

Demand Response

–

interdisziplinäre Analyse der Anfänge intelligenter Steuerung der
Elektrizitätsnachfrage privater Haushalte

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Wirtschaftswissenschaften

(Dr. rer. pol.)

von der KIT-Fakultät für Wirtschaftswissenschaften des
Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl.-Kffr. Alexandra-Gwyn Paetz

Tag der mündlichen Prüfung: 21. Dezember 2023

Referent: PD Dr. Patrick Jochem

Korreferent: Prof. Dr. Martin Klarmann

Karlsruhe, 08. Dezember 2024

Eidesstattliche Versicherung
gemäß § 13 Abs. 2 Ziff. 3 der Promotionsordnung des
Karlsruher Instituts für Technologie
für die KIT-Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

1. Bei der eingereichten Dissertation zu dem Thema Demand Response handelt es sich um meine eigenständig erbrachte Leistung.
2. Ich habe nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und mich keiner unzulässigen Hilfe Dritter bedient. Insbesondere habe ich wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommene Inhalte als solche kenntlich gemacht.
3. Die Arbeit oder Teile davon habe ich bislang nicht an einer Hochschule des In- oder Auslands als Bestandteil einer Prüfungs- oder Qualifikationsleistung vorgelegt.
4. Die Richtigkeit der vorstehenden Erklärungen bestätige ich.
5. Die Bedeutung der eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unrichtigen oder unvollständigen eidesstattlichen Versicherung sind mir bekannt. Ich versichere an Eides statt, dass ich nach bestem Wissen die reine Wahrheit erkläre und nichts verschwiegen habe.

Karlsruhe, den 06.10.2023

Alexandra-Gwyn Paetz

Demand Response – interdisziplinäre Analyse der Anfänge intelligenter Steuerung der Elektrizitätsnachfrage privater Haushalte

von

Alexandra-Gwyn Paetz

Das vorliegende Werk darf von der KIT-Bibliothek frei im Internet angeboten werden. Die Nutzung erfolgt ausschließlich zu wissenschaftlichen Zwecken und zum Eigengebrauch. Die Urheberrechte liegen bei den Autorinnen bzw. Autoren. Für den Inhalt sind alleine die Autorinnen und Autoren verantwortlich. Jegliche Formen der kommerziellen Nutzung und Abänderung der Publikation sind ohne vorherige Zustimmung und Absprache mit den Autorinnen bzw. Autoren ausdrücklich verboten, es sei denn, sie sind durch eine Creative-Commons- oder vergleichbare Lizenz explizit gestattet. Die Namen der Autorinnen und Autoren müssen stets genannt werden. Die Nutzerinnen und Nutzer sind für die Einhaltung der Rechtsvorschriften selbst verantwortlich und können bei Missbrauch haftbar gemacht werden

Kurzfassung

Die Maßnahmen zur Erreichung der klima- und umweltpolitischen Emissionsminderungsziele im Energie- und Transportsektor stellen das Elektrizitätssystem vor neue Herausforderungen. Zu diesen Maßnahmen zählen u. a. die zunehmende Bereitstellung von Elektrizität aus fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen und die Integration von Elektromobilen ins Elektrizitätssystem. Zur Wahrung der Systemstabilität bei gleichzeitiger Transformation des Energiesystems werden mehrere Lösungspfade diskutiert, die sich nicht ausschließen, sondern bestenfalls ergänzen. Allen diesen Lösungspfaden ist gemein, dass sie einen gewissen Grad an “Intelligenz” und Steuerung mithilfe von IKT erfordern – unabhängig davon auf welcher Ebene der Wertschöpfungsstufe sie zum Einsatz kommen, sei es bei der Erzeugung, beim Transport, bei der Speicherung, der Bereitstellung oder bei der Nachfrage (vgl. Kapitel 1, 2 und 3).

Die vorliegende Arbeit fokussiert sich auf die Nachfrageseite. Sie ergündet, inwieweit sich die Elektrizitätsnachfrage privater Haushalte, unter Berücksichtigung ihrer Entscheidungsprozesse und ihres Verhaltens, gestalten lässt (Demand Response, DR) – unter dem Einsatz von Anreizmechanismen, unter dem Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) und unter Berücksichtigung des Mobilitätsverhaltens (vgl. Kapitel 4 und 5).

Das interdisziplinäre Forschungsdesign sieht einen Mix sozial- und wirtschaftsingenieurswissenschaftlicher Methoden vor: (1) Im ersten Schritt wird die Verhaltensabsicht (d. h. die Absicht, die Elektrizitätsnachfrage anzupassen) potenzieller Nutzer qualitativ ergründet, um Ansatzpunkte für die Gestaltung einer Labor- sowie einer Feldstudie abzuleiten. (2) Im zweiten Schritt wird das tatsächliche Verhalten (d. h. die Elektrizitätsnachfrage bei gleichzeitigem Einsatz von Anreizmechanismen) unter (quasi-) realen Bedingungen gemessen, beobachtet sowie mit qualitativen Daten untermauert. (3) Im dritten Schritt erfolgt ein Vergleich zwischen dem beobachteten Verhalten und dem modellierten rationalen Verhalten (siehe Kapitel 5, 6, 7 und 8).

Die Arbeit zeigt, dass die Verhaltensabsicht für DR geprägt ist von monetären wie auch ökologischen Vorteilen. Gleichzeitig wird die Verhaltensabsicht durch vermutete Einbußen in Alltagsroutinen und Sorgen hinsichtlich Datenschutz beim potenziellen Einsatz von IKT gehemmt.

Diese Motive bestätigen sich bei realen Nutzern sowohl im Labor (quasi-reale Wohnsituation) als auch im Feld (Testfeld Elektromobilität). Die Elektrizitätsnachfrage wird in beiden Studien tatsächlich angepasst – am stärksten beim Einsatz von Tarifmodellen mit Preisanreiz (mit Präferenz für zeitvariable Zonentarife), in Kombination mit IKT-Unterstützung und gepaart mit Informationen zu ökologischen Vorteilen. Gleichzeitig sind nicht alle Anwendungen zur Lastverlagerung geeignet (etwa Beleuchtung oder TV). Größere

Haushaltsgeräte, wie etwa eine Waschmaschine oder das Laden des Elektromobils, eignen sich hingegen durchaus und werden zu großen Teilen zu preisgünstigen Zeiten genutzt. Auf die Anwendungen wird allerdings zu keinem Zeitpunkt verzichtet, bspw. das Elektromobil bei hohem Tarif nicht zu laden und auf die Folgefahrt zu verzichten. Entsprechend können die vermuteten Einbußen real nicht beobachtet werden.

Es überrascht nicht, dass sich das im Labor und Feld beobachtete Verhalten (Verschiebung der Elektrizitätsnachfrage) auch im Optimiermodell bei rationaler Entscheidung und vollständiger Voraussicht zeigt. Umgekehrt überrascht es durchaus, wie nah das reale am rationalen Verhalten liegt. So kann im Laborumfeld beinahe dasselbe preissensible Nachfrageverhalten gemessen werden wie in einem modellierten Haushalt. Dies trifft insbesondere für Ladelasten unter Einsatz der IKT zu.

Im Ergebnis kommt die Arbeit zum Schluss, dass DR (also die Steuerung der Elektrizitätsnachfrage) bei privaten HH, insbesondere bei zukünftig mehr Elektromobilen, ein wichtiger Baustein zur Transformationsgestaltung des Energiesystems sein kann. Erforderlich hierfür ist ein entsprechend ausgestaltetes Anreizsystem, das neben monetären Vorteilen v. a. eine nutzerfreundliche Informationsaufbereitung bietet, die die ökologischen Vorteile vermittelt und die Zusammenhänge im Kontext der stärkeren Integration erneuerbarer Energien darstellt. Letzteres wird insbesondere für

das Aufladen von Elektromobilen von den Nutzern und Nutzerinnen erwartet.

Die Vorteile durch DR können für das Energiesystem aber nur ausgeschöpft werden, wenn diese systemisch sind, was eine Digitalisierung auch anderer Wertschöpfungsstufen erfordert und neue Geschäftsmodelle, auch in Kooperation, ermöglicht. So ist dann insgesamt eine Lösung für die technische Zuverlässigkeit und Datensicherheit zu finden. Gerade Letzteres ist ein Umsetzungshemmnis für DR – das zeigen die Befragungsdaten sowohl der potenziellen als auch der realen Nutzer und Nutzerinnen.

Wie andere Arbeiten, unterliegt auch diese, gewissen Grenzen, die u. a. im gewählten Methodenmix, in der Stichprobenauswahl, in der Auswahl der Sekundärdaten sowie in der (technischen) Gestaltung des Labor- und Feldtests liegen. So eröffnen diese Grenzen aber auch Ansatzpunkte für weitere Forschung, etwa bei der Gestaltung von DR mit Elektromobilen (bspw. Nutzung der Potenziale als mobile Speicher, etwa in bidirektionalen Ladestrategien).

Danksagung

Während meiner Zeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin bei Prof. Dr. Wolf Fichtner am Lehrstuhl für Energiewirtschaft des Instituts für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP) am KIT sind u. a. die Forschungsarbeiten entstanden, die die Grundlage dieser Dissertation bilden. Die Anfertigung der Dissertation ist in den Folgejahren, parallel zu meinen darauffolgenden beruflichen Stationen, erfolgt.

An erster Stelle gilt mein Dank PD Dr. Patrick Jochem (DLR) für die wissenschaftliche und moralische Betreuung während der gesamten Bearbeitungszeit meiner Arbeit. Ebenso gilt mein Dank Prof. Dr. Martin Klarmann (KIT-IISM) für die Übernahme des Korreferats.

Außerdem gilt mein Dank Professor Fichtner, der diese Arbeit erst möglich machte und mich in meinem „Forschungsdrang“ als wissenschaftliche Mitarbeiterin an seinem Lehrstuhl nie gebremst hat.

Prof. Dr. Dominik Möst, Dr. Elisabeth Dütschke und Dr.-Ing. Thomas Kaschub danke ich für die kollegiale Zusammenarbeit, die zielführenden Diskussionen und unermüdlichen Ermutigungen, die mich immer wieder neue Ansätze entdecken ließen.

Allen Kolleginnen und Kollegen am IIP, insbesondere Dr. Lutz Hillemacher, Dr. Dogan Keles und Dr. Christoph Nolden, danke ich für das angenehme Miteinander und die vielen allgemeinbildenden Ge-

spräche. Sie haben meine Arbeit unterstützt und mich gestärkt. Erwähnen möchte ich auch das wissenschaftsunterstützende Personal: Ohne verlässliche IT wäre nicht nur diese Arbeit nicht realisierbar.

Allen Teilnehmenden an meinen Studien bin ich sehr dankbar für ihre Mitwirkung ohne die eine empirische Arbeit nicht möglich wäre.

Besonders möchte ich meinen Eltern, Monika und Andreas Paetz, für Ihre Geduld sowie Jörg Hittenkofer mit unserer Tochter Magda Teresa für die stete Motivierung danken.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	v
Danksagung.....	ix
Inhaltsverzeichnis	xi
Abbildungsverzeichnis	xv
Tabellenverzeichnis.....	xvii
Abkürzungsverzeichnis.....	xviii
Modellnomenklatur	xxi
1 Motivation.....	23
1.1 Ausgangssituation	23
1.2 Elektrifizierung des Individualverkehrs	26
1.3 Energiewende.....	29
1.4 Zielsetzung.....	36
2 Demand Side Management und Demand Response	40
2.1 Ziele und Maßnahmen von Demand Response	41
2.2 Anreize zur Laststeuerung.....	44
2.3 Elektrizitätstarife als monetärer Anreizmechanismus	46
2.4 Reaktionsoptionen der Nutzer.....	51
3 Smart (Home) Technologies – Technologien im intelligent vernetzten Privathaushalt.....	56

3.1	Intelligente Messsysteme	59
3.2	Intelligente Haushaltsgeräte	61
3.3	Software zur Laststeuerung – Energiemanagementsystem.....	62
3.4	Human-Machine-Interface.....	63
3.5	Elektromobile – mobile Speicher	63
3.5.1	Elektrisch angetriebene Pkw	65
3.5.2	Elektrisch angetriebene Zweiräder	66
3.5.3	Traktionsbatterien	69
3.6	Ladevorrichtungen für Elektromobile.....	70
3.6.1	Ladeort.....	72
3.6.2	Verfügbare Ladeleistung.....	74
3.6.3	Ladebetriebsarten	75
4	Aktueller Stand der Forschung	77
4.1	Nutzerakzeptanz	78
4.1.1	Theoretische Grundlagen	78
4.1.2	Akzeptanz von Demand Response	81
4.2	Integration von Elektromobilen in das Elektrizitätssystem.....	90
5	Forschungsfrage und -design	98
5.1	Forschungsfrage	98
5.1.1	Akzeptanz von Demand Response (TF 1)	99
5.1.2	Verhaltensbasierte Lastverlagerungspotenziale (TF 2).....	100

5.1.3	Techno-ökonomische Lastverlagerungspotenziale (TF 3).....	103
5.2	Forschungsdesign.....	104
5.2.1	Interdisziplinäres Design.....	105
5.2.2	Experimentelle Umgebung: Energy Smart Home Lab	106
5.2.3	Modellierung: Demand Side Optimization plus E- Mobility.....	110
6	Akzeptanz von Demand Response.....	123
6.1	Demand Response und Smart Technologies aus Sicht potentieller Nutzer.....	124
6.1.1	Methodisches Vorgehen.....	124
6.1.2	Ergebnisse.....	133
6.1.3	Diskussion und Schlussfolgerungen.....	148
6.2	Zwischenfazit.....	157
7	Verhaltensbasierte Lastverlagerungspotenziale.....	160
7.1	Demand Response im Energy Smart Home Lab.....	162
7.1.1	Methodisches Vorgehen.....	162
7.1.2	Stichprobe.....	165
7.1.3	Ergebnisse.....	166
7.1.4	Diskussion und Schlussfolgerungen.....	180
7.2	Demand Response mit batterieelektrischen Pkw.....	186
7.2.1	Methodische Vorgehensweise.....	186
7.2.2	Stichprobe.....	189
7.2.3	Ergebnisse.....	192

7.2.4	Zusammenfassung und Ausblick.....	199
7.3	Zwischenfazit.....	202
8	Techno-ökonomische Lastverlagerungspotenziale.....	206
8.1	Demand Response unter rationalem Verhalten.....	208
8.1.1	Methodische Vorgehensweise.....	208
8.1.2	Ergebnisse.....	211
8.1.3	Diskussion und Schlussfolgerung.....	223
8.2	Zwischenfazit.....	228
9	Ergebnisdiskussion und Ausblick.....	231
	Literaturverzeichnis.....	242
	Anhang.....	282
	Fragebögen zur Studie mit potenziellen Nutzern (Kapitel 6)	
	282
	Fragebögen zur Studie mit Nutzern im Labor (Kapitel 7.1)	
	297
	Fragebögen zur Studie mit Nutzern im Feld (Kapitel 7.2)	
	317
	Programmiercode DS-Opt+ (Kapitel 8).....	370

Abbildungsverzeichnis

Abb. 01: Gestaltungsziele für die Elektrizitätslast (nach Fox-Penner 2009).....	44
Abb. 02: Schematische Darstellung von Zonentarifen	50
Abb. 03: Energy Smart Home Lab (Becker 2014)	107
Abb. 04: Schematische Darstellung DS-Opt+	113
Abb. 05: Validierung des Modellgebiets am Beispiel HH-Nettoeinkommen	114
Abb. 06: Zonentarif-Schema abgeleitet vom Spotpreisverlauf....	116
Abb. 07: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung BEV	120
Abb. 08: Einstellung der Befragten zum Energiesparen; 1=trifft gar nicht zu, 5= trifft sehr zu; T-Test, $p < 0.05$	129
Abb. 09: Lastvariabler Zonentarif als Diskussionsbeispiel.....	132
Abb. 10: Elektrizitätsnachfrage gesplittet nach Tarifzonen	166
Abb. 11: Akkumulierte Elektrizitätsnachfrage im Tagesverlauf	167
Abb. 12: Rechnungsübersicht am Beispiel der Woche 3.....	170
Abb. 13: Elektrizitätsnachfrage für ausgewählte Haushaltsgeräte	172
Abb. 14: Bildungsgrad der Stichprobe, $n=15$	191
Abb. 15: Aussagen zur Technikaffinität (Pre-Fragebogen), $n=15$	192
Abb. 16: Aufschlüsselung der Ladenachfrage im Tagesverlauf ..	194
Abb. 17: Fahrzeugbesitz im Modellgebiet	209
Abb. 18: Last im Modellgebiet, Szenario 1a (ungesteuerte Nachfrage)	213

Abb. 19: Last im Modellgebiet, Szenario 1b (ungesteuerte Nachfrage)..... 213

Abb. 20: Last im Modellgebiet, Szenario 2a (gesteuerte Nachfrage) 214

Abb. 21: Last im Modellgebiet, Szenario 2b (gesteuerte Nachfrage) 215

Abb. 22: Gesteuerte Last des ESHL, ausgewählte Winterwoche 219

Abb. 23: Gesteuerte Last eines Modell-HH, Typwoche Winter ... 221

Tabellenverzeichnis

Tab. 01: Gestaltungsparameter konkreter Tarife	51
Tab. 02: Modellierte BEV	118
Tab. 03: Versuchsaufbau der drei Wohnphasen im ESHL	163
Tab. 04: Getestete Zonentarife in Phase 3	164
Tab. 05: Nutzung der Ladeinfrastruktur im Feldversuch	193
Tab. 06: Mobilitätskenngrößen im Modellgebiet	210
Tab. 07: Auswahl modellierter Szenarien	211
Tab. 08: Auswirkungen auf Last und Bezugskosten	216
Tab. 09: Elektrizitätsnachfrage eines Modell-HH, Typwoche Winter	222
Tab. 10: Elektrizitätsnachfrage ESHL, ausgewählte Winterwoche	222

Abkürzungsverzeichnis

A	Ampere
Abb.	Abbildung
AP	Arbeitspreis(e)
BEV	Battery Electric Vehicle
bspw.	Beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
CO ₂	Kohlendioxid
CPP	Critical Peak Pricing
DR	Demand Response
DSM	Demand Side Management
EE	erneuerbare Energie
EM	Elektromobil
ER	Energy Response
ESHL	Energy Smart Home Lab
€	Euro
EU	Europäische Union
e. V.	eingetragener Verein
EVU	Energieversorgungsunternehmen
H	Ergebnishypothese

h	Stunde(n)
HH	(Privat)Haushalt
HHG	Haushaltsgeräte
HMI	Human Machine Interface
IEC	International Electrotechnical Commission
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
i. d. R.	in der Regel
i. H. v.	in Höhe von
insb.	insbesondere
ISO	International Organization of Standardization
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
m ²	Quadratmeter
MWh	Megawattstunde
min	Minute(n)
ÖPNV	öffentlicher Personennahverkehr
Pedelec	Pedal Electric Cycle
PHEV	Plug-In Hybrid Electric Vehicle
Pkw	Personenkraftwagen

PV	Photovoltaik
RTP	Real Time Pricing
SoC	State of Charge
ST	Smart (Home) Technologien
Tab.	Tabelle
TF	Teilfrage
THG	Treibhausgas
TOU	Time of Use
TWh	Terrawattstunde
u. a.	unter anderem
\$	U.S.-Dollar
V	Volt
v. a.	vor allem
z. T.	zum Teil

Modellnomenklatur

Indexmengen

HH	Haushalt
HHG	Haushaltsgerät
t	Zeitscheibe (vierstündlich)
T	Woche (Montag – Sonntag)
Tr	Trockner
WM	Waschmaschine

Parameter

α	Strompreisaufschlag
BV	Binärvariabel
E	Stromnachfrage
K	Strombezugskosten
LG	Lastgrenze
LZ	Laufzeit
p	Strompreis
SoC	State of Charge / Ladestand

1 Motivation

Die Maßnahmen zur Erreichung **der** klima- und umweltpolitischen Emissionsminderungsziele im Energie- und Transportsektor stellen das Elektrizitätssystem vor neue Herausforderungen (Jochem 2016). Zu diesen Maßnahmen zählen insbesondere die zunehmende Bereitstellung von Elektrizität aus fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen (EE) sowie aus dezentralen Anlagen und die Integration von Elektromobilen (EM) ins Elektrizitätssystem. Allein diese drei Maßnahmen tragen zu einer signifikanten Änderung des heutigen Elektrizitätssystems bei und bilden gleichzeitig eine nicht unerhebliche Gefährdung der für uns gewohnten Systemstabilität – wenn nicht deren Integration zusammen mit einer gewissen „Intelligenz“ (d. h. insbesondere unter Verwendung von Informations- und Kommunikationstechnologien; IKT) sowie der integrativen Berücksichtigung von Endnutzerinnen und Endnutzern einhergeht. Diese beiden Lösungsfelder erscheinen somit aus heutiger Sicht unabdingbare, interdisziplinäre Trittsteine zu sein, um weiterhin eine sichere, bezahlbare und umweltschonende Elektrizitätsbereitstellung zu garantieren bzw. auszubauen. Sie sind damit Kernbestandteile der vorliegenden Arbeit.

1.1 Ausgangssituation

Die globale Erderwärmung gilt als eine der wichtigsten Herausforderungen unserer Zeit (IPCC 2014). Ihre zahlreichen klimatischen

Auswirkungen, die vom Austrocknen von Gewässern bis zur Überschwemmung von küstennahen Regionen reichen, bedrohen Mensch und Natur gleichermaßen. In der Folge stehen die Gesellschaften weltweit vor großen Herausforderungen, wenn sich die humanitären, demokratischen, wirtschaftlichen und sicherheitspolitischen Bedingungen nicht verschlechtern sollen (IPCC 2014).

Der Treibhausgas-(THG)-Effekt gilt als Hauptursache für den Anstieg der jährlichen Erdtemperatur in den vergangenen Jahrzehnten. Trotz einiger Klimaskeptiker (u. a. Dunlap & McCright 2011) ist unter Fachwissenschaftlern und den entsprechenden Fachorganisationen weitgehend anerkannt, dass – nicht zuletzt aufgrund der zunehmenden Anstiegsgeschwindigkeit seit der Industrialisierung – die Gründe maßgeblich menschengemacht, also anthropogen sind (Farnsworth & Lichter 2011; IPCC 2014; Oreskes 2004).

Die Senkung der THG-Emissionen soll die Klimawandelfolgen abschwächen und gilt deshalb in vielen Staaten spätestens seit der Verabschiedung des Kyoto-Protokolls¹ und des Paris-Abkommens (UNFCCC 1998; UNFCCC 2014; UNFCCC 2016) als Ziel. Die Europäische Union (EU) hat sich zum Ziel gesetzt, die THG-Emissionen bis

¹ Das Kyoto-Protokoll bezieht sich auf sechs THG: Kohlendioxid (CO₂), Methan, Distickstoffoxid, teilfluorierte Kohlenwasserstoffe, vollfluorierte Kohlenwasserstoffe und Schwefelhexafluorid (UNFCCC 1998). Um die THG-Emissionen bzgl. ihrer Klimawirksamkeit miteinander vergleichen zu können, werden sie in Bezug zu Kohlendioxid gesetzt und in CO₂-Äquivalenten gemessen. CO₂ ist zwar nicht das klimaschädlichste, aber das mengenmäßig meist emittierte Gas, so dass es für etwa 50% des THG-Effektes verantwortlich ist (NIR 2016). Zahlreiche umweltpolitische Zielsetzungen beziehen sich daher auf die CO₂-Emissionen.

zum Jahr 2030 um 55% unter das Niveau von 1990 zu senken (EU 2020). Deutschland geht weiter und hat sich selbst verpflichtet das Ziel der EU um 10 Prozentpunkte zu übertreffen und bis 2045 klimaneutral zu sein (Bund 2021), d. h. das Klima nicht zu beeinflussen (IPCC 2014). Die längerfristige Entwicklung der THG-Emissionen in Deutschland zeigt, dass diese Ziele ohne erhebliche energie- und Klimaschutzpolitische Maßnahmen nicht einzuhalten sind (Ziesing 2017).

Das meiste CO₂ wird durch die Verbrennung von fossilen Stoffen ausgestoßen – also u. a. in Kraftwerken, Fahrzeugen und Heizungsanlagen. Folglich gehören die Elektrizitätswirtschaft und der Transportsektor zu den meistemittierenden Sektoren (NIR 2016). Während die CO₂-Emissionen seit dem Jahr 1990 in Deutschland, u. a. auch ausgelöst durch den wirtschaftlichen Einbruch in den neuen Bundesländern vor 1995, der Weltwirtschaftskrise um 2009 und der COVID-19-Pandemie 2020/2021, insgesamt um 40 % gesunken sind, gingen sie im Transportsektor am geringsten zurück bzw. stiegen mit zunehmender Fahrleistung seit 2005 sogar wieder an und liegen heute über dem Niveau von 1990 (NIR 2016, Ziesing 2020). Ein weltweiter Trend, der sich aufgrund des globalen Handels, aber auch eines zunehmend besseren Zugangs der Weltbevölkerung zu motorisiertem Individualverkehr nicht allzu einfach umkehren lässt (vgl. Creutzig et al. 2015). Der motorisierte Individualverkehr (Personenverkehr) ist für den überwiegenden Teil der

Emissionen im Transportsektor verantwortlich und liegt daher, neben dem Elektrizitätsbedarf des HH-Sektors, im Fokus dieser Arbeit.

1.2 Elektrifizierung des Individualverkehrs

Zahlreiche Optionen zur Reduzierung von Emissionen im Verkehrssektor werden erörtert (Rodt et al. 2010; Creutzig et al. 2015; Whitehead et al. 2021). Dazu gehören die Verkehrsvermeidung (bspw. durch entsprechende Siedlungs- und Verkehrsplanung oder vermehrtes Home-Office), die Verkehrsverlagerung auf effizientere Verkehrsträger (bspw. durch die Förderung umweltgerechter Verkehrsmittel durch den Ausbau von Fahrradwegen), ökonomische Maßnahmen (bspw. die Anpassung der Kraftfahrzeugsteuer), Verbesserung der Fahrzeugeffizienz (bspw. Verwendung von Leichtlaufreifen), entsprechendes Fahrverhalten (bspw. Geschwindigkeitsbegrenzungen) und Decarbonisierung des Kraftstoffs (vgl. Tiwari et al. 2011). Die Nutzung alternativer Treibstoffe (bspw. Biokraftstoffe) und alternativer Antriebe (bspw. Elektroantriebe) kann zur Erhöhung der Fahreffizienz beitragen, v. a. wenn die effizienteren Fahrzeuge in intelligente Verkehrskonzepte (bspw. Car-sharing) integriert werden (Jochem et al. 2020). Dass die Erreichung der Klimaziele bis 2030 trotz steigender Verkehrsleistung und negativer Emissionsentwicklung im Verkehrssektor mit einer

massiven Steigerung der Elektromobilität im gesamten Straßenverkehr möglich ist, zeigen bereits einige Studien (Gerhardt et al. 2018; Stecherle et al. 2020).

Durch Fortschritte in der Batteriespeichertechnologie ist die Elektromobilität in den vergangenen Jahren verstärkt in den Fokus von Politik, Wirtschaft und Forschung geraten. Der zunehmende Urbanisierungstrend und damit der Anstieg innerstädtischer Emissionen, steigende Kraftstoffpreise, die Integrationsmöglichkeit von EE, die Senkung der Importabhängigkeit beim Rohstoff Öl sowie die Aussicht auf einen neuen Innovationsschub lassen die Elektromobilität auch aus wirtschaftspolitischer Sicht attraktiv erscheinen. Während im Jahre 2020 das gesteckte Ziel der Bundesregierung von einer Millionen E-Pkw (NEP 2014) noch verfehlt wurde (KBA 2022) zeigen die Zulassungszahlen nun stärkere Wachstumsraten auf, so dass die Nationale Plattform Zukunft der Mobilität weiterhin von über 10 Millionen E-Pkw im Jahre 2030 ausgeht (NPM 2021)².

Ein Blick in die Geschichte der Elektromobilität zeigt, dass bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts vor allem elektrisch angetriebene Fahrzeuge gebaut wurden (Naunin 1993). Erst nachdem der Anlasser entwickelt und die Tankstelleninfrastruktur ausgebaut wurden, konnte das Verbrennungsfahrzeug deutliche Vorteile verbuchen

² Zum 01. Januar 2021 waren bereits knapp 620.000 BEV und 566.000 PHEV zugelassen (KBA 2022), so dass das Ziel, eine Million elektrisch angetriebene Pkw auf den deutschen Markt zu bringen, des ursprünglichen Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität der Bundesregierung aus dem Jahr 2009 um zwei Jahre verfehlt wurde.

(Möser 2002). Bis in die 80er Jahre wurden zwar immer wieder Konzepte für EM präsentiert, aber kaum umgesetzt. 1982 wurde ein elektrisch betriebenes Nahverkehrsfahrzeug „NAFA“ als Konzeptwagen von Mercedes vorgestellt, aus dem später das Verbrennungsfahrzeug Smart entstand und 1998 im Markt eingeführt wurde (Daimler 2007). In den Folgejahren, v. a. Anfang der 1990er Jahre, wurden mehrere öffentlich geförderte Elektromobilitätsprojekte initiiert. Während in Baden-Württemberg an vierzehn Modellstandorten v. a. Kleinfahrzeuge aus Kleinserien (bspw. City-EL) angeboten wurden, kamen bei der Felderprobung auf der Insel Rügen v. a. umgerüstete Serienmodelle (bspw. Opel Astra) zum Einsatz (DAUG 1996; MFW 2011). Obwohl in dieser Zeit bereits Konzepte wie bspw. Kaufprämien oder „Laden mit Solarstrom“ getestet wurden, hatten sich die EM zu keinem massentauglichen Produkt bei den Automobilherstellern durchsetzen können. Die unausgereiften Komponenten und der ausbleibende Nachfragesog haben dazu geführt, dass weitere Investitionen in Entwicklung und Produktion nicht rentabel erschienen. Aktuell treiben jedoch mehrere Branchen die Weiterentwicklung der Elektromobilität voran: Neben der Automobilindustrie, nicht zuletzt aufgrund des politischen Drucks rund um die Abgaswerte von dieselbetriebenen Fahrzeugen, sind dies vor allem die Energie- und die Telekommunikationsbranche.

Die Energiebranche begleitet aus mehreren Gründen die Entwicklung der Elektromobilität: Zur Beladung der EM muss elektrische

Energie bereitgestellt werden. Damit gilt es einerseits den zusätzlichen Strombedarf zu decken, der idealerweise klimaneutral erfolgt, und andererseits Auflademöglichkeiten dort zur Verfügung zu stellen, wo EM parken – unter Berücksichtigung der Netzauswirkungen. Aus Marketing- und Vertriebsperspektive sind das idealerweise Standorte mit hoher Sichtbarkeit. Elektromobilität kann für die Energiewirtschaft also auch eine zusätzliche Einnahmequelle bedeuten – neben dem zusätzlichen Elektrizitätsabsatz auch durch weitergehende Dienstleistungen. Positionieren sich Energieversorgungsunternehmen (EVU) geschickt als Mobilitätspartner (dort, wo Stadtwerke und ÖPNV noch zusammengehören, ist das eine logische Konsequenz), sind vielfältige Angebote aus einer Hand denkbar und in Teilen auch bereits vorhanden. Beispielfhaft sei Vorarlberg erwähnt, wo Kunden für eine monatliche Gebühr ein EM leasen, Ladestrom im öffentlichen Bereich nutzen und eine Monatskarte für den ÖPNV bekommen können (VLOTTE 2016).

1.3 Energiewende

Abgeleitet von den weltweiten, europäischen und nationalen klimapolitischen Zielsetzungen, steht der Energiesektor, bisher v. a. das Elektrizitätssystem, im Umbruch – die „Energiewende“ hat sich als dessen Beschreibung begrifflich international durchgesetzt. Gleichzeitig sollen die Verbrennung fossiler Ressourcen in konventionellen Kraftwerken (zur Senkung von CO₂-Emissionen) reduziert und auch Kernkraftwerke (zur Vermeidung von Atommüll

und zur Abmilderung sicherheitstechnischer Risiken) heruntergefahren werden (Brunnengräber & De Nucci 2014). Neben effizienteren Kraftwerken im fossilen Bereich wird daher über verschiedenste Mechanismen die Elektrizitätsbereitstellung aus EE gefördert. Dass in Deutschland sogenannter grüner Strom bevorzugtes Einspeiserecht hat und aus Photovoltaik(PV)-Anlagen eingespeiste Elektrizität lange Zeit sogar mit festgelegten und garantierten Vergütungssätzen belohnt wurde, sind nur zwei Beispiele (EEG 2017). Da sich die Verbreitung der EE-Anlagen (v. a. bei der PV) stärker als erwartet entwickelt (IEA 2017) und sich dieser Trend bei den politischen Zielsetzungen auf Bundes-, Landes- und kommunaler Ebene auch weiter fortsetzt, ergeben sich zahlreiche Herausforderungen: Einerseits speisen viele der dezentralen Anlagen (v. a. PV und Biomasse) nicht wie konventionelle Anlagen auf Höchstspannungs-, sondern auf Verteilnetzebene ein und kehren damit die Logik der Elektrizitätsbereitstellung quasi um. Zwar müssen alle Anlagen, auch die in privater Hand, den entsprechenden Netzbetreibern gemeldet werden (es herrscht also Transparenz darüber, an welchen Netzstrang diese Anlagen angeschlossen sind), die Vorhersagbarkeit der Einspeiseleistung ist aber bei volatilen Ressourcen (bspw. der Sonneneinstrahlung) risikobehaftet, was die Gewährleistung der Netzstabilität mit zunehmender Anzahl angeschlossener Anlagen erschwert. Nicht zuletzt deswegen wird erzeugte, aber nicht eingespeiste Elektrizität (sondern selbstgenutzte bzw. gespeicherte) mittlerweile stärker vergütet (EEG 2017). Dieser höhere Grad an Selbstversorgung, sei es im Privat-

Gewerbe- oder Industriebereich, aber auch zunehmend wirkende Effizienzmaßnahmen auf der Nachfrageseite (bspw. in Gebäuden), erschweren allerdings wiederum die Nachfrageprognose und damit die Beschaffung und Investition seitens der EVU. So entkoppeln sich Angebot (zentrale Bereitstellung durch Großkraftwerke) und Nachfrage (Bruttoinlandsprodukt) gemäß der traditionellen Marktlogik. Das stellt die EVU genauso wie die Energiepolitik hinsichtlich des Marktdesigns vor neue Herausforderungen, um den Dreiklang von Umweltschutz, Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit wahren zu können (Brunnengräber & De Nucci 2014).

Die Volatilität einiger EE führt dazu, die Elektrizitätsbereitstellung nicht entlang der Nachfrage gesteuert werden kann. So kann es zu Situationen kommen, dass aufgrund höherer Angebots- als Nachfragemengen der Verkauf von Elektrizität an der Strombörse EEX zu bestimmten Zeitpunkten zu null Kosten oder gar gegen eine Vergütung erfolgt und Anlagen zur Bereitstellung von EE zeitweise abgeschaltet werden – allein im Jahr 2014 zahlten die Übertragungsnetzbetreiber über 100 Mio. Euro an Entschädigungen für die Zwangsabschaltung von Windkraftanlagen; die Entschädigungsansprüche der Anlagenbetreiber beliefen sich im Jahr 2019 bereits auf knapp 710 Mio. Euro (Steinmann 2015, BNA 2020). Da die Ausbauziele der EE sogar deutlich über der derzeitigen Leistungsspitze liegen, könnte durch Einführung größerer und entsprechend flexibler Abnehmer in den Markt ein wesentlicher Beitrag zur Integration der EE geleistet werden (BMU 2010). Die Mobilitätsstruktur –

relativ hohe Vorhersagbarkeit, lange Parkzeiten / relativ flexible Nachfrage, Verteilung in der Fläche – weist darauf hin, dass EM dazu prädestiniert wären, wenn sie eine entsprechende Marktverbreitung erfahren (Gebhardt et al. 2018). Zusätzlich ist eine wesentliche Emissionsminderung im Personenverkehr (bei der Betrachtung der Emissionen über den gesamten Energieerzeugungspfad bis zur Fortbewegung der Fahrzeuge – Well-to-Wheel) nur mit einer CO₂-armen Elektrizitätserzeugung zu erzielen (Brake 2009, Link 2011, Xu et al. 2020). Auch an dieser Stelle wird die Kopplung und gegenseitige Beeinflussung zwischen Energie- und Verkehrssektor deutlich.

Die Elektrizitätsnachfrage kann umgekehrt das (erneuerbare) Angebot übersteigen. In diesen Fällen müssen ersatzweise bzw. zusätzliche Erzeugungskapazitäten und / oder Speicherkapazitäten einspringen. Aufgrund der zeitlichen Anforderungen scheinen Gaskraftwerke als Erzeugungskapazität ein wichtiger Baustein für das Gelingen der Energiewende zu sein, wobei sie unter aktuellen Marktbedingungen kaum wettbewerbsfähig betrieben werden können (Heinen et al. 2017; Ziesing 2017). Mit bidirektional gesteuerten Ladestrategien (vgl. Kapitel 2.4) können EM mit ihren Traktionsbatterien als Speicherkapazität den Zusatzbedarf abfangen (Gebhardt et al. 2018; Wulff et al. 2020).

Insgesamt zeigt sich, dass die Güte und Qualität der Einspeiseprosen eine sehr hohe Bedeutung haben und sie die Effekte zunehmender Dezentralität und Volatilität in der Elektrizitätserzeugung

so weit abfangen können, dass heute die Regelenenergiemärkte nicht so dynamisch geworden sind, wie zunächst erwartet worden war (Ocker & Erhardt 2017).

Zum Gelingen der Energiewende werden demnach mehrere Bausteine beitragen. Diese können in verschiedene Kategorien unterteilt werden, darunter technische Verbesserungen (wie eine höhere Effizienz von Offshore-Windanlagen), informationsbasierte Vernetzung (wie der Einsatz von intelligenten Messsystemen zur präziseren Prognose der Elektrizitätsnachfrage), ökonomische Bewertung (wie die Entwicklung von Geschäftsmodellen für den wirtschaftlichen Einsatz von Speichersystemen) und die Berücksichtigung sozialer Aspekte auf allen Stufen der Wertschöpfung (bspw. die gesellschaftliche Meinungsbildung beim Ausbau von Übertragungsnetzen).

Das Gelingen der Energiewende ist ohne eine neuartige Steuerung des Energiesystems von Erzeugung, Speicherung, Transport und Verteilung sowie Nachfrage nicht möglich. Eine intelligentere und aufeinander abgestimmte Steuerung ist wiederum ohne die Digitalisierung des Energiesystems nur schwer umsetzbar. So kann bspw. die Netzüberwachung effektiver erfolgen, wenn die im Netz befindlichen Einheiten ihre Zustände in Echtzeit digital bereitstellten und entsprechende Algorithmen diese verarbeiteten. Um den Umbau hin zu einem dezentralen Elektrizitätssystem mit bidirektionalen Kommunikations- und Elektrizitätsflüssen zu beschleunigen, ist im Jahr 2016 das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende in Kraft

getreten, welches insbesondere die Nachfrageseite in den Fokus der Betrachtung nimmt (GDEW 2016).

Auf Stufe der Nachfrage können mit entsprechenden Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) neue Wege der Nachfragesteuerung (Demand Side Management; DSM) möglich werden. Die zentrale Idee von DSM ist, die Nachfrage nach Elektrizität so zu flexibilisieren, dass sie dem (erneuerbaren) Angebot stärker folgt und so zu mehr Effizienz im Elektrizitätssystem führt, bspw. durch geringeren Netzsteuerungs- oder geringeren Speicherbedarf (VDE 2009). Dies kann neben ökologischen (bessere Nutzung von EE) auch positive ökonomische Folgen haben, da bspw. geringere Kraftwerkskapazitäten vorgehalten werden müssten (Kostková et al. 2013).

Für DSM eignen sich Nachfragearten, die in Menge und Zeitpunkt beeinflussbar sind. Mit Hinblick auf die Effektivität von DSM sind Nachfragearten mit hohem Energie- und Leistungsbedarf interessant. Sind beide Komponenten gegeben, kann von einem hohen Steuerungs- und Lastverlagerungspotenzial ausgegangen werden. Inwieweit diese Potenziale letztlich ausgeschöpft werden können, ist unter anderem auch eine Frage der Akzeptanz auf Nachfrageseite, welche später adressiert wird.

Der Endenergieverbrauch (EEV) in Deutschland beträgt gut dreitausend Terrawattstunden (TWh) (AGEB 2022). Etwa 30 Prozent entfallen dabei jeweils auf Privathaushalte und den Verkehrssektor. In der Industrie kommt Nachfragesteuerung bspw. mittels

Leistungspreisen zum Einsatz, während diese Potenziale im HH-Sektor trotz seines hohen EEV (allein 107 TWh Strom) noch nicht gehoben werden. Der Verkehrssektor weist heute einen insgesamt hohen EEV auf, worauf aber nur 12,5 TWh für Elektrizität (knapp 2 %) entfallen und auf den schienengebundenen Verkehr zurückzuführen sind. Unter der Annahme einer zunehmenden Verbreitung von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen in Deutschland sind Verschiebungen des EEV nach Energieträgern im Verkehrssektor zu erwarten. Die Verkehrswende wird also Rückwirkungen auf das Elektrizitätssystem haben.

Im Hinblick auf das Gelingen der Energiewende kann das Energiesystem also nicht losgelöst vom Verkehrssektor betrachtet werden, wenn mit einem Anstieg der Elektrizitätsnachfrage für Verkehr gerechnet wird. Dabei scheint zunächst nicht der zusätzliche Elektrizitätsbedarf eine Herausforderung zu sein, als vielmehr der Leistungsbedarf (Gerbracht et al. 2009; Babrowski et al. 2014). Hier kann DSM ansetzen und zur optimalen Steuerung der Ladelasten beitragen.

Die kombinierte Betrachtung von DSM für den Haushalts- und den Verkehrssektor kann nicht nur Lösungen zur Integration der Elektromobilität ins Elektrizitätssystem analysieren, die mit möglichst geringen negativen Nebenwirkungen (bspw. Netzzusammenbruch) einhergehen, sondern die sogar als Teil der Lösung positiv zum Gelingen der Energiewende beitragen (bspw. als mobile Speicher).

Die Anforderungen an DSM zur Steuerung der Elektrizitätsnachfrage in HH sind entsprechend hoch und nicht zuletzt auch deswegen komplex, da die Verhaltenskomponente (bspw. Mobilitätsverhalten, Nutzungsstruktur bestimmter Haushaltsgeräte (HHG), Kaufverhalten) zu berücksichtigen ist. Die Effektivität von DSM hängt zu einem gewissen Grad letztlich vom Nutzerverhalten ab.

Ist DSM effektiv und kann die Elektrizitätsnachfrage entsprechend steuern, so wird es einen wertvollen Beitrag zum Gelingen der Energiewende leisten, der sich letztlich durch die Gestaltung entsprechender Geschäftsmodelle dann monetarisieren lässt.

1.4 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit untersucht die Lastverlagerungspotenziale deutscher Privathaushalte – unter besonderer Berücksichtigung intelligenter Steuerungsoptionen auch von Ladelasten – und die Bewertung aus Nutzersicht. Durch Analyse sowohl des (rationalen sowie realitätsnahen) Nutzerverhaltens als auch der Nutzerakzeptanz können Empfehlungen zur Gestaltung von DSM abgeleitet werden.

Für eine möglichst umfassende Bearbeitung der Aufgabenstellung wird ein interdisziplinärer Forschungsansatz gewählt. Nicht zuletzt durch das Zusammenwachsen verschiedener Branchen in diesem Kontext (Energie, Automobil, IKT) und die Digitalisierung in

immer mehr Lebens- und Wirtschaftsbereichen reichen eindimensionale Forschungsansätze zur Analyse von Zukunftstechnologien nicht aus. So gewinnt bspw. die Bedeutung der Nutzerakzeptanz zum Zeitpunkt der Produktentwicklung zunehmend an Bedeutung (Open Innovation), da Produktentwicklungskosten mit zunehmendem Technologieeinsatz steigen und somit die Gefahr, am Markt vorbei zu entwickeln, allein aus wirtschaftlichen Gründen minimiert werden soll (Chesbrough 2011; Picot & Arnold 2009; Vahs & Brem 2015).

Zur Bearbeitung der Aufgabenstellung wird eine dreistufige Vorgehensweise gewählt. (1) Im ersten Schritt müssen die für die Lastverlagerung geeigneten Anwendungen in HH identifiziert werden. Dabei spielen nicht nur die technischen Voraussetzungen (bspw. Verbreitungsgrad von Waschmaschinen in deutschen HH), sondern auch die Nutzerbewertung (bspw. warum/warum nicht ist die Tätigkeit „Wäsche waschen“ zur Lastverlagerung geeignet?) eine entscheidende Rolle. Im Rahmen einer qualitativen Fokusgruppenstudie werden die Akzeptanz potenzieller Nutzer für DSM und damit die Verhaltensabsicht explorativ analysiert.

(2) Im experimentellen Umfeld, einem eigens aufgebauten Forschungs- und Demonstrationslabor (Energy Smart Home Lab; ESHL), wird darauf aufbauend das quasi-reale Nutzerverhalten beobachtet und deskriptiv analysiert. So können die verhaltensbasierten Lastverlagerungspotenziale identifiziert werden. Durch die

Anreicherung der Verhaltensexperimente um qualitative Tiefeninterviews können auch die Motive des Verhaltens ergründet werden.

Mit dem besonderen Fokus auf die Elektromobilität wird zusätzlich ein Feldtest begleitet, um Fahr-, Park- und Ladeverhalten im frühen Marktstadium von Elektrofahrzeugen (EM) zu beobachten und deskriptiv zu analysieren. Die Felddaten werden um quantitative Fragebogendaten ergänzt.

(3) In der ersten Studie wird die Nutzerakzeptanz anhand einer Verhaltensabsicht untersucht, während die zweite Studie das tatsächliche Verhalten unter Labor- und Feldbedingungen (deskriptive Entscheidung) analysiert. In der dritten Studie wird das rationale Nutzerverhalten (normative Entscheidung) modelliert. Mittels eines Optimierungsmodells können die maximalen Lastverlagerungspotenziale unter Annahme perfekter Voraussicht und Information der HH (rationale Entscheidung unter Sicherheit) analysiert werden.

Aus einem Vergleich der beiden Ansätze (verhaltensbasiert vs. optimiert) kann das sog. "Efficiency Gap" identifiziert werden, welches realistischere Handlungsempfehlungen zur empirischen Einführung und Gestaltung von DSM erlaubt (Torrallba-Díaz et al. 2020).

Die Arbeit gliedert sich in neun Kapitel. Zunächst werden in Kapitel zwei die zentralen energiewirtschaftlichen Konzepte definiert,

bevor ein kurzer Überblick über die Technologien, die im Kontext vernetzter HH der Zukunft und der Elektromobilität relevant sind, erfolgt. Kapitel vier spiegelt den Stand der Forschung wider, so dass in Kapitel fünf die Forschungsfrage und das Forschungsdesign abgeleitet werden. Die darauffolgenden Kapitel beinhalten die Kernanalysen und gliedern sich folgendermaßen: Kapitel sechs stellt die (1) Akzeptanzstudie (Verhaltensabsicht) vor, bevor Kapitel sieben die (2) empirischen Arbeiten im Labor und im Feld (tatsächliches Verhalten) beleuchtet. Kapitel acht behandelt die (3) modellgestützte Studie (Verhaltenspotenzial). Kapitel neun führt die Studien zusammen, vergleicht die Ergebnisse, vollzieht eine kritische Würdigung und leitet Implikationen ab.

2 Demand Side Management und Demand Response

Die arabischen Länder verhängten 1973 ein Ölembargo gegen die USA und drosselten die Exporte in andere westliche Länder (Painter 2014). Diese Staaten mussten auf kurzfristige Maßnahmen zurückgreifen, um den hohen Energiebedarf zu reduzieren. In Deutschland wurden bspw. die Höchstgeschwindigkeiten auf den Straßen gesenkt und Fahrverbote an Sonntagen eingeführt (Köhler 2016). Gleichzeitig begann die intensive Suche nach alternativen Energiequellen, insbesondere zur Elektrizitätsbereitstellung für den Industriebedarf (Paschen & Coenen 1979). In den USA wurden in dieser Zeit die ersten Maßnahmen zum DSM initiiert, da es wirtschaftlicher erschien, die Elektrizitätsnachfrage zu drosseln, als neue Erzeugungskapazitäten aufzubauen. Dazu wurden zeitvariable Elektrizitätspreise für Gewerbe- und Industriekunden eingeführt, die die realen Grenzkosten besser widerspiegeln sollten. In einigen Feldversuchen kamen diese auch bei HH-Kunden zum Einsatz (CRA 2005).

Die Atomkraft rückte auch in Deutschland in den Fokus, da sie eine importunabhängigere Elektrizitätsversorgung versprach, so dass im Zuge der Ölkrise kommerzielle Kernkraftwerke geplant, gebaut und in Betrieb genommen wurden (Radkau 1983). Um die Kernkraftwerke auch nachts auslasten zu können, rückte die Idee der Nachfragesteuerung in den Mittelpunkt des Interesses. In Form von

Nachtspeicherheizungen wurde bspw. eine neue Nachfrageart dafür geschaffen. In diesem Zusammenhang wurden auch Elektrizitätspreise mit nächtlicher Schwachlastregelung für HH-Kunden eingeführt (Sonnenschein et al. 2010).

Bis heute ist das Elektrizitätssystem zentral aufgebaut und wird so gesteuert, dass die Deckung der Nachfrage zu jedem Zeitpunkt zu einem festen Kundenpreis ermöglicht wird, obwohl die Versorgungskosten nicht konstant sind. Optimierungsoptionen für die EVU bestehen damit primär im Erzeugungsfahrplan und der Beschaffungsstrategie. Aufgrund einer zunehmend volatilen Elektrizitätsbereitstellung aus EE und der Integration von dezentralen Erzeugungskapazitäten sinken die Steuerungsoptionen allerdings auf der zentralen Erzeugungsseite. Um das Energiedargebot effizient zu nutzen, gewinnt die Nachfragesteuerung im Sinne eines möglichst flexiblen Lastgangs an Bedeutung (vgl. Stadler 2005).

Zur Umsetzung von Maßnahmen der Nachfragesteuerung wird die Digitalisierung von Kommunikations-, Mess- und Abrechnungsprozessen mithilfe von IKT unter dem Schlagbegriff „Smart Grids“ subsummiert (FERC 2008).

2.1 Ziele und Maßnahmen von Demand Response

Die Ziele der Nachfragesteuerung sind vielfältig: Durch ein entsprechendes Nachfrageverhalten sollen vorrangig Kraftwerke besser

ausgelastet und Investitionen in Spitzenlastkraftwerke vermieden werden. Ferner soll Netzengpässen und damit einhergehendem Ausbaubedarf vorgebeugt, der Regelenergiebedarf gesenkt und die Nutzung des dezentralen Angebots vor Ort erhöht werden. Im Ergebnis führt ein effizienter gesteuertes Energiesystem zu sinkenden Systemkosten und damit geringeren Elektrizitätspreisen und Netzentgelten – insbesondere im Vergleich zu den vermiedenen Investitionen auf Erzeugungs- und Netzseite, die nicht zuletzt durch die Integration einer zusätzlichen Nachfrage notwendig wären (Fernandes et al. 2012; Faruqui & George 2005; Kiviluoma & Meiborn 2011). Die durch eine erfolgreiche Nachfragesteuerung erzielten technischen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Vorteile genießen daher neben den Kunden und den Elektrizitätsvertrieben auch die Erzeuger, die Netzbetreiber und die Gesellschaft insgesamt (vgl. Abaravicius 2004).

Angelehnt an PSE (2012) lässt sich die Nachfragesteuerung grundsätzlich in zwei Handlungsfelder aufteilen:

- Verbrauchssteuerung (Energy Response, ER) und
- Laststeuerung (Demand Response, DR).

Während ER als eine mengenmäßige Senkung der Elektrizitätsnachfrage (oder Erhöhung wie im Fall der Nachtspeicherheizungen) definiert wird, beschreibt DR eine zeitliche Verschiebung der Nachfrage und resultiert damit in einem flexiblen Lastverhalten, aber nicht unbedingt auch in einem insgesamten Nachfragerückgang (vgl. Kostková et al. 2013). Nachfolgende Grafik illustriert die

sich daraus ergebenden fünf Gestaltungsziele für die Elektrizitätslast (vgl. IIEC 2006):

- Peak Clipping beschreibt das Kappen von Spitzenlasten (DR)
- Valley Filling beschreibt die Erhöhung von Lastsenken (DR)
- Load Shifting beschreibt die Verschiebung von Spitzenlasten in Niedriglastzeiten (DR), d. h. eine Verschiebung des Zeitpunktes der Leistungsaufnahme ohne eine zwingende Veränderung des gesamten Energiebedarfs.
- Conservation beschreibt die Senkung der Energienachfrage (ER)
- Load Building beschreibt die gesamte Erhöhung der Energienachfrage (ER).

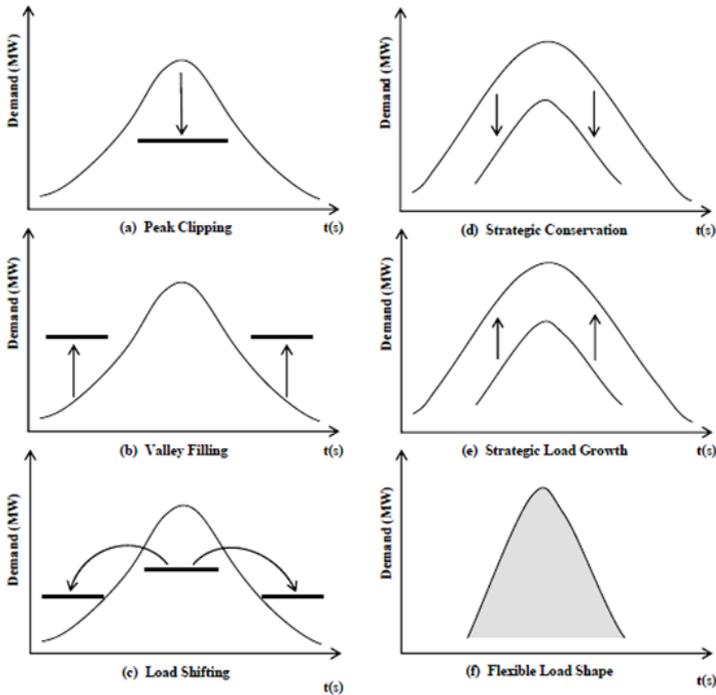


Abb. 01: Gestaltungsziele für die Elektrizitätslast (nach Fox-Penner 2009)

2.2 Anreize zur Laststeuerung

Zur erfolgreichen Umsetzung von Demand Response sind Anreize erforderlich, die das gewünschte Nachfrageverhalten hervorrufen und je nach Zielsetzung zu einem ausgewogenen oder schwankenden Lastprofil führen. Auch wenn sich die vorliegende Arbeit auf DR fokussiert, können die Anreize in abgeänderter Ausgestaltung auch für die Umsetzung von ER eingesetzt werden.

Grundsätzlich kann zwischen monetären und nicht-monetären Anreizen unterschieden werden. Bei monetären Anreizen sind fixe Vergütungen (bspw. für Spitzenlastsenkungen) oder tarifliche Maßnahmen denkbar. Unter Ökonomen werden insbesondere Stromtarife mit Endkundenpreisen, die die realen Versorgungskosten widerspiegeln, diskutiert (vgl. Faruqui & Sergici 2010). Klingenberg (1926) beschrieb die wirtschaftlichen Vorteile des Lastmanagements über Tarifmodelle gegenüber anderen Maßnahmen bereits Anfang des 20. Jahrhunderts.

Nicht-monetäre Anreize beinhalten Informationsmaßnahmen (bspw. Energieeffizienzklassen beim Kauf von HHG), insbesondere in Form von Feedback (bspw. zur tagesgenauen Elektrizitätsnachfrage im HH). Auch Preise besitzen eine gewisse Informationsfunktion, denn sie können signalisieren, zu welchen Zeitpunkten die Kosten der Elektrizitätsversorgung hoch bzw. niedrig sind (Krämer 2009). Ebenso zählen zu den nicht-monetären Ansätzen Gamification-Maßnahmen, die mit spielerischen Gestaltungselementen zu einem bestimmten Nachfrageverhalten motivieren können (Deterding et al. 2011).

Neben anreizbasierten Laststeuerungsmöglichkeiten (Indirect Load Management) existieren auch direkte Laststeuerungsmöglichkeiten (Direct Load Control), die das ferngesteuerte An- und Abschalten von Lasten beinhalten und nahezu ohne Nutzerinteraktion auskommen (vgl. Albadi & El-Saadany 2007). Es ist denkbar, direkte Laststeuerungsmöglichkeiten mit monetären Anreizen

(bspw. festen Vergütungen) zu kombinieren, bspw. um Nutzer zu motivieren, direkte Steuerungsoptionen anzunehmen. Zur Akzeptanz solcher Optionen gehören vermutlich mehrere Parameter, die über einen monetären Anreiz hinausgehen.

2.3 Elektrizitätstarife als monetärer Anreizmechanismus

Tarife für elektrische Energie haben eine Vielzahl an Anforderungen: verursachungsgerechte Weitergabe von Stromgestehungskosten an die Abnehmer, effiziente Abrechnung der Stromabnahme bei einer hohen Anzahl an Kunden, verständlicher Aufbau sowie Beeinflussungspotenzial von Lastgängen (Braband 2013).

Zwar werden die gängigen Tarifmodelle nicht all diesen Anforderungen gerecht, aber sie nutzen die Stromgestehungskosten als Basis für die Kalkulation der Strompreise (Braband 2013). Bei den Stromgestehungskosten sind alle Kosten entlang der Wertschöpfungskette vom Kraftwerk, über den Transport, die Verteilung und Abrechnung beim Kunden zu betrachten und neben den Arbeitskosten (bestimmt durch die Nachfrage pro Zeiteinheit; Kilowattstunde [kWh]), auch die Leistungskosten (bestimmt durch die Nachfrage zu einem Zeitpunkt; Kilowatt [kW]) einzubeziehen. Die Abnehmer sollen folglich anteilig einen Leistungs- und einen Arbeitspreis zahlen, wobei zur Abrechnung in Deutschland zwischen zwei Abnehmergruppen grundlegend unterschieden wird (Zenke et al. 2014):

Sondervertragskunden sind i. d. R. Abnehmer, die aus dem Mittelspannungsnetz (oder Netzen höherer Spannung) versorgt werden und eigens vereinbarte Verträge erhalten. In der Regel handelt es sich um Industriebetriebe. Diese Kundentypen erhalten eine gesonderte Lastgangmessung.

Tarifikunden sind i. d. R. Abnehmer, die aus dem Niederspannungsnetz versorgt werden und zahlenmäßig die größere Abnehmergruppe sind. Es handelt sich hierbei vor allem um HH-, Handels- und Gewerbekunden, die ohne gesonderte Lastgangmessung abgerechnet werden. Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf den Tarifikunden, v. a. den HH-Kunden.

Abgeleitet aus einer Literaturanalyse (Albadi & El-Saadany 2008; Fox-Penner 2009; Gerblinger et al. 2013; Hayn et al. 2014; Rehm 1999; Wolter & Reuter 2005) wird im Folgenden ein Überblick über verschiedene Arten von Tarifmodellen gegeben. Außerdem werden ihnen die in der englischen Literatur verwendeten Begrifflichkeiten zugeordnet.

Grundsätzlich lassen sich drei Tariftypen unterscheiden:

- Pauschaltarife
- lineare Tarife und
- Grundpreistarife.

Beim ersten Tariftyp wird ein Pauschalpreis, der unabhängig von der tatsächlichen Stromabnahme ist, aber die elektrische Leistung abdeckt, in Rechnung gestellt. Diese Abrechnungsform ist nur dort

zu finden, wo Stromzähler nicht wirtschaftlich eingebaut werden können, bspw. bei Telefonzellen.

Die entgegengesetzte Variante der Abrechnungsmöglichkeiten stellt der lineare Tarif dar. Hier beruht die Bemessungsgrundlage ausschließlich auf der durch einen Zähler gemessenen Abnahmemenge (den Arbeitskosten).

Eine Kombination dieser beiden Tariftypen ist der heute weit verbreitete Grundpreistarif. Ein Grundpreis deckt Vertriebskosten und Leistungskosten ab, ein Arbeitspreis (AP) die Arbeitskosten. Damit haben Grundpreistarife den stärksten Bezug zu den Stromgestehungskosten und werden den Anforderungen nach Kostendeckung, effizienter Abrechnung sowie verständlichem Aufbau gerecht.

In der Regel orientiert sich die Höhe des AP an den Durchschnittskosten der Elektrizitätsversorgung, gemittelt über den Zeitraum eines Jahres, da dies der üblichen Abrechnungsperiode entspricht. Das Risiko für fluktuierende Erzeugungs- und Beschaffungskosten während des Jahres trägt damit der Lieferant, da der in Rechnung gestellte Endkundenpreis nicht den tatsächlichen Gestehungspreis zum Zeitpunkt der Nachfrage reflektiert.

Der AP kann jedoch generell auch in kürzeren Zeitintervallen als der jährlichen Abrechnungsperiode neue Werte annehmen. Diese Tarifvarianten lassen sich unter dem Begriff Zonentarif subsumie-

ren und werden auch als variable oder dynamische Tarife (im Englischen häufig als dynamic pricing) bezeichnet. Es werden drei Arten unterschieden: nutzungsabhängiger, zeitabhängiger sowie lastabhängiger Zonentarif.

Beim nutzungsabhängigen Zonentarif wird beim Überschreiten bestimmter Abnahmemengen der AP gesenkt oder im Falle progressiver Verläufe erhöht (wobei degressive Verläufe marktüblich sind).

Beim zeitabhängigen Zonentarif (synonym zu zeitvariablen Tarifen) bildet der Zeitpunkt der Stromabnahme die Grundlage für die Preisbildung. Hierzu wird der Tag in verschiedene Zeitzonen eingeteilt und mit unterschiedlichen AP versehen. Der weitverbreitete Hoch-/Niedertarif (HT/NT; auch Time-of-Use [TOU]) hat üblicherweise zwei Zeitzonen mit zwei unterschiedlichen AP, die in ihrer Höhe über einen relativ langen Zeitraum (etwa 8 – 10 Stunden) fixiert sind. Variiert die Höhe des AP pro Zeitzone in kürzeren Abständen wird im Englischen von Real Time Pricing (RTP) gesprochen, wobei darunter auch Tarife verstanden werden, die die Zonenzuordnung in kurzen Abständen verändern. Eine sehr dynamische Form nimmt keine Einteilung in Zonen vor, sondern lässt den AP jeglichen Wert (zwischen einer Unter- und Obergrenze) annehmen, um so die tatsächlichen Stromgestehungskosten unter Berücksichtigung fluktuierender Börsenentwicklung weiterzugeben. Zeitzonentarife werden der Anforderung nach Fle-

xibilisierung von Lastgängen stärker gerecht als klassische Grundpreistarife, da durch die Preisdifferenzierung ein finanzieller Anreiz zur Veränderung der Elektrizitätsnachfrage bzw. Lastverlagerung gegeben ist.

Auch lastabhängige (synonym zu lastvariable) Zonentarife berücksichtigen diese Anforderung, indem eine Preisdifferenzierung nach bestimmten Lastzonen erfolgt. Bleibt die nachgefragte Leistung des HH unter einer vorgegebenen Lastgrenze, so wird ein geringerer AP bezahlt, so dass hier insbesondere ein Anreiz zum Peak-Clipping gegeben ist.

Nutzungs-abhängiger Zonentarif	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Arbeitspreis (AP) variiert nach Abnahmemenge 	Lastabhängiger Zonentarif	<ul style="list-style-type: none"> ▪ AP-Aufschläge bei Überschreitung bestimmter Lastgrenzen
Zeitabhängiger Zonentarif	<ul style="list-style-type: none"> ▪ AP variiert nach dem Nachfrage-Zeitpunkt 	Kombinierter Tarif	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zeitabhängiger AP ▪ Preisaufschläge bei Überschreitung von Lastgrenzen

Abb. 02: Schematische Darstellung von Zonentarifen

Auf Basis dieser Tarifmodelle erfolgt die Konzeption konkreter Tarife. Dabei können in ihrer Ausgestaltung, vor allem bei den Zonentarifen, zahlreiche Parameter entsprechend der Zielsetzung variiert werden wie in folgender Tabelle dargestellt (Dütschke & Paetz 2013).

Parameter	Mögliche Varianten
Art des Zonentarifs	Nutzungs-, zeit-, und/oder lastabhängige Zonen
Anzahl Zonen	Von einer Zone, über zwei (ToU) oder mehr (RTP) Zonen bis hin zu maximaler Dynamik ohne Zoneneinteilung
Zeitschema	Gültigkeit der Zonen
Arbeitspreis	Höhe des jeweiligen AP pro Zone definiert auch die Preisspreizung
Grundpreis	Höhe kann auch Mietgebühren für mögliche IKT beinhalten
Technische Ausstattung	Tarif kann IKT beinhalten

Tab. 01: Gestaltungsparameter konkreter Tarife

Zur Abrechnung von Zonentarifen bedarf es einer entsprechenden Zähl- und Messtechnik sowie regulatorischer Maßnahmen, um HH-Kunden nach ihren realen und nicht nach Standardlastprofilen abrechnen zu können (BMW 2015a). Je dynamischer die Zonentarife gestaltet sind, desto mehr wird IKT nicht nur zur genauen Messung und Abrechnung, sondern auch zur Kundenkommunikation von AP notwendig.

2.4 Reaktionsoptionen der Nutzer

Insbesondere bei anreizbasierten Steuerungsoptionen kommt der Frage nach der Verhaltensreaktion der Nutzer und damit dem Erfolg von DR eine wichtige Rolle zu.

Ob und wie stark eine Nutzerreaktion auf Anreize stattfindet, hängt von vielen externen (bspw. Darstellung und Verständlichkeit der

Anreizinformation) und internen (bspw. Informationsaufnahme-fähigkeit) Einflussfaktoren ab. Verschiedene Forschungsdisziplinen, allen voran die Psychologie, Neurowissenschaften, Marketingwissenschaften und die Verhaltensökonomie beschäftigen sich mit der Frage, wie menschliches Verhalten erklärt und beeinflusst werden kann. Eine theoretische Fundierung des Nutzerverhaltens erfolgt in Kapitel 4.

Ohne auf die Gründe für das Hervorrufen eines bestimmten Verhaltens einzugehen, sind grundsätzlich zwei Verhaltensreaktionen der HH bzw. Nutzer bei Preisanreizen in Form der zuvor skizzierten Elektrizitätstarife denkbar: Entweder findet eine Reaktion in irgendeiner Form auf den Anreiz statt oder es wird keine Reaktion ausgelöst. Im Falle einer Verhaltensreaktion bzw. -anpassung sind wiederum drei grundsätzliche Strategien der Handlungsanpassung denkbar:

- Der Nutzer reagiert manuell auf einen Preisanreiz, indem zum Zeitpunkt eines niedrigen Strompreises bspw. die Spülmaschine von ihm angeschaltet wird.
- Bei der halbautomatisierten Strategie plant der Nutzer auf Basis der Preisinformation die Nutzung der Spülmaschine ein, stellt bspw. eine Zeitschaltuhr, und die Spülmaschine startet dann zum preisgünstigen Zeitpunkt.
- Im Falle einer vollautomatisierten Strategie sind der Zeitpunkt der Nutzerinteraktion und des Einsatzes der Spül-

maschine ebenfalls asynchron, da die Spülmaschine automatisiert – aber digital geschaltet bspw. von einer Software – zur preisgünstigen Zeit läuft. Je nach Ausgestaltung der Software kann die Nutzerinteraktion möglicherweise sogar nur einmalig stattfinden, um bestimmte Präferenzen (bspw. keine Spülvorgänge zu bestimmten Uhrzeiten) einzugeben, die dann bis auf Widerruf gelten.

Die Reaktions- und Handlungsoptionen der Nutzer sind nicht nur im Kontext der HHG relevant, sondern auch auf die Ladevorgänge von EM übertragbar: vom manuellen Start des Ladevorgangs über eine (falls das Ladegerät dies technisch zulässt) halbautomatisierte bis zur vollautomatisierten Strategie an einer mit entsprechender Software ausgestatteten Ladevorrichtung. Bei der vollautomatisierten Ladestrategie ist die Frage nach der Entscheidungshoheit im Fahrzeug relevant. Greift ein Externer direkt auf das Fahrzeug zu und steuert den Ladevorgang (bspw. nach energiewirtschaftlichen Zielsetzungen) oder reagiert das Fahrzeug auf preisgestützte Anreize. Dallinger & Wietschel (2012) nehmen an, dass bei Letzterem von einer höheren Nutzerakzeptanz für gesteuerte Ladestrategien auszugehen ist. Die Handlungsoptionen lassen sich in diesem Zusammenhang in ungesteuerte (also unbeeinflusste) sowie gesteuerte Ladestrategien (engl. Smart Charging) klassifizieren.

Ladestrategien lassen sich angelehnt an Schewel et al. (2008) auch nach ihrem Kommunikationsumfang einteilen:

-
- Keine Kommunikation / konventionelles Laden: Der Ladevorgang am Fahrzeug beginnt, sobald die Verbindung mit dem elektrischen Netz hergestellt ist, bspw. durch Einstecken des Ladesteckers. Es findet keine Kommunikation zwischen Betreiber und Fahrzeug bzw. Nutzer statt.
 - Unidirektionale Kommunikation / zeitversetztes Laden: Der Ladevorgang startet erst nach einer Zeitfreigabe, bspw. einem Rundsteuersignal. Dies ist mit unidirektionaler Kommunikation vom Betreiber zum Fahrzeug umsetzbar.
 - Bidirektionale Kommunikation / intelligentes Laden (engl. VoG – Vehicle-on-Grid): Es findet eine bidirektionale Kommunikation zwischen Betreiber und Fahrzeug statt. Damit ist es möglich, Anforderungen beider Seiten vor dem Ladevorgang auszutauschen. Dies sind bspw. geforderte Lademenge, möglicher Ladezeitraum und maximale Ladeleistung. Die Kommunikation kann bspw. zum Energielieferanten oder Netzbetreiber, aber auch zum Wohn- oder Bürogebäude (bspw. zur Maximierung der Eigennutzung von PV-Strom) erfolgen. Letzteres wird dann als Vehicle-to-Building (V2B) bezeichnet und stellt den ersten Schritt zum intelligenten Entladen dar.
 - Bidirektionale Kommunikation / intelligentes Laden und Entladen (engl. V2G – Vehicle-to-Grid): In Erweiterung zum intelligenten Laden kann hier zusätzlich aus dem Speicher im Fahrzeug Energie entladen werden. Dies er-

fordert auf der Hardware-Seite eine Erweiterung der technischen Lade- und Entlademöglichkeiten am Wechselrichter, aber keine weitere Kommunikationsinfrastruktur (allerdings ein erweitertes Kommunikationsprotokoll). Die Möglichkeit, die Fahrzeugbatterie auch zu entladen, erweitert das Konzept des mobilen Speichers: Während bei den unidirektionalen Ladestrategien die Traktionsbatterie als Pufferspeicher dienen kann (d. h. sie kann geladen und erst zu einem späteren Zeitpunkt für die Fahrzeugfortbewegung genutzt werden), kann bei bidirektionaler Ladestrategie die eingespeicherte Elektrizität auch für andere Anwendungen (bspw. zur Nutzung von HHG) verwendet werden. Kempton & Tomic (2005) stellten dieses Konzept als eine der ersten vor mit der Idee, das öffentliche Netz durch Reserveleistung zu stabilisieren. Pang et al. (2012) wandten diese Idee insbesondere auf ein Gebäude-/Hausnetz an und zeigen, dass hier näherliegende Umsetzungsoptionen bestehen, insbesondere wenn das Gebäude über dezentrale Erzeugungsanlagen verfügt.

Einige der hier vorgestellten Handlungsoptionen erfordern zur technischen Überführung eine Soft- und Hardwareunterstützung. Die erforderlichen IKT werden als intelligente Technologien (engl. Smart (Home) Technologies; ST) bezeichnet und im nächsten Kapitel vorgestellt.

3 Smart (Home) Technologies – Technologien im intelligent vernetzten Privathaushalt

Die Ausschöpfung der Möglichkeiten von DR geht mit der Nutzung technischer Infrastruktur einher. Diese kommt an verschiedenen Stellen entlang der Wertschöpfungskette zum Einsatz. Unter dem Schlagwort „Smart Grid“ wird der Infrastrukturausbau des Energiesystems um IKT verstanden (FERC 2008). Ziel ist es, einen digitalen Datenaustausch zwischen allen im Energiesystem befindlichen Akteuren in Echtzeit zu ermöglichen, um die Elektrizitätsversorgung effizienter und ökologischer zu gestalten. Dazu gehören nicht nur digitale Mess-, Steuerungs- und Kommunikationseinrichtungen auf Ebene der HH, sondern auf allen Ebenen des Elektrizitätssystems (bspw. an den Transformatorenstationen auf den verschiedenen Spannungsebenen und den dezentralen Erzeugungs- und Einspeisungsanlagen).

Für HH, die mit entsprechender IKT ausgestattet sind, hat sich der englische Begriff (Energy) Smart Home durchgesetzt (Berger et al. 2014). Der Begriff wird grundsätzlich für die informations- und sensortechnische Vernetzung von Gebäuden und daher häufig auch in anderen Kontexten, bspw. Ambient Assisted Living oder Home Entertainment, genutzt (VDE 2013). In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff primär für HH genutzt, in denen die elektrische Haustechnik sowie die HHG und Ladevorrichtungen miteinander

vernetzt sind. Der Zweck von ST liegt auf der effektiveren Steuerung der Elektrizitätsnachfrage und weniger auf der Ermöglichung von Komfort- oder Sicherheitsfunktionalitäten (bspw. Einbruchschutzmaßnahmen).

