wenn demnach ein Proband eine bestimmte Alternative gewählt hat, so muss die prognostizierte Wahrscheinlichkeit des Auswahlmodells ebenfalls ergeben, dass der Proband diese Alternative wählen würde [Backhaus u.a. (2015, S. 196)].

Die allgemeine Gleichung des Logit-Choice-Modells sowie die Likelihood-Funktion werden im folgenden Kapitel 3.3 dargelegt.

3.3 Discrete-Choice-Modelle

Die Choice Based Conjoint-Analyse baut auf der *Discrete-Choice-Theory* (diskrete Wahltheorie) auf, welche 1974 von Daniel McFadden entwickelt wurde. Der Name der Discrete-Choice-Theory leitet sich daraus ab, dass die abhängigen Variablen der entsprechenden Modelle diskreter Natur sind. Das bedeutet, dass ihre Ausprägungen nur endliche Werte annehmen können. Dadurch wird bspw. ausgedrückt, dass eine Person genau eine der beiden Alternativen 1 oder 2 wählen kann [Kamps (2018a)]. Im Gegensatz zu einem

diskreten Merkmal beschreibt ein stetiges Merkmal, dass eine Variable theoretisch unendlich viele Ausprägungen haben kann. Ein Beispiel dafür wäre der Mietpreis einer Wohnung [Kamps (2018b)].

Da für die Durchführung einer CBCA die Schätzung eines Discrete-Choice-Modells bzw. Auswahlmodells nötig ist, wird in diesem Kapitel ein Überblick über die wichtigsten Modelle dieser Art gegeben, wobei den Ausführungen von Jarg Temme [Albers u.a. (2009, S. 299 ff.)] gefolgt wird.

Temme gibt die Definition: „Discrete-Choice-Modelle berechnen mit Hilfe von beobachteten Daten die Wahrscheinlichkeit, dass ein Individuum n eine bestimmte Alternative i aus einer begrenzten Menge C (auch Choice Set genannt) von Alternativen wählt.“ [Albers u.a. (2009, S. 299)]. Die Wahrscheinlichkeit (engl.: probability), dass ein Individuum n eine Alternative i wählt, wird durch $P_n(i)$ ausgedrückt. Ein Individuum macht seine Entscheidung, ob es eine Alternative wählt, von seinem persönlichen Nutzen hinsichtlich der verschiedenen Alternativen abhängig. Die Individuen folgen dabei dem *Nutzenmaximierungskalkül*, welches besagt, dass Personen in Auswahl-situationen immer die Alternative wählen, welche ihnen den größten Nutzen bringt. In diesem Zusammenhang werden auch rational entscheidende Individuen vorausgesetzt. Die Wahrscheinlichkeit $P_n(i)$, dass ein Individuum n eine Alternative i wählt, ist gleich der Wahrscheinlichkeit, dass der Nutzen U_{in} der Alternative i für das Individuum n höher ist als der Nutzen, den es aus allen anderen Alternativen erhalten würde. Gleichung (1) stellt diesen Zusammenhang dar [Albers u.a. (2009, S. 299 f.)]:

$$P_n(i) = P(U_{in} > U_{jn}, j, i \in C_n, j \neq i) \quad (1)$$

Der Nutzen U_{in} , den eine Person einer Alternative zuordnet, kann nicht direkt gemessen werden. Es können stattdessen nur Eigenschaften der einzelnen Alternativen und der Probanden beobachtet werden. Diese Eigenschaften erklären den Nutzen zu einem gewissen Teil, welcher *systemische Nutzenkomponente* V_{in} genannt wird. Darüber hinaus gibt es die *stochastische* bzw. *zufällige Nutzenkomponente* e_{in} . Sie wird auch als *Störterm* bezeichnet. Aus ihr leitet sich auch die Bezeichnung des Konzeptes ab, den Nutzen in zwei Teile zu gliedern: *Random-Utility-Maximization (Zufallsnutzenmaximierung)*. Die durch die stochastische Komponente enthaltene Unsicherheit in der Nutzenfunktion entsteht durch vier Ursachen: unbeobachtete Konsumentenattribute, unbeobachtete Produktattribute,



unvollkommene Instrument-Variablen und Messfehler. Wird der Nutzen U_{in} aus Gleichung (1) in die Komponenten des deterministischen und des stochastischen Nutzens aufgeteilt, ergibt sich die Wahrscheinlichkeitsfunktion (2) [Albers u.a. (2009, S. 300)]:

$$P_n(i) = P(V_{in} + e_{in} > V_{jn} + e_{jn}, j, i \in C_n, j \neq i) \quad (2)$$

Da die deterministische Nutzenkomponente aus beobachtbaren Eigenschaften besteht, können diese zu einer Nutzenfunktion zusammengefügt werden. Zur Erleichterung der späteren Optimierung wird hierbei i.d.R. ein linearer Zusammenhang angenommen.

$$V_{in} = \beta_0 + \beta_1 X_{in}^1 + \beta_2 X_{in}^2 + \dots + \beta_R X_{in}^R \quad (3)$$

Gleichung (3) stellt die Funktion des deterministischen Nutzens V_{in} dar. X_{in}^R beschreibt die beobachteten Eigenschaften i und Individuen n . β steht für die zugehörigen Parametervektoren [Albers u.a. (2009, S. 300)]. Bei Annahme des linearen Zusammenhangs der deterministischen Nutzenkomponente kann im Discrete-Choice-Modell zwischen drei verschiedenen Typen exogener Variablen unterschieden werden.

Generische Variablen haben in einer Auswahl-situation für jede Alternative eine andere Ausprägung. Dies ergibt sich aus den verschiedenen Eigenschaften der Alternativen. Sie können für alle Individuen entweder identisch sein oder auch für jedes Individuum unterschiedliche Werte annehmen. Ein Beispiel für eine generische Variable ist der Preis, welcher je nach Produkt unterschiedlich hoch ist.

Im Gegensatz dazu haben *sozioökonomische Variablen* für jede Alternative die gleiche Ausprägung. Sie variieren jedoch über die Individuen, um die unterschiedlichen sozioökonomischen Eigenschaften dieser abzubilden (z.B. Alter, Geschlecht oder Einkommen). Da sie für jede Alternative die gleiche Ausprägung haben, können sie nicht direkt in die Nutzenfunktion integriert werden. Stattdessen werden sie alternativenspezifisch formuliert, also mit den Alternativen verknüpft. Dabei nimmt die sozioökonomische Variable für eine oder eine Gruppe der Alternativen ihren tatsächlichen Wert an, während dieser Wert für alle anderen Alternativen 0 ist.

Darüber hinaus gibt es die *alternativenspezifischen Konstanten (AC)*. Sie beschreiben den Umstand, dass Präferenzen für eine einzelne Alternative über den gesamten erhobenen Datensatz bestehen. Die alternativenspezifische Konstante ist vergleichbar mit der Konstante im Regressionsmodell. Sie beschreibt demnach die Situation, dass alle anderen

exogenen Variablen den Wert 0 annehmen. Im Discrete-Choice-Modell muss sie, wie die sozioökonomischen Variablen, alternativenspezifisch formuliert werden. Demnach nimmt eine AC für eine Alternative oder einen Teil der Alternativen den Wert 1 an, für alle anderen den Wert 0. Es kann maximal eine AC weniger in das Modell aufgenommen werden, als es Alternativen enthält [Maier (1990, S. 127 f.)].

Für die Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsfunktion $P_n(i)$ aus Gleichung (2) ist, zusätzlich zur deterministischen Komponente, der Störterm e erforderlich. Da dieser jedoch nicht beobachtbar ist, muss er anhand von Verteilungsannahmen modelliert werden. In Abhängigkeit der gewählten Verteilungsfunktion ergeben sich die verschiedenen Discrete-Choice-Modelle. Bei Annahme von extremwertverteilten Störtermen ergibt sich das multinomiale Logit-Choice-Modell (MNL-Modell), welches als Standardmodell angesehen wird. Daher wird im Folgenden eine ausführliche Beschreibung des MNL-Modells gegeben, ehe darauf aufbauend weitere Discrete-Choice-Modelle vorgestellt werden [Albers u.a. (2009, S. 300)].

3.3.1 Multinomiales Logit-Choice-Modell

Wie bereits erwähnt, ist das *multinomiale Logit-Choice-Modell* das Standardmodell unter allen Logit-Choice-Modellen. Beim MNL-Modell wird eine Extremwertverteilung der Störterme angenommen. Die grundsätzliche Form des MNL-Modells ist in Gleichung (4) gegeben:

$$P_n(i) = \frac{e^{V_{in}}}{\sum_j e^{V_{jn}}} \quad (4)$$

$P_n(i)$ ist, wie bereits erwähnt, die Wahrscheinlichkeit zur Wahl einer Alternative. Sie ist die Darstellung des Nutzens im Verhältnis zum Nutzen aller Alternativen. Der Nutzen ist dabei jeweils als Potenz von e dargestellt. $P_n(i)$ kann einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen. Die Summe der Wahrscheinlichkeiten aller Alternativen i ist genau 1.

Das MNL-Modell wird in vielen Studien verwendet, da es den Vorteil bietet, leicht berechnet werden zu können. Zur Schätzung des Modells hat sich die *Maximum-Likelihood-Methode* (*ML-Methode*) etabliert. Das Ziel der ML-Methode besteht darin, die Parametervektoren β aus der deterministischen Nutzenfunktion (3) zu schätzen. Die Likelihood-Funktion ist in

Gleichung (5) dargestellt. Wählt der Versuchsteilnehmer n eine Alternative i aus, wird $y_{in}=1$ gesetzt, ansonsten 0.

$$L(\beta) = \prod_{n=1}^N \prod_{i \in C} P_n(i)^{y_{in}} \quad (5)$$

Im nächsten Schritt wird durch Logarithmieren die Log-Likelihood-Funktion (6) gebildet. Dies stellt sicher, dass die Funktion global konkav ist, falls sie es vorher noch nicht war. Das Logarithmieren ist grundsätzlich nicht nötig, erleichtert jedoch die Schätzung der Parameter. Die Schätzung des Parametervektors β erfolgt, indem die Log-Likelihood-Funktion $LL(\beta)$ maximiert wird [Albers u.a. (2009, S. 301 f.)].

$$LL(\beta) = \sum_n \sum_i y_{in} \ln (P(i)) \quad (6)$$

Das MNL-Modell bietet als Standardmodell unter allen Discrete-Choice-Modellen den Vorteil, dass die Parameterschätzung verhältnismäßig einfach ist. Gleichzeitig ist die Verwendung eines MNL-Modells mit zwei wesentlichen Nachteilen verbunden. Einer dieser Nachteile ist *IIA-Annahme* (engl.: *Independence of Irrelevant Alternatives*), die bei der Verwendung des MNL-Modells getroffen wird. Sie besagt, „dass der relative Nutzen einer Alternative im Vergleich zu einer anderen unabhängig gegenüber der Existenz einer dritten Alternative ist.“ [Albers u.a. (2009, S. 302)]. Die IIA-Annahme geht demzufolge davon aus, dass jede Alternative in gleichem Maße zu allen anderen Alternativen substituierbar ist.

Ein in der Literatur verbreitetes Beispiel zur Illustration des daraus entstehenden Problems ist das *Red Bus-Blue Bus-Paradoxon*. Dieses nimmt die Situation einer Verkehrsmittelwahlentscheidung als Beispiel, bei welcher zwei Alternativen zur Verfügung stehen: ein Auto und ein roter Bus. Jedes der beiden Verkehrsmittel wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % ausgewählt. Wird zu dieser Auswahl-situation zusätzlich ein blauer Bus hinzugezogen, wäre davon auszugehen, dass sich die Auswahlwahrscheinlichkeit des roten Busses aufteilt, während die Auswahl-wahrscheinlichkeit für das Auto konstant bleibt. Demnach würde das Auto mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % gewählt, während der rote und der blaue Bus jeweils mit einer Wahrscheinlichkeit von 25 % gewählt werden. Dies würde allerdings dazu führen, dass die IIA-Annahme nicht eingehalten wird, da das Verhältnis der Auswahl-wahrscheinlichkeiten des Autos und des roten Busses nicht konstant geblieben wäre. Zur Einhaltung der IIA-Annahme und der Bedingung einer gleich hohen Auswahl-wahrscheinlichkeit für jeden der beiden Busse, müssten die Auswahlwahrschein-



lichkeiten für alle drei Alternativen gleich hoch sein. Das Auto, der rote Bus und der blaue Bus würden mit einer Wahrscheinlichkeit von jeweils 33,3 % gewählt. Damit entsteht jedoch ein Widerspruch zur eigentlichen Erwartung. Bei Alternativen, die sich nach Art des Red Bus-Blue Bus-Paradoxons verhalten, versagt das MNL-Modell demnach, weil die IIA-Annahme nicht gehalten werden kann [Maier (1990, S. 142 f.)].

Ein anderer Nachteil des MNL-Modells besteht darin, dass die *unbeobachtete Heterogenität* der Probanden nicht durch das Modell berücksichtigt werden kann. Beobachtbare Unterschiede zwischen den Probanden können zwar in Form von soziodemografischen Variablen im Modell abgebildet werden, aber unbeobachtbare Eigenschaften, wie z.B. der persönliche Geschmack, können nicht abgebildet werden. Dadurch sind die geschätzten Parameter des MNL-Modells verzerrt [Albers u.a. (2009, S. 302 f.)]. Um den Nachteilen des MNL-Modells entgegenzuwirken, wurden verschiedene Modelle entwickelt. In den nachfolgenden Kapiteln werden einige dieser Modelle kurz erläutert.

Einen Sonderfall des MNL-Modells stellt das *binomiale Logit-Choice-Modell* dar. Es ergibt sich aus dem MNL-Modell, wenn dieses nur zwei Alternativen enthält. Die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten im binomialen Logit-Choice-Modell ist in Gleichung (7) gegeben:

$$P(1|2) = \frac{1}{1+e^{-(V_1-V_2)}} \quad (7)$$

Gleichung (7) beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Proband für Alternative 1 entscheidet. Da sich die Auswahlwahrscheinlichkeit aller Alternativen immer zu 1 addiert, ergibt sich die Wahrscheinlichkeit für Alternative 2, indem $P(1|2)$ von 1 subtrahiert wird:

$$P(2|1) = 1 - P(1|2) \quad (8)$$

Aufgrund der Multidimensionalität kann der Verlauf der Auswahlwahrscheinlichkeit einer Alternative im MNL-Modell nicht grafisch dargestellt werden. Im binomialen Fall ist dies jedoch möglich. Abbildung 5 zeigt die Wahrscheinlichkeit für die Wahl von Alternative 1 gegenüber Alternative 2 in Abhängigkeit der jeweiligen Nutzenwerte V_1 und V_2 [Backhaus u.a. (2015, S. 193)].

