

Christopher Meinecke

Potentiale und Grenzen von Smart Metering

Empirische Wirkungsanalyse eines
Feldtests mit privaten Haushalten



Springer VS

Potentiale und Grenzen von Smart Metering

Christopher Meinecke

Potentiale und Grenzen von Smart Metering

Empirische Wirkungsanalyse eines
Feldtests mit privaten Haushalten

Christopher Meinecke
Berlin, Deutschland

Dissertation an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 2015

ISBN 978-3-658-16063-0 ISBN 978-3-658-16064-7 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-658-16064-7

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer VS

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2017

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer VS ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Meiner Mutter Anne

Danksagung

Bei dieser Arbeit handelt es sich um meine Dissertation, die von 2010 bis 2014 im Rahmen des E-Energy-Projektes „eTelligence“ am Fachgebiet Absatz und Marketing an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg entstanden ist. Ich möchte denen danken, ohne die diese Arbeit so nicht möglich gewesen wäre:

Meinem Doktorvater Prof. Dr. Thorsten Raabe von der Universität Oldenburg danke ich für seine fachliche Betreuung, die inhaltlichen Freiheiten, die stets positive Begleitung und für seine Motivation – insbesondere in der Phase des Zweifelns. Für die Zweitbegutachtung danke ich Prof. Dr. Nina Baur von der Technischen Universität Berlin. Besonderer Dank geht an Dr. Manuela Pötschke von der Universität Kassel, die viel mehr zu dieser Arbeit beigetragen hat, als sie vermutet.

Für die angenehme und konstruktive Leitung im AP 3.4 danke ich Prof. Dr. Michael Sonnenschein von der Universität Oldenburg. In Dankbarkeit verbunden bleibe ich dem OFFIS – Institut für Informatik. Hervorheben möchte ich Dr. Astrid Nieße für die richtigen Worte zum richtigen Zeitpunkt und Dr. Martin Tröschel für die Unterstützung in der schwierigen Phase.

Simon Thomas und Sören Sundermann danke ich für die tolle Zeit und die erheiternde Begleitung am Fachgebiet. Ohne Euch wäre es gewiss langweiliger gewesen. Dies gilt auch für Dr. „Jo“ Müller, dem ich für unzählige Anekdoten und Wetten danke – auch wenn ich alle verloren habe. Großer Dank für ihre Hilfsbereitschaft in allen Lagen geht zudem an Dr. Melanie Wenzel.

Ich danke meiner ganzen Familie für ihre Liebe. Besonders Hanni, Eri und vor allem Hardy für seine Bestätigung und das ehrliche Interesse. Meinem Vater Wolfgang für seine Unterstützung, ohne die es sehr viel komplizierter geworden wäre.

Ich danke meiner Mutter Anne für alles. Ihr ist dieses Buch gewidmet.

Der größte Dank geht an Steffi, die mich immer und besonders in den schwierigen Phasen unterstützt hat. Auch in den ganz Schwierigen. Du bist ein besonderer Mensch und ich freue mich, dass es jetzt leichter ist.

Berlin, Juli 2016

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	XIII
Tabellenverzeichnis	XV
Abkürzungsverzeichnis	XVII
1 Einführung in die Untersuchung	1
1.1 Problemhintergrund und Relevanz des Themas	1
1.2 Aufbau der Arbeit	9
2 Aufbau eines intelligenten Stromnetzes und Einführung von Smart Metern in Deutschland	13
2.1 Umstrukturierung der deutschen Elektrizitätsversorgung	13
2.2 Der Weg zum intelligenten Stromnetz	23
2.3 Der Stromverbrauch privater Haushalte	35
2.4 Die Einführung von Smart Metern in Deutschland	46
2.4.1 Wege zu einem flächendeckenden Rollout	51
2.4.2 Zwischen alten Strukturen und neuen Geschäftsmodellen: Smart Meter als Herausforderung für Energieversorgungsunternehmen	56
2.4.3 Datenschutz und Datensicherheit	68
3 Vom einfachen zum adaptiven Verbraucher: Möglichkeiten von Feedback-Systemen und variablen Tarif-Modellen	73
3.1 Ausgestaltung und Wirkungsmöglichkeiten von Feedback- Systemen	73
3.1.1 Feedback-Systeme als Interventionsinstrumente	74
3.1.2 Feedback-Systeme und -Charakteristika im Überblick	79
3.1.3 Forschungsstand zur Wirkung von Feedback-Systemen und -Charakteristika	87

3.1.4	Ableitung von Anforderungsdefinitionen an wirkungsvolle Feedback-Systeme	101
3.2	Ausgestaltung und Wirkungsmöglichkeiten von variablen Tarif-Modellen	103
3.2.1	Möglichkeiten zur Konzeption variabler Tarif-Modellen ...	105
3.2.2	Forschungsentwicklungen und -ergebnisse zur Einsparwirkung von variablen Tarifen	111
4	Theoretische Erklärungsansätze des Stromverbrauchs privater Haushalte	121
4.1	Der Privathaushalt als mikro-sozialökonomisches Handlungssystem	121
4.2	Determinanten des Stromverbrauchs privater Haushalte	128
4.3	Stromverbrauch als Energienutzungs- und Umweltverhalten	134
4.3.1	Stromverbrauch als Verhaltensroutine	140
4.3.2	Die Theory of Planned Behavior	144
4.3.2.1	Verhaltensroutinen in der Theory of Planned Behavior	151
4.3.2.2	Stromverbrauchs- und Stromeinsparverhalten auf der Basis der Theory of Planned Behavior	154
4.3.2.3	Feedback-Systeme zur Förderung stromsparenden Verhaltens	160
5	Forschungsdesign und Datenbasis	165
5.1	Konzeption des Feldtests	165
5.1.1	Rekrutierung der Feldtestteilnehmer	166
5.1.2	Realisiertes Forschungsdesign	173
5.1.3	Konzeption eingesetzter Feedback-Systeme	179
5.1.3.1	Die schriftliche Verbrauchsinformation	180
5.1.3.2	Das Web-Portal	183
5.1.3.3	Die iPod-App	185
5.1.4	Konzeption angewendeter Tarif-Modelle	188
5.1.4.1	Der Mengen-Tarif	190
5.1.4.2	Der Event-Tarif	192
5.2	Thesen zur Wirkung der Feedback-Systeme und Tarif-Modelle und zur Nutzung der iPod-App	197
5.3	Zusammensetzung und Entwicklung des Feldtest-Samples	208

5.3.1	Haushaltsstrukturelle und soziodemographische Merkmale	212
5.3.2	IT-Affinität, Energiespar- und Umwelteinstellungen und Feldtesterwartung	219
6	Empirische Analysen zur Nutzungshäufigkeit der iPod-App	229
6.1	Deskriptive Analysen	229
6.2	Multivariate Analysen	235
6.2.1	Methodisches Vorgehen und angewandtes Analyseverfahren	235
6.2.2	Ergebnisse der OLS-Regression zur Nutzungshäufigkeit der iPod-App	237
6.3	Bewertung und Einordnung der Ergebnisse	247
7	Empirische Analysen zur Einsparwirkung der Feedback-Systeme und Tarif-Modelle	251
7.1	Deskriptive Analysen	251
7.2	Multivariate Analysen	256
7.2.1	Methodisches Vorgehen und angewandtes Analyseverfahren	257
7.2.2	Ergebnisse der Wachstumskurvenmodelle zur Einsparwirkung der Feedback-Systeme und Tarif-Modelle	265
7.3	Bewertung und Einordnung der Ergebnisse	279
8	Konklusion und Ausblick	285
8.1	Konklusion und Einordnung der Ergebnisse	285
8.2	Schlussfolgerungen und Ausblick	291
	Literaturverzeichnis	297