Klassifizierung der Technologien

Der erforderliche Mindesttechnisierungsgrad zur Umsetzung von DR hängt von den konkreten Maßnahmen ab. So müssen HH mindestens über Strompreise informiert werden, wenn monetäre Anreize angeboten werden sollen. Dies kann grundsätzlich per Brief, Fax, SMS, über ein Internetportal oder eine Anwendung auf mobilen Endgeräten geschehen. Die Literatur (vgl. Kapitel 4) zeigt, dass neben der Preisinformation auch andere Inhalte, insb. Feedback zur eigenen Elektrizitätsnachfrage, eine Anreizwirkung haben und als Mindestanforderung beschrieben werden können (Darby 2012; Fischer 2008). Für die Nutzung des Informationskanals hat das insofern Auswirkungen, als dass bspw. Briefe keine stündliche Information ermöglichen, diese aber bei dynamischen Preisen einerseits technisch erforderlich, andererseits aber auch psychologisch für die Steuerbarkeit der Elektrizitätsnachfrage sinnvoll und über mobile Endgeräte besser abbildbar sein können. Bei der Umsetzung sind nicht nur die technische Realisierbarkeit, sondern auch die Wirtschaftlichkeit und die Benutzerfreundlichkeit von Bedeutung.

Bei der technischen Umsetzung in HH sind der Einsatz von Hardware, Software und Kommunikationstechnik voneinander zu unterscheiden. Zur relevanten Hardware zählen Stromzähler, HHG,

Energie-Monitoring-Panels (EMP), Internetrouter sowie weitere Elektrotechnik wie bspw. schaltbare Steckdosen. In den EM sind insbesondere Traktionsbatterien, Wechselrichter und Ladevorrichtungen relevant.

Die Hardwarekomponenten müssen mit entsprechender Software ausgestattet sein, um miteinander zu kommunizieren. Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) hat im Auftrag des BMWi ein sog. Schutzprofil entwickelt, das Anforderungen für alle Komponenten eines intelligenten Messsystems in einer sicheren Kommunikationsinfrastruktur entwickelt und diese auch zertifiziert (BSI 2015). Es regelt unter anderem, welche Marktrolle Zugriff auf welche Messdaten erhält, und hat Eingang in das Messstellenbetriebsgesetz (MsbG) gefunden.

Der Einsatz der Kommunikationstechnologien lässt sich anhand der Netznutzung klassifizieren (Schwab 2017). Bei Nutzung des Rundfunknetzes können Steuersignale gesendet werden, wie das bei Nachtspeicherheizungen zum Einsatz kommt. Bei Nutzung von Telekommunikationsnetzen sind Anwendungen (bspw. SMS oder Internet) über mobile Netze (bspw. GSM, UMTS) oder das Festnetz denkbar. Bei Nutzung der Elektrizitätsnetze ist die Nutzung des Internets (mittels Power Line Communication) möglich. Darüber hinaus können auch Spannung und Netzfrequenz als Kommunikationsform verstanden werden. Welche Technologie in HH zum Einsatz kommt, hängt neben den geltenden Verordnungen u. a. von der

technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit insb, bei Bestandsgebäuden ab.

3.1 Intelligente Messsysteme

Ein intelligentes Messsystem (engl. Smart Meter) ist nach §21d EnWG „eine in ein Kommunikationsnetz eingebundene Messeinrichtung zur Erfassung elektrischer Energie, das den tatsächlichen Energieverbrauch und die tatsächliche Nutzungszeit widerspiegelt“. Es handelt sich also um einen Stromzähler, der die Elektrizitätsnutzung misst, digital erfasst und über ein sog. Gateway die Daten in kurzen Zeitabständen elektronisch zur Verfügung stellen kann. Das BSI hat technische Richtlinien (BSI TR-03109-1 bis -6; BSI TR-03116-3) erarbeitet, die Vorgaben für das Gateway in Bezug auf Datenschutz und -sicherheit enthält, um so Interoperabilität und Schutz für alle Smart Meter Gateways zu gewährleisten (BSI 2015).

Im Gegensatz zu den noch üblichen elektromechanischen Ferraris-Zählern ergeben sich viele Vor- und Nachteile (Ernst & Young 2013; EU 2014). Eine Datenübertragung (fast) in Echtzeit ermöglicht es, Zählerstände fernabzulesen und Abrechnungen über die tatsächliche Nutzung in kürzeren Perioden zu stellen. Damit entfallen Abschlagszahlungen und jährliche Ableseturni, wodurch Kosten eingespart werden können. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass eine regelmäßige Abrechnung und Kosteninformation über die

Elektrizitätsnutzung zu einem effizienteren Umgang mit Elektrizität insgesamt führt (Darby 2010). Vorbehalte gegenüber Smart Metern bestehen insbesondere im Umgang mit den sensiblen Zählerdaten. Hier sollen insbesondere das BSI-Schutzprofil für einheitliche Sicherheitsstandards, aber auch Normvorgaben zu Kommunikationsprotokollen sorgen. Smart Meter sind in ihrer Lebensdauer von etwa acht Jahren den Ferraris-Zählern, die mehrere Jahrzehnte eingebaut bleiben, unterlegen. Des Weiteren benötigen Smart Meter und ihre Infrastruktur (bspw. Anbindung an einen Internetrouter) Elektrizität, was möglicherweise potenzielle Einsparungen konterkariert.

Der Einbau von intelligenten Messsystemen ist seit der Novelle des Gesetzes über die Elektrizitäts- und Gasversorgung 2011 und der Einführung des Gesetzes zur Digitalisierung der Energiewende 2016 verpflichtend bei Letztverbrauchern mit einem Jahresverbrauch größer als 6000 kWh und bei Anlagenbetreibern mit einer installierten Leistung über 7 kW, sofern dies technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar ist (§ 29, § 30, § 31 MSbG)³. Zusammen mit der Vorgabe, den Letztverbrauchern Elektrizitätstarife anzubieten, die einen Anreiz zur Energieeinsparung oder -steuerung bieten, sowie regelmäßig den Energieverbrauch abzurechnen (§ 40 EnWG), erfüllt Deutschland die EU-Richtlinie 2006/32/EC.

³ Alle Ferraris-Zähler sollen bis 2032 gegen sog. moderne Messsystemen ausgetauscht werden. Dabei handelt es sich um digitale Zähler ohne Kommunikationseinheit (§ 29 MSbG).

Damit hat der Gesetzgeber den Rahmen für ein strukturiertes Roll-Out in Deutschland geschaffen, während die Marktverbreitung von Smart Metern in anderen europäischen Ländern (bspw. Dänemark oder Italien) bereits vorangeschritten ist (EU 2014).

3.2 Intelligente Haushaltsgeräte

Unter intelligenten Haushaltsgeräten sind HHG zu verstehen, die mit einer Kommunikationsschnittstelle ausgestattet sind. Grundsätzlich gibt es Geräte, die eine solche Schnittstelle intern eingebaut haben (vgl. Miele@home-Geräte) und dadurch nicht nur in der Lage sind, Signale zu empfangen, sondern auch auszusenden (bspw. Informationen zum Betriebszustand). Laut dem Marktpartnerverbund der Energiewirtschaft gibt es in Deutschland etwa 4.000 intelligente HHG-Typen, deren Anschaffungskosten in etwa 20 Prozent über den Verkaufspreisen herkömmlicher HHG mit Top-Ausstattung liegen (HEA 2017).

Auf dem Markt sind allerdings auch kostengünstige und flexibel einsetzbare Stecker- und Chipsysteme (bspw. digitalstrom) erhältlich, die extern – also zwischen Stromzufuhr und das herkömmliche HHG – angebracht werden und so eine unidirektionale Kommunikation ermöglichen (Wölfel 2013).

3.3 Software zur Laststeuerung – Energiemanagementsystem

Ein Energiemanagementsystem (EMS) erfasst, überwacht, visualisiert über ergänzende Displays und steuert den Energieverbrauch im HH, bspw. den der HHG. Besonders sinnvoll ist dies, wenn große Verbraucher (bspw. EM) und / oder Erzeuger (bspw. PV-Anlage), vorhanden sind. Während es für Sondervertragskunden Anreize zum Einsatz eines strukturierten Energiemanagementsystems über die ISO-Zertifizierung 50001 gibt, entwickelt sich der Markt im Tarifikundenbereich gerade erst (BMU 2012). Derzeit erhältliche Systeme konzentrieren sich auf die Erfassung (entweder durch manuelle Eingabe oder Einbindung in ein intelligentes Messsystem) und Visualisierung der Elektrizität im HH. Sind intelligente HHG oder Plug & Play-Systeme (Zwischenstecker) vorhanden, kann das Nachfrageverhalten im HH detaillierter, bis zu gerätescharf, dargestellt werden. Eine Vielzahl an EVU bieten solche Pakete parallel mit z. T. kostenlosen Anwendungen für mobile Endgeräte an (bspw. innogy).

Komplexere Lösungen mit weitergehenden Services, die die Steuerung der HHG im Sinne von DR (bspw. das Abriegeln von Lasten durch Unterbrechen eines Spülvorgangs) ermöglichen, sind derzeit kommerziell kaum erhältlich, auch wenn einige Unternehmen erste Teillösungen anbieten oder nach eigenen Angaben kurz vor der Marktreife stehen (bspw. BEEGY GmbH, SMA Solar Technology AG und andere Mitglieder der EEEBus-Initiative).

3.4 Human-Machine-Interface

In einem ESHL werden zahlreiche Daten gemessen, die dann entsprechend aufbereitet und visualisiert werden können. Die Visualisierung der Informationen (bspw. zu Strompreisen oder Elektrizitätsnachfrage) kann grundsätzlich über verschiedenste Anzeigenformate erfolgen (bspw. über den Fernseher, ein mobiles Endgerät oder Wanddisplays). Diese Benutzer-Interfaces stellen die zentrale Schnittstelle zwischen Nutzern und dem ESHL dar und können als Line of Visibility interpretiert werden (Walsh et al. 2009).

Der Gestaltung dieser Schnittstelle (Human-Machine-Interface, HMI) kommt im Hinblick auf Anreizwirkung und Verhaltensreaktion eine besondere Bedeutung zu. Ein eigener Forschungsbereich hat sich der Analyse und Gestaltung von HMI verschrieben und kommt auch in anderen Produktbereichen (bspw. im Fahrzeug oder in der Telefonie) zur Anwendung (Saffer 2009).

3.5 Elektromobile – mobile Speicher

Potenziale zur Emissionsminderung bei Fahrzeugen liegen sowohl in der Weiterentwicklung der heutigen Verbrennungsmotoren, in der Nutzung neuer Materialien (bspw. Leichtbauweise), in der Nutzung alternativer Treibstoffe (die teilweise mit konstruktiven Änderungen am Motor einhergehen) als auch in der Elektrifizierung des Antriebsstranges (BMU 2010). Diese Möglichkeiten schließen

sich nicht aus, sondern können teilweise, bspw. bei Hybrid-Modellen mit Erdgasantrieb, kombiniert werden.

Die zumindest lokal emissionsfreie Pkw-Nutzung garantieren allerdings nur rein elektrisch angetriebene Fahrzeuge (batterieelektrisch, engl. Battery Electric Vehicles, BEV). Ihre Relevanz für die vorliegende Arbeit ergibt sich aus ihrer vollständigen Kopplung (im Gegensatz zu hybriden Fahrzeugmodellen) an das Elektrizitätssystem (Hennings & Linssen 2015). Mit ihrem vergleichsweise hohen Elektrizitätsbedarf sind ihre Traktionsbatterien als mobile Speicher im Kontext von DR interessant. Bei Plug-In-Hybriden (Plug-In Hybrid Electric Vehicle, PHEV), die elektrische Energie als primären Energieträger nutzen, ist die Anbindung an das Elektrizitätsnetz ebenfalls von hoher Relevanz. Allerdings haben sie i. d. R. deutlich kleinere Batteriespeicher und unterliegen daher nicht denselben Reichweitenrestriktionen wie BEV. Insofern sind Ladevorgänge von BEV aus Nutzersicht deutlich kritischer, was zur Analyse des Zusammenspiels mit DR besonders aufschlussreich ist.

In ihrem nationalen Entwicklungsplan gibt die Bundesregierung eine Zielerreichung von einer Million BEV und PHEV im Jahr 2020 und fünf Millionen Stück im Jahr 2030 vor (Bundesregierung 2009). Die Zulassungszahlen sind mit 676.000 Hybrid (davon 136.617 BEV und 102.175 PHEV) noch weit vom gesetzten (Zwischen)Ziel entfernt (KBA 2020). Zuletzt wurde zumindest mit einer Verbreitung von 500.000 BEV und PHEV im Jahr 2020 wegen zahlreicher neuerscheinender Fahrzeugmodelle, der Einführung einer

Kaufprämie sowie der Zunahme im Wirtschaftsverkehr gerechnet (Gnann et al 2015; NPE 2014, NPE 2015, BMWi 2016a). Auch wenn diese Ziele nicht erreicht wurden, so sind die Wachstumsraten mit über 50 % in diesem Segment beachtlich (KBA 2020).

Im Folgenden soll ein kurzer Überblick zu BEV auf vier wie auch auf zwei Rädern skizziert werden.

3.5.1 Elektrisch angetriebene Pkw

BEV beziehen ihre zum Antrieb benötigte Energie aus Batterien (Akkumulatoren), welche am Elektrizitätsnetz aufgeladen werden. Sie weisen im Vergleich zu Fahrzeugen mit konventionellem Verbrennungsmotor einen vereinfachten Aufbau des Antriebsstrangs auf (Wallentowitz 2011). Im Wesentlichen besteht dieser aus den Komponenten Elektromotor mit elektronischer Steuerung (Leistungselektronik), Energiespeicher (Batterie) mit entsprechendem Batteriemangement und Ladegerät. Schaltgetriebe sind auf Grund der Drehmomentcharakteristik der Elektromotoren nicht notwendig. Zudem können bei Ausführung als Tandem- oder Radnabenantrieb auch die Differentialgetriebe entfallen. Nebenaggregate wie Heizung (Abwärme des Motors ist zu gering), Lenk- und Bremsunterstützung müssen an den elektrischen Betrieb angepasst werden (Wallentowitz 2011). Der von der Batterie gelieferte Gleichstrom wird mit Hilfe von Leistungselektronik in den für den Betrieb der Motoren benötigten Wechselstrom umgewandelt. Dafür werden

Wechselrichter und Wechselstromumrichter benötigt. Zudem werden auch Gleichrichter und Gleichstromwandler eingesetzt, um ein Rückspeisen der beim regenerativen Bremsen gewonnenen elektrischen Energie in die Batterie effizient zu ermöglichen.

Neben zahlreichen Vorteilen bergen BEV aber auch technische und wirtschaftliche Einschränkungen, insbesondere bei der Energiedichte und Kostenstruktur der heute verfügbaren Batterietechnik. Diese äußern sich in einer begrenzten Reichweite, einer kürzeren Lebensdauer und höheren Verkaufspreisen im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen.

3.5.2 Elektrisch angetriebene Zweiräder

Im asiatischen Raum weit verbreitet, sind elektrisch angetriebene Zweiräder – vom Fahrrad, über den Roller, bis zum Motorrad. Diese Produkte sind erst seit ungefähr fünfzehn Jahren in Deutschland in großen Mengen verfügbar und haben seitdem eine erfolgreiche Entwicklung erfahren. Auch wenn die Bundesregierung den Pkw-Sektor meint, wenn sie vom deutschen Leitmarkt für Elektromobilität spricht, lohnt sich die Betrachtung des Zweiradbereichs – nicht zuletzt, weil der Markt für Elektromobilität möglicherweise von unten (also von den kleinen Fahrzeugen) her aufgerollt werden könnte (Reichardt et al. 2012). Die Absatzzahlen deuten in diese Richtung: Während im Jahr 2016 erst knapp 34.000 BEV (0,08 % Marktanteil) zugelassen waren, waren zu diesem Zeitpunkt bereits

über 2,5 Millionen Pedelecs (15 % Marktanteil), etwa 64.000 E-Roller / E-Bikes / E-Mofas (3 % Marktanteil) und 8.500 elektrisch angetriebene Krafträder (0,2 % Marktanteil) verkauft worden (DESTATIS 2017; KBA 2017; Schott et al. 2013; ZIV 2017).

Im Folgenden werden die elektrischen Zweiräder kurz beschrieben. Die rechtlichen Bestimmungen anderer Länder können von dieser Einordnung abweichen.

Da elektrisch angetriebene Fahrräder (Pedal Electric Cycle, Pedelec) mit einer kleinen Batterie nur über eine geringe Leistungs- und Energienachfrage verfügen und keiner Reichweitenbeschränkung unterliegen, sondern als „Hybride“ durch Muskelkraft auch bei leerer Batterie fortbewegt werden können, spielen sie für diese Arbeit eine untergeordnete Rolle. Elektrisch angetriebene Stehroller, Kickboards, Tretroller und Dreiräder werden im Rahmen dieser Arbeit ebenso wenig betrachtet.

E-Bikes

E-Bikes bzw. E-Roller werden in die Klasse der Kleinkrafträder eingeordnet. Sie werden über einen Gasgriff bedient und haben einen relativ klein ausgelegten Motor bis 4 kW. E-Bikes gehören zur EG-Klasse L1e und benötigen nur ein Versicherungskennzeichen. Das macht ihre Quantifizierung besonders schwierig, da die Versicherungen die Anzahl der versicherten Fahrzeuge dem Kraftfahrtbundesamt (KBA) zwar melden, aber keine weitere Einteilung nach Antriebsarten vornehmen. Laut Schätzungen beträgt ihr Bestand

64.000 Stück, was einem Marktanteil von 3 % entspricht (ZIV 2015). Der in der Modellregion Stuttgart eingesetzte Elmoto ist ein Vertreter dieser Fahrzeugklasse (NOW 2011).

Speed-Pedelecs (S-Pedelecs) werden ebenfalls den E-Bikes zugeordnet, da sich der Fahrer bis zu einer Geschwindigkeit von 20 km/h allein vom Elektromotor antreiben lassen kann und erst danach pedalisieren muss.

E-Roller & E-Motorräder

Elektrisch angetriebene Leicht- und Krafträder werden ebenfalls allein über den Elektromotor angetrieben. Mit ihrem deutlich größer ausgelegten Motor benötigen sie vergleichsweise größere und schwere Akkus. Von den E-Bikes grenzen sie sich über die höhere Geschwindigkeit, die amtliche Kennzeichnungspflicht und die entsprechend nötige Fahrerlaubnis ab.

Der Elektromotor ist meist als Nabenmotor am Hinterrad angesetzt und kann als Rekuperator bei Bremsvorgängen fungieren. Zum Anfahren oder für Steigungen haben einige E-Roller auch die sog. Boost-Funktion, mit der kurzzeitig mehr Leistung zur Verfügung gestellt werden kann.

Neben größeren Importeuren (bspw. Innoscooter) bieten auch deutsche Hersteller (bspw. Kreidler), aber auch Automobilhersteller E-Roller an.

3.5.3 Traktionsbatterien

Das Laden, Speichern und Entladen von (sekundären) Batterien, also mehrmals ladbaren Speichersystemen, ist mit Verlusten bei jedem Prozessschritt versehen (Radgen 2007). So dass solche Batterietechnologien besonders interessant sind, die einen hohen Wirkungsgrad und eine geringe Selbstentladungsrate haben (Kaschub 2017). Weitere wichtige Eigenschaften sind u. a. Energie- und Leistungswerte (bspw. die C-Rate, d. h. Ladeleistung normiert auf die nutzbare Energie und die Entladetiefe, d. h. min. und max. State of Charge; SoC), Umwelt- und Wettereinflüsse (bspw. Materialverfügbarkeit), Sicherheitseigenschaften (bspw. Vibrationsverträglichkeit) und ökonomische Größen (bspw. Kapital- und Betriebskosten).

Für den mobilen Einsatz zum Antrieb von BEV sowohl im zwei- als auch vierrädrigen Segment setzen sich Lithium-Ionen-Akkumulatoren durch, auch wenn einige Fahrzeugtypen wie bspw. der Porsche Cayenne Hybrid, lange noch mit Nickelmetallhydrid-Batterien ausgestattet waren (Gerssen-Gondelach & Faaij 2012). Technologien mit Lithium-Verbindungen haben das Potenzial, die Anforderungen u. a. an Leistung- und Energiedichte, Gewicht und Lebensdauer (kalendarische sowie zyklische) für die mobile Anwendung im Verkehr zu erfüllen (Mahmoudzadeh Andwari et al. 2017). Durch Erfahrungen mit der Lithium-Ionen-Technologie im Klein-elektronikbereich ist sie die derzeit am weitesten entwickelte und verspricht, am frühesten in konkurrenzfähige Kostenbereiche von

etwa 150 \$ / kWh (ausgehend von 1000 \$ / kWh in 2007 und 400 \$ / kWh in 2014) zu gelangen (Nykvist & Nilsson 2015).

Weitere Technologieentwicklungen, wie etwa Lithium-Luft-Lösungen, sind aber sehr wahrscheinlich, da der Markt für Speichersysteme auch außerhalb der Elektromobilität, zukünftig große Umsätze verspricht (DESTATIS 2018a).

3.6 Ladevorrichtungen für Elektromobile

Grundsätzlich wird ein Ladevorgang als Beladung der Traktionsbatterie eines EM definiert und beschreibt damit die Schnittstelle zwischen EM und Elektrizitätsnetz (Rose et al. 2010). Ladevorgänge und damit auch -punkte bzw. -stationen lassen sich hinsichtlich zahlreicher Dimensionen, insbesondere des Funktions- und Leistungsumfanges, beschreiben und unterscheiden (Kley 2011). Dazu zählen u. a.:

- Betreiber der Ladestation (Rechtsverhältnis zum Ladestationsbetreiber bzw. -besitzer)
- Zugangs- und Authentifizierungsprozess an der Ladesäule (keine, Schlüssel, Chipkarte, SMS, ...)
- Art der Energieübertragung (kabelgebunden, kabellos, Batteriewechsel)
- Hardware (Ladesteckertypen, Ladekabel, ...)
- Messkonzept (on-board bzw. off-board-metering)

-
- Abrechnungssystem (ohne, Bar, Chipkarte, Handy, Rechnung, ...)
 - Ladeort (Standort der Ladesäule auf privatem, halböffentlichem oder öffentlichem Gelände)
 - Verfügbare Ladeleistung (3,5 kW, 11 kW, 22 kW, 43 kW, 50 kW, bis 300 kW)
 - Ladebetriebsarten (Mode 1 – 4 nach IEC-Norm 61851)
 - Ladestrategie (ungesteuert, gesteuert; vgl. auch Kapitel 2.4)

Die Ausgestaltung dieser Dimensionen ist nicht vollkommen unabhängig voneinander. So hängen u. a. die Hardware von der Art der Energieübertragung, das Abrechnungssystem vom Messkonzept oder die Ladestrategie von der verfügbaren Ladeleistung ab. Die Ausgestaltungsoptionen hängen dabei auch von den technischen Möglichkeiten und der wirtschaftlichen Machbarkeit ab. So sind bspw. kabellose Ladevorgänge derzeit noch wirtschaftlich unattraktiv, wenn auch technisch zunehmend erprobt (Schraven et al. 2011). Die energiewirtschaftlichen Prozesse sind ebenfalls von Bedeutung. So existieren rechtlich bspw. keine mobilen Stromabnahmestellen, die sich über Bilanzkreisgrenzen hinwegbewegen – entsprechend werden die ortsfesten Ladestationen als stationäre Verbrauchseinrichtung angesehen (Hackmann & Kampik 2012). Damit sind gerade On-Board-Metering-Konzepten noch ordnungspolitische Grenzen gesetzt.

Aufgrund der Relevanz für die vorliegende Arbeit sollen im Folgenden die verschiedenen Ladeorte, verfügbare Ladeleistungen und

die Ladebetriebsarten angezeigt werden. Die Ladestrategien wurden bereits im vorherigen Kapitel beschrieben.

3.6.1 Ladeort

Wo Ladepunkte eingerichtet werden, hängt im Wesentlichen von drei Faktoren ab:

- (1) Ist dieser Ort elektrotechnisch erschließbar?
- (2) Wie hoch ist die Nachfrage?
- (3) Wem gehört das Grundstück?

Die Frage nach dem Ladestationsinhaber und -betreiber hängt daher eng mit dem Ladeort zusammen, ebenso wie die Frage nach dem Parkverhalten der EM. Wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben, zeichnen sich die derzeitigen Traktionsbatterien aufgrund ihrer beschränkten Ladeleistung durch lange Ladezeiten aus. Daher ist mit einer höheren Nachfrage nach Ladestrom an den Orten zu rechnen, wo die Fahrzeuge sowieso längere Zeit parken. Die meisten und die längsten Parkzeiten finden am Wohnhaus statt (MOP 2010). Für berufstätige Personen sind längere Parkdauern auch am Arbeitsplatz zu verzeichnen. An anderen dritten Orten (bspw. beim Einkaufen) finden zwar häufige, aber kurze Parkvorgänge statt.

In der Fachwelt hat sich die Unterscheidung des Ladeortes nach privatem, halböffentlichem und öffentlichem Gelände etabliert (vgl. NPE 2014).

-
- **Privater Standort:** Befindet sich der Ladepunkt am häuslichen Netzanschluss, wird von einem privaten Standort gesprochen. Ein eigener Stellplatz ist aus logistischer Sicht von Vorteil – ist aber bei HH in Großstädten selten gegeben. Nicht zuletzt aus diesem Grund wird die primäre Marktpenetration von EM in Ballungsgebieten und nicht direkt in Großstadtzentren erwartet. Die Affinität zur Elektromobilität ist in Stadtrandlagen höher (Plötz et al. 2014; Friedl et al. 2018). Der Ladepunkt kann von der HH-Steckdose, über eine Wallbox bis zur eigenen Ladesäule reichen. Je nach Ausprägung erfolgt die Messung und Abrechnung entweder über den bereits vorhandenen HH-Zähler oder den separaten Zähler in der Ladesäule.
 - **Halböffentlicher Standort:** In diese Kategorie fallen solche Ladepunkte, die sich auf privatem bzw. gepachtetem Gelände befinden, aber dennoch – im Gegensatz zur privaten Garage – für alle zugänglich sind. Dazu zählen etwa Ladestationen in einem Parkhaus, vor dem Supermarkt oder beim Arbeitgeber. Über Zugangsbeschränkungen, Nutzungsbedingungen und Abrechnungsmodalitäten kann der Inhaber des Geländes selber entscheiden. Entsprechend kann auch hier der Ladepunkt von einer einfachen Steckdose bis zur Ladesäule reichen. Die Abrechnung und Bezahlung können bspw. entgeltfrei, mit dem Parkticket abgegolten sein oder über den Stromlieferanten und eine

Clearingstelle erfolgen. Für alle öffentlich zugänglichen Ladeorte gilt die Ladensäulenverordnung, die die europäischen Vorgaben der Richtlinie 2014/94/EU zu Ladestecksystemen umsetzt (BMWi 2016b).

- Öffentlicher Standort: Ergänzend zu den Auflagen für öffentlich zugängliche Ladeorte sind beim Aufbau und Betrieb im öffentlichen – also zugangsfreien – Raum weitere Regelungen zu beachten. Mittlerweile ermöglicht das Elektromobilitätsgesetz die Bevorrechtigung von Parkplätzen an öffentlichen Ladeorten und regelt auch den Verkauf von Elektrizität an den Letztverbraucher (EmoG 2015).

Erfahrungen aus den zahlreichen Felderproben der letzten Jahre zeigen, dass die Nutzung der Ladesäulen im öffentlichen Raum zwar gering und damit der Betrieb der Ladesäulen häufig nicht profitabel ist, sie aber durch die Visibilität für das Thema Elektromobilität vertrauensbildend wirkt (BuW 2016).

3.6.2 Verfügbare Ladeleistung

Die verfügbare Ladeleistung hat Einfluss auf die mögliche Geschwindigkeit des Ladevorgangs und erfordert entsprechende Hardware, bspw. Ladesteckertypen (Schuko, Typ-2, Chademo, CCS – Combined Charging System) und Kabel beim kabelgebundenen Laden (IEC 2011). Die Anschlussleistung hat aber auch Auswirkungen auf den erforderlichen Anschluss an das Verteilnetz und damit auf den Netzbetrieb.

Steckdosen im HH sind in der Regel mit 16 Ampere (A) abgesichert. Bei einer Spannung von 230 Volt (V) ergibt sich daraus eine rechnerische Ladeleistung von 3,7 kW für das einphasige Laden bzw. 11 kW für das dreiphasige Laden bei einer Spannung von 400 V (VDE 2009).

Ladesäulen sind in der Regel mit 32 A abgesichert, wodurch beim dreiphasigen Laden eine Ladeleistung von 22 kW ermöglicht wird. Bei höheren Ladeleistungen, bspw. i. H. v. 43 kW bei einer Absicherung von 63 A, wird von Schnellladen gesprochen und i. d. R. Gleichstrom genutzt (Schäuble et al. 2016). Ladeleistungen bis zu 400 kW werden derzeit bereits in Prototypen getestet.

3.6.3 Ladebetriebsarten

Insbesondere im Kontext von DR ist die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladesäule nötig, um verschiedenste Daten auszutauschen. Das kann von Strompreisen bis zu sensiblen Abrechnungs- und Vertragsdaten reichen. Es werden dabei IP-Technologien genutzt, wie sie auch in anderen Netzen (bspw. im Internet) gebräuchlich sind. Mit der Anforderung an einen hohen Sicherheitsmechanismus wurde ein einheitliches Ladeprotokoll auf europäischer Ebene entwickelt (ISO 15118), das die Abwicklung von Bezahlvorgängen, Ladesteuerungsoptionen sowie weiteren Diensten ermöglicht.

Zur Umsetzung dieses Ladeprotokolls müssen bestimmte Kommunikationsmöglichkeiten vorhanden sein, die wiederum in Ladebetriebsarten (Mode 1 bis 4) beschrieben werden (Mennekes 2011). Wie bereits erwähnt, erfordern sie auch entsprechende Ladesteckertypen (Typ 1-3, Gleichstrom).

4 Aktueller Stand der Forschung

Die Literatur, die sich mit DR auseinandersetzt ist breit gefächert und hat in den letzten Jahren, während der Entstehung dieser Arbeit, stark zugenommen, da die Thematik in verschiedenen Disziplinen erforscht wird. Elektrotechniker gehen der Frage nach, welche Auswirkungen Lastmanagement unter Einsatz verschiedenster Technologien auf die elektrische Netzinfrastruktur und das Netzverhalten hat (vgl. Chaouachi 2016). In der Informatik werden Algorithmen entwickelt, die sich mit der kommunikationsseitigen Umsetzung der Laststeuerung beschäftigen (vgl. Ho Hong et al. 2015). In den Wirtschaftswissenschaften werden die Wirtschaftlichkeit der Technologien (bspw. stationäre Speicher) untersucht (vgl. Kaschub 2017) und Implikationen daraus für die Marktpenetration sowie für die Energiepolitik abgeleitet (vgl. Jochem 2017). Mit der Verbreitung neuer Technologien beschäftigen sich auch zahlreiche Arbeiten aus den Sozialwissenschaften, in denen die Einflussfaktoren auf Einstellungen und Verhaltensmuster gegenüber neuen Technologien erforscht werden (vgl. Torriti et al. 2010). Zwischen diesen Disziplinen liegen spannende Forschungsfragen, die einem interdisziplinären Ansatz bedürfen.

In der nachfolgenden Literaturanalyse soll ein Überblick zum Stand der Forschung vermittelt werden, der einerseits (vgl. Kapitel 4.1.2) auf Feldversuchen und Umfragen (potentieller) Nutzer basiert und daher Verhalten(sintention) in den Fokus der Betrachtung nimmt. Andererseits werden modellgestützte Studien (vgl. Kapitel 4.2)

vorgestellt, die Rückschlüsse über die techno-ökonomischen Potenziale von DR geben. Das Kapitel beginnt mit der Einordnung in einen theoretischen Bezugsrahmen (vgl. 4.1.1).

4.1 Nutzerakzeptanz

4.1.1 Theoretische Grundlagen

In der Psychologie wird die Nutzerakzeptanz als „positive Annahme oder Übernahme einer Idee, eines Sachverhalts oder eines Produktes, und zwar im Sinne aktiver Bereitwilligkeit und nicht nur im Sinne reaktiver Duldung“ (Dethloff 2004) definiert. Damit sind sowohl die positive Einstellung zu einer neuen Technologie als auch die Intention sowie die tatsächliche Nutzung der neuen Technologie durch ein Individuum, eine Gruppe oder eine Organisation eingeschlossen, was der Akzeptanztheorie aus der Innovations- und Marketingforschung entspricht und hier als theoretischer Bezugsrahmen zugrunde gelegt wird (Davis 1986; Dillon & Morris 1996; Kollmann 2000; Mahajan & Peterson 1985; Meffert 1976; Ozaki & Dodgson 2010; Rogers 2003; Sood & Tellis 2005; Straub 2009; Venkatesh et al. 2003). Teilweise unterscheidet die Literatur weiter zwischen den Begriffen Akzeptanz und Akzeptabilität (acatech 2011; Huijts et al. 2012).

Besonderes Augenmerk erhalten in der Akzeptanzforschung die Phasen der Adoption (i. e. die erstmalige Nutzung), die Phase der Diffusion (i. e. die Marktverbreitung) und damit implizit auch die

Phasen im Kaufentscheidungsprozess (Jochims 2000; Johnson & Suskewitz 2009; Königstorfer 2008; Rogers 1976).

Aus der Verhaltensökonomie (Behavioral Economics) sind zur Akzeptanz (bzw. Reaktanz als Gegenpol) drei grundlegende Verhaltensmodelle (mit unzähligen verschiedenen Weiterentwicklungen meist adaptiert für Innovationen aus dem IKT-Sektor) entstanden, die die sozialen, kognitiven, konativen und emotionalen Zusammenhänge zwischen der Informationsverarbeitung, dem Bilden von Meinungen und Einstellungen, dem daraus resultierenden Verhalten (Adoption oder Rejection) und damit der Diffusion einer Technologie im Markt erläutern (Hines et al. 1985; Hirschheim 2007; Jackson 2005; Kahneman & Tversky 1979; Kahneman 2003; Kollmuss & Agyeman 2002; Lin & Chang 2011; Lu et al. 2005; McFarland & Hamilton 2006; Nakićenović 1991; Ovčjak et al. 2015; Park & Kim 2014; Rinjsoever et al. 2015):

- Theory of Reasoned Action (Ajzen & Fishbein 1975): Das Modell erklärt das Nutzerverhalten als Ergebnis eines rationalen Entscheidungsprozesses. Hier bestimmen die Einstellung des Nutzers gegenüber den erwarteten Handlungsergebnissen sowie seine Überzeugungen und Normen die Verhaltensabsicht und damit auch das Verhalten selbst.
- Theory of Planned Behavior (Ajzen 1991): Dieses Modell erweitert die Theory of Reasoned Action um den Einflussfak-

tor der wahrgenommenen Einflusskontrolle, d. h. dass sowohl die Verhaltensabsicht als auch das Verhalten selbst von der eigenen Wahrnehmung abhängen, welche Schwierigkeiten bei der Ausführung des Verhaltens der Nutzer antizipiert. Er gleicht daher seine eigenen Fertigkeiten mit den aus seiner Sicht erforderlichen Anforderungen ab und entscheidet auf dieser erweiterten Basis.

- Technology Acceptance Model (Davis 1989): Auch in diesem Modell wird das Verhalten durch die Verhaltensabsicht, die wie bei den anderen Modellen auch von der Einstellung gegenüber der Nutzung beschrieben wird, erklärt. Zusätzlich werden zwei Aspekte in diesem Modell aufgegriffen, die sowohl Einstellung als auch Verhaltensabsicht direkt beeinflussen. Das ist zum einen die wahrgenommene Nützlichkeit (d. h. der Grad, zu dem wahrgenommen wird, dass ein bestimmtes Verhalten Nutzen stiftet) und zum anderen die wahrgenommene Einfachheit der Nutzung (d. h. der Grad der wahrgenommenen Anstrengung, die mit einem bestimmten Verhalten einhergeht). Zwischen diesen beiden Aspekten gibt es auch eine Interdependenz, denn eine Technologie wird als umso nützlicher wahrgenommen, je einfacher sie für den Nutzer in seiner Bedienung ist.

Der Fokus dieser drei Verhaltensmodelle liegt auf der Erklärung der Verhaltensintention. Die Intention schlägt sich aber nicht im-

mer direkt in entsprechendes Verhalten nieder. In der Umweltforschung, wo diese Diskrepanz besonders häufig beobachtet wird, wird es als Value-Action-Gap bezeichnet (Barr 2006; Blake 1999; Chai et al. 2015; Klöckner & Matthies 2005; de Vries et al. 2011; Young et al. 2010).

Dieser Zusammenhang ist im Kontext der Energie (bspw. im Gegensatz zum Nachfrageverhalten bei Bio-Lebensmitteln) besonders komplex, da es sich bei Energie, insbesondere bei Elektrizität, um ein intangibles und „doppelt unsichtbares“ Gut handelt: Elektrizität ist weder sichtbar noch greifbar und kann nur indirekt durch andere Anwendungen, bspw. das Arbeiten am Computer oder das Zubereiten einer warmen Mahlzeit, nachgefragt werden (Fischer 2007; Gronhög & Thorgeresen 2011; Hargreaves et al. 2010).

Im Kontext der Energiewende kommt neben der individuellen Nutzerakzeptanz insbesondere ihrer sozialen Dimension, also der gesellschaftlichen Akzeptanz, eine besondere Bedeutung zu (Andor et al. 2015).

4.1.2 Akzeptanz von Demand Response

Die Erprobung von Anreizsystemen im Kontext von DR sowie die Erforschung ihrer Nutzerakzeptanz gewinnt für die Energieforschung und -politik europaweit an Bedeutung, steht aber dennoch relativ am Anfang (Stirling 2014).

Mittels meist öffentlich-geförderter Feldversuche werden Ansätze für Energy als auch von DR in unterschiedlichem Umfang (insbesondere hinsichtlich technischer IKT-Unterstützung) seit vielen Jahren weltweit im HH-Sektor untersucht (Cappers et al. 2010; Hillemacher 2014; Torriti et al. 2010; Li et al. 2016). Dabei lassen sich Rückschlüsse auf Verhalten, Anreizwirkung und damit Akzeptanz ziehen. Ergänzend existieren Studien, die ohne die Nutzererfahrung im Feldversuch, die Verhaltensintention von potenziellen Nutzern bspw. mittels von Befragungen betrachten.

Kernbestandteil der Feldversuche ist der Einsatz von Anreizen in Form von dynamischen Elektrizitätstarifen. Wie in Kapitel 2 beschrieben, werden die Tarife, basierend auf der Annahme eines homo oeconomicus nach dem S-O-R-Modell (**S**timulus – **V**orgänge im **O**rganismus – **R**eaktion des Organismus) konzipiert und in der Regel mit Feedback-Informationsangeboten eingesetzt (Meffert et al. 2012). Die Verhaltenswirkung von dynamischen Elektrizitätstarifen in Feldversuchen zu testen, ist nicht neu. 1983 haben Herblein und Warriner (1983) bspw. Ergebnisse einer Studie veröffentlicht, in der Feldversuchsdaten von 700 HH in den USA genutzt wurden, um ein Entscheidungsmodell für die Elektrizitätsnachfrage zu validieren. Im Zuge der klimapolitischen Zielsetzungen wie auch der technologischen Entwicklungen werden Feldversuche auch in jüngerer Forschung wieder methodisch eingesetzt.

Die Ergebnisse dieser jüngeren Feldversuche weisen in unterschiedliche Richtungen. So zeigt sich, dass kurz- und mittelfristig

eine Senkung zwischen fünf und 25 % der gesamten Elektrizitätsnachfrage und bis zu 28 % der Elektrizitätskosten erzielbar ist (Darby 2010; Faruqi et al. 2010; Fischer 2007; Schleich et al. 2011; SF 2008; Stamminger & Anstett 2013). Hierfür scheinen neben dem monetären Anreiz durch Nachfrage zu Niedrigpreiszeiten regelmäßiges und relevantes Feedback (bspw. tägliche monetäre Einsparungen) sowie seine eingängige Darstellung Voraussetzung zu sein, um Informationsdefizite zu überwinden und das Nachfrageverhalten zu verändern (Fischer 2007; Grønhøj & Thøgersen 2011; Hargreaves et al. 2010; Whilite & Ling 1995). Dass Feedback verhaltenswirksam ist, lässt sich auf das Informationsdefizitmodell zurückführen (Whilite & Lang 1995). Demnach verfügen Nutzer aufgrund der Intangibilität und der Unischthbarkeit von Elektrizität über eine zu geringe Wahrnehmung über ihr eigenes Nachfrageverhalten.

Allerdings zeigt die Literatur auch, dass mehr Transparenz über die eigene Elektrizitätsnachfrage nicht zwingend zu verändertem Verhalten führt bzw. dieses nicht über einen längeren Zeitraum stabil sein muss und Ermüdungserscheinungen (Fatigue-Effekt) eintreten können (Allen & Janda 2006; Hargreaves et al. 2013; Nyborg & Røpke 2013; Pyrko 2011). So konnten HH in einer Studie von van Dam et al. (2010) anfängliche Elektrizitätseinsparungen i. H. v. acht Prozent nicht über einen 15-monatigen Zeitraum aufrechterhalten. Die Beobachtung, dass ein anfänglicher Rückgang (bspw. aufgrund effizienterer HHG oder einer Reduzierung der Nachfrage) in einer

Nachfragesteigerung (bspw. durch eine intensivere Gerätenutzung) mündet, wird als Rebound-Effekt bezeichnet (Freire-Gonzalez 2017; Sorrell et al. 2009).

Im Sinne eines effektiven DR steht weniger die Frage im Vordergrund, ob insgesamt die Elektrizitätsnachfrage zurückgeht (ER), sondern zu welchen Zeitpunkten und ob damit eine Lastverlagerung erfolgt. Auch hierfür zeigen die Feldversuchsergebnisse keine eindeutige Tendenz. Alcott (2011) zeigt, dass Teilnehmer zu Hochpreiszeiten ihre Nachfrage reduzieren konnten, aber keine Effekte zu anderen Zeiten beobachtbar waren. Im deutschen MeRegion-Feldtest stieg hingegen die Elektrizitätsnachfrage der 1.000 HH gerade zu Niedrigpreiszeiten an (Hillemacher et al. 2011).

Damit verbunden ist die Frage, inwieweit der Aufbau dynamischer Elektrizitätstarife einen Verhaltenseinfluss und damit Auswirkungen auf die Effektivität von Energy und DR hat. Ein Review verschiedenster Feldversuche zeigt auch hier keinen eindeutigen Effekt, da selbst bei gleichen Elektrizitätstarifmodellen unterschiedliche Effekte beobachtbar waren (Newsham & Boker 2010; Stromback et al. 2011). Der Einsatz von Critical-Peak-Pricing-Elementen scheint allerdings besonders effektiv für eine Lastverlagerung zu sein, so sind in USA Verlagerungen von bis 16 % im Vergleich zu fünf Prozent bei reinen zeitvariablen Elektrizitätstarifen ohne Critical Peak Pricing (CPP) in mehreren Feldversuchen beobachtet worden (Hu et al. 2015). Hillemacher (2015) hat umge-

kehrt, basierend auf beobachteten Preiselastizitäten eines Feldtests, ein Modell entwickelt, das möglichst effektive Verläufe (im Sinne einer Lastverlagerung) eines dreistufigen zeitvariablen Elektrizitätstarifs errechnet.

Weitgehend unbeantwortet ist die Frage, wie HH außerhalb von Feldtests dynamischen Elektrizitätstarifen gegenüberstehen und ob bzw. für welchen sie sich bei entsprechendem Marktangebot entscheiden würden. Dütschke & Paetz (2013) sind dieser Frage mittels einer Conjoint-Analyse unter 160 Befragten nachgegangen. Lediglich ein Viertel der Befragten gaben darin an, einen dynamischen gegenüber einem statischen Elektrizitätstarif zu wählen. Das spiegelt sich auch bei den Präferenzen im Aufbau der Tarife wider – hier wurden Tarife mit möglichst geringer Dynamik und geringer Preisspreizung bevorzugt, was ein Hinweis darauf sein kann, dass das Risiko zu einer Hochpreiszeit Elektrizität nachzufragen als hoch empfunden wird. Eine darauf aufbauende repräsentative Studie zeigte, dass die durch Kunden wahrgenommene Preiskomplexität nicht nur die Wechselwilligkeit in einen variablen Elektrizitätstarif senkte, sondern sogar auch ihre Bereitschaft, sich Informationen über variable Tarife zu beschaffen – unabhängig vom prognostizierten Einsparpotenzial (Layer et al. 2017).

Eine Studie unter Gewerbekunden in den USA zeigte ähnliche Ergebnisse (Neenan et al. 2002). Es ist allerdings anzumerken, dass sich das Nachfrageverhalten in Organisationen vom Verhalten von

Privatpersonen unterscheidet, weshalb auch nicht näher auf Studien aus dem Gewerbe- und Industriesektor eingegangen wird (Kreutzer et al. 2015).

Dass dynamische Elektrizitätstarife als riskant empfunden werden, zeigt auch eine US-Umfrage, bei der 40 % der Befragten angeben, nicht überzeugt zu sein, dass sie durch dynamische Elektrizitätstarife die vermeintlichen Vorteile der Kostenkontrolle und -senkung erhalten würden (Lineweber 2011). Entsprechend liegt der Schluss nahe, dass nur die HH sich für einen dynamischen Elektrizitätstarif entscheiden würden, die auch ihre Nachfrage flexibilisieren, d. h. die HH-Abläufe anpassen könnten und würden (Ericson 2011).

Entsprechend relevant ist der tiefergehende Blick in die HH, um Motive und Barrieren zu ergründen, die HH in die Lage versetzen, ihr Nachfrageverhalten und damit ihren Alltag anzupassen. Dies lässt sich aber nur indirekt aus den verschiedenen Feldtests ableiten. Die Begleitforschung weist darauf hin, dass nicht alle Test-HH bereit sind, größere Verhaltensanpassungen im Alltag in Kauf zu nehmen, um auf dynamische Elektrizitätspreise zu reagieren (Birzle-Harder et al. 2008; IBM 2007; Mert et al. 2009). Die Vermutung, dass ST bei gewisser technischer Reife die Verhaltensänderungen unterstützen und damit zur Ausschöpfung von DR beitragen können, liegt nahe (Mah et al. 2012). Entsprechend werden ST in den Feldversuchen auch eingesetzt. Da diese Technologien selbst aber auch noch Gegenstand von Forschung und Entwicklung sind und nicht-funktionierende Technik die erhobenen Feldtestdaten

nicht verfälschen und die HH als reale Kunden nicht abschrecken sollen, sind ihrem Einsatz gewisse Grenzen gesetzt. Wie zuvor beschrieben, gehen die Feldversuche meist nicht über den Einsatz von Intelligenten Messsystemen mit dazugehörigen Displays hinaus. Auch wenn der getestete Umfang relativ eingeschränkt ist, bestätigt sich die Vermutung, da in den Feldversuchen die Lastverlagerungen bis zu 40 % höher ausfallen, wenn Feedbacksysteme angeschlossen und sowohl die dynamischen Elektrizitätspreise als auch die Elektrizitätsnachfrage visualisiert werden (Stromback et al. 2011; Krishnamurti et al. 2012; Lineweber 2011; Lopes et al. 2016; Skjølsvold et al. 2017). Bei der Frage, wie Feedback aufbereitet werden sollte, hat sich ein eigenes Forschungsgebiet aufgetan, das bis in den Gaming-Bereich hineinreicht (Darby 2010; Lo et al. 1991; Skjølsvold et al. 2017).

Offen bleibt, ob bzw. wie Lastverlagerungspotenziale in Feldversuchen mit einem größeren Umfang an ST ausgeschöpft werden. Da hierfür reale Nutzererfahrungen weitgehend fehlen, nähern sich Studien über Befragungen bei potenziellen Nutzern heran. Dabei steht dann die Frage im Vordergrund, welche Nutzen durch ST antizipiert werden. Diese Frage ist in Bezug auf die Akzeptanz im Hinblick auf Kauf- und Zahlungsbereitschaften (vgl. Kapitel 4.1.1.) relevant.

Zwei repräsentative Umfragen der Verbrauchzentrale Bundesverband e. V. (durchgeführt durch Forsa (2010) und durch TNS Emnid

(2015)) sind hierzu bei intelligenten Messsystemen eher zurückhaltend. Sowohl Begriff als auch Technologie intelligenter Messsysteme waren bei der ersten Studie nur drei Prozent der Befragten bekannt. Nach Vorstellung von intelligenten Messsystemen zeigten die Befragten in der zweiten Studie ein gewisses Interesse dafür, sprachen sich aber zu 70 % gegen den Einsatz in ihrem eigenen HH aufgrund von Datenschutzbedenken und Sorge um Zusatzkosten aus.

Für andere ST, bspw. intelligente HHG sowie automatisierte Energiemanagementsysteme, fehlen repräsentative Umfragen. In qualitativen Studien zeigen sich die Befragten an automatisierten Lösungen interessiert (IBM 2007, Mah et al. 2012; Mert et al. 2009; Dütschke & Paetz 2013). Gründe hierfür sind finanzielle Vorteile durch Kostenkontrollen und Kosteneinsparungen, ein ökologischer Beitrag, erleichterte Integration in den Alltag sowie Design-Aspekte der Geräte. Allerdings werden auch Nachteile mit ST antizipiert. Hierzu zählen Datenschutzbedenken, Kontrollverlust über die eigene Gerätenutzung, Kostennachteile durch Investition in die ST sowie Flexibilitätsgrenzen beim Verschieben von HH-Tätigkeiten, bspw. Verschieben von Kochen im Vergleich zur Nutzung der Spülmaschine zu Niedrigpreiszeiten (Balta-Ozkan et al. 2013; Birzle-Harder et al. 2008; Clastres 2011; Giordano & Fulli 2012; Gyamfi & Krumdieck 2011; He et al., 2013; Krishnamurti et al. 2012; Martiskainen & Coburn 2010; Verbong et al. 2013).

Während es in der Literatur diverse Erfahrungswerte zur Akzeptanz und Umsetzung von DR in HH gibt, fehlen diese weitgehend für die Elektromobilität (im Gegensatz zu Analysen zur Akzeptanz von EM an sich, vgl. Ensslen et al. 2015). Somit ist unklar, wie es um die Akzeptanz für dynamische Ladetarife und intelligente Ladesäulen steht, auch wenn in modellgestützten Arbeiten dynamische Ladetarife für BEV konzipiert werden (Kaur & Singh 2023). Grahn (2014) erörtert zwar, welche Faktoren aus Kundensicht eine Rolle spielen könnten (bspw. die gewünschte Ladedauer), stützt sich dabei aber auf keine empirische Untersuchung und berücksichtigt daher auch keine realen Kundenerwartungen oder gar -erfahrungen. Ein kleiner Feldversuch mit zehn Elektrorollern nähert sich der Fragestellung. Hier gaben die studentischen Teilnehmenden eine hohe Bereitschaft zur Ladelaststeuerung an, sofern entsprechende monetäre Vorteile damit verbunden wären (Paetz et al. 2012d).

Die Untersuchungslücke der Elektromobilität im Kontext DR ist insofern verwunderlich, als dass diverse modellgestützte Arbeiten auf die Lastverlagerungspotenziale hinweisen, die sich durch die Integration von EM ins Netz ergeben. Auf diese wird im kommenden Kapitel näher eingegangen.

4.2 Integration von Elektromobilen in das Elektrizitätssystem

Aufgrund der umweltpolitischen Zielsetzungen und der fortschreitenden Entwicklung der Elektromobilität sind zahlreiche energie-wirtschaftliche Arbeiten zur Auswirkung der Integration von EM in das Energiesystem entstanden. Da es bislang keine (Ausschnitte von) Energiesysteme mit einer signifikanten Anzahl an EM gibt, be-ruhen die Arbeiten vorrangig auf Modellrechnungen (Mohanty et al. 2022).

Die Literatur zeigt, dass die Auswirkungen auf den zusätzlichen Elektrizitätsbedarf sowie ihre Bereitstellung über Kraftwerkskapazitäten auch bei vergleichsweise hohen Penetrationsraten von sechs Millionen Fahrzeugen, was dem Ziel der deutschen Bundes-regierung für das Jahr 2030 entspricht, mit vier Prozent vernach-lässigbar sind (Hajimiragha et al. 2011; Heinrichs 2013; Kristoffer-sen et al. 2011). Vielmehr ließen sich sogar durch die intelligente, d. h. gesteuerte, Integration der EM die konventionellen Kraft-werke geradezu Niedriglastzeigen besser auslasten (Pehnt et al. 2011). Da die Last der EM bei hoher Gleichzeitigkeit und Ladelei-stung schon bei geringer Marktpenetration von ca. 10 % zu einer Verdopplung der heutigen Jahreshöchstlast in Deutschland führen kann, sind zeitweilige Netzengpässe im Übertragungsnetz ohne ge-steuertes Laden zu befürchten (Babrowski et al. 2014; Blank et al. 2008; Denholm & Short 2006; Friedl et al. 2018; Heinrichs 2013).

Die Nutzung der EE ist gerade für die ökologischen Zielsetzungen im Verkehr relevant. So könnten CO₂-Emissionen im Verkehr bis zu 85 % bei entsprechender Kopplung zurückgehen (Juul & Meiborn 2011). Eine ökologische Besserstellung während der Pkw-Nutzung ist sogar dann gegeben, wenn der Energiemix von Kohlekraftwerken dominierend ist oder nur die Grenzkraftwerke berücksichtigt werden (Elgowainy et al. 2010; Mah et al. 2012; McCarthy & Yang 2010).

Auf das Elektrizitätsnetz könnten EM sogar stabilisierende Wirkung haben. Die Literatur zeigt hier, dass sich der Elektrizitätsbedarf der EM mit der Windenergie harmonisieren und sich somit mehrere Herausforderungen (volatiles Angebot, Zusatznachfrage, Emissionen) gleichzeitig lösen ließen (Bellekom et al. 2012; Lund & Kempton 2008; Short & Denholm 2006).

Für die Kopplung der EM mit der Bereitstellung von Solarstrom sind die Potenziale etwas differenzierter zu betrachten (Mwasilu et al. 2014). Unter der groben Annahme, dass sich das Mobilitätsverhalten mit BEV vom herkömmlichen Pkw nicht unterscheidet, lässt sich aus den Mobilitätsstatistiken (MiD 2008; MOP 2010) ableiten, dass die Ladelast von BEV mit den allabendlichen Lastspitzen im Elektrizitätsnetz zusammenfallen würde, wenn die Ladevorgänge vornehmlich zu Hause stattfänden, was die geringsten Infrastrukturinvestitionen hätte und worauf die verschiedenen Feldversuche mit EM hindeuten (Kley 2011; Morrisey et al. 2016). Setzt man diese Nachfrage ins Verhältnis zur Einspeiseleistung aus PV, so

können die Versorgungslücken in Zukunft noch größer ausfallen, da sie abends zurückgeht (Dallinger et al. 2013). Abhilfe können hier Ladesteuerungsoptionen, bspw. auch beim Arbeitgeber, sowie PV-Speichersysteme bieten (Kaschub 2017).

Betrachtet man neben der zeitlichen Dimension auch die geographische, so ist zu beobachten, dass die meisten EM in den Bundesländern (Baden-Württemberg, Bayern, Nordrheinwestfalen) gekauft werden, die vom Atomausstieg am stärksten betroffen sind und aufgefordert sind, die künftig fehlenden Kernkraftkapazitäten durch den Ausbau EE aufzufangen (DENA 2012; KBA 2018).

Bedenkt man, dass sich die EM nicht über die gesamte Fläche Deutschlands oder bestimmter Bundesländer gleich verteilen, sondern sich ihre Käufer an „hot spots“ konzentrieren werden (Shao et al. 2009), wird die Nachfragelast der EM lokal im Niederspannungsnetz für besondere Herausforderungen aus zwei Gründen sorgen (NPE 2010). Zum einen lassen sich EM dann wirtschaftlich fahren, wenn sie aufgrund ihrer geringen variablen Kosten innerhalb ihrer Reichweite viel genutzt werden – damit sind insbesondere Fahrer in Stadtrandlagen als potenzielle Erstnutzer zu sehen (Biere et al. 2009). Zum anderen entwickeln soziale Effekte, bspw. Nachbarschaftseffekte, lokal ihre Dynamik, wie das auch bei der Verbreitung von PV-Systemen zu beobachten ist (Bollinger & Gillingham 2012; Rode & Weber 2012; Snape & Rynkiewicz 2012). Konzentrieren sich die prognostizierten Marktzahlen der EM also

in bestimmten Wohnsiedlungen, so entstehen neue Herausforderungen im Niederspannungsnetz mit um bis zu 70 % höheren Lastspitzen, was Engpässe an bestimmten Netzsträngen hervorruft, die Belastbarkeit der Transformatoren ausreizt und sich negativ auf die Spannungshaltung, insbesondere in Stadtrandlagen, auswirken kann (Gong et al. 2012; Papadopolous et al. 2011; Leitinger & Litzlbauer 2011; Pollok et al. 2011; Richardson et al. 2012; Rehtanz & Rolink 2010; Sharma et al. 2014).

Wietschel et al. (2012) sehen die Erstkäufer von EM sogar eher im ländlichen Raum, wo wiederum aber PV-Anlagen stärker verbreitet sind und bereits heute eine Spannungshaltung nach DIN EN 50160 im ländlichen Niederspannungsnetz deutlich erschwert (Kraiczky et al. 2013). Zudem kann man davon ausgehen, dass EM für PV-Anlagen-Besitzer aufgrund der höheren Deckung des Eigenbedarfs von besonderem Interesse sein könnten, was Befragungsstudien bestätigen (Leitinger & Litzlbauer 2011; Kaschub 2017; Scherrer et al. 2019). Entsprechend geht auch die DENA (2012) vom höchsten Handlungsbedarf auf Niederspannungsebene aus.

Wenn die gesteuerte Integration von EM nicht nur vorhandene Kraftwerke besser auslastet und Engpässe auf Übertragungs- und Niederspannungsebene vermeidet, sondern sogar bei volatiler Elektrizitätsbereitstellung stabilisierend wirken und zur Erreichung der Umweltziele im Verkehr beitragen kann, sind die Potenziale zur Ladelastverlagerung und die Frage, wie diese bei den Nutzern erreicht werden können, besonders relevant (DOE 2006; Kam

& Sark 2015; Pregger et al. 2013; Wellinghoff & Morenhoff 2007; Zhang et al. 2012). Methodisch gehen die modellgestützten Arbeiten unterschiedlich heran. Neben der Marktpenetration der EM sind das Mobilitätsverhalten, die Batterieeigenschaften, der daraus resultierende Ladebedarf sowie die Ladeeigenschaften (Ladezeitpunkt, Ladestrategie etc.) entscheidende Parameter (Green et al. 2011).

Die Marktpenetration der EM wird jeweils unterschiedlich abgebildet: sie wird entweder exogen vorgegeben und die Höhe durch Szenarien variiert oder sie wird endogen ermittelt und orientiert sich dann an der technischen Erfüllbarkeit und / oder an der Wirtschaftlichkeit (Ekman 2011; Kiviluoma & Meiborn 2011; Heinrichs 2013).

Welche Fahrzeuge in den Modellen zum Einsatz kommen, variiert stark. In einem Review von 42 Studien zeigt Richardson (2013), dass 64 % der Arbeiten PHEVs (mit-)abbilden. Da mit diesen Fahrzeugen keine Reichweitenbeschränkung einhergeht (und sie daher zur Analyse der Akzeptanz von Ladelaststeuerung eher ungeeignet sind) und die Batterien kleiner ausfallen als bei BEVs, sind ihre Auswirkungen auf das Elektrizitätssystem und ihre Potenziale für DR eher gering (Heinrichs 2013). Meistens wird nur ein Fahrzeugtyp (i. d. R. Kompaktklasse Pkw) zugelassen, die wenigsten Arbeiten bilden tatsächlich verschiedene Fahrzeugtypen und damit auch Größenklassen hinsichtlich Batteriekapazitäten. Arbeiten, die auch zweirädrige EM berücksichtigen sind bis dato unbekannt.

Die Fahrzeug- und insbesondere die Batteriecharakteristika wirken sich direkt auf den Ladebedarf aus und sind damit für die Freiheitsgrade der Lastverlagerung relevant. Um diese zu bestimmen, ist neben der Park- und Anschlussdauer insb. das Fahrprofil relevant. Auch an dieser Stelle variieren die Vorgehensweisen: synthetisch erzeugte vs. real gemessene Fahrprofile, Nutzung eines Fahrprofils vs. Nutzung mehrerer individueller Fahrprofile, die teilweise aber aggregiert werden. Es fällt auf, dass die deutschen Arbeiten (vgl. Dallinger 2013; Heinrichs 2013; Kley 2011) hier vorrangig auf die Statistik Mobilität in Deutschland (MiD) zurückgreifen, was für energiewirtschaftliche Fragestellungen Grenzen aufweist. Zwar ist diese Statistik repräsentativ für die deutsche Bevölkerung an einem durchschnittlichen Tag, aber sie bildet nicht das Verhalten im Wochenverlauf ab. Da der Mobilitätsbedarf allerdings im Wochenverlauf Schwankungen unterliegt (bspw. mehr Fahrten montags und freitags, geringere und längere Ausflugsfahrten am Wochenende), hat dies durchaus Auswirkungen auf das Verlagerungspotenzial von Ladevorgängen und auch auf die Auswirkungen im Elektrizitätsnetz, das wiederum auch im Wochenverlauf unterschiedlich stark belastet wird (bspw. mit deutlich geringeren Lasten am Wochenende). Allerdings ist insgesamt unklar, ob die Annahme, dass sich Mobilitätsbedarf und damit Fahrprofil bei einem elektrischen Fahrzeug wie bei einem konventionellen gleichbleiben, korrekt ist. Der zuvor erwähnte Feldversuch mit den zehn Elektrorollern hat gezeigt, dass die Verfügbarkeit eines EM zu einem Anstieg der Verkehrsteilnahme um bis zu 20 % führt (Paetz et

al 2012d). Die Auswertung weiterer Feldversuche ist nötig, um dies genauer zu ergründen und womöglich eine repräsentative Statistik mit EM aufzubauen (Mohanty et al. 2022).

Dies ist insbesondere deswegen relevant, da vom Fahrprofil auch die Stand- und Anschlusszeiten an das Elektrizitätsnetz abhängen. Gerade die heute vorherrschenden langen Standzeiten (~ 94 % des Tages; MOP 2010) bieten Spielraum zur Verschiebung von Ladevorgängen und machen BEV für DR – neben ihrem hohen Energiebedarf – attraktiv (Babrowski 2015).

Bei der Betrachtung von DR mit BEV sind die Ladeeigenschaften, insbesondere die Ladestrategien wichtig. Allen modellgestützten Arbeiten liegt eine unkontrollierte Ladestrategie als Basisszenario zugrunde, die dann meist um eine zeitversetzte Lade- und eine bidirektionale Ladestrategie erweitert wird (Ekman 2011; Hodge et al. 2010; Kristoffersen et al. 2011; Lund & Kempton 2008; Wang et al. 2011; Mohanty et al. 2022).

Die Steuerungsanreize in Form von dynamischen Ladetarifen, die zu diesen Ladestrategien führen, wurden bislang nicht gesondert betrachtet, obwohl viele Arbeiten Steuerungsmechanismen für die Ladevorgänge empfehlen, um die sonst auftretenden Lastspitzen zu vermeiden (Brauner 2009; Leitinger et al. 2011; Nischler et al. 2011; Wang et al. 2011). Integrierte Betrachtungen von DR von HH und Elektromobilität gibt es nur vereinzelt, obwohl die Potenziale zur Lastverlagerung allein durch HHG vergleichsweise gering sind

(Gottwalt et al. 2011; Kaschub 2017; Zhuk et al. 2016). Die Zusammenführung von DR-Berechnungen mit Akzeptanzanalysen fehlt bislang völlig.

5 Forschungsfrage und -design

Vor dem Hintergrund des aktuellen Stands der Forschung bleiben im Hinblick auf die Umsetzung von DR in HH der Zukunft noch zahlreiche Fragen offen. Diese resultieren insbesondere daraus, dass es sich um die Implementierung neuer Technologien handelt, deren Entwicklungsgrad noch nicht vollständig ausgereift ist, nur teilweise auf dem Markt verfügbar sind und daher auch noch keine Rückschlüsse auf bzw. reale Erfahrungswerte über Akzeptanz, Verhaltenswirksamkeit und Auswirkungen von DR auf das Elektrizitätssystem möglich sind. Diese könnten aber wiederum die Gestaltung der Technologien sowie der dazugehörigen Services beeinflussen und damit im Ergebnis den Beitrag von DR zur Integration von EE und der Umsetzung der Energiewende erhöhen.

5.1 Forschungsfrage

Um eine Antwort auf die Frage nach der Wirksamkeit von DR zu finden, werden drei Teilfragen (TF) verfolgt:

TF 1: Wie akzeptieren potenzielle Nutzer DR, d. h. welche Verhaltensabsicht liegt vor?

TF 2: Wie akzeptieren tatsächliche Nutzer DR, d. h. welches Verhalten (deskriptive Entscheidung) ist unter (quasi-)realen Bedingungen im Labor und im Feld zu beobachten (verhaltensbasierten Lastverlagerungspotenziale)?

TF 3: Wie akzeptieren rationale Nutzer DR, d. h. welches Verhalten (normative Entscheidung) ist unter Sicherheit im Modell optimal (techno-ökonomische Lastverlagerungspotenziale)? Wie unterscheidet sich dieses vom verhaltensbasierten Lastverlagerungspotenzial?

Auf alle drei Teilfragen wird im Folgenden näher eingegangen, ein Forschungsdesign für die korrespondierenden Studien (Kapitel 6 bis 8) herausgearbeitet und jeweils erste Annahmen getroffen.

5.1.1 Akzeptanz von Demand Response (TF 1)

Die Literaturanalyse zeigt, dass trotz einiger Feldversuche und Studien (v. a. zu Smart Metering), wenig allgemein gültige Annahmen zur Nutzerwahrnehmung und -akzeptanz sowohl zu DR, als auch zu den eingesetzten ST insbesondere aufgrund ihres Zukunftscharakters abgeleitet werden können. Viel mehr konzentriert sich die Forschung bisher auf ER, also das Einspar- und Effizienzverhalten. Zur effektiven Gestaltung von DR und zur marktgesteuerten (aber teilweise auch politisch regulierten) Diffusion der dafür notwendigen Technologien sind Erkenntnisse zur Nutzerakzeptanz von großer Bedeutung.

Aus diesem Grund wählt die erste Studie (Kapitel 6) einen explorativen Ansatz zur Erfassung von spontanen Nutzerreaktionen auf ein möglichst greifbares Szenario eines mit ST ausgestatteten HH der Zukunft. Methodisch werden Fokusgruppendifkussionen in einem quasi-realen Umfeld, dem ESHL, durchgeführt, um folgenden

Fragen nachzugehen: Wie reagieren potenzielle Nutzer auf das gesamte Spektrum an IKT im HH? Wie werden die einzelnen Komponenten, d. h. Zonentarife, intelligente Messsysteme, intelligente HHG und ein EMS bewertet? Von welchen Faktoren hängt ihre Integration in den täglichen HH-Ablauf ab? Welche Abläufe sind aus Sicht potenzieller Nutzer für DR im HH geeignet und aus welchen Gründen? Welche Barrieren müssen dabei überwunden werden? Führen diese Technologien zu einem effizienteren Verhalten aus Kundensicht? Welche Implikationen können daraus für die Entwicklung von marktfähigen Produkten gezogen werden?

Die Verhaltensannahmen für diese Studie sind, dass basierend auf Ajzens Theory of Planned Behavior (1991) Preissensitivität, Umweltorientierung sowie Technikbegeisterung der potenziellen Nutzer einen Einfluss auf ihr Interesse für die vorgestellten ST und auf ihre Verhaltensabsicht (d. h. die Absicht, sein Verhalten auf die gebotenen Anreize hin anzupassen) haben. Gleichzeitig ist zu erwarten, dass, basierend auf Davis Technology Acceptance Model (1989), das gesamte ESHL-Szenario als so komplex empfunden wird, dass die Akzeptanz für DR und damit auch die Verhaltensabsicht wiederum sinken.

5.1.2 Verhaltensbasierte Lastverlagerungspotenziale (TF 2)

In der Literatur sind wenige Antworten auf die Frage zu finden, welches Verhalten sich bei der Einführung von DR in HH tatsächlich

beobachten lässt und warum. Das ist auch trotz zahlreich durchgeführter Feldtests nicht verwunderlich, denn der Maßnahmenumfang, der im Feld zum Einsatz kommt, kann aus Kosten- und Technologiegründen immer nur eingeschränkt sein. Daher gibt es zwar Beobachtungen zum HH-Verhalten nach Einführung von Anreizen (bspw. simple Tarifstrukturen) und von bestimmten Technologien (bspw. intelligente Messsysteme), aber nicht in einem vollumfänglichen Ansatz (bspw. an ein Energiemanagementsystem gekoppelte intelligente HHG).

Aufgrund der relativ hohen Ladelast, der hohen Energienachfrage, der langen Standzeiten von BEV und dem daraus abgeleiteten hohen Lastverlagerungspotenzial zur Integration von EE (vgl. Babrowski et al. 2014), ist es durchaus erstaunlich, dass bisher wenige empirische Forschungsergebnisse zu Beobachtungen von DR im Kontext des (gesteuerten) Ladeverhaltens existieren. Vielmehr konzentriert sich die hohe Anzahl an Feldtests mit BEV auf die Fahrzeugtechnologie und das Fahrverhalten selbst. Parkzeiten und Ladeverhalten sowie deren Veränderungen bei bestimmten Anreizen sind bislang kaum erforscht worden (vgl. Flath et al. 2014).

Daher gilt es bei der zweiten Studie (Kapitel 8) herauszufinden, wie sich das Verhalten (d. h. die Elektrizitätsnachfrage) im HH (was das EM einschließt) durch die Einführung von DR verändert und warum. Halten die konzipierten Anreizmechanismen der alltäglichen Praxis stand? Warum bzw. warum nicht? Welche Unterschiede gibt

es hinsichtlich der Effektivität der verschiedenen Elektrizitätstarifarten? Wie alltagstauglich ist die eingesetzte IKT in den HH der Zukunft? Wie sieht das ganz besonders bei EM aus?

Methodisch werden bei der Analyse dieser Teilfrage empirische Verfahren der Sozial- und Marketingwissenschaften im Labor und im Feld eingesetzt. Die Laborarbeiten finden wie die vorhergehende Studie auch im eigens errichteten ESHL statt, das ein quasi-reales Umfeld bietet und später im Kapitel ausführlich vorgestellt wird. Es wurde als Wohnhaus genutzt, in dem mehrwöchige Wohnphasen mit Testpersonen durchgeführt wurden, die in dieser Zeit mit verschiedenen DR-Szenarien konfrontiert wurden.

Die Feldarbeiten basieren auf einem Flottenversuch mit BEV mit privaten wie gewerblichen Nutzern bzw. Käufern. Für den Feldtest wurde ein Anreizsystem in Form eines eigenen Ladetarifs entwickelt und eingesetzt sowie auf seine Verhaltenswirksamkeit hin untersucht.

Sowohl Labor- als auch Feldarbeiten sind durch verschiedene Befragungsmethoden (Pre-Post-Befragung, Einzelinterviews, Fokusgruppendifkussionen) begleitet worden, um die Motive für das beobachtete Verhalten zu ergründen.

Die Verhaltensannahmen für diese zweite Studie lauten, dass sich aufgrund des Value-Action-Gap-Phänomens (Blake 1999) die Verhaltensabsicht nicht in beobachtbares Verhalten niederschlägt.

Vielmehr wird aufgrund des TAM-Modells (Davis 1989) angenommen, dass die empfundenen Vorteile von DR die zu erwartenden Barrieren im Alltag nicht überwinden können.

5.1.3 Techno-ökonomische Lastverlagerungspotenziale (TF 3)

Am intensivsten bislang erforscht sind die energiewirtschaftlichen und -technischen Auswirkungen von DR, wobei sich die Arbeiten in ihrer Aggregationsstufe und dem Analyseumfang unterscheiden. So gibt es ein gutes Bild darüber, welche Auswirkungen eine (un)gesteuerte Integration von EM auf lokaler, regionaler, nationaler und europäischer Ebene nach sich ziehen – sei es auf die Netzstabilität, die Kraftwerkskapazitäten oder das Investitionsverhalten. Ähnliche Arbeiten gibt es für die Einführung von DR auf HH-Ebene. Wenige Arbeiten nehmen aber das gesamte Spektrum eines HH der Zukunft in die Betrachtung, das neben der Elektrizitätsnachfrage für direkte HH-Abläufe auch den Mobilitätsbedarf integriert.

Keine Forschungsarbeit ist bekannt, in der modellgestützte Arbeiten sowie reale Beobachtungen miteinander verbunden und damit vergleichbar werden. Dabei liegt hier ein wichtiger Erkenntnisgewinn: In wie weit liegen das rationale (d. h. maximal technisch mögliche Lastverlagerungspotenziale) und das reale Verhalten (d. h. verhaltensbasierte Lastverlagerungspotenziale) auseinander? Welche Ansatzpunkte lassen sich daraus für die weitere Forschung, Entwicklung und Einführung von DR ableiten?

Aus dieser dritten Teilfrage leiten sich methodisch nichttriviale Anforderungen für die Entwicklung des eingesetzten Optimiermodells, Demand Side Optimization plus E-Mobility (DS-Opt+) ab, das später ausführlicher beschrieben wird.

Den HH im Optimiermodell wird perfekte Voraussicht entsprechend eines Homo Oeconomicus nach dem S-R-Modell (Ball-Rokeach & DeFleur 1976) unterstellt, der bestrebt ist, sich (ökonomisch) besser zu stellen. Entsprechend wird für diese Studie angenommen, dass die Mehrheit der HH ihr Verhalten durch Lastverlagerungen anpassen. Die Nachfrageflexibilität für das Laden der EM, für die Spülmaschine, die Waschmaschine und den Trockner sind demnach vorhanden – auch wenn vermutlich für die HHG weitaus geringer als für die Fahrzeugladungen.