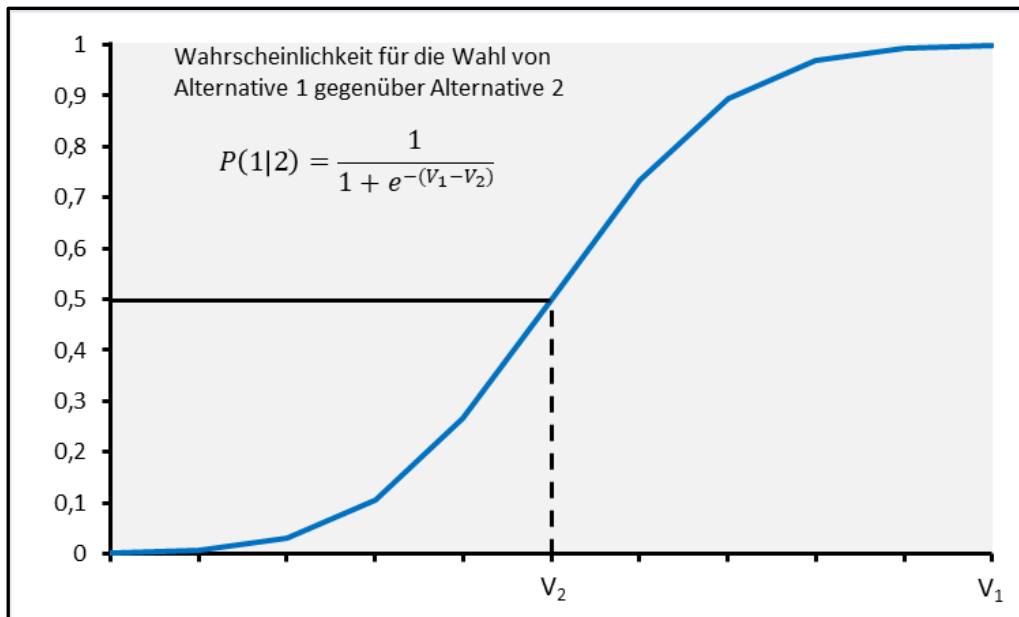


Abbildung 5: Binomiales Logit-Choice-Modell [eig. Darstellung nach Backhaus u.a. (2015, S. 194)]

3.3.2 Nested-Logit-Modell

Wenn bei der Verwendung des MNL-Modells die IIA-Annahme nicht aufrecht gehalten werden kann, bietet sich das *Nested-Logit-Modell* als Alternative an. Da nicht jede Alternative in gleichem Maße zu den anderen Alternativen korreliert, wird beim Nested-Logit-Modell das bestehende Choice Set in subsets unterteilt. In Bezug auf das Red Bus-Blue Bus-Paradoxon bedeutet dies, dass der Proband im ersten Schritt eine Auswahlentscheidung trifft, ob er das Auto oder den Bus wählt. Wenn er sich dabei für den Bus entscheidet, kann er in einem zweiten Auswahlzenario zwischen dem roten und dem blauen Bus wählen. Diese zweite Entscheidungssituation wird als *Nest* bezeichnet. Die IIA-Annahme hat für alle Alternativen innerhalb eines Nestes Bestand. Die Auswahlwahrscheinlichkeit ist demnach für den roten und den blauen Bus gleich hoch, wenn sich der Proband zuvor für den Bus und gegen das Auto entschieden hat. Für Alternativen, die unterschiedlichen Nestern angehören, gilt die IIA-Annahme jedoch nicht.

Im Nested-Logit-Modell können durch die Bildung verschiedener Nester mehrere Entscheidungsebenen modelliert werden. Es wird dabei, wie im MNL-Modell, eine Nutzenfunktion formuliert. Allerdings wird beim Nested-Logit-Modell eine generalisierte Extremwertverteilung der Störterme angenommen. Die Wahlwahrscheinlichkeit $P_n(i)$ wird

in zwei Wahlwahrscheinlichkeiten aufgeteilt. P_{nK} steht für die Wahrscheinlichkeit, dass eine Alternative aus Nest K gewählt wird. $P_{in|K}$ gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass eine Alternative aus der Menge aller Alternativen in K gewählt wird. Die Wahrscheinlichkeit $P_n(i)$ ergibt sich aus dem Produkt von P_{nK} und $P_{in|K}$. Die Parameterschätzung des Modells erfolgt mit der ML-Methode. Die Schätzung der Wahrscheinlichkeiten P_{nK} und $P_{in|K}$ kann dabei simultan oder sequenziell erfolgen [Albers u.a. (2009, S. 304 f.)].

3.3.3 Latent-Class-Modell

Um dem Problem der unbeobachteten Heterogenität der Probanden im MNL-Modell entgegenzuwirken, kann das *Latent-Class-Modell* verwendet werden. Bei diesem werden die Probanden auf Grundlage ihres Wahlverhaltens in verschiedene sogenannte *latente Klassen* eingeteilt. Verhält sich eine Gruppe von Probanden in Bezug auf eine exogene Variable (z.B. Preis) anders als der Rest der Stichprobe, ohne dass dieses Verhalten durch eine der beobachteten Variablen erklärt werden kann, lässt sich dieses Verhalten mithilfe latenter Klassen modellieren. Die Anzahl der latenten Klassen ergibt sich, indem das Modell mehrfach mit verschiedenen Klassenanzahlen geschätzt wird und anschließend die optimale Anzahl an Klassen gewählt wird.

Die Parameter werden abermals mit der ML-Methode geschätzt. Allerdings erfolgt die Schätzung beim Latent-Class-Modell klassenspezifisch, d.h. für jede Klasse wird eine Nutzenfunktion (9) gebildet:

$$U_{ikn} = X_{in}\beta_k + e_{ikn} \quad (9)$$

Da der Störterm wie beim MNL-Modell extremwertverteilt ist, ergibt sich für eine Klasse k die grundsätzliche Wahrscheinlichkeitsgleichung (10) des MNL-Modells:

$$P_n(i|k) = \frac{e^{V_{kin}}}{\sum_j e^{V_{kjn}}} \quad (10)$$

Zusätzlich dazu muss ermittelt werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit $P_n(k)$ ein Proband in eine der Klassen gehört. Die Wahlwahrscheinlichkeit $P_n(i)$, mit der ein Proband eine Alternative wählt, wird durch Gleichung (11) dargestellt [Albers u.a. (2009, S. 305 f.)].

$$P_n(i) = \sum_k P_n(k)P_n(i|k) \quad (11)$$

3.3.4 Mixed-Multinomial-Logit-Modell

Das *Mixed-Multinomial-Logit-Modell* (MMNL-Modell) hebt beide Nachteile des MNL-Modells auf. Zum einen berücksichtigt es die unbeobachtbare Heterogenität der Probanden und zum anderen hebt es die IIA-Annahme des MNL-Modells auf. Auch das MMNL-Modell geht vom Nutzenmaximierungskalkül der Individuen aus. Der Unterschied zum MNL-Modell besteht jedoch darin, dass die Parametervektoren für jeden Entscheidungsträger spezifisch formuliert werden, wodurch ihre Heterogenität berücksichtigt werden kann. Die Nutzenfunktion des MMNL-Modells ist in Gleichung (12) gegeben:

$$U_{in} = X_{in}\beta_n + e_{in} \quad (12)$$

Wie beim MNL-Modell wird für den Störterm e eine Extremwertverteilung angenommen. Die Wahrscheinlichkeitsfunktion wird durch Gleichung (13) dargestellt:

$$P_n(i|\beta) = \frac{e^{X_{in}\beta_n}}{\sum_j e^{X_{jn}\beta_n}} \quad (13)$$

Die Parameter β_n sind jedoch i.d.R. unbekannt, da die Anzahl der Beobachtungen pro Individuum zu klein ist. Aus diesem Grund kann die ML-Schätzung des MNL-Modells nicht vorgenommen werden. Stattdessen wird für β_n eine Verteilungsfunktion $f(\beta|\mu, \sigma)$ angenommen. Je nach Wahl der Verteilungsannahme kann das MMNL-Modell alle anderen Discrete-Choice-Modelle genau approximieren. Auf Grundlage der Verteilungsfunktion werden spezielle Schätzverfahren durchgeführt. Die beiden gängigsten Verfahren sind die Simulated-Maximum-Likelihood-Schätzung und die Hierarchical-Bayes-Schätzung. Auf die Erklärung zur Durchführung dieser beiden Verfahren wird an dieser Stelle verzichtet [Albers u.a. (2009, S. 306 f.)].

Kapitel 4 Vorstellung des Fragebogens

Zur Durchführung einer Choice Based Conjoint-Analyse (CBCA) ist i.d.R. eine statistische Erhebung notwendig, um Daten für die empirische Auswertung zu gewinnen. Zu diesem Zweck wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Fragebogen erstellt (siehe Anhang). Die Datenerhebung wurde mithilfe einer Online-Befragung im persönlichen Umfeld des Autors, auf der Website des Fachschaftsrates des Studiengangs Verkehrswirtschaft der TU Dresden und in der öffentlichen Facebook-Gruppe Elektroauto D-A-CH-FL durchgeführt. Durch die Veröffentlichung in der Facebook-Gruppe, welche sich speziell an Interessierte der Elektromobilität richtet, konnten Probanden gewonnen werden, welche tatsächlich ein Elektroauto besitzen.

Da die verwendeten Daten speziell für die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchung erhoben wurden, handelt es sich um Primärdaten. Die Erhebung wurde vom 28. Februar bis zum 04. März 2022 durchgeführt. Da es sich um eine einmalige Erhebung zu einem bestimmten Zeitpunkt handelt, ist von Querschnittsdaten die Rede. Allen Untersuchungsteilnehmenden wurden durch eine Online-Umfrage die gleichen Fragen in schriftlicher Form gestellt, womit es sich um eine *standardisierte schriftliche Befragung* handelt.

Diese Erhebungsmethode bietet den Vorteil, dass die Befragung kostengünstig und verhältnismäßig schnell durchführbar ist. Darüber hinaus liefert diese Befragungsform, im Vergleich zur mündlichen Befragung, weitgehend unverzerrte Ergebnisse, da der sogenannte Interviewer-Bias entfällt. Dieser tritt auf, wenn Probanden, aufgrund der sozialen Interaktion mit dem Interviewer, bei der Beantwortung der Fragen beeinflusst werden. Es kann Probanden z.B. unangenehm sein, dem Interviewer ihr wahres Einkommen offenzulegen, was bei einer mündlichen Befragung zu verzerrten Ergebnissen führen würde. Allerdings kann es auch bei standardisierten Online-Befragungen zu leicht verzerrten Ergebnissen kommen, da die Probanden durch die optische Gestaltung des Fragebogens und die Formulierung der Fragen beeinflusst werden können. Dennoch ist die Genauigkeit der erhobenen Daten sehr hoch. Beim Design des Fragebogens wurde versucht, die Formulierung der Fragen wertneutral vorzunehmen, um eine Beeinflussung der



Versuchsteilnehmer zu vermeiden. Des Weiteren wurden ausschließlich geschlossene Fragen gestellt, um Mehrdimensionalität der Antworten zu vermeiden.

Der Nachteil einer Online-Befragung ist die geringere Flexibilität, da die Teilnehmenden bei Unklarheiten keine Rückfragen stellen können. Außerdem kann der Versuchsleiter nicht kontrollieren, inwiefern ein Proband durch Dritte oder die Zuhilfenahme zusätzlicher Informationen beeinflusst wird [Albers u.a. (2009, S. 51 ff.)].

Bei der durchgeführten Umfrage handelt es sich um eine *Stated Choice-Befragung*, was bedeutet, dass ausschließlich hypothetische Auswahl-situationen abgefragt werden. Dadurch ergibt sich beim Erstellen der Umfrage der Vorteil, dass sich die betrachteten Einflussvariablen unter der vollständigen Kontrolle des Untersuchenden befinden.

Die Befragung beleuchtet, welches Vergütungsmodell bei den Testpersonen die höchste Akzeptanz erfährt, wenn sie ihr E-Auto als Zwischenspeicher von Strom im Smart Grid zur Verfügung stellen. Da die Befragung hypothetischer Natur ist, kommen als Grundgesamtheit nicht ausschließlich Fahrer von E-Autos in Frage, sondern alle Personen, welche zukünftig (ca. ab dem Jahr 2030) ein E-Auto besitzen könnten. In dieser Arbeit werden nur die deutschen Pläne zur Errichtung eines Smart Grids betrachtet, weshalb nur in Deutschland lebende Erwachsene der Grundgesamtheit angehören. Zusammenfassend können zum aktuellen Zeitpunkt alle in Deutschland lebenden erwachsenen Personen, welche einen Führerschein besitzen, zur Grundgesamtheit der durchgeführten Umfrage gezählt werden. Im Jahr 2021 waren dies rund 58 Mio. Menschen [Statista (2022)]. Ausschließlich Personen zur Grundgesamtheit zu zählen, welche zu Hause die theoretische Möglichkeit zum bidirektionalen Laden hätten, ist nicht erforderlich, da bidirektionales Laden in Zukunft auch am Arbeitsort möglich sein könnte.

Die Auswahlbasis der Befragung bilden verschiedene Personengruppen. Dazu zählen Personen des persönlichen Umfelds des Autors, Studierende der TU Dresden sowie Personen, die sich für E-Autos interessieren. Eine genaue Abbildung der Grundgesamtheit darzustellen, wäre aufgrund der Größe der Grundgesamtheit nur mit einem erheblichen finanziellen und zeitlichen Aufwand möglich gewesen. Durch die getroffene Auswahlbasis ist die Repräsentativität der Stichprobe vermindert. Dennoch wurde versucht, eine ausgeprägte Homogenität hinsichtlich der soziodemografischen Faktoren der Befragten zu vermeiden [Albers u.a. (2009, S. 79 ff.)].