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Bruttostromerzeugung in Deutschland nach Energieträgern (1990-2012)	18
Abb. 2	Bruttostromerzeugung in Deutschland 2012 nach Energieträgern (in TWh)	19
Abb. 3	Anteil erneuerbarer Energieträger am Bruttostromverbrauch (1990-2012)	20
Abb. 4	Sektorale und verwendungszweckbezogene Aufteilung des Stromverbrauchs in Deutschland	36
Abb. 5	Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte in Deutschland (1991-2012)	37
Abb. 6	Entwicklung der Bevölkerungsgröße, der Anzahl der Haushalte und der Haushaltsgröße (1991-2011)	38
Abb. 7	Ausstattungsbestand privater Haushalte mit ausgewählten Gebrauchsgütern (2000 und 2010)	41
Abb. 8	Entwicklung des Strompreises für private Haushalte in Deutschland (1991-2012)	44
Abb. 9	Wertschöpfungskette und Wertschöpfungsstufen der Elektrizitätsversorgung in Deutschland	59
Abb. 10	Taxonomie von Interventionsinstrumenten zur Reduzierung des Stromverbrauchs privater Haushalte	78
Abb. 11	Durchschnittliche Einsparwirkung verschiedener Feedback-Typen	89
Abb. 12	Möglichkeiten der Lastgangmodifikation durch variable Tarif-Modelle	109
Abb. 13	Der Privathaushalt als mikro-sozialökonomisches Handlungssystem	123
Abb. 14	Mikro-Ebenen-Determinanten des Stromverbrauchs privater Haushalte	130

Abb. 15	Das Modell der Theory of Planned Behavior	146
Abb. 16	Teilnahmevoraussetzungen für den Feldtest	171
Abb. 17	Zeitlicher Ablauf der Wirkungsforschung	176
Abb. 18	Auszug (Seite 1 und Seite 3) aus der monatlichen Verbrauchsinformation (Event-Tarif-Gruppe)	182
Abb. 19	Screenshot aus dem Web-Portal (Event-Tarif-Gruppe)	185
Abb. 20	Der iPod und die Feedback-App	187
Abb. 21	Gestaltung des eingesetzten Mengen-Tarifs	191
Abb. 22	Gestaltung des eingesetzten Event-Tarifs	193
Abb. 23	Monatsüberblick über die im Beobachtungszeitraum geschalteten Tarif-Events	196
Abb. 24	IT-Affinität der Haushalte	220
Abb. 25	Häufigkeit der Internetnutzung	221
Abb. 26	Einstellungen zum Energiesparen	222
Abb. 27	Einstellungen zur Umweltverschmutzung	223
Abb. 28	Erwartungen an den Feldtest	227
Abb. 29	Auswahl des Beobachtungszeitraumes zur Nutzungshäufigkeit der iPod-App	230
Abb. 30	iPod-App-Zugriffe im Feldtestzeitraum	231
Abb. 31	iPod-App-Zugriffe aller Vergleichsgruppen-Haushalte im Tageszeitvergleich	233
Abb. 32	Auswahl des Beobachtungszeitraumes für die Stromverbrauchsanalysen	251
Abb. 33	Monatlicher Verbrauch der Haushalte im beobachteten Feldtestzeitraum (je Feldtestgruppe)	255
Abb. 34	Mehrebenenmodell als Panelmodell nach dem Inklusionsprinzip (unbalanciertes Panel)	261
Abb. 35	Pfaddiagramm zur Modellierung des Stromverbrauchs im Zeitverlauf	262

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Übersicht über Charakteristika und Gestaltungsmöglichkeiten von Feedback-Systemen	86
Tab. 2	Übersicht über ausgewählte Haushaltsfunktionen und -prozesse und der beteiligten elektronischen Geräte	127
Tab. 3	Zusammensetzung des Feldtest-Samples	175
Tab. 4	Charakteristik ausgewählter Events im Rahmen des Event-Tarifs	195
Tab. 5	Anzahl der Feldtestteilnehmer	209
Tab. 6	Teilnehmerzahlen der Eingangs-, Zwischen- und Abschlussbefragung	210
Tab. 7	Verteilungen zentraler Kennwerte der Haushaltsinfrastruktur der Feldtesthaushalte (in Prozent)	213
Tab. 8	Verteilungen zentraler Kennwerte der Haushaltsstruktur der Feldtesthaushalte (in Prozent)	215
Tab. 9	Verteilungen zentraler soziodemographischer Kennwerte (in Prozent)	218
Tab. 10	Faktorenanalyse zur Einstellung zur Umweltverschmutzung (Faktorladungen)	225
Tab. 11	Nutzungshäufigkeit der iPod-App im beobachteten Feldtestzeitraum je Welle	232
Tab. 12	Parameter der Regressionsmodelle zur Nutzungshäufigkeit der iPod-Feedback-App	239
Tab. 13	Zentrale Kennwerte des Gesamtstromverbrauchs im beobachteten Feldtestzeitraum je Feldtestgruppe	254
Tab. 14	Parameter der Wachstumskurvenmodelle zur monatlichen Verbrauchsentwicklung	268
Tab. 15	Überblick über die Ergebnisse der empirischen Analysen	288

Abkürzungsverzeichnis

AAL	Ambient Assisted Living
AIC	Akaike's Information Criterion
App	Application
BIC	Bayesian Information Criterion
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BHKW	Blockheizkraftwerk
BLUE	Best Linear Unbiased Estimator
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktor sicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BNetzA	Bundesnetzagentur
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
CCS	Carbon Dioxide Capture and Storage
CDU	Christlich Demokratische Union Deutschlands
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CPR	Component-Plus-Residual
CRM	Customer Relationship Management
CSU	Christlich-Soziale Union in Bayern e.V.
dena	Deutsche Energie-Agentur
DSI	Demand Side Integration
DSM	Demand Side Management
DSR	Demand Side Response
EDL	Energiedienstleistungsrichtlinie
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEX	European Energy Exchange
EnBW	Energie Baden-Württemberg AG
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EU	Europäische Union

FML	Full Maximum Likelihood
GAU	größter anzunehmender Unfall
GEE	Generalized Estimating Equations
GLS	Generalized Least Squares
HGÜ	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung
Hz	Hertz
IALM	Intrusive Appliance Load Monitoring
IEA	International Energy Agency
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
IP	Internet-Protokoll
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IT	Informationstechnologie
Kfz	Kraftfahrzeug
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
LCH	Low-Cost-Hypothese
MCMC	Markov-Chain-Monte-Carlo
MENA	Middle East & North Africa
MessZV	Messzugangsverordnung
mHz	Millihertz
ML	Maximum-Likelihood
NIALM	Non Intrusive Appliance Load Monitoring
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PDF	Portable Document Format
RC	Rational Choice
RLM	Registrierte Leistungsmessung
RML	Restricted Maximum Likelihood
RWE	Rheinisch Westfälisches Elektrizitätswerk AG
RWI	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung
SLP	Standardlastprofil
SPD	Sozialdemokratische Partei Deutschlands
StrEG	Gesetz über die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien in das öffentliche Netz (Stromeinspeisegesetz)
TOPB	Theory of Planned Behavior
TORA	Theory of Reasoned Action
TWh	Terawattstunde
UCTE	Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity

URL	Uniform Resource Locator
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
USA	United States of America
VIF	Variance Inflation Factor
VW	Volkswagen
WLAN	Wireless Local Area Network
WLS	Weighted Least Squares

1.1 Problemhintergrund und Relevanz des Themas

Die Elektrizitätsversorgung in der Bundesrepublik Deutschland steht am Anfang eines grundlegenden Veränderungsprozesses, der in den nächsten Jahren und Jahrzehnten noch an Dynamik und Intensität zunehmen wird. Hierfür gibt es zwei Hauptursachen:

Zunächst die Folgen des über die letzten Jahrzehnte gestiegenen weltweiten CO₂-Ausstoßes, der insbesondere durch den vom ehemaligen Weltbank-Chefökonom Nicholas Stern 2006 vorgestellten „Stern Review on the Economics of Climate Change“ und den vom „Intergovernmental Panel on Climate Change“ (IPCC) 2007 veröffentlichten vierten Sachverständigenbericht in den internationalen Fokus rückte.¹ Während der IPCC-Bericht inhaltlich den Schwerpunkt auf die ökologischen Folgen legte (IPCC 2007), stellte der sogenannte Stern Report die weltweiten ökonomischen Auswirkungen durch den gestiegenen CO₂-Ausstoß

-
- 1 Der aus einem erhöhten Ausstoß verschiedener Spurengase – insbesondere von Kohlenstoffdioxid (CO₂) – und die daraus resultierende veränderte Zusammensetzung der Erdatmosphäre erzeugen einen anthropogenen Treibhauseffekt, der den natürlichen Treibhauseffekt verstärkt und aufgrund der verminderten Wärmeabstrahlung zur kontinuierlichen Erwärmung der Erde führt (Reiche 2005: 25ff.). So ist für das vergangene Jahrhundert ein Anstieg der globalen Temperatur von 0,7°C festzustellen, allein in den letzten 30 Jahren wurde eine kontinuierliche Erhöhung von 0,2°C pro Dekade registriert (Stern 2006: 3f.). Zu den Folgen zählen neben Bedrohungen für Tier- und Pflanzenarten, Auswirkungen auf die Nahrungsmittelproduktion und Trinkwasserverfügbarkeit und auf die Gesundheit der Menschen im Allgemeinen vor allem der Anstieg des Meeresspiegels in Folge der Abschmelzung des arktischen und des Inlandeises. Fluten und Überschwemmungen werden häufiger und in größerem Ausmaß vorkommen, zudem werden weitere Langzeitfolgen wie Starkniederschläge, tropische Wirbelstürme und Hitzeepisoden in bestimmten Regionen der Erde signifikant zunehmen (IPCC 2007: 48f.).

ins Zentrum (Stern 2006) und lenkte damit ein bis dato unbekanntes Maß an Aufmerksamkeit auf dieses Problem. Da die Verbrennung fossiler Energieträger einer der Hauptursachen des Temperaturanstiegs darstellt (Stern 2006: 3), wurde als Folge dieser internationalen Diskussion über die als Klimawandel bezeichneten ökologischen Konsequenzen des CO₂-Ausstoßes die Energiegewinnung durch CO₂-intensive Energiequellen zunehmend in Frage gestellt.² Der Energieerzeugung kommt somit bei der Bekämpfung des Klimawandels eine zentrale Rolle zu, wobei sich die energiebedingten CO₂-Emissionen zwischen den Jahren 1990 und 2010 weltweit um 46,7 Prozent erhöht haben (BMW_i 2013a).³ Vor diesem Hintergrund haben insbesondere Kohlekraftwerke sowohl international als auch in der Bundesrepublik an Akzeptanz eingebüßt und es wurde in der öffentlichen Diskussion und seitens der Bevölkerung eine Abkehr von dieser Form der Energiegewinnung, hin zu klimaneutralen Energiequellen, gefordert (Infratest dimap 2006).

Die zweite Hauptursache stellt die – bis zur Reaktorkatastrophe im japanischen Fukushima im März 2011 vor allem auf die Bundesrepublik beschränkte – Legitimationskrise der Kernenergie dar. Während in vielen anderen Ländern, wie beispielsweise in Frankreich oder in den USA, als Ersatz für CO₂-intensive Kohlekraftwerke der Ausbau der Kernenergie als möglicher Lösungsansatz betrachtet wird (Appelrath et al. 2012b: 213ff.), ist ein solcher Ausbau in Deutschland bereits seit einigen Jahren keine mehrheitsfähige Alternative mehr (Büdenbender 2009a: 342ff.). Die in der Bevölkerung verankerte Skepsis gegenüber dieser Form der Energiegewinnung, die in den 1970er Jahren begann und durch die Tschernobyl-Katastrophe von 1986 bestärkt wurde (Reiche 2005: 22ff.), scheint durch den GAU von Fukushima endgültig die Mehrheit in Gesellschaft und Politik erlangt zu haben (Infratest dimap 2011). Selbst die bisher kernenergiefreundlichen Parteien CDU, CSU und FDP wandten sich von dieser Energieform ab und der Deutsche Bundestag beschloss im Juni 2011 mit breiter Mehrheit das „Dreizehnte Gesetz zur Änderung

-
- 2 Der anthropogene Treibhauseffekt wird zwar nicht nur durch CO₂ bewirkt, sein Anteil ist mit 80 Prozent jedoch mit Abstand am höchsten und insgesamt 99 Prozent der energiebedingten Emissionen sind CO₂-Emissionen (Ströbele et al. 2010: 57ff.).
 - 3 Als eine der wenigen Industrienationen senkte Deutschland seinen Ausstoß im betrachteten Zeitraum um knapp 20 Prozent, sodass der deutsche Anteil an den weltweit energiebedingt ausgestoßenen CO₂-Emissionen von 4,6 auf 2,5 Prozent gesunken ist (BMW_i 2013a). Der Grund für diese Reduktion in Deutschland liegt jedoch vor allem in der Wiedervereinigung und der Stilllegung oder Modernisierung alter Betriebe in der DDR, die aufgrund ihrer veralteten Technik einen besonders hohen CO₂-Ausstoß aufwiesen (Ströbele et al. 2010: 61).

des Atomgesetzes“, das den Ausstieg aus der Kernenergie und die Abschaltung aller deutschen Atomkraftwerke bis zum Jahr 2022 vorsieht (BMU 2011).⁴

Aufgrund der Tatsache, dass in Deutschland die Energiegewinnung durch Kohlekraftwerke auf der einen und durch Kernkraftwerke auf der anderen Seite keine gesellschaftspolitische Akzeptanzgrundlage mehr hat, rückt seit einigen Jahren die Energiegewinnung durch die sogenannten erneuerbaren (oder regenerativen) Energieträger ins Zentrum der energiepolitischen Diskussion über die zukünftige Stromversorgung.⁵ Politisch fokussiert durch das bereits im Jahr 2000 von der von der SPD und Bündnis 90/Die Grünen gestellten Bundesregierung initiierte „Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien“ (auch Erneuerbare-Energien-Gesetz, kurz: EEG) und der darin implizierten vorrangigen Abnahme von Strom aus erneuerbaren Energiequellen ist der Anteil regenerativ erzeugten Stroms in der Bundesrepublik Deutschland seit den frühen 1990er Jahren nahezu kontinuierlich gestiegen und wies im Jahr 2012 bereits einen Anteil von 21,9 Prozent an der Bruttostromerzeugung auf (BMWi 2013b). Diese Entwicklung wird sich in Zukunft noch weiter beschleunigen: So ist im Rahmen des von der Bundesregierung als „Energiewende“ bezeichneten Energiekonzeptes nicht nur der langfristige Ausstieg aus Kohle- und Atomkraft, sondern auch das Ziel definiert, den Anteil des aus erneuerbaren Energieträgern gewonnen Stroms am Gesamtstromverbrauch bis zum Jahr 2020 auf mindestens 35 Prozent und bis zum Jahr 2050 sogar auf 80 Prozent zu erhöhen (BMU 2012).