Aufgrund der Annahme des Value-Action-Gaps in der zweiten Studie (Kapitel 7) ist davon auszugehen, dass die verhaltensbasierten, beobachtbaren Lastverlagerungspotenziale deutlich geringer als die techno-ökonomischen Lastverlagerungspotenziale im Modell (dritte Studie; Kapitel 8) sind.

5.2 Forschungsdesign

Ein solch komplexes und sich dynamisch entwickelndes Themenfeld erfordert einen interdisziplinären Forschungsansatz (vgl. Aboelela et al. 2007; Becher 1989; Bruhn 2000; Choi & Pak 2006), der im Folgenden beschrieben wird.

5.2.1 Interdisziplinäres Design

Das Forschungsdesign setzt sich aus einem interdisziplinären Methodenmix zusammen. Es kommen Methoden aus dem Marketing, der Verhaltensökonomie und dem Operations Research zum Einsatz, um eine umfassende Betrachtung der zuvor skizzierten Forschungsfragen, die aufeinander aufbauen, vorzunehmen und einen substantziellen Beitrag zum Stand der Forschung zu leisten.

Es werden sowohl Primär- als auch Sekundärdaten erhoben. Bei der Primäranalyse (field research) werden qualitative und quantitative Verfahren gewählt. Dazu zählen Online-Befragungen, Telefoninterviews, Fokusgruppen, sowie tiefenpsychologische Einzelinterviews⁴. Ergänzt werden diese Daten um Beobachtungen und Aufzeichnungen im Labor (i. e. ESHL) sowie im Feld (i. e. Feldversuch mit BEV), wofür im Vorfeld die durchzuführenden (verhaltenswissenschaftlichen) Experimente konzipiert werden.

Für die Sekundäranalyse (desk research) wird neben einer strukturierten Literaturanalyse (vgl. Kapitel 4) eine extensive Datenauswertung von Sekundärstudien zu Mobilitäts- und HH-Daten zur Erzeugung von Energieanforderungsprofilen durchgeführt. Diese dienen vorrangig als Inputgrößen für die modellgestützten Arbeiten (vgl. Kapitel 5.2.3).

⁴ Interviewleitfäden und Fragebögen im Anhang

5.2.2 Experimentelle Umgebung: Energy Smart Home Lab

Ein Alleinstellungsmerkmal des hier verfolgten interdisziplinären Forschungsdesigns ist der Aufbau und die Nutzung eines technologisch umfangreich ausgestatteten Prototyps eines HH der Zukunft. Das ESHL ist im Rahmen des öffentlich-geförderten Projekts MeRegioMobil⁵ als Forschungs- und Demonstrationslabor aufgebaut worden und dient in der vorliegenden Arbeit als experimentelle Umgebung.

Das ESHL ist ein 80 m² großes Fertigteilhaus in Containerbauweise und wurde auf dem Campus Süd des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) im Jahr 2010 in Betrieb genommen. Der Netzanschluss erfolgt über ein Erdkabel aus einem benachbarten Institutsgebäude und wird an einen kleinen Wandverteiler, der sich im 20 m² großen Technikraum befindet, übergeben. An diesem Netzanschluss misst ein Gesamtzähler die Gesamtleistung des ESHL inklusive des Eigenverbrauchs der Technikstromkreise. Ein weiterer Zähler (intelligente Messeinrichtung) erfasst ausschließlich die Gesamtleistung des 60 m² großen Wohnbereichs, der die experimentelle Umgebung darstellt.

⁵ Minimum Emissions Region and Mobility, URL: <https://meregionobil.forschung.kit.edu/>

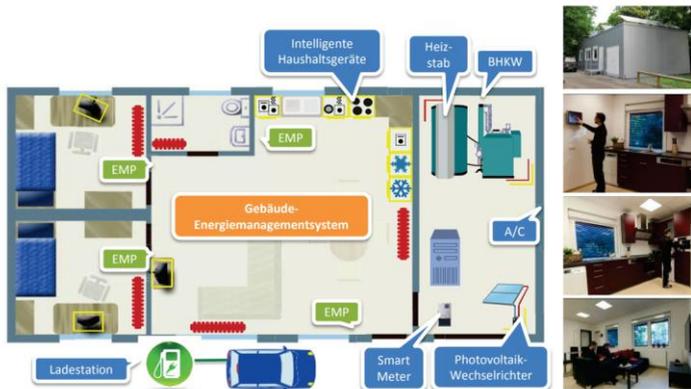


Abb. 03: Energy Smart Home Lab (Becker 2014)

Alle Geräte im ESHL können einzeln gemessen werden (Elektrizität, Spannung, Schein- und Wirkleistung), wozu Leistungsmessklemmen an allen Steckdosen (Smart Plugs) eingebaut sind. Die Steuerung der Komponenten erfolgt über das I/O-System 750 des beauftragten Herstellers. Dazu stehen Controller bereit, die eine Umsetzung auf standardisierte Bussysteme und Protokolle wie Ethernet TCP/IP, was im ESHL zum Einsatz kommt, ermöglichen. Dadurch können feingranular aufgelöste Leistungsprofile aller Geräte erfasst und die jeweilige Elektrizitätsversorgung zu- sowie abgeschaltet werden.

Zentrales übergeordnetes Kommunikationselement ist eine Ethernet-TCP/IP-Vernetzung. Unterlagert sind dann einzelne Gerätegruppen (bspw. intelligente HHG der Küche), die jeweils über ein eigenes Protokoll miteinander kommunizieren (bspw. Feldbus,

Powerline Communication) und am Knotenpunkt in Ethernet TCP/IP umsetzen.

Im Technikraum des ESHL befinden sich neben der umfangreichen Mess- und Steuerungstechnik eine Mikro-Kraft-Wärme-Kopplungsanlage, deren Abwärme vom gasbetriebenen Verbrennungsmotor zur Heizung und Warmwasserbereitung im ESHL genutzt wird, und ein Wechselrichter, der die Einspeisung der auf dem Dach installierten PV-Anlage, regelt. Gekühlt wird das Gebäude über eine Klimadecke.

Hauptaugenmerk der vorliegenden Arbeit liegt auf den elektrischen Verbräuchen im Wohnbereich, der aus einem kombinierten Wohn- und Küchenbereich, einem Badezimmer sowie zwei separaten Schlafzimmern besteht. Das ESHL ist mit den verschiedensten HHG (bspw. Beleuchtung, Fernsehgerät, Haarföhn, Kaffeemaschine, Mikrowelle, Kühlgeräte) ausgestattet. In der Küche befinden sich mit Waschmaschine, Spülmaschine und Trockner drei intelligente HHG (Firma Miele@home). Die drei Geräte sind mit einem Kommunikationsmodul ausgestattet und können über ein mitgeliefertes Gateway angesteuert werden, um ihren Zustand zu erfahren bzw. Steuerungsbefehle zu übermitteln.

Am ESHL befindet sich eine intelligente Ladesäule (Wallbox) zum Auf- und Entladen von EM, die ebenfalls kommunikationstechnisch in die Architektur des ESHL integriert ist.

Während die Hardware im ESHL am Markt erhältliche, wenn auch noch nicht weitverbreitete Technik darstellt, ist die dahinterliegende Kommunikations- und Steuerungsarchitektur mit ihren Algorithmen eigene Entwicklung und Forschungsgegenstand am KIT (vgl. Allerdin 2013). Ziel dieser Architektur ist die technische Umsetzung von DR, also eines Energiemanagementsystems, in dem die Steuerung der Elektrizitätsnachfrage nach bestimmten Anreizen möglich ist.

Dazu ist die Interaktion mit dem Nutzer bzw. dem Bewohner eine essenzielle Voraussetzung sowohl für die Umsetzung von Load Control als auch Load Management. Das HMI zwischen Benutzer und dem Energiemanagementsystem ist im ESHL als Touch-Screen-Displays, sog. Energy Management Panels (EMP), realisiert (vgl. Becker 2014). Über die EMP erhalten die Nutzer einerseits zahlreiche Informationen. Bspw. können die Leistungsdaten gerätescharf aus dem Smart Meter in Echtzeit sowie vergangenheitsorientiert visualisiert oder Elektrizitätspreise für die kommenden 24 Stunden eingesehen werden. Gleichzeitig können die Nutzer auch Steuerungsvorgaben machen, in dem sie bestimmte Präferenzen angeben und Freiheitsgrade definieren, bspw. den Zeitpunkt, bis zu dem der Geschirrspüler fertig gelaufen sein soll.

Im ESHL ist jeder Raum mit mindestens einem EMP ausgestattet. Zusätzlich steht ein mobiles Endgerät (iPod Touch) zur Verfügung. Da das EMP die zentrale Schnittstelle und Line of Visibility (Fließ 2009) zwischen dem Nutzer und dem Energiemanagementsystem

darstellt, sind sowohl die Inhalte (Auswertungen) als auch die Visualisierung (Design und Aufbereitung) kontinuierlich verbessert worden. Dafür sind Ergebnisse von Pretests, von Studienarbeiten sowie von den in dieser Arbeit vorgestellten Teilstudien eingeflossen.

5.2.3 Modellierung: Demand Side Optimization plus E-Mobility

Optimierung

Operations Research (OR) ist ein interdisziplinäres Forschungsfeld der Betriebswirtschaftslehre und der Mathematik, bei dem Entscheidungsunterstützung für praxisnahe Fragestellungen (vorrangig aus Produktion und Logistik) gesucht wird (Zimmermann 2008). Das heißt, für Konzeption, Beschreibung und Vereinfachung (und dann anschließend Modellierung) der Problemstellung ist der spezifische Entscheidungskontext gefordert, während für die Umsetzung in Rechenmodelle und -algorithmen mathematische Theorien angewandt werden (Dantzig 1949). Die Berechnung der Modelle erfolgt durch spezifische Software, die auch verschiedene Lösungsverfahren berücksichtigt. Für die Interpretation der Rechenergebnisse und der darauf basierenden Entscheidungsfindung ist dann der spezifische Branchenkontext wieder relevant. Da am Ende zur Problemlösung eine Entscheidung steht, ist OR per se anwendungsorientiert (Waddington 1973).

Wesentliche Grundlage bei der Modellierung der Problemstellung ist die Entscheidungstheorie, denn zur optimalen bzw. zufriedenstellenden Lösungsfindung ist die Formulierung des Entscheidungsmodells (und damit einer zutreffenden Zielfunktion) unerlässlich. Da die Entscheidungstheorie keine in sich abgeschlossene Theorie, sondern vielmehr ein Forschungsgebiet ist, dem zahlreiche Disziplinen (bspw. Betriebswirtschaft, Psychologie, Statistik) ihre Beiträge liefern (Laux et al. 2012), bildet sie in dieser Arbeit auch das Bindeglied zwischen den verschiedenen Ansätzen zur Ergründung der Akzeptanz und Verhaltenswirksamkeit von DR.

In der Energiewirtschaft spielt OR eine zentrale Rolle zur Analyse und effizienten Lösungsfindung bei aktuellen Marktentwicklungen. Klassische Fragestellungen betreffen u. a. Ausbau- und Betriebsplanungen in Kraftwerks-, Netz- oder Speicherinfrastrukturen oder auch die Modellierung ganzer Energiesysteme (Babrowski 2015; Kallrath 2013; Samouilidis, J. 1980).

Grundsätzlich kann ein Entscheidungsproblem durch mehrere Modelle beschrieben werden. Die Wahl des einzusetzenden Modells hängen von der Formalisierbarkeit und der Komplexität der Stell- und Zielgrößen ab. Sind die Parameter bekannt und in ihrer Beziehung zueinander abbildbar, dann findet ein Optimierungsmodell die beste Lösung für die Problemstellung, also das Maximum oder das Minimum einer Zielfunktion unter mehreren Nebenbedingungen (Hummeltenberg & Preßmar 1989; März & Krug 2011).

Ist die (Makro-)Zielsetzung aber nicht eindeutig, so werden mit Hilfe eines Simulationsmodells verschiedene Entscheidungsvariablen in mehreren Rechenszenarien durchgespielt. Aus den Simulationsergebnissen lassen sich wertvolle Informationen zu den Wirkungszusammenhängen der Stell- und Zielgrößen gewinnen. Simulationsmodelle kommen insbesondere für komplexe Systeme zum Einsatz und sind in der Praxis besonders beliebt, da sie real auftretende Zufallsereignisse durch Stochastik berücksichtigen und so auch der Heterogenität der Agenten und nichtrationaler Entscheidung Rechnung tragen können (März & Krug 2011).

Modellbeschreibung

Zur Analyse TF3 wurde ein eigenes Optimiermodell (Demand Side Optimierung plus Elektromobilität; DS-Opt+) entwickelt, das sich in Grundzügen am Modell Demand Side Optimization (DS-Opt) orientiert (Eßer et al. 2006), jedoch von Grund auf neu aufgesetzt, weiterentwickelt, implementiert und mit anderen Daten genutzt wurde (vgl. Abb. 04). Das Finden der optimalen Lösung setzt perfekte Voraussicht für den Entscheider (Homo oeconomicus) voraus. Die Frage nach dem Entscheider ist von zentraler Bedeutung. Hier wird ein HH als Entscheider gewählt, um eine gewisse Vergleichbarkeit auf Einzelhaushaltsebene zu ermöglichen und um die Verbindung zum(r) individuellen Verhalten(absicht) herzustellen (vgl. Kapitel 6 und 7), aber auch um mehrere HH zusammenzuführen und daraus Rückschlüsse ziehen zu können. Entsprechend werden im vorliegenden Modell mehrere HH als exemplarische Siedlung abgebildet. Dieser Ausschnitt wird gewählt, um ergänzend zur

Abbildung des individuellen Verhaltens (sowohl in Bezug auf das Kauf-, das Mobilitäts-, als auch das Verbrauchsverhalten) auch dessen Auswirkung in Summe darzustellen, wodurch sich neue Anforderungen (bspw. an Gegensteuerung auf Verteilebene) ergeben könnten. Das Optimum im individuellen HH muss sich nicht mit dem Optimum auf höherer Aggregationsstufe decken.

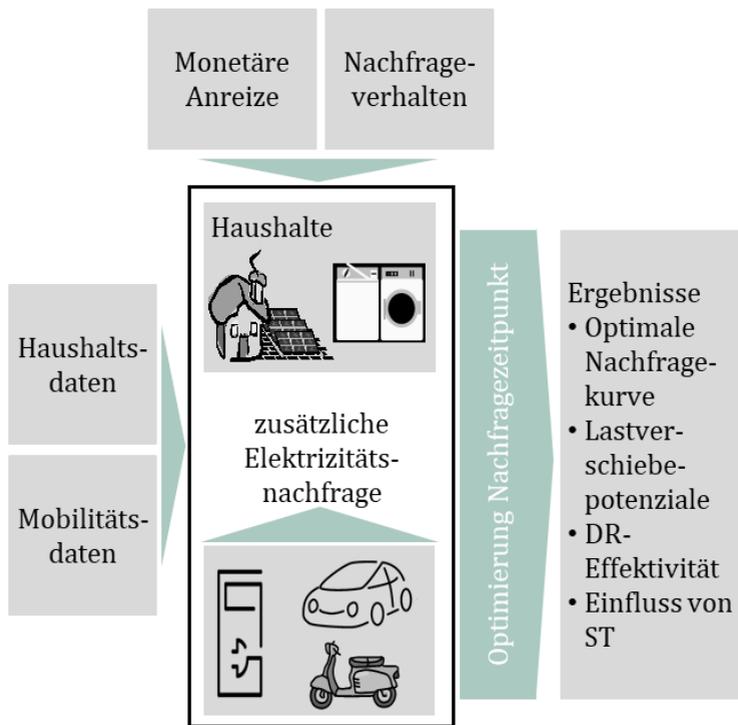


Abb. 04: Schematische Darstellung DS-Opt+

Als Aggregationsebene wird eine Randlage einer großen Stadt (über 100.000 Einwohner gemäß BIK-Klassen⁶ 1 und 3) gewählt und mit 500 HH aus dem MOP (2010), welche anhand der drei Merkmale HH-Größe, HH-Nettoeinkommen (vgl. Abb.05) und Fahrzeugbesitz nach Mikrozensus (DESTATIS 2008) validiert wurden, repräsentativ modelliert. Die Stadtrandlage wurde gewählt, da hier die kennzeichnenden Merkmale für Early Adopter von BEV, u. a. Verfügbarkeit eines eigenen Stellplatzes, hoher Anteil an Hauseigentümern, größere Pendeldistanz innerhalb der Reichweite von BEV, Besitz mehrerer Fahrzeuge, vorhanden sind (Ensslen et al. 2015; Götz et al. 2016; Hebel et al. 2011).

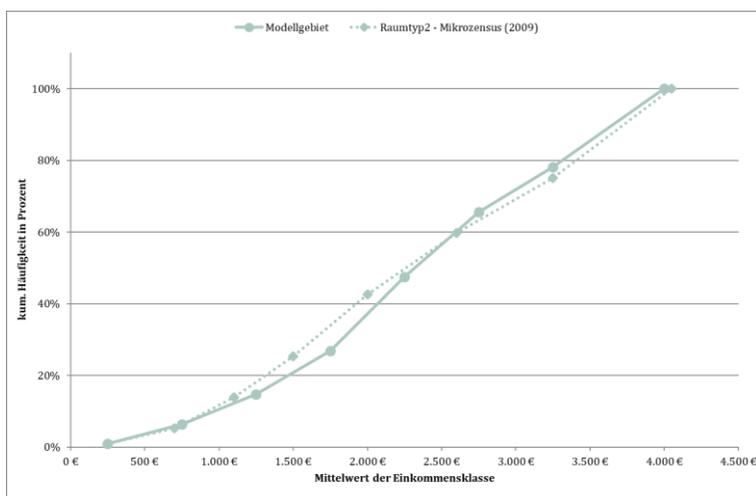


Abb. 05: Validierung des Modellgebiets am Beispiel HH-Nettoeinkommen

⁶ BIK-Regionen sind eine räumliche Gliederungssystematik nach Pendlerpriorität. Die Daten stammen von DESTATIS (2018b). Die Berechnungsmethodik von Firma BIK Aschpurwis + Behrens GmbH (BIK 2013).

Ziel des Modells ist die Minimierung der Bezugskosten von Elektrizität in jedem der 500 HH (vgl. Gleichung 1) unter Berücksichtigung weniger Restriktionen (vgl. Gleichungen 3, 5, 7, 8). Anreiz zur Minimierung der Elektrizitätskosten bilden Zonentarife, die sowohl zeitabhängig als auch lastabhängig oder nach beidem variieren können (vgl. Gleichung 1).

$$\min K^{ges} = \sum_{HH} \left[\sum_{t \in T} \left(E_{t,HH}^{red} + \sum_{HHG} E_{t,HH,HHG} + \sum_{EM} E_{t,HH,EM} \right) \right] \\ * (p_t + \alpha_p^{Auf})$$

$$s. t. \alpha = \begin{cases} 0 \forall E_{t,HH} < LG1 \\ 1 \forall LG1 \leq E_{t,HH} \leq LG2 \\ 2 \forall E_{t,HH} > LG2 \end{cases}$$

Gleichung 1: Zielfunktion

Die zeitliche Auflösung beträgt Viertelstunden (t) innerhalb einer Woche (T; Montag bis Sonntag) zu drei Jahreszeiten (Sommer, Winter, Übergang), da wesentliche Inputgrößen jahres- und tageszeitlichen Schwankungen im Wochenverlauf unterliegen, bspw. längere Fahrten sonntags, höherer Elektrizitätsbedarf im Winter, höhere Elektrizitätspreise im Sommer.

Die Zonentarife, die pro Zeitscheibe einen bestimmten Zahlenwert einnehmen und im Modell exogen vorgegeben werden, orientieren sich am Preisverlauf der Spotpreise an der Strombörse EEX im Jahr 2008 (vgl. Abb. 06). Dazu werden drei Kategorien gebildet (bis 47,84 € / MWh; bis 61,91 € / MWh; über 75,98 € / MWh) und für die konkrete Berechnung der Szenarien sowie für die Bildung der

Zonentarife zugrunde gelegt. Damit können die Verläufe pro Typ-
tage und Typwoche berücksichtigt werden.

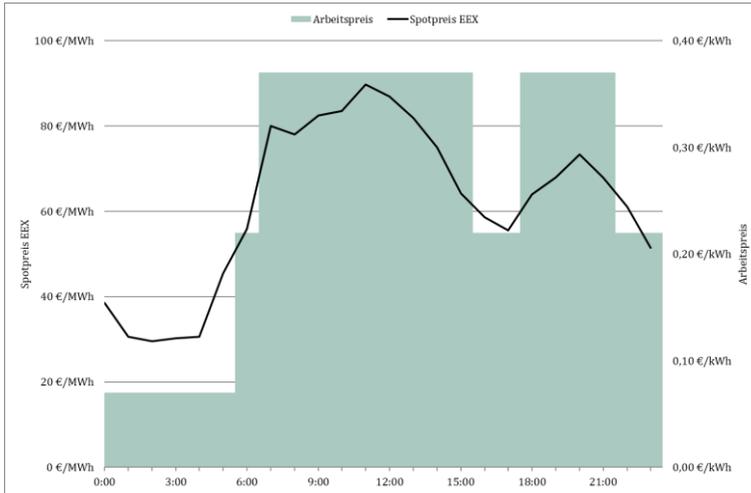


Abb. 06: Zonentarif-Schema abgeleitet vom Spotpreisverlauf

Als Inputgröße für den Elektrizitätsbedarf der HH dienen 65 Lastgangmessungen eines Jahres in viertelstündlicher Auflösung (IIP 1996; Kaschub 2017). Die Lastgänge werden, normiert auf die Typwochen nach Jahreszeit, nach dem Jahresstrombedarf den 500 modellierten HH nach ihrer Größe zufällig zugeordnet (BDEW 2010). Die Lasten für die intelligenten HHG (Spülmaschine, Waschmaschine und Trockner) werden den einzelnen HH-Lastgängen abgezogen und gesondert modelliert. Als Inputgrößen für den Elektrizitätsbedarf der HHG dienen Lastgangmessungen im ESHL. Der Ausstattungsgrad der HH mit diesen drei HHG sowie die Nutzungshäufigkeit dieser HHG pro Woche wurden ebenfalls nach der HH-

Größe zufällig verteilt (DESTATIS 2008; Veit 2010; RWI / forsa 2011).

Das Modell beschränkt sich auf wenige technische Restriktionen bei der Ermittlung des Energiebedarfs der HHG pro HH, um das maximale techno-ökonomische Lastverlagerungspotenzial zu identifizieren, wie die nachfolgenden Gleichungen zeigen. ER wird ausgeschlossen, so dass die Anzahl der Nutzungsvorgänge pro HHG konstant bleiben (bspw. unveränderte Anzahl der Waschgänge pro HH variiert).

$$E_{t+\beta,HH,HHG} = E_{\beta,HHG}^{LZ} * BV_{t,HH,HHG} \quad \forall \beta = 0, \dots, B - 1, HHG, t \in T$$

$$\sum_{\beta=0}^{B-1} BV_{t+\beta,HH,HHG} \leq 1 \quad \forall t \in T - (B - 1)$$

Gleichung 2: Ermittlung Elektrizitätsbedarf der HHG unter Berücksichtigung positiver Binärvariablen

$$BV_t = \{0 | t + B > T\} \quad \forall t \in T$$

Gleichung 3: Laufzeit HHG muss innerhalb der Modellwoche enden

$$BV_{t,HH,Tr} \leq \begin{cases} 1, & BV_{t-B^{WM},HH,WM} = 1 \\ 0, & sonst \end{cases} \quad \forall t = B^{WM}, \dots, T$$

Gleichung 4: Trockner kann nur nach Ablauf der Waschmaschine eingeschaltet werden

$$BV_{t,HH,Tr} = 0 \quad \forall t^n \in \{t_1, \dots, t_{24}; t_{89}, \dots, t_{120}; t_{185}, \dots, t_{217}; \dots\}$$

Gleichung 5: Trockner kann nur tagsüber eingeschaltet werden

Einige Modell-HH besitzen BEV. Um dies abzubilden werden zunächst nur Pkw, Motorräder und Roller berücksichtigt. Diese werden in vier Fahrzeugtypen eingeteilt (Pkw klein bis 75 PS, Pkw mittel bis 150 PS, Pkw groß ab 150 PS, Zweirad). Gemäß Tab. 02 werden elektrische Pendants beschrieben (Kaschub et al. 2011).

Übersicht der modliierten Fahrzeugtypen			
Szenario 2020			
Typ	Kapazität	Vebrauch	Laden
Groß	40,00 kWh	0,267 kWh/km	3,7 kW/h
Mittel	33,50 kWh	0,209 kWh/km	3,7 kW/h
Klein	26,50 kWh	0,160 kWh/km	3,7 kW/h
Roller	3,75 kWh	0,038 kWh/km	0,8 kW/h

Tab. 02: Modellierte BEV

Die Ausstattung der Modell-HH mit EM hängt maßgeblich von der technischen Machbarkeit und damit vom Mobilitätsverhalten der HH ab, denn nur wenn der Mobilitätsbedarf des HH mit einem EM (bei mehreren Fahrzeugen zumindest ein Teil davon) gedeckt werden kann, kommt ein EM in Frage. Zunächst werden daher die zurückgelegten Wege der Personen im HH den zur Verfügung stehenden Pkw und Zweirädern zugeordnet. Die Zuordnung findet auf Basis der in der MOP (2010) aufgezeichneten Laufleistung statt.

Die zurückgelegten Wege werden dann in Batterieladezustände (SoC) umgerechnet. Zudem wird angenommen, dass nur am Stellplatz zu Hause geladen werden kann. Im Modell wird eine konstante Ladekennlinie angenommen, auch wenn die Ladeleistung in Realität mit zunehmendem Ladezustand abnimmt (vgl. Kapitel 3). Mit diesen Parametern lässt sich der minimale Batterieladezustand

(SOC_{min}) ermitteln, der notwendig ist, um die nachfolgende Wegekette bis zur Rückkehr zu Hause, elektrisch absolvieren zu können. Wenn das gesamte Parkzeitfenster am eigenen Stellplatz zur Aufladung genutzt wird, kann der maximale Batterieladezustand (SOC_{max}) ermittelt werden. Das Integral dieser beiden Batterieladezustände stellt das Ladelastverlagerungspotenzial dar.

Reichen die Ladezustände für die jeweiligen Wege des Pkw bzw. Zweirads aus, kann technisch das HH mit einem BEV modelliert werden. Daneben wird für ein zweites Szenario die Marktpenetration der BEV mittels einer Kaufentscheidung modelliert. Hierzu wird eine Total-Cost-of-Ownership-Kalkulation vorgeschaltet. Entscheidungsakteur ist dabei wieder der einzelne HH und nicht einzelne HH-Mitglieder, um Effekte im Buying-Center (Webster & Wind 1972) zu internalisieren sowie die Elektrizitätsabrechnung pro HH zu berücksichtigen. Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden Annahmen zu folgenden Elementen getroffen, die für verschiedene Jahre variiert werden:

- Investitionen (jährliche Abschreibungsrate der Anschaffungskosten; Restwert)
- Wartungs- und Instandhaltungskosten
- Steuern und Versicherung
- Energiekosten.

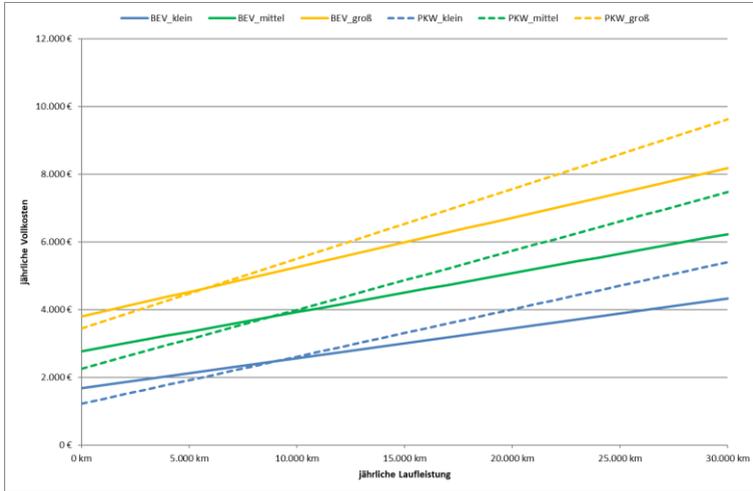


Abb. 07: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung BEV

In Modell-HH mit BEV wird ihr elektrizitätsbedarf zum elektrizitätsbedarf des HH und den elektrizitätsbezugskosten hinzuaddiert. Der elektrizitätsbedarf der BEV wird durch den zuvor beschriebenen ladebedarf bestimmt (vgl. Gleichung 6).

$$E_{t,HH,EM} = SoC_t^{Laden} * E_{t,HH,EM}^{Batterie}$$

$$SoC_{t,HH,EM} = SoC_{t-1,HH,EM} - SoC_{t,HH,EM}^{entl} + SoC_{t,HH,EM}^{Laden} \quad \forall t = 2, \dots, T, HH, EM$$

Gleichung 6: elektrizitätsbedarf BEV und Bestimmung des ladezustands

Um über einen ausreichenden ladezustand für die erste fahrt zu verfügen, wird eine zeitscheibe t_0 eingeführt, zu der das EM für die erste wegekette geladen werden kann – unabhängig von der höhe des elektrizitätspreises. Am ende der woche soll der ladezustand dem zu anfang der woche entsprechen (vgl. Gleichung 7). Analog

zur Nutzung der HHG gilt auch bei der Mobilität, dass der Bedarf nicht variiert und etwa bei hohen Elektrizitätspreisen reduziert wird.

$$SoC_{t,HH,EM} = SoC_{T,HH,EM} \forall HH, EM$$

Gleichung 7: Ladezustand am Ende der Woche entspricht dem Anfangsladezustand

Darüber hinaus gibt es bei der Ermittlung des Elektrizitätsbedarfs für die Ladevorgänge der EM minimalste Restriktionen (vgl. Gleichung 8).

$$E_{t,HH,EM} \leq p_{EM}^{max} * ZE$$

Gleichung 8: Ladeenergie begrenzt durch Ladeleistung

Programmierung

Das Modell ist in der kommerziell erhältlichen Software General Algebraic Modeling System (GAMS) programmiert⁷. GAMS kann lineare, nichtlineare und wie im eingesetzten Fall gemischt-ganzzahlige Optimierungsprobleme lösen.

Der Vorteil von GAMS besteht darin, dass ein Modell unabhängig vom Lösungsalgorithmus (Solver) mit relativ einfacher Syntax formuliert werden kann. Hierfür übersetzt der GAMS-Compiler das Optimierungsproblem in ein für den Solver passendes Eingangsformat. Dieser gibt das ermittelte Ergebnis wieder an GAMS zurück, woraufhin es anschließend abgespeichert und ausgelesen werden

⁷ Quellcode im Anhang

kann (Rosenthal 2011). Diese Modelllösungen können mit Hilfe einer GDX-Schnittstelle in Microsoft Excel übertragen werden, womit sie ausgewertet und dargestellt werden können. Als Solver wird im vorliegenden Fall IBM CPLEX genutzt.

6 Akzeptanz von Demand Response

Zur Analyse der ersten Teilfrage, der Ergründung der Akzeptanz von DR, insbesondere der Verhaltensabsicht, wird eine explorative Fokusgruppenstudie, die auch eine van-Westendorp-Analyse zur Einschätzung von Zahlungsbereitschaften beinhaltet, durchgeführt. Basierend auf dem Stand der bisherigen Forschung können folgende Ergebnishypothesen (H) bzw. Erwartungen formuliert werden:

H01: Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer unterstützen grundsätzlich das Konzept von DR (d. h. der Lastverlagerung) und stehen den unterstützenden ST positiv gegenüber.

H02: Die Grundidee dynamischer Tarife ist erklärungsbedürftig.

H03: Die Umsetzung von DR im eigenen HH wird kritisch bewertet, insbesondere wenn keine kalkulierbaren monetären Vorteile gegeben sind.

Die Fokusgruppenstudie ist auf Konferenzen in Chicago, Dresden und Kopenhagen (Paetz et al. 2011b) vorgestellt und im Anschluss nach einem double-blind-peer-review-Verfahren in englischer Sprache veröffentlicht worden (Paetz et al. 2012a). Die Erstautorin hat den Hauptanteil sowohl bei der Durchführung der Forschungs-

als auch bei der Publikationsarbeit geleistet. Die Kerninhalte werden im Folgenden vorgestellt und enden mit einem Zwischenfazit in Kapitel 6.2.

6.1 Demand Response und Smart Technologies aus Sicht potentieller Nutzer

6.1.1 Methodisches Vorgehen

Forschungsdesign

Um die oben dargestellten Forschungsfragen zu beantworten, wurde ein auf Fokusgruppen basierendes exploratives Design gewählt. Fokusgruppen sind eine Methode, um Meinungen zu eruieren und sind daher besonders nützlich, wenn Individuen mit innovativen Produkten oder Ideen erstmalig konfrontiert werden: Einerseits ermöglichen Fokusgruppen eine enge Interaktion mit dem Forschenden und der Technologie; andererseits haben die Teilnehmerinnen und Teilnehmer die Möglichkeit, Fragen zu stellen und sich auch gegenseitig beim Hervorrufen von Assoziationen und Wahrnehmungen anzuregen, um sie als Gruppe zu diskutieren. Fokusgruppen bieten damit die Chance für den Forschenden, ein tiefes Verständnis dafür zu entwickeln, warum die Menschen so fühlen, wie sie es tun, indem sie ihre verbalen und nonverbalen Reaktionen analysieren (Bryman 2001). Dank der Gruppendynamik

werden häufig Problemfelder im Dialog thematisiert, die in Einzelgesprächen wahrscheinlich nicht zur Sprache gekommen wären. Daher können ergiebige Datenmengen gesammelt werden – in der von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern selbst gewählten Formulierung.

Offensichtlich ist es durch Fokusgruppen nicht möglich, Schlussfolgerungen zu ziehen, die für eine größere Population repräsentativ sind, oder präzise quantitative Vorhersagen über die Marktentwicklung einer bestimmten Technologie zu treffen. Die Ergebnisse einer Fokusgruppenstudie hängen stark von den teilnehmenden Personen ab – folglich ist die Auswahl der Teilnehmerinnen und Teilnehmer ein wichtiger Schritt. Darüber hinaus entwickelt jede Gruppe eine spezifische Dynamik. So ist es in der Regel ratsam, mehr als eine Fokusgruppe zu untersuchen.

Zur Ergänzung der Fokusgruppendifkussionen wurden kurze standardisierte Fragebögen vor und nach (Vorab- und Abschlussfragebogen) der eigentlichen Diskussion ausgehändigt, um zusätzliche Informationen über die individuellen Einstellungen der einzelnen Teilnehmerinnen und Teilnehmer zu erhalten. Der Vorabfragebogen beinhaltete sozio-demographische Informationen und Items über die Affinität zu technologischer Innovation und zur Umwelt sowie das Elektrizitätsnachfrageverhalten. Der Abschlussfragebogen enthielt Fragen zu allgemeinen Bewertungen der vorgestellten ST sowie zu den Preiserwartungen. Auf der Basis konnte im Nach-

gang eine van-Westendorp-Analyse erstellt werden. Sie ist eine Methode zur Betrachtung von Preisen aus Kundensicht für neuartige Produkte, die in diesem Fall als Grundlage für die Ermittlung von Kosteneinsparungen durch variable Elektrizitätstarife verwendet wurde (van Westendorp 1976; Bergstein and Estelami 2002).

Stichprobe

29 Personen nahmen an einer von vier Fokusgruppen teil, die alle dem gleichen Design folgten und zwischen 2,5 und 3 Stunden dauerten. Dazu gehörten der Vorab-/Abschlussfragebogen und eine Abfolge von Kurzvorträgen oder Demonstrationen der Moderatorin, gefolgt von umfangreichen Gruppendiskussionen auf der Grundlage eines Leitfadens mit spezifischen Fragen.

Die Größe der Gruppen variierte zwischen sechs und neun Personen. Allen Gruppen gehörten Frauen und Männer an, insgesamt waren Männer aber in der Mehrheit (18 von 29). Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer waren im Durchschnitt relativ jung, da die ersten beiden Gruppen aus Studierenden bestanden, während die dritte Gruppe Studierende und "durchschnittliche Erwachsene" (= Nicht-studierende) aus der Region Karlsruhe umfasste; die letzte Gruppe bestand ausschließlich aus Nichtstudierenden. Das Alter der Teilnehmerinnen und Teilnehmer lag zwischen 21 und 61 Jahren; 21 Personen, darunter 19 Studierende, waren jünger als 30 Jahre.

Studierendengruppen zu gewinnen hatte folgende Beweggründe: Erstens: Studierende wurden als eine der Hauptzielgruppen von

Personen angesehen, die zukünftig tatsächlich in einem Smart-Home-Umfeld leben werden, da sie in der Regel nicht bereits über voll ausgestattete Wohnungen bzw. Häuser verfügen und wahrscheinlich die Technologien zu dem Zeitpunkt, wenn sie anfangen, in eine entsprechende Ausstattung zu investieren, auf dem Markt verfügbar sein werden. Zweitens: Es wurde, da das KIT eine Universität mit technischem Schwerpunkt ist, erwartet, dass die Studierenden gegenüber den vorgestellten ST relativ aufgeschlossen sein würden. Drittens: Es wurde davon ausgegangen, dass die Studierenden noch keine festen Alltagsgewohnheiten im Hinblick auf die HH-Führung entwickelt haben und daher flexibler seien, bspw. einen variablen Elektrizitätstarif zu wählen. Folglich bilden Studierende eine interessante, wenn auch spezifische Gruppe. Daher bestanden die beiden zusätzlichen Gruppen hauptsächlich aus Personen über 25 Jahren, die bereits in Bezug auf HH und Beruf etabliert waren. Wichtig war die Gewinnung heterogener Teilnehmerinnen und Teilnehmer im Hinblick auf Beruf, Alter, Bildungsniveau und Wohnsituation, bspw. Größe der HH und Wohneigentum.

Interessenten wurden sie auf verschiedene Weise gewonnen, darunter Mailinglisten von Universitäten, Zeitungsanzeigen und der Verteilung von Flyern. Anhang eines Screening-Fragebogens, der die soeben erwähnten Aspekte abdeckte, wurden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer letztlich ausgewählt. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer erhielten nach der Gruppendiskussion eine Aufwandsentschädigung i. H. v. 30 Euro.

Von den zehn Nichtstudierenden aus der Stichprobe waren sieben angestellt oder selbstständig, u. a. in den Bereichen Kosmetik, Gesundheitswesen und Energiewirtschaft. Drei waren entweder arbeitslos oder im Ruhestand. Vier Teilnehmerinnen und Teilnehmer gaben an, allein zu leben; neun lebten mit Partner oder Familie und 16 – alle davon Studierende – lebten in Wohngemeinschaften. Die HH-Größe lag zwischen einer und 15 Personen. Vier Teilnehmerinnen und Teilnehmer hatten zum Zeitpunkt der Befragung noch im HH lebende Kinder.

Im Vorabfragebogen wurden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer aufgefordert, anzugeben, welche zwei von fünf Themen die wichtigsten Herausforderungen unserer Zeit seien. Die meisten Teilnehmerinnen und Teilnehmer dachten, dass heutzutage Umweltprobleme die wichtigste Herausforderung darstellten, gefolgt von der Wirtschaft. Gesundheitsversorgung, Arbeitslosigkeit und Kriminalität wurden als weniger wichtig eingestuft. Studierende und Nichtstudierende hatten hier keine unterschiedlichen Meinungen. Auch unterschieden sich die vier Gruppen nicht signifikant voneinander. Eine weitere Frage war, ob man gerne technische Neuerungen ausprobiert. Keiner der Teilnehmerinnen und Teilnehmer wählte die Antwortmöglichkeit "Ich ziehe es vor, mich an bewährte Technologien zu halten". Während sieben der Studierenden angaben, "Ich bevorzuge es zu warten, bis andere Erfahrung mit ihnen gemacht haben", optierten die verbleibenden zwölf sowie alle nichtstudentischen Teilnehmerinnen und Teilnehmer für "Ich probiere sie gerne aus". So schätzten sich die Teilnehmerinnen und Teilnehmer

insgesamt als umweltbewusst und sehr offen für Innovationen im Allgemeinen ein, wobei Studierende sich hier als etwas weniger offen zeigten. Hingegen gaben die Studierenden an, einen signifikant höheren Aufwand zu betreiben, um im Alltag Energie zu sparen. Entsprechend erwarteten die studentischen Teilnehmenden größere Einbußen durch energiesparende Maßnahmen auf den Alltagskomfort als Nichtstudierende; auch dieser Unterschied ist signifikant. Im Allgemeinen widersprachen alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Aussage, dass Privatpersonen nur wenige Möglichkeiten haben, Energie zu sparen, und stimmten zu, dass Energiesparen impliziere, den Lebensstil zu ändern (vgl. Abb. 08).

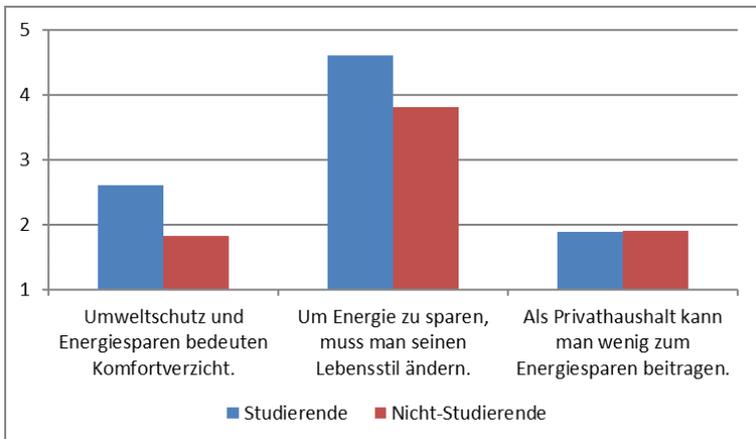


Abb. 08: Einstellung der Befragten zum Energiesparen; 1=trifft gar nicht zu, 5= trifft sehr zu; T-Test, $p < 0.05$

Durchführung

Die Fokusgruppen fanden im Wohnzimmer des im Kapitel 5.2.2 vorgestellten ESHL statt und wurden von der Autorin und einer assistierenden Kollegin moderiert.

Bei Ankunft wurde den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Vorabfragebogen ausgehändigt. Die Gruppendiskussion begann dann mit dem Sammeln von Assoziationen zur Thematik Elektrizität und zur eigenen Elektrizitätsnachfrage zu Hause. Danach wurden die verschiedenen im ESHL implementierten ST diskutiert. Unter vollständiger Ausnutzung der Möglichkeiten der ESHL-Umgebung wurden verschiedene audiovisuelle Kommunikationskanäle verwendet, um jede Technologie vorzustellen: mündliche Erklärungen (aller Technologien), Informationen auf gedruckten Handouts (variable Elektrizitätstarife), Präsentationen auf einem großen Bildschirm (variable Elektrizitätstarife, automatisiertes Energiemanagementsystem) und Demonstrationen (intelligentes Messsystem und intelligente HHG).

Elektrizitätstarife wurden als erstes adressiert, beginnend mit Grundpreistarifen, über zeitabhängige hin zu lastabhängigen Zonentarifen. Eine Vielzahl von komplexeren Elektrizitätstarifen wurden vorgestellt, um den Wissensstand anderer Feldstudien zu erweitern, die bisher überwiegend einfach strukturierte Tarife getestet haben. Zwei verschiedene zeitabhängige Zonentarife wurden entwickelt: ein einfacher mit zwei verschiedenen Zeitzonen und

Preisniveaus (Tag und Nacht bei 22 bzw. 19 ct/kWh)⁸ und ein komplexerer mit drei verschiedenen Preisniveaus (15, 20 und 25 ct/kWh), die sich stündlich ändern können (d.h. ein Maximum von 24 Zeitzonen pro Tag) mit einer täglichen Prognose für die nächsten 24 Stunden. Ein weiterer Elektrizitätstarif mit zwei Preisniveaus (19 und 25 ct/kWh) in Abhängigkeit von der aktuellen Hauslast (unter oder über 1,2 kW) wurde als lastabhängiger Zonentarif eingeführt (vgl. Abb. 9). Als letzte Option wurde ein nutzungsabhängiger Elektrizitätstarif mit Zonen erörtert, bei dem der Preis (ausgehend von 16 ct/kWh) nach jeweils 1.000 kWh um 3 ct/kWh für die nächsten 1.000 kWh steigt (basierend auf dem Jahresverbrauch).

Nach den Elektrizitätstarifen wurden intelligente Messsysteme vorgestellt und anhand des konkreten intelligenten Messsystems im ESHL deren Eigenschaften sowie zusätzliche Anwendungen vorgeführt, wie bspw. die Darstellung von Echtzeit-Lastkurven als Graphen auf einem Bildschirm. Diese wurden dann von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern ausführlich diskutiert.

Als Nächstes wurden intelligente HHG in der Küche des ESHL präsentiert. Beispielhaft wurde demonstriert, wie die Spülmaschine automatisch ihr Programm auf Basis von Strompreisinformationen startet.

⁸ Zum Zeitpunkt der Untersuchung betrug der durchschnittliche AP für Privatkunden in Deutschland 22 ct/kWh.

Das letzte Feature, welches präsentiert und ausführlich diskutiert wurde, war die vollständige Automatisierung der intelligenten HHG durch ein dahinterliegendes Energiemanagementsystem.

Die Gruppensitzungen schlossen mit einer Endrunde ab, in der die Teilnehmerinnen und Teilnehmer eine individuelle abschließende Bewertung der vorgestellten Elemente vornahmen, bevor der Abschlussfragebogen verteilt wurde.

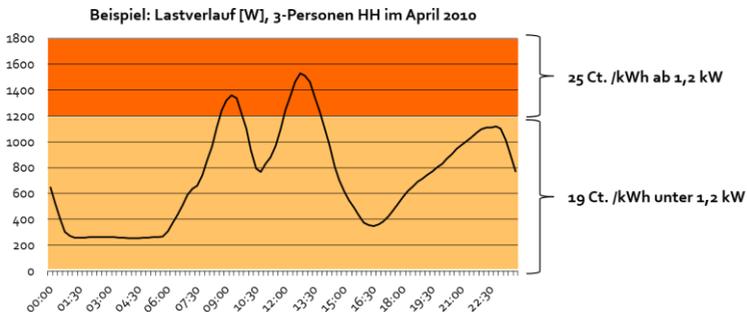


Abb. 09: Lastvariabler Zonentarif als Diskussionsbeispiel

Datenanalyse

Die Gruppendiskussionen wurden mit Einverständnis der Teilnehmenden aufgezeichnet und wörtlich transkribiert (Kuckartz et al 2007). Mit Mayrings (2002) Methode der qualitativen Inhaltsanalyse wurden die Transkripte entlang eines vorläufigen Kodierungsfadens, basierend auf dem Fokusgruppenleitfaden, kodiert. Dieser Kodierungsfaden wurde parallel zur Kodierung von zwei der Fokusgruppen weiter verfeinert und wiederholt von den Moderato-

rinnen diskutiert. Sobald Einigkeit über die endgültige Codestruktur herrschte, wurden alle Fokusgruppen entsprechend neu kodiert. Die endgültigen Codes beziehen sich u. a. auf die diskutierten ST, Verhaltensabsichten und Einstellungen gegenüber DR sowie auf die ST, die geäußerten Motive und die spezifischen Verbesserungsvorschläge. Um ein kohärentes Verständnis und eine kohärente Anwendung des Kodierungsfadens sicherzustellen, kodierte die Erstautorin alle vier Gruppen, während die Zweitautorin die Codes von zwei Gruppen überprüfte. Dabei kam es kaum zu Abweichungen.

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Fokusgruppen präsentiert und mittels Aussagen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer illustriert. Jede Teilnehmerin und jeder Teilnehmer wurde während des Anonymisierungsvorgangs mit einer Nummer versehen. Die Zahlen nach jedem Zitat beziehen sich auf die Teilnehmerin bzw. den Teilnehmer und seine bzw. ihre Fokusgruppe, bspw. P1-1, männlich, Nichtstudent, 30 Jahre alt und Teilnehmer Nummer eins aus der ersten Fokusgruppe.

6.1.2 Ergebnisse

Im Allgemeinen waren die Gruppenreaktionen den ST gegenüber positiv. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer sahen bei der Nutzung der vorgestellten Technologien viele Vorteile für ihre eigenen HH. Der am stärksten wahrgenommene Vorteil war die monetäre

Ersparnis. Je höher die erwartete Ersparnis und je kürzer die Amortisationszeit der ST, desto positiver fiel die Beurteilung durch die Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus. Variable Elektrizitätstarife waren die beliebteste Wahl für die unmittelbare Zukunft, da diese keine signifikanten Investitionen in eine technische Ausstattung erforderten. Jedoch wurden der Verzicht auf eine hohe Flexibilität und die Zeitplanung des Alltags auf Grundlage von verschiedenen Strompreisen als schwierig eingeschätzt. Das Haupthindernis für die Übernahme einer neuen Technologie scheint der kognitive Aufwand zu sein, der für die Umstellung von Verhaltensmustern benötigt wird. Im folgenden Abschnitt werden die Evaluationen für jede Technologie einzeln präsentiert.

Variable Elektrizitätstarife

Elektrizitätstarife, die im Preis pro kWh variieren, waren für die Mehrheit der Teilnehmerinnen und Teilnehmer nach der Gruppendiskussion attraktiv. (22 von 29 Teilnehmerinnen und Teilnehmern gaben dies im Abschlussfragebogen an); sie alle würden für die unmittelbare Zukunft einen variablen Elektrizitätstarif in Betracht ziehen, wobei es eine starke Präferenz für zeitabhängige Zonentarife gab. Die beiden hauptsächlichen Beweggründe für die positive Bewertung waren die Möglichkeit des Geld- und des Stromsparens. Der monetäre Anreiz galt für alle, bis auf einen Teilnehmenden, während der Vorteil des Stromsparens durch Verschiebung des Elektrizitätsbedarfs in Niedrigpreiszeiten hauptsächlich als positiver Nebeneffekt gesehen wurde. Dies ähnelt ei-

nem anderen ökologischen Vorteil, der als positiv, aber im persönlichen Entscheidungsfindungsprozess nicht als entscheidend angesehen wurde: die Möglichkeit, verstärkt EE zu beziehen, wenn die Strompreise tatsächlich nach der Bereitstellung durch EE variierten.

“Natürlich denke ich auch an die Umwelt, aber persönlich ist meine größte Motivation das Sparen.“ (P 22-3, männlich, 47 Jahre)

Für drei Teilnehmerinnen und Teilnehmer spielten ökologische Vorteile die entscheidende Rolle bei der Wahl eines Elektrizitätstarifs. Sie befürworteten die Integration von EE ins Elektrizitätsnetz und bezogen bereits „grünen Strom“ von ihrem aktuellen Anbieter. Ihre Bereitschaft, einen variablen Elektrizitätstarif in Betracht zu ziehen, war hauptsächlich durch die Chance auf die Verbesserung ihrer Umweltbilanz motiviert.

Weitere sieben Teilnehmerinnen und Teilnehmer bevorzugten den lastabhängigen gegenüber dem zeitabhängigen Zonentarif. Der lastabhängige Zonentarif würde nicht nur zur zeitlichen Verlagerung des Verbrauchs animieren, sondern auch zum Stromsparen anregen, da ein niedrigerer AP gelte, wenn die HH-Last unter einem bestimmten Schwellenwert verbliebe (1.2 kW in unserem Beispiel – vgl. Abb. 9). Interessanterweise misstrauten diese umweltfreundlichen Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Kalkulation der Strompreise durch die Energieanbieter.

“Obwohl ich glaube, dass die Stromerzeugung durch Wind ein tolles Konzept ist, bin ich mir nicht sicher, ob ich den großen Stromkonzernen vertrauen kann, dass sie tatsächlich grüne Energie liefern.“ (P 24-4, männlich, 44 Jahre)

Während die nichtstudentischen Teilnehmerinnen und Teilnehmer den Grundgedanken akzeptierten, dass EVU versuchen die Nachfrage der HH an das Angebot anzupassen, wie dies bei variablen Elektrizitätstarifen der Fall ist, waren die Studierenden skeptischer. Da viele Studierende ein gutes technisches Verständnis mitbringen, begriffen sie, dass die Anpassung der HH-Nachfrage an das erneuerbare Angebote für die EVU günstiger sein könnte als die Anpassung auf Seiten der Erzeugungskapazitäten. Obwohl dieser Punkt in der gemischten Gruppe diskutiert wurde, änderten die Nichtstudierenden ihre Meinung nicht – die Annahme, dass sie mit variablen Elektrizitätstarifen Geld sparen könnten, überzeugte.

Beim Nachdenken über die alltäglichen Verhaltensmuster herrschte Zweifel darüber, wie viel des tatsächlichen Verbrauchs im HH zeitlich verlagert werden könnte. Niemand bezweifelte, dass es möglich sei einige vorhersehbare Aktivitäten, wie den Gebrauch der Geschirrspül- oder Waschmaschine zu verschieben, sofern dies im Hinblick auf andere Umstände praktikabel wäre. Im Fall von zeitabhängigen Zonentarifen bedeutet dies, dass die niedrigpreisigen Zeitzonen nicht zu spät abends beginnen sollten, um Lärmbelästigung und verbundene Konflikte mit anderen Angehörigen des HH oder Nachbarn zu vermeiden. Diese Sorge wurde insbesondere

von den studentischen Teilnehmerinnen und Teilnehmern geäußert, die öfter in mehrstöckigen Gebäuden wohnten.

„Ich wohne in einer Wohngemeinschaft im zweiten Stock und ich habe Nachbarn über und unter mir. Ich kann nicht regelmäßig um 23 Uhr die Waschmaschine anwerfen.“ (P9-1, weiblich Studentin, 23 Jahre)

Außerdem wurden Elektrizitätstarife mit langer Gültigkeit je Zeit- oder Lastzone und Preisniveau gegenüber denen bevorzugt, bei denen sich die Zonen täglich ändern. Antworten im Abschlussfragebogen zeigten, dass die Mehrzahl von 17 Teilnehmerinnen und Teilnehmern (61%) ein Preismodell bevorzugte, welches für mindestens einen Monat oder länger festgelegt ist. Fünf Personen gaben Zustimmung für Preise an, die innerhalb eines Tages oder in noch kürzeren Zeitabschnitten variieren; sechs bevorzugten wöchentliche Änderungen.

Der Grund für die Bevorzugung eines Festpreismodells ist eindeutig: Es gab verstärkt die Auffassung, dass der Versuch, sich einem Zonentarif anzupassen, den Verzicht auf einen hohen Flexibilitätsgrad mit sich bringen würde, verbunden mit dem Aufwand, sich mit dem Überprüfen der Preisniveaus und der Verbrauchsplanung für den nächsten Tag beschäftigen zu müssen. Daher wurde ein weniger dynamischer Tarif als effektiver eingeschätzt, da er im täglichen Leben leichter handhabbar sei – vor allem langfristig.

„Wahrscheinlich wäre es für mich beim ersten Mal schwer meine Gewohnheiten zu ändern, aber - sagen wir mal, dass diese Tarifstruktur ein Jahr lang gültig wäre – würde es sich lohnen, da ich nur bestimmte Aktivitäten einmal verschieben müsste und es langfristig selbstverständlich werden würde.“ (P 7-1, männlich, Student, 26 Jahre)

Außer einem Teilnehmenden glaubte keiner, dass die Koordination mit anderen Angehörigen des HH langfristig funktionieren würde. Daher war der wahrgenommene benötigte kognitive Aufwand das Haupthindernis für alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer in Bezug auf Verhaltensänderungen.

*“Ich will auf keinen Fall die ganze Zeit über Strompreise nachdenken und mich einem Haushaltsplan unterwerfen.“
(P 21-3, männlich, Student, 25 Jahre)*

Da ohne die Anpassung von Verbrauchsmustern an die variablen Tarife keine Geldersparnis erzielt werden kann, war ein Diskussionspunkt die Frage, ob monetäre Ersparnisse ein größerer Anreiz sind als die Bequemlichkeit des “Verbrauchs wie gewohnt”. Die PSM-Analyse des Abschlussfragebogens legt nahe, dass der Indifferenzpunkt bei der Ersparnis bei 80 Euro pro Jahr liegt, was bedeutet, dass geringere Einsparungen als unzureichend für die Änderung von Verhaltensmustern angesehen werden.

Ein anderer viel diskutierter Punkt war, wie Zonentarife gestaltet und angeboten werden sollten, um ihre Nutzerfreundlichkeit und

Attraktivität zu steigern. Viele Ideen betrafen die Informationen, die insbesondere für lastabhängige Zonentarife benötigt werden. Es wurde einerseits vorgeschlagen, mehr Informationen zu sammeln, sie zu visualisieren, bspw. mittels einer Smartphone-App, und Feedback zu erhalten; insbesondere Informationen über ökologische Auswirkungen der Zonentarife wurden vermisst. Andererseits schlugen die Teilnehmerinnen und Teilnehmer auch Zusatzausstattungen vor, wie etwa automatisierte Computersysteme, die Preisinformationen von selbst auswerten und entweder automatisch HHG steuern oder den Bewohnern mitteilen, wie sie sie am effizientesten verwenden können.

*“Irgendeine Computereinheit die das Preisniveau erkennen kann und der Spülmaschine das Kommando gibt während einer billigen Phase zu starten. Das wäre super.“
(P 13-2, weiblich, Studentin, 24 Jahre)*

Intelligentes Messsystem

Wie oben beschrieben wünschten sich die Teilnehmerinnen und Teilnehmer mehr Transparenz und mehr Feedback, insbesondere bei der Visualisierung des Einflusses ihrer Verbrauchsmuster auf Kosten und Umwelt. Alle Gruppen waren vom intelligenten Messsystem, das die Lastkurve des ESHL in Echtzeit über das Internet oder EMPs zeigte, begeistert.

“Das ist genau die Kurve die ich suche! Wirklich beeindruckend, da ich jetzt meinen Verbrauch sehen kann und der

Strom nicht mehr unsichtbar ist.“ (P 5-1, weiblich, Studentin, 27 Jahre)

Die ersten spontanen Reaktionen waren sehr positiv und die Teilnehmerinnen und Teilnehmer versuchten herauszufinden, wie sie die meisten Informationen aus dem intelligenten Messsystem beziehen konnten. Abgesehen von zwei Teilnehmenden, die bereits über detaillierte Kenntnisse des Stromverbrauchs ihres Zuhauses verfügten, wünschten sich die anderen, ihre HH-Last daheim analysieren und sie mit den anderen HH-Angehörigen oder sogar Nachbarn besprechen zu können.

„Ich würde anfangen jedes Gerät an- und abzuschalten, um seinen Einfluss auf die Lastkurve zu prüfen. Eventuell wäre es auch interessant einige Haushaltsgeräte meiner Nachbarn auszuleihen um zu sehen welche effizienter sind. Das spricht meinen Spieltrieb an.“ (P 17-3, weiblich, 51 Jahre)

Obwohl einige mit Nachdruck erklärten, dass sie, dank des ständigen Feedbacks über die EMPs, HHG effizienter verwenden würden, gab es den breiten Konsens, dass die Häufigkeit, mit der man auf den EMP blickte, im Laufe der Zeit abnehmen würde.

„Nach einer Weile wüsste ich ungefähr wie viel ich verbrauche und wenn ich nichts Grundsätzliches ändere, wie zum Beispiel ein ineffizientes Gerät auszutauschen, gäbe

es keinen Grund sich die Verbrauchskurve regelmäßig anzusehen.“ (P 26-2, weiblich, 59 Jahre)

In allen vier Gruppen ließ der anfangs positive Eindruck im Laufe der Diskussionen nach. Am Ende sagten ein Drittel der Teilnehmerinnen und Teilnehmer (bis auf zwei allesamt Studierende), dass sie die Anschaffung eines intelligenten Messsystems nicht in Betracht ziehen würden. Vier Gründe wurden genannt:

- (1) Insbesondere bei den studentischen Teilnehmerinnen und Teilnehmern wurde das intelligente Messsystem nicht als innovativ oder hilfreich genug für ihre Informationsbedürfnisse und täglichen Routinen angesehen: *„Für mich ist der Smart Meter nicht transparent genug, da es mir nur meinen Gesamtverbrauch anzeigt. Diese Information allein ist fast wertlos, wenn sie nicht für weitere technische Zwecke verwendet wird.“* (P 7-1, männlich, Student, 26 Jahre)
- (2) Zwei Teilnehmende hatten Bedenken im Hinblick auf den Datenschutz und lehnten diese ST daher grundsätzlich ab: *„Nein, das ist für mich unvorstellbar. Das sind sensible Informationen. Der Energieversorger könnte leicht feststellen, ob ich daheim bin oder im Urlaub.“* (P 24-5, männlich, 44 Jahre)
- (3) Eine Teilnehmerin lehnte das intelligente Messsystem ab, da sie das Gefühl hatte nicht noch mehr für ein energieeffizienteres Leben tun zu können als ohnehin schon: *“Ich bin kaum daheim, ich verwende die Waschmaschine nur einmal*

die Woche. Wofür brauche ich einen Smart Meter? Ich werde nie genug Strom sparen, um die Kosten des Zählers wieder reinzuholen.“ (P 17-3, weiblich, 51 Jahre)

- (4) Während insbesondere den Studierenden, die in Wohngemeinschaften wohnten, die Vorstellung gefiel, ihren Mitbewohnern unnötige Verbraucher wie nachts laufende Laptops zu zeigen, waren sie gleichzeitig nicht im gleichen Ausmaß von dem Erziehungseffekt dieser Maßnahme überzeugt wie die Nichtstudierenden: *„Einer meiner Mitbewohner ist überhaupt nicht sensibilisiert in Bezug auf den Stromverbrauch. Er lässt sogar den Kühlschrank offen. Grundsätzlich wäre es gut, ihm zu zeigen, wie viel Strom er verschwendet, aber ich bezweifle, dass es was bringt.“ (P 10-3, männlich, Student, 23 Jahre)*

Der Preis eines intelligenten Messsystems war ein wichtiger Punkt für diejenigen, die einen Kauf in Betracht zogen. Ein realistischerweise akzeptabler Preis für Nichtstudierende fällt in die Spanne zwischen 40 und 120 Euro. Jedoch war die erwartete Amortisationszeit, also die Zeitspanne, in der sich die Investition in das intelligente Messsystem mittels der dadurch erzielten Einsparungen selbst finanziert hat, recht kurz bewertet – auf gerade mal ein Jahr. Anders ausgedrückt: Wenn die Investition in ein intelligentes Messsystem höher ist als die Stromkostensparnis in einem Jahr, ist das Interesse am Kauf eines intelligenten Messsystems sehr gering. Viele meinten sogar, dass die EVU intelligente Messsysteme für alle kostenlos zur Verfügung stellen sollten.

„Das intelligente Messsystem bietet nicht nur uns Vorteile. Das Versorgungsunternehmen profitiert am meisten, da es Strom entsprechend unserer Verbrauchsdaten kaufen kann und Geld bei der Bereitstellung sparen kann. Warum wechseln sie also nicht einfach die Zähler aus und wir können beide davon profitieren?“ (P 20-3, männlich, 57 Jahre)

Am Schluss der Diskussion würde eine Mehrheit von 20 Teilnehmerinnen und Teilnehmern den Kauf eines intelligenten Messsystems in Betracht ziehen, aber meistens nur in Kombination mit einem Zonentarif, um einen höheren Anreiz zu haben, Geld zu sparen und motivierter zu sein, die Alltagsroutinen zu ändern.

Intelligente Haushaltsgeräte

HHG, die in der Lage sind, auf externe Signale zu reagieren, wurden von allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern insb. in Kombination mit Zonentarifen als die zwangsläufig eintretende Zukunft gesehen. Einerseits bieten intelligente HHG ein höheres Ausmaß an Flexibilität, wenn variable Elektrizitätstarife verwendet werden, und andererseits haben sie nur dann einen ökologischen Einfluss, wenn sie in Kombination mit ihnen genutzt werden.

„Ich kann Zeit sparen, wenn ich mich nicht selbst um die Preisniveaus und Zonen kümmern und den ganzen Verbrauch koordinieren muss. Das wäre super.“ (P 22-4, männlich, 47 Jahre)

Elektronische Küchen- und Haushaltsgeräte wurden als ideale HHG für den Austausch durch intelligente Versionen gesehen, da sie einen hohen Stromverbrauch haben und ihre optimierte Verwendung daher zu erheblichen monetären Einsparungen führen könne. HH-Anwendungen, die Grundbedürfnisse befriedigen wie Licht, Kochen oder Unterhaltung, oder die spontan benötigt werden, wurden für eine Steuerung eher als ungeeignet betrachtet.

„Alles was ich verlagern kann, wäre ok, wie die Tiefkühltruhe. Ich nehme an, der Fernseher wäre ein gutes Gegenbeispiel. Ich schaue um acht Uhr die Nachrichten und würde nicht wollen, dass er sich wegen höherer Strompreise automatisch abschaltet. Ich glaube daher nicht, dass diese intelligente Technologie für was anderes als Küchen- und Haushaltsgeräte Sinn macht.“ (P 2-1, männlich, Student, 23 Jahre)

Einige Teilnehmerinnen und Teilnehmer stellten den Sinn von zeitabhängigen Zonentarifen in Frage und bezweifelten ihren ökologischen Effekt, da intelligente HHG durchgehend eingeschaltet bleiben müssten, um in der Lage zu sein, Signale zu empfangen, um bspw. ein bestimmtes Waschprogramm zu starten.

„Ich glaube nicht, dass das besonders effizient ist. Sagen wir mal, ich belade die Waschmaschine und sie muss stundenlang im Stand-By-Modus bleiben, bis das nächste Niedrigpreisniveau aktiv ist. Wir wurden dazu erzogen,

Geräte nicht im Standby-Modus zu lassen.“ (P 5-1, weiblich, Studentin, 27 Jahre)

Einige nichtstudentische Teilnehmerinnen und Teilnehmer zweifelten das Interesse der EVU an dieser Technologie an. Ähnlich wie die skeptischen Reaktionen in Bezug auf die variablen Elektrizitätstarife waren sie besorgt, dass die EVU eventuell in der Lage wären, die intelligenten Geräte so zu beeinflussen, dass sie sich zu teuren Zeiten anschalten, was schwer festzustellen oder später nachzuweisen wäre.

„Die Frage ist, ob ich dem Versorger trauen kann. Wenn die ein Signal an die Geräte schicken sich nur zehn Minuten anzuschalten, bevor der Tarif sich wirklich in einer Niedrigpreiszone befindet, würde ich das nicht bemerken und vielleicht 10 Cent verlieren. Mit der Anzahl der Kunden ist die Gefahr, dass die Signale aus wirtschaftlichen Gründen manipuliert werden, einfach zu hoch. (P 23-3, männlich, 48 Jahre)

Dennoch fiel die Beurteilung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer der nichtstudentischen Gruppen (Gruppen drei und vier) insgesamt im Laufe der Diskussion positiv aus, mit der Aussage, dass das intelligente HHG ein ansprechendes Konzept sei. Interessanterweise stimmten beim individuellen Abschlussfragebogen fast alle (23 Teilnehmerinnen und Teilnehmer) überein, dass sie die Vorstellung, intelligente HHG zuhause zu haben, mochten. Jedoch zog

keiner in Betracht, seine HHG in der unmittelbaren Zukunft tatsächlich durch intelligente HHG zu ersetzen. Es gab zum Zeitpunkt der Untersuchung nur sehr wenige Produkte auf dem Markt und daher wurden ihre Preise (Beispiele wurden von der Moderatorin genannt) als zu hoch beurteilt, insb. unter Berücksichtigung der Amortisationszeiten. Auf jeden Fall gab es einen allgemeinen Konsens unter den Teilnehmerinnen und Teilnehmern, dass – unabhängig von ihrer technologischen Orientierung – der Erwerb von intelligenten HHG erst mit der nächsten Beschaffung, wenn aktuelle HHG nicht mehr funktionierten, in Betracht gezogen werden würden.

„Mit der intelligenten Spülmaschine warten, bis die aktuelle kaputtgeht. Es macht keinen Sinn, eine funktionierende Spülmaschine wegzuworfen und stattdessen eine intelligente zu kaufen die das Doppelte kostet. Wie soll ich je hinterher so viel Energie einsparen? (P 17-3, weiblich, 51 Jahre)

Automatisiertes Energiemanagementsystem (EMS)

Als letztes Feature wurden drei verschiedene Möglichkeiten besprochen, um die HHG zu steuern. Neben der Möglichkeit, die HHG per Hand entsprechend der variablen Elektrizitätspreise anzuschalten (1), gibt es Möglichkeiten in Verbindung mit dem EMS, wie im Abschnitt oben gezeigt. Neben der Möglichkeit, dass die Nutzer ihre Präferenzen eingeben, bspw. angeben, wann bestimmte Geräte laufen sollen (2), wurde eine dritte Möglichkeit vorgestellt: Einem

Dritten, bspw. dem EVU oder einem Nachfragemanager, wird erlaubt, das EMS von außen zu steuern und so über mehrere HH hinweg Flexibilitäten zu bündeln und wiederum zu handeln (3). Es gibt hierbei zwei denkbare Versionen: Die Steuerung wird entweder komplett (3a) oder nur zu bestimmten Zeiten (3b) übergeben, bspw. während der Arbeitszeit. Obwohl nur ein Teilnehmender für sich Vorteile in der (zeitlich eingeschränkten) ferngesteuerten Option sah, wurde diese am ausführlichsten diskutiert und warf viele Fragen auf. Das Hauptbedenken, das von allen Teilnehmenden unabhängig ihres Alters zum Ausdruck gebracht wurde, war die Datensicherheit. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer wünschten sich eine Möglichkeit, jederzeit aus dem Programm über Dritte auszusteiern und die Geräte manuell zu bedienen, um bspw. die Waschmaschine bei Bedarf unabhängig vom Preisniveau anschalten zu können. In einem Exkurs, bei dem diese Fragen bezogen auf ein EM diskutiert wurden, wurde dieser Aspekt verstärkt unterstrichen: Die Flexibilität der Individualmobilität sollte in jedem Fall gegeben sein. Während monetäre Einsparungen bei den anderen ST Anreizwirkung hatten, war sie für die hier vorgestellte Option der Fernsteuerung nicht ausreichend motivierend.

„Die Fernsteuerung ist aus psychologischen Gründen keine Alternative, es ist seltsam, man fühlt sich doch irgendetwas beobachtet.“ (P 8-2, männlich, Student, 24 Jahre)

Die Implementierung eines EMS, bei dem die Steuerung vollständig bei den Nutzern verbleibt, war für die Hälfte der Teilnehmerinnen

und Teilnehmer ansprechend, da der Großteil der EMS-Daten, wie die detaillierte Last jedes sich in Gebrauch befindlichen Geräts, unter der Kontrolle der HH-Bewohner verbleibe und relativ wenige Informationen, wie bspw. die Gesamtlastkurve für Abrechnungszwecke, mittels des intelligenten Messsystems an den EVU übermittelt werde. Der Hauptanreiz, ein EMS zu implementieren, war der höhere Komfort in Bezug auf Zonentarife. Punkte wie Innovativität und Vorreiterbestrebungen spielten keine Rolle.

Mit Bezug auf andere HH-Angehörige wurden die Möglichkeiten eines EMS nicht so positiv bewertet, da ein höherer Aufwand benötigt werde, um bspw. Zeitvorlieben unter allen Bewohnern zu koordinieren. Andere Hindernisse, die der Einführung von EMS entgegenstehen, sind der Mangel an Standards, die allgemeine technische Komplexität und (in der nichtstudentischen Gruppe) der höhere Energieverbrauch, da alle zusätzlichen Komponenten sich ständig im Standby-Modus befinden müssten. Obwohl also einige für sich selbst Vorteile in den Automatisierungslösungen sahen, konnte sich keiner konkret eine Nachrüstung seines HH vorstellen.

6.1.3 Diskussion und Schlussfolgerungen

Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

In dieser Studie diskutierten 29 Teilnehmerinnen und Teilnehmer in vier Fokusgruppen über ST, die darauf abzielen, DR in HH zu er-

möglichen und damit die Energieeffizienz zu steigern. Ein strukturiertes Design im ESHL wurde verwendet, um vier ST zur Lastverlagerung zu demonstrieren: variable Elektrizitätstarife, intelligente Messsysteme, intelligente HHG sowie ein EMS.

Die ersten Reaktionen gegenüber den demonstrierten Technologien waren positiv und die Teilnehmerinnen und Teilnehmer glaubten, dass die Verwendung der technischen Ausstattung für sie vorteilhaft sein könnte. Monetäre Einsparungen wurden als der Hauptvorteil gesehen. Die Bewertungen wurden mit steigenden finanziellen Vorteilen besser, ebenso bei kürzeren Amortisationszeiten für die erforderlichen Anschaffungen. Zonentarife, insbesondere zeitabhängige, waren unter den präsentierten Optionen die beliebtesten, da sie keine Anfangsinvestitionen erforderten. Jedoch schränkten der Zwang, seine täglichen Routinen ändern zu müssen und / oder das geringere Ausmaß an persönlicher Flexibilität, um sich an die verschiedenen Strompreisniveaus anzupassen, die Bereitschaft für das Verlagern der Elektrizitätsnachfrage ein. Daher war das Haupthindernis, das der Umsetzung von DR entgegensteht, der kognitive Aufwand, der für die Änderung von Verhaltensmustern benötigt wird. Daher wünschten sich die meisten Teilnehmerinnen und Teilnehmer ergänzende Lösungen, die die Umsetzung von Zonentarifen erleichtern, wie intelligente HHG und ein EMS. Jedoch zog fast niemand ernsthaft die Umsetzung einer dieser beiden ST in der unmittelbaren Zukunft in Betracht. Im Gegensatz dazu dachte die Mehrheit der Teilnehmerinnen und Teilnehmer, dass die

Anschaffung eines intelligenten Messsystems lohnenswert sei, sobald mehr Zonentariftypen auf dem Markt angeboten werden würden.

Die aus den Ergebnissen abstrahierten Motive für die Akzeptanz bzw. Ablehnung von ST können auf fünf entscheidende Treiber heruntergebrochen werden: Preis, Komfort, Ökologie, Transparenz und technische Ausstattung.