Der benötigte Umfang der Stichprobe wurde mithilfe der Online-Umfragesoftware SurveyMonkey (2022) ermittelt. Die Berechnung der Stichprobengröße n fand anhand von Gleichung (14) statt:

$$n = \frac{z^2 \cdot p(1-p)}{e^2} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{z^2 \cdot p(1-p)}{e^2 \cdot N} \right)} \quad (14)$$

N beschreibt dabei die Populationsgröße, welche die 58 Mio. deutschen Führerscheinbesitzer umfasst. Die Fehlerspanne e gibt als Prozentwert an, wie nah die in der Stichprobe gegebenen Antworten an dem Wert der Grundgesamtheit liegen. Der Wert für z bezieht sich auf das Konfidenzintervall. In der Wissenschaft wird üblicherweise mit einem Konfidenzintervall von 95 % gearbeitet. Dies bedeutet, dass eine 95-%ige Wahrscheinlichkeit besteht, dass die erhaltenen Ergebnisse der Stichprobe innerhalb des vorgegebenen Bereichs der Fehlerspanne e liegen. Die Standardabweichung p gibt die erwartete Varianz der Antworten an und wird nach wissenschaftlichem Standard auf 0,5 festgesetzt. Genauere Informationen hinsichtlich der Herleitung von Gleichung (14) können dem Werk von Albers u.a. (2009, S. 85 ff.) entnommen werden.

Bei der Berechnung der Stichprobengröße n ergibt sich demnach, bei einem Konfidenzintervall von 95 % und einer Fehlerspanne von 5 %, dass die Stichprobe 385 Probanden enthalten sollte. Wird allerdings eine tolerierte Fehlerspanne von 10 % zugrunde gelegt, beträgt der notwendige Stichprobenumfang nur noch 97 Probanden. An der Umfrage, welche im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurde, haben 115 Personen teilgenommen. Damit konnte die benötigte Stichprobengröße unter Annahme einer 10-%igen Fehlerspanne erreicht werden. Darüber hinaus nahmen 57 weitere Personen teil, welche die Umfrage allerdings vorzeitig beendeten.

Der Pretest und die Hauptumfrage wurde mit der frei verfügbaren Online-Umfrage-Applikation *LimeSurvey* durchgeführt. Die Personen des Stichprobenumfangs mussten einen Link anklicken mussten, um an der Umfrage teilzunehmen. Als Motivation zur Beteiligung wurden unter allen Teilnehmenden auf den öffentlichen Plattformen zwei 20 €-Gutscheine für Amazon verlost.

Bei der Erstellung der Umfrage wurde eine thematische Unterteilung in fünf Blöcke vorgenommen. Der erste Block gibt den Testpersonen allgemeine Informationen zu den



Inhalten der Befragung, indem Begrifflichkeiten wie *Smart Grid* oder *bidirektionales Laden* geklärt werden. Damit verbunden wird den Testpersonen die grundsätzliche Frage gestellt, ob sie sich vorstellen können, ihr E-Auto als Energiespeicher im Smart Grid zur Verfügung zu stellen. Beantwortet eine Testperson diese Frage mit „nein“, werden ihr die verschiedenen Choice Sets nicht angezeigt, sondern sie wird direkt zum fünften Frageblock weitergeleitet.

In diesem Block werden die soziodemografischen Faktoren der Testpersonen erfasst. Standardfaktoren, welche dabei angefragt werden, sind das Alter, das Geschlecht, das Einkommen und die Haushaltsgröße des Probanden. Als relevante Einflussfaktoren hinsichtlich der Fragestellung dieser Arbeit werden die Wohnsituation und die Pkw-Anzahl angesehen. Darüber hinaus wird abgefragt, wie viele Kilometer die Person an einem durchschnittlichen Werktag mit dem Pkw zurücklegt, da dieser Faktor einen besonders starken Einfluss auf die Bereitschaft der Person haben könnte, einen Teil der Batterie ihres E-Autos als Stromspeicher zur Verfügung zu stellen. Außerdem wird die Person gefragt, ob sie bereits ein E-Auto besitzt und ob sie es sich vorstellen kann, zukünftig ein E-Auto zu besitzen.

Kann sich eine Testperson bei der Beantwortung der Eingangsfrage vorstellen, ihr E-Auto als Energiespeicher zur Verfügung zu stellen, wird sie zu den Frageblöcken 2 bis 4 weitergeleitet, welche die Choice Sets zu drei verschiedenen Discrete-Choice-Modellen enthalten.

Im ersten Modell ist die hypothetische Situation gegeben, dass die Testperson dem Stromversorger 30 kWh ihrer E-Auto-Batterie als Energiespeicher zur Verfügung stellt. Die Person kann diesen Anteil der Fahrzeugbatterie nicht nutzen. Der zur Verfügung gestellte Batterieanteil wurde auf 30 kWh festgelegt, da dies ungefähr der Hälfte der Speicherkapazität eines E-Autos der Mittelklasse entspricht. Der Stromversorger kann den ihm zugewiesenen Anteil frei be- und entladen. Dabei wird er im Falle eines Stromüberschusses im Netz Strom in das Fahrzeug laden und bei Strommangel im Netz Strom aus dem Fahrzeug in das Netz zurückführen. Dem Fahrzeugbesitzer wird seine Dienstleistung des Stromspeicherns vergolten, indem er einen Nachlass auf den Strompreis erhält, wenn Strom in sein E-Auto geladen wird. Außerdem erhält er einen höheren Preis als den Marktpreis, wenn Strom aus dem E-Auto in das Stromnetz zurückgeführt wird. Der angenommene Standardpreis für Strom beträgt in diesem Beispiel 30 ct/kWh. Zu diesem Preis kann der



Fahrzeugbesitzer seinen virtuellen Batterieanteil jederzeit beladen. In zwölf Choice Sets müssen die Testpersonen jeweils entscheiden, ob sie unter den dargestellten Bedingungen einen Fixpreis oder einen variablen Preis wählen. Der variable Preis wird nach dem Time of Use-Verfahren modelliert (siehe Kapitel 2.5), indem er in Abhängigkeit der Netzauslastung schwankt. Darüber hinaus kann in jedem Choice Set die No-Choice-Option gewählt werden, sein Fahrzeug unter den gegebenen Bedingungen nicht als Stromspeicher zur Verfügung zu stellen zu wollen. Die genauen Preisausprägungen können dem Fragebogen im Anhang entnommen werden.

Das zweite Modell untersucht, inwiefern die Testpersonen variable Strompreise akzeptieren, wenn ihnen der gesamte Akku ihres E-Autos zur Verfügung steht. Eine Rückführung des Stroms in das Stromnetz wird dabei nicht vorgenommen. Die Testpersonen können in den zehn Choice Sets abermals zwischen einem Fixpreis und einem variablen Preis wählen. Der Fixpreis für Strom beträgt jeweils 30 ct/kWh. Beim variablen Preis wird zwischen den drei Fällen unterschieden: ausgeglichenes Stromnetz, Strommangel im Netz und Stromüberschuss im Netz. Für den Fall eines ausgeglichenen Stromnetzes wird in jedem der Choice Sets ein Preis von 30 ct/kWh angesetzt, was der Höhe des Fixpreises entspricht. Bei Strommangel im Netz wird ein höherer Strompreis verlangt, bei Stromüberschuss im Netz ein niedrigerer. Die Preise schwanken über die verschiedenen Choice Sets zwischen 5 ct/kWh und 50 ct/kWh. Da Besitzer eines E-Autos in jedem Fall ihr Fahrzeug laden müssen, sind sie gezwungen, einen der beiden Tarife zu wählen. Aus diesem Grund entfällt bei diesem Modell die No-Choice-Option.

In einem dritten Modell wird ermittelt, ob die Testpersonen eher eine Vergütung in Abhängigkeit der gespeicherten Strommenge oder eine festgelegte Vergütung pro Tag bevorzugen, wenn sie dem Stromversorger 30 kWh ihrer Fahrzeugbatterie als Energiespeicher zur Verfügung stellen. Der pro Tag gezahlte Fixpreis nimmt in den neun abgefragten Choice Sets Ausprägungen von 2 €, 3 € und 4€ an. Die Vergütung in Abhängigkeit der gespeicherten Strommenge ist so gewählt, dass die Auszahlung an den Fahrzeugbesitzer im Optimalfall höher ist als der Fixpreis. Der Optimalfall für den Fahrzeugbesitzer beschreibt die Situation, dass der gesamte zur Verfügung gestellte Batterieanteil von 30 kWh an einem Tag zum Zwischenspeichern von Strom verwendet wird. Ob bzw. wie oft dieser Optimalfall eintritt, kann im Vorhinein nicht abgeschätzt werden. Die Choice Sets dieses Modells enthalten des Weiteren eine No-Choice-Option.

Kapitel 5 Datenauswertung

In diesem Kapitel wird die Durchführung der drei im Rahmen dieser Arbeit geschätzten multinomialen Logit-Choice-Modelle beschrieben. Dazu wird zunächst die Modellaufstellung für jedes Modell vorgenommen, ehe die erhaltenen Ergebnisse präsentiert werden. Dabei wird auch die Prüfung verschiedener Gütemaße vorgenommen. Daraufhin werden die erhaltenen Ergebnisse interpretiert. Abschließend findet eine allgemeine Betrachtung möglicher Fehler statt.

5.1 Modellaufstellung

Anhand der gewonnenen Daten aus der durchgeführten Umfrage konnte die Schätzung von drei multinomialen Logit-Choice-Modellen vorgenommen werden. Von den 115 Teilnehmenden der Stichprobe können sich 88 vorstellen, einen Teil der Batterie ihres E-Autos als temporären Energiespeicher zur Verfügung zu stellen. Zur Schätzung der MNL-Modelle werden nur die erhobenen Daten dieser 88 Probanden genutzt. Die verschiedenen Datensätze können der digitalen Fassung der Arbeit entnommen werden. Tabelle 1 gibt beispielhaft eine allgemeine Übersicht über die Einflussfaktoren des ersten Modells.

Tabelle 1: Schätzer Modell 1 [eigene Darstellung]

Schätzer	Beschreibung
AC Variabel	Alternativspez. Konstante für die Alternative Variabler Preis
AC Fix	Alternativspez. Konstante für die Alternative Fixpreis
β PreisV1	Preisänderung bei Strommangel im Netz
β PreisV2	Preisänderung bei Stromüberschuss im Netz
β PreisFix	Fixpreis bei Strommangel und -überschuss im Netz
β Geschlecht	Dummy: 1, wenn männlich; 0, wenn weiblich
β Alter	Alter in Klassen
β Student	Dummy: 1, wenn Student; sonst 0
β Erwerbstätig	Dummy: 1, wenn erwerbstätig; sonst 0
β Einkommen	Einkommen in Klassen



β PersAnz	Personenanzahl des Haushalts
β Miete(Haus)	Dummy: 1, wenn Person zur Miete in Haus lebt; sonst 0
β Eigentumsw..	Dummy: 1, wenn Person in Eigentumswohnung lebt; sonst 0
β eigenesHaus	Dummy: 1, wenn Person in eigenem Haus lebt; sonst 0
β PkwAnz	Pkw-Anzahl des Haushalts
β Km	Durchschnittlich gefahrene Km pro Werktag in Klassen
β E.Auto	Dummy: 1, wenn Person E-Auto besitzt, sonst 0
β E.Auto(Zukunft)	Dummy: 1, wenn Person sich vorstellen kann, zukünftig ein E-Auto zu besitzen; sonst 0

Die sozioökonomischen Variablen sind bei jedem der Modelle gleich. Das Geschlecht ist als Dummyvariable codiert, wobei 1 bedeutet, dass die Person männlich ist und 0, dass sie weiblich ist. Das Alter wurde in Klassen abgefragt. Das Alter einer Person entspricht der jeweiligen Klassenmitte. Für die Klasse der Personen, welche jünger als 20 Jahre sind, wird das Alter auf 18 Jahre festgesetzt. Bei den über 60 Jahre alten Personen, wird ein Alter von 65 Jahren angenommen. Das Einkommen der Testpersonen wurde ebenfalls in Klassen erfasst. Wieder bilden die Klassenmitten die festgelegten Nettogehälter. Wenn eine Person angibt, weniger als 500 € monatlich zur Verfügung zu haben, wird eine Einkommenshöhe von 250 € angenommen. Gibt sie an, mehr als 4000 € zu verdienen, wird ein Nettoeinkommen von 5000 € angenommen. Diese Festsetzungen basieren darauf, dass der Autor viele Personen der Stichprobe persönlich kennt. Eine Abfrage in Form von Klassen wurde auch für die Anzahl der Kilometer, welche eine Testperson an einem durchschnittlichen Werktag fährt, vorgenommen. Die Festsetzungen basieren erneut auf den Klassenmitten. Bei Probanden, welche mehr als 100 km pro Werktag fahren, wird der Wert von 125 km zugrunde gelegt.

Die Arbeitssituation einer Person ist mithilfe von Dummyvariablen codiert. Eine der entsprechenden Dummyvariable beschreibt, ob eine Person Student oder Schüler ist, die andere gibt an, ob die Person erwerbstätig ist. Zur Arbeitssituation gehört außerdem die Dummyvariable „Rentner“. Diese wurde als Bezugsvariable gewählt und ist dementsprechend nicht in den Modellen enthalten. Der Fragebogen enthielt darüber hinaus die Möglichkeit, dass eine Person derzeit erwerbslos ist. Allerdings wählte keine Person, welche dem verwendeten Datensatz angehört, diese Option. Auch die Wohnsituation ist über

Dummyvariablen formuliert. Als nicht im Modell enthaltene Bezugsvariable gilt der Fall, dass eine Person in einer Wohnung zur Miete lebt. Die Möglichkeiten, dass eine Person in einer Eigentumswohnung, in einem eigenen Haus oder zur Miete in einem Haus lebt, werden jeweils über eine Dummyvariable im Modell abgebildet.

Die Anzahl der im Haushalt lebenden Personen sowie die Pkw-Anzahl des Haushalts wurden metrisch erfasst. Zuletzt enthält der Datensatz eine Dummyvariable für den Fall, dass die Testperson Besitzer eines E-Autos ist. Außerdem wird über eine weitere Dummyvariable angezeigt, ob sich eine Person vorstellen kann, (auch) in Zukunft ein E-Auto zu besitzen.