Während die Transformation der Stromversorgung die Vorteile mit sich bringen soll, den CO₂-Ausstoß weiter zu verringern und gleichzeitig sukzessive aus

-
- 4 Dem voraus ging jedoch der von SPD und Bündnis 90/Die Grünen bereits im Jahr 2000 beschlossene und mit den Energieversorgungsunternehmen ausgehandelte Atomausstieg, der im Jahr 2002 durch die Novellierung des Atomgesetzes gesetzlich verankert wurde (Büdenbender 2009a: 345). Im Jahr 2010 hat dann die nach den Bundestagswahlen 2009 aus CDU/CSU und FDP bestehende Bundesregierung eine Laufzeitverlängerung der Atomkraftwerke um durchschnittlich 12 Jahre beschlossen (BMWi & BMU 2010). Die dafür erforderliche Novellierung des Atomgesetzes im gleichen Jahr wurde als Reaktion auf den GAU in Fukushima durch eine abermalige Novellierung aufgehoben. Für die Darstellung der nach parteien- und koalitionsspezifischer Zusammensetzung wechselnden energiepolitischen Ziele vgl. u. a. Brand und Corbach (2005: 260f.) und Laumanns (2005a: 279ff.).
 - 5 Als Energieträger wird ein Medium bezeichnet, in dem Energie gespeichert werden kann (Laumanns 2005b: 48f.). Es können grundsätzlich regenerative Energieträger (bspw. die Sonne), fossile Energieträger (bspw. Erdöl) und nukleare Energieträger (bspw. Uran) unterschieden werden. Als regenerativ werden Energieträger bezeichnet, „die durch ihre Nutzung nicht einen grundsätzlich beschränkten Ressourcenvorrat aufbrauchen“ (Ströbele et al. 2010: 191). Aufgrund ihrer Eigenschaften können Sonnenenergie, Wasserkraft, Windkraft, Biomasse, Geothermie und Gezeitenenergie als regenerative Energieträger bezeichnet werden (Ströbele et al. 2010: 191).

der Kernenergie auszustiegen, bringt der zunehmende Anteil regenerativer Energiequellen an der Stromerzeugung allerdings auch neue Herausforderungen mit sich. Neben dem flächendeckenden Netzausbau zum Transport des Stroms vom Erzeugungs- zum Verbrauchsort betrifft dies vor allem die Folgen, die sich aus den Schwankungen auf der Seite der Stromerzeugung ergeben. War es bisher noch so, dass sogenannte Lastspitzen (also Zeitpunkte, zu denen besonders viel Strom nachgefragt wird) mit dem konventionellen Kraftwerkspark aus Grund-, Mittel- und Spitzenlastkraftwerken bedient wurden und sich somit für die Verbraucher⁶ praktisch ein unbeschränkter Zugriff auf Strom ergab, wird in Zukunft mit einem steigenden Anteil regenerativer Energieträger die Bereitstellung von Strom gewissen Schwankungen unterliegen – denn insbesondere Sonne und Wind als Grundlagen für Wind- und Sonnenenergiegewinnung stehen witterungsbedingt nur unbeständig zur Verfügung. Unterlag bislang also vor allem die Nachfrage nach Strom gewissen Schwankungen, die über die Erzeugungsseite ausgeglichen werden konnte, ergeben sich solche Schwankungen nun auch für die Bereitstellung von Strom, die wiederum über die Nachfrageseite ausgeglichen werden sollen. Die Aufgabe zukünftiger Energieversorgung wird es daher sein, diese beidseitigen Schwankungen auszugleichen und das Angebot und die Nachfrage nach Strom zusammenzubringen. Es gilt, trotz des zunehmenden Anteils der (volatilen) regenerativen Energiequellen das Risiko temporärer Überangebote oder Unterversorgungen zu minimieren. Diese zukünftigen Herausforderungen sollen durch ein sogenanntes intelligentes Stromnetz (Smart Grid) gelöst werden, das zur Aufgabe hat, alle am Stromnetz beteiligten Akteure – Erzeuger, Verbraucher, Stromspeicher – zusammen zu bringen und die Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Private Haushalte stellen dabei einen zentralen Baustein dar, da sie mit einem Gesamtstromverbrauch von 137 TWh im Jahr 2012 einen Anteil von 26 Prozent am gesamten Nettostromverbrauch der Bundesrepublik aufwiesen und somit neben der Industrie den wichtigsten Sektor auf der Nachfrageseite darstellen (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2013b). Sie sollen im Smart Grid zukünftig die Rolle adaptiver Verbraucher einnehmen, die ihren Stromverbrauch nicht nur am Angebot orientieren und so seinen Beitrag zum Paradigmenwechsel eines erzeugungsorientierten Verbrauchs leisten, sondern auch grundsätzlich reduzieren. Die Voraussetzung dafür, dass sie diese Rolle des adaptiven Verbrauchers einnehmen, stellt der flächendeckende Einbau digitaler Stromzähler – sogenannter Smart Meter – dar. Im Gegensatz zu den bisher in Privathaushalten eingesetzten elektromecha-

6 Im Folgenden wird zur besseren Lesbarkeit grammatikalisch die männliche Sprachform verwendet. Ist das Genus für den Sinn des Gemeinten von Bedeutung, wird auch die Bezeichnung entsprechend spezifiziert.

nischen Ferraris-Zählern ermöglichen diese neuen Zähler Verbrauchsmessungen über die entnommene Strommenge für einen fest definierten Zeitraum. Diese technische Eigenschaft wiederum ist die Bedingung dafür, dass Verbraucher über mit den Smart Metern verbundene Feedback-Systeme zur Verbrauchsvisualisierung und über variable Stromtarif-Modelle überhaupt in die Lage versetzt werden, ihr Verbrauchsverhalten zu reflektieren und daraus neue Verhaltensweisen abzuleiten.

Im September 2008 trat dazu die dritte Novellierung des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) in Kraft, mit der in Deutschland die politisch-rechtliche Grundlage für die flächendeckende Substitution der bisher eingesetzten Ferraris-Zähler durch die neuen Smart Meter geschaffen wurde. Energielieferanten und -versorger müssen nun nicht nur seit Januar 2010 bei Neubauten oder Renovierungen in Privathaushalten Smart Meter installieren (§21b Abs. 3a/b EnWG 2008). Sie müssen zudem seit Dezember 2010 ihren Kunden auch monats-, viertel- oder halbjährliche Abrechnungen ermöglichen (§40 Abs. 2 EnWG 2008) und lastvariable oder tageszeitabhängige Tarife anbieten (§40 Abs. 3 EnWG 2008). Während damit seitens der politischen Entscheidungsträger die Erfüllung der technischen Voraussetzungen angeschoben worden ist und auf der Smart Meter-Technik aufsetzende Feedback-Systeme und Tarif-Modelle durch verschiedene Akteure der Energiewirtschaft entwickelt und weiterentwickelt werden, tritt jedoch zunehmend die Frage in den Vordergrund, ob die Haushalte die ihnen zugedachte Rolle als verbrauchssensible und adaptive Verbraucher überhaupt einnehmen.

Die vorliegende Arbeit setzt genau an dieser zentralen Frage an und versucht, über einen quantitativ-empirischen Ansatz einen Forschungsbeitrag zu dieser Problemstellung zu leisten. Konkret geht es um die Beantwortung der Frage, welche Auswirkung die Nutzung von Feedback-Systemen zur Darstellung des haushaltsindividuellen Stromverbrauchs und die Anwendung variabler Stromtarif-Modelle mit verschiedenen Preisstufen auf den Gesamtstromverbrauch privater Haushalte hat. Im Rahmen eines im Landkreis Cuxhaven durchgeführten Feldtests mit mehr als 650 privaten Haushalten wurden dazu drei verschiedene Feedback-Systeme und zwei unterschiedliche variable Stromtarif-Modelle bezüglich ihrer Wirkung über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr getestet. Bei den drei eingesetzten Feedback-Systemen, über die den am Feldtest teilnehmenden Haushalten ihr individueller Stromverbrauch über eine Vielzahl von Betrachtungs- und Vergleichsmöglichkeiten veranschaulicht wurde, handelte es sich um eine monatlich postalisch zugesandte schriftliche Verbrauchsinformation, einen Zugang zu einem Online-Portal und einen mobilen Mediaplayer (Apple iPod touch) mit einer für den Feldtest entwickelten Application (Feedback-App). Bei den beiden eingesetzten variablen Tarif-Modellen kamen ein ausschließlich mit dem Ziel der Verbrauchsreduktion konzipierter Tarif und ein zeitvariabler Tarif, mit dem die Haushalte

über verschiedene zeitabhängige Preisstufen zur zeitlichen Verbrauchsverlagerung animiert werden sollten, zum Einsatz.