Unter Berücksichtigung der Stichprobenstruktur (interessiert an energierelevanten Themen, offen gegenüber neuen Technologien, heterogen in Hinsicht auf Lebenssituation, weite Altersstreuung) ist die Analyse der Ergebnisse besonders interessant. Selbst in dieser Stichprobe hatten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer geringe Kenntnisse ihrer Stromverbrauchsmuster und mit einer Ausnahme war keine(r) mit den präsentierten ST vertraut. Dies zeigt wieder die Besonderheit von Elektrizität und die Herausforderungen, denen man sich bei der Vermarktung von Elektrizität und nahen Diensten gegenüber sieht (vgl. Hargreaves et al. 2010). Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer waren sehr an weiteren Informationen zur Verringerung von Elektrizitätskosten interessiert. Die Verringerung der Elektrizitätskosten war der Hauptgrund für die positive Bewertung der Lastvisualisierung mittels intelligenter Messsysteme und des EMP, was die Ergebnisse anderer Studien bekräftigt (vgl. forsa 2010). Jedoch stellte sich im Laufe der Diskussionen heraus, dass die Nutzung von zusätzlichem Wissen über die

eigene Elektrizitätsnachfrage für einen energieeffizienteren Lebensstil durch die Alltagsangewohnheiten beschränkt wird – obwohl den meisten Teilnehmerinnen und Teilnehmern, wie im Vorabfragebogen gezeigt, klar war, dass Energiesparen Änderungen des eigenen Lebensstils implizierte. Dieser Hürde stehen auch Lastverlagerungsmaßnahmen entgegen. Obwohl die meisten Teilnehmerinnen und Teilnehmer den Gesamtnutzen von DR verstanden (zunehmende Einbeziehung von EE, effizientere Nutzung von Erzeugungskapazitäten) und, dass dies flexible Nachfrage nach Zonentarifen implizierte, wurden weniger dynamische Elektrizitätstarife im Allgemeinen dennoch bevorzugt. Solange die individuellen Vorteile daher noch nicht direkt wahrnehmbar sind, wird es schwierig werden eine weite Akzeptanz von Zonentarifen zu erreichen. ST, wie intelligente HHG, die helfen können, Entscheidungen zum Zeitpunkt der Elektrizitätsnachfrage zu automatisieren und mit Zonentarifen einfacher umzugehen, waren daher willkommen – solange sie nicht die täglichen Routinen beeinträchtigen und hinsichtlich Betriebes und sicherer Datenhandhabung verlässlich sind. Die Innovativität solcher Optionen war nicht der entscheidende Treiber für ihre Akzeptanz – unabhängig von der technischen Orientierung der Teilnehmerinnen und Teilnehmer. Sie müssen andere Vorteile bieten, die dem Wunsch der Nutzer entsprechen, leicht und einfach Rat zu erhalten, wie sie Elektrizitätskosten sparen können. Größere Transparenz über den Verbrauch und die Kosten kann die Informationserfordernisse kurzfristig befriedigen und als guter Ausgangspunkt für attraktive Lösungen dienen. Wie

im Fall der intelligenten Messsysteme zeigt diese Studie, dass Zusatzausstattungen und -anwendungen integriert werden müssen, um die Nutzerbedürfnisse langfristig zu befriedigen.

Für die Politikgestaltung können einige Folgerungen aus dieser Studie gezogen werden. Gegenwärtige europäische und nationale Politik, die die Einführung intelligenter Messsysteme unterstützt, zielt darauf ab, die Verbraucher mit mehr Informationen zu versorgen, und erwartet, dass sie als Konsequenz dieses Wissens energieeffizienter leben. Die Ergebnisse dieser Studie stellen viele dieser Annahmen, die diesen Vorhaben zugrunde liegen, in Frage: Die Verbreitung der intelligenten Messsysteme hängt nicht so sehr von ihrer technischen Attraktivität ab, als vielmehr von ihrer Wirtschaftlichkeit. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer dieser Studie erwarteten, dass sie ein intelligentes Messsystem gratis oder für einen Preis, der eine relativ kurze Amortisationszeit bedeutet, erhalten. Das wiederum impliziert, dass die Einführung intelligenter Messsysteme ausreichend Einsparpotenzial bieten muss.

In Bezug auf diesen Punkt nimmt das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende (GDEW) an, dass Einsparungen möglich sind, wenn den HH genug Informationen über ihre Elektrizitätsnachfrage geboten werden, da diese infolgedessen ihre Nachfrage einschränken und damit Geld sparen werden. Diese Studie deckt zwei Herausforderungen auf: Während die Teilnehmerinnen und Teilnehmer den Wunsch nach mehr Informationen hatten, waren sie mit der Detail-

tiefe, die durch das intelligente Messsystem geboten wurde (in diesem Fall Gesamtlast HH), nicht zufrieden. Laut dieser Studie sind detailliertere Informationen aus Nutzersicht erforderlich, wie bspw. das Herunterbrechen der Gesamtlast auf die Ebene einzelner Geräte oder Zimmer in einem HH, um Anreizwirkung zu entfalten. Abgesehen davon deuten die Ergebnisse dieser Studie auch noch auf eine weitere Herausforderung hin: intelligente Messsysteme können kurzfristig zu Ersparnissen führen, wenn die Nutzer in der Lage sind Stromfresser zu erkennen und Energie sparen indem sie diese Geräte weniger verwenden, aber dieser Effekt ist aus verschiedenen Gründen, die im HH liegen, beschränkt. Von unseren Befragten wird nicht erwartet, dass Feedback über den Stromverbrauch direkt dazu führen würde, dass sich dieses in geändertes Alltagshandeln übersetzt. Außerdem sind intelligente Messsysteme allein kaum ein Anreiz für die Verlagerung von Lasten, außer sie werden von variablen Tarifen begleitet. Ihre Kosteneinsparungspotenziale hängen nicht nur von der Preisspanne ab, sondern auch von der Bereitschaft der HH solch einen Tarif zu wählen, sowie einen Großteil ihres Verbrauchs auf niedrigpreisige Zeitzonen zu verlagern. Dies kann wiederum nur erwartet werden, wenn die Einsparpotenziale ausreichend groß sind und Tarifstrukturen im Alltag einfach zu handhaben sind.

Eine weitere Hürde, mit der sich politische Entscheidungsträger bisher nicht ausreichend befasst haben, ist das Misstrauen den Versorgungsunternehmen gegenüber. In dieser Studie war es ein Diskussionspunkt in allen Gruppen und bei jeder Technologie – und

beinhaltete Bedenken über die korrekte Berechnung der Strompreise, die Möglichkeit aus dem “intelligenten System” auszusteigen und die korrekte Nutzung privater Daten. Diese Bedenken wurden durch das Vermuten abweichender Zielsysteme für HH sowie für EVU verstärkt, so dass hier in Sachen Kommunikation vertrauensbildendes Potenzial liegt.

Zum Zeitpunkt der Untersuchung war kurz zuvor im Jahr 2011 das deutsche Energiewirtschaftsgesetz novelliert worden, was erste Ansätze zum Betrieb der Messstellen und technische Kriterien für intelligente Messsysteme selbst definierte, aber vieles, wie etwa der Datenschutz, offenließ (Raabe et al. 2011). Im Jahr 2016 sind diese Aspekte, wie die Ausstattungspflicht von intelligenten Messsystemen mit Preisobergrenzen oder Datenschutzbestimmungen beim Erheben, Verwenden und Übermitteln von Daten, sind mit dem GDEW definiert worden. Bis heute gilt dennoch, dass die Vertrauenswürdigkeit der Marktakteure (EVU, Messstellenbetreiber, Dienstleister, Netzbetreiber) eine wichtige Voraussetzung für die Verbreitung von ST, insbesondere intelligenten Messsystemen im optionalen Ausstattungsbereich, und für das Heben von Lastverlagerungspotenzialen ist.

Insgesamt beachtet die nationale Gesetzgebung gegenwärtig die Verhaltensaspekte, die über reine Informationsbedürfnisse hinausgehen, bis heute noch nicht ausreichend und vernachlässigt viele der Motive und Hindernisse die den individuellen Entscheidungsprozess beeinflussen, obwohl die Umsetzung von DR und damit die

Weiterentwicklung hin zu einer emissionsarmen Gesellschaft entscheidend sind.

Grenzen der Untersuchung

Wie alle empirische Arbeiten unterliegt diese Untersuchung verschiedenen Einschränkungen. Mit Sicherheit ist die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse beschränkt. Die Stichprobe, die für diese Studie gewonnen wurde, ist nicht repräsentativ – jüngere Erwachsene mit einem hohen Ausbildungsniveau sind überrepräsentiert. Außerdem wurden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer ausgewählt, nachdem sie sich freiwillig gemeldet hatten, d. h. sie wurden nicht nach dem Zufallsprinzip ausgewählt. Entsprechend waren Individuen, die sich nicht für diese Art Technologieentwicklung interessieren, ebenso wie diejenigen mit starken Vorbehalten wahrscheinlich nicht in den Gruppen vertreten und ihre Ansichten sind entsprechend nicht in der Studie abgedeckt. Jedoch wurde bei der Auswahl der Teilnehmerinnen und Teilnehmer für die Fokusgruppen versucht, bewusst Individuen zu beteiligen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit unter den Ersten sind, die ST annehmen. Während das ESHL eine einmalige Gelegenheit bot, die Möglichkeiten, die durch ein solches Umfeld geboten werden zu demonstrieren, wirkt dies auch einschränkend, da andere Smart-Home-Umgebungen, die anders gestaltet sind, eventuell andere Reaktionen hervorgerufen hätten.

Schlussfolgerungen

Diese Studie beleuchtet die Gründe für die Akzeptanz oder Ablehnung von DR im Sinne einer Verhaltensintention von potenziellen Nutzern. Es stellt sich heraus, dass neben dem zentralen Anreiz des Geldsparens, Umweltfreundlichkeit, ein hohes Maß an Flexibilität, größere Transparenz im Hinblick auf Elektrizitätsnachfrage und Kosten sowie Begeisterung für neue Technologien alles Faktoren sind, die mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Motivationsrolle spielen. Gleichzeitig können mehrere Gründe, wie feste Gewohnheiten im Alltag und kostspielige Investitionen, zu einer Ablehnung führen. Da variable Elektrizitätstarife in dieser Studie als die attraktivste Option zur Umsetzung von DR angesehen wurden, scheinen weitere Analysen der Kundenpräferenzen hinsichtlich der verschiedenen Arten von Zonentarifen sowie in Bezug auf die tatsächlichen Effekte solcher Tarife auf die Elektrizitätsnachfrage über einen längeren Zeitraum lohnenswert. Um die Ergebnisse dieser Studie im Alltagsleben zu validieren, ist eine weitere Erforschung der Effekte, die das Leben in einem solchen Smart Home auf die Einstellungen und Verhaltensweisen mit sich bringt, vonnöten.

Basierend auf den Ergebnissen dieser Studie wird empfohlen, dass die Politik und Wirtschaft integrierte Angebote gestalten, um den Markteintritt energierelevanter ST zu unterstützen. Die Nutzung eines offenen Innovationsansatzes, der die Kundenerfahrungen bspw. aus den verschiedenen Feldversuchen bereits in den Entwicklungsprozess integriert, könnte weiter dazu beitragen Marktlösungen zu bieten, die die Kundenbedürfnisse mit Blick auf Kom-

fort, Transparenz und Nutzerfreundlichkeit befriedigen. Diese Bedürfnisse werden gegenwärtig von keiner Einzelnen der hier untersuchten Lösungen allein befriedigt. Die Kombination von intelligenten Messsystemen (für ihre Transparenz) mit variablen Elektrizitätstarifen (für ihre Kostensparpotenziale) und intelligenten Geräten (für ihre Nutzerfreundlichkeit) war die bevorzugte Lösung in dieser Studie.

„Alles was ich will ist ein einfach strukturierter Tarif, vielleicht mit einem Smart Meter. Sobald der Tarif komplex wird, brauche ich intelligente Geräte, sonst wäre ich nicht in der Lage mich anzupassen. Und es muss einfach sein, ohne einen ingenieurmäßigen Ansatz.“ (P 29-4, männlich, 47 Jahre)

6.2 Zwischenfazit

Mit der vorliegenden Studie zur Akzeptanz von DR wurden anhand von Fokusgruppendifkussionen die Verhaltensintention potenzieller Nutzer sowie die dahinterliegenden Motive analysiert.

Die erste formulierte Erwartung (H1) wird bestätigt. Es zeigt sich, dass zahlreiche Treiber, allen voran Kosteneinsparungen, die hier über eine van-Westendorp-Analyse mit einem Indifferenzwert von 80 Euro pro Jahr bestimmt wurden, die Teilnehmer und Teilnehmerinnen zu Lastverlagerungen motivieren können. Es kristallisieren sich aber auch viele Barrieren, insbesondere eingeschwungene

Alltagsroutinen, heraus, die die Verhaltensintention kritisch beeinflussen könnten. Aufgrund der Kosteneinsparpotenziale und der geringen Investitionen werden in dieser Studie variable Elektrizitätstarife als das geeignetste Anreizsystem evaluiert. Gleichzeitig haben die Fokusgruppendifkussionen gezeigt, dass der energie-wirtschaftliche Ansatz hinter Zonentarifen sehr erklärungsbedürftig ist und ohne eine solche Einführung der Vorteil für die potenziellen Nutzer nicht direkt wahrnehmbar war. Damit hat sich auch eine weitere Erwartung (H2) bestätigt.

Die Anwendungen Spülmaschine, Waschmaschine, Trockner sowie das Laden eines EM sind aus Sicht der Teilnehmenden für DR geeignet, sofern sie mit keinen bis nur geringen Einschränkungen im Alltag und insbesondere in der Individualmobilität einhergehen. Um den antizipierten Einschränkungen im Alltag zu begegnen, sind sowohl die kommunikative (insbesondere am HMI) als auch die technische Umsetzung relevant. Um Lasten im eigenen HH tatsächlich zu verlagern, sind bei allen Teilnehmenden monetäre Vorteile eine wichtige Voraussetzung, womit auch Hypothese H3 – in einer stärkeren Intensität als von der Autorin erwartet – bestätigt wurde.

Daraus leiten sich Anforderungen zur Berücksichtigung in den nachfolgenden Studien ab. Aufbauend auf der hier untersuchten Verhaltensintention von potenziellen Nutzern soll das reale Verhalten von Nutzern analysiert werden.

Dabei sollen Zonentarife ein besonderes Augenmerk erhalten, da sie zusammen mit intelligenten Messsystemen als die attraktivste

Option für DR angesehen wurden. Bei der Lastverlagerung sollen Spülmaschine, Waschmaschine, Trockner sowie das Laden des EM besonders in Betracht gezogen werden, um Aussagen zur Verhaltenswirksamkeit von ST geben zu können.

7 Verhaltensbasierte Lastverlagerungspotenziale

Zur Analyse der TF 2 werden zwei Studien im (quasi-)realen Umfeld durchgeführt. Basierend auf der Literaturanalyse und den Erkenntnissen aus der Studie zur Verhaltensintension (vgl. Kapitel 6) können mehrere Ergebnishypothesen bzw. Erwartungen formuliert werden:

H04: Die in der Vorstudie herausgearbeitete Verhaltensintention lässt sich im Alltag nicht umsetzen, so dass keine substanziellen Lastverlagerungen zu beobachten sind.

H05: Ladevorgänge von BEV lassen sich aus Nutzersicht am einfachsten planen und verschieben.

H06: Der Einsatz von ST fördert die Akzeptanz von DR, im Sinne von tatsächlich beobachtbarer bzw. subjektiv wahrgenommener einfacher Lastverlagerung.

H07: Ausgehend von einem grundsätzlichen Komfort-Ansatz sind relativ konstante TOU- und CPP-Tarifmodelle effektiver als das dynamische RTP.

H08: Monetäre Vorteile sind das wichtigste Motiv für die Akzeptanz von DR – entsprechend werden hohe Einsparungen im Zusammenhang mit DR erwartet.

H09: Echtzeit-Feedbacksysteme sind die wichtigste ST für die Nutzer zur Unterstützung von DR.

Kapitel 7.1 stellt die Laborergebnisse von drei experimentellen Wohnphasen vor, in denen das gesamte Spektrum von DR vorrangig für den HH getestet wurde. Diese Arbeit ist in Teilen auf Konferenzen in Marseille, Washington (Paetz et al. 2011a) und Montréal vorgestellt und im Anschluss nach einem single-blind-peer-review-Verfahren in englischer Sprache im Rahmen einer Konferenz in Asilomar publiziert worden (Paetz et al. 2012c). Die Erstautorin hat den Hauptanteil sowohl bei der Durchführung der Forschung als auch bei der Verschriftlichung geleistet. Die Kerninhalte werden in Kapitel 7.1 vorgestellt.

Kapitel 7.2 stellt die Ergebnisse eines Feldtests mit 30 BEV vor, in dem DR vorrangig für die Elektromobilität getestet wurde. Diese Arbeit ist auf einer Konferenz in Graz und im Anschluss nach einem single-blind-review-Verfahren in deutscher Sprache im selben Rahmen publiziert worden (Paetz et al. 2012b). Die Erstautorin hat den Hauptanteil sowohl bei der Durchführung der Forschung als auch bei der Verschriftlichung geleistet. Die Kerninhalte werden in Kapitel 7.2 weitgehend unverändert vorgestellt.

Kapitel 7.3 endet mit einem Zwischenfazit.

7.1 Demand Response im Energy Smart Home Lab

7.1.1 Methodisches Vorgehen

ESHL mit zwei Elektrorollern

Die Untersuchung fand in dem in Kapitel 5.2.2 beschriebenen ESHL statt. In diese experimentelle Umgebung wurden zwei Elektroroller integriert.

Dabei handelt es sich um zwei Elmoto-Roller des Typs HR2 mit einem Radnabenmotor und einer Maximalgeschwindigkeit von 45 km/h. Das Laden des Lithium-Ionen-Akkus (1,1 kWh) dauert bis zu sechs Stunden bei 350 W. Elektroroller können auf allen deutschen Straßen gefahren werden, außer auf Kraftfahrstraßen und benötigen ein Versicherungskennzeichen.

Versuchsaufbau

Drei experimentelle Wohnphasen mit je zwei Studienteilnehmern und Studienteilnehmerinnen wurden im ESHL durchgeführt (vgl. Tab. 03). Die nachfolgenden Ausführungen konzentrieren sich auf Wohnphase 3, da die Ergebnisse aus den ersten beiden Wohnphasen in Paetz et al. 2011a veröffentlicht wurden. Der Versuchsaufbau für jede Wohnphase ist in vier Module gegliedert, mit dem Ziel, verschiedene Effekte gesondert zu analysieren und dabei die verschiedenen Variablen innerhalb eines Moduls konstant zu halten.

Außerdem sollten die Studienteilnehmenden, die als Testbewohnerinnen und Testbewohner rekrutiert wurden, nicht überfordert werden.

Modul	Test	aktivierte ST	Phase 1 (4W)	Phase 2 (8W)	Phase 3 (5W)
1	Feedback	EMP	✓	✓	✓
2	Zonentarife	EMP	/	✓	✓
3	EMS	EMP, int. HHG	/	✓	✓
4	BEV	Elektro-roller	/	/	✓

Tab. 03: Versuchsaufbau der drei Wohnphasen im ESHL

Ziel in Modul 1 war es, die Effekte von Feedback auf die Elektrizitätsnachfrage und damit auf das Verhalten zu analysieren. Das Feedback wurde über die EMPs angezeigt, die Daten über das intelligente Messsystem sowie die ergänzende Messtechnik im ESHL geliefert. Dadurch waren die Testbewohnerinnen und -bewohner in der Lage, die Gesamtlast im ESHL und die Last jedes einzelnen HHG sowie die durch die PV-Anlage bereitgestellte Elektrizität in Echtzeit zu überprüfen. Der Elektrizitätspreis wurde ebenfalls angezeigt, wurde aber während Modul 1 konstant gehalten. In Modul 2 wurden mehrere Zonentarife eingeführt (vgl. Tab. 04). Alle Tarife wurden mit einem Durchschnittspreis von 22 Ct / kWh kalkuliert, dem damaligen durchschnittlichen AP im Privatkundensektor. Während in Wohnphase 2 eine Auswahl an TOU und RTP-Tarifmodellen getestet und sie hinsichtlich zeitlicher Abfolge von Zonen, Preisniveaus und -spannen variiert worden war, wurde für die Wohnphase 3 nur ein RTP-Tarifmodell genutzt und diesem in der

dritten Wohnwoche eine Lastgrenze hinzugefügt. Während der letzten beiden Wohnwochen (Modul 3) waren die Automationsfunktionen des EMS aktiviert und eine automatisierte Nutzung der intelligenten HHG war möglich. Beide Elektroroller (Modul 4) standen während der ganzen Wohnphase kostenlos zur Verwendung bereit.

Die Testbewohnerinnen und -bewohner zahlten weder Miete noch Energiekosten. Um ihnen einen Anreiz zu bieten, wurde ein Bonus-Malus-System entwickelt. Für jede kWh, die in der niedrigsten Preiszone nachgefragt wurde, erhielten die Testbewohnerinnen und -bewohner einen Bonuspunkt – und umgekehrt einen Maluspunkt für jede kWh in der höchsten Preiszone sowie für jede kWh über der Lastgrenze. Jeder Bonuspunkt entsprach 0,50 EUR und der Wert des Bonussaldos wurde am Ende der Wohnphase in EUR ausgezahlt.

Tariftyp	Standard	TOU	RTP			RTP mit Lastgrenze		
Zeitschema	fix		variabel					
L.-Grenze [kW]	/					6	4	2.5-6
Zonen	1	2	3	3	5	3	3	3
Preise	22	12 18	17	7	7	7	7	7
					14			
			22	22	22	22	22	22
			27	37	30	37	37	37
		37						
Lastmgmt	manuell			beides	automatisiert (EMS)			

Tab. 04: Getestete Zonentarife in Phase 3

7.1.2 Stichprobe

Der Versuchsaufbau ermöglicht nicht die Gewinnung von repräsentativen Ergebnissen, so dass die Auswahl der Testbewohnerinnen und Testbewohner ein sehr wichtiger Schritt ist. Es wurde eine junge Stichprobe (22 – 31 Jahre) rekrutiert, die mittels eines Screening-Fragebogens (analog zur ersten Studie, vgl. Kapitel 6) ausgewählt wurde, der darauf abzielte, diejenigen zu finden, die allgemein Interesse am Thema hatten, aber geringe Kenntnisse und keine Erfahrung mit den untersuchten ST. Die endgültige Auswahl fand nach einer Besichtigung des ESHL und einem kurzen Kennenlernen mit der Autorin statt. Die Wohnphase 1 wurde mit zwei Studierenden durchgeführt, während bei Wohnphase 2 zwei junge Erwachsene (= Nichtstudierende) im ESHL lebten und eine gemischte Konstellation (eine Studentin und ein Nichtstudent) für die Wohnphase 3 rekrutiert wurde. Neben dem Screening-Fragebogen und einem kurzen standardisierten Vorab- sowie Abschlussfragebogen zu Einstellungen und Präferenzen (aufbauend auf der ersten Studie, vgl. Kapitel 6) wurden zwei Tiefeninterviews durchgeführt – eine Methode um Meinungen zu untersuchen, die eine enge Interaktion mit dem Forschenden und den zu untersuchenden Technologien ermöglicht. Während der Wohnphasen konnten die Testbewohnerinnen und -bewohner in einem Onlineblog über ihre Erfahrungen schreiben. Durch die Kombination dieser verschiedenen Befragungsformen wurde eine reiche Menge an Daten in den eigenen Worten der Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer gewon-

nen. Diese qualitativen Daten wurden mit Einverständnis der Studienteilnehmenden aufgezeichnet, transkribiert und zusammen mit den quantitativen Messdaten analysiert.

7.1.3 Ergebnisse

Die durchschnittliche Stromnachfrage während der Wohnphasen betrug 68 kWh / Woche, was den Bedarf der Bewohner ohne den Laborbetrieb (Technikraum) umfasst. Über alle Wochen hinweg konnten die Testbewohnerinnen und -bewohner rund 50 % ihres Elektrizitätsbedarfs in der niedrigsten Preiszone (7 Ct / kWh) und die anderen 50 % mehr oder weniger zu gleichen Teilen in der mittleren (22 Ct / kWh) und in der hohen Preiszone (37 Ct / kWh) beziehen (vgl. Abb. 10). Die Funktionalitäten des automatisierten EMS (in den Wohnwochen vier und fünf) erhöhten nicht die Nachfrage während der Niedrigpreiszeit. Aus zwei Gründen: Erstens konnten die Testbewohnerinnen und -bewohner ihre Elektrizitätsnachfrage gut manuell an die dynamischen Preise anpassen. Zweitens verlagerten sie die gleichen Geräte während der "manuellen" Wochen wie die in der von der EMS kontrollierten.

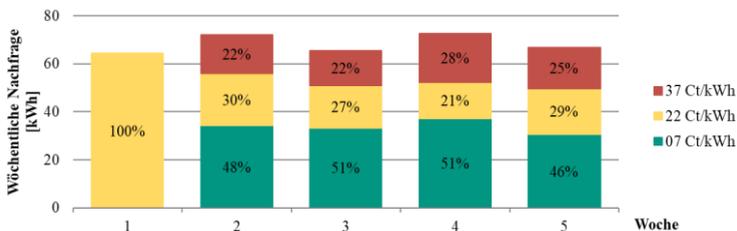


Abb. 10: Elektrizitätsnachfrage gesplittet nach Tarifzonen

Beim Vergleich der durchschnittlichen täglichen Lastkurve, die über die fünf Wochen akkumuliert wurde, mit dem deutschen Standardlastprofil für Haushalte⁹, ist eine ähnliche Laststruktur während des Tages sichtbar (vgl. Abb. 11). Beide Lastspitzen, mittags wie abends, treten in der Wohnphase allerdings zeitlich später auf, was auf eine Lastverlagerung hindeutet. Durch Hinzufügen der Preiskurve über diesen Zeitraum kann ein umgekehrter Effekt zwischen Strompreis und der Nachfrage beobachtet werden, was u. a. zu einer Reduktion der Elektrizitätskosten um 6,5 % führt.

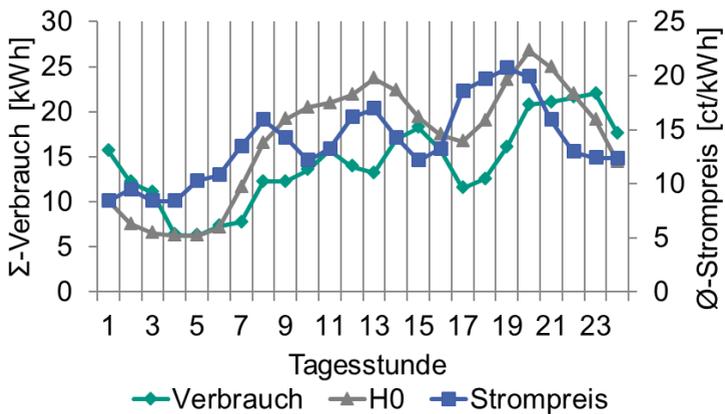


Abb. 11: Akkumulierte Elektrizitätsnachfrage im Tagesverlauf

⁹ Das Standardlastprofil ist ein repräsentatives Lastprofil, um die Elektrizitätsnachfrage ohne registrierende Leistungsmessung zu prognostizieren. Der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft beschreibt verschiedene Standardlasttypen, so auch den Profiltyp H0 für Haushalte und Nachfrager mit elektrisch geringfügigem, gewerblichem Bedarf (BDEW 2017).

Im Folgenden werden die Ergebnisse jedes Moduls vorgestellt und mit Interviewaussagen, Blogposts sowie Verhaltensdaten veranschaulicht.

Modul 1: Feedback

Vor allem in den ersten Tagen nutzten die Testbewohnerin und der Testbewohner die EMP häufig. Sie hatten Spaß daran den Verbrauch zu analysieren und bestätigten, dass Echtzeit-Feedback zu einem bewussteren Nutzen von HHG führt. Sie waren insbesondere fasziniert von den Echtzeit-Informationen über die PV-Erzeugung. Da Wohnphase 3 im Winter stattfand, waren sie ein wenig enttäuscht darüber, dass sie nicht mehr die selbst erzeugte Energie nutzen konnten.

„Die Touchpads sind einfach zu bedienen und es macht Spaß. Ich bin persönlich sehr interessiert an der PV-Energie. Zum Glück sind wir mit dem Stromnetz verbunden, denn sonst würden wir oft im Dunkeln sitzen.“

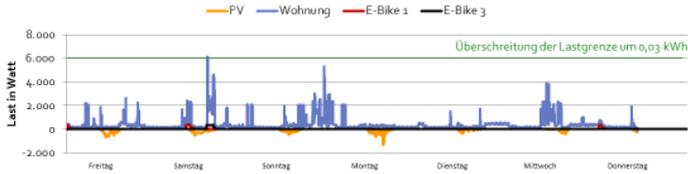
Es gab einige zusätzliche Anwendungen auf den EMP. Die Wettervorhersage und die Regelung der Raumbelichtung wurden am meisten geschätzt. Die Testbewohner dachten sogar, dass diese Zusatzinformationen entscheidend für einen breiten Einsatz in HH sei und hatten daher viele Ideen für zusätzliche Anwendungen (bspw. Rollladensteuerung).

Eine wöchentliche Rechnung lieferte Informationen über die Elektrizitätskosten, die Ladelasten und einen Vergleich der Elektrizitätsnachfrage mit einem durchschnittlichen deutschen HH (vgl. Abb. 12). Obwohl ein Testbewohner den Vergleich nicht mochte, hielt ihn die andere für nützlich und war überrascht, dass ihre Nachfrage nicht wesentlich geringer ausfiel als die des deutschen Durchschnitts.

Smart Home Rechnungsübersicht (1) Zeitraum: 02.12. – 08.12.2011



Eure Woche in der Übersicht



	Verbrauch	Kosten
Diese Woche (Aufteilung nach Tarifphasen)	62,4 kWh (davon 2,3 kWh für E-Bikes) (41% / 37% / 22%)	13,73 €
Vergleich zur 1. Woche	64,5 kWh	14,19
Gesamt	199,1 kWh	41,09 €

Hochrechnung dieser Woche aufs Jahr
 3.255 kWh



Bundesdurchschnitt 2 Personen-HH im Jahr
 3.440 kWh

KIT – Lehrstuhl für Energiewirtschaft

1

Smart Home Rechnungsübersicht (2) Zeitraum: 02.12. – 08.12.2011



Überblick Bonuskonto	
Bonuspunkte für Verbrauch zu Tiefpreisen	25 Bonuspunkte
Maluspunkte für Verbrauch zu Hochpreisen	14 Maluspunkte
Bisheriger Punktestand	20 Bonuspunkte
Gesamt	31 Bonuspunkte

Fragen, Anmerkungen, Kommentare
über unseren Blog ☺

<https://ipsrv-web.wiwi.uni-karlsruhe.de/meregio/tiki-index.php?page=MeregioMobil+Logbuch>



KIT – Lehrstuhl für Energiewirtschaft



2

Abb. 12: Rechnungsübersicht am Beispiel der Woche 3

Nachdem die beiden Testbewohner jedes HHG ein paar Mal benutzt hatten, meinten sie, dass sie mit den jeweiligen Elektrizitätsbedarfen ganz gut vertraut wären, so dass ständiges Feedback keinen neuen Mehrwert liefere, außer ein neues HHG würde angeschafft werden. Zudem hatten sie nicht die Absicht, ihren Elektrizitätsbedarf zu reduzieren, da dieser durch Grundanwendungen recht fest vorgegeben sei.

„Nachdem ich zweimal die Waschmaschine benutzt habe, kenne ich ihren Verbrauch. Wir verbrauchen sowieso Strom. Ich werde nicht aufhören meine Kleidung zu waschen, nur weil ich sehe wie viel dafür erforderlich ist.“

Modul 2: Zonentarife

Die Einführung von dynamischen Preisen veränderte den Einsatz des EMP und der Geräte. Die Testbewohnerinnen und -bewohner prüften morgens die Preisprognose und planten die Verwendung der Geräte entsprechend. Die Aufteilung der Gesamtnachfrage auf die einzelnen Geräte ermöglicht die Analyse, welche Geräte in den verschiedenen Preiszonen eingesetzt wurden und entsprechend verlagert wurden (vgl. Abb. 13). Dies war insbesondere der Fall bei Geräten mit zeitunabhängiger Nutzung, bspw. der Spülmaschine. Geräte mit einem hohen Anteil in der roten Preiszone zeigen im Zeitverlauf eine ungünstige Lastverlagerung. Wenig überraschend sind dies Licht, Ofen, Herd und Fernseher. Für Geräte, die der Bequemlichkeit und Unterhaltung dienen, war die Bereitschaft der Testbewohner, diese Anwendungen variablen Elektrizitätstarifen

zu unterwerfen gering. Es sind HHG mit unmittelbarem Nutzungsmuster und niedrigem Verlagerungspotenzial. Im Gegensatz dazu sind HHG mit permanentem oder zeitunabhängigem Nutzungsmuster für die (automatisierte) Lastverlagerung geeignet, da sie einen hohen Elektrizitätsbedarf und geringe zeitliche Beschränkungen aufweisen. Als Beispiel sagten die Testbewohner, die Spülmaschine bis zu zwölf Stunden ohne Einschränkungen in ihren täglichen Routinen verschieben zu können. Ihrer Erfahrung nach durch die Teilnahme an der Studie waren die Spülmaschine das am geeignetste, die Kaffeemaschine und der Herd die am wenigsten geeigneten HHG zur Lastverlagerung mit Zonentarifen. Darüber hinaus wünschten sie sich eine intelligente Tiefkühltruhe, die automatisch ihre Kühlperioden gemäß den Elektrizitätspreisen planen und Kosteneinsparungen auf eine bequeme Weise, ohne Nutzerinteraktion, ermöglichen würde.

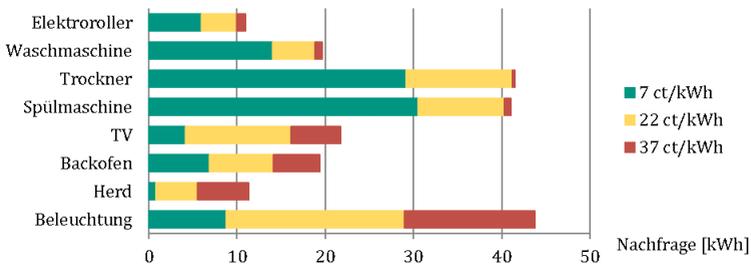


Abb. 13: Elektrizitätsnachfrage für ausgewählte Haushaltsgeräte

Das Zeitschema des RTP beeinflusste die Fähigkeit der Testbewohnerin und des Testbewohners, die Gerätenutzung zu verlagern. Wenn Niedrigpreis- oder Mittelpreiszonen zu Tagesrandzeiten galten, wurden sie als zu früh oder zu spät wahrgenommen, um sich danach zu richten.

„An diesem Wochenende waren wir sehr flexibel und haben deswegen versucht die Geräte zu günstigen Zeiten zu nutzen. Nur am Sonntagabend begann die grüne Zone nach 19 Uhr und wir konnten nicht mit dem Kochen bis dann warten – wir hatten Gäste da. Mal sehen, wie wir uns während der Woche schlagen werden! Ganz bestimmt werde ich aber nicht vor sechs Uhr aufstehen, um den Kaffee etwas billiger zu machen.“

In der dritten Woche wurde dem RTP eine Lastgrenze hinzugefügt, die auf dem EMP mit einer separaten Leiste visualisiert wurde. Während ihrer Aktivitäten prüften die beiden Testbewohner spielerisch, inwieweit es möglich war, weitere Geräte zu benutzen, ohne die Lastgrenze zu überschreiten. In den Wochen drei und vier wurde die Lastgrenze bei 6 kW bzw. 4 kW festgesetzt. Diese Grenzen hatten kaum Auswirkungen und wurden nur für vier Minuten in jeder Woche mit einer Gesamtnachfrage von unter 0,1 kWh überschritten. Als die Lastgrenze auf 2,5 kW weiter heruntergesetzt wurde, zeigte sie Wirkung. Obwohl die Höhe der Überschreitung mit einer Nachfrage von 0,65 kWh keinen Einfluss auf die Kosten hatte, stieg die Überschreitungszeit sprunghaft auf 87 Minuten.

Diese niedrige Grenze stieß auf Unverständnis und die HHG wurden davon unabhängig genutzt.

„Bei 3,5 kW ist es ziemlich machbar, die Geräte zeitversetzt zu nutzen, aber darunter ist es unmöglich. Der Herd allein überschreitet ja schon die Grenze. Solange Ihr uns nicht den Strom abschaltet, können wir mit der Strafzahlung gut leben.“

Gefragt nach ihren Präferenzen für Zonentarife in ihrem eigenen HH, lehnten beide Testbewohner lastabhängige Tarifmodelle, denn eine Lastgrenze sei zu einschränkend. Ein RTP-Modell bevorzugten sie gegenüber TOU. Da wäre man nicht gezwungen allzu lang auf eine Niedrigpreiszone zu warten, wie das bei eher statischen TOU-Modellen der Fall wäre. Darüber hinaus meinte ein Testbewohner, dass er seinen Anteil an niedrigen Marktpreisen so besser erhielte als mit den gering variierenden TOU-Modellen. CPP-Modelle wurden überhaupt nicht akzeptiert, da die Testbewohner meinten, dass EVU in der Lage sein sollten, die Haupteinflüsse auf Kosten zu prognostizieren, und es daher keine Notwendigkeit geben sollte, kritische Ereignisse auszurufen und preislich zu markieren. Darüber hinaus waren beide Testbewohner der Auffassung, dass das Preisniveau irgendwie gedeckelt oder bei einem Durchschnittspreis gehalten werden sollte, weil sie befürchteten, dass, wenn es im Laufe von mehreren Wochen keine Windenergieerzeugung geben würde, die Preise konstant hoch bleiben würden. Sie hatten

nicht nur das Gefühl, dass dies vom EVU gegenüber den Kunden ungerecht wäre, sondern auch, dass es dann schwer wäre, Stromkosten zu sparen. Übereinstimmend mit der Bereitschaft, Kosten einsparen zu wollen, wurden größere Preisspannen gegenüber niedrigeren bevorzugt, solange die höchste Preiszone gedeckelt sei.

„Wenn die Preisunterschiede nur 2 Cents sind, ist es egal. Es würde überhaupt keine Motivation geben. Ich würde dann lieber sofort den Wäschetrockner einschalten, als zu warten und 4 Cents zu sparen. Aber wenn wir über 20 oder 30 Cents reden, dann würde ich mich wirklich darum kümmern.“

Die erwartete Kosteneinsparung betrug rund 150 € / Jahr. Obwohl diese Erwartung ähnlich zur vorhergehenden Studie (vgl. Kapitel 6) ist, ist sie relativ hoch. Während dieser Wohnphase sparten die Testbewohner fiktiv rund 6,5 % bei den Elektrizitätskosten. Auf ein ganzes Jahr hochgerechnet, würde die Einsparung rund 63 Euro betragen.

Während die monetäre Einsparung der Hauptantrieb für den Testbewohner war, sich an die Zonentarife anzupassen, standen für die Testbewohnerin die ökologischen Fragen im Vordergrund. Vor allem die Idee der Nutzung von EE – vorzugsweise aus der eigenen PV-Anlage – empfand sie als anspornend. Entsprechend wünschte sie sich sowohl auf den EMP in Echtzeit als auch auf der fiktiven wöchentlichen Elektrizitätsrechnung mehr Informationen über den Erzeugungsmix.

Modul 3: Automatisiertes EMS

In den Wochen vier und fünf wurde das automatisierte EMS aktiviert und ermöglichte die volle Nutzung der intelligenten HHG. Bisher hatten es die Testbewohnerinnen und -bewohner geschafft, sich sehr gut nach den dynamischen Preisen zu richten, u. a., weil sie die in einigen HHG integrierten Zeitschaltuhren entdeckt hatten. Sie wechselten daher nicht sofort von dieser manuellen Strategie zum Einsatz des automatisierten EMS. Während das automatisierte EMS alle Parameter, als auch die Lastgrenzen, berücksichtigt, ist dies bei der manuellen Strategie eine mathematische Aufgabe. Obwohl die Testbewohner dem EMS nicht vollständig vertrauten, wechselten sie nach einigen Tagen und nutzen das automatisierte EMS täglich – nicht ohne anfangs noch Gegenproben zu machen und zu prüfen, ob das EMS die HHG richtig eingestellt hatte.

„Normalerweise stelle ich das Automatisierung ein und prüfe dann, ob es brauchbare Laufzeiten für die Geräte liefert. Ansonsten stoppe ich es und stelle lieber wieder die Zeitschaltuhr ein.“

Das automatisierte EMS wurde hauptsächlich für die Spülmaschine und die Waschmaschine genutzt. Obwohl der Wäschetrockner auch die intelligenten Funktionalitäten hatte, wurden diese nicht viel genutzt, da insbesondere die Testbewohnerin befürchtete, die nassen Klamotten zu lange dort liegen würden, bevor sich der Wäschetrockner einschaltete. Beim Nachdenken über weitere Geräte, die

für das automatisierte EMS geeignet wären, dachte ein Testbewohner an Elektromobilität.

„Die Automatisierung wäre ideal für ein Elektroauto. Es könnte zum Beispiel genau zwischen zwei Heizphasen der Waschmaschine aufgeladen werden. Die Haushaltsgeräte laufen ja durchgehend, aber die Aufladung des Autos könnte wahrscheinlich ohne Probleme auch mal unterbrochen werden.“

Modul 4: Elektroroller

Ziel der Bereitstellung der Elektroroller war es, die Akzeptanz der Elektroroller selbst und die Auswirkung von DR auf das Ladeverhalten zu analysieren. Wie Abb. 13 zeigt, machten die Elektroroller keinen hohen Anteil am gesamten Elektrizitätsbedarf aus. Dennoch wurden sie vorrangig in Niedrigpreiszonen aufgeladen. Ähnlich wie bei den anderen HHG gab es eine hohe Bereitschaft, den Ladevorgang zu verlagern, aber günstige Preiszonen zu sehr späten Zeiten schränkten die Umsetzung ein. Darüber hinaus waren die Ladestecker draußen, was noch mehr einschränkte.

„Im Allgemeinen habe ich versucht, mich nach den Preisen zu richten, aber gestern zum Beispiel galt der Niedrigpreis erst um Mitternacht und das war zu spät. Eine Art von Zeitschaltuhr für die Steckdose draußen oder sogar die vollständige Automatisierung wie bei den Geräten in der Küche, wäre toll. Es ist schon nervig wieder rausgehen zu müssen und den Roller einzustöpseln.“

Anstatt den Elektroroller sofort nach dem Eintreffen am ESHL anzuschließen, versuchte die Testbewohnerin, bis zu einer Niedrigpreiszeit zu warten, und wenn sie dies nicht schaffte, nahm sie den anderen Elektroroller. Diese Strategie war möglich, weil sie die Hauptnutzerin war. Abgesehen von wenigen Ausnahmen hielt der andere Testbewohner an der Nutzung seines Pkw fest.

„Ich habe die ideale Verwendung für den Elektroroller nicht gefunden. Vielleicht weil ich nie gewohnt war, einen Roller oder ein Motorrad zu fahren? Innerhalb der Stadt laufe ich lieber und für längere Strecken benutze ich einfach mein Auto. Die meiste Zeit habe ich auch Sachen dabei und der Elektroroller hat dafür nur begrenzte Transportmöglichkeiten.“

Die Hauptnutzerin fuhr jeden Morgen mit dem Elektroroller zur Arbeit und genoss es, nicht so verschwitzt anzukommen wie mit dem Fahrrad. Am Nachmittag nutzte sie ihn um zu ihren Sport- und Freizeitaktivitäten zu gelangen. Nach ihrer eigenen Wahrnehmung änderten sich ihre Bewegungsmuster nicht, abgesehen von der Tatsache, dass sie jetzt den Elektroroller anstelle ihres Fahrrades benutzte. Allerdings war das Gefühl, mit dem Elektroroller zu fahren, ganz anders. Während sie Gefallen an der schnellen Beschleunigung hatte, fühlte sie sich besonders auf Bundes- bzw. Landesstraßen eingeschränkt, nicht schneller als 45 km / h fahren zu können.

Außerdem meinte sie, dass viele Fußgänger ihre Vorfahrt nicht respektierten. Im Gegensatz dazu zollten ihr die Autofahrer viel Aufmerksamkeit und waren sehr interessiert an diesem EM.

„Elektroroller sind immer noch ein Novum auf der Straße und die Leute reagieren ganz unterschiedlich. Die Meisten sind interessiert und kommen mit Fragen auf mich zu. Andere scheinen mich nicht ernst zu nehmen auf diesem Fahrzeug - vielleicht, weil es so leise ist?“

Um aus dem Elektroroller ein attraktiveres Fahrzeug zu machen, schlugen die Testbewohner viele Verbesserungen vor. Manche betrafen das Fahrzeug selbst, wie bspw. Blinker (anstelle Fahrtrichtungswechsel per Hand anzuzeigen), andere Ideen betrafen die Batterie. Mit einer zusätzlichen Batterie zum Austauschen würde die Flexibilität auch im Hinblick auf die variablen Elektrizitätstarife gesteigert. Kürzere Ladezeiten würden das Laden außer Haus (bspw. am Fitnessstudio) attraktiver machen.

Bevor Wohnphase 3 endete, wurden die Testbewohnerin und der Testbewohner nach ihren abschließenden Bewertungen der ST gefragt und danach welche, wenn überhaupt, sie für ihre eigenen HH wählen würden. Beide präferierten einen Zonentarif mit einer Art Feedback-Gerät, das nicht zu teuer sein sollte. Obwohl sie die anderen Möglichkeiten mit dem automatisierten EMS und den intelligenten HHG interessant fanden, wäre es aus ihrer Sicht zu kostenintensiv, sie in bereits eingerichtete HH zu integrieren.

7.1.4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

In dieser Studie wurde eine experimentelle Testwohnphase mit dem Ziel durchgeführt, die Akzeptanz von DR unter besonderem Einsatz von ST im Alltag zu analysieren. Die Ergebnisse zwei weiterer Testwohnphasen unterscheiden sich nicht substantiell von der hier vorgestellten.

Das ESHL wurde als Labor genutzt und folgende ST modular eingesetzt: Feedbackoptionen, Zonentarife, ein automatisiertes EMS gekoppelt mit ausgewählten intelligenten HHG sowie Elektrorollern. Die Beobachtungen im Labor wurden von verschiedenen Befragungen begleitet.

In dieser Studie war direktes Feedback in Echtzeit über EMP effektiver als indirektes Feedback über eine fiktive wöchentliche Elektrizitätsrechnung im Hinblick auf die Erhöhung der Sensibilisierung bezüglich der Elektrizitätsnachfrage. Im Allgemeinen zeigten die Testbewohner ein hohes Interesse an detaillierten Informationen über ihre Elektrizitätsnachfrage, insbesondere dem Bedarf einzelner HHG. Allerdings konnte durch das Feedback keine Elektrizitätseinsparung beobachtet werden. Das EMP wurde zur entscheidenden Informationsquelle, als die Zonentarife in das Experiment eingeführt wurden. Motiviert durch das experimentelle Umfeld und das Bonus-Malus-System gelang es den Testbewohnern, den Groß-

teil ihres Elektrizitätsbedarfs an die dynamischen Preise und Lastgrenzen anzupassen. Die Zonentarife erwiesen sich insgesamt als wirksam bei der Erhöhung der Anstrengung, zumindest einige Lasten zu verlagern. Ein Ansatz bei der Verhaltensanpassung war die Nutzung von Zeitschaltuhren. Um die Lastgrenzen auf bequeme Weise einzuhalten, nutzten die Testbewohnerin und der Testbewohner das automatisierte EMS, das den Einsatz der intelligenten HHG (Geschirrspüler, Waschmaschine, Wäschetrockner) kontrollierte. In dieser Studie erhöhten die Funktionalitäten des automatisierten EMS nicht die Menge an Elektrizität, die verlagert wurde, weil es für dieselben HHG angewendet wurde, die vorher manuell verlagert wurden. Allerdings bestätigten die Testbewohner, dass langfristig Automatisierungsoptionen – vor allem in Verbindung mit EM – benötigt werden würden. Für ihre eigenen HH äußerten die Testbewohnerin und der Testbewohner Interesse an Zonentarifen (mit einer starken Präferenz für RTP gegenüber TOU oder CPP-Modellen) und einer einfachen Form von Feedbackmöglichkeit, die nicht zu viel kosten sollte. Die zentralen Beweggründe hinter den Lastverlagerungsbemühungen während dieser Studie waren Kosteneinsparpotenziale sowie die Nutzung von (selbsterzeugten) EE.

Unter Berücksichtigung der Struktur der Auswahl der Teilnehmenden (interessiert an energiebezogenen Themen, aufgeschlossen für neue Technologien, heterogen in Bezug auf Alltagsroutinen) ist die Analyse der Ergebnisse besonders interessant. Selbst in dieser "interessierten" Stichprobe hatten die Testbewohner wenig Wissen

über ihre Stromverbrauchsmuster, bevor sie einzogen und berichteten, dass sie Spaß hatten, diese zu erkunden. Dies weist darauf hin, dass interaktive Lösungen, die es den Nutzern ermöglichen, ihre eigene Elektrizitätsnachfrage zu beobachten, der Herausforderung der Vermarktung von Elektrizitätsdienstleistungen begegnen. Die Auseinandersetzung mit der Feedbackfunktion nahm während der Testphase im Laufe der Zeit ab und die monetären Einsparungen wurden immer wichtiger, was sich auch als das wichtigste zugrundeliegende Motiv bei der Lastverlagerung erwies. Die Ergebnisse zeigen, dass die Spülmaschine, die Waschmaschine und das Laden der Elektroroller die Geräte waren, die hauptsächlich in ihrer Nutzung zeitlich verlagert wurden. Da diese HHG auch einen hohen Anteil am gesamten Elektrizitätsbedarf ausmachen, eignen sie sich am besten für die Lastverlagerung, was die Nutzereinschätzung aus der Vorstudie (vgl. Kapitel 6) bestätigt. Allerdings wurde die Akzeptanz der Lastverlagerung durch verschiedene Faktoren eingeschränkt:

- Nicht alle täglichen Aktivitäten und Routinen sind leicht verlagernbar, bspw., wenn Arbeitszeiten dem entgegenstehen.
- Auch, wenn manche Aktivitäten verlagert werden könnten, werden sie nicht notwendigerweise verschoben, weil sie beruhigende, unterhaltende oder mobilitätsbezogene Dienste leisten. Dies ist Zeugnis davon, dass Elektrizität nicht als eigenständiges Gut nachgefragt wird, sondern die

Nutzung anderer Produkte und Dienstleistungen ermöglicht und Verhaltensänderungen schwerer zu realisieren sind.

- Andere Tätigkeiten, die den Verbraucher weniger einbeziehen, wie die Nutzung des Wäschetrockners, lassen sich relativ einfach zu einem anderen Zeitpunkt des Tages ausführen.

Während die Innovativität des ESHL in dieser Studie von den Testbewohnern geschätzt wurde, wären sie wahrscheinlich nicht bereit, die gleiche Zeit aufzubringen, um sich mit den HHG in ihrem eigenen HH vertraut zu machen. Daher werden zweckdienliche Lösungen und eine kundenfreundliche Unterstützung empfohlen, um die Akzeptanz der ST durch eine breitere Konsumentenbasis zu ermöglichen. Weitere Funktionen, die zusätzlichen Mehrwert bieten (wie bspw. eine Heizungssteuerung), können ihre Attraktivität erhöhen. Es wird empfohlen, dass zukünftige ST dem Wunsch der Nutzer gerecht werden, sich einfach und unkompliziert darüber zu informieren, wie man Elektrizitätskosten spart, ihnen Informationen über den Energie-Mix zu liefern und ein hohes Maß an Flexibilität im Alltag sicherzustellen.

DR eignet sich besonders für das Laden von EM aufgrund der erforderlichen Ladeleistung, des Energievolumens ihrer Batterien und der langen Standzeiten. Aus diesen Gründen empfiehlt es sich, die Bemühungen hinsichtlich der Ladelaststeuerung zu verstärken, insbesondere wenn der Anteil von EM gesteigert werden soll.

Grenzen der Untersuchung

Wie alle empirischen Arbeiten unterliegt diese Studie mehreren Einschränkungen. Mit Sicherheit ist die Verallgemeinerbarkeit der Befunde begrenzt. Die für dieses Experiment gewonnenen Testbewohner sind für keine Population repräsentativ. Darüber hinaus haben sie sich freiwillig gemeldet, so dass Ansichten und Erfahrungen von Personen, die nicht an dieser Art von Technologien interessiert sind, hier nicht abgedeckt werden. Bei der Rekrutierung von Studienteilnehmenden wurde bewusst versucht, Personen einzubeziehen, die wahrscheinlich unter den frühen Anwendern von ST sein werden.

Während das ESHL ein einzigartiges Wohnumfeld bietet, ist es auch eine Einschränkung, weil ein anderes Setup möglicherweise auch andere Verhaltensweisen ausgelöst hätte. Das gilt auch für das konzipierte Bonus-Malus-System. Der Wert eines Bonuspunkts war höher als der tatsächliche Wert des AP. Während die Testbewohnerin und der Testbewohner 33 Bonuspunkte (16,5 Euro) sammelten, hätten ihre realen Einsparungen einen Bruchteil davon (4,76 Euro) betragen. Da eine Menge Hard- und Software, u. a. Messgeräte und Steuerungsalgorithmen, erforderlich ist, aber zum Zeitpunkt der Untersuchung noch nicht auf dem Markt verfügbar war, war es unmöglich, die Experimente mit einer Kontrollgruppe durchzuführen. Daher sind direkte Vergleiche mit anderen HH nur eingeschränkt möglich. Auch wenn die Wohnphase von sechs Wochen für ein Ex-

periment unter Laborbedingungen eine relativ lange Zeitdauer aufwies, können kaum Schlüsse über die langfristigen Effekte und Verhaltensweisen gezogen werden.

Schlussfolgerungen

Diese Studie gibt Aufschluss über die Akzeptanz von DR im Sinne von beobachtbarem Verhalten realer Nutzer unter Einsatz von ST. Es stellt sich heraus, dass, wenn ST eingesetzt werden, Lastverlagerungen trotz der Barrieren von täglichen Routinen beobachtbar sind. Die Anreize für dieses Lastverlagerungsverhalten sind in dieser Studie die monetären Einsparungen und der Einsatz von EE. Es wurde ferner der Einsatz von Elektrorollern in diesem Umfeld untersucht und Lastverlagerungen auch für den Ladevorgang realisiert. Automatisierte Lösungen, die eine komfortable Lastverlagerung ermöglichen, werden in Kombination mit Elektrorollern wichtiger werden.

Lastverlagerungspotenziale können steigen, wenn EM eine höhere Marktdurchdringung erleben. Daher lohnt sich eine weitere Analyse der Akzeptanz von Ladelastverlagerung, insbesondere mit automatisierter Integration in das EMS und in Kombination mit eigenen Erzeugungsanlagen. Neben den elektrischen könnten auch thermische Komponenten in das EMS integriert werden, da sowohl Kosten- als auch Energieeinsparungen in hohem Maße wahrscheinlich wären. Um die Ergebnisse dieser Studie zu validieren, sind weitere Experimente mit anderen Zielgruppen, bspw. Familien, empfehlenswert.

Basierend auf den Ergebnissen dieser Studie ergibt sich die Handlungsempfehlung, dass politische Rahmenbedingungen die Verhaltenseinflüsse auf den Elektrizitätsbedarf in HH nicht außer Acht lassen sollten. Größere Transparenz hinsichtlich Elektrizitätsbedarf und -kosten sind kurzfristig ein Anreiz (und intelligente Messsysteme könnten daher ein guter Ausgangspunkt sein), aber auf lange Sicht müssen zusätzliche Vorteile für die Nutzer wahrnehmbar sein, wie etwa monetäre Einsparungen und nachhaltige Umweltauswirkungen. Diese Anreize, die über das reine Feedback hinausgehen, werden die Akzeptanz von DR erhöhen und sind daher entscheidend für den Fortschritt hin zu einem effizienteren und vernetzteren Energiesystem.

7.2 Demand Response mit batterieelektrischen Pkw

7.2.1 Methodische Vorgehensweise

Die zuvor skizzierte Forschungsfrage, die Frage nach der Akzeptanz von DR im Sinne des beobachtbaren Verhaltens realer Nutzer (vgl. Kapitel 5), ist für die Elektromobilität im Rahmen eines Feldversuchs mit BEV. Der Feldversuch, eingebettet in das Forschungsprojekt MeRegioMobil, fand im Zeitraum Januar bis September 2011 in den Städten Karlsruhe und Stuttgart mit ausgewählten Leasingkunden eines Smart electric drive statt. Die methodische Vorgehensweise, der Aufbau des Feldtests sowie die Stichprobe werden im Folgenden beschrieben.

Methodik

Es ist ein qualitatives Forschungsdesign zur Beantwortung der Forschungsfragen gewählt worden, um die Motive im Umgang mit DR für BEV zu eruieren. Die Anforderungen an die methodische Vorgehensweise sind hoch, da zum Zeitpunkt der Untersuchung kaum Kundenerfahrungen weder mit BEV noch mit DR, und bis heute auch nicht im Umgang mit beidem vorliegen.

Auf Basis der ersten Studie (vgl. Kapitel 6) ist ein Anreizsystem für DR, d. h. zur Ladelastverlagerung, entwickelt worden, das dem aus der ersten Studie abgeleiteten Wunsch nach Unabhängigkeit und Flexibilität – gerade im Kontext mit einem eigenen Pkw – berücksichtigt. Die Grundlage bildet ein Ladetarif, konzipiert als zeitabhängiger Zonentarif, welcher durch ein intelligentes Lademanagement ergänzt wurde. Dieses Anreizsystem wurde in einem Feldversuch mit 15 Haushalts- und 19 Gewerbekunden eingesetzt.

Der Feldversuch wurde durch die Messdaten (Ladeverhalten der Nutzer) und durch telefonische Leitfadeninterviews (Wahrnehmung der Nutzer) ausgewertet (MRM 2011). Telefonische Leitfadeninterviews ermöglichen den direkten Austausch zwischen Forscher und Befragtem (Hopf 2004). Durch die Leitfadenstruktur wird sichergestellt, dass in jedem Telefoninterview alle Themenfelder abgedeckt werden, aber auch Raum für Fragen, die sich aus dem Dialog ergeben, gelassen wird. Dem Befragten ist es darüber

hinaus möglich, die Breite seiner Ausführungen selbst zu bestimmen. Zudem können alle Feldtestteilnehmer ortsungebunden separat zu ihren persönlichen Erfahrungen befragt werden.

Die Telefoninterviews sind mit Einverständnis der Interviewpartner aufgezeichnet und im Anschluss wörtlich in geglätteter Form transkribiert worden. Mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring 2000) wurden die Transkripte codiert, der Codierfaden mit zwei Kolleginnen gespiegelt und die Interviews auf der Basis ausgewertet.

Anreizsystem zur Ladelastrverlagerung

Für den Feldversuch ist wie oben skizziert ein Anreizsystem zur Ladelastrverlagerung entwickelt und im Feldversuch erprobt worden. Herzstück war ein zeitabhängiger Zonentarif mit zwei Preisstufen, der an einen TOU angelehnt war (22,31 Ct / kWh tagsüber; 19,31 Ct / kWh nachts). So wurde allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern ein erster monetärer Anreiz gegeben, die Ladevorgänge auf kostengünstige Zeitpunkte zu verlagern. Eine sogenannte Stromampel, die im Haus aufgestellt wurde, zeigte die jeweils gültige Preiszone sowie die Preisprognose für die nächsten 12 Stunden an.

Zusätzlich wurde ein intelligentes Lademanagement als eine Form des automatisierten EMS eingeführt. Es sah vor, dass die Nutzer über eine Smartphone Anwendung „eingesteckte“ Standzeiten an der Ladesäule eingeben konnten. Der Ladevorgang startete dann

nicht sofort nach Verbindung mit dem Ladestecker, sondern irgendwann während des eingegebenen Zeitfensters – gesteuert durch das kooperierende EVU im Projekt. Garantiert wurde, dass das Fahrzeug bis zum Ende des per Smartphone-Anwendung eingegebenen Zeitfensters aufgeladen war. Je nach Ladezustand der Traktionsbatterie variierte der spätmöglichste Zeitpunkt, zu dem mit dem Ladevorgang gestartet werden musste.

Die Anzahl der per Smartphone freigegebenen Zeitfenster wurde in einem Ladezeitkonto registriert, welches an ein Bonussystem angebunden war. Je höher das Ladezeitkonto, desto höher der Ladebonus, der mit den monatlichen Ladekosten gemäß Ladetarif verrechnet wurde. Dadurch entstand für die Kunden ein zusätzlicher monetärer Anreiz.

Mit diesem Anreizsystem behält der Kunde einerseits die volle Flexibilität (er entscheidet, ob und wann er welche Ladevorgänge anmeldet) und andererseits kann das EVU zumindest bei den angemeldeten Ladevorgängen die Lastverlagerungspotenziale bündeln und effektiv nutzen.

7.2.2 Stichprobe

Die Grundgesamtheit für die Stichprobe waren Leasingkunden eines Smart electric drive in den Städten Karlsruhe und Stuttgart. Um im Feldversuch das intelligente Lademanagement durchführen zu können, waren einige technische Installationen notwendig, so dass

bei der Auswahl der Teilnehmerinnen und Teilnehmer u. a. auf folgende Kriterien geachtet wurde: DSL-Anschluss mit W-LAN im Haus bzw. Gewerbebetrieb, fester Stellplatz mit Steckdose, Bereitschaft zum Einbau einer Ladestation und eines intelligenten Messsystems durch das kooperierende EVU. Des Weiteren wurde bei der Teilnehmerrekrutierung angestrebt, Teilnehmerinnen und Teilnehmer zu finden, die bereits Vorerfahrungen mit DR hatten und / oder über eine eigene PV-Anlage verfügten.

Unter den schließlich teilnehmenden 15 Privatkunden im Feldversuch besaßen vier eine eigene PV-Anlage und sieben HH nahmen zeitgleich im Schwester-Projekt MeRegio¹⁰ teil, durch das sie Erfahrungen mit intelligenten Messsystemen, Feedback-Optionen und einem TOU-Zonentarif im Alltag sammeln konnten und somit mit dem Konzept von DR vertraut waren.

An den Telefoninterviews nahmen 14 Privatkunden teil. Befragt wurden jeweils die Hauptnutzer des Smart ed. Die Stichprobe setzt sich damit aus fünf weiblichen und neun männlichen Befragten im Alter zwischen 33 und 59 Jahren zusammen. Alle Teilnehmenden wohnen im Eigentum mit zwei bis sechs HH-Mitgliedern zusammen. Die Mehrheit (76 %) wohnt außerhalb einer Stadt (in ländli-

¹⁰ Minimum Emissions Region; URL: <https://meregio.forschung.kit.edu/>

cher Region oder einem Vorort) und legt tägliche Wegstrecken zwischen 25 und 100 km zurück. Dazu stehen allen HH, mit einer Ausnahme, mindestens zwei Pkw zur Verfügung.

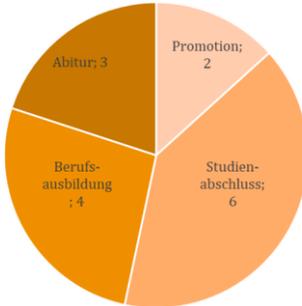


Abb. 14: Bildungsgrad der Stichprobe, n=15

Die Stichprobe zeigt einen überdurchschnittlichen Bildungsgrad (vgl. Abb. 14) und ein hohes monatliches HH-Nettoeinkommen (60 % der HH bei über 4.000 Euro). Mittels fünfpoligen Likert-Skalen wurden die Einstellungen der Teilnehmenden vor dem Start des Feldversuchs erfasst. Hier zeigt sich, dass die Stichprobe ökologisch motiviert ist und eine hohe Affinität zu Technik im Allgemeinen aufweist (vgl. Abb. 15). So verwundert es nicht, dass die Nutzung eines alternativ betriebenen Fahrzeugs für die Mehrheit nicht ganz neu war, sondern Hybridfahrzeuge, BEV oder Auto- / Erdgasfahrzeuge zuvor mindestens getestet wurden.

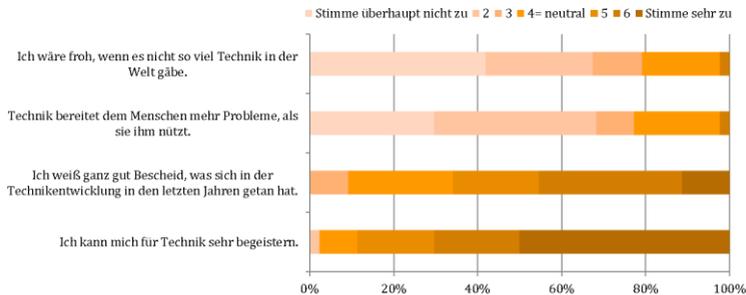


Abb. 15: Aussagen zur Technikaffinität (Pre-Fragebogen), n=15

7.2.3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse zum Verhalten, also den Ladedaten aus dem Feldversuch, sowie zur Wahrnehmung von DR im Kontext der Elektromobilität vorgestellt. Zur Veranschaulichung werden Originalzitate aus den Telefoninterviews herangezogen und mit Buchstaben versehen, die während des Anonymisierungsprozesses den Studienteilnehmenden zugewiesen wurden.

Ladeverhalten

Wie zuvor beschrieben wurde bei allen am Feldversuch teilnehmenden HH eine eigene Ladesäule (Wallbox) am Stellplatz des Smart ed installiert. Daneben standen den Fahrerinnen und Fahrern 25 Ladesäulen im öffentlichen und sieben Ladesäulen im halb-öffentlichen Raum in Stuttgart und Karlsruhe zur Verfügung. Mehrheitlich (84 %) wurde der Smart ed zu Hause und nur zu 5 % an öffentlichen Ladesäulen geladen (vgl. Tab. 05).

Ladeinfrastruktur	Anteil geladene Elektrizität	Durchschnittliche Zeit an der Ladesäule / Tag
Öffentlich (z.B. Laterne)	5 %	15 %
Halb-öffentlich (z.B. Parkhaus)	10 %	35 %
Privat (Wallbox)	85 %	50 %

Tab. 05: Nutzung der Ladeinfrastruktur im Feldversuch

Die meisten Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer gaben an, abends nach der letzten Fahrt des Tages das Fahrzeug zu Hause zu laden. Entsprechendes spiegelt sich auch bei den aufgezeichneten Ladevorgängen wider (vgl. Abb. 16). Wurde das Fahrzeug von mehreren HH-Mitgliedern genutzt, so war die Planung der Ladevorgänge Teil der häuslichen Gesprächsthemen und insbesondere das nächtliche Aufladen zwischen den HH-Mitgliedern vereinbart worden. In knapp der Hälfte der teilnehmenden HH wurde ein Mindestladestand von 40 bis 60 % als untere Grenze untereinander vereinbart, welcher teilweise nach einem, häufig aber auch erst nach zwei bis drei Tagen erreicht wurde, ehe das Fahrzeug wieder geladen werden musste.

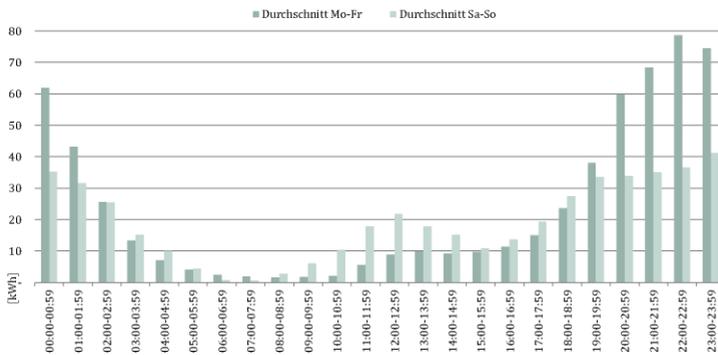


Abb. 16: Aufschlüsselung der Ladenachfrage im Tagesverlauf

Anreizwirkung des Ladetarifs

Wie zuvor beschrieben wurde ein zweistufiger Ladetarif durch das kooperierende EVU angeboten. Da alle Befragten berufstätig und tagsüber außer Haus waren, wurde der Ladezeitpunkt allerdings aus rein praktischen Gründen unter der Woche auf die Abendstunden zu Hause gelegt und erst das BEV wieder vor der Weiterfahrt am nächsten Tag vom Elektrizitätsnetz getrennt. Zehn Teilnehmende gaben an, direkt bei Ankunft das BEV unabhängig von der aktuellen Preiszone des Ladetarifs anzustecken, um später nicht mehr hinausgehen zu müssen oder das Laden gänzlich zu vergessen. Bei vier Teilnehmenden war das anders.

„Ich gehe immer um 22.00 Uhr hinaus, um das Fahrzeug zu laden. Die Stromampel ist in 95 % aller Fälle dann grün.“ (C).

Eine generelle Bereitschaft ihr Ladeverhalten zu verändern, gaben alle Befragten im Telefoninterview an. Als Motiv nannten einige Teilnehmer Kostenersparnisse. Interessanterweise handelte es sich hierbei primär um die „erfahrenen“ Nutzerinnen und Nutzer aus den HH, die – eingebunden im MeRegio-Feldversuch – nach eigenen Angaben insbesondere auch die Spülmaschine nur zu preisgünstigen Zeiten nutzten.

Die Mehrheit empfand aber den benötigten Aufwand zur Ladelastverlagerung, verglichen mit den Elektrizitätskosten (v. a. in Relation zu den Anschaffungs- bzw. Leasingkosten des BEV), zu hoch. Nur wenige hatten bis dahin ihr Ladeverhalten tatsächlich an dem zeitabhängigen Ladetarif ausgerichtet.

„Wenn ich schon so viel Geld für das Elektroauto ausbebe, dann kommt es jetzt auf ein paar Cent rauf oder runter auch nicht an.“ (B)

Der Wunsch nach einer Ladesäule, die die günstigen Preiszonen erkennt und den Ladevorgang dann automatisiert in den günstigsten Zeitraum legt, wurde entsprechend häufig geäußert. Dahinter steckte bei zwei Studienteilnehmenden der Wunsch, den Mehraufwand im Alltag zu minimieren.

„Sie fahren in der Regel auch nicht jetzt tagsüber in der Mittagspause an die Tankstelle, weil vielleicht zwischen zwölf und eins das Benzin billiger wäre. Das muss, wenn, automatisiert laufen.“ (G)

Zwölf Teilnehmerinnen und Teilnehmer nannten hingegen ökologische Aspekte als Anreiz zur Lastverlagerung und damit auch die Anforderung, dass die Ladesäule insb. Informationen über die Verfügbarkeit EE erhält und kommuniziert. Ein Teilnehmer setzte dies sogar für seinen BEV-Kauf voraus.

„Das muss auf jeden Fall funktionieren, sonst würde ich auch kein Elektroauto nehmen.“ (C)

Anreizwirkung intelligentes Lademanagement

Die langen Standzeiten an der privaten Ladesäule (Wallbox) von über 12 Stunden verdeutlichen allgemein das zeitliche Potenzial für Lastverlagerungen für BEV. Durch die Einführung des oben beschriebenen intelligenten Lademanagements sollte daher auch untersucht werden, ob die Studienteilnehmenden über ihr Ladezeitkonto ihre „eingesteckten“ Standzeiten dem EVU kommunizierten und zum automatisierten Lastmanagement freigaben – immerhin haben sie in den Telefoninterviews den Wunsch nach automatisierten Lösungen geäußert.

Vier von 15 Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern nutzen die Möglichkeiten des intelligenten Lademanagements über ihre Smartphone-Anwendung regelmäßig und wurden in einer zweiten telefonischen Befragung zu ihren Erfahrungen damit befragt. Die Erwartung, dass die Smartphone-Anwendung den Ladevorgang vereinfachen würde, wurde von drei Personen bestätigt. Einem Studienteilnehmer war der Aufwand zu hoch.

*„Also RFID Karte dran heben, Ladeklappe wird freige-
macht, ich muss den Mennekes Stecker rein, dann muss
ich es am Fahrzeug auch noch haben, dann muss ich auch
noch am iPhone irgendwelche Abfahrtsdaten eingeben,
das wird dann vielleicht dem ein oder anderen einfach zu
viel des Guten.“ (L)*

Das dahinterliegende Rabattsystem im Ladezeitkonto wurde als angenehm bewertet, da keine dynamischen Elektrizitätstarife mehr zu verfolgen waren, sondern diese von der Ladesäule automatisch berücksichtigt wurden. Somit war nach eigenen Angaben der Studienteilnehmenden die Tagesplanung nicht von Preissprüngen im Ladetarif abhängig. Zusätzlich konnte durch den fixen Rabatt im Ladezeitkonto die Kostenersparnis am Monatsende von den Nutzern besser eingeschätzt werden.

Allerdings war es nicht die Kosteneinsparung, die die Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer zur Nutzung des intelligenten Lademanagements animierte, sondern auch hier dominierte der Wunsch, einen Umweltbeitrag durch die optimierte Nutzung der EE zu leisten. Um auch tagsüber diese Möglichkeiten nutzen zu können, wurde von allen vier Studienteilnehmenden der Wunsch nach (intelligenten) Ladesäulen auch am Arbeitsplatz geäußert.

Vollkommen wurde dem intelligenten Lademanagement aber nicht getraut. Zum einen gaben alle Nutzer an ein ungutes Gefühl bzgl. der Lebensdauer der Traktionsbatterie beim zeitversetzten Laden zu haben. Zum anderen kontrollierten sie, ob die Ladevorgänge der

BEV tatsächlich in den preisgünstigsten Zeitzonen stattgefunden hatten.

Zusammenspiel mit PV-Eigenerzeugung

Neben dem manuellen Laden und dem automatisierten Lademanagement wurde im Feldversuch auch das Zusammenspiel zwischen Eigenerzeugung und Elektromobilität untersucht. Dazu wurden, wie zuvor oben beschrieben, bei der Auswahl der Studienteilnehmenden u. a. Besitzer von PV-Anlagen berücksichtigt.