Die Schätzung der Modelle erfolgt mithilfe der frei verfügbaren Statistik-Software R, in welcher das Package *mlogit* verwendet wird. Die praktische Anwendung des Packages geschieht anhand der Anleitung *Estimation of multinomial logit models in R - The mlogit Packages* [Croissant (2012)]. Die verwendeten Datensätze sind im sogenannten Long-Format formuliert. Bei diesem Format ist pro Zeile nur eine Alternative je Auswahl-situation erfasst. Wenn eine Auswahl-situation z.B. drei Alternativen umfasst, sind drei Zeilen zur Darstellung der Auswahl-situation erforderlich. Wenn einem Probanden zwölf Auswahl-situationen vorgelegt werden (Modell 1), werden die gesammelten Daten demnach in 36 Zeilen erfasst [Backhaus u.a. (2015, S. 199)].

5.1.1 Modell 1 – Variable Preise nach Netzauslastung

Das erste geschätzte Modell beschreibt die Situation schwankender Strompreise in Abhängigkeit der Auslastung des Stromnetzes, wobei bidirektionales Laden stattfindet. Eine genaue inhaltliche Situationsbeschreibung ist in Kapitel 4 gegeben. Jeder der 88 Testpersonen, werden die gleichen zwölf Choice Sets angezeigt. Es stehen jeweils drei Alternativen zur Auswahl: der Variable Preis, der Fixpreis und die No-Choice-Option.

Die Schätzparameter und ihre jeweiligen Bedeutungen sind in Tabelle 1 abgebildet. Die additiv verknüpften Teilwert-Nutzenfunktionen der Alternativen sind nachfolgend definiert:

$$V_{\text{Variabel}} = AC_{\text{Variabel}} + \beta_{\text{PreisV1}} \cdot \text{PreisV1} + \beta_{\text{PreisV2}} \cdot \text{PreisV2} + \beta_{\text{Geschlecht}} \cdot \text{Geschlecht} + \dots + \beta_{\text{E.Auto(Zukunft)}} \cdot \text{E.Auto(Zukunft)} \quad (15)$$

$$V_{Fix} = AC_{Fix} + \beta_{Fix} \cdot PreisFix + \beta_{Geschlecht} \cdot Geschlecht + \dots + \beta_{E.Auto(Zukunft)} \cdot E.Auto(Zukunft) \quad (16)$$

$$V_{NoChoice} = \beta_{PreisNC} \cdot PreisNC \quad (17)$$

Da die No-Choice-Option (17) die Referenzalternative des Modells bildet, wird für sie keine alternativenspezifische Konstante eingebunden (AC), da es stets eine AC weniger als Alternativen geben kann. Die Schätzer des Modells geben die Nutzenänderungen der Alternativen (15) und (16) im Vergleich zur No-Choice-Alternative an. Aus diesem Grund sind in die Nutzenfunktion (17) keine weiteren Schätzparameter eingebunden.

Zur Modellschätzung wird ein MNL-Modell verwendet, welches anhand der ML-Methode optimiert wird. Bei der Schätzung des vollen Modells ergibt sich, dass die Schätzer einiger Einflussvariablen nicht signifikant sind. Aus diesem Grund wird der Top-Down-Ansatz zur Variablenreduktion eingesetzt. Bei diesem Verfahren wird der Schätzer mit dem höchsten p-Wert aus dem vollen Modell entfernt. Daraufhin wird das Modell in seiner reduzierten Form erneut geschätzt. Dieser Vorgang wird so oft durchgeführt, bis sich ein Modell ergibt, welches nur noch signifikante Schätzer enthält. Der p-Wert beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Schätzer nur durch Zufall errechnet wurde. Je niedriger der p-Wert, desto höher das Signifikanzniveau. In den Modellen dieser Arbeit wird ein 95%-Signifikanzniveau angesetzt, womit dem wissenschaftlichen Standard gefolgt wird. Das Ergebnis des reduzierten Modells, welches ausschließlich signifikante Schätzer enthält, wird in Kapitel 5.2.1 aufgezeigt.

5.1.2 Modell 2 – Variable Preise bei frei verfügbarem Akku

Modell 2 beschreibt ebenfalls die Situation schwankender Strompreise in Abhängigkeit der Netzauslastung. Im Unterschied zum ersten Modell wird dabei allerdings keine temporäre Speicherung elektrischer Energie in der Fahrzeugbatterie vorgenommen. Bidirektionales Laden, bei welchem die Möglichkeit der Energierückführung in das Stromnetz besteht, findet demnach in diesem Modell nicht statt. Die genaue Situationsbeschreibung ist wieder in Kapitel 4 dargestellt. Den Testpersonen wurden zu diesem Modell je zehn Choice Sets vorgelegt, in denen ihnen jeweils zwei Alternativen zur Auswahl stehen: der variable Preis oder der Fixpreis. Die No-Choice-Alternative entfällt in diesem Modell, da davon

ausgegangen wird, dass eine Person in jedem Fall dazu gezwungen ist, Strom zu beziehen. Es werden abermals additiv verknüpfte Teilwert-Nutzenfunktionen verwendet:

$$V_{\text{Variabel}} = AC_{\text{Variabel}} + \beta_{\text{PreisV2}} \cdot \text{PreisV2} + \beta_{\text{PreisV3}} \cdot \text{PreisV3} + \beta_{\text{Geschlecht}} \cdot \text{Geschlecht} + \dots + \beta_{\text{E.Auto(Zukunft)}} \cdot \text{E.Auto(Zukunft)} \quad (18)$$

$$V_{\text{Fix}} = \beta_{\text{PreisFix}} \cdot \text{PreisFix} \quad (19)$$

Die Referenzalternative des Modells bildet die Fixpreis-Option. Die erhaltenen Schätzparameter zeigen demnach die Nutzenunterschiede der variablen Preisoption gegenüber der Fixpreisoption an. Die Variable *PreisV1* wurden von vornherein nicht in das Modell integriert, da sie stets die gleiche Ausprägung hat und demnach, aufgrund der fehlenden Nutzenunterschiede, keinen Beitrag zur Erklärung des Modells leisten würde. Die Variable beschreibt den Strompreis bei ausgeglichenem Netzzustand, welcher mit 30 ct/kWh definiert ist. Die generischen Preisvariablen *PreisV2* und *PreisV3* beschreiben im Gegensatz dazu die Zustände des Strommangels bzw. -überschusses.

Da nur zwei Alternativen zur Auswahl stehen, wird ein binomiales Logit-Choice-Modell zur Modellschätzung genutzt. Die Optimierung findet mit der ML-Methode statt. Auch für dieses Modell wird der Top-Down-Ansatz zur Reduzierung überflüssiger Variablen eingesetzt.

5.1.3 Modell 3 – Vergütung nach Strommenge oder Fixpreis

Dieses Modell geht wie Modell 1 davon aus, dass elektrische Energie temporär in einem Teil der Fahrzeugbatterie gespeichert wird und bei Bedarf wieder in das Stromnetz zurückgeführt werden kann. Das zugrundeliegende Preismodell unterschied hierbei jedoch nicht in einen Fixpreis und einen variablen Preis, welcher von den verschiedenen Netzzuständen abhängig ist. Stattdessen können die Testpersonen zwischen den Möglichkeiten wählen, für ihre Dienstleistung einen festgelegten Preis pro Tag oder einen Preis, der sich nach der tatsächlich gespeicherten Strommenge richtet, zu erhalten. Wie viel Strom an einem Tag in der Fahrzeugbatterie zwischengespeichert wird, liegt im Ermessen des Stromversorgers bzw. Netzbetreibers. Die Probanden mussten zu diesem Szenario neun Choice Sets beantworten. Da es natürlich auch möglich ist, dass eine Person ihre Fahrzeugbatterie zu den vorgestellten

Bedingungen nicht als temporären Energiespeicher zur Verfügung stellen möchte, enthalten die Choice Sets auch eine No-Choice-Alternative. Diese wird, wie im ersten Modell, als Referenzalternative festgelegt. Die Nutzenfunktionen des Modells lauten:

$$V_{Variabel} = AC_{Variabel} + \beta_{PreisV} \cdot PreisV + \beta_{Geschlecht} \cdot Geschlecht + \dots + \beta_{E.Auto(Zukunft)} \cdot E.Auto(Zukunft) \quad (20)$$

$$V_{Fix} = AC_{Fix} + \beta_{PreisFix} \cdot PreisFix + \beta_{Geschlecht} \cdot Geschlecht + \dots + \beta_{E.Auto(Zukunft)} \cdot E.Auto(Zukunft) \quad (21)$$

$$V_{NoChoice} = \beta_{PreisNC} \cdot PreisNC \quad (22)$$

Da zwischen drei Alternativen gewählt werden kann, wird ein MNL-Modell formuliert, welches mit der ML-Methode optimiert wird. Abermals wird der Top-Down-Ansatz genutzt.

5.2 Auswertung

Der gesamte gewonnene Datensatz umfasst 115 Personen. Von diesen können sich 88 Personen vorstellen, ihr E-Auto als temporären Energiespeicher zur Verfügung zu stellen. Wie bereits erwähnt, werden die erhobenen Daten dieser Personen zur Schätzung der Logit-Modelle genutzt. Die deskriptive Betrachtung ergibt, dass 71,5 % dieser Personen männlich sind. Im Durchschnitt sind diese Personen 31 Jahre alt und haben ein monatliches Nettoeinkommen von 1554 €. Die durchschnittliche Haushaltsgröße beträgt 2,3 Personen und die durchschnittliche Pkw-Anzahl des Haushalts liegt bei 1,3.

Die Befragten dieses Datensatzes sind zu 53,4 % Studenten, zu 42,1 % erwerbstätig und zu 4,5 % Rentner. Unter den Personen, welche ihren Fahrzeugakku grundsätzlich nicht als Energiespeicher zur Verfügung stellen wollen, sind hingegen nur 33,3 % Studenten, allerdings 59,3 % Erwerbstätige. Bei Studenten und Schülern besteht demnach grundsätzlich eine höhere Bereitschaft, ihren Fahrzeugakku zur Energiespeicherung zur Verfügung zu stellen. Das Durchschnittsalter der Gruppe der „Nein-Sager“ ist mit 36 Jahren etwas höher als das der „Ja-Sager“. Demnach hat das Alter einer Person einen geringeren Einfluss auf die grundsätzliche Entscheidung als die Arbeitssituation.

Im Datensatz der „Ja-Sager“ können sich 67 % der befragten Personen vorstellen, zukünftig tatsächlich ein E-Auto zu besitzen. Bei den grundsätzlichen Verweigerern können sich im Gegensatz dazu nur 33 % vorstellen, zukünftig ein E-Auto zu besitzen. An der Befragung nahmen insgesamt elf Personen teil, welche tatsächlich ein E-Auto besitzen. Bei zehn dieser Personen besteht eine grundsätzliche Bereitschaft, ihr E-Auto als temporären Energiespeicher zur Verfügung stellen. Nur eine dieser Personen kann sich dies nicht vorstellen.

Unter den 115 Befragten befinden sich außerdem fünf Probanden, welche täglich mehr als 100 km mit ihrem Pkw fahren. Von diesen würden drei ihr E-Auto als Energiespeicher zur Verfügung stellen, zwei würden dies nicht tun.

5.2.1 Ergebnisse Modell 1 – Variable Preise nach Netzauslastung

Beim *Modell 1: Variable Preise nach Netzauslastung* muss das Top-Down-Verfahren fünf Mal angewendet werden, ehe ausschließlich signifikante Schätzparameter im Modell enthalten sind. Die Einflussvariablen Geschlecht, Anzahl der täglich gefahrenen Kilometer, Höhe des Fixpreises, Miete (Haus) und Pkw-Anzahl werden in der genannten Reihenfolge aus dem Modell entfernt. Damit kommen sie auch in den Nutzenfunktionen der Alternativen nicht mehr vor. Die Ergebnisse des reduzierten Modells sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Ergebnisse Modell 1 – signifikante Parameter [eigene Darstellung]

	Schätzparameter	Standardfehler	p-Wert	
AC:Fix	8,9340	2,0300	1,08E-05	***
AC:Variabel	7,3537	2,1635	6,76E-04	***
PreisV1	0,0460	0,0094	1,13E-06	***
PreisV2	0,0521	0,0097	7,16E-08	***
Alter:Fix	-0,1552	0,0304	3,32E-07	***
Alter:Variabel	-0,1816	0,0308	3,53E-09	***
Student:Fix	1,8993	1,0424	6,84E-02	.
Student:Variabel	3,0178	1,2518	1,60E-02	*
Erwerbstätig:Fix	2,3025	0,7554	2,30E-03	**
Erwerbstätig:Variabel	4,0908	1,0267	6,77E-05	***
Einkommen:Fix	-0,0011	0,0002	1,00E-05	***
Einkommen:Variabel	-0,0012	0,0003	2,19E-06	***
PersAnz:Fix	-0,8846	0,2765	1,38E-03	**

PersAnz:Variabel	-1,1790	0,2805	2,64E-05	***
Eigentumswohnung:Fix	-3,7240	1,2337	2,54E-03	**
Eigentumswohnung:Variabel	-4,2760	1,2436	5,85E-04	***
eigenesHaus:Fix	4,7789	0,8208	5,80E-09	***
eigenesHaus:Variabel	4,3949	0,8384	1,59E-07	***
E.Auto:Fix	-1,2540	0,5348	1,90E-02	*
E.Auto:Variabel	-0,9264	0,5570	9,63E-02	.
E.AutoZukunft:Fix	2,6823	0,4562	4,10E-09	***
E.AutoZukunft:Variabel	2,9638	0,4702	2,91E-10	***
Log-Likelihood:	-755,57			
McFadden R ² :	0,2011			

Da die Einflussvariable *PreisFix* keinen signifikanten Einfluss bei der Schätzung des Modells hat, ist davon auszugehen, dass die Höhe des Fixpreises für die meisten Probanden nicht ausschlaggebend zum Nutzen der Fixpreis-Alternative beiträgt. Die Höhe der beiden variablen Preise hat hingegen einen signifikanten Einfluss auf den Nutzen, den die Personen der Alternative des variablen Preises zuordnen. Die beiden Schätzer sind jedoch nur schwach ausgeprägt und haben demnach einen geringen Einfluss auf den Gesamtnutzen der Alternative. Einen deutlich stärkeren Einfluss auf den Gesamtnutzen der Alternativen hat dagegen die Wohnsituation einer Person. Die Einflussvariable *eigenesHaus* hat bspw. bei ihren Verknüpfungen mit dem Fixpreis und dem variablen Preis jeweils stark positive Ausprägungen. Dies bedeutet, dass Personen, welche in einem Eigenheim leben, die Alternativen Fixpreis und variabler Preis deutlich positiver als die No-Choice-Alternative bewerten. Da der Schätzer *eigenesHaus:Fix* größer ist als der Schätzer *eigenesHaus:Variabel*, lässt sich ableiten, dass die Testpersonen, welche in einem Eigenheim leben, der Fixpreis-Alternative einen höheren Nutzen als der Alternative des variablen Preises zuweisen. Den stärksten positiven Einfluss auf den Gesamtnutzen der Alternativen Fixpreis und variabler Preis gegenüber der No-Choice-Option haben die jeweiligen alternativenspezifischen Konstanten. Welche Alternative eine Person wählt, hängt demzufolge am stärksten von der Alternative selbst ab.