Bevor die durch diese Feedback-Systeme und die Tarif-Modelle möglicherweise erzielten Einsparwirkungen ermittelt werden, liegt der Fokus der empirischen Analysen zunächst jedoch auf der Nutzung des iPods und der zugehörigen Feedback-App. Diese ist von besonderem Interesse, da es sich um ein eigentlich für andere Zwecke (das Abspielen von Musik) entwickeltes Endgerät handelt und somit eine Integration dieses Feedback-Systems in den Alltag der Haushaltsmitglieder auch jenseits der Darstellung des eigenen Stromverbrauchs möglich ist. Es unterscheidet sich damit fundamental von den beiden anderen im Feldtest eingesetzten und auch von allen sonst zur Verbrauchsvisualisierung entwickelten und bisher im Rahmen großer Feldtests hinsichtlich ihrer Wirkung überprüften Feedback-Systemen. Zudem besteht für zur Darstellung des eigenen Stromverbrauchs entwickelte Apps aufgrund der bereits weit vorangeschrittenen und noch weiter voranschreitenden Verbreitung von Smartphones ein besonders großes Potential, da so die Hardware zur Verbrauchsvisualisierung in den meisten Haushalten bereits zur Verfügung steht und nicht noch zusätzlich unter der Entstehung monetärer Kosten beschafft werden muss. Aufgrund dessen werden Apps zukünftig eine zentrale Rolle bei der Darstellung von Smart Meter-generierten Verbrauchsdaten in Privathaushalten spielen, woraus sich ein besonderes Interesse hinsichtlich ihrer Nutzungshäufigkeit ergibt. Daraus leitet sich die erste von zwei grundlegenden forschungsleitenden Fragestellungen ab, die im Rahmen dieser Arbeit unter der Anwendung verschiedener statistischer deskriptiver und multivariater Querschnitts- und Längsschnittverfahren mit den im Feldtest generierten Daten beantwortet werden soll:

- A Wie entwickelt sich die Nutzungshäufigkeit der iPod-Feedback-App im Feldtestzeitraum und von welchen haushaltsstrukturellen und soziodemographischen Merkmalen der Haushaltsmitglieder hängt diese Nutzungshäufigkeit ab?

Die zweite, mit den Daten aus dem Feldtest zu beantwortende forschungsleitende Fragestellung bezieht sich dann auf die Auswirkung der Nutzung der drei Feedback-Systeme und der beiden variablen Stromtarif-Modelle auf den Gesamtstromverbrauch der am Feldtest beteiligten Haushalte. Dabei steht inhaltlich die Frage im Vordergrund, welche Einsparwirkung die drei Feedback-Systeme und die beiden Tarif-Modelle über den gesamten einjährigen Feldtestzeitraum haben. Den Gegenstand des Erkenntnisinteresses stellt hier eine konkrete Quantifizierung der

erzielten absoluten Einsparungen über die Anwendung deskriptiver und multivariater Querschnitts- und Längsschnittverfahren dar:⁷

B Können mit den beiden variablen Tarif-Modellen unter Nutzung der drei Feedback-Systeme Einsparungen bezüglich des Gesamtstromverbrauchs der Haushalte über den Feldtestzeitraum erzielt werden und unterscheidet sich die durchschnittliche Einsparhöhe zwischen den beiden unterschiedlichen Tarif-Modellen?

Die empirischen Analysen zur Ermittlung der Einsparwirkungen entziehen sich dabei möglichen Verzerrungen, die aus einer – in vielen Studien beobachteten (Wortmann 1994: 49) – Diskrepanz zwischen (Umwelt)Einstellungen und tatsächlichem Verhalten resultieren könnten. Die Mehrheit bisheriger Untersuchungen, die sich auf der Grundlage einer breiten Datenbasis mit Stromsparen in Privathaushalten auseinandersetzen, ist mit dem Problem konfrontiert, dass hypothetisches Verhalten den Untersuchungsgegenstand darstellt. Studien, die tatsächlich messbares und quantifizierbares Verhalten als Gegenstand des Erkenntnisinteresses haben und über hypothetisches Verhalten hinausgehen, kommen wiederum zumeist aufgrund ressourcenbedingter Beschränkungen der Forschungsprojekte nicht über geringe Fallzahlen hinaus und weisen somit lediglich einen explorativ-qualitativen Charakter auf.⁸ In dieser Arbeit hingegen können auf der Basis der Berechnungen Aussagen über konkretes Verhalten auf einer breiten Datenbasis getroffen werden. Die empirischen Analysen gehen außerdem über die ebenfalls häufig durchgeführten hypothetischen Potentialanalysen hinaus, bei denen auf der Basis theoretischer Vorannahmen das theoretisch machbare Einsparpotential geschätzt wird (vgl. u. a. Bürger 2009; 2010) und die dem Problem unterliegen, dass es sich um theoretisches Potential handelt, das unter der Bedingung bestimmter Verhaltensannahmen der Verbraucher oder sogar gänzlich ohne den Einbezug von Verhaltensannahmen

7 Es geht bei den Analysen nicht um eine ökonomische Betrachtung oder Bewertung der finanziellen Machbarkeit, sondern um eine Wirkungsanalyse auf der Basis der erzielten Einsparungen. Zudem geht es nicht darum, Kosten-Nutzen-Effekte zu identifizieren, wie sie beispielsweise Duscha und Dünnhoff (2007a) beschreiben.

8 Der Hauptgrund für diese Forschungslücke liegt vor allem darin, dass die in die Entwicklung tragfähiger Smart Meter-Produkte investierenden Energieversorgungsunternehmen kein Interesse daran haben, die Daten der eigenen Pilotprojekte für wissenschaftliche Wirkungsstudien zur Verfügung zu stellen. Nicht-kommerzielle Forschungsinitiativen sind hingegen mit dem Problem konfrontiert, dass sie die notwendigen (finanziellen) Ressourcen zur Installation der Zähler und der dazugehörigen Infrastruktur zumeist nicht aufbringen können.

auf rein technischer Ebene berechnet wird. Weichen die tatsächlichen Verhaltensweisen von den in den Berechnungsmodellen unterstellten Verhaltensweisen ab, ergibt sich eine Fehlerdifferenz, die sich negativ auf die Richtigkeit der Prognosen hinsichtlich des Einsparpotentials auswirkt. Solch eine Verzerrung aufgrund der Diskrepanz zwischen den getroffenen Verhaltensannahmen und dem tatsächlichen Verhalten kann für die Berechnungen dieser Arbeit durch die Verwendung eines ex-Post-Evaluationsansatzes mit quasi-experimentellem Paneldesign ausgeschlossen werden.