Wie erwarten, gab es für die „Volleinspeiser“ keinen direkten Zusammenhang bzw. Vorteil zwischen ihrer PV-Anlage und dem BEV. Zwei Teilnehmende gaben an mit einer Zusatzbatterie im Keller „Überschusseinspeiser“ werden zu wollen, um „100 Prozent autark leben zu können“ (D).

Der „Überschusseinspeiser“ aus der Stichprobe versuchte bereits den Smart ed möglichst nur mit der aus seiner PV-Anlage erzeugten Elektrizität zu laden. Die übrigen Mechanismen (Zonentarif, Ladezeitkonto) hatten für ihn keinerlei Anreizwirkung. Seine Mobilität richtete er eher nach der Sonneneinstrahlung. An Arbeitstagen war er bemüht, vor 18:00 Uhr nach Hause zu kommen, um die mit der PV-Anlage erzeugte Elektrizität noch für einen Ladevorgang zu nutzen. An den Wochenenden machten die HH-Mitglieder die Ladevorgänge des Smart ed vollständig von der Sonneneinstrahlung abhängig.

„Es ist die einzige Möglichkeit, um wirklich reinen Gewissens CO₂ neutral durch die Gegend zu fahren“ (J).

7.2.4 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser qualitativen Begleitung eines Feldversuchs ist die Akzeptanz von DR im Kontext der Elektromobilität aus Sicht realer Nutzer bewertet worden. Dabei wurden das manuelle Ladeverhalten auf Basis eines tariflichen Anreizes, das automatisierte Lademanagement auf Basis einer fixen Bonusvergütung, sowie der Einfluss von PV-Eigenerzeugung mit 15 HH, die einen Smart ed leasen, betrachtet.

Die Ergebnisse zeigen, dass Nutzer von BEV bereit sind, Ladevorgänge zeitlich zu verlagern, so lange diese keine Einschränkung im Tagesablauf sowie zusätzlichen kognitiven Aufwand mit sich bringt. Automatisierte Ladestrategien wurden in dieser Stichprobe von allen als notwendig erachtet, da reine tarifliche Anreize geringe bis keine Verhaltensveränderung zeigten. Zentrales Motiv zur Lastverlagerung waren – im Gegensatz zu den Erfahrungen im HH-Sektor – nicht primär monetäre Einsparungen, sondern ökologische Aspekte durch die Nutzung von EE, um emissionsfrei fahren zu können. Ob ein Anreizsystem zur Lastverlagerung ganz ohne monetäre Vorteile wirksam wäre, ist allerdings fraglich, zumal die Nutzer mit Vorerfahrungen im Umgang mit DR im HH bereits auf

Elektrizitätstarife hin sensibilisiert waren. In der Gestaltung preislicher Anreize scheinen feste Vergütungen (in diesem Fall fixer Rabatt unabhängig von der Dauer der Standzeit sowie der Ladelaast oder Lademenge) einfacher nachvollziehbar und besser angenommen zu werden als nutzungs-, last- oder zeitabhängige Zonentarife. Kritisch hinterfragt wurden Auswirkungen auf die Batteriebensdauer, was vor dem Hintergrund der Diskussion um bidirektionale Ladestrategien (BEV als mobile Pufferspeicher) durchaus relevant ist. Der Infrastrukturausbau an Arbeitsplätzen (im halböffentlichen Raum) wurde von vielen gewünscht, um Lastverlagerung auch tagsüber zu ermöglichen.

Grenzen der Arbeit

Wie jede empirische und somit auch die bereits vorgestellten Studien unterliegt auch dies einigen Grenzen. Die Ergebnisse sind nicht repräsentativ, u. a. aufgrund der kleinen Stichprobe.

Der Aufbau des Feldversuchs bietet zwar das einmalige Umfeld um DR für BEV aus Nutzersicht zu evaluieren, stellt aber auch gleichzeitig eine Einschränkung dar. So könnten andere Fahrzeuge, eine andere Verteilung der Ladesäulen im Feld und ein anderes Anreizsystem (bspw. ein lastvariabler Ladetarif) auch andere Verhaltensmuster hervorrufen.

Aufgrund des relativ kleinen Feldversuchs konnte keine Validierung mit einer Kontrollgruppe durchgeführt werden. Zudem war der Feldversuch zeitlich zu kurz, um jahreszeitabhängige Einflüsse

abzubilden und Aussagen zu langfristigen Entwicklungen zu treffen.

So ist die Akzeptanz von DR in diesem Feldversuch u. a. aufgrund einer starken Umweltorientierung der Nutzer vorhanden, allerdings wäre dies durch eine breitere und zeitlich längere Untersuchung noch zu validieren, zumal es auch Untersuchungen mit konträrem Ergebnis gibt (vgl. Kapitel 4).

Ausblick

Weiterer Forschungsbedarf ergibt sich beim Lademanagement. So ist bei manueller und bei automatisierter Ladestrategie neben einem zeitversetzten Laden auch die Variation der Ladelast denkbar und sowohl techno-ökonomisch als auch verhaltenswissenschaftlich interessant, da die in dieser Studie geäußerten Bedenken zur Lebensdauer der Traktionsbatterien zumindest technisch gesehen bei bloßer Lastverlagerung und gleicher Ladeleistung unproblematisch sind (Jochem et al. 2011). Weitere Erprobungen im Rahmen von Feldversuchen sind erforderlich, um weitere Verhaltensdaten (insbesondere Ladedaten) aufzuzeichnen und eine stabile Datenanalyse zu ermöglichen. Dabei könnten auch mehrere Fahrzeugtypen mit anderen Batterieeigenschaften (v. a. in Bezug auf die Lebensdauer) zum Einsatz kommen. Die Berücksichtigung eines weiteren Personenkreises (bspw. Studierender) könnte die Erkenntnisse auf eine breitere Basis stellen.

Das Zusammenspiel von DR mit HH und Mobilität gilt es zudem genauer zu untersuchen. Elektrofahrzeuge werden sich vermutlich zunächst dort durchsetzen, wo sie auch am HH aufgeladen werden können – in der Regel Einfamilienhäuser mit einem durchschnittlich ohnehin höheren Elektrizitätsbedarf. Entsprechend hoch dürften gerade hier dann der Bedarf und das Potenzial von DR für ein effizienteres Energiesystem sein.

7.3 Zwischenfazit

Auf Basis der Erkenntnisse zur Verhaltensintention von potentiellen Nutzern bei DR (vgl. Kapitel 6) sind zwei Studien zum tatsächlichen Verhalten im (quasi-)realen Umfeld durchgeführt worden. Während bei der ersten Studie (Kapitel 7.2) DR im Laborumfeld, d. h. hoher Ausstattungsgrad an ST, kontrollierbares Umfeld, kleine Stichprobe, mit primärem Fokus auf Lastverlagerungen im HH, getestet wurde, handelte es sich bei der zweiten Studie (7.2.) um einen Feldversuch, d. h. geringerer Ausstattungsgrad an ST, im natürlichen Nutzerumfeld, etwas größere Stichprobe, mit primärem Fokus auf Lastverlagerungen von Ladevorgängen bei BEV.

Entgegen der zuvor getroffenen Annahme H04 waren in beiden Studien Lastverlagerungen trotz der vorhandenen Alltagsbarrieren zu beobachten, so dass bspw. die Alltagsroutinen die Motive zur Verhaltensanpassung nicht dominiert haben. Das heißt, die Verhaltensintentionen aus der Fokusgruppenstudie (vgl. Kapitel 6) haben

sich hier in reales Verhalten niedergeschlagen. Wider Erwarten fiel die Hälfte aller HH-Lasten zu den preisgünstigsten Zeiten an.

Dabei fanden Lastverlagerungen nicht bei allen Anwendungen statt, da zahlreiche Anwendungen im HH unmittelbare Bedürfnisse (bspw. nach Licht) stillen. Bei den planbaren und energieintensiven Anwendungen (Spülmaschine, Waschmaschine, Trockner, Ladevorgang) waren die Lastverlagerungen über alle Experimentierphasen hinweg stabil. Im Labor war dies sogar stabiler als im Feldversuch, obwohl das Laden des BEV als die am leichtesten verschiebbare Anwendung bewertet wurde. Das bestätigt die Annahme H05.

Der Grund dafür liegt darin, dass im Labor das Spektrum an Unterstützung durch ST größer ist, was die Annahme H06 bestätigt, dass ein gewisser Grad an Technisierung und Automatisierung das Lastverlagerungsverhalten positiv unterstützt.

Dasselbe gilt für die monetären Anreize, die im Labor sowohl absolut (wegen der Preisspreizung in den getesteten Tarifmodellen) als auch relativ (keine Anschaffungskosten im Vergleich zur Leasingrate im Feldtest) höher waren. Die Annahme H07, dass konstante Tarifmodelle höhere Akzeptanz finden und damit stärkere Verhaltenswirksamkeit haben, kann nicht bestätigt werden. Im Gegenteil wurde RTP aufgrund seines höheren Einsparpotenzials im Laborversuch als das attraktivste Tarifmodell bewertet. Die Chance besonders preisgünstige Zeitzonen zu nutzen wurde höher gewichtet

als das Risiko, in einer hochpreisigen Zeitzone Elektrizität nachzufragen. Im Gegensatz dazu wurde im Feldversuch für den Ladetarif eher ein statischer Elektrizitätstarif mit fest einplanbaren Rabatten favorisiert. Entsprechend ist bei der Frage nach favorisierten Tarifmodellen weitere Forschungsarbeit zu leisten.

Die Annahme H08, dass monetäre Vorteile der wichtigste Parameter für die Nutzer sind zur Akzeptanz von DR sind, lässt sich weder bestätigen noch widerlegen. So spielen Kostenvorteile sowohl im Labor- als auch im Feldversuch zwar eine aus Nutzersicht zwingende Rolle und es werden relativ hohe Einsparungen durch die Nutzer angegeben, aber der Beitrag zum Umweltschutz ist ein nicht zu vernachlässigender Treiber für DR. Für die Nutzer der BEV sind ökologische Vorteile gar das Hauptmotiv – zum einen weil sonst der wirklich ökologische Vorteil des BEV an sich verloren ging und zum anderen weil bei den hohen Anschaffungskosten des BEV die Einsparungen bei den Betriebskosten relativ marginal sind. Auch im Zusammenhang mit H06 ist ebenfalls die Nutzung innovativer Technologien als ein beobachtbares Motiv zu nennen.

Wie eingangs angenommen (H09) ist direktes Feedback in Echtzeit das wichtigste technische Element, um DR umsetzen zu können und dafür sowohl die Tarif- als auch die Lastinformationen zur Verfügung zu haben. Da die Nutzer, obwohl interessiert an Energie- und Umweltthemen, sehr wenig über ihre eigene Elektrizitätsnachfrage wussten, stellte im Laborversuch (ESHL) reines Feedback allein kurzfristig einen subjektiven Anreiz zum DR und stärker noch

zum ER dar, was aber objektiv weder im Labor noch im Feld beobachtet werden konnte. Möglicherweise könnte der Einsatz interaktiver und spielerischer Elemente zu höherer Verhaltenswirksamkeit führen (Knol & De Vries 2011; Rieber 1996). Ebenso könnten mehr Informationen über die ökologischen Vorteile von DR, insbesondere ausgedrückt über die Zonentarife sowie über die ST selbst, etwa auch Amortisationszeiten für die Anschaffungen, in die Feedbacksysteme integriert werden, um hierüber auch die Bedürfnisse über Preisinformationen hinaus zu stillen.

Nachdem die Akzeptanz von DR zunächst über die Verhaltensintention von potentiellen Nutzern (Kapitel 6) und dann über das Verhalten realer Nutzer (Kapitel 7.1 und 7.2) analysiert werden konnte, soll nun im Folgenden (Kapitel 8) das maximale Lastverlagerungspotenzial (durch rationales Verhalten maximal mögliche Lastverlagerung) ermittelt und der in Kapitel 7.1 ermittelten real getätigten Lastverlagerung gegenübergestellt werden.

8 Techno-ökonomische Lastverlagerungspotenziale

Zur Analyse der TF3, der Betrachtung von DR unter rationalem Verhalten, wird in dieser Studie eine modellgestützte Optimierung durchgeführt. Die Modellergebnisse werden danach mit den Laborergebnissen (vgl. Kapitel 7.1) verglichen.

Die Erkenntnisse aus den vorherigen Studien fließen in die Konzeption des Optimiermodells DS-Opt+ sowie in die Gestaltung der Inputparameter ein (vgl. Kapitel 5.2.3). So dienen bspw. Zonentarife als zentraler Anreiz zur Lastverlagerung in den modellierten HH. Da im Labor (vgl. Kapitel 7.1) kein ER beobachtet wurde, liegt der Fokus weiterhin auf DR und die Höhe der Elektrizitätsnachfrage im Gesamthaushalt bleibt unverändert. Zur Lastverlagerung werden die bereits zuvor identifizierten planbaren Anwendungen Spülmaschine, Waschmaschine, Trockner und die Ladevorgänge von EM optimiert.

Basierend auf der Literaturanalyse und der Modellkonzeption können mehrere Hypothesen aufgestellt werden:

H10: Durch die Verbreitung von EM steigt die Elektrizitätslast in den Abendstunden im modellierten Stadtviertel und damit der Bedarf an DR.

H11: Die Modell-HH reagieren auf den Anreiz eines zeitabhängigen Zonentarifs und es entstehen neue Lastspitzen im modellierten Stadtviertel.

H12: Da in den Modell-HH keine Energieeinsparungen möglich sind, ist DR vorrangig auf Ladelastverlagerungen zurückzuführen.

H13: Lasten werden bei rationalem Verhalten unter perfekter Voraussicht deutlich stärker verlagert als bei realem Alltagsverhalten.

Diese Studie ist in Teilen und mit anderen Szenarienberechnungen (bspw. Betrachtung anderer regionaler Gebiete, Berücksichtigung von PV-Eigenerzeugung, Entwicklung des technischen Stands in anderen Modelljahren, Variation der Zonentarife) auf Konferenzen in Warwick, Würzburg, Montréal und Stockholm vorgestellt und im Anschluss nach einem Single-blind-peer-review-Verfahren in englischer Sprache im Rahmen der Konferenz in Stockholm (Paetz et al. 2013) publiziert worden. Die Erstautorin hat den Hauptanteil sowohl bei der Durchführung der Forschungs- als auch bei der Publikationsarbeit geleistet. Die Kerninhalte werden in Kapitel 8.1 vorgestellt.

Das Kapitel endet in 8.2 mit einem Zwischenfazit.

8.1 Demand Response unter rationalem Verhalten

8.1.1 Methodische Vorgehensweise

Um TF 3 zu beantworten, werden in dieser Studie Theorie und Praxis beleuchtet, indem ein modellbasierter sowie ein experimenteller Ansatz (vgl. Kapitel 7.2) miteinander verglichen werden. Die modellbasierte Analyse erlaubt die Berechnung des technisch-möglichen und wirtschaftlich sinnvollen Lastverlagerungspotenzials, indem HH rationales Verhalten unterstellt wird (Homo oeconomicus). Im Anschluss kann dieses techno-ökonomische Lastverlagerungspotenzial mit echten Verhaltensdaten verglichen und die Akzeptanz von DR und ST bewertet werden.

Dazu kommt das in Kapitel 5.2.3 beschriebene Optimiermodell DS-Opt Plus zum Einsatz. Anhand einer Szenarioanalyse werden Möglichkeiten betrachtet, wie sich DR auswirken könnte. Szenarien stellen keine prognostizierbare Zukunft dar, sondern eine von mehreren möglichen Entwicklungen (Gausemeier 1996).

Beschreibung des modellierten Stadtviertels

Da die Struktur von HH einen Einfluss auf das Mobilitätsverhalten hat (bspw. steigt die Wahrscheinlichkeit einen Pkw zu besitzen mit steigendem Haushaltseinkommen), soll kurz das modellierte Stadtviertel beschrieben werden (van Acker & Witlox 2010). Datengrundlage bildet wie in Kapitel 5.2.3 beschrieben das MOP (2010).

Fast 85 % der Modell-HH sind Mehrpersonenhaushalte und 80 % verfügen über ein HH-Nettoeinkommen über 2.500 EUR. Über 90 % der Modell-HH verfügen über mindestens ein Fahrzeug (vgl. Abb. 17). Mit 60 % stellt der Fahrzeugtyp „mittel“ (75 bis 150PS) das meist verfügbare Fahrzeug dar, welches mit 67 % auch den höchsten Anteil an zurückgelegten Entfernungen hat. Fast alle Modell-HH besitzen einen oder mehrere Stellplätze, so dass im Modell angenommen wird, dass an den Stellplätzen eine Lademöglichkeit eingerichtet werden kann.

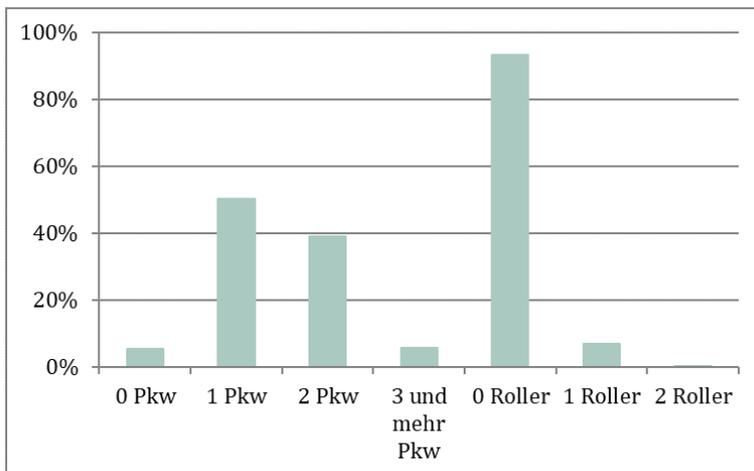


Abb. 17: Fahrzeugbesitz im Modellgebiet

Folgende Tabelle gibt die wichtigsten Kenngrößen zur durchschnittlichen Mobilität im Modellgebiet wieder. Es zeigt sich, dass grundsätzlich der Mobilitätsbedarf mit BEV abgedeckt werden könnte. Weniger als 5 % der Wege sind länger als 100 km.

Kenngröße für durchschn. HH im Modellgebiet	Modellgebiet
Mobilitätsbedarf pro Tag (gesamt)	86,0 km
davon mit Pkw	49,1 km
davon mit Moped	0,9 km
Länge pro Fahrt (Pkw)	13,8 km
Anzahl Fahrten pro Tag (Pkw)	3,57
Länge pro Fahrt (Moped)	12,1 km
Anzahl Fahrten pro Tag (Moped)	0,08

Tab. 06: Mobilitätskenngrößen im Modellgebiet

Szenarienbildung

In der vorliegenden Studie werden Szenarien für das Jahr 2020 errechnet (vgl. Tab. 02). Bezüglich der BEV wird sowohl eine technisch-machbare Marktpenetration als auch eine wirtschaftlich-sinnvolle für die HH anhand der in Kapitel 5.2.3 beschriebenen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung errechnet (vgl. Abb. 07).

Da die Modell-HH reaktiv für Änderungen bei den Elektrizitätspreisen sind, wird sowohl ein Standardtarif als auch ein zeitabhängiger Zonentarif mit drei Preisstufen abgebildet. Zur besseren Vergleichbarkeit und auch zur Visualisierung der Verhaltenseffekte wird eine hohe Preisspreizung mit drei Preiszonen hinterlegt. Der Verlauf der Preise orientierte sich am Spotmarkt (vgl. Kapitel 5.2.3) und ist in dieser Form auch im Laborversuch (vgl. Kapitel 7.2) eingesetzt worden. Obwohl bisher diese Preisspreizungen noch nicht im Privatkundensegment zu sehen sind, werden sie untersucht, um DR unter zukünftigen Bedingungen zu überprüfen. Es sind zwei Typwochen vorgesehen, eine im Sommer und eine im Winter.

Modell-Szenarien	Parameter			
	Zonentarif [ct/kWh]	BEV-Marktdurchdringung	Jahreszeit / Typwoche	Modelljahr
Szenario 1	Standard (22)	technisch	Sommer	2020
		wirtschaftlich		
Szenario 2	RTP (7 22 37)	technisch	Winter	2020
		wirtschaftlich		

Tab. 07: Auswahl modellierter Szenarien

8.1.2 Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Modellierung und kurz zusammenfassend die des Laborversuchs (ESHL) aus dem vorhergehenden Kapitel dargestellt, bevor sie miteinander verglichen werden.

Ergebnisse der Modellierung

Im ersten Szenario (1a) wird ein Standardtarif unterstellt – die HH haben daher keinen Anreiz zur Verlagerung, sondern verwenden die intelligenten HHG wie üblich und laden die BEV, sofort nachdem sie daheim angekommen sind. Es wird ebenso eine hohe Durchdringungsrate von BEV unter Ausnutzung des technisch-machbaren Potenzials unterstellt – dies führt zu einer Substitution von 44 % der Fahrzeuge im modellierten Stadtviertel. In diesem Szenario wird eine Zunahme der Spitzenlasten von bis zu 231 % beobachtet, hauptsächlich ausgelöst durch die Ladevorgänge der BEV. Dies führt insgesamt zu einer Steigerung der Lastspreizung (vgl.

Abb. 18). Der Effekt bewahrheitet sich besonders in den Abendstunden. Unterstellt man eine geringere Durchdringungsrate von BEV, indem nur das wirtschaftlich-sinnvolle Potenzial mit einer Substitutionsquote i. H. v. 11 % (Szenario 1b) zugrunde gelegt wird, wird ebenfalls eine Erhöhung der Spitzenlasten beobachtet – jedoch nicht im gleichen Ausmaß (vgl. Abb. 19). Die maximale Lastspitze liegt je nach Durchdringungsquote der BEV bei 330 kW bzw. 660 kW. Eine erste Schlussfolgerung ist also, dass mit einem höheren Anteil BEV der Bedarf nach DR steigt.

BEV erzeugen sowohl eine höhere Last als auch eine höhere Elektrizitätsnachfrage als jedes einzelne andere steuerbare HHG (Waschmaschine, Trockner, Spülmaschine). Da aber die HHG in deutschen HH weit verbreitet (bspw. 98 % Durchdringung von Waschmaschinen) sind, könnte das Verlagerungspotenzial aller HHG zusammen interessant sein. Schließlich entspricht ihre Elektrizitätsnachfrage (~ 3,700 kWh/Woche) der der BEV im marktba- sierten Szenario.

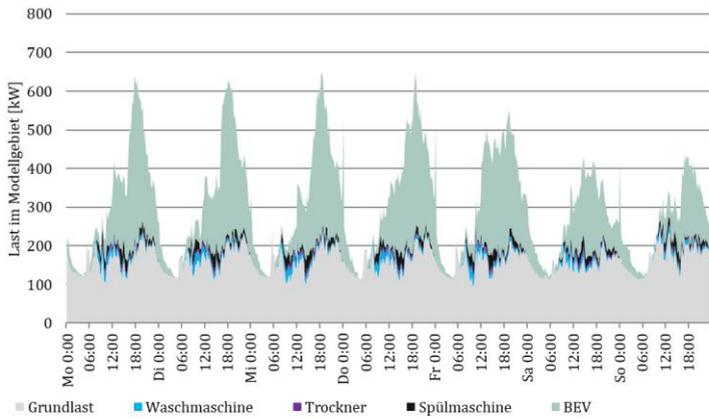


Abb. 18: Last im Modellgebiet, Szenario 1a (ungesteuerte Nachfrage)

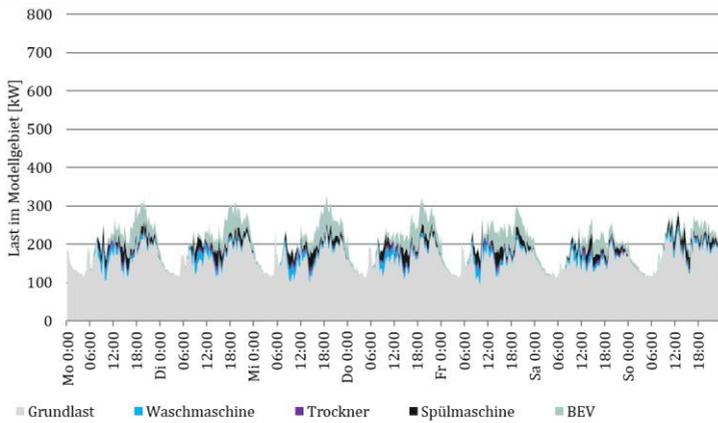


Abb. 19: Last im Modellgebiet, Szenario 1b (ungesteuerte Nachfrage)

Im zweiten Szenario (2a) wird eine Typwoche im Winter betrachtet, da hier grundsätzlich höhere Elektrizitätsbedarfe in den HH vorhanden sind. Der zeitabhängige Zonentarif wird eingeführt.

Abb. 20 zeigt, dass der Preisanreiz zu deutlichen Lastverlagerungseffekten führt. Die HH fragen über 55 % der Elektrizität zu Niedrigpreiszonen an. Dieses Zonentarifmodell führt zu neuen und höheren Lastspitzen (885 kW) sowie zu einer deutlich höheren Lastspreizung (vgl. Tab. 08). Dieser Effekt weist darauf hin, dass manche Anwendungen ausreichend flexibel sind, um auf einen Preisanreiz zu reagieren, ohne dabei Einbußen in der Häufigkeit der Nutzung der Anwendungen zu haben.

Niedrigpreiszonen werden, auch im Szenario 2b mit geringerer BEV-Durchdringung, insbesondere zum „Vorladen“ der BEV genutzt, um längere Hochpreiszonen zu überwinden (vgl. Abb. 21).

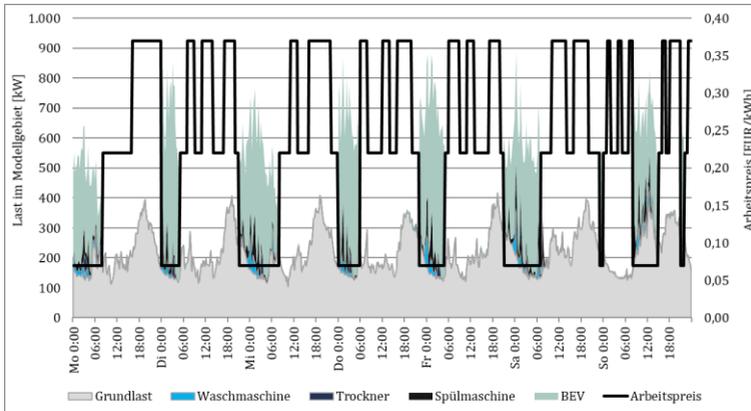


Abb. 20: Last im Modellgebiet, Szenario 2a (gesteuerte Nachfrage)

Die langen Standzeiten der Fahrzeuge sind die Basis für die beobachtbaren Ladelastverlagerungen. Fast alle Ladevorgänge der BEV finden zu Niedrigpreiszonen statt, im Vergleich zu 15 % ohne Preisanreiz in den ungesteuerten Szenarien. Das führt zu einer

durchschnittlichen Verringerung der Ladekosten i. H. v. 77 %. Insgesamt spart der durchschnittliche Modell-HH in dieser Typwoche ungefähr 6 EUR Ladekosten.

Die Effekte für die steuerbaren HHG sind ähnlich. Die Spülmaschine wurde in 97 % der Fälle zu Niedrigpreiszeiten genutzt, die Waschmaschine in 95 % und der Trockner gar zu 100 %. Verglichen mit der ungesteuerten Nutzung der HHG, sind die Ersparnisse relativ gesehen ähnlich zu den EM – wenngleich die absoluten Zahlen deutlich abweichen. Der durchschnittliche Modell-HH zahlt 0,58 EUR statt 1,75 EUR pro Woche für die Nutzung der drei HHG. Ob die Gesamtersparnis die Investition in intelligente HHG rechtfertigen kann, muss auf die gleiche Weise diskutiert werden, wie im Falle der EM in Verbindung mit intelligenten Ladestationen.

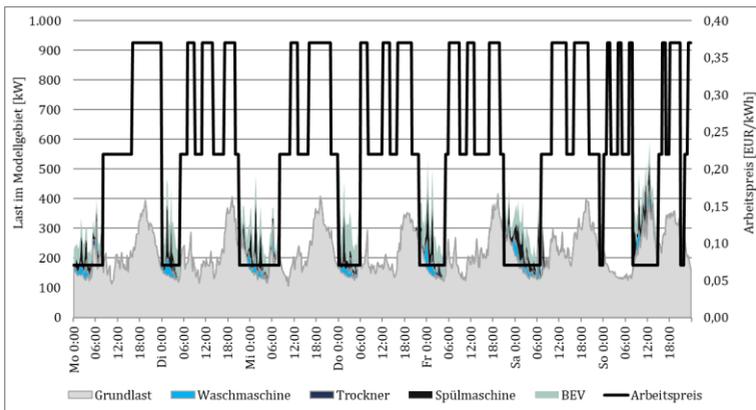


Abb. 21: Last im Modellgebiet, Szenario 2b (gesteuerte Nachfrage)

Die modellbasierte Analyse zeigt, dass es ein hohes Lastverlagerungspotenzial für das Laden von EM sowie für die Nutzung steuerbarer HHG gibt. Zonentarife können als Anreiz dieses Potenzial bei rational-handelnden HH nutzen. Es ist jedoch wichtig, die Auswirkungen auf das Gesamtlastniveau zu prognostizieren, da sich neue Lastspitzen ergeben könnten, was unter bestimmten Umständen (bspw. sehr windigem Wetter) ein wünschenswerter Effekt sein kann. Wenn die HH in ihrer Elektrizitätsnachfrage flexibel genug sind, kann Lastverlagerung zu geringeren durchschnittlichen Elektrizitätsbezugskosten führen, ohne dass Elektrizität eingespart wird (vgl. Tab. 08).

Szenario	Parameter		
	Maximallast [kW]	Last-spreizung (Max / Min)	durchschn. AP [ct / kWh]
1 a	816	7.3	22
1b	499	4.5	22
2a	885	8.2	17.2
2b	591	5.7	21.1

Tab. 08: Auswirkungen auf Last und Bezugskosten

Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem Laborversuch

Während die modellbasierten Ergebnisse im vorhergehenden Abschnitt das techno-ökonomische Potenzial von DR zeigen, zeigen die Laborversuche, ob und wie dieses Potenzial durch reale Nutzer ausgeschöpft werden könnten. Aus der in Kapitel 7.2 detailliert beschriebene Studie werden im Folgenden die zentralen Ergebnisse zusammengefasst.

Über 13 Versuchswochen mit insgesamt sechs Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer unterteilt in drei Testwohnphasen fand die Elektrizitätsnachfrage zwischen 30 % und 51 % zu Niedrigpreisen statt. Da unterschiedliche Zonentarifmodelle (u. a. lastabhängige Tarife) untersucht wurden, kann man eine bessere Lastverlagerung mit einer höheren Akzeptanz des Tarifmodells durch die Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer deuten. Man muss jedoch berücksichtigen, dass sich Echtnutzerverhalten kaum wiederholt, was bedeutet dass Nachfrageschwankungen von bis zu 17 % sogar innerhalb derselben Testwohnphase beobachtbar waren. Obwohl die experimentellen Testwohnphasen nicht vollständig miteinander vergleichbar sind, da sie zu unterschiedlichen Jahreszeiten mit unterschiedlichen Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern durchgeführt wurden, lassen sich dennoch einige Tendenzen feststellen und Schlussfolgerungen ziehen:

- Eine gewisse Gewöhnungs- und Anpassungszeit lässt sich feststellen, in der das technische Umfeld (intelligente HHG), die neuen Informationen (Feedback) sowie die Anreize (Tarifmodell) verstanden, erlernt und im Tagesablauf berücksichtigt werden.
- Eine höhere Anzahl an Preiszonen bietet mehr Möglichkeiten, die Nachfrage zu verlagern, birgt aber das Risiko, öfter in Hochpreiszeiten zu gelangen.
- Der konkrete Wert des Elektrizitätspreises wird, vermutlich aufgrund des Versuchssettings mit einem Bonus-Malus-System, weniger berücksichtigt als die allgemeine Zone –

im Falle eines zeitabhängigen Zonentarifs: niedrig, mittel, hoch.

- Das zeitliche Schema des Zonenverlaufs beeinflusst die Fähigkeit zur Lastverlagerung. Wenn die Niedrig- oder Mittelpreiszonen auf Tagesrandzeiten fallen, werden sie als zu früh oder zu spät wahrgenommen, um sich danach zu richten, wenn keine automatisierte Gerätesteuerung vorhanden ist.

Die Anwendungen, die in den Laborversuchen vorrangig verlagert wurden, waren Spülmaschine, Waschmaschine, Trockner und die Ladevorgänge der Elektroroller (vgl. Abb. 22). Alle anderen Geräte wurden nicht verlagert, da ihre Funktionen wie Licht, Kochen und Fernsehunterhaltung unmittelbar genutzt wurden. Als Beispiel gaben die Studienteilnehmenden an, dass sie in der Lage wären, die Benutzung der Spülmaschine um zwölf Stunden ohne Einschränkungen zu verlagern, aber nicht die Nutzung der Kaffeemaschine. Als Wunsch wurde geäußert, die Kühlperioden der Kühlgeräte zu steuern, um Kostenersparnisse ganz ohne Nutzerinteraktion zu ermöglichen.

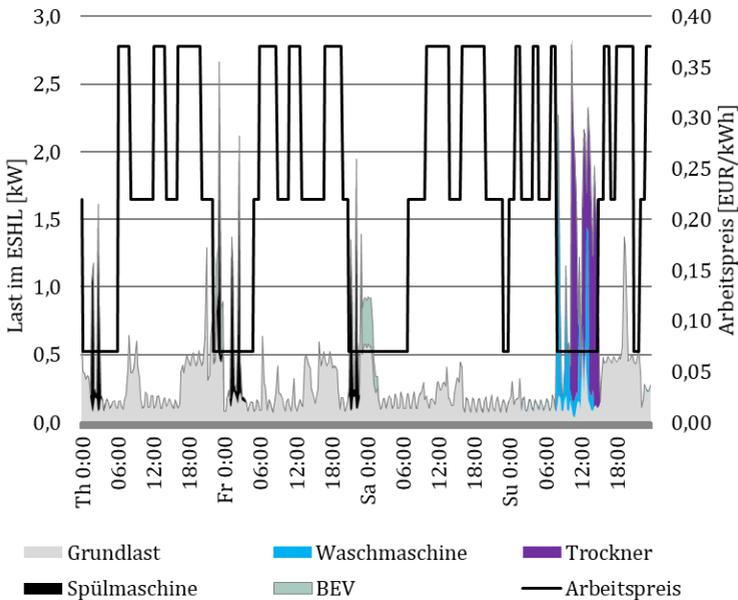


Abb. 22: Gesteuerte Last des ESHL, ausgewählte Winterwoche

Ein wichtiges Motiv für die Lastverlagerung waren Kostenersparnisse bzw. im Fall des Laborversuchs die Möglichkeit Bonuspunkte durch Lastverlagerungen zu erzielen. Die Ersparniserwartung der Studienteilnehmenden war relativ hoch (50 bis 150 EUR / Jahr) verglichen mit den projizierten Ersparnissen aus den Testwohnphasen (20 bis 60 EUR / Jahr). Umweltvorteile waren ein weiteres wichtiges Motiv für Lastverlagerungen in den Laborversuchen. Die Vorstellung EE nutzen zu können, wenn die relevanten Anwendungen in Niedrigpreiszonen genutzt wurden, war für die Studienteil-

nehmenden besonders ansprechend. Ein Teil der Motivation Lastverlagerung zu realisieren, lag auch im innovativen Umfeld des ESHL begründet.

Für ihre eigenen HH wären die Kostenersparnisse das vorrangige Motiv für DR – insbesondere zusammen mit intelligenten HHG die einen höheren Komfort bei der Verhaltensanpassung ermöglichen würden. Jedoch seien gegenwärtig die notwendigen Investitionen in solche HHG zu hoch.

Vergleich der Ergebnisse beider Analysen

Um beide Analysen besser miteinander vergleichen zu können, wird ein Modell-HH aus dem modellierten Stadtviertel ausgewählt, welcher eine ähnliche Geräteausstattung und Nachfragestruktur aufweist, wie die gewählte Testwohnphase aus dem letzten Laborversuch. Für beide HH wird eine Typwoche im Winter analysiert. Abb. 23 zeigt, dass der Modell-HH mit seiner Elektrizitätsnachfrage ähnlich reaktiv ist, wie die Testbewohner im ESHL (Abb. 22). Dieselben Niedrigpreiszonen werden im Verlauf der Woche zur Lastverlagerung genutzt. Zur Besserung der Darstellung wird eine verkürzte Woche abgebildet.

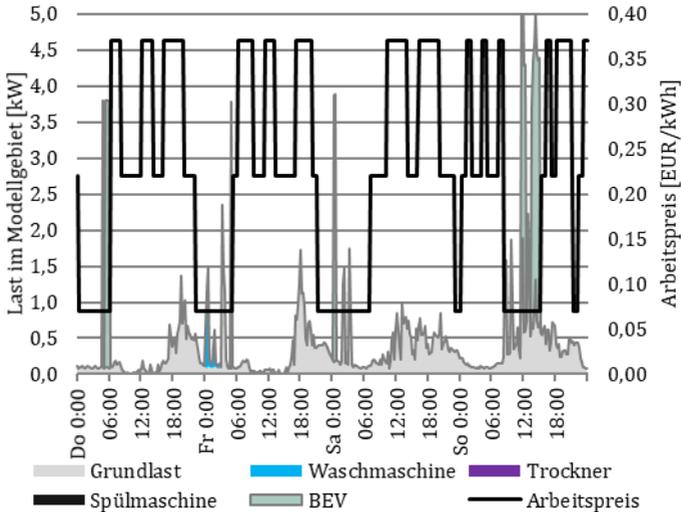


Abb. 23: Gesteuerte Last eines Modell-HH, Typwoche Winter

Tabellen 09 und 10 zeigen, dass ein überraschend hoher Teil des Lastverlagerungspotenzials aus dem Modell im ESHL durch die Studienteilnehmenden ausgeschöpft werden kann. Während das rationale und preissensible Verhalten im Modell-HH zu einer Elektrizitätsnachfrage von insgesamt 60 % in Niedrigpreiszonen führt – verschieben die Testbewohner 51 % ihrer Elektrizitätsnachfrage in Niedrigpreiszonen. Der Effekt ist noch ersichtlicher, wenn man die einzelnen Anwendungen und HHG betrachtet. Während der Modell-HH die Spülmaschine in 100 % der Fälle zu Zonen verwendet, in denen der Preis bei 7 Ct / kWh liegt, sind die Testbewohner in der Lage, die Spülmaschine zu 96 % in dieser Preiszone zu nutzen. Keine Unterschiede zwischen dem optimalen Modellverhalten und

dem realen Laborverhalten bei den Ladevorgängen der EM – in beiden Fällen geschieht dies vollständig in Niedrigpreiszeiten.

DS-Opt+	Elektrizitätsnachfrage				
	Gesamt	BEV (Pkw)	Waschmaschine	Trockner	Spülmaschine
7 Ct / kWh	60 %	100 %	99 %	100 %	100 %
22 Ct / kWh	13 %	0 %	1 %	0 %	0 %
37 Ct / kWh	27 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Elektrizität [kWh]	78,8	21,6	3,6	3,6	7,8

Tab. 09: Elektrizitätsnachfrage eines Modell-HH, Typwoche Winter

ESHL	Elektrizitätsnachfrage				
	Gesamt	BEV (Roller)	Waschmaschine	Trockner	Spülmaschine
7 Ct / kWh	51 %	100 %	99 %	96 %	96 %
22 Ct / kWh	21 %	0 %	1 %	4 %	2 %
37 Ct / kWh	28 %	0 %	0 %	0 %	2 %
Elektrizität [kWh]	72,7	1,4	5,6	11,0	8,6

Tab. 10: Elektrizitätsnachfrage ESHL, ausgewählte Winterwoche

Es darf nicht außer Acht gelassen werden, dass das ESHL mit Elektrorollern (mit einem geringeren Elektrizitätsbedarf) anstatt mit BEV wie der Modell-HH ausgestattet ist. Das ist auch beim Vergleich der Kostenersparnisse relevant. Die Testbewohnerinnen und -bewohner sparten fiktiv 17 % Elektrizitätsbezugskosten (bzw. wurden dafür mit Bonuspunkten entlohnt) während rationales Lastverlagerungsverhalten im Modell-HH zu Ersparnissen i. H. v. 32 % pro Woche führte.

Die Motivation der Testbewohnerinnen und -bewohner für DR führte zu einer hohen Ausschöpfung des techno-ökonomischen Lastverlagerungspotenzials und ist nah am rationalen Verhalten. Das ist im Hinblick auf mögliche Hürden für DR, wie etwa die in den vorhergehenden Studien identifizierten Alltagsbarrieren (vgl. Kapitel 6 und 7), überraschend. Gleichzeitig verdeutlichen die Ergebnisse, dass das Zusammenspiel von tariflichem Anreiz und technischem Umfeld die Elektrizitätsnachfrage und damit die HH-Last flexibilisieren kann.

8.1.3 Diskussion und Schlussfolgerung

Zusammenfassung

Es wurde eine interdisziplinäre Studie zur Analyse von techno-ökonomischen Lastverlagerungspotenzialen in HH der Zukunft durchgeführt und mit Laborversuchen zum realen Lastverhalten verglichen. Anhand des Optimierungsmodells DS-Opt Plus wurde zunächst das techno-ökonomische Lastverlagerungspotenzial unter der Annahme rationaler Entscheidungen in einem modellierten Stadtviertel analysiert. Die Ergebnisse wurden dann mit Laborversuchen im ESHL verglichen, um zu eruieren, ob und wie techno-ökonomische Lastverlagerungspotenziale mit realem Verhalten ausgeschöpft werden können.

Die Modellergebnisse zeigen, dass der Bedarf von DR mit steigender Durchdringung von EM steigt. Zugleich stellen EM eine flexible Last dar, die sich für DR eignet. Sowohl bei rationalem als auch bei

realem Verhalten konnten die Ladevorgänge der EM soweit flexibilisiert werden, dass sie bei entsprechendem Anreiz zeitlich zu 100 % zu Niedrigpreiszonen geladen wurden ohne Einbußen in der Mobilität.

Zonentarife zeigen sich als effektiv bei der Aktivierung dieses Potenzials und führen zu niedrigeren durchschnittlichen Elektrizitätsbezugskosten für die Modell-HH als auch für das ESHL. Dieser Effekt lässt sich nicht nur auf die Ladelastverlagerung zurückführen – DR wirkt auch bei der Nutzung der steuerbaren HHG (Spülmaschine, Waschmaschine, Trockner). Dank ihrer hohen Verbreitung sind diese HHG trotz ihres zur Elektromobilität vergleichsweise geringen Elektrizitätsbedarfs für DR in der Fläche geeignet.

HH könnten im Durchschnitt etwa 77 % an Elektrizitätsbezugskosten für die Nutzung der steuerbaren HHG und des EM sparen. Eine grobe Projektion zeigt, dass dies etwa 370 EUR / Jahr bedeutet, was sowohl über den Erwartungen (150 EUR / Jahr) als auch fiktiv erzielten Einsparungen (60 EUR / Jahr) der Studienteilnehmenden des Laborversuchs liegt. Dafür gibt es zwei Gründe: Erstens besitzen die Modell-HH meist einen BEV mit höherem Elektrizitätsbedarf. Nur vier besitzen ein elektrisches Zweirad, wie auch die Testbewohnerinnen und -bewohner im ESHL. Zweitens ist das Lastverlagerungsverhalten der Modell-HH über die Zeit stabil, was sich für das reale Verhalten im ESHL nicht prognostizieren lässt – zumindest so lange nicht eine vollautomatisierte Unterstützung vorhan-

den ist. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass die Nachfrageautomatisierung zusammen mit intelligenten HHG eine stabilere Lastverlagerung im Zeitverlauf ermöglichen kann.

Ausblick

Für die weitere Forschung ist es entsprechend wichtig, die Lastverlagerungspotenziale im Zeitverlauf durch die Analyse von Langzeitstudien, idealerweise im Feld, zu bewerten. Es wird dann interessant sein zu berechnen, ob die realisierten Kosteneinsparungen die notwendigen Investitionen in ST tragen. Die Integration weiterer HHG eines HH der Zukunft (bspw. stationäre Batteriesysteme) könnte diese Kosten-Nutzen-Rechnung positiv beeinflussen (Kaschub 2017). Eine im Jahr 2013 durchgeführte Conjoint-Analyse zur Untersuchung der Präferenzen potenzieller Nutzer für ST und ihre Zahlungsbereitschaften war ein erster Schritt.

Kosteneinsparungen sind durch variierende Preise möglich. In der Analyse der genauen Anreizwirkung unterschiedlicher Elektrizitätstarife auf die Akzeptanz, sowohl hinsichtlich Auswahlpräferenz als auch Verhaltenswirksamkeit, und damit auf die HH-Last bedarf weiterer Untersuchungen. Herdenverhalten könnte weitere Preiskomponenten erforderlich machen wie Lastgrenzen oder Leistungspreise, die in der Industrie weit verbreitet sind und in der vorliegenden Studie von den Nutzern nicht favorisiert wurden. Auch sind mögliche Tarifvariationen für die Anwendungen im HH und für das EM denkbar. Weder im Modell noch im Labor oder Feld wurden Energieeinspareffekte beobachtet, allerdings wäre näher

zu untersuchen, ob in einem tariflichen Anreizsystem neben DR auch ER erzielt werden könnte.

Neben Einsparpotenzialen bei den Elektrizitätsbezugskosten sind für die Akzeptanz von DR auch ökologische Vorteile relevant. Diese Vorteile, bspw. in Feedback-Systemen, nutzerfreundlich aufzubereiten und ihre Wirksamkeit zu untersuchen, ist ein notwendiger Schritt für die Zukunft.

Eine ähnlich gelagerte Herausforderung für die Informationsaufbereitung und -bereitstellung ist es, die Motivationselemente der ST in den Vordergrund zu stellen ohne mit der technischen Komplexität die Nutzer zu überfordern.

Mit zunehmenden Erfahrungswerten aus Labor- und Feldversuchen sowie auch aus realen Markteinführungen können einige im vorliegenden Optimiermodell exogen vorgegebenen Daten endogen im Modell ermittelt und das Nachfrageverhalten der HH gar durch Simulation erfolgen, was einen neuen Modellaufbau erfordern könnte.

Grenzen der Studie

Wie jede wissenschaftliche Arbeit unterliegt auch diese Studie gewissen Grenzen, die im Folgenden insbesondere für das eingesetzte Modell, skizziert werden. Das Modell zielt darauf ab, durch die Minimierung der Elektrizitätsbezugskosten eine optimale Nutzungsstrategie für HHG und eine optimale Ladestrategie für die EM zu

erzielen. In der Realität kann man sich einem optimalen System nur annähern, wie auch hier in dieser Studie gezeigt wurde.

Zahlreiche Daten werden dem Modell exogen vorgegeben. Die HH-Lastgänge und die Mobilitätsdaten sind von großer Bedeutung und selbst kritisch auf ihre eigene Erhebungsmethodik hin zu beleuchten, wenngleich das MOP neben MiD zur anerkanntesten Mobilitätsstudie im deutschen Raum zählt. Die Daten decken, den Verlauf einer Woche ab und vernachlässigen somit die Varianz über mehrere Wochen hinweg. So werden bspw. Urlaubsabwesenheiten nicht abgedeckt.

Dies ist wiederum bei den HH-Lastgängen durchaus der Fall, allerdings ist die Anzahl der Lastgänge beschränkt – wenngleich deutlich mehr Lastgänge ins Modell eingehen als bei ähnlich gelagerten Modellierungen, die im Zuge der Literaturanalyse (vgl. Kapitel 4) untersucht wurden. Beide Datensätze (HH-Lastgänge und Mobilitätsdaten) sind unabhängig voneinander entstanden und haben andere zeitliche Auflösungen. Da bei den Lastgangsmessungen einige Metadaten fehlen, konnten die Datensätze nicht direkt, bspw. aufgrund der Angabe von HH-Größe, miteinander verknüpft werden.

Die im Modell hinterlegten Elektrizitätstarife sind zum Zeitpunkt der Studiendurchführung konzipiert und auf Basis damaliger durchschnittlicher AP im Privatkundensektor berechnet worden. Die Entwicklung der Privatkundenpreise hat sich in den letzten Jahren u. a. aufgrund neuer Beschaffungs- und Vertriebsstrukturen

dynamisch entwickelt. Die Aussagen zur Wirksamkeit der Zonentarife sind verallgemeinerbar, konkrete Preisaussagen, wie monetäre Einsparungen aber relativ zum damals gültigen Preisniveau zu sehen. Neben den Elektrizitätspreisen spielt aber auch die Entwicklung der Kraftstoffpreise für die Wirtschaftlichkeitsberechnung bei der Marktverbreitung von EM eine Rolle.

Analoges gilt zu den Preis- und Leistungsentwicklungen der ST, insbesondere der EM – vor allem der BEV und ihrer Traktionsbatterien. Dies ist für die Berechnungen der Marktpenetration, deren Ergebnisse ebenfalls exogen ins Optimiermodell eingehen, wichtig. Einige Annahmen sind für diese Berechnung vereinfacht getroffen worden.

8.2 Zwischenfazit

Die hier durchgeführten Szenario-Analysen mit dem Optimiermodell DS-Opt Plus zeigen, dass durch die Verbreitung von EM die Elektrizitätslast im modellierten Stadtviertel um über 200 % steigt und die Lastspreizung dadurch deutlich zunimmt. Sie steigt sogar deutlich mit der Einführung eines zeitabhängigen Zonentarifs, da die Modell-HH reaktiv auf Preisänderungen sind. Die Hypothesen H10 und H11 können daher bestätigt werden.

Die Lastverlagerungen erfolgen zu preisgünstigen Zeitzonen, sowohl durch Verschiebung der Ladevorgänge der EM als auch durch die Nutzung der steuerbaren HHG (Spülmaschine, Waschmaschine,

Trockner) – ohne dass es zu Einbußen in der Mobilität wie in der Häufigkeit der Nutzung der HHG kommt. Aufgrund des hohen Elektrizitätsbedarfs schlagen die Ladelastverlagerungen zwar stärker aus, allerdings ist die verschobene Elektrizitätsmenge der drei HHG aufgrund ihrer hohen Marktverbreitung in etwa genauso hoch wie die der EM bei einer geringeren, d. h. wirtschaftlichen Marktverbreitung. Das unterstreicht das Potenzial von DR zur Flexibilisierung der Elektrizitätsnachfrage zur Erreichung verschiedener Lastziele (bspw. Lastglättung, Lastspreizung) für bereits vorhandene HHG. Bezieht man weitere HH-Anwendungen, insbesondere die ohne Nutzerinteraktion, bspw. Tiefkühltruhe oder Wärmepumpe, in die Betrachtung mit ein, dürften die Potenziale noch höher liegen. Damit ist Hypothese H12 nicht vollständig bestätigt.

Der Vergleich der Modellergebnisse mit denen aus dem Laborversuch zeigt, dass das techno-ökonomische Lastverlagerungspotenzial unter bestimmten Rahmenbedingungen, wie sie im ESHL vorhanden sind (u. a. Design und Einsatz von ST), im Alltag fast vollständig ausgeschöpft werden kann. Eine solche Lastflexibilität war trotz der einschränkenden Studienbedingungen (u. a. hinsichtlich Auswahl der Studienteilnehmenden, monetäre Umsetzung des Anreizsystems, unbekannte Technologien) nicht vermutet worden. Die Hypothese H13 konnte nicht bestätigt werden.

Diese Erkenntnisse unterstreichen die Bedeutung, die DR als ein Baustein bei der Umsetzung der Energiewende spielen kann, und

motivieren zu weiterer Forschung. Einen Blick darauf nimmt abschließend Kapitel 9.

9 Ergebnisdiskussion und Ausblick

In den vorangegangenen Kapiteln ist nach jeder Studie eine Zusammenfassung sowie ein Zwischenfazit gezogen worden. Es erfolgen darauf aufbauend eine kurze Gesamtbetrachtung mit einer kritischen Analyse und ein abschließender Ausblick.

Zusammenfassung und Diskussion

Die vorliegende Arbeit leistet einen Beitrag zur Akzeptanzanalyse von DR in HH der Zukunft und unterstreicht die Wichtigkeit, diese sozialwissenschaftlichen Erkenntnisse in der Analyse dezentraler Energiesysteme zu berücksichtigen. Die Analyse fokussiert dabei insbesondere auf das (potenzielle) Nachfrageverhalten von privaten HH inklusive Elektromobilität. Mit einem interdisziplinären Ansatz werden die verhaltensbasierten und die techno-ökonomischen Potenziale für DR miteinander verglichen und um qualitative Daten angereichert, um folgende drei Teilfragen zu beantworten:

TF 1: Wie akzeptieren potenzielle Nutzer DR, d. h. welche Verhaltensabsicht liegt vor?

TF 2: Wie wird DR von tatsächlichen Nutzern akzeptiert, d. h. welches Verhalten (deskriptive Entscheidung) ist unter (quasi-)realen Bedingungen im Labor und im Feld zu beobachten (verhaltensbasierte Lastverlagerungspotenziale)?

TF 3: Wie akzeptieren rationale Nutzer DR, d. h. welches Verhalten (normative Entscheidung) ist unter Sicherheit im Modell kostenoptimal (techno-ökonomischen Lastverlagerungspotenziale)?

Die Akzeptanz potenzieller Nutzer (TF 1) ist geprägt von monetären und ökologischen Vorteilen, aber auch von Hemmnissen, die durch befürchtete Einbußen in Alltagsroutinen und durch Sorgen hinsichtlich der Datensicherheit im Kontext der eingesetzten ST begründet sind. Für die Vermittlung der Vorteile ist eine Reihe an Informationen verbunden mit einigen ST erforderlich. Allen voran sind die dynamischen Elektrizitätstarife, die einen Anreiz zur Verlagerung von Lasten bieten und zeitgleich aber auch im HH nutzbar und i. d. R. planbar sein können. Technische Unterstützung im Umgang mit DR wünschen sich die potenziellen Nutzer der Studie durchaus, auch wenn gleichzeitig dieser Wunsch mit einer zügigen Amortisation der möglicherweise notwendigen Investition verbunden wird. Mit einem Indifferenzwert von 80 EUR pro Jahr ist auch eine Orientierung für den monetären Anreiz vorhanden, der nötig ist, um die Barrieren durch eingeschlungene Alltagsroutinen zu überwinden.

Mit diesen Erkenntnissen wurde bei der Akzeptanzanalyse realer Nutzer (TF 2) ein Fokus auf den Einsatz dynamischer Tarifmodelle sowohl im Labor (quasi-reale Wohnsituation im ESHL) als auch im Feld (Testfeld Elektromobilität) gelegt. Die genannten Motive der

potenziellen Nutzer für DR können mit realen Nutzern im HH bestätigt werden. So sind Lastverlagerungen bei allen im Labor getesteten Tarifmodellen beobachtbar, mit starker Präferenz der Nutzer für RTP im Vergleich zu Einheits- oder lastvariablen Tarifen (oder einer Kombination dieser Tarifelemente). Am stärksten konnte der Elektrizitätsbedarf in preisgünstige Zeitzonen mit technischer Unterstützung (einem Energie-Management-System, EMS, welches einige HHG integriert) verschoben werden.

Ökologische Vorteile spielen sowohl im HH als auch noch viel stärker für die Ladelastverlagerung bei der Elektromobilität eine Rolle. Vermutlich, weil bereits eine relative hohe Investition in das EM erfolgt und die Motivation dafür auch ökologisch begründet ist, spielen monetäre Anreize eine untergeordnete Rolle. Auch wird die Einschränkung womöglich das EM nicht nutzen zu können, da es aufgrund hoher Ladepreise nicht aufgeladen ist, deutlich höher empfunden als bei der Nutzung von HHG. So sind die wahrgenommenen Barrieren für dynamische Zonentarife höher und die Präferenzen tendieren zu möglichst planbaren Tarifen und garantierten Preisen. Da die Nutzung des EM die größte Priorität hat, sind im Feld Ladelastverlagerungen erst mit technischer Unterstützung (intelligentem Lademanagement) beobachtbar.

Vor dem Hintergrund dieser Verhaltensbeobachtungen und Nutzerwahrnehmungen ist zur Ergründung der Akzeptanz von DR durch rationale Nutzer (TF 3) beim Aufbau des Optimiermodells

DS-Opt Plus darauf Wert gelegt worden, möglichst hohe Freiheitsgrade bei der Entscheidung der modellierten, rational agierenden HH zuzulassen, um die maximal möglichen Lastverschiebungen zu beobachten. So überrascht es wenig, dass die bereits im Labor beobachteten Lastverschiebungen sich auch im Modell bestätigen – umgekehrt überrascht es durchaus, wie nah das reale am rationalen Nachfrageverhalten liegt. Dies trifft insbesondere für Ladelasten und den Einsatz technischer Unterstützung (EMS) zu. Ladelasten kristallisieren sich als geeignet zur Verlagerung heraus, ohne die Mindestmobilität einzuschränken, die zu jedem Zeitpunkt gewährleistet werden soll.

Im Ergebnis kommt die Arbeit zum Schluss, dass DR ein wichtiger Baustein zur Energiewende durch die zielorientierte Verlagerung der Elektrizitätsnachfrage in privaten HH sein kann, wenn das Anreizsystem entsprechend ausgestaltet wird. Dazu gehört allen voran eine nutzerfreundliche Informationsaufbereitung, die die ökologischen Vorteile vermittelt und die Zusammenhänge im Kontext der EE darstellt. Gerade die Vorstellung, dezentral erzeugte EE zu nutzen, scheint vertrauensbildend zu sein und wird im Kontext mit dem EM nahezu erwartet.

Der monetäre Anreiz ist, zumindest zur Verlagerung der Nutzung von HHG, unerlässlich. Es erscheint womöglich paradox, dass Preisvorteile zentrales Motiv für Verhaltensanpassungen sind und gleichzeitig die dafür erforderlichen Zonentarife auch als riskant

empfunden werden. Dieses Paradoxon kann durch Informationsunterstützung aufgelöst werden, wenn die monetären und ökologischen Elemente in ihrer Vermittlung gut miteinander verbunden und die mittlerweile vorhandenen Visualisierungsmöglichkeiten und -gewohnheiten integrieren. Zudem können spielerische Elemente (wie in diesem Set-Up das Bonus-Malus-System) die Preisinformationen übersetzen und ihre Anreizwirkung unterstützen.

Die vielfach genannten Befürchtungen durch DR, Nachteile im Alltagsablauf zu erfahren, ließen sich real nicht beobachten. So dass es auch hier eine Herausforderung der Informationsvermittlung am HMI ist, mögliche Sorgen zu nehmen, aber auch mit praxistauglichen Tipps, bspw. bei der Einstellung und Nutzung der HHG, anzubieten. Gleichzeitig entfalten hier ST ihre Wirkung – sowohl aus Perspektive des Nutzers als auch der EVU. Hier liegen Potenziale für EVU, mit branchenfremden Partnern gemeinsame Angebote zu schnüren, bspw. gemeinsam mit HHG-Herstellern, aber auch Versicherungsunternehmen und Handwerksbetrieben. Diese Angebotsbündel lassen sich noch deutlich weiterdenken, wenn man die zuvor genannte dezentral erzeugte Energie mitdenkt, thermische Flüsse integriert und die Mobilität in einen größeren Kontext setzt. In den Kommunen, wo die Energie- und Verkehrsgesellschaften in einer Hand sind, liegen die Überlegungen nah und werden teilweise auch umgesetzt (bspw. MVV 2018).

Eine für DR genannte Hürde ist das Thema der Datensicherheit. Diese Befürchtung hat in den Studien mit den realen Nutzern weniger im Vordergrund gestanden als bei der Befragung der potenziellen Nutzer. Der sichere Umgang mit personenbezogenen Daten stellt zunehmend eine Herausforderung dar, je weiter die Digitalisierung mehr Lebensbereiche umfasst. Sich hier mit einem überzeugenden, womöglich zertifizierten, Konzept zu positionieren – und dafür sich auch organisatorisch aufzustellen, kann zum Alleinstellungsmerkmal und zum Kundenvorteil, aber auch zum eigenen Vorteil der EVU werden, denn letztlich können die Vorteile durch DR nur dann auch ausgeschöpft werden, wenn sie systemisch sind und das erfordert auch die Digitalisierung der anderen Wertschöpfungsstufen der Energieversorgung.

Kritische Würdigung und Ausblick

Wie jeweils in den Studien und vorhergehenden Kapiteln dargelegt, unterliegt diese Arbeit auch Grenzen. Da sie methodisch so angelegt ist, aus der Perspektive der Nutzerakzeptanz die Potenziale von DR zu ergründen, stellt die Auswahl der potenziellen und realen Nutzer eine Einschränkung dar, da sie aufgrund von Selbstselektionsmechanismen und der Stichprobengröße für keine Population repräsentativ sein kann.

Auch verfolgt die vorliegende Arbeit das Ziel, DR möglichst umfangreich, d. h. mit allen technischen Möglichkeiten zum Studienzeitpunkt, zu analysieren, um so auch Wahrnehmung, basierend auf re-

alen Erfahrungen einzusammeln. Das ist aufgrund mangelnder Verfügbarkeit der Technologien wie auch aus Kostengründen nur für ein kleines Setting, in diesem Fall ein Smart Home, möglich. So ist auch das Setting selbst, einerseits einzigartig, weil kontrollierbar und daher auch für eine Breite an Experimentiermöglichkeiten einsetzbar, andererseits aber auch eine Einschränkung, weil möglicherweise eine andere technische Lösung auch zu anderen Versuchsergebnissen führen könnte.

Das Zusammenspiel aus Studienteilnehmern und Laborumfeld kann ebenfalls zu Verzerrungen führen, da möglicherweise allein die Teilnahme an den vorliegenden Studien eine Verhaltensmotivation – auch über mehrere Wochen – erzeugen könnte, wie sie im eigenen HH nicht vorliegen würde.

Dasselbe gilt für die Stabilität der Ergebnisse. Auch wenn davon auszugehen ist, dass gerade technisch unterstütztes DR Lastverlagerungen über die Zeit stabil ermöglicht, ist die vorliegende Arbeit eine Zeitpunkt- und keine Langzeitstudie.

Nicht zu vernachlässigen sind die Zeitpunkte der Durchführung der einzelnen Studien. Das Lastverlagerungspotenzial hängt neben der Tages- auch von der Jahreszeit ab (Müller & Möst 2018). Das gilt umso mehr für die Elektromobilität und damit einhergehend für ihren Elektrizitätsbedarf. Entsprechend ist weitere, insbesondere langfristig angelegte, Forschung notwendig, um das Zusammenspiel von DR und Nachfrageverhalten der privaten HH zu untersuchen. Zudem haben sich seit dem Zeitpunkt der Untersuchungen

die Preisniveaus auf dem Strommarkt absolut und relativ erhöht, so dass heute möglicherweise eine andere Einsparererwartung zu verzeichnen wäre. Zum anderen haben sich auch die technischen Möglichkeiten weiterentwickelt. Zwar sind bislang kaum integrierte Lösungen zur Flexibilisierung der Nachfrage von HH und EM auf dem Markt, aber der technische Standard hat sich durch den zunehmenden Einzug der Digitalisierung in alle Lebensbereiche insgesamt erhöht. Damit haben sich auch gesellschaftlich die Nutzungsgewohnheiten und der Umgang mit leicht-verfügbaren Daten schleichend verändert. Technische Hürden, die in der ersten Studie teilweise genannt wurden, würden heute womöglich keine mehr darstellen. Im Gegenteil, der Informationsbedarf könnte womöglich konkreter benannt werden, wodurch auch die Anforderungen an solche noch höher sein könnten. Gleichzeitig ist dies auch als Chance für die Energievertriebe zu sehen, zumindest auf Seiten der Privatkunden leichter die Einführung von DR zu vollziehen und die Gelegenheit zur Kommunikation und Kundenbindung zu nutzen.

Daher könnten weitergehende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in diesem Kontext mit Lösungsoptionen, die den heutigen Stand der Technik, womöglich ergänzt um Aspekte der Künstlichen Intelligenz und Big Data (leichtere Prognosen, schnellere Datenverarbeitung etc.), widerspiegeln, eine wichtige Weiterentwicklung darstellen. Gerade der Einzug der Digitalisierung der letzten Jahre hat zu einem höheren Elektrifizierungsgrad und womöglich auch zu einem größeren Lastverlagerungsbedarf, evtl. auch -potenzial, geführt.

Die Nutzer entsprechend eines Open-Innovation-Ansatzes frühzeitig einzubinden, könnte Entwicklungen beschleunigen und Entwicklungskosten senken. Angesichts der Tatsache, dass die Informationsverarbeitung und nutzerfreundliche Aufbereitung zunehmend zur Kernkompetenz wird und branchenfremde Marktteilnehmer diese – z. T. gemeinsam mit anderen Metadaten und Nutzerprofilen – mitbringen, gilt es für die EVU die eigene Kernkompetenz rund um Prognosen zu Energiedaten auszubauen und zügiger neue Bündelangebote, womöglich mit Dritten, zusammenzustellen.

Dass die Nutzer die Möglichkeiten der Digitalisierung aktiv nutzen, um nicht auf die EVU zu warten, sondern sich selbst zu organisieren, zeigen neu-aufkommende dezentrale Plattformen, auf denen überschüssige Energie aus eigenen, dezentralen Erzeugungsanlagen mit Endverbrauchern (peer-to-peer-Vermarktung) direkt gehandelt wird (Hiller 2018). Etablieren sich solche Plattformen, ist die Flexibilisierung und damit Monetarisierung der eigenen Nachfrage ein nächster, fast logischer Schritt.

Wie der Zugang und Umgang mit dafür notwendigen sensiblen Daten mittlerweile von Nutzern bewertet wird, ist entscheidend. In der vorliegenden Arbeit sind Befürchtungen zum unsachgemäßen Datenumgang (v. a. aus dem HH) ein Haupthemmnis für DR. Eine aktuelle Studie zu Potenzialen von DR mit Wärmepumpen kommt

zu ähnlichen Erkenntnissen, was aufgrund der zunehmenden Digitalisierung immer mehr Lebensbereiche etwas überrascht (Globisch et al. 2019).

In der vorliegenden Arbeit zeigen sich Ladelastverlagerungen, also DR mit EM, als besonders effektiv und auch von (potenziellen) Nutzern akzeptiert. Eine tiefergehende Analyse, wie Anreizmechanismen ausgestaltet werden könnten, erscheint angesichts der Potenziale der mobilen Speicher – auch für bidirektionale Ladestrategien und in Kombination mit stationären Speichern (Abbasi et al. 2023), wofür sich die Nutzer in der vorliegenden Arbeit durchaus offen gezeigt hatten, interessant. In aktuellen Feldversuchen kommt der Nutzerakzeptanzanalyse von Ladelastverlagerung noch immer eine zu geringe Bedeutung zu (Marinelli et al. 2020). Dabei könnte die Elektromobilität als Vehikel für DR und damit als aktiver Baustein der Energiewende genutzt werden und wird mittlerweile zunehmend auch zwischen Politik und Wirtschaft erkannt (BMW 2021).

Das stärkere Austesten von CPP als eine in anderen Ländern wirksame Tarifkomponente, um Lastziele wirksam zu erreichen, erscheint lohnenswert – nicht zuletzt wegen Interdependenzen zwischen den HH und innerhalb von Stadtteilen mit mehreren Ladepunkten.

Die vorliegende Arbeit fokussiert sich auf private Haushalte. Die Potenziale von DR und damit ihr Beitrag zur Integration von EE im Kontext der Energiewende sind im Gewerbe- und Industriesektor

ungleich höher. Hier liegen zudem schon reale Erfahrungswerte vor, so dass eine gesamtheitliche Betrachtung möglich erscheint und aus wissenschaftlicher Sicht geeignet wäre, um diese teilweise konkurrierenden Maßnahmen in ihren Potenzialen besser abschätzen zu können. Eine Erweiterung des Anwendungsgebiets von DR auf andere Stoffströme, insbesondere thermische Wärme oder Gas-Kopplung, scheint bei sich zunehmend integrierenden Energiesystemen und gleichzeitiger Bereitstellung von Energie aus erneuerbaren Quellen lohnenswert, was entsprechend weiterer Forschung und Erprobung bedarf (Guelpa & Verda 2021; Li et al. 2023).

Literaturverzeichnis

- Abbasi, A.; Sultan, K., Afsar, S.; Aziz, M.; Khalid, H. (2023): Optimal Demand Response Using Battery Storage Systems and Electric Vehicles in Community Home Energy Management System-Based Microgrids, in: *Energies*, 16 (13), 5024.
- Aboelela, S. W., Larson, E., Bakken, S., Carrasquillo, O., Formicola, A., Glied, S. A. (2007): Defining interdisciplinary research: Conclusions from a critical review of the literature, in: *Health Research and Educational Trust*, 42:1, 329-346.
- Acatech (2011): Akzeptanz von Technik und Infrastrukturen, Deutsche Akademie der Technikwissenschaften bezieht Position, Springer: Heidelberg 2011.
- Abaravičius, J. (2004): Load Management in Residential Buildings. Considering Techno-Economic and Environmental Aspects. Dissertation, Department of Heat and Power Engineering, Lund University, Schweden.
- AGEB (2022): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland, Daten für die Jahre 1990 bis 2021, Datenstand September 2022, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen. URL: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2021/09/awt_2021_d.pdf, abgerufen am 02.08.2023.
- Ajzen, Icek (1991): The theory of planned behavior. In: *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50 (2), S. 179-211.
- Ajzen, Icek; Fishbein, Martin (1975): *Belief, Attitude, Intention and Behavior: An Introduction to Theory and Research*. Reading (Massachusetts), Addison-Wesley.

-
- Albadi, M.H. & El-Saadany, Ehab. (2007): Demand Response in Electricity Markets: An Overview. 1-5. Conference: Power Engineering Society General Meeting, 2007. IEEE.
- Albadi, M. H. & El-Saadany, Ehab. (2008): A summary of demand response in electricity markets. *Electric Power Systems Research* 78, 1989–1996.
- Allcott, H. (2011): Social norms and energy conservation, in: *Journal of Public Economics* 95, 1082–1095.
- Allcott, H. (2011): Rethinking real-time electricity pricing, in: *Resource and Energy Economics* 33, 820–842.
- Allen, D.; Janda, K. (2006): The effect of Household Characteristics and Energy Use Consciousness on the Effectiveness of Real-Time Energy Use Feedback: A Pilot Study, in: *Proceedings of the ACEEE 2006 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, S. 1-12.
- Allerding, F. (2013): *Organic Smart Home*. Karlsruhe, KIT Scientific Publishing.
- Andor, M.; Frondel, M.; Schmidt, C. M.; Simora, M.; Sommer, S. (2015): Klima- und Energiepolitik in Deutschland: Dissens und Konsens, in: *List Forum für Wirtschafts- und Finanzpolitik* 41 (1), 3-21. DOI: 10.1007/s41025-015-0004-4.
- Babrowski, S.; Heinrichs, H.; Jochem P.; Fichtner, W. (2014): Load shift potential of electric vehicles in Europe: chances and limits, in: *Journal of Power Sources*, 255, 283-293.
- Babrowski, S. (2015): *Bedarf und Verteilung elektrischer Tagespeicher im zukünftigen deutschen Energiesystem*. Dissertation. KIT Scientific Publishing: Karlsruhe.
- Ball-Rokeach, S.; DeFleur, M. (1976): A dependency model of mass-media effects, in: *Communication Research*, 3 (1), 3-21.

-
- Balta-Ozkan, N.; Davidson, R.; Bicket, M.; Whitmarsh, L. (2013): Social barriers to the adoption of smart homes, in: *Energy Policy*, 63, 363–374.
- Barr, S., 2006. Environmental action in the home: investigating the ‘value–action’ gap. *Geography* 91, 43–54.
- BDEW (2010): *Wieviel Strom verbraucht ein Haushalt? Erhebung des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) und der HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung 2010.*
- Becher, T. (1989). *Academic tribes and territories: Intellectual enquiry and the cultures of disciplines.* Milton Keynes, UK: Open University Press.
- Becker, B. (2014): *Interaktives Gebäude-Energiemanagement.* Karlsruhe, KIT Scientific Publishing.
- Bellekom, S.; Benders, R.; Pelgröm, S.; Moll, H. (2012): Electric cars and wind energy: Two problems, one solution? A study to combine wind energy and electric cars in 2020 in The Netherlands, in: *Energy* 45, 859–866.
- Berger, L.; Schwager, A.; Pagani, P.; Schneider, D. (2014). *Smart Grid Applications, Communications, and Security. Devices, Circuits, and Systems.* CRC Press. ISBN 9781466557529.
- Bergstein, H.; Estelani, H. (2002): A survey of emerging technologies for pricing new-to-the world products, in: *Journal of Product & Brand Management*, 11, S. 303-318.
- Biere, D., Dallinger, D., Wietschel, M. (2009): Ökonomische Analyse der Erstnutzer von Elektrofahrzeugen. In: *Zeitschrift für Energiewirtschaft* 33(2), S. 173 –181.
- BIK (2013): *BIK Regionen 2010.* URL: https://www.bik-gmbh.de/produkte/regionen/BIKRegionen2010_Methodenbeschreibung_lang.pdf, abgerufen am 29.08.2018.

-
- Birzle-Harder, B.; Deffner, J.; Götz, K. (2008): Lust am Sparen oder totale Kontrolle? Akzeptanz von Stromverbrauchs-Feedback, URL: <http://www.shop.isoe.de>, abgerufen am: 01.01.2010.
- Blake, J. (1999): Overcoming the "value-action gap" in environmental policy: Tensions between national policy and local experience, *Local Environment*, 4: 3, 257-278.
- Blank, T.; Mauch, W.; Mezger, T.; Wagner, U. (2008): Zusätzlicher Energie und Leistungsbedarf für Elektrostraßenfahrzeuge, in: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 58 (12), S. 50-52.
- BDEW (2017): Standardlastprofile Strom, URL: <https://www.bdew.de/energie/standardlastprofile-strom/>, abgerufen am 08.08.2023.
- BMU (2010): CO₂-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland – Mögliche Maßnahmen und ihre Minderungspotenziale, URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/co2-emissionsminderung-im-verkehr-in-deutschland?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3773>, abgerufen am 17.08.2017.
- BMU (2012): Energiemanagementsysteme in der Praxis ISO 50001: Leitfaden für Unternehmen und Organisationen, URL: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/energiemanagementsysteme-in-praxis>, abgerufen am 17.08.2017.
- BMWi (2015a): Faktenblatt – Intelligente Messsysteme als wichtiger Baustein der Energiewende, URL: <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/F/faktenblatt-digitalisierung-energiewende,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>, abgerufen am 21.11.2015.
- BMWi (2016a): Richtlinie zur Förderung des Absatzes von elektrisch betriebenen Fahrzeugen (Umweltbonus), URL: <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/B/bekanntmachung-richtlinie-zur-foerderung-des-absatzes-von->

elektrisch-betriebenen-fahrzeugen.html, abgerufen am 17.08.2017.