5.2.2 Ergebnisse Modell 2 – Variable Preise bei frei verfügbarem Akku

Bei der Ermittlung des zweiten Modells wurde das Top-Down-Verfahren sieben Mal angewendet, wobei die Variablen. Die Ergebnisse des reduzierten Modells, welches ausschließlich signifikante Schätzer enthält, sind in Tabelle 3 aufgezeigt:

Tabelle 3: Ergebnisse Modell 2 – signifikante Parameter [eigene Darstellung]

	Schätzparameter	Standardfehler	p-Wert	
AC:Variabel	1,5985	0,4261	1,76E-04	***
PreisV3	-0,0766	0,0107	7,43E-13	***
Alter:Variabel	-0,0704	0,0101	2,62E-12	***
Student:Variabel	0,5400	0,2506	3,11E-02	*
Einkommen:Variabel	0,0005	0,0001	2,45E-07	***
PersAnz:Variabel	0,1775	0,0871	4,15E-02	*
Miete.Haus.:Variabel	1,0022	0,3645	5,97E-03	**
PkwAnz:Variabel	-0,4118	0,0963	1,91E-05	***
Km:Variabel	0,0115	0,0041	4,71E-03	**
Log-Likelihood:	-509,72			
McFadden R ² :	0,1382			

Da die Referenzalternative des zweiten Modells die Fixpreis-Alternative ist, geben die Schätzer die Nutzenunterschiede der Einflussvariablen der variablen Preisalternative im Vergleich zur Fixpreis-Alternative an. Wie schon beim ersten Modell, wird der alternativenspezifischen Konstante der größte Beitrag zur Nutzenfunktion beigemessen. Auch hier gilt demnach, dass die Wahl einer Alternative am stärksten von der Alternative selbst abhängt. Allerdings wird der Alternative variabler Preis in diesem Modell ein größerer Nutzen als der Alternative Fixpreis zugesprochen. Diese Beziehung der beiden Alternativen ist im ersten Modell entgegengesetzt. Der Schätzer *PreisV3* ist negativ ausgeprägt. Dies bedeutet, dass ein höherer variabler Preis bei Stromüberschuss im Netz einen geringeren Beitrag zum Nutzen der variablen Preisalternative leistet. Je höher dieser Preis ist, desto näher liegt er an der Höhe des Fixpreises. Die Testpersonen wählen demnach eher die variable Preisalternative, wenn der Abstand der variablen Preise zum Fixpreis größer ist bzw. wenn die Preisspanne des variablen Preises größer ist.

5.2.3 Ergebnisse Modell 3 – Vergütung nach Strommenge oder Fixpreis

Im Falle des dritten Modells ergab das Top-Down-Verfahren nach der sechsten Iteration ein reduziertes Modell mit signifikanten Parametern, wie in Tabelle 4 dargestellt:

Tabelle 4: Ergebnisse Modell 3 – signifikante Parameter [eigene Darstellung]

	Schätzparameter	Standardfehler	p-Wert	
AC:Fix	6,6168	0,8756	4,13E-14	***
AC:Variabel	4,0068	0,9084	1,03E-05	***
PreisV	13,8757	1,4942	2,20E-16	***
Geschlecht:Fix	2,1426	0,5915	2,92E-04	***
Geschlecht:Variabel	1,9015	0,5913	1,30E-03	**
Alter:Fix	-0,1352	0,0192	1,78E-12	***
Alter:Variabel	-0,1470	0,0189	8,66E-15	***
Erwerbstätig:Fix	-1,9405	0,5681	6,37E-04	***
Erwerbstätig:Variabel	-1,3763	0,5501	1,23E-02	*
Einkommen:Fix	0,0007	0,0003	7,89E-03	**
Einkommen:Variabel	0,0010	0,0002	3,51E-05	***
Miete.Haus.:Fix	-2,1209	0,6270	7,17E-04	***
Miete.Haus.:Variabel	-2,3893	0,5937	5,71E-05	***
Eigentumswohnung:Fix	-2,9048	1,3006	2,55E-02	*
Eigentumswohnung:Variabel	-3,5646	1,3047	6,29E-03	**
eigenesHaus:Fix	1,9356	0,5837	9,14E-04	***
eigenesHaus:Variabel	1,1085	0,5727	5,29E-02	.
E.Auto:Fix	-5,3183	0,7040	4,22E-14	***
E.Auto:Variabel	-3,8370	0,6323	1,29E-09	***
Log-Likelihood:	-536,28			
McFadden R ² :	0,2448			

Bei diesem Modell ist, wie bereits beim ersten Modell, die No-Choice-Option die Referenzalternative, womit die Schätzer die Nutzenunterschiede im Vergleich zu dieser Alternative angeben. Es ist zu erkennen, dass auch in diesem Modell die alternativen-spezifischen Konstanten einen hohen Beitrag zur Nutzenbewertung der Alternativen leisten.

Die AC des Fixpreises ist dabei deutlich höher als die AC des variablen Preises. Dies bedeutet, dass die Probanden der Fixpreis-Alternative *ceteris paribus* einen größeren Nutzen beimessen als der Alternative, bei welcher sie in Abhängigkeit der Strommenge vergütet werden.

Der Schätzer mit der der deutlich stärksten Ausprägung ist allerdings *PreisV*. Damit ist Modell 3 das einzige der durchgeführten Modelle, bei welchem nicht die ACs den größten Beitrag zur Nutzenbewertung der Alternativen leisten. Je höher der variable Preis ausfällt, desto größer ist die Nutzenbewertung der variablen Preisalternative. Der Schätzer *PreisFix*, welcher vergleichshalber zu betrachten ist, ist in diesem reduzierten Modell nicht enthalten. Im reduzierten Modell, welches nach der vierten Durchführung des Top-Down-Verfahrens gebildet wurde, beträgt die Ausprägung des Schätzers von *PreisFix* 0,0871, während *PreisV* einen deutlich höheren Schätzer von 14,7102 aufweist. Die Höhe des Fixpreises hat demnach einen äußerst geringen Einfluss auf die Nutzenbewertung der Alternative.

5.2.4 Güteprüfung

In diesem Kapitel werden die überprüften Gütemaße der drei geschätzten Modelle erläutert. Zunächst wird zur globalen Güteprüfung die *Likelihood-Ratio-Statistik* herangezogen. Dieses Maß beschreibt die Beziehung der Maximalwerte der Log-Likelihood-Funktionen des geschätzten Modells (LL_{β}) und des Nullmodells (LL_0). Das Nullmodell ergibt sich, wenn alle Parameter des Modells gleich 0 gesetzt werden, wodurch jede Alternative die gleiche Auswahlwahrscheinlichkeit erhält. Stehen drei Alternativen zur Auswahl, ergibt sich damit eine Auswahlwahrscheinlichkeit von $P=1/3$ für jede Alternative. Stehen zwei Alternativen zur Auswahl, beträgt sie $P=1/2$. Die Berechnung der Likelihood-Ratio-Statistik ist in Gleichung (23) dargestellt:

$$LLR = -2 \cdot (LL_0 - LL_{\beta}) \quad (23)$$

Bei der Durchführung der Likelihood-Ratio-Tests für die drei geschätzten Modelle und dem jeweiligen Nullmodell ergeben sich die in Tabelle 5 abgebildeten Ergebnisse.

Tabelle 5: Likelihood-Ratio-Statistik [eigene Darstellung]

	Nullmodell	geschätztes Modell	LLR	Chi ² (0,995)
Modell 1	-945,78	-755,57	380,4	40,00
Modell 2	-591,43	-509,72	163,42	21,95
Modell 3	-710,1	-536,28	347,65	35,72

Bei der Likelihood-Ratio-Statistik wird die Nullhypothese H_0 unterstellt, dass die zusätzlichen Parameter des geschätzten Modells keinen Beitrag zur Erklärung leisten. Der Likelihood-Ratio-Test unterliegt der Chi²-Verteilung. Der Chi²-Wert ergibt sich unter Einbeziehung des angegebenen Signifikanzniveaus anhand der Freiheitsgrade. Diese entsprechen der Anzahl der Parameter. Die Nullhypothese H_0 kann abgelehnt werden, wenn der anhand von Gleichung (23) errechnete LLR-Wert größer ist als der Chi²-Wert. Dies ist bei jedem der drei geschätzten Modelle der Fall. Demzufolge sind die in den Modellen enthaltenen Parameter nicht irrelevant [Backhaus u.a. (2015, S. 210)].

Ein weiteres Maß zur globalen Güteprüfung ist *McFaddens R²*. Es wird als sogenanntes Pseudo-R² bezeichnet, da es, im Gegensatz zum herkömmlichen R², nicht den Anteil der erklärten Streuung an der gesamten Streuung angibt. Stattdessen beschreibt es das Verhältnis zweier Log-Likelihoods, wie in Gleichung (24) aufgezeigt:

$$R_M^2 = 1 - \left(\frac{LL_B}{LL_0} \right) \quad (24)$$

McFaddens R² kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Dabei gilt ein Ergebnis als guter Modellfit, wenn es zwischen 0,2 und 0,4 liegt [Backhaus u.a. (2015, S. 210)]. Die R²-Werte der geschätzten Modelle betragen für das erste und dritte Modell 0,2 bzw. 0,24. Lediglich Modell 2 hat einen niedrigen R²-Wert von 0,14 und damit einen schlechten Modellfit.

Zur Güteprüfung wird des Weiteren die *Trefferquote* genutzt. Sie beschreibt, in wie viel Prozent der Auswahl-situationen die durch das Modell vorausgesagte Alternative der tatsächlich gewählten Alternative entspricht. Dazu werden die Modellparameter sowie die Variablenausprägungen einer Auswahl-situation in die Wahrscheinlichkeitsfunktion eingesetzt. Die Alternative, für welche die größte Wahrscheinlichkeit errechnet wird, zählt als durch das Modell vorausgesagte Alternative. Diese Berechnung wird für jede Auswahl-situation vorgenommen. Anschließend kann durch die Betrachtung der Ergebnisse aller

Auswahlsituationen die Trefferquote des Modells ermittelt werden [Backhaus u.a. (2015, S. 211)]. Die Ermittlung der Trefferquoten kann den entsprechenden Excel-Tabellen der beigelegten digitalen Fassung der Arbeit entnommen werden. Als Beispielrechnung sei an dieser Stelle die Wahrscheinlichkeitsermittlung des variablen Preises der ersten Auswahlsituation von Modell 2 gegeben:

$$P = \frac{e^{1,59-0,0766 \cdot 25-0,0702 \cdot 25+ \dots -0,4120 \cdot 1+0,0115 \cdot 35}}{e^{1,59-0,0766 \cdot 25-0,0702 \cdot 25+ \dots -0,4120 \cdot 1+0,0115 \cdot 35} + e^{1+0 \cdot 0}} = 0,14 \quad (25)$$

Die Trefferquoten von Modell 1 und Modell 3 sind ähnlich hoch. Modell 1 erreicht eine Trefferquote von 75,2 %. Bei Modell 3 beträgt die Quote 76,2 %. Im Gegensatz dazu liegt die Trefferquote des zweiten Modells nur bei 62,5 %. Dies entspricht den Werten von McFaddens R^2 , bei welchen das zweite Modell, im Vergleich zu den anderen beiden Modellen, ebenfalls einen deutlich schlechteren Fit erzielt.

5.3 Interpretation der erhaltenen Ergebnisse

Um Besitzer von E-Autos dazu zu bewegen, ihr Fahrzeug als temporären Energiespeicher zur Verfügung zu stellen und auf diese Weise zum Lastmanagement des Stromnetzes beizutragen, ist eine attraktive Form der Vergütung notwendig. Das Instrument variabler Preise bietet sich in der Theorie dafür an. Die in dieser Arbeit untersuchten Modelle bilden jeweils unterschiedliche Szenarien zu möglichen Preisgestaltungen ab. Dabei werden jeweils die Nutzenbewertungen variabler Preisoptionen im Vergleich zur Alternative eines Fixpreises untersucht.

Es fällt auf, dass die alternativenspezifischen Konstanten in jedem der Modelle einen großen Anteil an der Nutzenbewertung der Alternativen haben. Bei den Modellen 1 und 2 haben sie sogar die stärkste Ausprägung. Dies bedeutet, dass die Testpersonen ihre Entscheidung, welche Alternative sie wählen, hauptsächlich von der Alternative selbst und weniger von der Ausgestaltung der Preise abhängig machen. Eine Person, welche grundsätzlich eher den Fixpreis bevorzugt, ist demnach nur schwer davon zu überzeugen, die Alternative des variablen Preises zu wählen.

Wenn der Anbieter sich für die Implementierung des ersten Modells entscheiden sollte, dann hat er im Hinblick auf das Lastmanagement des Stromnetzes keinen Vorteil von einer der



beiden Alternativen. Aus Anbietersicht ist es demnach zweitrangig, ob die Kunden der Fixpreis-Alternative oder der variablen Preisalternative den größeren Nutzen beimessen. Es ist nur entscheidend für den Anbieter, dass möglichst wenig Personen die No-Choice-Alternative wählen, bei der sie ihre Fahrzeugbatterie nicht zur temporären Energiespeicherung zur Verfügung stellen. Die Testpersonen neigen wenig dazu, die No-Choice-Option zu wählen. Dies lässt sich daran erkennen, dass die Schätzer der ACs der beiden Preisoptionen, welche in Relation zur No-Choice-Referenzalternative gebildet werden, deutlich positiv ausfallen. Demnach schreiben die Testpersonen der No-Choice-Alternative nur einen geringen Nutzen zu.