Neben der Beantwortung der beiden zentralen Forschungsfragen mit quantitativ-empirischen Datenanalysen liegt ein zusätzlicher Schwerpunkt dieser Arbeit in der Darstellung des Kontextes, in dem der flächendeckende Rollout von Smart Metern und die Entwicklung und Verbreitung von Feedback-Systemen und neuen, innovativen Stromtarif-Modellen zur Integration privater Haushalte in das Smart Grid in der Bundesrepublik stattfindet. Diese Prozesse vollziehen sich vor dem Hintergrund der grundlegenden Transformation der Elektrizitätsversorgung und des Aufbaus des „Internets der Energie“ in einem Spannungsfeld zwischen politischen, volkswirtschaftlichen, betriebswirtschaftlichen und auch datenschutzrechtlichen Interessen verschiedener Akteure. Für die Gegner dieses Transformationsprozesses ist Deutschland ein nationales Versuchslabor, in dem mit der Energiewende auf zukünftige Entwicklungen gewettet und die industrielle und wirtschaftliche Zukunft aufs Spiel gesetzt wird. Die Befürworter hingegen betrachten die Investitionen in die Weiterentwicklung des Stromnetzes zu einem Smart Grid als industriepolitisches Investitionsprogramm, mit der Chance, die Bundesrepublik als „internationalen Leitanbieter“ (Appelrath et al. 2012a: 4) für Smart Grid-Technologien und -Dienstleistungen im internationalen Wettbewerb zu positionieren. Zusätzlich zu diesem Spannungsfeld kommt erschwerend hinzu, dass der Prozess und die öffentliche Diskussion um die Einführung von Smart Metern teilweise emotional aufgeladen ist, da ihr Einsatz zum einen den persönlichen Lebensbereich und die Privatsphäre der Menschen betrifft (insbesondere datenschutzrechtliche Belange) und zum anderen, da sie in Verbindung zu anderen ideologisch aufgeladenen gesellschaftspolitischen Diskussionen stehen – wie beispielsweise das Für und Wider zur Nutzung von Kernenergie oder die Frage, inwiefern „Sozial Schwache“ überhaupt mit den seit Jahren steigenden Strompreisen umgehen sollen.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist insgesamt acht Kapitel gegliedert und beginnt im folgenden *Kapitel 2* mit der Darstellung der bereits angedeuteten Veränderungen im Elektrizitätssektor und des Transformationsprozesses von der „analogen Stromversorgung“ hin zu einem digitalen „Internet der Energie“. Konkret geht es darum, den inhaltlichen Rahmen zu skizzieren, in dem der Rollout von Smart Metern stattfindet, um so eine Kontexteinordnung der zentralen Fragestellung und der empirischen Ergebnisse dieser Arbeit zu ermöglichen.

Dazu werden zunächst in *Abschnitt 2.1* die Liberalisierung des deutschen Elektrizitätssektors und der als Energiewende bezeichnete Prozess des Ausbaus der erneuerbaren Energieträger erläutert. Darauf aufbauend wird in *Abschnitt 2.2* in Grundzügen das Konzept des zukünftig in Deutschland im Rahmen der Energiewende aufzubauenden intelligenten Stromnetzes (Smart Grid) veranschaulicht, mit dem die aus dem massiven Ausbau der erneuerbaren Energieträger hervorgehenden Herausforderungen der Elektrizitätsversorgung begegnet werden soll und mit dem das Zusammenwachsen von Energieversorgung und Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) einhergeht. Danach beginnt die Fokussierung auf die privaten Haushalte und die ihnen zugeordnete Rolle im intelligenten Stromnetz. Dabei geht es, nach dem der Stellenwert der privaten Haushalte bei der Elektrizitätsversorgung in der Bundesrepublik einfürend dargestellt wird (*Abschnitt 2.3*), darum, die Einführung digitaler Stromzähler als infrastruktureller Voraussetzung zur Realisierung der Einbindung der Haushalte ins intelligente Netz zu beleuchten. Aufgrund der Tatsache, dass der Einbau dieser neuen Zählergeneration von den politischen Entscheidungsträgern beschlossen und weder von den Verbrauchern nachgefragt, noch von den Energieversorgungsunternehmen initiiert wurde, ist ein flächendeckender Einbau bisher nicht erfolgt. Zur Explikation dieses Problems wird daher neben einer kurzen Beschreibung der politisch-rechtlichen Einführung auf europäischer und nationaler Ebene (*Abschnitt 2.4*) und den Plänen für einen marktwirtschaftlich orientierten flächendeckenden Rollout (*2.4.1*) insbesondere die Perspektive der Energieversorgungsunternehmen als zentralen Akteuren thematisiert (*2.4.2*). Zudem wird ein kurzer Einblick in die Datenschutz- und Datensicherheitsproblematik gegeben, die sich aufgrund der Leistungsfähigkeit der digitalen Zähler und der mit ihnen generierten Verbrauchsdaten für die Haushalte ergibt und die ein Nadelöhr bei der Etablierung von auf den Smart Metern aufbauenden Produkten und Dienstleistungen darstellen kann (*2.4.3*).

Darauf aufbauend wird in *Kapitel 3* betrachtet, welche Möglichkeiten sich durch Feedback-Systeme und variable Tarif-Modelle, die auf Smart Metern aufsetzen könnten, überhaupt ergeben. Dieses Kapitel stellt zugleich eine Darstellung des aktuellen

Forschungsstandes zur Wirkung von Feedback-Systemen und Tarif-Modellen dar, um so die in den späteren Kapiteln durchzuführenden empirischen Analysen und Ergebnisse in den aktuellen Forschungskontext einordnen zu können. Zunächst werden dazu in *Abschnitt 3.1* eine Einordnung von Feedback-Systemen im Kontext möglicher Stromsparinterventionsinstrumente (3.1.1) und die Erstellung einer Taxonomie von Feedback-Systemen und ihrer Charakteristika vorgenommen (3.1.2). Danach erfolgt eine Darstellung des aktuellen Forschungsstandes zur Wirkung von Feedback-Systemen auf den Stromverbrauch privater Haushalte (3.1.3). Mit dem *Abschnitt 3.2* wird der Fokus dann auf variable Stromtarife gelegt. Dabei werden zunächst mögliche Ausgestaltungsmöglichkeiten solcher Tarife dargestellt (3.2.1), bevor auch hier auf den aktuellen Stand der Forschung hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Stromverbrauch privater Haushalte eingegangen wird (3.2.2).

Das *Kapitel 4* nimmt dann die theoretische Perspektive des Stromverbrauchs privater Haushalte und die Verwendung von Feedback-Systemen und Tarif-Modellen ein. Als Ausgangsbasis wird dazu zunächst ein Verständnis darüber erlangt, durch welche Merkmale ein privater Haushalt überhaupt gekennzeichnet ist (4.1) und durch welche Faktoren der Stromverbrauch eines Privathaushalts determiniert wird (4.2). Darauf aufbauend wird dann unter Anwendung der Theory of Planned Behavior und unter Berücksichtigung der Tatsache, dass das Stromverhaltensverhalten durch Verhaltensroutinen gekennzeichnet ist, eine theoretische Erklärung des Verbrauchsverhaltens unternommen (4.3). Zudem wird aus theoretischer Perspektive die Wirkungsmöglichkeit von Feedback-Systemen zur Beeinflussung des Verbrauchsverhaltens beleuchtet.

Mit dem *Kapitel 5* werden die empirischen Analysen vorbereitet. Dazu wird mit der Darstellung der Konzeption des Feldtests begonnen, in dem die empirischen Daten generiert wurden (5.1). Die Schwerpunkte liegen zunächst auf der Darstellung der Teilnehmerrekrutierung (5.1.1) und des realisierten Forschungsdesigns (5.1.2), um die im weiteren Verlauf berechneten Ergebnisse methodisch einordnen zu können. Danach wird in den *Abschnitten 5.1.3* und *5.1.4* auf die Eigenschaften der eingesetzten Feedback-Systeme und die Ausgestaltung der Tarif-Modelle eingegangen. Darauf aufbauend werden mögliche Erklärungen der Wirkungsweise der Feedback-Systeme und Tarif-Modelle gegeben und eine Reihe von zu überprüfenden Thesen als Ausgangsbasis der empirischen Analysen generiert (5.2). Das Kapitel schließt mit einem Überblick über die Zusammensetzung des Feldtest-Samples hinsichtlich zentraler haushaltstruktureller und soziodemographischer Kennwerte der Feldtest-Haushalte (5.3).