- BMW (2016b): Verordnung über technische Mindestanforderungen an den sicheren und interoperablen Aufbau und Betrieb von öffentlich zugänglichen Ladepunkten für Elektromobile (Ladesäulenverordnung), URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/V/verordnung-ladeeinrichtungen-elektromobile-kabinettschluss.html>, abgerufen am 15.08.2018.
- BMW (2021): Pressemitteilung – Altmaier tauscht sich mit Automobil- und Energiewirtschaft zur Integration der Elektromobilität in die Verteilernetze aus, URL: BMW - Altmaier tauscht sich mit Automobil- und Energiewirtschaft zur Integration der Elektromobilität in die Verteilernetze aus, abgerufen am 25.02.2021
- BNA (2020): Quartalsbericht Netz- und Systemsicherheit der Bundesnetzagentur für das Jahr 2019, URL: [Quartalszahlen_Gesamtjahr_2019.pdf](#) (bundesnetzagentur.de), abgerufen am 24.02.2021.
- Bollinger, B.; Gillingham, K. (2012): Peer Effects in the Diffusion of Solar Photovoltaic Panels, in: *Marketing Science*, Vol. 6, No. 6, 873-1025.
- Braband, G. (2013): *Strompreise zwischen Privatautonomie und staatlicher Kontrolle*. Beck-Verlag, München 2013.
- Brauner, G. (2009): Energiebereitstellung für die Elektromobilität, in: *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, 126 (10), S. 371-374.
- Bruhn, J. (2000): Interdisciplinary research: A philosophy, art form, artifact or antidote?, in: *Integrative Psychological and Behavioral Science*, 35 / 1, 58-66.

-
- Brunnengräber, A.; De Nucci, M. (2014): Der Startschuss für das Rennen zwischen fossilen und erneuerbaren Energien ist gefallen, in: Brunnengräber, A.; De Nucci, M. (Hrsg.): Im Hürdenlauf zur Energiewende. Springer Fachmedien: Wiesbaden 2014.
- Bryman, A. (2001): Social Research Methods, Oxford University Press, New York.
- BSI (2015): Das Smart-Meter-Gateway – Sicherheit für intelligente Netze, URL: https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Digitale-Gesellschaft/SmartMeter/smartmeter_node.html, abgerufen am 16.08.2017.
- Bundesregierung (2009): Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität. URL: <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Infodienst/2012/10/2012-10-12-elektromobilitaet/2012-10-12-elektromobilitaet.html>, abgerufen am: 08.09.2016.
- Bundesregierung (2021): Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG). URL: <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/>, abgerufen am 28.03.2022.
- Bürger, V. (2010): Identifikation, Quantifizierung und Systematisierung technischer und verhaltensbedingter Stromeinsparpotenziale privater Haushalte, in: TRANSPOSE Working Paper No3.
- BuW (2016): Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität, Ergebnispapier 36, Ladeinfrastruktur, URL: http://schaufenster-elektromobilitaet.org/de/content/dokumente/dokumente_1/dokument_details_21889.html, abgerufen am 17.08.2017.
- Cappers, P.; Goldman, C.; Kathan, D. (2010): Demand response in U.S. electricity markets: Empirical evidence, in: Energy 35 (2010), 1526-1535.

-
- Chai, A.; Bradley, G.; Loc, A.; Reser, J. (2015): What time to adapt? The role of discretionary time in sustaining the climate change value–action gap; in: *Ecological Economics* 116 (2015) 95–107.
- Chaouachi, A.; Bompard, E.; Fulli, G.; Masera, M.; De Gennaro, M.; Paffumi, E. (2016): Assessment framework for EV and PV synergies in emerging distribution systems, in: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, S. 719-728.
- Chesbrough, H. (2011): *Open innovation – the new imperative for creating and profiting from technology*, Boston: Harvard Business School Press.
- Choi, B.; Pak, A. (2006): Multidisciplinarity, interdisciplinarity and transdisciplinarity in health research, services, education and policy, in: *Clinical & Investigative Medicine*, 29, 351–364.
- Clastres, C. (2011): Smart grids – another step towards competition, energy security and climate change objectives, in: *Energy Policy*, 39, 5399–5408.
- CRA (2005): *Primer on Demand-Side Management with an emphasis on price-responsive programs*, Report prepared for the World Bank, prepared by the Charles River Associates, Oakland, California 2005.
- Creutzig, F.; Jochem, P.; Edelenbosch, O. Y.; Mattauch, L.; Vuuren, D. P. van; McCollum, D.; Minx, J. (2015): Transport – A roadblock to climate change mitigation?; in: *Science*, 350 (6263), 911-912.
- Dallinger, D. (2013): *Plug-in electric vehicles integrating fluctuating renewable electricity*. Dissertation. Verlag der Universität Kassel: Kassel.

-
- Dallinger, D.; Schubert, G.; Wietschel, M. (2013): Integration of intermittent renewable power supply using grid-connected vehicles – A 2030 case study for California and Germany, in: *Applied Energy*, 104 (2003), 666-682.
- Dallinger, D.; Wietschel, M. (2012): Grid integration of intermittent renewable energy sources using price-responsive plug-in electric vehicles. Working Paper Sustainability and Innovation, No. S7/2011 Provided in Cooperation with: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI, URL: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/48661/1/664239927.pdf> , abgerufen am 16.08.2018.
- Dantzig, G. B. (1949): Programming of Interdependent Activities, in: *Econometrica*, 17, 200-211.
- Darby, S. (2010): Smart metering: what potential for householder engagement?, in: *Building Research and Information*, 38, S. 442-457.
- Darby, S. (2012): Metering: EU policy and implications for fuel poor households, in: *Energy Policy*, 49 (2012), 98-106.
- DAUG (1996): Erprobung von Elektrofahrzeugen der neuesten Generation auf der Insel Rügen und Energieversorgung für Elektrofahrzeuge durch Solarenergie und Stromtankstellen, Abschlußbericht.
- Davis, F. D. (1986): *A Technology Acceptance Model for Empirically Testing New End-User Information Systems: Theory and Results*, Cambridge 1986.
- Davis, F. D. (1989): Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology, in: *MIS Quarterly*, Vol. 13, No. 3, 1989, pp. 319-340.

-
- DENA (2012): Integration der erneuerbaren Energien in den deutsch-europäischen Strommarkt. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). URL: <https://www.dena.de/news-room/publikationsdetailansicht/pub/studie-integration-der-erneuerbaren-energien-in-den-deutsch-europaeischen-strommarkt/>, abgerufen am 04.03.2013.
- Denholm, P.; Short, W. (2006): An evaluation of utility system impacts and benefits of optimally dispatched plug-in hybrid electric vehicles. National Renewable Energy Laboratory. Technical report NREL/TP-620-40293, URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy07osti/40293.pdf>, abgerufen am 19.04.2008.
- DESTATIS (2008): Bautätigkeit und Wohnungen; Mikrozensus-Zusatzerhebung 2006, Bestand und Struktur der Wohneinheiten, Wohnsituation der Haushalte, Fachserie 5/Heft 1.
- DESTATIS (2017): Anzahl der Krafträder in Deutschland nach Kraftstoffarten, URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/468850/umfrage/kraftrad-bestand-in-deutschland-nach-kraftstoffarten/>, abgerufen am 17.08.2017.
- DESTATIS (2018a): Prognose zum Marktvolumen von Speichertechnologien in Deutschland in den Jahren 2011 bis 2025, URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/243852/umfrage/prognose-zum-marktvolumen-von-speichertechnologien-in-deutschland/>, abgerufen am 15.08.2018.
- DESTATIS (2018b): BIK-Regionen nach Fläche, Bevölkerung und Bevölkerungsdichte am 31.12.2016, URL: https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/NichtAdministrativ/Aktuell/37BIK_Regionen.html, abgerufen am 29.08.2018.
- Deterding, S.; Sicart, M.; Nacke, L.; O'Hara, K.; Dixon, D. (2011): Gamification – using game-design elements in non-gaming contexts, in: Proceeding CHI '11 Human Factors in Computing Systems, 2425-2428.

-
- Dethloff, Claus (2004): Akzeptanz und Nicht-Akzeptanz von technischen Produktinnovationen. Lengerich, Pabst Science Publishers.
- Dillon, Andrew; Morris, Michael G. (1996): User acceptance of new information technology: theories and models. In: Annual Review of Information Science, 31, S. 3-32.
- DOE (2006): Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for achieving them – a Report to the United States Congress Pursuant to Section 1252 of the Energy Policy Act of 2005, U.S. Department of Energy, February 2006.
- Dütschke, E.; Paetz, A.-G. (2013): Dynamic electricity pricing - Which programs do consumers prefer?, in: Energy Policy, Vol 59, Aug 2013, 226-234.
- EEG (2017): Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien, Novelle 2017. URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/eeg-novelle-2017-eckpunkte-praesentation.pdf?__blob=publicationFile&v=11, abgerufen am 08.08.2018.
- Ekman, C.-K. (2011): On the synergy between large electric vehicle fleet and high wind penetration e An analysis of the Danish case, in: Renewable Energy 36, 546-553.
- Elgowainy A.; Burnham, A.; Wang. M.; Molburg, J.; Rousseau, A. (2010): Well-to-Wheels Energy Use and Greenhouse Gas Emissions Analysis of Plug-in Hybrid Electric Vehicles. Argonne, USA&Oak Ridge, TN: Argonne National Laboratory.
- EmoG (2015): Gesetz zur Bevorrechtigung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge.
- Ensslen, A.; Paetz, A.-G.; Babrowski, S.; Jochem, P.; Fichtner, W. (2015): On the road to an electric mobility mass market - How can early adopters be characterized?, in: Fornahl, D. & Hüls-

-
- mann, M. (Hrsg.): *Markets and Policy Measures in the Evolution of Electric Mobility*. Springer, Berlin. doi: 10.1007/978-3-319-24229-3.
- Ericson, T. (2011): Household's self-selection of dynamic electricity tariffs, in: *Applied Energy*, 88 (7), 2541–2547.
- Ernst & Young (2013): *Kosten-Nutzen-Analyse für einen flächendeckenden Einsatz intelligenter Zähler*. Endbericht zur Studie im Auftrag des BMWi. URL: <http://www.bmw.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/kosten-nutzen-analyse-fuer-flaechendeckenden-einsatz-intelligenterzaehler.html>, abgerufen am 16.08.2017.
- Eßer, A.; Kamper, A.; Franke, M.; Möst, D.; Rentz, O.; (2006): *Scheduling of Electrical Household Appliances with Price Signals*, in: *Proceedings of the Operations Research 2006*, Karlsruhe.
- EU (2014): *Einführung intelligenter Verbrauchsmesssysteme in der EU-27 mit Schwerpunkt Strom im Vergleich*. Bericht der Europäischen Kommission. URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:52014DC0356>, abgerufen am 16.08.2017.
- EU (2020): *Klimazielpfad 2030 der Europäischen Kommission*: URL: [EUR-Lex - 52020DC0562 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/eur-lex-content/DE/TXT/?uri=CELEX:52020DC0562), abgerufen am 28.03.2022.
- Faruqui, A.; Harris, D.; Hledik, R. (2010): *Unlocking the €52 Billion Savings from Smart Meters in the EU*, in: *Energy Policy*, 38, S. 6222-6231.
- Faruqui, A.; Sergici, S. (2009): *Household response to dynamic pricing of electricity-a survey of the experimental evidence*, in: *Journal of Regulatory Economics* 38 (2), 193–225.

-
- Faruqui, A. and George, S. (2005): Quantifying Customer Response to Dynamic Pricing, in: *The Electricity Journal*, Vol. 18, Issue 4, 1040-6190.
- FERC (2008): Assessment of Demand Response & Smart Metering, URL: <http://www.ferc.gov/legal/staff-reports/12-08-demand-response.pdf>, abgerufen am 24.07.2010.
- Fernandes, C.; Frías, P.; Latorre, J.M.(2012): Impact of vehicle-to-grid on power system operation costs: The Spanish case study, in: *Applied Energy* 96, 194–202.
- Fischer, C. (2007): Influencing electricity consumption via consumer feedback: a review of experience, in: *Proceedings ECEEE 2007 Summer Study*, S. 1873-1884.
- Fischer, C. (2008): Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy? *Energy Efficiency* 1 (1), 79-103.
- Flath, C.; Ilg, J., Gottwald, S.; Schmeck, H.; Weinhardt, C. (2014): Improving Electric Vehicle Charging Coordination Through Area Pricing, in: *Transportation Science*, 48 (4), 619-634.
- Fließ, S. (2009): *Dienstleistungsmanagement: Kundenintegration gestalten und steuern*. Springer-Verlage: Wiesbaden 2009.
- forsa (2010): Erfolgsfaktoren von Smart Metering aus Verbrauchersicht; URL: http://www.vzbv.de/mediapics/smart_metering_studie_05_2010.pdf, abgerufen am 01.01.2011.
- Fox-Penner, P. (2009): *Smart Power, Climate Change, the Smart Grid, and the Future of Electric Utilities*, in: Island Press, Washington DC.
- Friedl, G.; Walcher, F.; Stäglich, J.; Fritz, T.; Manteuffel, D. (2018): *Der E-Mobilitäts-Blackout*. Gemeinsame Studie der TU München und Oliver Wymann; URL: <https://www.oliverwymann.de/our-expertise/insights/2018/Januar2018/E-Mobilitaets-Blackout.html>, abgerufen am 09.08.2018

-
- Freire-Gonzalez, J. (2017): Evidence of direct and indirect rebound effect in households in EU-27 countries, in: *Energy Policy*, 102 (2017), 270-276.
- Gausemeier, J. (1996): *Szenario-Management - Planen und Führen mit Szenarien*. 2. Aufl., Hanser Verlage: München 1996.
- GDEW (2016): Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende. URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetz/gesetz-zur-digitalisierung-der-energiewende.pdf?__blob=publicationFile&v=4, abgerufen am 20.08.2018.
- Gerblinger, A.; Finkel, M.; Witzmann, R.; Schwanitz, M. (2013): Die Tarifzukunft für Haushaltskunden, in: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 63 (10), 13–15.
- Gerbracht, Heidi, Dominik Möst und Wolf Fichtner (2009): Elektromobilität – Auswirkungen auf das Energiesystem. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 59 (11), 66–69.
- Gerhardt, N.; Jentsch, M.; von Bonin, M.; Becker, S.; Böttger, D. (2018): Entwicklung des Strassenverkehrs und Rückkopplung mit dem Energiesystem in -95% THG-Klimazielszenarien. Teilbericht des Projekts Klimawirksamkeit Elektromobilität. URL: http://www.energieversorgung-elektromobilitaet.de/includes/reports/Endbericht_Strassenverkehr_Energiesystem_FraunhoferIEE.pdf, abgerufen am 29.08.2018.
- Gerssen-Gondelach, S. J.; Faaij, A. P. C. (2012): Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term, in: *Journal of Power Sources*, 212, 111-129.
- Giordano, V.; Fulli, G. (2012): A business case for Smart Grid technologies: a systemic perspective, in: *Energy Policy*, 40, 252–259.

-
- Globisch, J.; Kühnbach, M.; Dütschke, E.; Bekk, A. (2019): The stranger in the German energy system? How energy system requirements misalign with household preferences for flexible heat pumps, in: *Energy Research & Social Science*, 67, 101604.
- Gnann, T.; Patrick, P.; Funke, S.; Wietschel, M. (2015): What is the market potential of plug-in electric vehicles as commercial passenger cars?, in: *Transportation Research Part D*, 37, 95-112.
- Gong, Q.; Midlam-Mohler, S.; Marano, V., Rizzoni, G. (2012): Study of PEV Charging on Residential Distribution Transformer Life, in: *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 3, Nr. 1, 404-412.
- Götz, S.; Wedderhoff, O.; Dütschke, E.; Peters, A.; Plötz, P.; Gnann, T.; Graff, A.; Hoffmann, C.; Dobrzinski, J.; Nick, A. (2016): Strategien zum Marktausbau der Elektromobilität in Baden-Württemberg. Projektbericht LivingLab BWeMobil. URL: http://www.e-mobilbw.de/files/e-mobil/content/DE/Publicationen/PDF%20Schaufenster%20Projekte/10_Studien_Begleitforschung/2_Strategien_zum_Marktausbau.pdf, abgerufen am 07.09.2016.
- Gottwalt, S.; Ketter, W.; Block, C.; Collins, J.; Weinhardt, C. (2011): Demand side management: A simulation of household behavior under variable prices, in: *Energy Policy*, 39 (12), S. 8163-8174.
- Grahn, P. (2014): Electric Vehicle Charging Modeling. Dissertation an der KTH Stockholm.
- Green, R.C.; Wang, L.; Alam, M. (2011): The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks: A review and outlook, in: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (2011), 544-553.
- Grønhøj, A.; Thøgersen, J. (2011): Feedback on household electricity consumption: Learning and social influence processes, in: *International Journal of Consumer Studies*, 35, S. 138-145.

-
- Guepla, E.; Verda, V. (2021): Demand response and other demand side management techniques for district heating: A review, in: *Energy*, 219 (2021), 119440.
- Gyamfi, S.; Krumdieck, S. (2011): Price, environment and security: Exploring multi-modal motivation in voluntary residential peak demand response, in: *Energy Policy*, 39, 2993–3004.
- Hackmann, M.; Kampik, J. (2012): Herausforderungen der Elektromobilität, in: *Tagungsband VDE-Konferenz EMA Nürnberg 2012*.
- Hajimiragha, A.; Cañizares, C. A.; Fowler, M.W.; Moazeni, S.; Elkamel, A.; Wong, S. (2011): Sustainable convergence of electricity and transport sectors in the context of a hydrogen economy, in: *International Journal of Hydrogen Energy* Vol. 36, Issue 11, 6357-6375.
- Hargreaves, T.; Nye, M.; Burgess, J. (2010): Making energy visible: A qualitative field study of how householders interact with feedback from smart energy monitors, in: *Energy Policy*, 38, 6111–6119.
- Hargreaves, T.; Nye, M.; Burgess, J. (2013): Keeping energy visible? Exploring how householders interact with feedback from smart energy monitors in the longer term, in: *Energy Policy*, 52 (2013), 126-134.
- Hayn, M.; Bertsch, V.; Fichtner, W. (2014): Stromtarife und Technologien im Endkundenmarkt und deren Einfluss auf den Leistungsbedarf von Haushalten aus dem Netz, in: *UmweltWirtschaftsForum*, 22(4), 249–255.
- He, X.; Keyaerts, N.; Azevedo, I.; Meeus, L.; Hancher, L.; Glachant, J.-M. (2013): How to engage consumers in demand response: a contract perspective; in: *Utility Policy*, 27, 108–122.

-
- HEA (2017): Der Online-Geräteberater der Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendungen e. V. URL: <http://www.hausgeraete-plus.de/online-geraeteberatung>, abgerufen am 16.08.2017.
- Heberlein, K.; Warriner, G.K. (1983): The influence of price and attitude on shifting residential electricity consumption from on-to off-peak periods. *Journal of economic psychology*, 4, S. 107-130.
- Heinen, S.; Hewicker, C.; Jenkins, N.; McCalley, J.; O'Malley, M.; Pasini, S.; Simoncini, S. (2017): Unleashing the Flexibility of Gas: Innovating Gas Systems to Meet the Electricity System's Flexibility Requirements, in: *IEEE Power and Energy Magazine*, 15 / 1, 16-24, Jan-Feb 2017.
- Heinrichs, H. (2013): Analyse der langfristigen Auswirkungen von Elektromobilität auf das deutsche Energiesystem im europäischen Energieverbund. Dissertation am Karlsruher Institut für Technologie. KIT Scientific Publishing: Karlsruhe 2013.
- Hennings, W.; Linszen, J. (2015): Elektromobilität, in: Wietschel, M.; Ullrich, S.; Markewitz, P.; Schulte, F.; Genoese, F. (Hrsg.): *Energiotechnologien der Zukunft – Erzeugung, Speicherung, Effizienz und Netze*. Springer Fachmedien: Wiesbaden 2015, 447-473.
- Hillemacher, L.; Eßer-Frey, A.; Fichtner, W. (2011): Preis- und Effizienzsignale im MeRegio-Smart-Grid-Feldtest – Simulationen und erste Ergebnisse, in: *Proceedings 17. Internationale Energiewirtschaftstagung*, Wien 2011.
- Hillemacher, L. (2015): Lastmanagement mittels dynamischer Strompreissignale bei Haushaltskunden, Dissertation am Karlsruher Institut für Technologie.
- Hiller, S. (2018): Online-Plattformen und Marktplätze für Ökostrom, in: *Energyload – das Onlinemagazin zur Energie-*

und Mobilitätswende, URL: Online-Plattformen und -Marktplätze für Ökostrom | Energyload, abgerufen am 27.01.2021

- Hirschheim, Rudy (2007): Introduction to the Special Issue on “Quo Vadis TAM – Issues and Reflections on Technology Acceptance Research”. In: *Journal of the Association for Information Systems*, 8 (4), S. 203-205.
- Hodge, B.-M., S.; Huang, S.; Shukla, A.; Pekny, J.F.; Reklaitis, G.V. (2010): The Effects of Vehicle-to-Grid Systems on Wind Power Integration in California. 20th European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE20, 1-6.
- Ho Hong, S.; Yu, M.; Hunag, X. (2015): A real-time demand response algorithm for heterogeneous devices in buildings and homes, in: *Energy* 80 (2015), 123-132.
- Hopf, C. (2004): Qualitative Interviews – ein Überblick, in: Flick, U.; von Kardoff, E.; Steinke, I. (Hrsg.): *Qualitative Forschung – ein Handbuch*, Reinbek bei Hamburg: Rowohlt: 349-360.
- Hu, Z.; Kim, J.; Wang, J.; Byrne, J. (2015): Review of dynamic pricing programs in the U.S. and Europe: Status quo and policy recommendations, in: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42 (2015), 743-751.
- Huijts, N.; Molina, E.; Steg, L. (2012): Psychological factors influencing sustainable energy technology acceptance: A review-based comprehensive framework, in: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2012), 525-531.
- Hummeltenberg, W.; Preßmar, D. (1989): Vergleich von Simulation und Mathematischer Optimierung an Beispielen der Produktions- und Ablaufplanung, in: *OR Spektrum*, 11, 217-229.
- IBM Global Business Services and Zentrum für Evaluation und Methoden der Universität Bonn (2007): *Preis, Verbrauch und Umwelt versus Komfort – der mündige Energieverbraucher. Verbrauchsverhalten und neue Möglichkeiten zur Kundenbindung*

und Kundengewinnung für Energieversorger; URL:
<http://www-05.ibm.com/de/pressroom/downloads/energiestudie.pdf>, abgerufen am 28.01.2011.

- IEA (2017): World Energy Outlook 2017 – A world in transformation. International Energy Agency 2017.
- IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.
- IIP (1996): Repräsentative Lastgänge privater Haushalte. Interne Datenbank am Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion des Karlsruher Instituts für Technologie.
- Jackson, T. (2005): Motivating Sustainable Consumption - a review of evidence on consumer behaviour and behavioural change, a report to the Sustainable Development Research Network. URL: <https://timjackson.org.uk/wp-content/uploads/2018/04/Jackson.-2005.-Motivating-Sustainable-Consumption.pdf>, abgerufen am 12.06.2014.
- Jochem, P. (2016): Electric Mobility and Energy Systems. Habilitation am Karlsruher Institut für Technologie. Karlsruhe 2016.
- Jochem, P.; Babrowski, S.; Fichtner, W. (2015): Assessing CO₂ Emissions of Electric Vehicles in Germany in 2030, in: Transportation research / A, 78, 68-83.
- Jochem, P.; Feige, J.; Kaschub, T.; Fichtner, W. (2011): Increasing Demand for Battery Applications, in: Proceedings of the 6th International Renewables Energy Storage Conference and Exhibition, Berlin.
- Jochem, P.; Frankenhauser, D.; Ewald, L.; Ensslen, A.; Fromm, H. (2020): Does free-floating carsharing reduce private vehicle

owner-ship? The case of SHARE NOW in European Cities, Transportation Research Part A 141, 373-395.

Jochem, P.; Gomez-Vilchez, J.; Ensslen, A.; Schäuble, J.; Fichtner, W. (2017): Methods for forecasting the market penetration of electric drivetrains in the passenger car market, in: Transport Reviews, 1-17.

JOCHIMS, M. (2000): Diffusion innovativer Dienstleistungen - Eine empirische Analyse am Beispiel der Direktbanken, Hamburg 2000.

Johnson, Mark W.; Suskewitz, Josh (2009): How to Jump-Start the Clean Tech Economy, in: Harvard Business Review, 87 (11), S. 52-60.

Juul, N.; Meiborn, P. (2011): Optimal configuration of an integrated power and transport system, in: Energy Policy, 38 (5), 3523-3530.

Kahneman, Daniel; Tversky, Amos (1979): Prospect theory: An analysis of decisions under risk. In: Econometrica, 47 (2), S. 263-292.

Kahneman, D. (2003): Maps of bounded rationality: psychology for behavioral economics. Am. Econ. Rev. 93, 1449-1475.

Kallrath, J. (2013): Gemischt-ganzzahlige Optimierung – Modellierung in der Praxis. Springer: Wiesbaden.

Kam, M. van der; Sark, W. van (2015): Smart charging of electric vehicles with photovoltaic power and vehicle-to-grid technology in a microgrid, in: Applied Energy, 152, 20-30.

Kaschub, T. (2017): Batteriespeicher in Haushalten unter Berücksichtigung von Photovoltaik, Elektrofahrzeugen und Nachfragesteuerung. Dissertation am Karlsruher Institut für Technologie. Karlsruhe 2017.

-
- Kaschub, T.; Jochem, P.; Fichtner, W. (2011). Integration von Elektrofahrzeugen und Erneuerbaren Energien ins Elektrizitätsnetz: Eine modellbasierte regionale Systemanalyse, 7. Internationale Energiewirtschaftstagung (IEWT'11), Wien, Österreich, 16.-18. Februar 2011.
- Kaschub, T.; Paetz, A.-G.; Jochem, P.; Fichtner W. (2012): Lastmanagement mit intelligenten Haushaltsgeräten und Elektrofahrzeugen – eine modellgestützte Analyse, in Proc. 2012 VDE Kongress.
- Kaur, A.; Singh, M. (2023): Time-of-Use tariff rates estimation for optimal demand-side management using electric vehicles, in: Energy, 273 (2023), 127243.
- KBA (2017): Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2017, URL: http://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand_node.html, abgerufen am 17.08.2017.
- KBA (2018): Bestand an Pkw am 1. Januar 2018 nach ausgewählten Kraftstoffarten, URL: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Umwelt/2018_b_umwelt_dusl.html?nn=663524, abgerufen am 10.08.2018.
- KBA (2020): Bestand an Pkw am 01. Januar 2020 nach ausgewählten Kraftstoffarten, URL: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz/fz_b_jahresbilanz_archiv/2020/2020_b_barometer.html?nn=2601598, abgerufen am 24.02.2021.
- KBA (2022): Bestand an Pkw am 01. Januar 2022 nach ausgewählten Kraftstoffarten, URL: https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.kba.de%2FSharedDocs%2FDownloads%2FDE%2FStatistik%2FFahrzeuge%2FFZ27%2Ffz27_202201.xlsx%3F_blob%3DpublicationFile%26v%3D5&wdOrigin=BROWSELINK, abgerufen am 28.03.2022.

-
- Kempton, W.; Tomic, J. (2005): Vehicle-to-grid power fundamentals: calculating capacity and net revenue, in: *Journal of Power Sources*, 144, 268-79.
- Kiviluoma, J.; Meibom, P. (2011): Methodology for modelling plug-in electric vehicles in the power system and cost estimates for a system with either smart or dumb electric vehicles, in: *Energy* 36, 1758-1767.
- Kley, F. (2011): Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge. Dissertation am Karlsruher Institut für Technologie.
- Klingenberg, G. (1926): *Bau großer Elektrizitätswerke*. Springer: Berlin.
- Klöckner, C. A., & Matthies, E. (2004): How habits interfere with norm-directed behaviour: A normative decision-making model for travel mode choice, in: *Journal of Environmental Psychology*, 24, 319-327.
- Knol, E. & De Vries, P. W. (2011): *EnerCities, a Serious Game to Stimulate Sustainability and Energy Conservation: Preliminary Results*, in: *eLearning Papers*, N° 25, July 2011; 1-10.
- Köhler, I. (2016): Europa im Bann der Ölpreiskrise 1973/74 Energie-, Sicherheits- und Einigungspolitik im Spannungsfeld, in: *Themenportal Europäische Geschichte*, URL: <https://www.europa.clio-online.de/essay/id/artikel-3808>, abgerufen am: 08.08.2018.
- Kollmann T. (2000): Die Messung der Akzeptanz bei Telekommunikationssystemen, in: *Journal für Betriebswirtschaft*, 50, S. 68-78.
- Kollmuss, A.; Agyeman, J. (2002): Mind the Gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? In: *Environmental Education Research*, 8(3), 239-260. DOI: 10.1080/13504620220145401.

-
- Königstorfer, Jörg (2008): Akzeptanz von technologischen Innovationen: Nutzungsentscheidungen von Konsumenten dargestellt am Beispiel von mobilen Internetdiensten. Wiesbaden, Gabler.
- Kostková, K.; Omelina, L.; Kyčina, P.; Jamrich, P. (2012): An introduction to load management, in: *Electric Power Systems Research*, Vol. 95, 184-191.
- Kraiczya, M.; Braun, M.; Stetz, T.; Brantl, J.; Schmidt, S. (2013): Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen der lokalen Spannungsregelung des Umspannwerks-Transformators und der lokalen Blindleistungsregelung dezentraler Erzeugungsanlagen im Verteilungsnetz. 28. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein den 07.03.2013.
- Krämer, M. (2009): Preiskomplexität. Dissertation Universität Mannheim.
- Kreutzer, R. T.; Rumler, A.; Wille-Baumkauf, B. (2015): *B2B-Online-Marketing und Social Media – ein Praxisleitfaden*, Springer-Verlag: Wiesbaden 2015.
- Krishnamurti, T.; Schwartz, D.; Davis, A.; Fischhoff, B.; de Bruin, W.B.; Lave, L.; Wang, J. (2012): Preparing for smart grid technologies: a behavioral decision research approach to understanding consumer expectations about smart meters, in: *Energy Policy*, 41, 790–797.
- Kristoffersen, T.K.; Cation, K.; Meibom, P. (2011): Optimal charging of electric drive vehicles in a market environment, in: *Applied Energy* 88, 1940–1948.
- Kuckartz, U.; Dresing, T.; Rädiker, S.; Stefer, C. (2007): *Qualitative Evaluation*, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- Laux, H.; Gillenkirch, R.; Schenk-Mathes, H. (2012): *Entscheidungstheorie*. Springer: Berlin.

-
- Layera, P.; Feurer, S.; Jochem, P. (2017): Perceived price complexity of dynamic energy tariffs: An investigation of antecedents and consequences, in: *Energy Policy* 106, 244–254.
- Leitinger, C.; Litzlbauer, M. (2011): Netzintegration und Ladestrategien der Elektromobilität, in: *Elektrotechnik und Informationstechnik*, 128 (1-2), S. 10-15.
- Leitinger, C.; Litzlbauer, M.; Schuster, A.; Brauner, G.; Simic, D.; Hiller G. et al. (2011): Smart Electric Mobility - Speichereinsatz für regenerative elektrische Mobilität und Netzstabilität. Report, Austria 2011.
- Li, W.; Xu, P.; Lu, X.; Wang, H.; Pang, Z. (2016): Electricity demand response in China: Status, feasible market schemes and pilots, in: *Energy*, 114 (2016), 981-994.
- Li, Y.; Han, M.; Shahidehpour, M.; Li, J.; Long, C. (2023): Data-driven distributionally robust scheduling of community integrated energy systems with uncertain renewable generations considering integrated demand response, in: *Applied Energy*, 335 (2023), 120749.
- Lin, Jiun-Sheng Chris; Chang, Hsing-Chi (2011): The role of technology readiness in self-service technology acceptance, in: *Managing Service Quality*, 21 (4), S. 424-444.
- Lineweber, D. C. (2011): Understanding residential customer support for – and opposition to – smart grid investments, in: *The Electricity Journal* (24) 8, 92–100.
- Link, J. (2011): Elektromobilität und erneuerbare Energien: Lokal optimierter Einsatz von netzgekoppelten Fahrzeugen. Dissertation, TU Dortmund.
- Lo, K.L.; McDonald, J.R.; Le, T.Q. (1991): Time-of-day electricity pricing incorporating elasticity for load management purposes, in: *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 13 (4), 230–239.

-
- Lopes, M.; Atunes, C.; Janda, K.; Peixoto, P.; Martins, N. (2016): The potential of energy behaviours in a smart(er) grid: Policy implications from a Portuguese exploratory study, in: *Energy Policy*, 90 (2016), 233-245.
- Lu, J.; Yao, J.; Yu, C.-S. (2005). Personal innovativeness, social influences and adoption of wireless Internet services via mobile technology, in: *The Journal of Strategic Information Systems*, 14(3), 245-268.
- Lund, H.; Kempton, W. (2008): Integration of renewable energy into the transport and electricity sectors through V2G, in: *Energy Policy*, 36, 3578-87.
- Ma, H.; Balthasar, F.; Tait, T.; Riera-Palou, X.; Harrison, A. () : A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles, in: *Energy Policy* 44, 160-173.
- Mah, D.N.; van der Vleuten, J. M.; Hills, P.; Tao, J. (2012): Consumer perceptions of smart grid development: results of a Hong Kong survey and policy implications; in: *Energy Policy* 49, 204-216.
- März, L.; Krug, W. (2011): Kopplung von Simulation und Optimierung, in: März, L.; Krug, W.; Rose, O.; Weigert, G. (Hrsg.): *Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik*, 41-45. Springer: Heidelberg.
- Mahajan, Vijay; Peterson, Robert A. (1985): *Models for innovation diffusion*. Beverly Hills, Sage Publications.
- Mahmoudzadeh Andwari, A.; Pesiridis, A.; Rajoo, S.; Martinez-Botass, R.; Esfahanian, V. (2017): A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels, in: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 78, Oct 2017, 414-430.
- Marinelli, M.; Calearo, L.; Ried, S.; Pfab, X.; Cabrera, J. C. D.; Spalthoff, C.; Braun, M.; Sale, H.; Torsater, B. N.; Divshali, P. H.; Hanninen, S.; Ceraolo, M.; Barsali, S.; Larsson, M.; Magdowski,

-
- A.; Gimenez, L.; Fernandez, G. (2020): Electric Vehicles Demonstration Projects-An Overview across Europe, in: 55th International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2020, Virtual, Art.Nr. 9209862.
- Martiskainen, M.; Coburn, J. (2010): The role of information and communication technologies (ICTs) in household energy consumption – prospects for the UK, in: Energy Efficiency, 1–13.
- Mayring, P. (2000): Qualitative Content Analysis, in: Forum: Qualitative Social Research, 1 (2).
- McCarthy, R., Yang, C. (2010): Determining marginal electricity for near-term plug-in and fuel cell vehicle demands in California: impacts on vehicle greenhouse gas emissions, in: Journal of Power Sources, 195, 2099-109.
- McFarland, Daniel J.; Hamilton, Diane (2006): Adding contextual specificity to the technology acceptance model. In: Computers in Human Behavior, 22 (3), S. 427-447.
- Meffert, H. (1976): Die Durchsetzung von Innovationen in der Unternehmung und im Markt, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 46. Jg., Nr. 2, 1976, S. 77-100.
- MENNEKES (2011): Infrastruktur-Komponenten für die Elektromobilität. MENNEKES Elektrotechnik GmbH & Co. KG, Spezialfabrik für Steckvorrichtungen, Kirchhundem.
- Mert, W.; Watts, M.; Tritthart, W. (2009): Smart domestic appliances in sustainable energy systems – consumer acceptance and restrictions, in: Proceedings of the ECEEE 2009 Summer Study, S. 1751-1761.
- MID (2008): Mobilität in Deutschland 2008 – Ergebnisbericht; URL: http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008_Abschlussbericht_I.pdf, abgerufen am 05.01.2016.

-
- Mohanty, S.; Panda, S.; Parida, S.; Rout, P.; Sahu, B.; Bajaj, M.; Zawbaa, H.; Kumar, N.; Kamel, S. (2022): Demand side management of electric vehicles in smart grids: A survey on strategies, challenges, modeling, and optimization, in: Energy Reports, 8 (2022), 12466-12490.
- MOP (2010): Das deutsche Mobilitätspanel – Erhebungen der Jahre 1997 bis 2009. Hg. v. Institut für Verkehrswesen, Karlsruher Institut für Technologie.
- MRM (2011): Verbundvorhaben MeRegioMobil – Abschlussbericht des Projektkonsortiums.
- Müller, T.; Möst, D. (2018): Demand Response Potential: Available when Needed?, in: Energy Policy, 115, 181-198.
- MVV (2018): Optimiertes Laden zu Hause mit eigenem Sonnenstrom, Pressemitteilung der MVV AG, URL: Detail - MVV Energie AG, abgerufen am 27.01.2021.
- Mwasilu, F.; Justo, J. J.; Kim, E.-K.; Do, T. D.; Jung, J.-W. (2014): Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration, in: Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34, 501-516.
- Nakićenović, Nebojša (1991): Diffusion of Technologies and Social Behavior. Berlin, Springer.
- Naunin, D. (1993): Electricity supply stations - sites, concepts and offers. Stromtankstellen - Standorte, Konzepte und Angebote. FIZ Karlsruhe, 90-101.
- Nennan, B.; Boisvert, R.N.; Cappers, P.A. (2002): What Makes a Customer Price Responsive?, in: The Electricity Journal Vol. 15, Issue 3, 52-59.
- Nischler, G.; Gutschi, C.; Beermann, M.; Stigler, H. (2011): Auswirkungen von Elektromobilität auf das Energiesystem, in: e & i Elektrotechnik und Informationstechnik 128 (1-2), S. 53-57.

-
- Newsham, G. R.; Bowker, B. G. (2010): The effect of utility time-varying pricing and load control strategies on residential summer peak electricity use: a review, in: *Energy Policy* 38/2010, 3289–3296.
- NIR (2016): Nationaler Inventarbericht zu Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2014. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll. Umweltbundesamt 2016.
- NPE (2015): Themen der Nationalen Plattform Elektromobilität – Fahrzeug, URL: <http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/themen/fahrzeug/#tabs>, abgerufen am 22.11.2015.
- NPE (2014): Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität 2014 – Bilanz der Marktvorbereitung, URL: https://www.bmbf.de/files/NPE_Fortschrittsbericht_2014_barrierefrei.pdf, abgerufen am 22.11.2015.
- NPE (2010): Zwischenbericht der Arbeitsgruppe 3 Lade-Infrastruktur und Netzintegration, 30. November 2010, URL: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Verkehr/zwischenbericht_emob_ag3_bf.pdf, abgerufen am 22.11.2015.
- NPM (2021): Bericht der Arbeitsgruppe 2, Nationale Plattform Mobilität: Roadmap – Markthochläufe alternativer Antriebe und Kraftstoffe aus technologischer Perspektive. URL: https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/04/NPM_AG2_Technologie_Roadmap.pdf, abgerufen am 28.03.2022.
- Nykvist, B.; Nilsson, M. (2015): Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles, in: *Nature*, Vol 15, April 2015, 329–332.
- Nyborg, S.; Røpke, I. (2013): Constructing users in the smart grid—insights from the Danish eFlex project, in: *Energy Efficiency*, 6 (4), 655–670.

-
- Ocker, F.; Erhart, K.-M. (2017): The “German Paradox” in the balancing power markets, in: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67 / 1, 892-898, Jan 2017.
- Oreskes, N. (2004): The Scientific Consensus on Climate Change, in: *Science*, Vol. 306, No. 5702
- Ovčjak, B.; Heričko, M.; Polančič, G. (2015): Factors impacting the acceptance of mobile data services – A systematic literature review, in: *Computers in Human Behavior*, 53 (2015), 24–47.
- Ozaki, Ritsuko; Dodgson, Mark (2010): Adopting and consuming innovations. In: *Prometheus*, 28 (4), S. 311-326.
- Paetz, A.-G.; Becker, B.; Fichtner, W.; Schmeck, H. (2011a): Shifting Electricity Demand with Smart Home Technologies - An Experimental Study on User Acceptance, in: 30th USAEE / IAEE North American Conference, Washington D.C. 2011.
- Paetz, A.-G.; Dütschke, E.; Fichtner, W. (2012a): Smart Homes as a Means to Sustainable Energy Consumption: A Study of Consumer Perceptions, in: *Journal of Consumer Policy*, 35, 1 (2012), 23-41.
- Paetz, A.-G.; Dütschke, E.; Fichtner, W.; Wietschel, M. (2011b): Tomorrow's households: How do consumers react to a smart-home environment?, in: 6th EEDAL Conference Online Proceedings.
- Paetz, A.-G.; Jochem, P.; Fichtner, W. (2012b): Demand Side Management mit Elektrofahrzeugen - Ausgestaltungsmöglichkeiten und Nutzerakzeptanz, in: *Tagungsbandbeitrag 12. Symposium Energieinnovation 2012*, TU Graz.
- Paetz, A.-G.; Kaschub, T.; Jochem, P.; Fichtner, W. (2012c): Testing Demand Response with Smart Homes and Electric Scooters, in: *ACEEE 2012 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings Proceedings*.

-
- Paetz, A.-G.; Kaschub, T.; Jochem, P.; Fichtner, W. (2013): Load-Shifting Potentials in Households including Electric Mobility - a Comparison of User Behaviour with Modeling Results; IEEE - 10th International Conference on European Energy Markets.
- Paetz, A.-G.; Pfriem, M.; Jochem, P.; Fichtner, W.; Gauterin, F. (2012d): Smart Charging - Results from an On-Road Test with Electric Scooters, in: 12th IAEE European Energy Conference Proceedings.
- Painter, D. S. (2014): The Oil Crises of the 1970s and the Cold War, in: *Historical Social Research*, 39 (4), 190.
- Pang, C.; Dutta, P.; Kezunovic, M. (2012): BEVs/PHEVs as Dispersed Energy Storage for V2BUses in the Smart Grid. *IEEE Transactions on smart Grid*, Vol. 3, No. 1; März 2012, 473-481.
- Papadopoulos, P.; Skarvelis-Kazakos, S.; Grau, I.; Cipcigan, L.M.; Jenkins, N. (2011): Electric vehicles' impact on British distribution networks, in: *IET Electrical Systems in Transportation*. 91-102.
- Park, E. & Kim, K. (2014): An Integrated Adoption Model of Mobile Cloud Services: Exploration of Key Determinants and Extension of Technology Acceptance Model, in: *Telematics and Informatics*, 31 (2014), 376-385.
- Paschen, H. & Coenen, R. (1979): Konsequenzen des großtechnischen Einsatzes der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland. Karlsruhe: Kernforschungszentrum; 1979.
- Pehnt, M.; Helms, H.; Lambrecht, U.; Dallinger, D.; Wietschel, M. et al. (2011): Elektroautos in einer von erneuerbaren Energien geprägten Energiewirtschaft, in: *Energiewirtschaft*, 35, 221-234.
- Picot, A.; Doeblin, S. (2009): Innovationsführerschaft durch Open Innovation : Chancen für die Telekommunikations-, IT- und Medienindustrie, Berlin: Springer.

-
- Plötz, P.; Schneider, U.; Globisch, J.; Dütschke, E. (2014): Who will buy electric vehicles? Identifying early adopters in Germany, in: *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 67, 96-109.
- Pollok, T.; Matrose, C.; Dederichs, T.; Schnettler, A.; Szczechowicz, E. (2011): Classification and Comparison of Multi Agent Based Control Strategies for Electric Vehicles in Distribution Networks, in: *Proc. 21st International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED)*.
- Pregger, T.; de Tena, D. L.; Schmid, S.; Wille-Hausmann, B.; Pollok, T.; Sowa, T. (2013): Optimierte Integration der Elektromobilität in das Stromversorgungssystem bei hohen Anteilen erneuerbarer Energien, in: *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, 37 (4), 297-306.
- Pyrko, J. (2011): Am I as smart as my smart meter is? – Swedish experience of statistics feedback to households, in: *Proceedings of the ECEEE 2011 Summer Study*, S. 1837-1841.
- Stephen Farnsworth, S. Robert Lichter: The Structure of Scientific Opinion on Climate Change, in: *Int. Journal of Public Opinion Research*. 24, Nr. 1, Oktober 2011.
- Raabe, O.; Lorenz, M.; Pallas, F.; Weis, E.; Malina, A. (2011): 14 Thesen zum Datenschutz im Smart Grid, in: *Datenschutz und Datensicherheit*, 08/2011, 519-523.
- Radgen, P. (2007): Zukunftsmarkt Elektrische Energiespeicherung. Fallstudie im Auftrag des Umweltbundesamts. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/zukunftsmarkt-elektrische-energiespeicherung>, abgerufen am 15.08.2018.
- Radkau, J. (1983): Aufstieg und Krise der deutschen Atomwirtschaft, 1945 – 1975, verdrängte Alternativen in der Kerntechnik und der Ursprung der nuklearen Kontroverse. Rororo-Sachbuch. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt; 1983.

-
- Reichardt, K; Schneider, U.; Dütschke, E.; Paetz, A.-G. (2012): Elektromobil auf zwei Rädern - Erfahrungen aus den Modellregionen, Begleitforschung zu den Modellregionen Elektromobilität des BMVBS - Ergebnisse des Themenfeldes Nutzerperspektive, BMVBS (Hg.), Dezember 2012.
- Rehm, M. (1999): Lastmanagement und dynamische Stromtarife in regenerativen Energieversorgungssystemen. Dissertation, Universität Karlsruhe.
- Rehtanz, C.; Rolink, J. (2010): Netzintegration und Lastmanagement von Plug-In-Hybrid- und Elektrofahrzeugen, in: ETG-Mitgliederinformation, 2/2010, 6-10.
- Richardson, P.; Flynn, D.; Keane, A. (2012): Local Versus Centralized Charging Strategies for Electric Vehicles in Low Voltage Distribution Systems, in: IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 3, No. 2, Juni 2012, 1020-1028.
- Richardson, D. B. (2013): Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, Impacts, and renewable energy integration, in: Renewable and Sustainable Energy Reviews 19, 247-254.
- Rieber, L. (1996): Seriously considering play: Designing interactive learning environments based on the blending of microworlds, simulations, and games, in: Educational Technology. Research & Development, 44 (2), 43-58.
- Rijnsoever, F. J.; van Den Berg, J.; Koch, J.; Hekkert, M.P. (2015): Smart innovation policy: How network position and project composition affect the diversity of an emerging technology, in: Research Policy, Vol. 44, Issue 5, 1094-1107.
- Rijnsoever, F. J.; van Mossel, A.; Broecks, K. (2015): Public acceptance of energy technologies: The effects of labeling, time, and heterogeneity in a discrete choice experiment, in: Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 45, 817-829.

-
- Riley, E. Dunlap, Aaron M. McCright: Organized Climate Change Denial. In: John S. Dryzek, Richard B. Norgaard, David Schlosberg (Hrsg.): The Oxford Handbook of Climate Change and Society. Oxford University Press, 2011, 144–160.
- Rode, J.; Weber, A. (2012): Does Localized Imitation Drive Technology Adoption? A Case Study on Solar Cells in Germany. Working Paper, October 6th, 2012.
- Rogers, E. M. (1976): New Product Adoption and Diffusion, in: Journal of Consumer Research, Vol. 2, No. 4, 1976, pp. 290-302.
- Rogers, Everett M. (2003): Diffusion of innovations. 5. Auflage, New York, Free Press.
- Rose, K.; Potthoff, U.; Klingner, M. (2010): Netzstützende Ladevorrichtung für Elektrofahrzeuge, in: Proceedings VDE-Kongress Leipzig 2010.
- Rosenthal, R. (2011): GAMS - A User's Guide. Hg. v. GAMS Development Corporation, Washington D.C. 2011.
- RWI / forsa (2011): Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2006-2008. URL: <http://www.rwi-essen.de/publikationen/rwi-projektberichte>, abgerufen am 29.08.2012.
- Saffer, D. (2009): Designing Gestural Interfaces. Sebastopol, O'Reilly Media.
- Samouilidis, J. (1980): Energy modelling – A new challenge for management science, in: Omega 8 (6), 609-621.
- Schäuble, J.; Baalaban, S.; Krasselt, P.; Jochem, P.; Özkan, M.; Schellhas-Mende, F.; Fichtner, W.; Thomas, L.; Raabe, O. (2016): Vergleichsstudie von Systemansätzen für das Schnellladen von Elektrofahrzeugen, in: Working Paper Series in Production and Energy, 13, KIT Scientific Publishing: Karlsruhe 2016.

-
- Scherrer, Aline; Burghard, Uta; Wietschel, Martin; Dütschke, Elisabeth (2019): Early Adopter von E-Fahrzeugen: Ladeleistungen, Eigenerzeugung und Einstellungen zum Lademanagement, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 69 (11), 23–26.
- Schewel, L. (2008): Triple Safety: Lightweighting Automobiles to Improve Occupant, Highway, and Global Safety. 2008 World Congress Detroit, Michigan, April 14-17, 2008.
- Schleich, J.; Klobasa, M.; Goelz, S.; Götz, K. (2011): Smart metering in Germany – results of providing feedback information in a field trial. Proceedings of the ECEEE 2011 Summer Study, S. 1667-1674.
- Schott, B.; Püttner, A.; Nieder, T.; Maas, B.; Rohn, M.; Mey, J. (2013): Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland im internationalen Vergleich und Analysen zum Stromverbrauch, White Paper des Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung, Ulm 2013.
- Schraven, S.; Kley, F.; Wietschel, M. (2011): Induktives Laden von Elektromobilen - Eine techno-ökonomische Bewertung, Working Paper Sustainability and Innovation, No. S8/2010, 1-29. URL: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/44993/1/645174661.pdf>, abgerufen am 30.06.2012.
- Schwab, A. J. (2017): Elektroenergiesysteme – Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie, 5. Auflage. Heidelberg: Springer Verlag, 2017.
- Sustainability First and Engage Consulting Limited (2008): International Smart Meter Trial Selected Case Studies Smart Tariffs and Customer Stimuli, URL: <http://www.sustainability-first.org.uk/publications.htm>, abgerufen am 28.01.2011.
- Shao, S.; Pipattanasomporn, M.; Rahman, S. (2009): Challenges of PHEV penetration to the residential distribution network, in: IEEE PES General Meeting 1-8.

-
- Sharma, I.; Canizares, C.; Bhattacharya, K. (2014): Smart Charging of PEVs Penetrating into Residential Distribution Systems, in: IEEE Transactions on Smart Grid, 5, 1196-1209.
- Short, W.; Denholm, P. (2006): A preliminary assessment of plug-in hybrid electric vehicles on wind energy markets, National Renewable Energy Laboratory; Technical report NREL/TP-620-39729, URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39729.pdf>, abgerufen am 30.04.2019.
- Skjølsvold, T.M.; Jørgensen, S.; Ryghaug, M. (2017): Users, design and the role of feedback technologies in the Norwegian energy transition: An empirical study and some radical challenges, in: Energy Research & Social Science, 25 (2017), 1–8.
- Snape, J.R.; Rynikiewicz, C. (2012): Peer effect and social learning in micro-generation adoption and urban smarter grids development? Network Industries Quarterly, 14 (2&3), pp.24–27.
- Sonnenschein, M.; Rapp, B.; Bremer, J. (2010): Demand Side Management and Demand Response. Hg. v. EW Medien und Kongresse GmbH. Frankfurt/ Main.
- Sood, Ashish; Tellis, Gerard J. (2005): Technological Evolution and Radical Innovation. In: The Journal of Marketing, 69 (3), S. 152-168.
- Sorrell, S.; Dimitropoulos, J.; Sommerville, M. (2009): Empirical estimates of the direct rebound effect: A review, in: Energy Policy, 37 (2009), 1356-1371.
- Stamminger, R.; Anstett, V. (2013): Effectiveness of demand side management by variable energy tariffs in the households – results of an experimental design with a fictive tariff model, in: Proceedings ECEEE 2013 Summer Study on Energy Efficiency, Toulon/Hyères, France 2013.
- Stecherle, P.; Brandes, J.; Heilig, J.; Wrede, D.; Kost, C.; Schlegl, T.; Bett, A.; Henning, H. (2020): Wege zu einem klimaneutralen

-
- Energiesystem – Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen. Studie des Fraunhofer ISE. URL: Studie: Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem - Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen (fraunhofer.de), abgerufen am 28.03.22.
- Steinmann, T. (2015): Wind wird teurer für Stromkunden, in: Capital, 08/2015, S.11.
- Stirling, A. (2014): Transforming power: Social science and the politics of energy choices, in: Energy Research & Social Science 1, 83–95.
- Straub, Evan T. (2009): Understanding Technology Adoption: Theory and Future Directions for Informal Learning. In: Review of Educational Research, 79 (2), S. 625-649.
- Stromback, J.; Dromacque, C.; Yassin, M. H. (2011): The potential of smart meter enabled programs to increase energy and system efficiency – a mass pilot comparison, in: VaasaETT Global Energy Think Tank.
- Thøgersen, J.; Haugaard, P.; Olesen, A. (2011): Consumer responses to ecolabels, in: European Journal of Marketing, Vol. 44, Issue: 11/12, 1787-1810.
- Tiwari, R.; Cervero, R., Schipper, Lee, 2011. Driving CO2 reduction by integrating transport and urban design strategies. Cities 28 (5), 394–405.
- TNS Emnid (2015): Bevölkerungsbefragung zum Thema Smart Metering; URL: <http://www.vzvb.de/pressemitteilung/smart-meter-verbraucher-lehnen-zwangsdigitalisierung-ab>, abgerufen am 23.08.2017.
- Torralba-Díaz, L.; Schimeczek, C.; Reeg, M.; Savvidis, G.; Deissenroth-Uhrig, M.; Guthoff, F.; Fleischer, B.; Hufendiek, K. (2020): Identification of the Efficiency Gap by Coupling a Fundamental

Electricity Market Model and an Agent-Based Simulation Model, in: *Energies* 2020, 13(5), 3920.

Torriti, J.; Hassan, M. G.; Leach, M. (2010): Demand response experience in Europe: policies, programmes and implementation, in: *Energy*, 35, 4, 1575–1583.

EU (2009): 2020 climate & energy package, European Commission, URL: http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020/index_en.htm, abgerufen am 05.11.2015.

UNFCCC (1998): KYOTO PROTOCOL TO THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, URL: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>, abgerufen am 05.11.2015.

UNFCCC (2014): Status of Ratification of the Kyoto Protocol, URL: http://unfccc.int/kyoto_protocol/status_of_ratification/items/2613.php, abgerufen am 28.12.2014.

UNFCCC (2016): Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, URL: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>, abgerufen am 20.08.2018.

Vahs, D.; Brem, A. (2015): *Innovationsmanagement*, 5. überarb. Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschel.

van Acker, V.; Witlox, F. (2010): Car ownership as a mediating variable in car travel behaviour research using a structural equation modelling approach to identify its dual relationship, in: *Journal of Transport Geography* 18(1), 65–74.

van Westendorp, P. (1976): NSS-Price Sensitivity Meter (PSM). A new approach to study consumer perception of price, in: *Proceedings of the 29th ESOMAR Congress*, S. 139-167.

van Dam, S. S.; Bakker, C. A.; van Hal, J. D. M. (2010): Home energy monitors: impact over the medium term, in: Building Research & Information, 38, S. 458-469.

VDE (2009): Energiespeicher in Stromversorgungssystemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energieträger: Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf. Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., Frankfurt a M.

VDE (2013): Die deutsch Normungsroadmap Smart Home & Building, VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V, Frankfurt 2013, URL: <http://www.dke.de/de/Documents/Deutsche%20Normungs-Roadmap%20Smart%20Home%20+%20Building.pdf>, abgerufen am 21.11.2015.

Venkatesh, Viswanath; Morris, Michael G.; Gordon B. Davis; Davis, Fred D. (2003): User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. In: Management Information Systems Quarterly, 27 (3), S. 425-478.

Verbong, G.P.J.; Beemsterboer, S.; Sengers, F. (2013): Smart grids or smart users? Involving users in developing a low carbon electricity economy, in: Energy Policy, 52, 117-125.

VLOTTE (2016): Projekt VLOTTE – Modellregion für E-Mobilität: Produkte. URL: <https://www.vlotte.at/inhalt/at/430.htm>, abgerufen am 08.09.2016.

Vries, P. de; Aarts, H.; Midden, C. (2011): Changing Simple Energy-Related Consumer Behaviors: How the Enactment of Intentions Is Thwarted by Acting and Non-Acting Habits, in: Environment and Behavior, September 2011 (43), 612-633.

Waddington, C. H. (1973): O.R. in World War 2 – Operational Research against the U-boat. Paul Eleck Ltd., London.

Wallentowitz, H; Freialdenhoven, A. (2011): Schlüsseltechnologien für Elektrofahrzeuge und deren Dimensionierung. Strategien

-
- zur Elektrifizierung des Antriebsstranges. 90-138. Vieweg + Teubner Verlag; Wiesbaden 2011.
- Walsh, G.; Deseniss, A.; Kilian, T. (2009): Marketing – eine Einführung auf der Grundlage von Case Studies, Springer 2009.
- Wang, J.; Liu, C.; Ton, D.; Zhou, Y.; Kim, J.; Vyas, A. (2011): Impact of plug-in hybrid electric vehicles on power systems with demand response and wind power, in: Energy Policy 39, 4016–4021.
- Wang, J.; Zhang, B.; Yin, J.; Zhang, Y. (2011): Determinants and policy implications for household electricity-saving behaviour: Evidence from Beijing, China, in: Energy Policy 39, 3550–3557.
- Webster Jr. F. E.; Wind, Y. (1972): A General Model for Understanding Organizational Buying Behavior, in: Journal Of Marketing, 36(2), 12-19.
- Wellinghoff, J.; Morenoff, D.L. (2007): Recognizing the importance of demand response: the second half of the wholesale electric market equation, in: Energy Law Journal 28(2), 389–419.
- Whitehead, J.; Plötz, P.; Jochem, P.; Sprei, F.; Dütschke, E. (2021): Policy Instruments for Plug-In Electric Vehicles: An Overview and Discussion, International Encyclopedia of Transportation, 496-502.
- Wietschel, M.; Dütschke, E.; Funke, S.; Peters, A.; Plötz, P. et al. (2012): Kaufpotenzial für Elektrofahrzeuge bei sogenannten „early adoptern“. Endbericht einer Studie im Auftrag des BMWi. URL: http://isi.fraunhofer.de/isimedia/docs/e/de/publikationen/Schlussbericht_Early_Adopter.pdf, abgerufen am: 01.07.2012
- Wilhite, H., Ling, R. (1995): Measured energy savings from a more informative energy bill, in: Energy and Buildings, 22, 145–155.

-
- Wölfel, M. (2013): Digitalstrom-Konzept, in: PC-Magazin, URL: <http://www.pc-magazin.de/ratgeber/digitalstrom-konzept-1467819.html>, abgerufen am 16.08.2017.
- Wulff, N.; Steck, F.; Gils, H.; Hoyer-Klick, C.; van den Adel, B.; Anderson, J. (2020): Comparing Power-System and User-Oriented Battery Electric Vehicle Charging Representation and Its Implications on Energy System Modeling, in: *Energies* 2020, 13(5), 1093.
- Xu, L.; Yilmaz, H.Ü.; Wang, Z.; Pogonietz, W.R.; Jochem, P. (2020): Greenhouse Gas Emissions of Electric Vehicles in Europe: A Scenario Analysis with High Shares of Renewable Energies Considering Different Charging Strategies, *Transportation Research Part D* 87, 102534.
- Young, W., Hwang, K., McDonald, S., Oates, C.J., 2010. Sustainable consumption: green consumer behavior when purchasing products. *Sustain. Dev.* 18, 20–31.
- Zenke, I.; Wollschläger, S.; Eder, J. (2014): *Preise und Preisgestaltung in der Energiewirtschaft*. Becker Büttner Held: Berlin 2014.
- Zhang, Q.; Tezuka, T.; Ishihara, K. N.; Mclellan, B. C. (2012): Integration of PV power into future low-carbon smart electricity systems with EV and HP in Kansai Area, Japan, in: *Renewable Energy*, 44, 99-108.
- Zhuk, A.; Zeigarnik, Y.; Buzoverov, E.; Sheindlin, A. (2016): Managing peak loads in energy grids: Comparative economic analysis, in: *Energy Policy*, 88, 39-44.
- Ziesing, H.-J. (2017): Entwicklung der CO₂-Emissionen in Deutschland 2017, in: *et – energiewirtschaftliche tagesfragen*, 6/2017, 67-76.

Ziesing, H.-J. (2020): Die weltweiten CO₂-Emissionen 2019 vor Ausbruch der Corona-Pandemie, in: et- energiewirtschaftliche tagesfragen, 10/2020, 64-74.

Zimmermann, H.-J. (2008): Operations research – Methoden und Modelle. Vieweg: Wiesbaden.

ZIV (2017): Marktdaten 2016, Präsentation und Pressemitteilung anlässlich der Pressekonferenz zum Fahrradmarkt 2016, URL: <http://ziv-zweirad.de/presse/marktdaten/detail/article/marktdaten-2014>, abgerufen am 17.08.2017.

ZIV (2015): Marktdaten 2014, Präsentation und Pressemitteilung anlässlich der Pressekonferenz zum Fahrradmarkt 2016, URL: https://ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/Marktdaten/PK_2015-ZIV_Praesentation_18.03.2015_o.T.pdf, abgerufen am 17.08.2017.

Anhang

Fragebögen zur Studie mit potenziellen Nutzern (Kapitel 6)

Anfangsfragebogen

Anfangsfragebogen
Workshop Smart Home Meneghini

Anfangsfragebogen

Sie werden von uns vor und nach dem Workshop einen kurzen Fragebogen erhalten. Um diese beiden Fragebogen einander zuordnen zu können, bitten wir Sie um die Angabe Ihres Namens.

Name

Geme würden wir etwas mehr über Ihre Lebenssituation erfahren
Wohnen Sie

- alleine
- mit Partner/in bzw. mit Familie
- in einer Wohngemeinschaft

Wenn Sie nicht alleine wohnen:

Wie viele Personen leben ständig in Ihrem Haushalt? _____
davon sind

- _____ Kinder und Jugendliche (unter 18 Jahren)
- _____ erwachsen (d.h. über 18 Jahre)

Wie viele Personen Ihres Haushalts sind berufstätig?

- _____ Personen Vollzeit
- _____ Personen Teilzeit

Nun möchten wir gern von Ihnen wissen, wie Sie die folgenden Punkte einschätzen.

Welche der folgenden Themen sind Ihrer Meinung die beiden wichtigsten Herausforderungen unserer Zeit? Bitte kreuzen Sie diese an.

- Arbeitslosigkeit
- Kriminalität
- Gesundheitssystem
- Wirtschaftliche Entwicklung
- Umwelt

Was ist Ihre Meinung zu technischen Neuerungen im Allgemeinen?

- Ich probiere gerne technische Neuerungen aus.
- Ich warte ab, bis andere damit Erfahrungen gemacht haben.
- Ich bleibe in der Regel lieber bei dem Bewährten.

Alexandra-Gwyn Paetz (IP-KIT)
smarhome@forschung.kit.edu

Anfangsfragebogen
Workshop Smart Home Mergelmodell

	Trifft gar nicht zu							Trifft sehr zu
Arbeitsplätze sind wichtiger als Umweltschutz.	<input type="checkbox"/>							
Umweltschutz und Wirtschaftswachstum lassen sich gut vereinbaren.	<input type="checkbox"/>							
Neue Technologien werden die Umweltprobleme lösen.	<input type="checkbox"/>							
Umweltschutz und Energiesparen bedeuten Komfortverzicht.	<input type="checkbox"/>							
Um Energie zu sparen, muss man seinen Lebensstil ändern.	<input type="checkbox"/>							
Als Privathaushalt kann man wenig zum Energiesparen beitragen.	<input type="checkbox"/>							

Wie schätzen Sie ganz allgemein Ihren Haushalt ein: Bemüht man sich, Energie zu sparen?

- Wir tun alles, was wir können.
- Wir tun viel, könnten aber etwas mehr tun.
- Wir tun etwas, könnten aber wesentlich mehr tun.
- Wir tun wenig, haben aber auch wenige Möglichkeiten.
- Wir kümmern uns wenig darum.

Was tut Ihr Haushalt, um Energie zu sparen?

Abschlussfragebogen

Anfangsfragebogen
Workshop Smart Home Messgrößen

Abschlussfragebogen

Danke für Ihre Teilnahme an dem Workshop. Bitte geben Sie Ihren Namen an, damit wir Ihre Fragebögen einander zuordnen können.

Name

Was war Ihr Gesamteindruck von der im Laufe der Gruppe dargestellten Lebenssituation?

	Trifft gar nicht zu					Trifft sehr zu
Ich kann mir gut vorstellen mit entsprechender Technik in meinem Haushalt zu leben.	<input type="checkbox"/>					
Ich hätte gerne einen variablen Stromtarif.	<input type="checkbox"/>					
Die „intelligenten“ Haushaltsgeräte hätte ich gerne auch zu Hause.	<input type="checkbox"/>					
Einen genaueren Einblick in meinen Stromverbrauch fände ich sehr hilfreich.	<input type="checkbox"/>					

Wie sieht ein optimaler Stromtarif für Sie aus?

Für wie lange sollten die Preise je Kilowattstunde (ct/kWh), d.h. der Verbrauchspreis, mindestens gültig sein?	<input type="checkbox"/> für einen Tag
	<input type="checkbox"/> für eine Woche
	<input type="checkbox"/> für einen Monat
	<input type="checkbox"/> für ein Quartal
	<input type="checkbox"/> für ein Jahr
Wie viele unterschiedliche Tarifstufen pro Tag (ct/kWh) würden Sie bevorzugen?	<input type="checkbox"/> gleichbleibender Preis
	<input type="checkbox"/> zwei Stufen (z.B. Tag und Nacht)
	<input type="checkbox"/> drei Stufen
	<input type="checkbox"/> vier Stufen
Wie würden Sie die Informationen über den aktuell geltenden Tarif gerne erhalten?	<input type="checkbox"/> Display / Smart-Meter in der Wohnung
	<input type="checkbox"/> Onlineportal (z.B. am Computer, Smartphone)
	<input type="checkbox"/> Telefontolline
	<input type="checkbox"/> SMS
	<input type="checkbox"/>

Alexandra-Gwyn Paetz (IIP-KIT),
smarthome@forschung.kit.edu

Anfangsfragebogen
Workshop Smart Home Miesgolszell

Welcher Grund spricht aus Ihrer Sicht am ehesten für variable Stromtarife? Die Möglichkeit, Energie zu sparen.
 Die Möglichkeit, Geld zu sparen.
 Die Förderung erneuerbarer Energien.
 Nichts.

Wenn der durchschnittliche Preis für eine kWh bei 20 ct liegt, welchen Schwankungsbereich des Preises je kWh fänden Sie innerhalb eines variablen Tarif

... angemessen und sinnvoll? Untere Preisgrenze ____ ct/kWh
Obere Preisgrenze ____ ct/kWh
... zu hoch, um noch akzeptabel zu sein? Untere Preisgrenze ____ ct/kWh
Obere Preisgrenze ____ ct/kWh
... zu niedrig, um bedeutsam zu sein (z.B. für Verhaltensanpassungen an den Tarif)? Untere Preisgrenze ____ ct/kWh
Obere Preisgrenze ____ ct/kWh

Wie bedeutsam ist Ihnen eine Preisersparnis durch die neuen Tarife?

- Wie hoch sollte die Reduktion der Stromkosten im Jahr mindestens ausfallen, damit Sie sich für einen variablen Tarif entscheiden würden?
€ _____
- Wie hoch sollte die durchschnittliche Reduktion der Stromkosten im Jahr ausfallen, damit Sie sich für einen variablen Tarif entscheiden würden?
€ _____
- Was wäre für Sie eine hohe Reduktion der Stromkosten, die Sie von variablen Tarifen überzeugen würde?
€ _____

Können Sie sich vorstellen, ein Elektro- bzw. Hybridfahrzeug zu kaufen? („Hybridautos“ sind Fahrzeuge, die sowohl einen Elektro- als auch einen Verbrennungsmotor haben.)

- Ich fahre bereits ein solches Fahrzeug.
 Ja, auch schon bald.
 Ja, wenn die Technologie ausgereifter ist.
 Eher ja, aber ein Fahrzeugkauf steht bei mir nicht an.
 Eher nein, ich bin skeptisch, ob sich die Technologie überhaupt durchsetzt.
 Nein.

Herzlichen Dank für Ihre Teilnahme!

Alexandra-Gwyn Paetz (IIP-KIT),
smarthome@forschung.kit.edu

Themenkatalog Fokusgruppen

Themenkatalog: Variable Tarifmodelle / Steueroptionen



Themenkatalog:

Variable Tarifmodelle und Steueroptionen

Inhalt

1. Begrüßung und Einführung (ca. 15 Min) – 16:15 Uhr	2
2. Allgemeine Hinführung zum Thema Strom (ca. 15 Min) – 16:30 Uhr	3
3. Variable Tarife (ca. 45 min) – 16:45 Uhr	4
a. Zeitvariable Tarife	4
b. Mobilität (Exkurs/optional).....	6
c. Lastvariable Tarife (optional).....	6
d. Intelligenter Zähler.....	7
4. Steuerung (ca. 30 Min) – 17:30 Uhr	8
a. Intelligente Haushaltsgeräte.....	8
b. Automatische Steuerung	9
5. Angebote (ca. 20 Min) – 18:00 Uhr.....	10
6. Schlussrunde (ca. 15 Min) – 18:20 Uhr.....	10

Themenkatalog: Variable Tarifmodelle / Steueroptionen

1. Begrüßung und Einführung (ca. 15 Min) – 16:15 Uhr

- Ablauf der Gruppe erklären
 - Technik/Aufnahmegereäte
 - Datenschutz
 - Namenskärtchen
 - Zuschauer/Hiwi's
 - Rollenverteilung Moderatoren
 - Regeln (Essen, Trinken, Handy, etc.)

- Thema
 - *Unsere Gruppendiskussion heute dreht sich um das Thema Strom in Ihrem persönlichen Umfeld, also zu Hause. Daher interessiert uns bei allen Fragen Ihre persönliche Meinung. Wir werden nicht nur diskutieren, sondern wir werden Ihnen interaktiv auch Einiges dazu in diesem Haus demonstrieren.*

- Kurze Vorstellung der Moderatoren und Teilnehmer
 - Vorname, Studium/Beruf

2. Allgemeine Hinführung zum Thema Strom (ca. 15 Min) – 16:30 Uhr

- Freie Assoziationen zum Stichwort „Strom“:
Was verbinden Sie mit dem Thema Strom? / Was fällt Ihnen als erstes zum Thema Strom ein?
 - Umschreibungen, Vorstellungen, Kommentare
 - Adjektive (Strom ist...), Verben (Strom ...)
- Kenntnis über Anbieter / Tarif / Verbrauch
 - Wer kennt seinen Stromanbieter? Wie haben Sie diesen ausgewählt? Haben Sie schon mal aktiv Ihren Anbieter gewechselt?
 - Wissen Sie in welchem Stromtarif Sie sind? Kennen Sie die groben Details, wie bspw. den Preis? Gibt es andere Merkmale, auf die Sie bei der Auswahl Ihres Tarifs geachtet haben? Wenn Sie jetzt die Möglichkeit zum Wechsel hätten, würden Sie einen neuen Tarif wählen? Wenn ja, nach welchem Kriterium?
 - Achten Sie auf Ihren Verbrauch? Inwiefern? Warum/Warum nicht? Wer in Ihrem HH kontrolliert den Verbrauch?
- Folie mit Beispieltarif der SW KA
 - Wir sehen hier einige Tarife der Stadtwerke Karlsruhe. Jeder Tarif besteht aus zwei Modulen: der monatliche Grundpreis (ähnlich zur Grundgebühr im Mobilfunk) sowie der Arbeitspreis pro kWh (ähnlich zum Minutenpreis im Mobilfunk). Nach diesem Schema sind in Deutschland die meisten Tarife der meisten Anbieter aufgebaut.



- Gibt es hierzu Fragen?
- Wünsche/Innovation
 - Mit welchem Angebot/Tarif könnte Sie Ihr Stromanbieter positiv überraschen? Warum?
 - Welches Angebot würden Sie sich wünschen?

2. Allgemeine Hinführung zum Thema Strom (ca. 15 Min) – 16:30 Uhr

- Freie Assoziationen zum Stichwort „Strom“:
Was verbinden Sie mit dem Thema Strom? / Was fällt Ihnen als erstes zum Thema Strom ein?
 - Umschreibungen, Vorstellungen, Kommentare
 - Adjektive (Strom ist...), Verben (Strom ...)
- Kenntnis über Anbieter / Tarif / Verbrauch
 - Wer kennt seinen Stromanbieter? Wie haben Sie diesen ausgewählt? Haben Sie schon mal aktiv Ihren Anbieter gewechselt?
 - Wissen Sie in welchem Stromtarif Sie sind? Kennen Sie die groben Details, wie bspw. den Preis? Gibt es andere Merkmale, auf die Sie bei der Auswahl Ihres Tarifs geachtet haben? Wenn Sie jetzt die Möglichkeit zum Wechsel hätten, würden Sie einen neuen Tarif wählen? Wenn ja, nach welchem Kriterium?
 - Achten Sie auf Ihren Verbrauch? Inwiefern? Warum/Warum nicht? Wer in Ihrem HH kontrolliert den Verbrauch?
- Folie mit Beispieltarif der SW KA
 - Wir sehen hier einige Tarife der Stadtwerke Karlsruhe. Jeder Tarif besteht aus zwei Modulen: der monatliche Grundpreis (ähnlich zur Grundgebühr im Mobilfunk) sowie der Arbeitspreis pro kWh (ähnlich zum Minutenpreis im Mobilfunk). Nach diesem Schema sind in Deutschland die meisten Tarife der meisten Anbieter aufgebaut.