Entscheidet sich der Anbieter jedoch, eine Preisgestaltung nach Art des zweiten Modells anzubieten, wäre er bestrebt, die Kunden zur Nutzung der variablen Preisoption zu bewegen. Die Ursache dafür ist, dass in diesem Fall nur die Verwendung variabler Preise zum Lastmanagement des Stromnetzes geeignet wäre. Da die AC der variablen Preisoption eine positive Ausprägung gegenüber der Fixpreis-Alternative hat, sind die Testpersonen grundsätzlich eher geneigt, den variablen Preis zu wählen, was positiv für den Anbieter ist. Wie bereits erläutert, bedeutet die negative Ausprägung des Schätzers *PreisV3* in diesem Modell, dass die Testpersonen der variablen Preisoption einen höheren Nutzen zuschreiben, wenn die Preisspanne größer ist. Der Anbieter sollte demnach variable Preise für die Netzzustände des Stromüberschusses und des Strommangels wählen, die sich deutlich vom Fixpreis unterscheiden. Es ist jedoch auch zu erwähnen, dass der Schätzer *PreisV3* klein ist. Demzufolge trägt eine Umsetzung dieser Maßnahme wenig dazu bei, Personen, welche die Fixpreis-Alternative wählen, von der variablen Preisalternative zu überzeugen.

Wählt der Anbieter ein Preismodell, welches dem dritten Modell nachempfunden ist, werden die Kunden geneigt sein, den Fixpreis-Tarif zu bevorzugen. Der Schätzer der AC des Fixpreises ist deutlich größer als der Schätzer der AC des variablen Preises. Die Kunden schreiben demnach der Alternative, bei welcher ihnen eine festgelegte tägliche Vergütung sicher ist, ceteris paribus einen größeren Nutzen zu als der Alternative, bei welcher die Vergütung in Abhängigkeit der gespeicherten kWh erfolgt. Allerdings ist der Schätzer *PreisV* in diesem Modell am stärksten ausgeprägt. Aus Anbietersicht bedeutet dies, dass die Nutzer bei ihrer Entscheidung beeinflusst werden können. Bei einer höheren Ansetzung des variablen Preises werden Nutzer eher geneigt sein, die Preisoption der Vergütung in Abhängigkeit der tatsächlich gespeicherten kWh zu wählen. Allerdings ist ein höherer

variabler Preis mit einem größeren Risiko für den Anbieter verbunden. Die Fixpreis-Option bietet im Gegensatz dazu für beide Seiten eine größtmögliche Planungssicherheit. Grundsätzlich ist es aus Sicht des Anbieters jedoch erfreulich, dass die Testpersonen auch in diesem Modell der No-Choice-Alternative nur einen äußerst geringen Nutzen zuschreiben. Dies lässt sich daraus ableiten, dass die AC-Schätzer der beiden Preisalternativen deutlich positiv ausfallen.

Die Schätzer der sozioökonomischen Variablen unterschieden sich von Modell zu Modell deutlich, sind i.d.R. jedoch nur schwach ausgeprägt, womit sie keinen bedeutenden Beitrag zum Nutzen der Alternativen leisten. Aus diesem Grund muss sich der Anbieter bei der Tarifgestaltung nur wenig an ihnen orientieren.

Zum Lastmanagement des Stromnetzes sind am ehesten Tarifgestaltungen nach dem Vorbild des ersten und des dritten Modells geeignet, da es bei diesen Modellen, im Hinblick auf das Lastmanagement, nicht von Belang ist, welchen Tarif ein E-Auto-Besitzer wählt. Der Nachteil dieser Modelle, dass zu viele Fahrzeugbesitzer sich dagegen entscheiden könnten, ihre Fahrzeugbatterie zur Verfügung zu stellen, kann anhand der erhaltenen Ergebnisse vernachlässigt werden.

5.4 Fehlerbetrachtung

Hinsichtlich des erstellten Fragebogens ist es kritisch zu sehen, dass von insgesamt 172 Teilnehmenden 57 Personen die Umfrage abgebrochen haben. Dies entspricht einer Abbruchrate von 33 %. Die meisten dieser Personen haben die Befragung nach der Beantwortung der Eingangsfrage abgebrochen. Aus persönlichen Gesprächen ist hervorgegangen, dass die Befragten von der Ausführlichkeit und vermeintlichen Komplexität der Fragestellung zum ersten Discrete-Choice-Modell abgeschreckt waren. Die Frage hätte demnach kürzer formuliert werden müssen, damit weniger Personen vor ihr zurückschrecken. Auf dieses Problem wurde bereits durch Probanden des Pretests hingewiesen, woraufhin die Fragestellung angepasst wurde. Die Schwierigkeit bei der Beschreibung der Ausgangssituationen der durchgeführten Discrete-Choice-Modelle besteht darin, den passenden Mittelweg zu wählen, bei welchem die Erläuterungen für die Testpersonen so kurz wie möglich, aber dennoch so lang wie nötig sind. Retrospektiv wäre es vorteilhafter gewesen,



dass zweite Modell (Frageblock 3) voranzustellen, da bei diesem die Fragestellung weniger komplex ist und weniger Probanden abgeschreckt hätte.

Des Weiteren wurde von einer Testperson angemerkt, dass sie bei der Beantwortung der Choice Sets des dritten Modells gerne Informationen darüber gehabt hätte, ob sie ihr Fahrzeug eine Mindestanzahl an Stunden an eine Ladestation anschließen müsste, um den festgelegten Fixpreis pro Tag ausgezahlt zu bekommen. Diese Testperson hat in den entsprechenden Choice Sets ausschließlich die Option des variablen Preises gewählt. Es ist nicht auszuschließen, dass auch andere Testpersonen diese Unsicherheit empfunden und es deshalb vermieden haben, die Fixpreis-Option zu wählen, was zu verzerrten Schätzern führen würde. Verzerrte Schätzparameter kommen außerdem zustande, da das Gehalt, das Alter und die Anzahl der täglich gefahrenen Kilometer in Klassen abgefragt wurden. Damit wird zwar dem wissenschaftlichen Standard gefolgt, die tatsächlichen Ausprägungen der jeweiligen Variablen bleiben jedoch unbekannt.

5.5 Ausblick

Durch Anmerkungen am Ende des Fragebogens und durch persönliche Gespräche ergaben sich folgende Meinungen einiger Probanden hinsichtlich der Ausgangsfragestellung dieser Arbeit, inwieweit eine Bereitschaft besteht, sein E-Auto als temporären Energiespeicher zur Verfügung zu stellen.

Zum einen besteht bei vielen Personen die Sorge, dass es durch die zusätzlichen Ladezyklen zu einer verstärkten Abnutzung des Fahrzeugakkus kommt. Aus diesem Grund waren einige Personen in der Umfrage nicht bereit, ihr hypothetisches E-Auto als Energiespeicher zur Verfügung zu stellen. In Kapitel 2.4 wurde der aktuelle Forschungsstand bereits erläutert, wonach nicht davon auszugehen ist, dass es durch die zusätzlich entstehenden Ladezyklen zu einer verkürzten Batterielevensdauer kommt. Derzeit ist davon auszugehen, dass auch beim Einsatz von E-Autos als temporäre Energiespeicher die kalendarische Alterung der Batterie gegenüber der zyklischen Alterung überwiegt. Derartige Bedenken der Fahrzeugbesitzer müssen natürlich dennoch vonseiten der Anbieter wahrgenommen und bestenfalls aufgelöst werden, wenn es zum flächendeckenden Einsatz der Technologie



kommen soll. Es sind weitere Forschungen zu diesem Thema nötig, um den Fahrzeugbesitzern zweifelsfreie Antworten liefern zu können.

Einige Testpersonen merkten zudem an, dass sie es sich nur vorstellen könnten, ihr E-Auto als Energiespeicher zur Verfügung zu stellen, wenn sie ein eigenes Haus mit eigener Lademöglichkeit besäßen. Andernfalls würden sie es als zu umständlich empfinden, jeden Tag extra eine Ladestation anfahren zu müssen, um an dem System teilzunehmen. Wie in Kapitel 2.3 bereits erläutert wurde, sollte das Leben in einem Haus mit privater Lademöglichkeit zukünftig jedoch keine Grundvoraussetzung sein, um unkompliziert am System des bidirektionalen Ladens teilnehmen zu können. Dafür ist die Errichtung einer flächendeckenden öffentlichen bidirektionalen Ladeinfrastruktur notwendig. Der Ausbau der Ladeinfrastruktur in Deutschland ist ohnehin erforderlich, wenn weite Teile der Bevölkerung zum Umstieg auf ein E-Auto überzeugt werden sollen.

Darüber hinaus gaben einige Testpersonen an, dass sie den derzeitigen "Tarifdschungel" der verschiedenen Betreiber von Ladestationen als störend empfinden. Dabei wurde die Meinung vertreten, dass eine Vereinheitlichung der verschiedenen Zahlungs- und Rabattsysteme stattfinden müsste, um das Laden von E-Autos so einfach und komfortabel wie möglich zu gestalten. In diesem Zusammenhang wurde die Sorge geäußert, dass durch das bidirektionale Laden eine Vielzahl zusätzlicher Tarifoptionen entsteht. Um eine möglichst viele E-Auto-Besitzer zu überzeugen, ihr Fahrzeug als temporären Energiespeicher zur Verfügung zu stellen, ist es demnach erforderlich, möglichst einheitliche Tarife zu gestalten. Im Optimalfall sollte der Besitzer eines E-Autos sowohl zuhause als auch an allen öffentlichen Ladestationen zu den gleichen Vertragskonditionen bidirektional laden können.



Kapitel 6 Fazit

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Frage beleuchtet, inwiefern Besitzer von E-Autos dazu bereit sind, einen Teil ihrer Fahrzeugbatterie zur Verfügung zu stellen, um überschüssige elektrische Energie aus dem Stromnetz durch bidirektionales Laden temporär zu speichern. Dabei bestand ein besonderes Interesse darin herauszufinden, ob variable Preise ein geeigneter Anreiz sind, um Personen vom bidirektionalen Laden zu überzeugen.

Zunächst wurde eine Definition relevanter Begrifflichkeiten zu dieser Thematik vorgenommen. Im Zuge dessen wurden unter anderem ein allgemeiner Überblick über das deutsche Stromnetz, eine Erklärung des im Aufbau befindlichen Smart Grid und eine Erläuterung des bidirektionalen Ladens gegeben. Darüber hinaus wurde das Prinzip der variablen Preisgestaltung dargelegt.

In dieser Arbeit wurde eine Choice Based Conjoint-Analyse (CBCA) durchgeführt. Das allgemeine Prinzip dieser Analyse wurde in Verbindung mit der Discrete-Choice-Theorie theoretisch erklärt. Zur Gewinnung eines Datensatzes wurde eine Stated Choice-Befragung durchgeführt. Bei dieser Befragungsform werden den Probanden verschiedene hypothetische Auswahlmöglichkeiten (engl.: Choice Sets) vorgesetzt. Im selbst erstellten Fragebogen mussten die Probanden jeweils wählen, ob sie den vorgeschlagenen variablen Preis oder den Fixpreis bevorzugen.

Die gewonnenen Daten wurden mithilfe von multinomialen Logit-Choice-Modellen (MNL) ausgewertet. Es wurden drei verschiedene Modelle formuliert, welche unterschiedliche Tarifgestaltungen darstellen. Dabei ergab sich, dass die Probanden ihre Wahl hauptsächlich von der Alternative selbst und weniger von der Ausgestaltung der Preise abhängig machen. Variable Preise sind demnach nicht grundsätzlich ungeeignet, um Personen vom bidirektionalen Laden zu überzeugen. Allerdings müsste die variable Preisgestaltung deutlich vorteilhafter als die Ausgestaltung des Fixpreises sein, um Personen, welche eher die Fixpreis-Alternative bevorzugen, umzustimmen. Da bidirektionales Laden erst in einigen Jahren flächendeckend zum Lastmanagement des Stromnetzes eingesetzt werden könnte, ist die durchgeführte Befragung rein hypothetisch. Es ist durchaus möglich, dass sich Personen in einer echten Auswahlmöglichkeit vollkommen anders verhalten würden.



Literaturverzeichnis

- Albers, Sönke u.a. (2009): *Methodik der empirischen Forschung*, Gabler, 3., überarbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden
- Backhaus, Klaus u.a. (1994): *Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung*, Springer-Verlag, 7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Berlin, Heidelberg
- Backhaus, Klaus u.a. (2015): *Fortgeschrittene Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung*, Springer-Verlag, 3., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Berlin, Heidelberg
- BMUV – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2016): *Elektromobilität (Definition i.S. der Bundesregierung)*, <https://www.erneuerbar-mobil.de/glossar/elektromobilitaet-definition-der-bundesregierung>, abgerufen am 13.01.2022
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022): *Netzbetrieb und Systemsicherheit*, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/NetzeUndNetzausbau/netzbetrieb-und-systemsicherheit.html>, abgerufen am 10.01.2022
- BNetzA – Bundesnetzagentur (2022): *Anreizregulierung von Strom- und Gasnetzbetreibern*, https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Netzentgelte/Anreizregulierung/start.html, abgerufen am 10.01.2022
- Croissant, Yves (2012): *Estimation of multinomial logit models in R : The mlogit Packages*, <https://mran.microsoft.com/snapshot/2016-02-16/web/packages/mlogit/vignettes/mlogit.pdf>, abgerufen am 20.11.2021.