In den *Kapiteln 6* und *7* werden schließlich das Vorgehen und die Ergebnisse der quantitativ-empirischen Analysen dokumentiert.

In *Kapitel 6* geht es mit der Nutzungshäufigkeit der auf den iPods installierten App durch die Mitglieder der Haushalte, die am Feldtest teilgenommen haben, um die Beantwortung der ersten der beiden forschungsleitenden Fragestellungen. Dabei werden zunächst deskriptive Analysen durchgeführt (6.1), bevor mit linearen Regressionsmodellen kausale Einflüsse auf die Häufigkeit der Nutzung der App im Querschnitt identifiziert werden (6.2). In *Kapitel 7* steht dann die Ermittlung der durch die Feedback-Systeme und die Tarife bewirkten Einsparungen im absoluten Verbrauch in den Feldtesthaushalten im Fokus. Auch hier werden zunächst deskriptive (7.1), dann multivariate Analysen zur Identifikation der Einspareffekte der Feedback-Systeme und der Tarif-Modelle vorgenommen (7.2). Die multivariaten Analysen werden im Längsschnitt über Wachstumskurvenmodelle (Growth Curve Models) durchgeführt. In beiden Kapiteln werden die anzuwendenden multivariaten statistischen Verfahren jeweils kurz und an den Fragestellungen orientiert vorgestellt, um so später auch eine inhaltlich-methodische Einordnung der Ergebnisse zu ermöglichen.

Die Arbeit schließt mit dem *Kapitel 8*, indem die empirischen Ergebnisse vor dem Hintergrund der in den ersten Kapiteln beschriebenen Entwicklungen noch mal zusammenfassend betrachtet und eingeordnet werden (8.1). Zudem wird ein Ausblick vorgenommen, inwiefern auf die erzielten Ergebnisse aufgebaut und noch weitere vielversprechende Ansätze für eine Einbindung privater Haushalte in einem Smart Grid entwickelt werden könnten (8.2).

Aufbau eines intelligenten Stromnetzes und Einführung von Smart Metern in Deutschland

2

2.1 Umstrukturierung der deutschen Elektrizitätsversorgung

Wie in der Einführung bereits skizziert, liegt die Ursache des grundlegenden Veränderungsprozesses der Elektrizitätsversorgung in der Bundesrepublik in der klimawandelbedingten Legitimationskrise der Kohlekraft und dem Ausstieg aus der Atomenergie. Parallel zu dieser Entwicklung durchlaufen die europäische und die deutsche Elektrizitätsversorgung seit einigen Jahren allerdings zusätzlich einen Liberalisierungsprozess, der ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Umstrukturierung der deutschen Elektrizitätsversorgung hat.

Bis in die 1990er Jahre hinein war die Stromversorgung in Deutschland als Monopol errichtet, bei dem vertikal integrierte Energiekonzerne alle Prozesse der Wertschöpfungskette abdeckten und als integrierte Monopolisten agierten (Kühne 2008: 46).⁹ Diese Monopolisten hatten aufgrund der mangelnden Konkurrenzsituation keinen Druck, Kosten zu senken bzw. sinkende Kosten an ihre Verbraucher

9 Der Ursprung für die monopolartige Struktur lag im Aufbau des Stromerzeugungs- und Verteilungsnetzes in Deutschland viele Jahrzehnte zuvor: Dieser wurde in einzelnen Versorgungsgebieten häufig von den Gemeinden übernommen, da private Unternehmen insbesondere in dünnbesiedelten Gebieten kein Interesse daran hatten. Hohe Anfangsinvestitionen bei einer gleichzeitig erwarteten geringen Elektrizitätsnachfrage schreckten diese ab. Um dennoch Investoren und Konzerne in die Erschließung und den Aufbau der Netze einzubinden, wurde für sie das Investitionsrisiko vermindert, indem sie geschlossene Versorgungsgebiete aufbauen und betreiben konnten – gekoppelt an die Pflicht, auch dünnbesiedelte und vermeintlich unrentable Gebiete zu erschließen. Daraus ergab sich eine starke Zentralisierung der Systemfunktionen in Form integrierter Monopole in den Versorgungsgebieten, bei der von den großen Unternehmen alle Funktionen übernommen wurden: Der Kraftwerksbetrieb und die Lieferung des damit erzeugten Stroms über das eigene Hochspannungsnetz und die eigenen Verteilnetze direkt an den Endverbraucher (Ströbele et al. 2010: 205f.).

weiter zu geben, was zur Folge hatte, dass sich sinkende Strompreise für die Verbraucher kaum entwickeln konnten (Ströbele et al. 2010: 205f.). Zudem hatten die Energieversorgungsunternehmen kein Interesse daran, andere Erzeuger in ihr Netz einspeisen zu lassen, wenn dadurch der eigene Marktanteil tangiert wurde – was insbesondere dann der Fall war, wenn sie selbst Stromerzeuger waren (Ströbele et al. 2010: 279). Diese sich über Jahre hinweg ausgebildete monopolartige Struktur des Energiesektors stand volkswirtschaftlichen Effizienzsteigerungen entgegen, woraus sich für die legislativen Entscheidungsorgane die wirtschaftspolitische Aufgabe ableitete, die zugrundeliegenden Hemmnisse abzubauen, um Effizienzsteigerungen zu ermöglichen (Ströbele et al. 2010: 271f.).

Den Ansatzpunkt für eine Lösung dieses Problems stellten die Stromnetze dar, da nur sie letztendlich aufgrund nicht vorhandener Konkurrenznetze tatsächlich den Charakter eines natürlichen Monopols haben (Kühne 2008: 45).¹⁰ Das Ziel politischer Regulierungsinitiativen war es daher, Verbrauchern einen freien Zugang zum Netz zu verschaffen, damit sie bei der Wahl ihres Stromanbieters nicht mehr an den Erzeuger ihres Versorgungsgebietes gebunden waren und Anbieter aus anderen Versorgungsgebieten wählen konnten (Ströbele et al. 2010: 207f.). Den Anfang dieser politischen Regulierungsbemühungen der Stromnetze stellte auf europäischer Ebene die EU-Binnenmarktrichtlinie 96/92EG dar (Büdenbender 2009b: 10). Mit ihr war das Ziel verbunden, einen europäischen Elektrizitätsbinnenmarkt zu realisieren und eine wettbewerbsorientierte Energieversorgung in den EU-Mitgliedsstaaten zu erreichen (Europäische Union 1996). Diese Richtlinie wurde in Deutschland 1998 mit dem Gesetz zur Neuregelung des Energiewirtschaftsrechts umgesetzt, das das aus dem Jahr 1935 stammende Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung – kurz: Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) – neu regelte (Kühne 2008: 48ff.).¹¹ Die Neufassung des EnWG stellte den Beginn des angestrebten Liberalisierungsprozess in Deutschland dar, in dessen Folge eine Vielzahl neuer Stromerzeugungs-

-
- 10 Strom als Ware ist netzgebunden, da sein Verbrauch an die Existenz eines Transport- und Verteilungsnetzes gebunden ist. Für dieses besteht im Prinzip ein natürliches Monopol, da der technische Betrieb konkurrierender Netze Zusatzkosten verursachen würde (Büdenbender 2009b: 5f.). Somit existiert in jeder Region nur ein Netz und der Verbraucher kann seinen Strom nicht von einem Konkurrenznetz beziehen (Ströbele et al. 2010: 207f.).
 - 11 Obwohl die EU bei der Energie- und Klimapolitik aus formaler Perspektive eigentlich nur über eingeschränkte primärrechtliche Kompetenzen verfügt, hat sie über binnenmarkt- und umweltpolitische Kompetenzerweiterungen in den letzten Jahren immer mehr Einflussmöglichkeiten auf die Energiepolitik ihrer Mitgliedstaaten gewonnen (Pamme 2010: 4). Die Umsetzung des Europäischen Rechts in nationales Recht in den Mitgliedsländern erfolgt dabei üblicherweise zeitversetzt (PWC 2008: 38).