The image shows a screenshot of a website displaying electricity tariffs. It includes a table with columns for 'Grundpreis' (Basic Price) and 'Arbeitspreis' (Working Price) per kWh. There are also small photos of people and logos of energy providers.

- Gibt es hierzu Fragen?
- Wünsche/Innovation
 - Mit welchem Angebot/Tarif könnte Sie Ihr Stromanbieter positiv überraschen? Warum?
 - Welches Angebot würden Sie sich wünschen?

3. Variable Tarife (ca. 45 min) - 16:45 Uhr

- Freie Assoziation: Ein Thema, über das wir heute mit Ihnen reden wollen, ist das Thema variable Stromtarif.
 - Sagt Ihnen das Stichwort ‚variable Tarife‘ etwas?
 - Was stellen Sie sich darunter vor?
- a. Zeitvariable Tarife
- Einführung variable Tarife
 - Ähnlich wie beim Festnetztelefon, wo die Preise je nach Wochentag und Tageszeit variieren, wird derzeit über zeitvariable Tarife im Stromsektor diskutiert. Es handelt sich dabei um einen Tarif, bei dem der Strom je nach Tageszeit einen anderen Preis hat. Wir möchten Ihnen das am Display zeigen.
- Erläuterung HT/NT Tarif
 - Vielleicht kennen Sie den Tages- und Nachttarif? Die Stadtwerke Karlsruhe bieten diesen an und sollten Sie nach eine Nachtspeicherheizung besitzen, dann haben Sie bestimmt auch diesen Tarif. Trifft das auf jemanden von Ihnen zu? Dieser Tarif ist zweistufig, d.h. es gibt eine Preisstufe, die tagsüber gilt und eine Preisstufe, die über Nacht gilt. In unserem Beispiel sind die Grenzen bei 08.00Uhr und 20.00 Uhr.
 - Haben Sie Fragen hierzu? Falls jemand den Tarif hat. Warum haben Sie diesen? Inwieweit berücksichtigen Sie diesen? Waschen Sie dann bspw. nachts?
 - Hat sich jemand den Wechsel in einen solchen Tarif überlegt und nicht vollzogen? Falls ja, warum?
- Erläuterung 3-stufiger Tarif (MeRegio Tarif)
 - In diesem Beispiel möchten wir Ihnen einen Tarif mit drei Stufen vorstellen. Diese liegen bei 15 Ct/kWh, 20 Ct/kWh und 25 Ct/kWh. Im Vergleich zu den festen Zeitzonen beim Tages-/Nachttarif, können sich die Zeitzonen, zu denen diese drei Preisstufen gelten ändern. 24 h im Voraus werden diese Zeitzonen angezeigt.
 - Haben Sie Fragen hierzu?
- Allgemeine Beurteilung HT/NT-Tarif
 - Nach Demonstration von zwei verschiedenen zeitvariablen Tarifen, würde mich Ihr erster Eindruck interessieren. Fangen wir mit dem HT/NT-Tarif an. Wie ist Ihr erster Eindruck?
 - Was finden Sie vorteilhaft? Warum?
 - Wo sehen Sie Nachteile im Vgl. zum heutigen Einheitstarif? Warum?
- Allgemeine Beurteilung MeRegio-Tarif
 - Wenden wir uns dem dreistufigen Tarif zu. Wie ist hier Ihr erster Eindruck?
 - Was finden Sie vorteilhaft? Warum?
 - Wo sehen Sie Nachteile im Vgl. zum heutigen Einheitstarif? Warum?

Themenkatalog: Variable Tarifmodelle / Steueroptionen

- Wie würden Sie diesen im Vgl. zum HT/NT-Tarif sehen?
- Wenn Sie jetzt wieder die Wahl hätten Ihren aktuellen Tarif zu wechseln, würden Sie einen zeitvariablen Tarif in Erwägung ziehen? Welchen? Warum/Warum nicht?
- **Integration in Alltag**
 - Stellen Sie sich vor, Sie hätten einen zeitvariablen Tarif. Inwieweit würde dies Ihren Alltag verändern? Warum?
 - Welche Arbeiten/Aktivitäten würde dies betreffen?
 - Zu welchen Uhrzeiten?
 - Wenden wir uns dem Fallbeispiel Spülmaschine zu:
 - Wann schalten Sie diesen in der Regel an?
 - Um wie viel Stunden/Minuten wären Sie bereit den Einsatz der Spülmaschine zu verlegen?
 - Zeitlich vor- oder nachverlegen?
 - Wie lange würden Sie Ihre Reaktionsbereitschaft aufrecht erhalten?
Sprich: sich nicht nur das Spülen nachts anzugewöhnen, sondern ggbf. sich täglich anzupassen?
 - [Kosten bei 1,3kWh und Einsatz 6"Woche: pro Waschgang 20Ct, 26Ct, 33Ct → pro Woche: 1,20€; 1,56€; 1,98€ → pro Jahr: 62,40€; 81,12€; 102,96€]
 - In wieweit würde sich das Verhalten der übrigen Mitglieder in Ihrem Haushalt verändern?
 - Würden Sie auch langfristig Ihr Verhalten anpassen? Warum?
 - Unter welchen Umständen/Gegebenheiten würden Sie Ihr Verhalten anpassen?
- **Optimierkriterien**
 - Einige von Ihnen sagten, dass Sie bereit seien, Ihr Verhalten anzupassen. Welche Kriterien spielen für Sie dabei eine Rolle? Warum?
 - Gibt es neben Preisersparnis noch weitere Optimierkriterien?
 - Die Zeitzonen für die Preise hängen u.a. von der Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien ab. Wenn der Wind bspw. weht, steht besonders viel Windenergie zur Verfügung, so dass in dieser Zeitzone die Preise sinken würden. Wäre für Sie Ökologie ein Anreiz Ihr Verhalten anzupassen? Auch langfristig?
 - Von all diesen genannten Kriterien: welches würde wahrscheinlich am langfristigsten wirken?
 - Falls Preis: Was wäre eine angemessene Preisersparnis? (absolute Beträge oder %-Angaben, evtl. mit Bezug zum Tarif der SW Karlsruhe)
- **Verhaltensänderung**
 - Welche zusätzlichen Effekte könnten eine Verhaltensänderung bei Ihnen bzw. Ihren HH-Mitgliedern verstärken? (Bsp: Feedback über Sparverhalten in der Nachbarschaft, regelmäßige Information, Prämien, ...)
- **Kommunikation / Information**

5

Themenkatalog: Variable Tarifmodelle / Steueroptionen

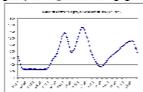
- o Wenn Sie sich nun nochmal vorstellen, dass Sie in einem zeitvariablen Tarif sind. Welche Informationen wären für Sie hilfreich?
- o Welche Informationen wären für die HH-Mitglieder hilfreich?
- o Welche Informationen würden eine Verhaltensveränderung verstärken?
- o Zu welchen Zeitpunkten würden Sie sich diese Information wünschen? Wie viel Zeit im Voraus? Mit welcher Regelmäßigkeit?
- o Wer sollte in Ihrem Haushalt diese Informationen erhalten? Sollte sie für jeden sichtbar sein?
- o Wie würden Sie am liebsten informiert werden? (Internet, Email, Post, Display, SMS, ...)

b. Mobilität (Exkurs/optional)

- Wir haben uns vorher über die allgemeinen Haushaltsgeräte unterhalten, über die Spülmaschine im Besonderen. Nun stellen Sie sich bitte vor, Ihr Auto würde anstatt mit Benzin mit Strom fahren. Das heißt Sie müssten es an der Steckdose laden. Inwieweit würden Sie Ihre Mobilität an zeitvariable Strompreise anpassen?
- Welche Fahrten würde dies betreffen?
- Würde dies Ihre Mobilität verändern? Inwieweit?
- Würde sich das Verhalten anderer HH-Mitglieder verändern?
- Bsp: Wie viel kostet eine Ladung im HT/NT-Tarif (Batterie mit 30kWh): NT 5,70 €, HT 6,60 €

c. Lastvariable Tarife (optional)

- Wir haben uns bisher über zeitvariable Tarife unterhalten, die sich je nach Zeitzone unterscheiden können. Denkbar wären auch Tarife, die je nach Leistung oder Verbrauch variieren. In diesem Schaubild sehen wir eine typische Lastkurve für einen 3 Personen Haushalt (~3.910 kWh) im Winter. Zur Mittagszeit, wenn viele Verbraucher eingeschaltet sind, liegt diese Kurve höher als in der Nachtzeit. Nun wäre es denkbar, dass es einen Tarif gebe, der in „Lastzonen“ gegliedert ist. Bspw. 19Ct. für unter 1,2 kW und 25Ct. Ab 1,2 kW.



- Eine weitere Möglichkeit ist die Staffelung der Preise nach dem Verbrauch: bspw. kosten die ersten 1.000 kWh 16Ct/kWh, die nächsten 500 kWh 19 Ct/kWh, etc.

0 kWh - 1.000 kWh	16Ct
1.000 kWh - 1.500 kWh	19Ct
1.500 kWh - 2.000 kWh	25Ct
2.000 kWh - 2.500 kWh	30Ct
2.500 kWh - 3.000 kWh	35Ct

Themenkatalog: Variable Tarifmodelle / Steueroptionen

- *Wie fällt Ihr erstes Urteil über sogenannte lastvariable Tarife? Was ist positiv? Was ist negativ?*
- *Welche Informationen bräuchten Sie, damit Sie Ihr Verbrauch diesem lastvariablen Tarif anpassen würden?*
- *Welchen Tarif würden Sie bevorzugen? Warum?*

d. Intelligenter Zähler

- *Um Transparenz über den eigenen Verbrauch zu schaffen, gibt es neuartige digitale Zähler, sog. Smart Meter. Haben Sie diesen Begriff schon mal gehört? Können Sie diesen irgendwie zuordnen?*
- *Wir möchten Ihnen gerne einmal diesen Smart Meter demonstrieren. Er zeigt in Echtzeit den Verbrauch bzw. Lastverlauf im Haushalt an. Wenn wir jetzt die Kaffeemaschine anschalten, dann sehen wir, wie die Lastkurve nach oben schellt. Diese Anzeige kann im Internet oder über ein Display – wie in unserem Fall – angezeigt werden.*
- *Was halten Sie von derartigen Zählern?*
- *Wie oft würden Sie auf diese Anzeige schauen?*
- *Würden sich auch andere HH-Mitglieder dafür interessieren?*
- *In welchen Situationen würden Sie besonders häufig auf den Lastverlauf achten?*
- *Wie würde ein solcher Zähler Ihren Alltag verändern?*
- *Glauben Sie, ein solcher Zähler würde Ihr Stromverhaltensverhalten beeinflussen?*
- *Inwieweit würde Ihnen dieser Zähler helfen, Ihren Verbrauch an einen zeitvariablen Tarif anzupassen?*
- *Inwieweit würde Ihnen dieser Zähler helfen, Ihren Verbrauch an einen lastvariablen Tarif anzupassen?*
- *Stellen Sie sich bitte nun wieder vor, Sie könnten jetzt Ihren Tarif wechseln. Würden Sie den Wechsel in einen variablen Tarif in Erwägung ziehen, wenn Sie diesen Zähler dazubekämen?*

4. Steuerung (ca. 30 Min) - 17:30 Uhr

a. Intelligente Haushaltsgeräte

- *Wir haben uns bisher darüber unterhalten, wie Sie Ihr Verhalten ändern würden, wenn Sie einen variablen Tarif hätten. Einige sagten schon, dass sie Ihr Verhalten langfristig eher nicht ändern würden. Nun möchten wir mit Ihnen über die Möglichkeit sprechen, dass nicht Sie aktiv sich anpassen müssten, sondern dass Ihre Haushaltsgeräte automatisch auf günstige Preise reagieren würden.*
- Allgemeine Bewertung
 - Was halten Sie grundsätzlich von dieser Möglichkeit?
 - Welche Vorteile könnte dies mit sich bringen?
 - Welche Ängste?
- Demonstration am Display – Spülmaschine läuft automatisch in der „grünen“ Zeit an
 - Glücklicherweise ist diese Küche mit intelligenten Geräten ausgestattet. Wir möchten Ihnen demonstrieren, wie die Spülmaschine nun automatisch anläuft. Auf dem Display ist zunächst zu erkennen, dass wir uns aktuell um 17:30Uhr in einer Hochpreisphase befinden. Wenn ich nun die Spülmaschine vorbereite, wird sie nicht sofort anlaufen, sondern vom Steuersystem für 18:00Uhr eingeplant. Im Zeitraffer lassen wir nun die Uhrzeit vorlaufen und müssten gleich um 18:00Uhr hören/sehen, wie die Spülmaschine anläuft. Im Vorfeld habe ich dem System mitgeteilt, dass sie bis zu 30Min. mit dem Beginn des Spülganges warten darf. Diesen Freiheitsgrad hat das Steuersystem auch genutzt.
- Alltagsintegration
 - Zu welchen Anlässen wäre eine derartige automatische Steuerung praktisch? Warum?
- Geräte
 - Welche Geräte in Ihrem Haushalt würden Sie am wahrscheinlichsten für ein intelligentes Haushaltsgerät austauschen? Warum?
 - Bei welchen Geräten würden Sie lieber konventionelle Haushaltsgeräte präferieren?
 - Wie viel mehr als ein konventionelles Haushaltsgerät, dürfte das intelligente Pendant kosten?
 - [Miele@home ca. 1.800€, vgl. 1.500€ → 20%]

b. Automatische Steuerung

- Sie haben nun die Möglichkeit der automatischen Ansteuerung von Geräten kennengelernt. Grundsätzlich gibt es drei Formen, wie die Steuerung ablaufen könnte: *Manuell, Automatisch nach manuellen Voreinstellungen, Automatisch ferngesteuert* bspw. durch Ihren Stromanbieter.


Das Diagramm zeigt einen zentralen Computer-Symbol, der mit einem Smartphone verbunden ist. Ein Pfeil zeigt von dem Smartphone zu einem Haus-Symbol, das einen Smart Meter enthält. Ein weiterer Pfeil zeigt von dem Smart Meter zu einem Smart Plug, der an einen Fernseher angeschlossen ist. Dies illustriert den Prozess der ferngesteuerten Ansteuerung von Haushaltsgeräten über ein Mobilgerät.
- Bei welcher Option sehen Sie die meisten Vorteile für sich? Welche? Warum?
- Mit welchen Nachteilen sind die übrigen Optionen belastet? Warum?
- Welche Informationen würden Sie von Ihrem Stromanbieter erhalten wollen, wenn er für Sie die Verbrauchsoptimierung übernehmen würde? Warum? Hätten Sie Bedenken, diese Möglichkeit zu nutzen?
- Stellen Sie sich bitte nun wieder vor, Sie könnten jetzt Ihren Tarif wechseln. Würden Sie den Wechsel in einen variablen Tarif in Erwägung ziehen, wenn der Versorger für Sie Ihren Verbrauch optimieren also steuern würde? Warum? Warum nicht?
- Stellen Sie sich bitte nun wieder vor, Sie könnten jetzt Ihren Tarif wechseln. Würden Sie den Wechsel in einen variablen Tarif in Erwägung ziehen, wenn Sie ein intelligentes Haushaltsgerät dazubekämen?
- Anreize und Schmerzgrenzen
 - Unter welchen Umständen würden Sie sich für eine manuelle / halb-automatische / automatische Steuerung entscheiden? Warum?
 - Nehmen wir nun an, dass Sie weiterhin Ihren bisherigen Tarif haben. Welche monatliche Vergütung halten Sie für angemessen, wenn Ihr Stromanbieter für Sie die Verbrauchsoptimierung übernehmen würde? Warum?
 - Welche anderen Anreize wären attraktiv, um dem Stromanbieter die Verbrauchsoptimierung zu überlassen?
 - Unter welchen Umständen würden Sie keinesfalls die Verbrauchssteuerung aus der Hand geben? Warum?
 - Spielen Kosten eine Rolle? Das Thema Privatsphäre? Das Thema Datenschutz?

5. Angebote (ca. 20 Min) – 18:00 Uhr

- Wir haben Ihnen in der folgenden Tabelle alle Optionen, die wir heute mit Ihnen besprochen haben, aufgezeigt. Wenn Sie sich nun diese Möglichkeiten ansehen: was aus diesem Repertoire wäre für Sie interessant? Warum?



- Wie würde ein attraktives Komplett-Angebot aussehen?
- Wenn Sie nun an Ihren Stromanbieter denken, was meinen Sie, welchen Baustein dieser Möglichkeiten wird dieser am wahrscheinlichsten auf den Markt bringen?
- Wenn Sie Ihrem Versorger nun ein paar Empfehlungen mit auf dem Weg geben sollten, was würden Sie ihm für die Gestaltung von variablen Stromtarifen sagen, damit dieser für Sie möglichst attraktiv wäre?
- Haben Sie auch Empfehlungen an die Politik? Welche? Warum?

6. Schlussrunde (ca. 15 Min) – 18:20 Uhr

- Wir sind nun ans Ende unserer Diskussion gelangt. Wir haben uns intensiv mit zukünftigen Stromangeboten im Haushalt beschäftigt. Wenn Sie nun unsere Diskussion noch mal Revue passieren lassen, was ist Ihr genereller Eindruck/Ihr allgemeines Urteil von/su all dem, was wir Ihnen heute hier gezeigt haben? Vielleicht sagt jeder einen Satz dazu und einen zweiten Satz zu einem kurzen Feedback zur Gruppendiskussion heute. Am besten der Reihe nach, damit jeder kurz zu Wort kommt.

Fragebögen zur Studie mit Nutzern im Labor (Kapitel 7.1)

Anfangsfragebogen



Smart Home
Anfangsfragebogen



Anfangsfragebogen

Sie werden von mir vor Ein- und Auszug einen Fragebogen erhalten. Um diese beiden Fragebogen einander zuordnen zu können, bitten wir Sie um die Angabe Ihres Vornamens.

Vorname

Geme würden wir etwas mehr über Ihre Lebenssituation erfahren.

Wohnen Sie

- alleine?
- mit PartnerIn bzw. mit Familie?
- in einer Wohngemeinschaft?

Wie viele Personen Ihres Haushalts sind berufstätig?

- Personen Vollzeit
- Personen Teilzeit

Nun möchten wir gern von Ihnen wissen, wie Sie die folgenden Punkte einschätzen.

Welche der folgenden Themen sind Ihrer Meinung die beiden wichtigsten Herausforderungen unserer Zeit? Bitte kreuze diese beiden an.

- Arbeitslosigkeit
- Kriminalität
- Gesundheitssystem
- Wirtschaftliche Entwicklung
- Umwelt

Was ist Ihre Meinung zu technischen Neuerungen im Allgemeinen? Bitte kreuze eine Antwortoption an:

- Ich probiere gerne technische Neuerungen aus.
- Ich warte ab, bis andere damit Erfahrungen gemacht haben.
- Ich bleibe in der Regel lieber bei dem Bewährten.

Alexandra-Gwyn Paetz, smarhome@forschung.kit.edu

1

Wie schätzen Sie folgende Aussagen ein?	Stimme sehr zu					Stimme gar nicht zu				
Es beunruhigt mich, wenn ich daran denke, unter welchen Umweltverhältnissen unsere Kinder und Enkelkinder wahrscheinlich leben müssen.	<input type="checkbox"/>									
Wenn wir so weitermachen wie bisher, steuern wir auf eine Umweltkatastrophe zu.	<input type="checkbox"/>									
Wir brauchen einen konsequenten Umstieg auf erneuerbare Energien.	<input type="checkbox"/>									
Die Bürgerinnen und Bürger können durch ein umweltbewusstes Alltagsverhalten wesentlich zum Klimaschutz beitragen.	<input type="checkbox"/>									
Um Energie zu sparen, muss man seinen Lebensstil ändern.	<input type="checkbox"/>									
Als Privathaushalt kann man wenig zum Energiesparen beitragen.	<input type="checkbox"/>									
Ich kann mich für Technik sehr begeistern.	<input type="checkbox"/>									
Ich wäre froh, wenn es nicht so viel Technik in der Welt gäbe.	<input type="checkbox"/>									
Technik bereitet dem Menschen mehr Probleme, als sie ihm nützt.	<input type="checkbox"/>									
Ich weiß ganz gut Bescheid, was sich in der Technikentwicklung in den letzten Jahren getan hat.	<input type="checkbox"/>									
Bevor ich ein neues technisches Produkt kaufe bespreche ich mich mit einem Freund, Bekannten oder Verwandten, der Erfahrung mit dem Produkt hat.	<input type="checkbox"/>									
Ich schaue oft nach Informationen über neue Produkte und Marken.	<input type="checkbox"/>									
Ich bin oft einer der ersten in meinem Freundes- und Bekanntenkreis, der sich eine neue Technologie zulegt, wenn diese auf den Markt kommt.	<input type="checkbox"/>									
Bei einer Anschaffung vergleiche ich Produkte miteinander und kaufe dann das günstigste	<input type="checkbox"/>									

Wenn ich ein Produkt kaufe versuche ich immer die maximale Qualität zum niedrigst möglichen Preis zu kaufen

Das Geld, was durch den Vergleich von Preisen gespart wird, ist für gewöhnlich die Zeit und den Aufwand nicht wert

Arbeitsplätze sind wichtiger als Umweltschutz.

Umweltschutz und Wirtschaftswachstum lassen sich gut vereinbaren.

Neue Technologien werden die Umweltprobleme lösen.

Umweltschutz und Energiesparen bedeuten Komfortverzicht.

Um Energie zu sparen, muss man seinen Lebensstil ändern.

Als Privathaushalt kann man wenig zum Energiesparen beitragen.

Wie schätzen Sie ganz allgemein Ihren Haushalt ein: Bemüht man sich, Energie zu sparen?

- Wir tun alles, was wir können.
- Wir tun viel, könnten aber etwas mehr tun.
- Wir tun etwas, könnten aber wesentlich mehr tun.
- Wir tun wenig, haben aber auch wenige Möglichkeiten.
- Wir kümmern uns wenig darum.

Was tut Ihr Haushalt, um Energie zu sparen?

Im Folgenden möchten wir Ihnen noch einige Fragen zu Ihrer allgemeinen Mobilität stellen.

Wie viele Fahrzeuge haben Sie in Ihrem Haushalt?					
Pkw	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> >4
Transporter	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> >4
Roller / Moped / Motorrad	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> >4
Fahrrad	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> >4

Wie häufig nutzen Sie folgende Verkehrsmittel?						
	(fast täglich	An 1-3 Tagen pro Wo- che	An 1-3 Tagen pro Monat	seltener	nie o- der fast nie	Weiß nicht
Herkömmlicher Pkw (Benzin, Diesel)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gasfahrzeug (Erdgas, Auto- gas)						
Moped/Motorrad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fahrrad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bahn für längere Strecken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Öffentliche Verkehrsmittel (S- Bahn, Straßenbahn, Bus) in der Region	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Car-Sharing / Fahrgemein- schaft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zu Fuß	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<p>Wie viele Gesamtkilometer fahren Sie durchschnittlich an einem (Werk-)Tag?</p> <p><input type="checkbox"/> bis 5 km <input type="checkbox"/> bis 10 km <input type="checkbox"/> bis 25 km <input type="checkbox"/> bis 50 km <input type="checkbox"/> bis 100 km <input type="checkbox"/> über 100 km</p> <p><input type="checkbox"/> Weiß nicht</p> <p>Wie viele Wege legen Sie durchschnittlich an einem (Werk-) Tag zurück? <i>Gemeint sind alle Wege, die zu Fuß oder mit Verkehrsmitteln zurück gelegt wurden. Hin- und Rückweg sind dabei zwei Wege. Beim Umsteigen zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln auf dem Weg zum Ziel (z.B. vom Bus in die U-Bahn oder vom Auto in die S-Bahn) bleibt es ein Weg.</i></p> <p><input type="checkbox"/> bis 2 <input type="checkbox"/> bis 4 <input type="checkbox"/> bis 6 <input type="checkbox"/> bis 8 <input type="checkbox"/> bis 10 <input type="checkbox"/> über 10 <input type="checkbox"/> Weiß nicht</p>

Wie viele Gesamtkilometer fahren Sie jährlich?		
<input type="checkbox"/> <5.000 km	<input type="checkbox"/> 5.000-10.000 km	<input type="checkbox"/> 10.001-15.000 km
<input type="checkbox"/> 15.001-20.000 km	<input type="checkbox"/> >20.000 km	

Welche der aufgeführten alternativen Antriebstechnologien sind Sie bereits gefahren?						
	Kenne ich gar nicht.	Nein, noch nie	Habe ich schon einmal ausprobiert (als Fahrer / Mitfahrer).	Habe ich in der Vergangenheit regelmäßig genutzt.	Nutze ich aktuell regelmäßig.	Ich weiß nicht / Ich bin mir nicht sicher
Brennstoffzelle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Batterie-elektrisches Fahrzeug	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hybrid-Fahrzeug (Fahrzeug mit konventionellem und Elektromotor, auch: Range-Extender)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fahrzeug mit Biodiesel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fahrzeug mit Pflanzenöl	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fahrzeug mit Bioethanol	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sie sind am Ende des Fragebogens angekommen!

Danke für Ihre Zeit!

Alexandra-Gwyn Paetz, smarhome@forschung.kit.edu

Abschlussbogen

Abschlussfragebogen
KIT, Lehrstuhl für Energiewirtschaft, Workphase 2 Smart Home MerregioMobil

Abschlussfragebogen

Danke für Ihre Teilnahme. Bitte geben Sie Ihren Namen an, damit wir Ihre Fragebögen einander zuordnen können.

Name

Was war Ihr Gesamteindruck von den dargestellten Technologien auf Ihre Lebenssituation?

		Trifft gar nicht zu					Trifft sehr zu
Ich kann mir gut vorstellen mit entsprechender Technik in meinem Haushalt zu leben.	<input type="checkbox"/>						
Ich hätte gerne einen variablen Stromtarif.	<input type="checkbox"/>						
Die „intelligenten“ Haushaltsgeräte hätte ich gerne auch zu Hause.	<input type="checkbox"/>						
Einen genaueren Einblick in meinen Stromverbrauch fände ich sehr hilfreich.	<input type="checkbox"/>						

Wie sieht ein optimaler Stromtarif für Sie aus?

Für wie lange sollten die Preise je Kilowattstunde (ct/kWh), d.h. der Verbrauchspreis, mindestens gültig sein?	<input type="checkbox"/>						
	<input type="checkbox"/>						
	<input type="checkbox"/>						
	<input type="checkbox"/>						
	<input type="checkbox"/>						
Wie viele unterschiedliche Tarifstufen pro Tag (ct/kWh) würden Sie bevorzugen?	<input type="checkbox"/>						
	<input type="checkbox"/>						
	<input type="checkbox"/>						
Wie würden Sie die Informationen über den aktuell geltenden Tarif gerne erhalten?	<input type="checkbox"/>						
	<input type="checkbox"/>						
	<input type="checkbox"/>						
	<input type="checkbox"/>						

Welcher Grund spricht aus Ihrer Sicht am ehesten für variable Stromtarife? Die Möglichkeit, Energie zu sparen.
 Die Möglichkeit, Geld zu sparen.
 Die Förderung erneuerbarer Energien.
 Nichts.

Wie bedeutsam ist Ihnen eine Preisersparnis durch die neuen Tarife?

- Wie hoch sollte die Reduktion der Stromkosten im Jahr mindestens ausfallen, damit Sie sich für einen variablen Tarif entscheiden würden?
_____ €
- Wie hoch sollte die durchschnittliche Reduktion der Stromkosten im Jahr ausfallen, damit Sie sich für einen variablen Tarif entscheiden würden?
_____ €
- Was wäre für Sie eine hohe Reduktion der Stromkosten, die Sie von variablen Tarifen überzeugen würde?
- Was wäre eine unglaubwürdige (also zu hohe) Ersparnis?
_____ €

Können Sie sich vorstellen, ein Elektro- bzw. Hybridfahrzeug zu kaufen? („Hybridautos“ sind Fahrzeuge, die sowohl einen Elektro- als auch einen Verbrennungsmotor haben.)

- Ich fahre bereits ein solches Fahrzeug.
- Ja, auch schon bald.
- Ja, wenn die Technologie ausgereifter ist.
- Eher ja, aber ein Fahrzeugkauf steht bei mir nicht an.
- Eher nein, ich bin skeptisch, ob sich die Technologie überhaupt durchsetzt.
- Nein.
- _____

Herzlichen Dank für Ihre Teilnahme!

Leitfadeninterview I

Themenkatalog: Laborbewohner Tiefeninterview I



Inhalt

1. Begrüßung und Einführung (ca. 5 Min) – 16:00 Uhr	2
2. Allgemeine Hinführung zum Thema Strom (ca. 15 Min) – 16:05 Uhr	2
3. Feedback	3
a. Informationen (ca. 10 Min) – 16:20 Uhr	3
b. Funktionalitäten / Ausstattung (ca. 15 Min) – 16:30 Uhr	3
4. Zeitvariable Tarife (ca. 15 min) – 16:45 Uhr	5
5. Mobilität – E-Bikes (ca. 15 Min) – 17:00 Uhr	8

1. Begrüßung und Einführung (ca. 5 Min) - 16:00 Uhr

- Ablauf der Gruppe erklären
 - Technik/Aufnahmegeräte
 - Datenschutz
 - Regeln (Essen, Trinken, Handy, etc.)
- Thema
 - *Unsere Gruppendiskussion heute dreht sich um das Thema Strom in Ihrem persönlichen Umfeld, also zu Hause. Daher interessiert uns bei allen Fragen Ihre persönliche Meinung. Wir werden nicht nur diskutieren, sondern wir werden Ihnen interaktiv auch Einiges dazu in diesem Haus demonstrieren.*

2. Allgemeine Hinführung zum Thema Strom (ca. 15 Min) - 16:05 Uhr

- Freie Assoziationen zum Stichwort „Strom“:
Was verbinden Sie mit dem Thema Strom? / Was fällt Ihnen als erstes zum Thema Strom ein?
 - Umschreibungen, Vorstellungen, Kommentare
 - Adjektive (Strom ist...), Verben (Strom ...)
- Kenntnis über Anbieter / Tarif / Verbrauch
 - *Wer kennt seinen Stromanbieter? Wie haben Sie diesen ausgewählt? Haben Sie schon mal aktiv Ihren Anbieter gewechselt?*
 - *Wissen Sie in welchem Stromtarif Sie sind? Kennen Sie die groben Details, wie bspw. den Preis? Gibt es andere Merkmale, auf die Sie bei der Auswahl Ihres Tarifs geachtet haben? Wenn Sie jetzt die Möglichkeit zum Wechsel hätten, würden Sie einen neuen Tarif wählen? Wenn ja, nach welchem Kriterium?*
 - *Achten Sie auf Ihren Verbrauch? Inwiefern? Warum/Warum nicht? Wer in Ihrem HH kontrolliert den Verbrauch?*
- Folie mit Beispieltarif der SW KA
 - *Wir sehen hier einige Tarife der Stadtwerke Karlsruhe. Jeder Tarif besteht aus zwei Modulen: der monatliche Grundpreis (ähnlich zur Grundgebühr im Mobilfunk) sowie der Arbeitspreis pro kWh (ähnlich zum Minutenpreis im Mobilfunk). Nach diesem Schema sind in Deutschland die meisten Tarife der meisten Anbieter aufgebaut.*



- Gibt es hierzu Fragen?
- Wünsche/Innovation
 - Mit welchem Angebot/Tarif könnte Sie Ihr Stromanbieter positiv überraschen? Warum?
 - Welches Angebot würden Sie sich wünschen?

3. Feedback

a. Informationen (ca. 10 Min) – 16:20 Uhr

- Was halten Sie von derartigen Zählern?
- Wie oft schaut ihr auf diese Anzeige? In welchen Situationen?
- Welche Informationen motivieren Euch über Euren Stromverbrauch nachzudenken?
Welche Informationen motivieren Euch den Stromverbrauch zu verändern?
 - Strompreis pro kWh?
 - Kosten pro Tag? Pro Woche? Pro Jahr?
 - Vergleich zu anderen Haushalten?
 - Aufzeichnung des Lastgangs im ganzen Haus?
 - Leistungsdaten einzelner Geräte?
 - Beeinflussen die Informationen der Solaranlage den Stromverbrauch?
 - Aufgaben aus dem Blog?
- Hat sich der Alltag dadurch geändert? Warum?
- Welche Informationen würden Euch auch in Euren eigenen vier Wänden motivieren Euren Stromverbrauch zu ändern?
 - Informationen zur Art der Erzeugung?
 - (Tägliche) Stromspartipps?
 - Vergleiche mit dem Stromverbrauch in der Nachbarschaft?
 - Wann / zu welchen Zeitpunkten sollten diese Infos verfügbar sein?

b. Funktionalitäten / Ausstattung (ca. 15 Min) – 16:30 Uhr

- Welche Funktionen am Display haben Euch ganz besonders gefallen?
 - Welche Funktionen habt ihr besonders häufig genutzt?
 - Was war leicht / schwer im Umgang?
 - Wie müsste das Display gestaltet sein, dass man es sich etwas häufiger anschaut?
 - Inwiefern bräuchte man die iPhone Applikation?
 - Welche Funktionen sollten für andere Haushaltsmitglieder hinterlegt sein?
 - Inwiefern hat Euch das Display geholfen Euch an die Strompreise zu halten?
- Inwiefern war die Rechnungsübersicht interessant?
 - Welche Information habt ihr Euch immer angeschaut?

Themenkatalog: Laborbewohner Tiefeninterview I

- Welche Information müsste vorhanden sein, damit ihr Euch diese häufiger anschaut?
- Wenn ihr – bei Euch zu Hause – eine Stromrechnung von Eurem Energieversorger bekommt: welche Information würdet ihr Euch wünschen?
- Welche Information müssten vorhanden sein, dass sich auch andere Haushaltsmitglieder dafür interessieren?
- Inwiefern hat Euch die Rechnungsübersicht geholfen Euch an die Strompreise zu halten?
- Die Aufzeichnung der Verbrauchsdaten funktioniert, da wir hier einen digitalen Stromzähler haben, der in Echtzeit die Lasten im Haus aufzeichnet. Diese aufgezeichneten Daten können wir einsehen und daraufhin bspw. die Rechnungsübersicht erstellen. Derzeit werden diese intelligenten Stromzähler ja bereits z.B. von den Stadtwerken Karlsruhe angeboten. Kauft man sich einen derartigen Zähler zeichnet die Stadtwerke alle 15 Minuten die Daten auf und kann dem Kunden dann z.B. monatlich eine reale Rechnung stellen. Wie findet ihr das?
 - Welche Vorteile seht ihr?
 - Ablesetermine entfallen?
 - Reale Rechnungen / keine Abschlagszahlungen?
 - Wie häufig würdet ihr Euch idealerweise eine Abrechnung wünschen?
 - Welche Nachteile gibt es aus Eurer Sicht?
 - Datenschutz?
 - Welche Daten genau?
- Inwieweit würde Ihnen dieser Zähler helfen, Ihren Verbrauch an einen zeitvariablen Tarif anzupassen?
- Inwieweit würde Ihnen dieser Zähler helfen, Ihren Verbrauch an einen lastvariablen Tarif anzupassen?
- Stellen Sie sich bitte nun wieder vor, Sie könnten jetzt Ihren Tarif wechseln. Würden Sie den Wechsel in einen variablen Tarif in Erwägung ziehen, wenn Sie diesen Zähler dazubekämen?

4. Zeitvariable Tarife (ca. 15 min) - 16:45 Uhr

- Einführung variable Tarife
 - Ähnlich wie beim Festnetztelefon, wo die Preise je nach Wochentag und Tageszeit variieren, wird derzeit über zeitvariable Tarife im Stromsektor diskutiert. Es handelt sich dabei um einen Tarif, bei dem der Strom je nach Tageszeit einen anderen Preis hat. Wir möchten Ihnen das am Display zeigen.
- Erläuterung 3-stufiger Tarif (MeRegio Tarif)
 - In diesem Beispiel möchten wir Ihnen einen Tarif mit drei Stufen vorstellen. Diese liegen bei 7 Ct/kWh, 22 Ct/kWh und 37 Ct/kWh. Im Vergleich zu den festen Zeitzonen beim Tages-/Nachtarif, können sich die Zeitzonen, zu denen diese drei Preisstufen gelten ändern. 24 h im Voraus werden diese Zeitzonen angezeigt.
 - Haben Sie Fragen hierzu?
 -
- Allgemeine Beurteilung MeRegio-Tarif
 - Wenden wir uns dem dreistufigen Tarif zu. Wie ist hier Ihr erster Eindruck?
 - Was finden Sie vorteilhaft? Warum?
 - Wo sehen Sie Nachteile im Vgl. zum heutigen Einheitstarif? Warum?
 - Wie würden Sie diesen im Vgl. zum HT/NT-Tarif sehen?
 - Wenn Sie jetzt wieder die Wahl hätten Ihren aktuellen Tarif zu wechseln, würden Sie einen zeitvariablen Tarif in Erwägung ziehen? Welchen? Warum/Warum nicht?
- Integration in Alltag
 - Stellen Sie sich vor, Sie hätten einen zeitvariablen Tarif. Inwieweit würde dies Ihren Alltag verändern? Warum?
 - Welche Arbeiten/Aktivitäten würde dies betreffen?
 - Zu welchen Uhrzeiten?
 - Wenden wir uns dem Fallbeispiel Spülmaschine zu:
 - Wann schalten Sie diesen in der Regel an?
 - Um wie viel Stunden/Minuten wären Sie bereit den Einsatz der Spülmaschine zu verlegen?
 - Zeitlich vor- oder nachverlegen?
 - Wie lange würden Sie Ihre Reaktionsbereitschaft aufrecht erhalten?
Sprich: sich nicht nur das Spülen nachts anzugewöhnen, sondern ggBf. sich täglich anzupassen?
 - [Kosten bei 1,3kWh und Einsatz 6*/Woche: pro Waschgang 20Ct, 26Ct, 33Ct → pro Woche: 1,20€, 1,56€, 1,98€ → pro Jahr: 62,40€, 81,12€, 102,96€]
 - In wieweit würde sich das Verhalten der übrigen Mitglieder in Ihrem Haushalt verändern?
 - Würden Sie auch langfristig Ihr Verhalten anpassen? Warum?
 - Unter welchen Umständen/Gegebenheiten würden Sie Ihr Verhalten anpassen?
- Optimierungskriterien

Themenkatalog: Laborbewohner Tiefeninterview I

- Einige von Ihnen sagten, dass Sie bereit seien, Ihr Verhalten anzupassen. Welche Kriterien spielen für Sie dabei eine Rolle? Warum?
- Gibt es neben Preisersparnis noch weitere Optimierungskriterien?
- Die Zeitzonen für die Preise hängen u.a. von der Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien ab. Wenn der Wind bspw. weht, steht besonders viel Windenergie zur Verfügung, so dass in dieser Zeitzone die Preise sinken würden. Wäre für Sie Ökologie ein Anreiz ihr Verhalten anzupassen? Auch langfristig?
- Von all diesen genannten Kriterien: welches würde wahrscheinlich am langfristigen wirken?
- Falls Preis: Was wäre eine angemessene Preisersparnis? (absolute Beträge oder %-Angaben, evtl. mit Bezug zum Tarif der SW Karlsruhe)
- Verhaltensänderung
 - Welche zusätzlichen Effekte könnten eine Verhaltensänderung bei Ihnen bzw. Ihren HH-Mitgliedern verstärken? (Bsp: Feedback über Sparverhalten in der Nachbarschaft, regelmäßige Information, Prämien, ...)
- Erläuterung HT/NT Tarif
 - Vielleicht kennen Sie den Tages- und Nachttarif? Die Stadtwerke Karlsruhe bieten diesen an und sollten Sie noch eine Nachtspeicherheizung besitzen, dann haben Sie bestimmt auch diesen Tarif. Trifft das auf jemanden von Ihnen zu? Dieser Tarif ist zweistufig, d.h. es gibt eine Preisstufe, die tagsüber gilt und eine Preisstufe, die über Nacht gilt. In unserem Beispiel sind die Grenzen bei 08:00Uhr und 20:00 Uhr.
 - Haben Sie Fragen hierzu? Falls jemand den Tarif hat: Warum haben Sie diesen? Inwieweit berücksichtigen Sie diesen? Waschen Sie dann bspw. nachts?
 - Hat sich jemand den Wechsel in einen solchen Tarif überlegt und nicht vollzogen? Falls ja, warum?
 -
- Allgemeine Beurteilung HT/NT-Tarif
 - Nach Demonstration von zwei verschiedenen zeitvariablen Tarifen, würde mich Ihr erster Eindruck interessieren. Fangen wir mit dem HT/NT-Tarif an. Wie ist Ihr erster Eindruck?
 - Was finden Sie vorteilhaft? Warum?
 - Wo sehen Sie Nachteile im Vgl. zum heutigen Einheitstarif? Warum?
- Kommunikation / Information
 - Wenn Sie sich nun nochmal vorstellen, dass Sie in einem zeitvariablen Tarif sind. Welche Informationen wären für Sie hilfreich?
 - Welche Informationen wären für die HH-Mitglieder hilfreich?
 - Welche Informationen würden eine Verhaltensveränderung verstärken?
 - Zu welchen Zeitpunkten würden Sie sich diese Information wünschen? Wie viel Zeit im Voraus? Mit welcher Regelmäßigkeit?
 - Wer sollte in Ihrem Haushalt diese Informationen erhalten? Sollte sie für jeden sichtbar sein?
- Wie würden Sie am liebsten informiert werden? (Internet, Email, Post, Display, SMS, ...)

6

- Welchen Tarif könnt ihr Euch vorstellen auch zu Hause zu wählen?
 - Warum?
 - Unter welchen Bedingungen?
 - Welche Vor- / Nachteile seht ihr im Vergleich zu Eurem Einheitsarif?
 - Wie hoch müsste für Euch eine Preisersparnis (pro Jahr) sein, damit ihr Euch einen solche variablen Tarif dem Einheitsarif vorzieht?

Themenkatalog: Laborbewohner Tiefeninterview I

5. Mobilität – E-Bikes (ca. 15 Min) – 17:00 Uhr

- *Wir haben uns vorher über die allgemeinen Haushaltsgeräte unterhalten, über die Spülmaschine im Besonderen. Nun stellen Sie sich bitte vor, Ihr Auto würde anstatt mit Benzin mit Strom fahren. Das heißt Sie müssten es an der Steckdose laden. Inwieweit würden Sie Ihre Mobilität an zeitvariable Strompreise anpassen?*
- *Welche Fahrten würde dies betreffen?*
- *Würde dies Ihre Mobilität verändern? Inwieweit?*
- *Würde sich das Verhalten anderer HH-Mitglieder verändern?*
- *Bsp: Wie viel kostet eine Ladung im HT/NT-Tarif (Batterie mit 30kWh): NT 5,70 €, HT 6,60 €.*

Themenkatalog: Laborbewohner Tiefeninterview II



Inhalt

1. Begrüßung und Einführung (ca. 5 Min) – 17:00 Uhr	2
2. Lastvariable Stromtarife (ca. 15 Min) – 17:05 Uhr	2
3. Steuerung	3
a. Intelligente Haushaltsgeräte / Erfahrung mit Steuerung (ca. 10 Min) – 17:15 Uhr	3
b. Automatische Steuerung (ca. 10 Min) – 17:25 Uhr	4
4. E-Bikes (ca. 5 Min) – 17:35 Uhr	5
5. Angebote (ca. 10 Min) – 17:40 Uhr	5
6. Schlussrunde (ca. 5 Min) – 17:50 Uhr	5

1. Begrüßung und Einführung (ca. 5 Min) – 17:00 Uhr

- Ablauf der Gruppe erklären
 - Technik/Aufnahmegерäte
 - Datenschutz
 - Regeln (Essen, Trinken, Handy, etc.)
- Thema
 - *Unsere Gruppendiskussion heute dreht sich um das Thema Strom in Ihrem persönlichen Umfeld, also zu Hause. Daher interessiert uns bei allen Fragen Ihre persönliche Meinung. Wir werden nicht nur diskutieren, sondern wir werden Ihnen interaktiv auch Einiges dazu in diesem Haus demonstrieren.*

2. Lastvariable Stromtarife (ca. 15 Min) – 17:05 Uhr

- Seit drei Wochen habt ihr nehmen dem zeitvariablen Tarif mit drei Stufen eine zusätzliche Lastgrenze.
 - Wie fällt Euer Urteil aus?
 - War es einfach sich an diese Grenze zu halten?
 - Zu welchen Uhrzeiten? Wochentagen?
 - Hat sich das Verhalten mit dem Display geändert?
 - In welchen Situationen?
 - Haben bestimmte Informationen gefehlt?
 - Wie wäre der alltägliche Umgang mit einem lastvariablen Tarif bei Euch zu Hause?
 - Welche Höhe der Lastgrenze würdet ihr bevorzugen?
- Nehmen wir an der Strompreis würde sich nur nach der Lasthöhe richten [Hand-Out], wie würdet ihr einen solchen Tariftyp beurteilen?
 - Wie fällt ihr erstes Urteil über sogenannte lastvariable Tarife?
 - Was ist positiv? Was ist negativ?
 - Welche Informationen bräuchten Sie, damit Sie Ihr Verbrauch diesem lastvariablen Tarif anpassen würde?
 - Welchen Tarif würden Sie bevorzugen? Warum?
- Eine weitere Möglichkeit ist die Staffelung der Preise nach dem Verbrauch: bspw. kosten die ersten 1.000 kWh 16Ct/kWh, die nächsten 500 kWh 19 Ct/kWh, etc.



Verbrauch	Preis
0 - 1.000 kWh	16 Ct/kWh
1.000 - 1.500 kWh	19 Ct/kWh
1.500 - 2.000 kWh	22 Ct/kWh
2.000 - 2.500 kWh	25 Ct/kWh
2.500 - 3.000 kWh	28 Ct/kWh

- Wie fällt ihr erstes Urteil über sogenannte lastvariable Tarife?
- Was ist positiv? Was ist negativ?
- Welche Informationen bräuchten Sie, damit Sie Ihr Verbrauch diesem Tarif anpassen würde?

- Welchen Tarif würden Sie bevorzugen? Warum?

3. Steuerung

a. Intelligente Haushaltsgeräte / Erfahrung mit Steuerung (ca. 10 Min) - 17:15 Uhr

- Seit zwei Wochen nutzt ihr die Automatisierung mit der ihr Eure Geräte einprogrammieren könnt. Was haltet ihr allgemein von der Funktionalität?
- Inwiefern hat sich dadurch der Stromverbrauch verändert?
 - Inwiefern der Umgang mit den Geräten?
 - Welche Geräte habt ihr insbesondere einprogrammiert?
 - Zu welchen Anlässen war die Steuerung besonders praktisch? Warum?
 - Wie seid ihr mit der Bedienung zu Recht gekommen?
 - Könntet ihr Euch so was auch zu Hause vorstellen?
 - Würden andere Haushaltsmitglieder damit zu Recht kommen? Warum bzw. warum nicht?
- Wenn ihr ein intelligentes Haushaltsgerät in Euren eigenen vier Wänden platzieren würdet, welches Gerät würdet ihr austauschen? Warum?
 - Bei welchen Geräten würden Sie lieber konventionelle Haushaltsgeräte präferieren?
 - Wie viel mehr als ein konventionelles Haushaltsgerät, dürfte das intelligente Pendant kosten? [Miele@home ca. 1.800€, vgl. 1.500€ → 20%]

b. Automatische Steuerung (ca. 10 Min) – 17:25 Uhr

- Grundsätzlich gibt es drei Formen, wie die Steuerung ablaufen könnte: Manuell, Automatisch nach manuellen Voreinstellungen, Automatisch ferngesteuert bspw. durch Ihren Stromanbieter.

- Bei welcher Option sehen Sie die meisten Vorteile für sich? Welche? Warum?
- Mit welchen Nachteilen sind die übrigen Optionen belastet? Warum?
- Welche Informationen würden Sie von Ihrem Stromanbieter erhalten wollen, wenn er für Sie die Verbrauchsoptimierung übernehmen würde? Warum? Hätten Sie Bedenken, diese Möglichkeit zu nutzen?
- Anreize und Schmerzgrenzen
 - Unter welchen Umständen würden Sie sich für eine manuelle / halb-automatische / automatische Steuerung entscheiden? Warum?
 - Nehmen wir nun an, dass Sie weiterhin Ihren bisherigen Tarif haben. Welche monatliche Vergütung halten Sie für angemessen, wenn Ihr Stromanbieter für Sie die Verbrauchsoptimierung übernehmen würde? Warum?
 - Welche anderen Anreize wären attraktiv, um dem Stromanbieter die Verbrauchsoptimierung zu überlassen?
 - Unter welchen Umständen würden Sie keinesfalls die Verbrauchssteuerung aus der Hand geben? Warum?
 - Spielen Kosten eine Rolle? Das Thema Privatsphäre? Das Thema Datenschutz?
- Stellen Sie sich bitte nun wieder vor, Sie könnten jetzt Ihren Tarif wechseln. Würden Sie den Wechsel in einen variablen Tarif in Erwägung ziehen, wenn der Versorger für Sie Ihren Verbrauch optimieren also steuern würde? Warum? Warum nicht?
- Stellen Sie sich bitte nun wieder vor, Sie könnten jetzt Ihren Tarif wechseln. Würden Sie den Wechsel in einen variablen Tarif in Erwägung ziehen, wenn Sie ein intelligentes Haushaltsgerät dazubekämen?

Themenkatalog: Laborbewohner Tiefeninterview II

4. E-Bikes (ca. 5 Min) – 17:35 Uhr

- Wenn ihr an die letzten Wochen zurückdenkt, wie hat sich der Umgang mit dem E-Bike verändert? Warum?
- Welche neueren Erfahrungen / Erkenntnisse habt ihr mit dem E-Bike gesammelt?
- Wie könnte ein attraktives E-Bike Angebot aussehen? Was gehört aus Eurer Sicht dazu?

5. Angebote (ca. 10 Min) – 17:40 Uhr

- Wir haben Ihnen in der folgenden Tabelle alle Optionen, die wir besprochen haben, aufgezeigt. Wenn Sie sich nun diese Möglichkeiten ansehen: was aus diesem Repertoire wäre für Sie zu Hause interessant? Warum?



- Wie würde ein attraktives Komplett-Angebot aussehen?
- Wenn Sie nun an Ihren Stromanbieter denken, was meinen Sie, welchen Baustein dieser Möglichkeiten wird dieser am wahrscheinlichsten auf den Markt bringen?
- Wenn Sie Ihrem Versorger nun ein paar Empfehlungen mit auf dem Weg geben sollten, was würden Sie ihm für die Gestaltung von variablen Stromtarifen sagen, damit dieser für Sie möglichst attraktiv wäre?
- Haben Sie auch Empfehlungen an die Politik? Welche? Warum?

6. Schlussrunde (ca. 5 Min) – 17:50 Uhr

- Wir sind nun ans Ende unserer Diskussion gelangt. Wir haben uns intensiv mit zukünftigen Stromangeboten im Haushalt beschäftigt, ihr habt beinahe alle Szenarien hier im Haus erlebt. Wenn Ihr eure Zeit hier nochmal Revue passieren lasst, was ist Euer genereller Eindruck /Euer allgemeines Urteil zu allen Technologien? Gerne auch ein Feedback zur Wohnphase allgemein?

Fragebögen zur Studie mit Nutzern im Feld (Kapitel 7.2)

Online-Befragung I

Online-Fragebogen: Erwartungen Elektrofahrzeug

Sehr geehrte Damen und Herren,

wir freuen uns, dass Sie an unserer Befragung teilnehmen. Da Sie in Kürze einen Smart electric drive im Rahmen des Projektes MeRegioMobil nutzen werden, interessieren uns heute Ihre Erwartungen und erste Einschätzungen zum Fahrzeug.

Nachdem Sie das Fahrzeug eine gewisse Zeit genutzt haben, möchten wir Sie später gerne noch zu Ihren Erfahrungen befragen.

Es gibt bei der Befragung keine richtigen oder falschen Antworten, es geht uns um Ihre persönliche Meinung. Alle Angaben sind selbstverständlich freiwillig. Die Daten werden anonym erhoben und ausgewertet, d.h. es sind keine Rückschlüsse auf einzelne Personen möglich.

Vielen Dank für Ihre Unterstützung und viel Spaß beim Ausfüllen!

Fraunhofer-Institut für System und Innovationsforschung (ISI)

und

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Da die Befragung anonym ist, möchten wir Sie bitten, folgenden Code auszufüllen, damit wir Ihre Antworten aus dieser Befragung der nächsten Befragung zuordnen können.

Persönlicher Code Beispielcode: MH2107PR	
Erster Buchstabe des Vornamens Ihrer Mutter: z.B. <u>M</u> MARTINA	_____
Erster Buchstabe des Vornamens Ihres Vaters: z.B. <u>H</u> HANS,	_____
Ihr Geburtstag: z.B. <u>2107</u>	_____
Der erste und letzte Buchstabe Ihres Vornamens: z.B. <u>P</u> PETER	_____

Die Befragung kann erst nach Eingabe dieses Codes gestartet werden

Angaben zum Elektrofahrzeug

1. Wann werden Sie den Smart electric drive voraussichtlich erhalten?

2. Haben Sie den Smart electric drive gemietet als...	
<input type="checkbox"/>	Gewerbekunde
<input type="checkbox"/>	Privatkunde
3. In welchem Rahmen nutzen Sie den Smart electric drive? Mehrfachantworten sind möglich	
<input type="checkbox"/>	als privates Fahrzeug
<input type="checkbox"/>	als Dienstfahrzeug mit alleiniger Nutzung
<input type="checkbox"/>	als Firmenfahrzeug (Flottenutzung)
<input type="checkbox"/>	als Car Sharing Fahrzeug
<input type="checkbox"/>	sonstiges, und zwar.....

> Filter: **Gewerbekunde (Frage 2)**

4. Bitte geben Sie an, welche der folgenden Punkte auf Sie zutreffen. Mehrfachantworten sind möglich.	
<input type="checkbox"/>	Ich war an der Entscheidung, ein oder mehrere Smart electric drive zu beschaffen, beteiligt.
<input type="checkbox"/>	Ich nutze den Smart electric drive selbst.

Allgemeine Erwartungen

Nun möchten wir gern von Ihnen wissen, welche Erwartungen Sie an Ihr Elektrofahrzeug haben.

5. Welche Erwartungen haben Sie an den Smart electric drive?						
	Trifft über- haupt nicht zu	Trifft überwie- gend nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft überwie- gend zu	Trifft voll und ganz zu
Die Nutzung des Smart electric drives wird einfach sein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Umgang mit dem Smart electric drive wird einfach zu lernen sein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Smart electric drive wird für meinen Alltag nützlich sein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Smart electric drive wird umweltfreundlich sein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Smart electric drive wird helfen, Geld zu sparen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Smart electric drive wird mich begeistern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich beabsichtige, ein Elektrofahrzeug regelmäßig und dauerhaft zu nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich beabsichtige, einen bisher genutzten PKW durch ein Elektroauto zu ersetzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Konkrete Erwartungen 1

6. Welchen der folgenden Erwartungen wird der Smart electric drive Ihrer Meinung nach im Alltag gerecht werden?						
	Gar nicht					Völlig
Fahrverhalten						
Großer Fahrspaß	<input type="checkbox"/>					
Gute Beschleunigung	<input type="checkbox"/>					
Angemessene Höchstgeschwindigkeit	<input type="checkbox"/>					
Hoher Fahrkomfort	<input type="checkbox"/>					
Angenehme Fahrgeräusche	<input type="checkbox"/>					
Kosten						
Geringe Anschaffungskosten (<i>Mietkosten für das Fahrzeug</i>)	<input type="checkbox"/>					
Geringe laufende Kosten (<i>z.B. Stromkosten, Versicherung, Steuern</i>)	<input type="checkbox"/>					
Geringe Wartungs- und Servicekosten (<i>z.B. Reparatur</i>)	<input type="checkbox"/>					
Zuverlässigkeit						
Hohe Sicherheit beim Fahren	<input type="checkbox"/>					
Hohe Sicherheit beim Laden	<input type="checkbox"/>					
Zuverlässigkeit (<i>Lebensdauer der Batterie, Pannenanfälligkeit</i>)	<input type="checkbox"/>					
Guter Service (<i>Hilfe bei technischen Problemen oder leerer Batterie</i>)	<input type="checkbox"/>					

Konkrete Erwartungen 2

7. Weichen der folgenden Erwartungen wird der Smart electric drive Ihrer Meinung nach im Alltag gerecht werden?						
Ausstattung						
Funktionsfähige Heizung / Klimatisierung	<input type="checkbox"/>					
Ausreichendes Raumangebot / Transportkapazität	<input type="checkbox"/>					
Gute Ablesbarkeit und Übersichtlichkeit der Instrumente und Anzeigen	<input type="checkbox"/>					
Darstellung aller relevanten Informationen in Instrumenten und Anzeigen (z.B. Ladestand der Batterie)	<input type="checkbox"/>					
Positive Reaktionen anderer	<input type="checkbox"/>					
Batterie und Laden						
Genügend Reichweite	<input type="checkbox"/>					
Viel Vertrauen in die Reichweite (z. B. Wie weit komme ich wirklich noch mit dem Fahrzeug?)	<input type="checkbox"/>					
Kurze Ladedauer der Batterie	<input type="checkbox"/>					
Einfache Handhabung beim Laden der Batterie	<input type="checkbox"/>					
Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten am Arbeitsplatz	<input type="checkbox"/>					
Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten zu Hause	<input type="checkbox"/>					
Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten im öffentlichen Raum	<input type="checkbox"/>					
Sonstiges:.....	<input type="checkbox"/>					

8. Wo werden Sie den Smart electric drive voraussichtlich aufladen?							
	Keine Lademöglichkeit	Gar nicht	In Ausnahmefällen	manchmal	häufig	immer	Weiß ich nicht
Zu Hause	<input type="checkbox"/>						
An meinem Arbeitsplatz / im Betrieb	<input type="checkbox"/>						
An öffentlichen Ladestationen	<input type="checkbox"/>						

9. Wie häufig werden Sie den Smart electric drive voraussichtlich nutzen?					
(fast) täglich	1-3 Tage pro Woche	1-3 Tage pro Monat	seltener	Nie oder fast nie	Weiß nicht
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10. Werden Sie den Smart electric drive als hauptsächliches Verkehrsmittel nutzen?	
<input type="checkbox"/>	ja
<input type="checkbox"/>	nein
<input type="checkbox"/>	Weiß ich noch nicht

– Filter setzen: Gewerbekunde

11. Sie bezahlen einen monatlichen Mietpreis von 700 € netto für den Smart electric drive. Erachten Sie diesen als...	
<input type="checkbox"/>	zu teuer
<input type="checkbox"/>	hoch aber gerade noch akzeptabel
<input type="checkbox"/>	günstig, d.h. angemessen und fair
<input type="checkbox"/>	zu billig, d.h. ich habe kein Vertrauen in die Produktqualität

keine Angabe/Einschätzung.

-> Filter setzen: Privatkunde

10. Sie bezahlen einen monatlichen Mietpreis von 833 € für den Smart electric drive, erhalten gleichzeitig einen Zuschuss von der ENBW für die Projektteilnahme. Erachten Sie den effektiv resultierenden Preis für das Gesamtpaket (inkl. Wallbox etc.) als...

- zu teuer
 hoch aber gerade noch akzeptabel
 günstig, d.h. angemessen und fair
 zu billig, d.h. ich habe kein Vertrauen in die Produktqualität
 keine Angabe/Einschätzung.

12. Welchen monatlichen Mietpreis fänden Sie angemessen?

Filter: Gewerbe- und Privatkunden – nur bei Frage 10, Antwort 1, 2 und 4.

_____ Euro/Monat

1. Wie beurteilen Sie die Vertragslaufzeit?

- zu lang
- hoch aber gerade noch akzeptabel
- angemessen und fair
- zu kurz
- Ich kenne die Laufzeit nicht.
- keine Angabe/Einschätzung

Erfahrungen

Auf den folgenden Seiten interessiert uns, welche Erfahrungen Sie bisher mit alternativen Antriebstechnologien bzw. Kraftstoffen haben?

2. Welche der aufgeführten alternativen Antriebstechnologien sind Sie bereits gefahren?						
	Kenne ich gar nicht.	Nein, noch nie	Habe ich schon einmal ausprobiert (als Fahrer / Mitfahrer)	Habe ich in der Vergangenheit regelmäßig genutzt.	Nutze ich aktuell regelmäßig.	Ich weiß nicht / Ich bin mir nicht sicher
Brennstoffzelle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Batterie-elektrisches Fahrzeug	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hybrid-Fahrzeug (Fahrzeug mit konventionellem und Elektromotor, auch: Range-Extender)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fahrzeug mit alternativem Kraftstoff (z.B. Biokraftstoffe, Erdgas)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Filter setzen: Privatkunde

3. Mit welchen der folgenden Themen haben Sie sich schon einmal beschäftigt?					
	Nein, noch nie	Habe ich schon mal was gelesen.	Habe ich mir schon einmal angeschaut.	Habe ich intensiv Informationen gesucht.	Damit beschäftige ich mich beruflich.
Dynamische bzw. variable Stromtarife	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Smart-Meter (neuartige, digitale Stromzähler)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektrofahrzeuge	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

> Filter setzen: Privatkunde

4. Haben Sie schon einmal den Anbieter einer Dienstleistung aus Gründen des Tarifs gewechselt?				
	Nein, noch nie	Habe mich informiert, dann aber gegen einen Wechsel entschieden.	Ja, einmal.	Ja, mehrfach.
Strom	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Telefon (Festnetz)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Handy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Internet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Einstellungen

5. Was ist Ihre Meinung zu den folgenden Aussagen?							
	Stimme über- haupt nicht zu	2	3	4= neut- ral	5	6	Stim- me sehr zu
Es beunruhigt mich, wenn ich daran denke, unter welchen Umweltverhältnissen unsere Kinder und Enkelkinder wahrscheinlich leben müssen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn wir so weitermachen wie bisher, steuern wir auf eine Umweltkatastrophe zu.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wir brauchen einen konsequenten Umstieg auf erneuerbare Energien.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Bürgerinnen und Bürger können durch ein umweltbewusstes Alltagsverhalten wesentlich zum Klimaschutz beitragen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	Stimme über- haupt nicht zu	2	3	4= neut- ral	5	6	Stim- me sehr zu
Ich kann mich für Technik sehr begeistern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich wäre froh, wenn es nicht so viel Technik in der Welt gäbe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Technik bereitet dem Menschen mehr Probleme, als sie ihm nützt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich weiß ganz gut Bescheid, was sich in der Technikentwicklung in den letzten Jahren getan hat.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	Stimme über- haupt nicht zu	2	3	4= neut- ral	5	6	Stim- me sehr zu
Ich schaue oft nach Informationen über neue Produkte und Marken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich bin oft einer der ersten in meinem Freundes- und Bekanntenkreis, der sich eine neue Technologie zulegt, wenn diese auf den Markt kommt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	Stimme über- haupt nicht zu	2	3	4= neut- ral	5	6	Stim- me sehr zu
Bei einer Anschaffung vergleiche ich Produkte miteinander und kaufe dann das günstigste	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich ein Produkt kaufe versuche ich immer die maximale Qualität zum niedrigst möglichen Preis zu kaufen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Geld, was durch den Vergleich von Preisen gespart wird, ist für gewöhnlich die Zeit und den Aufwand nicht wert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Angaben zum herkömmlichen Fahrzeug

Im Folgenden möchten wir Sie bitten, ein paar Angaben zu dem herkömmlichen Fahrzeug zu machen, das Sie am häufigsten nutzen.

➤ **Filter setzen: Privatkunde**

6. Wie viele Fahrzeuge haben Sie in Ihrem Haushalt/in Ihrer Flotte?						
	0	1	2	3	4	>4
Pkw	<input type="checkbox"/>					
Transporter	<input type="checkbox"/>					
Roller/ Moped/ Motorrad	<input type="checkbox"/>					
Fahrrad	<input type="checkbox"/>					

Angaben zur herkömmlichen Mobilität

Im Folgenden interessiert uns, welche Verkehrsmittel Sie aktuell nutzen und zu welchem Zweck Sie unterwegs sind.

➤ **Filter setzen: Privatkunde**

7. Wie häufig nutzen Sie folgende Verkehrsmittel?						
	(fast) täglich	An 1-3 Tagen pro Woche	An 1-3 Tagen pro Monat	seltener	nie oder fast nie	Weiß nicht
Pkw	<input type="checkbox"/>					
Moped/Motorrad	<input type="checkbox"/>					
Fahrrad	<input type="checkbox"/>					
Bahn für längere Strecken	<input type="checkbox"/>					
Öffentliche Verkehrsmittel (S-Bahn, Straßenbahn, Bus) in der Region	<input type="checkbox"/>					
Car-Sharing / Fahrgemeinschaft	<input type="checkbox"/>					
Zu Fuß	<input type="checkbox"/>					

► Filter setzen: Privatkunde

8. Wie viele Kilometer fahren Sie durchschnittlich an einem (Werk-)Tag?
<input type="checkbox"/> bis 5 km <input type="checkbox"/> bis 10 km <input type="checkbox"/> bis 25 km <input type="checkbox"/> bis 50 km <input type="checkbox"/> bis 100 km <input type="checkbox"/> über 100 km <input type="checkbox"/> Weiß nicht
Wie viele Wege legen Sie durchschnittlich an einem (Werk-) Tag zurück? <i>Gemeint sind alle Wege, die zu Fuß oder mit Verkehrsmitteln zurück gelegt wurden. Hin- und Rückweg sind dabei zwei Wege. Beim Umsteigen zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln auf dem Weg zum Ziel (z.B. vom Bus in die U-Bahn oder vom Auto in die S-Bahn) bleibt es ein Weg.</i>
<input type="checkbox"/> bis 2 <input type="checkbox"/> bis 4 <input type="checkbox"/> bis 6 <input type="checkbox"/> bis 8 <input type="checkbox"/> bis 10 <input type="checkbox"/> über 10 <input type="checkbox"/> Weiß nicht

9. Wie haben Sie von dem Projekt erfahren? <i>Mehrfachantworten sind möglich.</i>	
<input type="checkbox"/>	Homepage EnBW / SWK
<input type="checkbox"/>	Messe Offerta
<input type="checkbox"/>	Werbung Daimler, Smart Center
<input type="checkbox"/>	Medien (z.B. TV, Zeitung)
<input type="checkbox"/>	Arbeitgeber, Kollegen
<input type="checkbox"/>	Freunde, Bekannte, Nachbar
<input type="checkbox"/>	Eigene Recherche
<input type="checkbox"/>	Sonstiges, nämlich:

10. Ist Ihr Arbeitgeber/ hr Betrieb an dem Projekt beteiligt?	
<input type="checkbox"/>	Ja, er ist Projektpartner
<input type="checkbox"/>	Ja, er hat auch ein Fahrzeug gemietet.
<input type="checkbox"/>	Nein
<input type="checkbox"/>	Weiß ich nicht.

11. Was waren für Sie die zwei wichtigsten Gründe, im Rahmen des Projektes einen Mietvertrag für den Smart e-drive abzuschließen?	
<input type="checkbox"/>	Umweltfreundliche Mobilität
<input type="checkbox"/>	Nutzung einer neuartigen Technologie
<input type="checkbox"/>	Preis-Leistungsverhältnis
<input type="checkbox"/>	Attraktivität des Fahrzeugs
<input type="checkbox"/>	Kombination mit Ökostrom
<input type="checkbox"/>	Neugier
<input type="checkbox"/>	Anschaffung eines Fahrzeugs stand aktuell an
<input type="checkbox"/>	Andere Gründe: _____

12. Welche Bedenken hatten Sie bei der Entscheidung für den Smart e-drive?	

Angaben zur Person

Abschließend möchten wir Sie bitten, einige Fragen zu Ihrer Person zu beantworten.

13. Alter	
_____ Jahre	
14. Geschlecht	
<input type="checkbox"/>	weiblich
<input type="checkbox"/>	männlich
<input type="checkbox"/>	Keine Angabe
> Filter setzen: Privatkunde	
<input type="checkbox"/>	Ich wohne zur Miete.
<input type="checkbox"/>	Ich wohne in Eigentum
<input type="checkbox"/>	Keine Angabe
> Filter setzen: Privatkunde	
15. Wie ist Ihr Familienstand?	
<input type="checkbox"/>	Verheiratet / eheähnliche Gemeinschaft
<input type="checkbox"/>	Partner, jedoch getrennte Wohnungen
<input type="checkbox"/>	Ledig
<input type="checkbox"/>	Geschieden / getrennt lebend
<input type="checkbox"/>	Verwitwet
<input type="checkbox"/>	Keine Angabe
> Filter setzen: Privatkunde	
16. Wie viele Personen leben in Ihrem Haushalt? _____	
17. Davon...	
...Kinder unter 14 Jahren: _____	
...Kinder von 14 bis unter 18 Jahren: _____	

16. Sind Sie in einem oder mehreren der folgenden Tätigkeitsfelder beschäftigt? <i>Mehrfachantworten sind möglich.</i>	
<input type="checkbox"/>	Automobilindustrie
<input type="checkbox"/>	Automobilzulieferer
<input type="checkbox"/>	Forschung und Entwicklung von Fahrzeugen
<input type="checkbox"/>	Batterietechnologie
<input type="checkbox"/>	Energieversorgung
<input type="checkbox"/>	Forschung zum Thema (Elektro-) Mobilität
<input type="checkbox"/>	Öffentlicher Verkehr / Deutsche Bahn
<input type="checkbox"/>	In keinem der genannten

➤ -> Filter setzen: Privatkunde

19. In welchem Bereich liegt das monatliche Nettoeinkommen Ihres Haushaltes insgesamt? <i>Addieren Sie bitte das Nettoeinkommen aller Haushaltsmitglieder.</i>	
<input type="checkbox"/>	bis unter 900 Euro
<input type="checkbox"/>	900 bis unter 2.000 Euro
<input type="checkbox"/>	2.000 bis unter 3.000 Euro
<input type="checkbox"/>	3.000 bis unter 4.000 Euro
<input type="checkbox"/>	4.000 bis unter 5.000 Euro
<input type="checkbox"/>	5.000 bis unter 6.000 Euro
<input type="checkbox"/>	6.000 bis unter 7.000 Euro
<input type="checkbox"/>	Mehr als 7.000 Euro im Monat
<input type="checkbox"/>	Das möchte ich nicht angeben.

> Filter setzen: Privatkunde

20. Was ist der höchste formale Bildungsabschluss, den Sie erworben haben?	
<input type="checkbox"/>	Promotion / Habilitation
<input type="checkbox"/>	Studienabschluss (z.B. Diplom, Master, BA)
<input type="checkbox"/>	Abgeschlossene Berufsausbildung
<input type="checkbox"/>	Abitur
<input type="checkbox"/>	Mittlerer Schulabschluss (z.B. Realschule)
<input type="checkbox"/>	Hauptschulabschluss
<input type="checkbox"/>	kein formaler Abschluss
<input type="checkbox"/>	Sonstiges, nämlich

> Filter setzen: Privatkunde

21. Sind Sie berufstätig oder sind Sie in Ausbildung?	
<input type="checkbox"/>	Aktuell weder berufstätig noch in Ausbildung
<input type="checkbox"/>	Vollzeit berufstätig
<input type="checkbox"/>	Teilzeit berufstätig
<input type="checkbox"/>	In Ausbildung (z.B. Schüler, Student, Lehre)

> Filter setzen: Privatkunde

22. Wie würden Sie die Lage Ihres Wohnortes einordnen?	
<input type="checkbox"/>	In einer ländlichen Region
<input type="checkbox"/>	In einem Vorort
<input type="checkbox"/>	Innerhalb einer Stadt, aber nicht zentral
<input type="checkbox"/>	Zentral innerhalb einer Stadt

Sie haben das Ende unserer Befragung erreicht.

Wir freuen uns, wenn Sie uns kritische und/oder positive Anmerkungen zu dieser Befragung oder zum Thema Elektromobilität mitteilen.

Wenn Sie eine Frage zu der Online-Studie haben, können Sie uns gern eine E-Mail an folgende Adresse schicken:

merregionobil@isi.fraunhofer.de

Nachdem Sie Ihren Smart electric drive erhalten haben, möchten wir Sie gerne erneut zu Ihren ersten Erfahrungen mit dem Elektrofahrzeug zu befragen.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Online-Befragung IIa



1

Online-Fragebogen: Erfahrungen Elektrofahrzeug (T1)

Modul 1: Minimaldatenset (erforderlich)
--

Sehr geehrte Damen und Herren,

wir freuen uns, dass Sie an unserer Befragung zum Thema „Erfahrungen mit dem Elektrofahrzeug“ teilnehmen. Da Sie bereits ein Elektrofahrzeug nutzen, interessieren uns Ihre Erfahrungen, die Sie mit dem Fahrzeug gemacht haben.

Sollten Sie das Elektrofahrzeug noch längere Zeit nutzen, möchten wir Sie später gerne noch ein weiteres Mal zu Ihren Erfahrungen mit dem Elektrofahrzeug befragen.

Es gibt bei der Befragung keine richtigen oder falschen Antworten, es geht uns um Ihre persönliche Meinung. Alle Angaben sind selbstverständlich freiwillig. Die Daten werden anonym erhoben und ausgewertet, d.h. es sind keine Rückschlüsse auf einzelne Personen möglich.

Vielen Dank für Ihre Unterstützung und viel Spaß beim Ausfüllen!
Ihr Fraunhofer Institut

Da die Befragung anonym ist, möchten wir Sie bitten, folgenden Code auszufüllen, damit wir Ihre Antworten aus dieser Befragung der vorangegangenen bzw. der nächsten Befragung zuordnen können.