- DKE – Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (2016): *Die deutsche Normungsroadmap E-Energy/Smart Grid*, VDE – Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., Frankfurt a.M.
- Dütschke, Elisabeth u.a. (2012): *Variable Stromtarife aus Kundensicht: Akzeptanzstudie auf Basis einer Conjoint-Analyse*, Working Paper Sustainability and Innovation, No. S1/2012, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe
- EnBW – Energie Baden-Württemberg AG (2021): *Mit der Liberalisierung öffnete der Gesetzgeber die Märkte für Strom und Gas für den freien Wettbewerb. Sie unterliegen jedoch einer staatlichen Regulierung.*, <https://www.enbw.com/energie-entdecken/energiwirtschaft-und-politik/politik/liberalisierung/regulierung.html>, abgerufen am 11.01.2022
- energielösung GmbH (2021): *Wallbox Förderung – Antrag stellen: Das müssen Sie wissen!*, https://www.energieloesung.de/magazin/?s=Wallbox&id=3427&post_type=post, abgerufen am 13.01.2022
- E.ON Energie Deutschland GmbH (2022a): *Zusammensetzung des Strompreises*, <https://www.eon.de/de/pk/strom/preisbildung-strom.html>, abgerufen am 11.01.2022
- E.ON Energie Deutschland GmbH (2022b): *Smart Meter Pflicht: Stromzähler werden intelligent*, <https://www.eon.de/de/eonerleben/smart-meter-pflicht-in-deutschland.html>, abgerufen am 12.01.2022
- ETG – Energietechnische Gesellschaft (2013): *Bidirektionales Ladegerät für Elektrofahrzeuge als Energiespeicher im Smart Grid*, <https://www.vde.com/de/etg/arbeitsgebiete/informationen/bidirektionales-ladegeraet-fuer-elektrofahrzeuge-als-energiespeicher-im-smart-grid>, abgerufen am 14.01.2022



Handelsblatt (2021): „*Bidirektionales Laden*“: *So will Volkswagen am Speichern von Strom verdienen*,

<https://www.handelsblatt.com/mobilitaet/elektromobilitaet/elektromobilitaet-bidirektionales-laden-so-will-volkswagen-am-speichern-von-strom-verdienen/27052182.html?ticket=ST-316248-tfbUBz3CXXCxdvmyAr9o-ap3>,
abgerufen am 14.01.2022

Jochem, Patrick (2018): *Unbundling*, Gabler Wirtschaftslexikon,

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/unbundling-51196/version-274395>, abgerufen am 11.01.2022

Kamps, Udo (2018a): *diskretes Merkmal*, Gabler Wirtschaftslexikon,

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/diskretes-merkmal-30369/version-253953>, abgerufen am 24.01.2022

Kamps, Udo (2018b): *stetiges Merkmal*, Gabler Wirtschaftslexikon,

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/stetiges-merkmal-45782/version-269070>, abgerufen am 24.01.2022

KBA – Kraftfahrt-Bundesamt (2022): *Fahrzeugzulassungen im Dezember 2021 - Jahresbilanz*, Pressemitteilung Nr. 01/2022, Flensburg

Louviere, Jordan J. u.a. (2009): *Stated choice methods: analysis and applications*, Cambridge University Press, 6. Auflage Cambridge

Maier, Gunther u. Weiss, Peter (1990): *Modelle diskreter Entscheidungen: Theorie und Anwendung in den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften*, Springer-Verlag, Wien

Nabe, Christian u.a. (2009): *Einführung von lastvariablen und zeitvariablen Tarifen*, im Auftrag der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen

Netzentwicklungsplan Strom: *Stromnetze*, im Auftrag der 50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH und TransnetBW GmbH,



<https://www.netzentwicklungsplan.de/de/wissen/stromnetze>, abgerufen am 11.01.2022

NPM – Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2020): *Netzebenen und Stromfluss im deutschen Stromnetz*, <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/news/ag-5-erarbeitet-gemeinsame-definition-von-netzintegration/>, abgerufen am 10.01.2022

SPD, Grüne, FDP (2021): *Mehr Fortschritt wagen: Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit*, Koalitionsvertrag 2021 – 2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN und den Freien Demokraten (FDP), Berlin

Stadler, Michael u.a. (2004): *Die Bedeutung von dynamischen Tarifmodellen und neuer Ansätze des Demand-Side-Managements als Ergänzung zu Hedging-Maßnahmen in deregulierten Elektrizitätsmärkten*, Österreichische Nationalbibliothek, Nr. 7895, Endbericht

Statista (2020): *Anteil der Elektroautos am Bestand der Personenkraftwagen in Deutschland von 2018 bis 2020 und Prognose bis 2030*, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1202904/umfrage/anteil-der-elektroautos-am-pkw-bestand-in-deutschland/#statisticContainer>, abgerufen am 13.01.2022

Statista (2021a): *Anzahl der Stromnetzbetreiber in Deutschland in den Jahren 2011 bis 2021*, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/152937/umfrage/anzahl-der-stromnetzbetreiber-in-deutschland-seit-2006/>, abgerufen am 10.01.2022

Statista (2021b): *Anzahl der Elektroautos in Deutschland von 2011 bis 2021*, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/265995/umfrage/anzahl-der-elektroautos-in-deutschland/>, abgerufen am 13.01.2022

Statista (2022): *Anzahl der Personen in Deutschland, die einen PKW-Führerschein besitzen, von 2018 bis 2021*,



<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/172091/umfrage/besitz-eines-pkw-fuehrerscheins/>, abgerufen am 06.02.2022

Strom-Report (2021): *"Der deutsche Strommix 2011 – 2020: Gewinner & Verlierer"*, <https://strom-report.de/download/deutscher-strommix-entwicklung-10-jahre/>, abgerufen am 10.01.2022

SurveyMonkey (2022): *Stichprobenrechner*, <https://www.surveymonkey.de/mp/sample-size-calculator/>, abgerufen am 06.02.2022

Thielmann, Axel u.a. (2020): *Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf*, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe

VDE/VDI – Fachgesellschaft Mikroelektronik, Mikrosystem- und Feinwerktechnik (GMM) (2021): *Smart Grid mit Mikroelektronik*, VDE – Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., Frankfurt a.M.

VDE Mobility (2019): *Faktencheck Bidirektionale Energieflüsse*, VDE – Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., Frankfurt a.M.

Zander, Wolfgang u.a. (2017): *dena-NETZFLEXSTUDIE: Optimierter Einsatz von Speichern für Netz- und Marktanwendungen in der Stromversorgung*, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin



Anhang

Akzeptanz von E-Autos als Energiespeicher im Smart Grid

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer, vielen Dank für Ihr Interesse an dieser Umfrage zur Akzeptanz von E-Autos als Teil des Smart Grid!

Smart Grid beschreibt ein "intelligentes Stromnetz", welches durch die Möglichkeiten der Digitalisierung gesteuert werden kann. Dadurch werden die Schwankungen beim Stromangebot und bei der Stromnachfrage effizienter ausgeglichen.

Diese Umfrage untersucht, inwiefern Besitzer von E-Autos gewillt sind, einen Teil der Batterie ihres Fahrzeugs als Energiespeicher im Smart Grid zur Verfügung zu stellen und ob sie als Vergütung eher variable oder fixe Preise bevorzugen.

Die erhobenen Daten werden im Rahmen meiner Masterarbeit ausgewertet. Die Umfrage ist anonym und dauert ca. **10 Minuten**. Als Belohnung für Ihre Teilnahme können Sie am Ende der Umfrage an der Verlosung eines **Amazon-Gutscheins** im Wert von **20 €** teilnehmen.

Vielen Dank vorab für Ihre Teilnahme!
Richard Granse

Dies ist eine anonyme Umfrage.

In den Umfrageantworten werden keine persönlichen Informationen über Sie gespeichert, es sei denn, in einer Frage wird explizit danach gefragt.

Wenn Sie für diese Umfrage einen Zugangsschlüssel benutzt haben, so können Sie sicher sein, dass der Zugangsschlüssel nicht zusammen mit den Daten abgespeichert wurde. Er wird in einer getrennten Datenbank aufbewahrt und nur aktualisiert, um zu speichern, ob Sie diese Umfrage abgeschlossen haben oder nicht. Es gibt keinen Weg, die Zugangsschlüssel mit den Umfrageergebnissen zusammenzuführen.

1. Situationsüberblick

***Stellen Sie sich vor, Sie sind Besitzer eines E-Autos:**

- Es besteht die Möglichkeit, dass Sie Ihr E-Auto dem Stromversorger als Zwischenspeicher für Strom zur Verfügung stellen.
- Dadurch kann der Stromversorger einen festgelegten Anteil der Batterie Ihres Fahrzeugs frei be- und entladen (Bidirektionales Laden), um Strom zwischenspeichern.
- Auf die Kapazität dieses Batterieanteils können Sie währenddessen nicht zugreifen.
- Sie müssen Ihr Fahrzeug lediglich an eine heimische oder öffentliche Ladestation anschließen, sobald es geparkt wird.
- Das Bidirektionale Laden wird besonders "sanft" durchgeführt, um den Akku Ihres E-Autos zu schonen.
- Am Beginn eines jeden Ladevorgangs können Sie die Zwischenspeicherung auch deaktivieren, wenn Sie selbst die volle Kapazität für eine lange Fahrt benötigen.
- Im Gegenzug fallen für Sie deutlich geringere Kosten beim Strombezug an.
Im Extremfall können Sie sogar Geld dafür erhalten, dass Sie dem überlasteten Netz Strom "abnehmen".

Würden Sie Ihr E-Auto unter diesen Voraussetzungen als temporären Energiespeicher zur Verfügung stellen?

Ja

Nein

2. Variable Preise nach Netzauslastung

Die Verfügbarkeit von Strom ist abhängig von der aktuellen Nachfrage und der aktuellen Stromproduktion.

Je nachdem, ob es gerade notwendig ist, dem Stromnetz Strom zuzuführen oder Strom abzunehmen, können die Strompreise schwanken.

Wenn es z.B. gerade nötig ist, das Stromnetz zu entlasten (weil durch Solar- oder Windenergie zu viel Strom produziert wird), senken die Stromversorger die Strompreise.

Gehen Sie davon aus, dass Sie 30 kWh der Batterie Ihres E-Autos als Zwischenspeicher zur Verfügung stellen könnten.

Dies entspricht ca. der Hälfte der Speicherkapazität eines E-Autos der Mittelklasse.

Der angenommene Strompreis liegt bei 30 ct/kWh.

Zur Ladung des Speicheranteils des Stromversorgers sind zwei Preismodelle möglich:

Beim Fixpreismodell gilt:

Wenn Strom in Ihr E-Auto geladen wird, erhalten Sie einen Preisnachlass von 10 ct/kWh - Sie zahlen nur noch 20 ct/kWh.

Wenn Strom aus Ihrem E-Auto in das Netz zurückgeführt wird, erhalten Sie zusätzlich 10 ct/kWh - Sie erhalten insgesamt 40ct/kWh.

Beim **variablen Preismodell** schwankt der Preisnachlass beim Stromkauf und bei der Stromabgabe in Abhängigkeit der Netzauslastung.

Sie können im Vorfeld nicht genau abschätzen, wann welcher Preis gilt.

Bitte entscheiden Sie in den folgenden 12 Szenarien jeweils:

Wählen Sie den variablen Preis (welcher je nach Netzauslastung schwankt) oder den Fixpreis?

Oder überzeugt Sie keine der beiden Optionen und Sie möchten Ihr Fahrzeug unter diesen Bedingungen nicht als Stromspeicher zur Verfügung stellen?

Der Stromversorger kann frei entscheiden, ob und wann er "seinen" Anteil Ihrer Fahrzeugbatterie be- oder entlädt.

Bei Stromüberschuss im Netz wird er Strom in Ihr E-Auto einspeisen. Bei Strommangel wird er Strom aus Ihrem E-Auto ins Netz zurückführen.

Zu jeder Zeit muss er aber "Ihren" Batterieanteil zu den normalen Stromkosten von 30 ct/kWh aufladen.



<input type="radio"/> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">Variable Preise</th></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Strommangel im Netz</td> <td style="text-align: center;">Stromüberschuss im Netz</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">+12 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe) Sie erhalten: 42 ct/kWh</small></td> <td style="text-align: center;">-8 ct/kWh <small>(bei Stromkauf) Sie zahlen: 22 ct/kWh</small></td> </tr> </table>	Variable Preise		Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz	+12 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe) Sie erhalten: 42 ct/kWh</small>	-8 ct/kWh <small>(bei Stromkauf) Sie zahlen: 22 ct/kWh</small>	<input type="radio"/> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>Fixpreis</th></tr> <tr> <td style="text-align: center;">+/-10 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 40 ct/kWh / 20 ct/kWh</small></td> </tr> </table>	Fixpreis	+/-10 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 40 ct/kWh / 20 ct/kWh</small>	<input type="radio"/> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">keine der Optionen überzeugt mich</td> </tr> </table>	keine der Optionen überzeugt mich
Variable Preise											
Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz										
+12 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe) Sie erhalten: 42 ct/kWh</small>	-8 ct/kWh <small>(bei Stromkauf) Sie zahlen: 22 ct/kWh</small>										
Fixpreis											
+/-10 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 40 ct/kWh / 20 ct/kWh</small>											
keine der Optionen überzeugt mich											

*

<input type="radio"/> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">Variable Preise</th></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Strommangel im Netz</td> <td style="text-align: center;">Stromüberschuss im Netz</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">+7 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe) Sie erhalten: 37 ct/kWh</small></td> <td style="text-align: center;">-13 ct/kWh <small>(bei Stromkauf) Sie zahlen: 17 ct/kWh</small></td> </tr> </table>	Variable Preise		Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz	+7 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe) Sie erhalten: 37 ct/kWh</small>	-13 ct/kWh <small>(bei Stromkauf) Sie zahlen: 17 ct/kWh</small>	<input type="radio"/> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>Fixpreis</th></tr> <tr> <td style="text-align: center;">+/-10 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 40 ct/kWh / 20 ct/kWh</small></td> </tr> </table>	Fixpreis	+/-10 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 40 ct/kWh / 20 ct/kWh</small>	<input type="radio"/> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">keine der Optionen überzeugt mich</td> </tr> </table>	keine der Optionen überzeugt mich
Variable Preise											
Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz										
+7 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe) Sie erhalten: 37 ct/kWh</small>	-13 ct/kWh <small>(bei Stromkauf) Sie zahlen: 17 ct/kWh</small>										
Fixpreis											
+/-10 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 40 ct/kWh / 20 ct/kWh</small>											
keine der Optionen überzeugt mich											

<input type="radio"/> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">Variable Preise</th></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Strommangel im Netz</td> <td style="text-align: center;">Stromüberschuss im Netz</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">+14 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe) Sie erhalten: 44 ct/kWh</small></td> <td style="text-align: center;">-8 ct/kWh <small>(bei Stromkauf) Sie zahlen: 22 ct/kWh</small></td> </tr> </table>	Variable Preise		Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz	+14 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe) Sie erhalten: 44 ct/kWh</small>	-8 ct/kWh <small>(bei Stromkauf) Sie zahlen: 22 ct/kWh</small>	<input type="radio"/> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>Fixpreis</th></tr> <tr> <td style="text-align: center;">+/-10 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 40 ct/kWh / 20 ct/kWh</small></td> </tr> </table>	Fixpreis	+/-10 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 40 ct/kWh / 20 ct/kWh</small>	<input type="radio"/> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">keine der Optionen überzeugt mich</td> </tr> </table>	keine der Optionen überzeugt mich
Variable Preise											
Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz										
+14 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe) Sie erhalten: 44 ct/kWh</small>	-8 ct/kWh <small>(bei Stromkauf) Sie zahlen: 22 ct/kWh</small>										
Fixpreis											
+/-10 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 40 ct/kWh / 20 ct/kWh</small>											
keine der Optionen überzeugt mich											