Stromhandels- und Stromvertriebsunternehmen in den Markt eintrat und einen Wettbewerbsprozess in Gang setzte (Erdmann 2008: 197). Allerdings wurde durch die EnWG-Novelle auch eine Überarbeitung des bereits 1991 in Kraft getretenen Stromeinspeisegesetzes (StrEG) erforderlich, das kleine Energieerzeuger in die Lage versetzte, Strom gegen eine festgelegte Mindestvergütung in das Übertragungsnetz einzuspeisen (Ströbele et al. 2010: 195).

Das Stromeinspeisegesetz wurde zwei Jahre nach der Neufassung des EnWG durch das im Jahr 2000 in Kraft getretene EEG abgelöst. Kern des EEG war die den Netzbetreibern auferlegte Pflicht, Erzeugungsquellen, die Strom unter der Nutzung erneuerbarer Energien gewinnen, an die Netze anzuschließen und diesen Strom vorrangig einzuspeisen und zu einem festen Betrag zu vergüten. Dabei wurde die energieträgerspezifische Höhe dieser Vergütung vom Gesetzgeber festgelegt (BMWi 2010: 34). Mit dem EEG wurde die Hürde für den Markteintritt aus erneuerbaren Energieträgern erzeugten Stroms gesenkt und Investitionssicherheit geschaffen (Kopp et al. 2012: 244).¹² Mit den Novellierungen des EEG in den Jahren 2004, 2009 und 2012 wurden durch den Gesetzgeber zwar Änderungen an den konkreten Abläufen und Vergütungshöhen vorgenommen, die Förderung der Einspeisung des aus erneuerbaren Energieträgern gewonnenen Stroms hat sich jedoch nicht geändert – womit der Anteil der erneuerbaren Energieträger an der Stromerzeugung aufgrund der im EEG geregelten Anreizmechanismen kontinuierlich gestiegen ist. Während die Gesetzesinitiativen zur Reformierung der Stromerzeugungsseite erfolgten, stockte nach Ansicht des Gesetzgebers jedoch die mit der Neufassung des EnWG aus dem Jahr 1998 initiierte Liberalisierung auf der Verbraucherseite (Erdmann 2008: 198). Der angestrebte Wettbewerb im Elektrizitätsmarkt wurde den Verantwortlichen zu langsam Realität und so wurde im Jahr 2003 auf europäischer Ebene die sogenannte Beschleunigungsrichtlinie 2003/54/EG verabschiedet (Europäische Union 2003), deren Bedingungen wiederum in der zweiten Novellierung des EnWG im Jahr 2005 auf nationaler Ebene rechtliche Umsetzung fanden (Kühne 2008: 54ff.).¹³ Neben dem Ziel, Verbrauchern die Möglichkeit eines freien Netzzugangs zu ermöglichen, stand bei der erneuten Gesetzesnovelle die Desinte-

12 Aus volkswirtschaftlicher Perspektive, nach der nur bei einem Marktversagen eine Förderung bestimmter Technologien gerechtfertigt werden kann, erfolgte die Förderung der erneuerbaren Energieträger in Deutschland vor allem aus industriepolitischer Erwägung mit dem Ziel, einen neuen Industriezweig mit zukünftigen Exporterfolgen aufzubauen. Die Verringerung der CO₂-Emissionen als externem Effekt oder die Reduzierung der Importabhängigkeit von anderen Energieträgern stand weniger im Vordergrund (Ströbele et al. 2010: 193ff.).

13 Allerdings ist die Auffassung, dass die durch die Neufassung des EnWG erreichten Liberalisierungsveränderungen zu langsam erfolgten, kein allgemeiner Konsens. So

gration der integrierten Monopolisten im Vordergrund (Ströbele et al. 2010: 208). Die hinter den europäischen und deutschen Gesetzesinitiativen stehende Intention war es, den Wettbewerb zwischen Erzeugern zu erhöhen, die vertikal integrierten Monopolisten zur organisatorischen Trennung ihrer Erzeugungs-, Transport- und Verbund- und Verteilaktivitäten zu zwingen (Unbundling) und über in den Versorgungsgebieten verantwortliche Netzbetreiber einen Netzzugang Dritter zu gewährleisten (Ströbele et al. 2010: 269f.).

Parallel zu den Liberalisierungsbestrebungen wurde auf europäischer Ebene vor dem Hintergrund der zunehmenden Wahrnehmung des Klimawandels als global-ökologischem und ökonomischem Problem zusätzlich das Ziel verfolgt, bestimmte umwelt- und klimapolitischen Ziele zu definieren und in den EU-Mitgliedsländern gesetzlich zu verankern. So wurde unter deutscher EU-Ratspräsidentschaft im März 2007 das „European climate and energy package“ initiiert und im Dezember 2008 vom europäischen Parlament verabschiedet. Das Maßnahmenpaket beinhaltet die sogenannten 20-20-20 Ziele, die für die EU-Länder bis zum Jahr 2020 verbindlich eine Reduktion der CO₂-Emissionen von 20 Prozent gegenüber 1990, eine Erhöhung der Energieeffizienz um 20 Prozent gegenüber 1990 und einen Anteil der regenerativen Energien von 20 Prozent des Endenergieverbrauchs¹⁴ vorsahen (Council of the European Union 2007). Die 20-20-20-Ziele stellen seither den Fixpunkt europäischer Klima- und Umweltpolitik dar (Pamme 2010: 6). Auf bundesdeutscher Ebene fanden diese Entwicklungen zwar bereits im EEG und seiner Weiterentwicklung Ausdruck, im Jahr 2006 folgte auf europäischer Ebene zusätzlich jedoch die EU-Richtlinie 2006/32/EG (auch Energiedienstleistungsrichtlinie, kurz: EDL-Richtlinie).¹⁵ Mit ihr war das Ziel der Erhöhung der Endenergieeffizienz im Industrie-, im Verkehrs-, im Wohn- und im Dienstleistungssektor in den Mitgliedsstaaten der EU verbunden. Konkret sollten u. a. Energiekonzerne dazu verpflichtet werden, Endverbrauchern Dienste anzubieten, die zum Energiesparen anregen – wobei jedes Mitgliedsland selbst für die nationale Umsetzung

gibt es in der Bewertung des Erfolgs des EnWG durchaus unterschiedliche Meinungen (vgl. u. a. Erdmann 2008; Neumann 2008).

- 14 Als Endenergie wird die Energie bezeichnet, die letztlich beim Verbraucher nach allen erforderlichen Transport- und Umwandlungsverlusten ankommt und von ihm tatsächlich verbraucht wird (Laumanns 2005b: 49)
- 15 Vor der Richtlinie 2006/32/EG wurde bereits die Richtlinie 2005/32/EG (energiebetriebene Produktrichtlinie oder auch Öko-Design-Richtlinie) verabschiedet. Sie zielte auf eine Erhöhung der Energieeffizienz ab, indem rechtliche Mindeststandards für neue energiebetriebene Produkte für Hersteller und Importeure definiert wurden, wobei keine konkreten Vorgaben für Mindeststandards einzelner Produkte gemacht wurden (Pamme 2010: 13).