Persönlicher Code	
Beispielcode: MH2107PR	
Erster Buchstabe des Vornamens Ihrer Mutter: z.B. <u>M</u> ARTINA	_____
Erster Buchstabe des Vornamens Ihres Vaters: z.B. <u>H</u> ANS,	_____
Ihr Geburtstag: z.B. <u>2107</u>	_____
Der erste und letzte Buchstabe Ihres Vornamens: z.B. <u>P</u> ETER <u>R</u>	_____

Die Befragung kann erst nach Eingabe dieses Codes gestartet werden.

Angaben zum Elektrofahrzeug

Im Folgenden interessiert uns, welches Elektrofahrzeug Sie im Rahmen des Projektes nutzen, bzw. genutzt haben.

1. Welches Elektrofahrzeug haben Sie bis jetzt (hauptsächlich) genutzt?				
<input type="checkbox"/>	Pkw, und zwar <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td><input type="checkbox"/> ein rein Batterie-elektrisches Fahrzeug</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ein Hybridfahrzeug (Batterie wird allein durch Motor geladen)</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ein Plug-In-Hybridfahrzeug (Batterie kann zusätzlich durch Anstecken an eine Steckdose geladen werden)</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> ein rein Batterie-elektrisches Fahrzeug	<input type="checkbox"/> ein Hybridfahrzeug (Batterie wird allein durch Motor geladen)	<input type="checkbox"/> ein Plug-In-Hybridfahrzeug (Batterie kann zusätzlich durch Anstecken an eine Steckdose geladen werden)
	<input type="checkbox"/> ein rein Batterie-elektrisches Fahrzeug			
	<input type="checkbox"/> ein Hybridfahrzeug (Batterie wird allein durch Motor geladen)			
<input type="checkbox"/> ein Plug-In-Hybridfahrzeug (Batterie kann zusätzlich durch Anstecken an eine Steckdose geladen werden)				
<input type="checkbox"/>	Transporter, und zwar <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td><input type="checkbox"/> ein rein Batterie-elektrisches Fahrzeug</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ein Hybridfahrzeug (Batterie wird allein durch Motor geladen)</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ein Plug-In-Hybridfahrzeug (Batterie kann zusätzlich durch Anstecken an eine Steckdose geladen werden)</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> ein rein Batterie-elektrisches Fahrzeug	<input type="checkbox"/> ein Hybridfahrzeug (Batterie wird allein durch Motor geladen)	<input type="checkbox"/> ein Plug-In-Hybridfahrzeug (Batterie kann zusätzlich durch Anstecken an eine Steckdose geladen werden)
<input type="checkbox"/> ein rein Batterie-elektrisches Fahrzeug				
<input type="checkbox"/> ein Hybridfahrzeug (Batterie wird allein durch Motor geladen)				
<input type="checkbox"/> ein Plug-In-Hybridfahrzeug (Batterie kann zusätzlich durch Anstecken an eine Steckdose geladen werden)				
<input type="checkbox"/>	Elektroroller			
<input type="checkbox"/>	Pedelec (Elektrofahrad)			
<input type="checkbox"/>	Sonstiges, und zwar.....			
<input type="checkbox"/>	Weiß ich nicht			

2. Nennen Sie bitte Marke, Typ, Alter und Eigenschaften des Elektrofahrzeugs, das Sie am häufigsten genutzt haben.	
Marke (z.B. Toyota)	
Typ/Modell (z.B. Prius)	
Motorart (z.B. Hybrid)	
Baujahr (z.B. 2005)	
Elektrische Reichweite	
Ladedauer (von 0 auf 100 % in Stunden)	
Höchstgeschwindigkeit in km/h	



3. Wie lange haben Sie das Elektrofahrzeug bisher genutzt?

ca. _____ Wochen

Ich habe das Elektrofahrzeug bisher noch gar nicht genutzt.

> Abbruch: Wenn nicht genutzt – Weiterleitung zur Endseite

4. Wie häufig haben Sie das Elektrofahrzeug bisher genutzt?

(fast) täglich	1-3 Tage pro Woche	1-3 Tage pro Monat	seltener	Nie oder fast nie	keine Angabe
<input type="checkbox"/>					

5. Wie lange werden Sie das Elektrofahrzeug voraussichtlich noch nutzen?

Noch ca. _____ Wochen

Ich nutze das Elektrofahrzeug nicht mehr / Ich habe es bereits abgegeben.

6. Nutzen Sie dieses Elektrofahrzeug überwiegend privat oder dienstlich?

<input type="checkbox"/>	überwiegend privat
<input type="checkbox"/>	überwiegend dienstlich
<input type="checkbox"/>	sowohl privat als auch dienstlich

7. In welchem Rahmen nutzen Sie das Elektrofahrzeug?

Mehrfachantworten sind möglich

<input type="checkbox"/>	als privates Fahrzeug
<input type="checkbox"/>	als Dienst-/Firmenfahrzeug in alleiniger Nutzung
<input type="checkbox"/>	als Dienst-/Firmenfahrzeug im Wechsel mit Kollegen (z. B. Flottennutzung)
<input type="checkbox"/>	als Car Sharing Fahrzeug
<input type="checkbox"/>	sonstiges, und zwar.....



4

> Filter Frage 1: private UND sowohl private als auch dienstliche Nutzung

8. Nutzen Sie das Elektrofahrzeug <u>privat</u> als hauptsächliches Verkehrsmittel?	
<input type="checkbox"/>	Ja
<input type="checkbox"/>	Nein

> Filter: wenn dienstlich UND sowohl privat als auch dienstlich (Frage 1)

9. Nutzen Sie das Elektrofahrzeug <u>dienstlich</u> als hauptsächliches Verkehrsmittel?	
<input type="checkbox"/>	Ja
<input type="checkbox"/>	Nein

10. Bitte geben Sie an, welche der folgenden Punkte auf Sie zutreffen. <i>Mehrfachantworten sind möglich.</i>	
<input type="checkbox"/>	Ich war an der Entscheidung, ein oder mehrere Elektrofahrzeuge zu beschaffen, beteiligt.
<input type="checkbox"/>	Ich nutze das Elektrofahrzeug selbst.

Allgemeine Erfahrungen

Im Folgenden geht es um Ihre Erfahrungen mit dem Elektrofahrzeug, das Sie bisher (hauptsächlich) genutzt haben und Ihre damit verbundenen Einschätzungen.

10. Wie bewerten Sie das Elektrofahrzeug nach Ihren bisherigen Erfahrungen ?							
	Trifft über- haupt nicht zu	Trifft über- wiegend nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft über- wiegend zu	Trifft voll und ganz zu	keine Angabe
Die Nutzung des Elektrofahrzeugs ist einfach.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Umgang mit dem Elektrofahrzeug war einfach zu lernen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Elektrofahrzeug ist für meinen Alltag nützlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Elektrofahrzeug ist umweltfreundlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Elektrofahrzeug hilft, Geld zu sparen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Elektrofahrzeug begeistert mich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Inwiefern wird die Nutzung des Elektrofahrzeugs Ihre zukünftigen Mobilitäts-Entscheidungen beeinflussen?							
	Trifft über- haupt nicht zu	Trifft über- wiegend nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft über- wiegend zu	Trifft voll und ganz zu	Keine Angabe
Ich beabsichtige, ein Elektrofahrzeug auch nach dem Flottenversuch regelmäßig und dauerhaft zu nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich beabsichtige, ein bisher genutztes Fahrzeug durch ein Elektrofahrzeug zu ersetzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beim nächsten Fahrzeugkauf werde ich ein Elektrofahrzeug in Betracht ziehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich werde mich zukünftig über die weitere Entwicklung von Elektrofahrzeugen informieren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Konkrete Erfahrungen

12. Wie gut wird das Elektrofahrzeug den Anforderungen im Alltag gerecht? Bitte bewerten Sie die folgenden Aspekte für das von Ihnen hauptsächlich genutzte Elektrofahrzeug.							
Batterie und Laden	Gar nicht					Völlig	keine Angabe
Genügend Reichweite (bei Hybriden: die rein elektrische Reichweite)	<input type="checkbox"/>						
Viel Vertrauen in die Reichweite (z. B. Wie weit komme ich wirklich noch mit dem Fahrzeug?)	<input type="checkbox"/>						
Kurze Ladedauer der Batterie	<input type="checkbox"/>						
Einfache Handhabung beim Laden der Batterie	<input type="checkbox"/>						
Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten am Arbeitsplatz	<input type="checkbox"/>						
Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten zu Hause	<input type="checkbox"/>						
Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten im öffentlichen Raum	<input type="checkbox"/>						
Nutzbarkeit von Lademöglichkeiten im öffentlichen Raum (Beschilderung, Parkmöglichkeiten)	<input type="checkbox"/>						
Verfügbarkeit von Öko-Strom	<input type="checkbox"/>						
Hohe Transparenz der Stromkosten (Was kostet die kWh, wenn ich lade?)							
Fahrverhalten	Gar nicht					Völlig	keine Angabe
Großer Fahrspaß	<input type="checkbox"/>						
Gute Beschleunigung	<input type="checkbox"/>						
Angemessene Höchstgeschwindigkeit	<input type="checkbox"/>						
Hoher Fahrkomfort	<input type="checkbox"/>						
Angenehme Fahrgeräusche	<input type="checkbox"/>						

7							
Kosten	Gar nicht				Vollig	keine Angabe	
Geringe Anschaffungskosten (z.B. Kaufpreis / Leasingraten)	<input type="checkbox"/>						
Geringe laufende Kosten (z.B. Stromkosten, Versicherung, Steuern)	<input type="checkbox"/>						
Geringe Wartungs- und Servicekosten (z.B. Reparatur)	<input type="checkbox"/>						
Zuverlässigkeit	Gar nicht				Vollig	keine Angabe	
Hohe Sicherheit beim Fahren	<input type="checkbox"/>						
Hohe Sicherheit beim Laden	<input type="checkbox"/>						
Zuverlässigkeit (Lebensdauer der Batterie, Pannenanfälligkeit)	<input type="checkbox"/>						
Guter Service (Hilfe bei technischen Problemen oder leerer Batterie)	<input type="checkbox"/>						
Ausstattung und Sonstiges	Gar nicht				Vollig	keine Angabe	
Funktionsfähige Heizung <i>(ausblenden, wenn bei 1. Fahrrad oder Roller angekreuzt)</i>	<input type="checkbox"/>						
Funktionsfähige Klimatisierung <i>(ausblenden, wenn bei 1. Fahrrad oder Roller angekreuzt)</i>	<input type="checkbox"/>						
Großes Raumangebot <i>(ausblenden, wenn bei 1. Fahrrad oder Roller angekreuzt)</i>	<input type="checkbox"/>						
Hohe Transportkapazität	<input type="checkbox"/>						
Gute Ablesbarkeit und Übersichtlichkeit der Instrumente und Anzeigen	<input type="checkbox"/>						
Positive Reaktionen anderer	<input type="checkbox"/>						
Sonstiges:.....	<input type="checkbox"/>						

13. Was zahlen Sie/Ihre Firma für das Elektrofahrzeug?	
<input type="checkbox"/>	Einmaliger Kaufpreis von Euro
<input type="checkbox"/>	Monatliche Miet- oder Leasingrate von Euro
<input type="checkbox"/>	Nutzungsgebühren (z.B. Car-Sharing).....
<input type="checkbox"/>	Nichts, ich/die Firma nutzen das Elektrofahrzeug kostenlos.
<input type="checkbox"/>	Das weiß ich nicht.
<input type="checkbox"/>	Sonstiges
14. Filter Frage 14: nur wenn Preis bekannt: Ich erachte diesen Preis als	
<input type="checkbox"/>	zu teuer
<input type="checkbox"/>	hoch aber gerade noch akzeptabel
<input type="checkbox"/>	günstig, d.h. angemessen und fair
<input type="checkbox"/>	zu billig, d.h. ich habe kein Vertrauen in die Produktqualität
15. Filter: entsprechend Frage 15 – einmalig vs. monatlich: Wären Sie grundsätzlich bereit, für das Elektrofahrzeug mehr zu zahlen als für ein vergleichbares, herkömmliches Fahrzeug?	
<input type="checkbox"/>	Ja, und zwar bis zuEuro gesamt (bei einmaligem Kaufpreis)
<input type="checkbox"/>	Ja, und zwar bis zuEuro gesamt / Monat (bei monatlicher Rate)
<input type="checkbox"/>	Nein

16. Wären Sie persönlich bereit, für ein Elektrofahrzeug mehr zu zahlen, wenn Sie durch die Nutzung des Elektrofahrzeugs folgende Vorteile hätten?							
	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft überwiegend nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft überwiegend zu	Trifft voll und ganz zu	keine Angabe
Nutzung von Busspuren, bzw. reservierte Fahrsuren für Elektrofahrzeuge	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Für Elektrofahrzeuge reservierte Parkplätze	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kostenlose Parkplätze	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Günstigere Kfz-Steuer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Günstigere Kfz-Versicherung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Preiswerter Ladestrom	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges, und zwar:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Verbesserungspotential

Nun möchten wir von Ihnen wissen, was an dem Elektrofahrzeug oder den Nutzungsbedingungen aus Ihrer Sicht verbessert werden müsste, um Elektromobilität attraktiver zu gestalten.

17. Welche drei Aspekte müssten aus Ihrer Sicht an Ihrem Elektrofahrzeug verbessert werden, um es im Alltag besser nutzen zu können oder um es attraktiver zu machen?
1.
2.
3.

> *Listenfunktion der Nennungen*

18. Wann müssten diese Verbesserungen an Ihrem Elektrofahrzeug realisiert werden?					
	Sofort (2010)	Kurzfristig (bis 2015)	Mittelfristig (bis 2020)	Langfristig (bis 2030)	Später (nach 2030)
Liste 1	<input type="checkbox"/>				
Liste 2	<input type="checkbox"/>				
Liste 3	<input type="checkbox"/>				

19. Durch welche drei Bedingungen oder Maßnahmen könnte die Nutzung von Elektrofahrzeugen in Deutschland aus Ihrer Sicht erleichtert und gefördert werden?
1.
2.
3.

> *Listenfunktion der Nennungen*

20. Wann müssten diese Bedingungen/Maßnahmen in Deutschland realisiert werden?					
	Sofort (2010)	Kurzfristig (bis 2015)	Mittelfristig (bis 2020)	Langfristig (bis 2030)	Später (nach 2030)
Liste 1	<input type="checkbox"/>				
Liste 2	<input type="checkbox"/>				
Liste 3	<input type="checkbox"/>				



10

Sie haben das Ende unserer Befragung erreicht.

Wir freuen uns, wenn Sie uns weitere Informationen zu Ihren bisherigen Erfahrungen mit dem Forschungsprojekt oder dem Elektrofahrzeug, bzw. kritische und/oder positive Anmerkungen zu dieser Befragung mitteilen.

Wenn Sie eine Frage zu der Online-Studie haben, können Sie uns gern eine E-Mail an folgende Adresse schicken:

smarthome@forschung.fh.edu

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Online-Befragung IIb



1

Online-Fragebogen: Erfahrungen Elektrofahrzeug (T1)

Modul 2: Optionale Befragungsinhalte (wenn möglich und gewünscht)

Vor- und Nachteile

Im Folgenden möchten wir Sie bitten anzugeben, welche Vor- bzw. welche Nachteile Sie bei der Nutzung des Elektrofahrzeuges erlebt haben.

1. Welche für Sie persönlich wichtigen Vorteile haben Sie bei der Nutzung des Elektrofahrzeuges erlebt?

--

2. Welche für Sie persönlich wichtigen Nachteile haben Sie bei der Nutzung des Elektrofahrzeuges erlebt?

--

Angaben zur Mobilität

Im Folgenden interessiert uns, welche Verkehrsmittel Sie – außer dem Elektrofahrzeug - aktuell nutzen, und für welche Zwecke Sie das Elektrofahrzeug nutzen.

➤ Filter: Modul 1, Frage 1 private UND sowohl privat als auch dienstliche Nutzung

3. Wie häufig nutzen Sie <u>privat</u> folgende Verkehrsmittel – abgesehen von Elektrofahrzeugen?						
	(fast) täglich	An 1-3 Tagen pro Woche	An 1-3 Tagen pro Monat	seltener	nie oder fast nie	keine Angabe
Pkw	<input type="checkbox"/>					
Moped/Motorrad	<input type="checkbox"/>					
Transporter	<input type="checkbox"/>					
Fahrrad	<input type="checkbox"/>					
Bahn für längere Strecken	<input type="checkbox"/>					
Öffentliche Verkehrsmittel (S-Bahn, Straßenbahn, Bus) in der Region	<input type="checkbox"/>					
Fahrgemeinschaft	<input type="checkbox"/>					
Car-Sharing	<input type="checkbox"/>					
Zu Fuß	<input type="checkbox"/>					
Flugzeug	<input type="checkbox"/>					

4. Wie häufig sind Sie zu welchem Zweck <u>privat</u> mit dem Elektrofahrzeug unterwegs?						
	(fast) täglich	An 1-3 Tagen pro Woche	An 1-3 Tagen pro Monat	seltener	nie oder fast nie	keine Angabe
Weg zur Arbeit	<input type="checkbox"/>					
Erreichen der Ausbildungsstätte / Schule	<input type="checkbox"/>					
Freizeitaktivitäten (z.B. Sport, Restaurant)	<input type="checkbox"/>					

	(fast) täglich	An 1-3 Tagen pro Woche	An 1-3 Tagen pro Monat	seltener	nie oder fast nie	keine Angabe
Einkaufen	<input type="checkbox"/>					
private Erledigungen (z.B. Arzt, Bank, Post, etc.)	<input type="checkbox"/>					
Besuche und Wochenendausflüge	<input type="checkbox"/>					
Bringen oder Holen von Personen	<input type="checkbox"/>					
Sonstiges, und zwar _____	<input type="checkbox"/>					

> Filter Modul 1, Frage 1: dienstliche UND sowohl privat als auch dienstliche Nutzung

5. Was ist der Hauptzweck Ihrer dienstlichen Wege <u>mit dem Elektrofahrzeug</u> ? <i>Mehrfachantworten sind möglich.</i>	
<input type="checkbox"/>	Besuche / Besichtigungen / Besprechungen
<input type="checkbox"/>	Kundendienst / Erledigungen
<input type="checkbox"/>	Sozialdienst / Betreuung
<input type="checkbox"/>	Transport / Abholung / Zustellung von Waren
<input type="checkbox"/>	Personalbeförderung
<input type="checkbox"/>	Sonstiges, und zwar.....

6. Haben Sie für dienstliche Fahrten die Möglichkeit, andere Fahrzeuge außer dem Elektrofahrzeug zu nutzen?	
<input type="checkbox"/>	Ja
<input type="checkbox"/>	Nein

> Filter: Frage 6 „Ja“

Im Folgenden interessiert uns, welche Verkehrsmittel Sie – außer dem Elektrofahrzeug - aktuell dienstlich nutzen.

7. Wie häufig nutzen Sie dienstlich folgende Verkehrsmittel – abgesehen von dem Elektrofahrzeug?						
	(fast) täglich	An 1-3 Tagen pro Woche	An 1-3 Tagen pro Monat	seltener	nie oder fast nie	keine Angabe
Pkw	<input type="checkbox"/>					
Moped/Motorrad	<input type="checkbox"/>					
Transporter	<input type="checkbox"/>					
Fahrrad	<input type="checkbox"/>					
Bahn für längere Strecken	<input type="checkbox"/>					
Öffentliche Verkehrsmittel (S-Bahn, Straßenbahn, Bus) in der Region	<input type="checkbox"/>					
Fahrgemeinschaft	<input type="checkbox"/>					
Car-Sharing	<input type="checkbox"/>					
Zu Fuß	<input type="checkbox"/>					
Flugzeug	<input type="checkbox"/>					

> Filter aufheben - wieder für alle (kein Filter)

8. Gibt es Fahrten, die aufgrund der Eigenschaften des Elektrofahrzeugs (z.B. eine begrenzte Reichweite, eine geringe Transportkapazität) nicht möglich wären?
<input type="checkbox"/> Ja, und zwar
<input type="checkbox"/> Nein
9. Filter Wenn Frage 8 "Ja": Wie haben Sie sich verhalten?
<input type="checkbox"/> Ich habe ein anderes Verkehrsmittel/Fahrzeug genutzt, und zwar
<input type="checkbox"/> Ich habe die Fahrt abgesagt/verschoben
<input type="checkbox"/> Keine Angabe

10. Wie viele Kilometer fahren Sie durchschnittlich an einem (Werk-)Tag mit dem Elektrofahrzeug?
_____ km
11. Wie viele Wege legen Sie durchschnittlich an einem (Werk-) Tag mit dem Elektrofahrzeug zurück? <small>Gemeint sind alle Wege, die mit dem Elektrofahrzeug zurück gelegt wurden. Hin- und Rückweg zählen als zwei Wege. Beim Umsiegen auf ein anderes Verkehrsmittel auf dem Weg zum Ziel (z.B. vom Elektrofahrzeug in die S-Bahn) bleibt es ein Weg.</small>
_____ Wege

Geräusche

1. Haben Sie während der Nutzung des Elektrofahrzeugs erlebt, dass Sie von anderen Verkehrsteilnehmern überhört oder zu spät wahrgenommen wurden?
<input type="checkbox"/> Ja oft und zwar
<input type="checkbox"/> Ja manchmal und zwar
<input type="checkbox"/> Nein nie.
2. Denken Sie, dass andere Verkehrsteilnehmer durch die leisen Elektrofahrzeuge im Straßenverkehr stärker gefährdet sind?
<input type="checkbox"/> Ja
<input type="checkbox"/> Nein
<input type="checkbox"/> Ich weiß nicht.

Online-Befragung III

Begrüßung und Einführung

Sehr geehrte Damen und Herren,

wir freuen uns, dass Sie an unserer Befragung im Projekt MeRegioMobil erneut teilnehmen.

Da Sie das Elektrofahrzeug bereits seit Längerem fahren, möchten wir Sie heute ein letztes Mal zu Ihren Erfahrungen befragen. Die Befragung wird etwa 15 Minuten dauern.

Es gibt bei dieser Befragung keine richtigen oder falschen Antworten, es geht uns um Ihre persönliche Meinung. Alle Angaben sind selbstverständlich freiwillig.

Die Daten werden anonym erhoben und ausgewertet, d. h. es sind keine Rückschlüsse auf einzelne Personen möglich.

Vielen Dank für Ihre Unterstützung und viel Spaß beim Ausfüllen!

Fraunhofer-Institut für System und Innovationsforschung (ISI)

und

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Da die Befragung anonym ist, möchten wir Sie bitten, folgenden Code auszufüllen, damit wir Ihre heutigen Antworten denjenigen aus der vorherigen Befragung zuordnen können.

Persönlicher Code	
Beispielcode: MH2107PR	
Erster Buchstabe des Vornamens Ihrer Mutter: z.B. <u>M</u> MARTINA	_____
Erster Buchstabe des Vornamens Ihres Vaters: z.B. <u>H</u> HANS,	_____
Ihr Geburtstag: z.B. <u>2107</u>	_____
Der erste und letzte Buchstabe Ihres Vornamens: z.B. <u>P</u> <u>E</u> PETER	_____

Die Befragung kann erst nach Eingabe dieses Codes gestartet werden

I. Allgemeine Angaben

1. Haben Sie den Smart electric drive gemietet als...	
<input type="checkbox"/>	Gewerbekunde
<input type="checkbox"/>	Privatkunde
2. In welchem Rahmen nutzen Sie den Smart electric drive? <i>Mehrfachantworten sind möglich</i>	
<input type="checkbox"/>	als privates Fahrzeug
<input type="checkbox"/>	als Dienstfahrzeug in alleiniger Nutzung
<input type="checkbox"/>	als Firmenfahrzeug (Fuhrparknutzung)
<input type="checkbox"/>	sonstiges, und zwar
3. Wie lange haben Sie den Smart electric drive bisher genutzt?	
ca.	Wochen oder ca. Monate

II. Erfahrungen

4. Welche für Sie persönlich wichtigen Vorteile haben Sie bei der Nutzung des Smart electric drive erlebt?

5. Welche für Sie persönlich wichtigen Nachteile haben Sie bei der Nutzung des Smart electric drive erlebt?

6. Welche Erfahrungen haben Sie allgemein mit den Smart electric drive gemacht?						
	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft überwiegend nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft überwiegend zu	Trifft voll und ganz zu → k.A.
Die Nutzung des Smart electric drives ist einfach.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Umgang mit dem Smart electric drive war einfach zu lernen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Smart electric drive ist für meinen Alltag nützlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Smart electric drive ist umweltfreundlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Smart electric drive hilft, Geld zu sparen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Smart electric drive begeistert mich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. Welchen der folgenden Anforderungen wird der Smart electric drive Ihrer Meinung nach im Alltag gerecht?						
	Überhaupt nicht	Überwiegend nicht	Eher nicht	Eher	Überwiegend	Voll und ganz → k.A.
Fahrverhalten						
Großer Fahrspaß	<input type="checkbox"/>					
Gute Beschleunigung	<input type="checkbox"/>					
Angemessene Höchstgeschwindigkeit	<input type="checkbox"/>					
Hoher Fahrkomfort	<input type="checkbox"/>					
Angenehme Fahrgeräusche	<input type="checkbox"/>					
Kosten						
Geringe Anschaffungskosten (Mietkosten für das Fahrzeug)	<input type="checkbox"/>					
Geringe laufende Kosten (z.B. Stromkosten, Versicherung, Steuern)	<input type="checkbox"/>					
Geringe Wartungs- und Servicekosten	<input type="checkbox"/>					

<i>(z. B. Reparatur)</i>							
Zuverlässigkeit							
Hohe Sicherheit beim Fahren	<input type="checkbox"/>						
Hohe Sicherheit beim Laden	<input type="checkbox"/>						
Zuverlässigkeit (Lebensdauer der Batterie, Pannenanfalligkeit)	<input type="checkbox"/>						
Guter Service (Hilfe bei technischen Problemen oder leerer Batterie)	<input type="checkbox"/>						
Ausstattung							
Funktionsfähige Heizung / Klimatisierung	<input type="checkbox"/>						
Ausreichendes Raumangebot / Transportkapazität	<input type="checkbox"/>						
Gute Ablesbarkeit und Übersichtlichkeit der Instrumente und Anzeigen	<input type="checkbox"/>						
Darstellung aller relevanten Informationen in Instrumenten und Anzeigen (z. B. Ladestand der Batterie)	<input type="checkbox"/>						
Positive Reaktionen anderer	<input type="checkbox"/>						
Batterie und Laden							
Genügend Reichweite	<input type="checkbox"/>						
Viel Vertrauen in die Reichweite (z. B. Wie weit komme ich wirklich noch mit dem Fahrzeug?)	<input type="checkbox"/>						
Kurze Ladedauer der Batterie	<input type="checkbox"/>						
Einfache Handhabung beim Laden der Batterie	<input type="checkbox"/>						
Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten am Arbeitsplatz	<input type="checkbox"/>						
Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten zu Hause	<input type="checkbox"/>						
Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten im öffentlichen Raum	<input type="checkbox"/>						
Nutzbarkeit von Lademöglichkeiten im öffentlichen Raum (Beschilderung, Parkmöglichkeit)	<input type="checkbox"/>						
Verfügbarkeit von Ökostrom an öffentlichen Ladesäulen	<input type="checkbox"/>						
Transparenz der Stromkosten (Was kostet die kWh, wenn ich lade?)	<input type="checkbox"/>						
Sonstiges und zwar.....	<input type="checkbox"/>						

8. Wie kommt die Nutzung des Elektrofahrzeugs aus Ihrer Sicht bei Anderen an?							
	Trifft überha upt	Trifft überwi egend	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft überwi egend	Trifft voll und	keine Angabe

	nicht zu	nicht zu			zu	ganz zu	
Die Leute reagieren positiv, wenn sie auf der Straße ein Elektrofahrzeug sehen.	<input type="checkbox"/>						
Im Verkehr sind die anderen Verkehrsteilnehmer erfreut, wenn sie ein Elektrofahrzeug sehen.	<input type="checkbox"/>						
Elektrofahrzeuge haben ein positives Image in der Gesellschaft.	<input type="checkbox"/>						
Die Menschen, die mir wichtig sind, finden Elektrofahrzeuge gut.	<input type="checkbox"/>						
Ein Elektrofahrzeug passt zu meiner Persönlichkeit.	<input type="checkbox"/>						
Ein Elektrofahrzeug bietet die Möglichkeit, ein Auto zu fahren, das nicht jeder hat.	<input type="checkbox"/>						
Wenn ich ein Elektrofahrzeug fahre, so wird das durch die meisten Leute in meinem persönlichen Umfeld bemerkt.	<input type="checkbox"/>						
Ein Elektrofahrzeug zeigt, was mir wichtig ist.	<input type="checkbox"/>						
Die Nutzung von Elektrofahrzeugen ist gut für das Image des Unternehmens.	<input type="checkbox"/>						
Unsere Kunden finden es gut, dass wir Elektrofahrzeuge nutzen.	<input type="checkbox"/>						
Die Kollegen/Mitarbeiter finden es gut, dass wir Elektrofahrzeuge nutzen.	<input type="checkbox"/>						
Durch die Nutzung von Elektrofahrzeugen übernimmt unser Unternehmen eine Vorreiterrolle.	<input type="checkbox"/>						

III. Mobilitätsverhalten & Ausleihmodalitäten

9. Wie häufig haben Sie den Smart electric drive genutzt?					
(fast) täglich	1-3 Tage pro Woche	1-3 Tage pro Monat	seltener	Nie oder fast nie	Keine Angabe
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10. Haben Sie für dienstliche Fahrten die Möglichkeit, andere Fahrzeuge außer dem Smart electric drive zu nutzen?
<input type="checkbox"/> Ja, und zwar ein benzinbetriebenes Fzg
<input type="checkbox"/> Ja, und zwar ein dieselbetriebenes Fzg
<input type="checkbox"/> Ja, und zwar ein auto-/erdgasbetriebenes Fzg
<input type="checkbox"/> Ja, und zwar ein Hybrid-Fzg
<input type="checkbox"/> Ja, und zwar andere batteriebetriebene Fzge
<input type="checkbox"/> Ja, und zwar
<input type="checkbox"/> Nein
<input type="checkbox"/> k.A.

11. Was ist der Hauptzweck Ihrer dienstlichen Wege mit dem Smart electric drive? <i>Mehrfachantworten sind möglich.</i>
<input type="checkbox"/> Besuche / Besichtigungen / Besprechungen
<input type="checkbox"/> Kundendienst / Erledigungen
<input type="checkbox"/> Sozialdienst / Betreuung
<input type="checkbox"/> Transport / Abholung / Zustellung von Waren
<input type="checkbox"/> Personalbeförderung
<input type="checkbox"/> Sonstiges, und zwar.....

12. Gibt es Fahrten, die aufgrund der Eigenschaften des Smart electric drive (z.B. eine begrenzte Reichweite, eine geringe Transportkapazität) nicht möglich waren?
<input type="checkbox"/> Ja, und zwar
<input type="checkbox"/> Nein

13. Falls Sie bestimmte Fahrten nicht bewältigen konnten, wie haben Sie sich in dieser Situation verhalten?
<input type="checkbox"/> Ich habe ein anderes Verkehrsmittel / Fahrzeug genutzt, und zwar
<input type="checkbox"/> Ich habe die Fahrt abgesagt / verschoben.
<input type="checkbox"/> Sonstiges:

Keine Angabe

14. Filter F1 (GK) Welche der folgenden Vorgänge durchlaufen Sie vor der Nutzung eines konventionellen Autos aus dem Fuhrpark? (Mehrfachauswahl möglich)

Eine Reservierung in einem betriebsinternen Informationssystem vornehmen.
 Eine Reservierung beim Fuhrparkmanager vornehmen.
 Eine Genehmigung des Vorgesetzten einholen.
 Die Schlüssel zum Fahrzeug an einem bestimmten Ort abholen.

Weitere Vorgänge und zwar:

15. Filter F1 (GK) Wie groß ist Ihr Zeitaufwand um ein konventionelles Fahrzeug aus dem Fuhrpark leihen zu können? (Bitte summieren Sie hier Ihren Zeitaufwand für das Ausfüllen der entsprechenden Formulare vor und nach der Fahrt sowie für den Weg zum und vom Fahrzeug).

< 10 min	11 - 20 min	21 - 30 min	> 30 min → k.A.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

16. Filter F1 (GK) Welche der folgenden Vorgänge durchlaufen Sie vor der Nutzung des Smart electric drive? (Mehrfachauswahl möglich)

Eine Reservierung in einem betriebsinternen Informationssystem tätigen.
 Eine Reservierung beim Fuhrparkmanager tätigen
 Eine Genehmigung des Vorgesetzten einholen
 Die Schlüssel zum Fahrzeug an einem bestimmten Ort abholen

Weitere Vorgänge und zwar:

17. Filter F1 (GK) Wie groß ist Ihr Zeitaufwand um den Smart electric drive leihen zu können? (Bitte summieren Sie hier Ihren Zeitaufwand für das Ausfüllen der entsprechenden Formulare vor und nach der Fahrt sowie für den Weg zum und vom Smart electric drive).

< 10 min	11 - 20 min	21 - 30 min	> 30 min → k.A.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

IV. Lademanagement

18. Wer ist für das Laden des Smart electric drive in Ihrem Betrieb zuständig?

- Hauptsächlich der Fuhrparkmanager
- Der Fuhrparkmanager und der Fahrer gemeinsam
- Hauptsächlich der Fahrer selbst
- Weder noch, sondern:

19. Wann wird der Smart electric drive in der Regel geladen?

- Nach jeder Fahrt
- Nachts
- Wenn die Batterie leer ist
- Weder noch, sondern:

20. Sie können uns hier Verbesserungsvorschläge oder Kritik zu den Lade- und Abrechnungsvorgängen geben. Bitte nutzen Sie dazu das folgende Kommentarfeld.

V. Preiszufriedenheit Angebot / Preis

21. Ihr Betrieb bezahlt derzeit einen monatlichen Mietpreis für den Smart ed i.H.v. 400,- EUR netto. Wie beurteilen Sie diesen Preis, nachdem Sie den Smart ed nun einige Zeit gefahren haben? Erachten Sie diesen als...

...zu teuer.
 ...hoch aber gerade noch akzeptabel.
 ...günstig, d.h. angemessen und fair.
 ...zu billig, d.h. ich habe kein Vertrauen in die Produktqualität.
 Keine Angabe

22. Welchen monatlichen Mietpreis fänden Sie für den Smart ed angemessen?

_____ Euro/Monat

23. Die Vertragslaufzeit beträgt vier Jahre. Beurteilen Sie diese als...

...zu lang.
 ...hoch aber gerade noch akzeptabel.
 ...angemessen und fair.
 ...zu kurz.
 Keine Angabe

VI. Anschaffungs- / Nutzungsintention

24. Inwiefern beeinflusst die Nutzung des Smart electric drive Ihre zukünftigen Mobilitäts-Entscheidungen?	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft überwiegend nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft überwiegend zu	Trifft voll und ganz zu	Keine Angabe
Ich beabsichtige, ein Elektrofahrzeug auch nach Ablauf des Projektes MeRegioMobil regelmäßig und dauerhaft zu nutzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich beabsichtige, ein bisher genutztes Fahrzeug durch ein Elektrofahrzeug zu ersetzen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe die Absicht, zukünftig Elektrofahrzeuge regelmäßig über Leihsysteme (z.B. Car-Sharing, Mietfahrräder) zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

nutzen.							
Beim nächsten <u>geplanten</u> Fahrzeugkauf werde ich ein Elektrofahrzeug in Betracht ziehen.	<input type="checkbox"/>						
Ich werde mich zukünftig über die weitere Entwicklung von Elektrofahrzeugen informieren.	<input type="checkbox"/>						
Ich habe vor, Elektrofahrzeuge in Zukunft in Kombination mit anderen Verkehrsmitteln (z.B. Bahn, Fahrrad, ...) zu nutzen.	<input type="checkbox"/>						

25. Was sind für Sie die drei wichtigsten Gründe, die für die private Anschaffung eines Elektroautos sprechen? (Ziehen Sie die drei Gründe dazu bitte auf die rechte Schaltfläche und ordnen Sie diese ihrer Wichtigkeit nach an.)

- a. Nutzung einer neuartigen Technologie
- b. Lokale Umweltbelastung
- c. Treibhausgas-Emissionen
- d. Preis-Leistungsverhältnis
- e. Fahrgeräusche
- f. Reaktionen Anderer / im Umfeld
- g. Strompreis
- h. Benzin- bzw. Dieselpreis
- i. Fahrleistung des Elektromotors
- j. Eigenschaften des Ladevorgangs
- k. Unabhängigkeit
- l. Andere Gründe

26. Was sind für Sie die drei wichtigsten Gründe, die gegen die private Anschaffung eines Elektroautos sprechen? (Ziehen Sie die drei Gründe dazu bitte auf die rechte Schaltfläche und ordnen Sie sie ihrer Wichtigkeit nach.)

- a. Nutzung einer neuartigen Technologie
- b. Lokale Umweltbelastung
- c. Treibhausgas-Emissionen
- d. Preis-Leistungsverhältnis
- e. Fahrgeräusche
- f. Reaktionen Anderer / im Umfeld
- g. Strompreis
- h. Benzin- bzw. Dieselpreis
- i. Fahrleistung des Elektromotors
- j. Eigenschaften des Ladevorgangs

- k. Unabhängigkeit
- l. Andere Gründe

27. Welche weiteren Gründe könnten aus Ihrer Sicht FÜR oder GEGEN die private Anschaffung eines Elektroautos sprechen?

28. Welches Preismodell für Ihr Elektrofahrzeug würden Sie <u>privat</u> bevorzugen?	
<input type="checkbox"/>	Einen einmaligen Anschaffungspreis von maximalEuro gesamt
<input type="checkbox"/>	Eine monatliche Leasing-/Mietrate von maximalEuro / Monat
<input type="checkbox"/>	Ein Mischmodell aus einem Anschaffungspreis und einer monatlichen Leasing-/Mietrate (z.B. für die Batterie)
<input type="checkbox"/>	Eine Abrechnung nach Nutzung entsprechend Zeit oder Strecke
<input type="checkbox"/>	Ein anderes Modell, nämlich
<input type="checkbox"/>	Ich möchte kein Elektrofahrzeug nutzen, wenn ich dafür bezahlen muss.
<input type="checkbox"/>	Keine Angabe.

29. Wären Sie persönlich bereit, für ein Elektrofahrzeug mehr zu zahlen, wenn Sie durch die Nutzung des Elektrofahrzeugs folgende Vorteile hätten?							
	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft überwiegend nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft überwiegend zu	Trifft voll und ganz zu	keine Angabe
Nutzung von Busspuren, bzw. reservierte Fahrspuren für Elektrofahrzeuge	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Für Elektrofahrzeuge reservierte Parkplätze	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kostenlose Parkplätze	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Günstigere Kfz-Steuer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Günstigere Kfz-Versicherung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Preiswerter Ladestrom	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges, und zwar:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

VII. Ausblick Elektromobilität

30. Glauben Sie, dass sich Elektrofahrzeuge in der Gesellschaft zukünftig durchsetzen werden?							
	Nein, auf keinen Fall					Ja, auf jeden Fall	Keine Angabe
Im Wirtschaftsverkehr, d.h. für die gewerbliche Nutzung	<input type="checkbox"/>						

Im Individualverkehr, d.h. für die private Nutzung	<input type="checkbox"/>						
Im öffentlichen Nahverkehr (ÖV), z.B. für Busse	<input type="checkbox"/>						
Als Teil von Car-Sharing/ Mietkonzepten für Fahrzeuge	<input type="checkbox"/>						
Als Teil integrierter Mobilitätskonzepte, d.h. im Rahmen der kombinierten Nutzung unterschiedlicher Verkehrsmittel wie Bus, Bahn und Car-/Bike-Sharing	<input type="checkbox"/>						

31. Welche Verbesserung in der Infrastruktur ist Ihrer Meinung nach am Wichtigsten, um die Ausbreitung der Elektromobilität zu fördern?

Ausbau von privaten Lademöglichkeiten zu Hause (z.B. in der eigenen Garage)

Ausbau von öffentlichen Lademöglichkeiten in der Nähe von Wohnhäusern (z.B. auf Parkplätzen in Wohnstraßen)

Ausbau von Lademöglichkeiten am Arbeitsplatz

Ausbau von öffentlichen Lademöglichkeiten in Innenstädten / in Einkaufszentren

Es ist kein weiterer Ausbau dringend erforderlich.

Ausbau an anderer Stelle, _____

Das weiß ich nicht / hierzu möchte ich nichts sagen.

32. Welche drei Aspekte müssten aus Ihrer Sicht am Smart electric drive verbessert werden, um es im Alltag besser nutzen zu können oder um es attraktiver zu machen?

1. _____

2. _____

3. _____

33. Wann müssten diese Verbesserungen am Smart electric drive realisiert werden?

	Sofort (2010)	Kurzfristig (bis 2015)	Mittelfristig (bis 2020)	Langfristig (bis 2030)	Später (nach 2030)
Liste 1	<input type="checkbox"/>				
Liste 2	<input type="checkbox"/>				
Liste 3	<input type="checkbox"/>				

34. Durch welche drei Bedingungen oder Maßnahmen könnte die Nutzung von Elektrofahrzeugen in Deutschland aus Ihrer Sicht erleichtert und gefördert werden?

1.
2.
3.

35. Wann müssten diese Bedingungen/Maßnahmen in Deutschland realisiert werden?					
	Sofort (2010)	Kurzfristig (bis 2015)	Mittelfristig (bis 2020)	Langfristig (bis 2030)	Später (nach 2030)
Liste 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Liste 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Liste 3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

VIII. Danksagung

Sie haben das Ende unserer Befragung erreicht.

Wir freuen uns, wenn Sie uns kritische und / oder positive Anmerkungen zu dieser Befragung, zum Thema Elektromobilität oder auch zum Projekt MeRegioMobil mitteilen.

Wenn Sie eine Frage zu der Online-Studie haben, können Sie uns gern eine E-Mail an folgende Adresse schicken:

smarhome@forschung.kit.edu

Vielen Dank für Ihre Teilnahme am Projekt MeRegioMobil!

Programmiercode DS-Opt+ (Kapitel 8)

```

$Title DSoptPlus

$offlisting
$ontext
DSoptPlus - Demand Side Optimierung plus

Das Modell hat zum Ziel mögliche Lastverlagerungen im Verbraucherbereich
durch dynamische Preissignale optimal einzusetzen.

$offtext
$onlisting

Sets
HH      "Haushalte"
PKW     "Pkw"
t       "Zeitscheiben; in 1/4 Std."
Tag     "Wochentage"
*% Woche
Woche   "Jahreswochen"
Woche(Woche) "ausgewählte Wochen"
HMG     "Haushaltsgeraete"
HMG_Laufzeit "Laufzeit in Zeitscheiben"
ZVT     "zeitvariable Tarife"
ZVtauswahl(ZVT) "Auswahl des ZVT Tarifs"
Abwesend "zeitabschnitte in denen in HH keine Person anwesend ist"
HH_Abwesend_tags(HH)
HH_Abwesend_morgens(HH)
HH_Abwesend_nachts(HH)
t_Tage(t,Tag) "Zuordnung der Wochenzeitscheiben zu den Tagen"
t_Abwesend_tags(t,Abwesend) "werktags tagsueber abwesend"
t_Abwesend_morgens(t,Abwesend) "werktags morgens abwesend"
t_Abwesend_nachts(t,Abwesend) "immer nachts abwesend"
;

Scalar
Lastgrenze1 "Lastgrenze1 bei Lastvariablen Tarif; in kW"
Lastgrenze2 "Lastgrenze2 bei Lastvariablen Tarif; in kW"
Preis_LVT_Zusatz1 "Zusatzpreis Lastvariabler Tarif; in EUR/kWh"
Preis_LVT_Zusatz2 "Zusatzpreis Lastvariabler Tarif; in EUR/kWh"
LVTaktiv "LastvariablerTarif; aktiv (1) oder nicht (0)"
PVaktiv "Eigenstromerzeugung durch PV; aktiv (1) oder nicht (0)"
ESfaktiv "Elektrostraßenfahrzeuge; aktiv (1) oder nicht (0)"
HHGeraeteAktiv "Optimierung von Haushaltsgeraeten; aktiv (1) oder nicht (0)"
;

Parameters
Zeitdauer "entspricht Delta-t; in Stunden"
Divisor "Grosse Zahl als Divisor fuer Entscheidungsvariablen"
* Preis
Preis_Strombezug(t,Woche,ZVT) "Strompreis zur jeweiligen Zeitscheibe;
Arbeitspreis in EUR/kWh"
Preis_Strombezug_M(t,ZVT)

```

```

Preis_PV_Netzeinspeisung(HH) "PV Einspeisevergütung nach HH; in EUR/kWh"
Preis_PV_Eigenverbrauch(HH) "PV Vergütung für Eigennutzung bis
PV_P_ges-Anteil von 30%; in EUR/kWh"
Preis_PV_Eigenverbrauch_Zusatz(HH) "PV Vergütung für Eigennutzung ab
PV_P_ges-Anteil von 30%; in EUR/kWh"
* Haushalt
HH_Lastgang(t,Wochen,HH) "(Rest-)Lastkurven der HH; normiert auf 1000kWh/a"
HH_Lastgang_M(t,HH)
HH_E_ges_a(HH) "Gesamter Jahresstrombedarf der HH nach HH-Größe, etc.; in
kWh/a"
HH_E_red_a(HH) "Jahresstromverbrauch verringert um den Verbrauch
der 3 HHgeraete; in kWh/a"
* PV
PV_P_ges_norm(t,Wochen) "PV Leistung, normiert; ????
PV_P_ges_norm_M(t)
PV_Anlagengroesse(HH) "PV Anlagengröße zur Berechnung der PV Leistung; in
kWp"
* ESF = Elektro-Straßen-Fahrzeug
ESF_Emax_Bat(HH,PKW) "Batteriegröße; in kWh"
ESF_Soc_Min(t,HH,PKW) "Ladezustand minimal; in Prozent"
ESF_Soc_Max(t,HH,PKW) "Ladezustand maximal; in Prozent"
ESF_Soc_entl(t,HH,PKW) "Batterie entladen; in Prozent"
ESF_Soc_optimal0_max(HH,PKW) "Anfangs- und Endzustand für die Soc-Optimale;
in Prozent"
ESF_Soc_optimal0_min(HH,PKW) "Anfangs- und Endzustand für die Soc-Optimale;
in Prozent"
ESF_Pmax(t,HH,PKW) "maximal verfügbare Ladekapazität; in kW"
* Haushaltsgeraete
HHG_Dauer(HHG) "Dauer eines Geraeteinsatzes; in Anzahl
Zeitscheiben t"
HHG_P_Laufz(HHG,HHG_Laufzeit) "Leistung pro Zeitscheibe der Laufzeit des
HHG; in kW"
HHG_Nutzungen(HH,Wochen,HHG) "Anzahl Einsaetze pro Woche; in stk"
HHG_Nutzungen_M(HH,HHG)
HHG_Nutzungen_d(HH,Wochen,HHG,Tag) "max. Anzahl der Einsaetze pro Tag; in
stk"
HHG_Nutzungen_d_M(HH,HHG,Tag)
;
* Daten einlesen aus Excel wird aus der Datei DSoptPlus_Uebersicht.xlsx
durchgeführt
* $CALL 'GDXXRW I=B500_GM_Basis_Daten_Test.xlsx O=GD_XINPUT_Basis_Daten
@GD_XINPUT_Options_Daten.txt'
* $CALL 'GDXXRW I=B500_GM_Basis_Soc_Test.xlsx O=GD_XINPUT_Basis_Soc
@GD_XINPUT_Options_Soc.txt'
* $CALL 'GDXXRW I=DSoptPlus_Uebersicht.xlsx O=GD_XBasisDaten
@GD_XINPUT_Options_Basis.txt'
$GD_XIN GD_XINPUT_Basis_Daten
$LOADDC HH, PKW, t, Tag, Wochen, HHG, HHG_Laufzeit, ZVT, Abwesend
$LOADDC HH_Lastgang, HH_E_ges_a, PV_P_ges_norm, PV_Anlagengroesse, ESF_Emax_Bat
$LOADDC Zeildauer, Divisor
$LOADDC HH_E_red_a, HHG_Dauer, HHG_P_Laufz, HHG_Nutzungen_d, HHG_Nutzungen
$LOADDC Preis_Strombezug, Preis_PV_Netzeinspeisung, Preis_PV_Eigenverbrauch,

```

```

Preis_PV_Eigenverbrauch_Zusatz
$LOAD HH_Abwend_tags, HH_Abwend_morgens, HH_Abwend_nachts, t_Tage,
t_Abwend_tags, t_Abwend_morgens, t_Abwend_nachts
$GDGIN

$GDGIN GD_XINPUT_Basis_Soc
$LOADDC ESF_Soc_min, ESF_Soc_max, ESF_Soc_entl, ESF_Pmax, ESF_Soc_optimal0_max,
ESF_Soc_optimal0_min
$GDGIN

$GDGIN GD_XBasisDaten
$LOADDC LVTaktiv, PVaktiv, ESFaktiv, HHgeraeteAktiv
$LOADDC Lastgrenze1, Lastgrenze2, Preis_LVT_zusatz1, Preis_LVT_zusatz2
$LOAD ZVtauswahl, Woche
$GDGIN

Parameters
  t_ORD(t) "Ordnungsparameter von der Zeit"
;
*Ordnungsparameter für t
t_ORD(t) = ORD(t) ;

Variables
  var_Kosten_strom_ges "Gesamte Stromkosten d.h. inklusive HH-Verbrauch
  Elektrofahrzeug und PV-Erlös; in EUR/kWh"
;

Positive Variables
  var_Kosten_strom_HH(t,HH) "Stromkosten des Haushaltes mit Kfz; in
  EUR/kWh"
  var_Kosten_strom_HH((HH) "Kosten für Strombezug des HH inkl. HHG
  und ESF; EUR/Woche"
  var_E_HH_Netzbezug(t,HH) "Strombezug des Haushaltes für den
  Haushaltsbedarf (ohne PV Eigennutzung); in kWh"
  var_E_ESF_Netzbezug(t,HH) "Strombezug des Haushaltes für den
  PKM_Ladebedarf (ohne PV Eigennutzung); in kWh"
  var_E_ueber_Lastgrenze1(t,HH) "Strombezug über Lastgrenze 1; in kWh"
  var_DV_LVT1(t,HH) ""
  var_E_ueber_Lastgrenze2(t,HH) "Strombezug über Lastgrenze 2; in kWh"
  var_DV_LVT2(t,HH) ""
  var_PV_Erloes(HH) "Erlös für die Einspeisung oder
  Eigennutzung aus PV; in EUR/kWh"
  var_PV_Netz(t,HH) "gibt die Menge an welche ins Netz eingespeist
  wird; in kWh"
  var_PV_Eigen_sum(t,HH) "gibt die Menge an welche selbst verbraucht wird;
  in kWh"
  var_PV_Eigen_HH(t,HH) "PV-Eigenverbrauchsmenge welche im HH selbst
  verbraucht wird; in kWh"
  var_PV_Eigen_PKM(t,HH) "PV-Eigenverbrauchsmenge welche für das Autoladen
  selbst verbraucht wird; in kWh"

```

```

var_PV_Einspeisung_HH(t,HH) "Menge an PV-Energie die eingespeist wird; in
kWh"

var_PV_Eigen_ueber30(HH) "Anteil an PV-Eigenverbrauchsenergie der
einen Anteil von 30% übersteigt; in kWh"
var_DV(HH) "Dummyvariable für Berechnung des
U30%-Anteils"

var_ESF_SOC_optimal(t,HH,PKW) "optimaler Ladezustand der Batterie; in
Prozent"
var_ESF_SOC_Zuladen(t,HH,PKW) "optimale Menge die zugeladen wird; in
Prozent"
var_ESF_Ladeenergie(t,HH,PKW) "Menge die für das Autoladen benötigt wird;
in kWh"
var_ESF_Ladenfehler(t,HH,PKW) "Korrekturwert, um Fehler auszugleichen; in
Prozent"
var_ESF_Entladenfehler(t,HH,PKW) "Korrekturwert, um Fehler auszugleichen;
in Prozent"

var_HHG_P(t,HH,HHG) "optimierter Lastgang der HHG, in kW"
;

Binary Variables
varb_DV(HH) "Binärvariable zu DV"
varb_PV_Eigen_ueber30(HH) "Binärvariable zu PV_Eigen_ueber30"

varb_HHG_Einschalt(t,HH,HHG) "Einschaltzeitpunkt der HHG; mit 1"
;

if ( ESFaktiv,
"untere und obere Grenze für den optimalen Soc
var_ESF_SOC_optimal.lo(t,HH,PKW)=ESF_SOC_min(t,HH,PKW);
var_ESF_SOC_optimal.up(t,HH,PKW)=ESF_SOC_max(t,HH,PKW);
*Anfangs- und Endwerte besonders einschränken.
* var_ESF_SOC_optimal.lo('T16800',HH,PKW) = ESF_SOC_optimal0_min(HH,PKW);
* var_ESF_SOC_optimal.up('T00025',HH,PKW) = ESF_SOC_optimal0_max(HH,PKW);
* var_ESF_SOC_optimal.up('T16800',HH,PKW) = ESF_SOC_optimal0_max(HH,PKW);
*Anfangs-Soc ist gleich dem End-Soc
* var_ESF_SOC_optimal.fx('T00025',HH,PKW) = ESF_SOC_optimal0_max(HH,PKW);
* var_ESF_SOC_optimal.fx('T16800',HH,PKW) = ESF_SOC_optimal0_max(HH,PKW);
*Begrenzung des Ausgleichsladen zur Fehlerbereinigung der Eingangsdaten auf
var_ESF_Ladenfehler.up(t,HH,PKW)=0.0003;
var_ESF_Entladenfehler.up(t,HH,PKW)=0.0003;
);

Equations
eq_Gesamtkosten "Zielfunktion: Minimiere die
Gesamtkosten der einzelnen Haushalte"

eq_Strombezug_Haushalt(t,HH) "Haushaltsstromkosten = Restbezugsmenge x
Strompreis"
eq_Strombezug_Auto(t,HH) "PKW-Stromkosten = var_ESF_Ladeenergie x
Strompreis"
eq_PV_Verguetung(HH) "PV-Erlös = PV_Eigen x Vergütung +

```

```

PV_Einspeisung x Vergütung"
eq_LVT_Grenze1(t,HH)      ""
eq_LVT_Grenze2(t,HH)      ""

eq_PV_Netzzeinspeisungsmenge(t,HH) "PV_Einspeisung = PV_Energie - PV_Eigen"
eq_PV_Eigenverbrauch_Def(t,HH)      ""
eq_PV_Eigenverbrauch_NB1(t,HH)      "PV_Eigen_PKM <= var_ESF_Ladeenergie"
eq_PV_Eigenverbrauch_NB2(t,HH)      "PV_Eigen_HH <= Strombedarf_Ho *
JahresStrombedarf"

eq_PV_Eigenverbrauch_1(HH)          "PV-Anteil der über 30% ist =
Summe_Eigenverbrauch - 0.3 x PV_Energie + DV"
eq_PV_Eigenverbrauch_2(HH)          "B_DV >= DV geteilt durch Divisor"
eq_PV_Eigenverbrauch_3(HH)          "B_PV_Eigen_ueber30 >=
PV_Eigen_ueber30 geteilt durch Divisor"
eq_PV_Eigenverbrauch_4(HH)          "B_DV + B_PV_Eigen_ueber30 <= 1 es
kann somit nur eine Binärvariable 1 sein."

eq_Soc_Optimierung(t,HH,PKM)        "var_ESF_Soc_optimal(t) =
var_ESF_Soc_optimal(t-1) + ESF_Soc_entl(t) + var_ESF_Soc_Zuladen(t)"
eq_Soc_Ladeleistungsbegrenzung(t,HH,PKM) "var_ESF_Soc_Zuladen <= ESF_Pmax*t
durch ESF_Emax_Bat"
eq_Autoladen(t,HH,PKM)              "var_ESF_Ladeenergie = var_ESF_Soc_Zuladen
* ESF_Emax_Bat"

eq_Stromkosten_HH(t,HH)              "Berechnung der Stromkosten für HH"
eq_Kosten_Strom_HH(HH)              "Berechnung der Kosten für Strombezug des HH
inkl. HHG ohne ESF"
;

eq_Strombezug_Haushalt(t,HH)..
var_E_HH_Netzbezug(t,HH)
  =e= HH_Lastgang_M(t,HH)*0.001* HH_E_ges_a(HH)$(HHGeraeteAktiv +1 <> 2)
  + HH_Lastgang_N(t,HH)*0.001* HH_E_red_a(HH)  $HHGeraeteAktiv
  + var_PV_Eigen_HH(t,HH)$PVaktiv
  + sum(HHG, var_HHG_P(t,HH,HHG))*Zeitdauer$HHGeraeteAktiv
;

eq_Strombezug_Auto(t,HH)$(ESFaktiv) ..
var_E_ESF_Netzbezug(t,HH)
  =e= Sum(PKM,var_ESF_Ladeenergie(t,HH,PKM) )
  - var_PV_Eigen_PKM(t,HH) $PVaktiv
;

eq_PV_Verguetung(HH) $PVaktiv..
var_PV_Erloes(HH)
  =e= Sum(t,var_PV_Netz(t,HH))*Preis_PV_Netzzeinspeisung(HH)
  + Sum(t,var_PV_Eigen_sum(t,HH))*Preis_PV_Eigenverbrauch(HH)
$(Preis_PV_Eigenverbrauch(HH))
+
var_PV_Eigen_ueber30(HH)*Preis_PV_Eigenverbrauch_Zusatz(HH)$(Preis_PV_Eigenverb
rauch(HH))

```

```

;

*LVT_Preisberechnung
eq_LVT_grenze1(t,HH) $LVTaktiv ..
var_E_ueber_Lastgrenze1(t,HH)
=g= (var_E_HH_Netzbezug(t,HH)
+ var_E_ESF_Netzbezug(t,HH)$(ESFaktiv) )
- Lastgrenze1*Zeitdauer
+ var_DV_LVT1(t,HH) ;

eq_LVT_grenze2(t,HH) $LVTaktiv ..
var_E_ueber_Lastgrenze2(t,HH)
=g= (var_E_HH_Netzbezug(t,HH)
+ var_E_ESF_Netzbezug(t,HH)$(ESFaktiv) )
- Lastgrenze2*Zeitdauer
+ var_DV_LVT2(t,HH) ;

*PV- Gleichungen
eq_PV_Netzeinspeisungsmenge(t,HH) $PVaktiv..
var_PV_Netz(t,HH)
=e= PV_P_ges_norm_M(t)*PV_Anlagengroesse(HH)*Zeitdauer/1000
- var_PV_Eigen_sum(t,HH);

eq_PV_Eigenverbrauch_Def(t,HH) $PVaktiv..
var_PV_Eigen_sum(t,HH)
=e= var_PV_Eigen_PKW(t,HH)$(SFaktiv)
+ var_PV_Eigen_HH(t,HH);

eq_PV_Eigenverbrauch_NB1(t,HH) $(PVaktiv and ESFaktiv)..
var_PV_Eigen_PKW(t,HH)
=i= Sum(PKW,var_ESF_Ladeenergie(t,HH,PKM));

eq_PV_Eigenverbrauch_NB2(t,HH) $PVaktiv..
var_PV_Eigen_HH(t,HH)
=i= HH_Lastgang_W(t,HH)*0.001* HH_E_ges_a(HH)$(HHGerateaktiv +1 <> 2)
+ HH_Lastgang_W(t,HH)*0.001* HH_E_red_a(HH) $HHGerateaktiv
;

**PV_Eigen_Ü30-Gleichungen
eq_PV_Eigenverbrauch_1(HH) $(PVaktiv and Preis_PV_Eigenverbrauch(HH))..
var_PV_Eigen_ueber30(HH)
=i= Sum(t,var_PV_Eigen_sum(t,HH)
- 0.3*sum(t,PV_P_ges_norm_M(t)*PV_Anlagengroesse(HH)*Zeitdauer/1000)
+ var_DV(HH));

eq_PV_Eigenverbrauch_2(HH) $(PVaktiv and Preis_PV_Eigenverbrauch(HH))..
varb_DV(HH) =g= var_DV(HH) / Divisor;

eq_PV_Eigenverbrauch_3(HH) $(PVaktiv and Preis_PV_Eigenverbrauch(HH))..
varb_PV_Eigen_ueber30(HH) =g= var_PV_Eigen_ueber30(HH) / Divisor;

eq_PV_Eigenverbrauch_4(HH) $(PVaktiv and Preis_PV_Eigenverbrauch(HH))..
varb_DV(HH) + varb_PV_Eigen_ueber30(HH) =i= 1;

```

```

* ESF Gleichungen
eq_Soc_Optimierung(t,HH,PKW) $(ESFaktiv and ESF_Emax_Bat(HH,PKW))..
var_ESF_Soc_optimal(t,HH,PKW)
=e- var_ESF_Soc_optimal(t-1,HH,PKW) $(t_ORD(t)<1)
+ var_ESF_Soc_optimal("T16000",HH,PKW) $(t_ORD(t)=1)
+ ESF_Soc_entl(t,HH,PKW)
+ var_ESF_Soc_zuladen(t,HH,PKW)
+ var_ESF_Ladenfehler(t,HH,PKW)
- var_ESF_Entladenfehler(t,HH,PKW)
;

eq_Soc_Ladeleistungsbegrenzung(t,HH,PKW) $(ESFaktiv and ESF_Emax_Bat(HH,PKW))..
var_ESF_Soc_zuladen(t,HH,PKW)*ESF_Emax_Bat(HH,PKW)
=1- ESF_Pmax(t,HH,PKW)*Zeitdauer
;

eq_Autoladen(t,HH,PKW) $(ESFaktiv and ESF_Emax_Bat(HH,PKW) )..
var_ESF_Soc_zuladen(t,HH,PKW)*ESF_Emax_Bat(HH,PKW)
=e- var_ESF_Ladeenergie(t,HH,PKW)
;

*****
*Haushaltsgeräte

Equations
eq_HHG_Einschaltbeschraenkung(t,HH,HHG)
eq_HHG_Lastgang(t,HH,HHG)
eq_Trocknerstart(t,HH,HHG)
eq_HHG_Nutzungen(HH,HHG)
eq_HHG_Nutzungen_d(HH,HHG,Tag)
eq_HHG_Abwesend_tags(HH,HHG,Abwesend)
eq_HHG_Abwesend_morgens(HH,HHG,Abwesend)
eq_HHG_Abwesend_nachts(HH,HHG,Abwesend)
;

*eq_HHG_Einschaltbeschraenkung_4(t,HH,HHG)$((t_ORD(t)<=672) and
HHG_Dauer(HHG)=4 and HHGeraeteAktiv)..
* sum(HHG_Laufzeit(ORD(HHG_Laufzeit)<=HHG_Dauer(HHG)),
* varb_HHG_Einschalt(t+(ORD(HHG_Laufzeit)-1),HH,HHG) )
*=1= 1;

*eq_HHG_Einschaltbeschraenkung_4(t,HH,HHG)$ (HHG_Dauer(HHG)=4 and
HHGeraeteAktiv)..
* varb_HHG_Einschalt(t,HH,HHG)
* + varb_HHG_Einschalt(t+1,HH,HHG)$ (t_ORD(t)<672)
* + varb_HHG_Einschalt(t+2,HH,HHG)$ (t_ORD(t)<671)
* + varb_HHG_Einschalt(t+3,HH,HHG)$ (t_ORD(t)<670)
*=1= 1;

```

* Die Einschaltbegrenzung verhindert Doppelnutzung eines HHG durch Begrenzung des

```

* von varb_HHG_Einschalt auf 1 während der HHG-Laufzeit
eq_HHG_EinschaltBeschraenkung(t,HH,HHG)$(HHGeräteAktiv)..
varb_HHG_Einschalt(t,HH,HHG)
+ varb_HHG_Einschalt(t+1,HH,HHG) $(t_ORD(t)<672 and HHG_Dauer(HHG)>=2)
+ varb_HHG_Einschalt(t+2,HH,HHG) $(t_ORD(t)<671 and HHG_Dauer(HHG)>=3)
+ varb_HHG_Einschalt(t+3,HH,HHG) $(t_ORD(t)<670 and HHG_Dauer(HHG)>=4)
+ varb_HHG_Einschalt(t+4,HH,HHG) $(t_ORD(t)<669 and HHG_Dauer(HHG)>=5)
+ varb_HHG_Einschalt(t+5,HH,HHG) $(t_ORD(t)<668 and HHG_Dauer(HHG)>=6)
+ varb_HHG_Einschalt(t+6,HH,HHG) $(t_ORD(t)<667 and HHG_Dauer(HHG)>=7)
+ varb_HHG_Einschalt(t+7,HH,HHG) $(t_ORD(t)<666 and HHG_Dauer(HHG)>=8)
+ varb_HHG_Einschalt(t+8,HH,HHG) $(t_ORD(t)<665 and HHG_Dauer(HHG)>=9)
+ varb_HHG_Einschalt(t+9,HH,HHG) $(t_ORD(t)<664 and HHG_Dauer(HHG)>=10)
+ varb_HHG_Einschalt(t+10,HH,HHG) $(t_ORD(t)<663 and HHG_Dauer(HHG)>=11)
+ varb_HHG_Einschalt(t+11,HH,HHG) $(t_ORD(t)<662 and HHG_Dauer(HHG)>=12)
=1-1 ;

```

*Berechnung der HHG-Lastgaenge

* Ausgehend vom Einschaltbit (varb_HHG_Einschalt) wird der Lastprofil

(HHG_P_Laufz) des HHG in den

* Lastgang (var_HHG_P) übertragen

eq_HHG_Lastgang(t,HH,HHG)\$(HHGeräteAktiv)..

```

var_HHG_P(t,HH,HHG)
=e= ( HHG_P_Laufz(HHG,"12")*varb_HHG_Einschalt(t-11,HH,HHG)
$(t_ORD(t)<>11 and HHG_Dauer(HHG)>=12)
+ HHG_P_Laufz(HHG,"11")*varb_HHG_Einschalt(t-10,HH,HHG)
$(t_ORD(t)<>10 and HHG_Dauer(HHG)>=11)
+ HHG_P_Laufz(HHG,"10")*varb_HHG_Einschalt(t-9,HH,HHG) $(t_ORD(t)<>9
and HHG_Dauer(HHG)>=10)
+ HHG_P_Laufz(HHG,"9")*varb_HHG_Einschalt(t-8,HH,HHG) $(t_ORD(t)<>8
and HHG_Dauer(HHG)>=9)
+ HHG_P_Laufz(HHG,"8")*varb_HHG_Einschalt(t-7,HH,HHG) $(t_ORD(t)<>7
and HHG_Dauer(HHG)>=8)
+ HHG_P_Laufz(HHG,"7")*varb_HHG_Einschalt(t-6,HH,HHG) $(t_ORD(t)<>6
and HHG_Dauer(HHG)>=7)
+ HHG_P_Laufz(HHG,"6")*varb_HHG_Einschalt(t-5,HH,HHG) $(t_ORD(t)<>5
and HHG_Dauer(HHG)>=6)
+ HHG_P_Laufz(HHG,"5")*varb_HHG_Einschalt(t-4,HH,HHG) $(t_ORD(t)<>4
and HHG_Dauer(HHG)>=5)
+ HHG_P_Laufz(HHG,"4")*varb_HHG_Einschalt(t-3,HH,HHG) $(t_ORD(t)<>3
and HHG_Dauer(HHG)>=4)
+ HHG_P_Laufz(HHG,"3")*varb_HHG_Einschalt(t-2,HH,HHG) $(t_ORD(t)<>2
and HHG_Dauer(HHG)>=3)
+ HHG_P_Laufz(HHG,"2")*varb_HHG_Einschalt(t-1,HH,HHG) $(t_ORD(t)<>1
and HHG_Dauer(HHG)>=2)
+ HHG_P_Laufz(HHG,"1")*varb_HHG_Einschalt(t-0,HH,HHG)
);

```

*Trocknerstart muss nach Waschmaschine kommen

* Restriktion, dass Trockner genau eine Viertelstunde nach der Waschmaschine

startet

eq_Trocknerstart(t,HH,"Trockner")\$(HHGeräteAktiv..

varb_HHG_Einschalt(t-0,HH,"Trockner")

```

=1+varb_HHG_Einschalt(t-12,HH,"Waschmaschine")$(t_ORD(t)<>12);
*Nebenbedingung für HHG, deren Anzahl an Nutzung lediglich pro Woche vorgegeben
werden,
* nicht aber täglich (siehe eq_HHG_Nutzungen_d). Die Anzahl wird hier
festgesetzt
*Eine weitere Begrenzung der Nutzungen pro Tag darf NICHT über
eq_HHG_Nutzungen_d erfolgen
eq_HHG_Nutzungen(HH,HHG)$(HHGeräteAktiv and HHG_Nutzungen_M(HH,HHG))..
sum(t, varb_HHG_Einschalt(t,HH,HHG) $( t_ORD(t)<672-HHG_Dauer(HHG) ) )
=eq_HHG_Nutzungen_M(HH,HHG) ;
*Nebenbedingung für HHG, deren Anzahl an Nutzung für jeden Tag vorgegeben
werden.
* Die Daten basieren auf der wöchentlichen Nutzung und werden zufällig auf die
Wochentage verteilt.
* Die Wahrscheinlichkeitszuweisung erfolgt in Excel und erlaubt max. 2
Nutzungen pro Tag
*Eine weitere Begrenzung der Nutzungen pro Woche über eq_HHG_Nutzungen darf
NICHT erfolgen!
eq_HHG_Nutzungen_d(HH,HHG,Tag)$(HHG_Nutzungen_d_M(HH,HHG,Tag) and
HHGeräteAktiv)..
sum(t, varb_HHG_Einschalt(t,HH,HHG) $( t_ORD(t)<672-HHG_Dauer(HHG) and
t_Tage(t,Tag) )
=eq_HHG_Nutzungen_d_M(HH,HHG,Tag) ;
*Nebenbedingung für die Einschränkung der Nutzung eines Gerätes auf 1,
* falls im Haushalt tagsüber niemand zuhause ist.
eq_HHG_Abwesend_tags(HH,HHG,Abwesend)$(HH_Abwesend_tags(HH) and
HHGeräteAktiv)..
sum(t, varb_HHG_Einschalt(t,HH,HHG) $( t_ORD(t)<672-HHG_Dauer(HHG) and
t_Abwesend_tags(t,Abwesend) ) )
=1= 1;
*Nebenbedingung für die Einschränkung der Nutzung eines Gerätes auf 1,
* falls im Haushalt morgens niemand zuhause ist.
eq_HHG_Abwesend_morgens(HH,HHG,Abwesend)$(HH_Abwesend_morgens(HH) and
HHGeräteAktiv)..
sum(t, varb_HHG_Einschalt(t,HH,HHG) $( t_ORD(t)<672-HHG_Dauer(HHG) and
t_Abwesend_morgens(t,Abwesend) ) )
=1= 1;
*Nebenbedingung für die Einschränkung der Nutzung eines Gerätes auf 1,
* während der Schlafenszeit nachts.
eq_HHG_Abwesend_nachts(HH,HHG,Abwesend)$(HH_Abwesend_nachts(HH) and
HHGeräteAktiv)..
sum(t, varb_HHG_Einschalt(t,HH,HHG) $( t_ORD(t)<672-HHG_Dauer(HHG) and
t_Abwesend_nachts(t,Abwesend) ) )
=1= 1;
*****
*Stromkosten der Haushalte inkl. PKW ausrechnen
eq_Stromkosten_HH(t,HH)..

```

```

var_Kosten_Strom(t,HH)
=e= (var_E_HH_Netzbezug(t,HH)
+ var_E_ESF_Netzbezug(t,HH)$ESFaktiv ) * sum(ZVtauswahl,
Preis_Strombezug_W(t,ZVtauswahl))
+ var_E_ueber_Lastgrenze1(t,HH)*Preis_LVT_Zusatz1 $LVTaktiv
+ var_E_ueber_Lastgrenze2(t,HH)*Preis_LVT_Zusatz2 $LVTaktiv
;

*Berechnung der Stromkosten eines Haushalts über die gesamte Woche
eq_Kosten_Strom_HH(HH)= sum(t, var_Kosten_Strom(t,HH) );

*Zielfunktion
eq_Gesamtkosten ..
var_Kosten_Strom_ges
=e= Sum(HH,Sum(t, var_Kosten_Strom(t,HH)
+ Sum(PKM, var_ESF_Ladenfehler(t,HH,PKM) *1000
+ var_ESF_Entladenfehler(t,HH,PKM)*1000 )$ESFaktiv )
- var_PV_Erloes(HH) $PVaktiv
);

* Parameter zur Ausgabe der Variablen die mit HH variiert werden
Parameters
outv_Kosten_Strom_ges(Woche)
outv_Kosten_Strom(Woche,t,HH)
outv_E_HH_Netzbezug(Woche,t,HH)
outv_E_ESF_Netzbezug(Woche,t,HH)
outv_E_ueber_Lastgrenze1(Woche,t,HH)
outv_E_ueber_Lastgrenze2(Woche,t,HH)
* outv_PV_Erloes
* outv_PV_Eigen_ueber0
outv_PV_Eigen_sum(Woche,t,HH)
outv_PV_Netz(Woche,t,HH)
* outv_PV_Eigen_HH
* outv_PV_Eigen_PKM
* outv_ESF_Soc_Zuladen
* outv_ESF_Soc_optimal
outv_ESF_Ladeenergie(Woche,t,HH,PKM)
* outv_ESF_Ladenfehler
* outv_ESF_Entladenfehler
outv_HHG_P(Woche,t,HHG,HH)
outv_Kosten_Strom_HH(Woche,HH)

*Modelldaten
out_Tsolstat(Woche)
out_Tmodstat(Woche)
out_etsolve(Woche)
out_etsolver(Woche)
out_iterusd(Woche)
out_numvar(Woche)
out_numDvar(Woche)
out_numEqu(Woche)
out_numNOpt(Woche)
out_numNZ(Woche)

```