*

<input type="radio"/> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">Variable Preise</th></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Strommangel im Netz</td> <td style="text-align: center;">Stromüberschuss im Netz</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">+7 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe) Sie erhalten: 37 ct/kWh</small></td> <td style="text-align: center;">-16 ct/kWh <small>(bei Stromkauf) Sie zahlen: 14 ct/kWh</small></td> </tr> </table>	Variable Preise		Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz	+7 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe) Sie erhalten: 37 ct/kWh</small>	-16 ct/kWh <small>(bei Stromkauf) Sie zahlen: 14 ct/kWh</small>	<input type="radio"/> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>Fixpreis</th></tr> <tr> <td style="text-align: center;">+/-10 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 40 ct/kWh / 20 ct/kWh</small></td> </tr> </table>	Fixpreis	+/-10 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 40 ct/kWh / 20 ct/kWh</small>	<input type="radio"/> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">keine der Optionen überzeugt mich</td> </tr> </table>	keine der Optionen überzeugt mich
Variable Preise											
Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz										
+7 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe) Sie erhalten: 37 ct/kWh</small>	-16 ct/kWh <small>(bei Stromkauf) Sie zahlen: 14 ct/kWh</small>										
Fixpreis											
+/-10 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 40 ct/kWh / 20 ct/kWh</small>											
keine der Optionen überzeugt mich											

<input type="radio"/> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">Variable Preise</th></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Strommangel im Netz</td> <td style="text-align: center;">Stromüberschuss im Netz</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">+18 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe) Sie erhalten: 48 ct/kWh</small></td> <td style="text-align: center;">-12 ct/kWh <small>(bei Stromkauf) Sie zahlen: 18 ct/kWh</small></td> </tr> </table>	Variable Preise		Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz	+18 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe) Sie erhalten: 48 ct/kWh</small>	-12 ct/kWh <small>(bei Stromkauf) Sie zahlen: 18 ct/kWh</small>	<input type="radio"/> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>Fixpreis</th></tr> <tr> <td style="text-align: center;">+/-15 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 45 ct/kWh / 15 ct/kWh</small></td> </tr> </table>	Fixpreis	+/-15 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 45 ct/kWh / 15 ct/kWh</small>	<input type="radio"/> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">keine der Optionen überzeugt mich</td> </tr> </table>	keine der Optionen überzeugt mich
Variable Preise											
Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz										
+18 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe) Sie erhalten: 48 ct/kWh</small>	-12 ct/kWh <small>(bei Stromkauf) Sie zahlen: 18 ct/kWh</small>										
Fixpreis											
+/-15 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 45 ct/kWh / 15 ct/kWh</small>											
keine der Optionen überzeugt mich											

*

<input type="radio"/> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">Variable Preise</th></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Strommangel im Netz</td> <td style="text-align: center;">Stromüberschuss im Netz</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">+11 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe) Sie erhalten: 41 ct/kWh</small></td> <td style="text-align: center;">-19 ct/kWh <small>(bei Stromkauf) Sie zahlen: 11 ct/kWh</small></td> </tr> </table>	Variable Preise		Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz	+11 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe) Sie erhalten: 41 ct/kWh</small>	-19 ct/kWh <small>(bei Stromkauf) Sie zahlen: 11 ct/kWh</small>	<input type="radio"/> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>Fixpreis</th></tr> <tr> <td style="text-align: center;">+/-15 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 45 ct/kWh / 15 ct/kWh</small></td> </tr> </table>	Fixpreis	+/-15 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 45 ct/kWh / 15 ct/kWh</small>	<input type="radio"/> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">keine der Optionen überzeugt mich</td> </tr> </table>	keine der Optionen überzeugt mich
Variable Preise											
Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz										
+11 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe) Sie erhalten: 41 ct/kWh</small>	-19 ct/kWh <small>(bei Stromkauf) Sie zahlen: 11 ct/kWh</small>										
Fixpreis											
+/-15 ct/kWh <small>(bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 45 ct/kWh / 15 ct/kWh</small>											
keine der Optionen überzeugt mich											



Variable Preise		Fixpreis	keine der Optionen überzeugt mich
Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz	+/-15 ct/kWh (bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 45 ct/kWh / 15 ct/kWh	
+21 ct/kWh (bei Stromabgabe) Sie erhalten: 51 ct/kWh	-11 ct/kWh (bei Stromkauf) Sie zahlen: 19 ct/kWh		

*

Variable Preise		Fixpreis	keine der Optionen überzeugt mich
Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz	+/-15 ct/kWh (bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 45 ct/kWh / 15 ct/kWh	
+10 ct/kWh (bei Stromabgabe) Sie erhalten: 40 ct/kWh	-23 ct/kWh (bei Stromkauf) Sie zahlen: 7 ct/kWh		

Variable Preise		Fixpreis	keine der Optionen überzeugt mich
Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz	+/-20 ct/kWh (bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 50 ct/kWh / 10 ct/kWh	
+24 ct/kWh (bei Stromabgabe) Sie erhalten: 54 ct/kWh	-16 ct/kWh (bei Stromkauf) Sie zahlen: 14 ct/kWh		

*

Variable Preise		Fixpreis	keine der Optionen überzeugt mich
Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz	+/-20 ct/kWh (bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 50 ct/kWh / 10 ct/kWh	
+17 ct/kWh (bei Stromabgabe) Sie erhalten: 47 ct/kWh	-23 ct/kWh (bei Stromkauf) Sie zahlen: 7 ct/kWh		

Variable Preise		Fixpreis	keine der Optionen überzeugt mich
Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz	+/-20 ct/kWh (bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 50 ct/kWh / 10 ct/kWh	
+34 ct/kWh (bei Stromabgabe) Sie erhalten: 64 ct/kWh	-10 ct/kWh (bei Stromkauf) Sie zahlen: 20 ct/kWh		

*

Variable Preise		Fixpreis	keine der Optionen überzeugt mich
Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz	+/-20 ct/kWh (bei Stromabgabe bzw. -kauf) Sie erhalten/zahlen: 50 ct/kWh / 10 ct/kWh	
+9 ct/kWh (bei Stromabgabe) Sie erhalten: 39 ct/kWh	-35 ct/kWh (bei Stromkauf) Sie erhalten: 5 ct/kWh		



3. Variable Preise bei frei verfügbarem Akku

Gehen Sie nun davon aus, dass Sie über den gesamten Akku Ihres E-Autos frei verfügen können. Sie können jederzeit Ihr E-Auto mit Strom beladen. Ein Entladen findet zu keinem Zeitpunkt statt. Zur Ladung Ihres Akkus sind zwei Preismodelle möglich:

Beim Fixpreismodell gilt:

Wenn Sie Strom in Ihr E-Auto laden, zahlen Sie zu jedem Zeitpunkt 30 ct/kWh.

Beim variablen Preismodell schwankt der Strompreis in Abhängigkeit der Netzauslastung.

Sie können im Vorfeld nicht genau abschätzen, wann welcher Preis gilt.

Bitte entscheiden Sie in den folgenden 10 Szenarien jeweils:

Wählen Sie den variablen Preis (welcher je nach Netzauslastung schwankt) oder den Fixpreis?

Variable Preise		
ausgeglichenes Stromnetz	Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz
30 ct/kWh	35 ct/kWh	25 ct/kWh

Fixpreis
30 ct/kWh

Variable Preise		
ausgeglichenes Stromnetz	Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz
30 ct/kWh	35 ct/kWh	20 ct/kWh

Fixpreis
30 ct/kWh

Variable Preise		
ausgeglichenes Stromnetz	Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz
30 ct/kWh	40 ct/kWh	20 ct/kWh

Fixpreis
30 ct/kWh

Variable Preise		
ausgeglichenes Stromnetz	Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz
30 ct/kWh	40 ct/kWh	25 ct/kWh

Fixpreis
30 ct/kWh

Variable Preise		
ausgeglichenes Stromnetz	Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz
30 ct/kWh	45 ct/kWh	15 ct/kWh

Fixpreis
30 ct/kWh



Variable Preise		
ausgeglichenes Stromnetz	Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz
30 ct/kWh	45 ct/kWh	10 ct/kWh

Fixpreis
30 ct/kWh

*

Variable Preise		
ausgeglichenes Stromnetz	Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz
30 ct/kWh	45 ct/kWh	5 ct/kWh

Fixpreis
30 ct/kWh

Variable Preise		
ausgeglichenes Stromnetz	Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz
30 ct/kWh	50 ct/kWh	10 ct/kWh

Fixpreis
30 ct/kWh

*

Variable Preise		
ausgeglichenes Stromnetz	Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz
30 ct/kWh	50 ct/kWh	5 ct/kWh

Fixpreis
30 ct/kWh

*

Variable Preise		
ausgeglichenes Stromnetz	Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz
30 ct/kWh	50 ct/kWh	5 ct/kWh

Fixpreis
30 ct/kWh

*

Variable Preise		
ausgeglichenes Stromnetz	Strommangel im Netz	Stromüberschuss im Netz
30 ct/kWh	50 ct/kWh	20 ct/kWh

Fixpreis
30 ct/kWh



4. Vergütung nach Strommenge oder Fixpreis

Gehen Sie davon aus, dass Sie 30 kWh Ihrer Fahrzeugbatterie als Zwischenspeicher zur Verfügung stellen könnten. Dies entspricht ca. der Hälfte der Speicherkapazität eines E-Autos der Mittelklasse.

Bitte entscheiden Sie in den folgenden 9 Szenarien jeweils:
Sind Sie an einer Vergütung pro gespeicherter Kilowattstunde (kWh) oder an einem Fixpreis pro Tag interessiert?
 Oder überzeugt Sie keine der beiden Optionen und Sie möchten Ihr Fahrzeug unter diesen Bedingungen nicht als Stromspeicher zur Verfügung stellen?

Wie viel der zur Verfügung stehenden 30 kWh der Stromversorger tatsächlich zum Zwischenspeichern von Strom ausnutzt, ist Ihnen im Voraus nicht bekannt. Egal, ob Sie sich für die Vergütung nach gespeicherten kWh oder für den Fixpreis pro Tag entscheiden: Sie müssen in diesem Rechenbeispiel in jedem Fall 30 kWh Ihrer Batterie für den Stromversorger vorhalten.

* Vergütung nach Strommenge

10 ct/kWh (Maximal: 3,00 €/Tag)

 Fixpreis

2,00 €/Tag

 keine der Optionen überzeugt mich

* Vergütung nach Strommenge

15 ct/kWh (Maximal: 4,50 €/Tag)

 Fixpreis

2,00 €/Tag

 keine der Optionen überzeugt mich

* Vergütung nach Strommenge

20 ct/kWh (Maximal: 6,00 €/Tag)

 Fixpreis

2,00 €/Tag

 keine der Optionen überzeugt mich

* Vergütung nach Strommenge

15 ct/kWh (Maximal: 4,50 €/Tag)

 Fixpreis

3,00 €/Tag

 keine der Optionen überzeugt mich



Vergütung nach Strommenge
20 ct/kWh
(Maximal: 6,00 €/Tag)

Fixpreis
3,00 €/Tag

keine der Optionen überzeugt mich

Vergütung nach Strommenge
25 ct/kWh
(Maximal: 7,50 €/Tag)

Fixpreis
3,00 €/Tag

keine der Optionen überzeugt mich

Vergütung nach Strommenge
20 ct/kWh
(Maximal: 6,00 €/Tag)

Fixpreis
4,00 €/Tag

keine der Optionen überzeugt mich

Vergütung nach Strommenge
25 ct/kWh
(Maximal: 7,50 €/Tag)

Fixpreis
4,00 €/Tag

keine der Optionen überzeugt mich

Vergütung nach Strommenge
30 ct/kWh
(Maximal: 9,00 €/Tag)

Fixpreis
4,00 €/Tag

keine der Optionen überzeugt mich



5. Fragen zu Ihrer Person

* Welches Geschlecht haben Sie?

- Weiblich
- Männlich

* Wie alt sind Sie?

- jünger als 20 Jahre
- 20 bis 29 Jahre
- 30 bis 39 Jahre
- 40 bis 49 Jahre
- 50 bis 59 Jahre
- 60 Jahre oder älter

* Wie ist Ihre derzeitige Arbeitssituation?

- Student/Schüler
- erwerbstätig
- erwerbslos
- Rentner

* Wie hoch ist Ihr monatliches Nettoeinkommen?

- weniger als 500 €
- 500 bis 1000 €
- 1001 bis 2000 €
- 2001 bis 3000 €
- 3001 bis 4000 €
- mehr als 4000 €



*Wie viele Personen, eingeschlossen Sie selbst, leben in Ihrem Haushalt?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- mehr als 5

*Wie ist Ihre aktuelle Wohnsituation?

- zur Miete (Wohnung)
- zur Miete (Haus)
- Eigentumswohnung
- eigenes Haus

*Wie viele PKW besitzt Ihr Haushalt?

- 0
- 1
- 2
- 3
- mehr als 3

*Wie viele Kilometer fahren Sie an einem durchschnittlichen Werktag ungefähr mit dem Auto?

- 0 km
- 0 bis 10 km
- 10 bis 20 km
- 20 bis 50 km
- 50 bis 100 km
- mehr als 100 km

*Sind Sie aktuell Besitzer eines E-Autos?

- Ja
- Nein

*Planen Sie, (auch) zukünftig ein E-Auto zubesitzen?

- Ja
- Nein



6. Abschluss

Bitte klicken Sie am Ende auf **Absenden**, um die Umfrage zu beenden.

Kritik oder sonstige Anregungen zu diesem Fragebogen können Sie gerne an dieser Stelle äußern.

Wollen Sie an der Verlosung des Gewinnspiels teilnehmen?

(Amazon-Gutschein im Wert von 20 €)

Falls Ja - geben Sie bitte Ihre E-Mail-Adresse an, damit Sie im Gewinnfall kontaktiert werden können.

Klicken Sie bitte auf **Absenden**, um die Umfrage zu beenden.

Absenden



Erklärung zur Urheberschaft

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbst angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher noch keiner anderen Prüfbehörde vorgelegt und noch nicht veröffentlicht. Ich bin mir bewusst, dass eine unwahre Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Dresden, den

Richard Granse



Digitale Fassung der Masterarbeit

Enthält folgende Dateien:

- Text der Masterarbeit
- Quellen: PDF-Dokumente des Literaturverzeichnisses, Internetquellen
- Abbildungen
- R-Codes
- Modellergebnisse