

WELCHE EINSPAREFFEKTE LASSEN SICH DURCH SMART METERING ERZIELEN – ERGEBNISSE EINES FELDVERSUCHS

Marian KLOBASA

Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Breslauer Straße 48,
76139 Karlsruhe, Deutschland, Tel.: +49 721 6809 – 287,
M.Klobasa@isi.fraunhofer.de

Joachim SCHLEICH

Grenoble Ecole de Management / Fraunhofer ISI, 12, rue Pierre Sénard, BP 127,
38003 Grenoble Cedex 01, France, joachim.schleich@grenoble-em.com

Sebastian GÖLZ

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg,
Deutschland, sebastian.goelz@ise.fraunhofer.de

Kurzfassung: Dieser Beitrag analysiert die Effekte, die sich durch ein Feedback zum Stromverbrauch an ca. 1500 Haushalte in der Stadt Linz, ergeben haben. Über ein WEB-Portal bzw. eine schriftliche Verbrauchsinformationen erhielten ca. die Hälfte der Haushalte Informationen über ihren historischen Stromverbrauch. Diese Pilotgruppe wurde mit der anderen Hälfte der Haushalte, die als Kontrollgruppe diente, verglichen. Mit Hilfe einer Regressionsanalyse lassen sich signifikante Einsparungen von 4,5 % des Stromverbrauchs in der Pilotgruppe nachweisen. Dabei zeigt sich, dass vor allem Haushalte mit einem mittleren Verbrauchsniveau die größten Einsparungen erzielen. Keine Einsparungen ließen sich für Haushalte mit sehr hohem bzw. sehr niedrigem Verbrauchsniveau finden.

Keywords: Smart Metering, Verbrauchsfeedback, Haushaltsstromnachfrage

1 Motivation und zentrale Fragestellung

Durch den Einsatz von intelligenten Stromzählern (Smart Metern) erhoffen sich politische Entscheidungsträger substantielle Einspareffekte bei den Haushalten. So sind in vielen Ländern Europas Aktionspläne entwickelt worden, um eine flächendeckende Verbreitung solcher Zähler zu erreichen. Die EU Effizienzrichtlinie (Directive 2006/32/EC) schreibt den Einbau solcher Zähler bei einem Austausch bzw. im Neubau bereits heute vor. Darüber hinaus wird auch ein zeitnäheres Feedback zum Stromverbrauch diskutiert. In einigen europäischen Ländern hat ein umfassender Roll-out von Smart Metern bereits stattgefunden, z. B. in Schweden. Andere Länder haben bisher eine abwartende Haltung, so dass nur eine begrenzte Anzahl an Smart Metern hier installiert worden ist wie beispielsweise in Deutschland.

In Österreich hat der Einbau von Smart Metern erst seit kurzem begonnen. Allerdings weisen die politischen Rahmenbedingungen auf einen forcierten Ausbau in den nächsten Jahren hin. Bereits in 2010 ist eine Roadmap für Smart Grids in Österreich durch die wichtigsten Akteure in Österreich veröffentlicht worden (Lugmaier et al. 2010). Ebenfalls in 2010 ist eine

Kosten-Nutzen Analyse für Smart Meter in Österreich durchgeführt worden, die bei einem fast flächendeckenden Roll-out von 95 % einen positiven Nettoeffekt ermittelt hat (PwC 2010). Dieser Studie folgend hat das österreichische Wirtschaftsministerium einen Gesetzesvorschlag vorgelegt, der einen Roll-out von Smart Metern bei 95 % der Haushalte vorsieht.

Eine zentrale Größe innerhalb der Kosten-Nutzen-Analysen für Smart Metering stellen die erzielbaren Einspareffekte dar, über die derzeit jedoch noch unzureichende Kenntnisse existieren. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse eines Feldversuches mit über 1500 Haushalten in Österreich vorgestellt, die über einen Zeitraum von 11 Monaten zeitnahes Feedback zu ihrem Stromverbrauch bekommen haben. Der Feldversuch wurde im Rahmen des deutschen Forschungsprojektes Intelliekon durchgeführt und mit Mitteln des Bundesforschungsministeriums gefördert (Intelliekon 2011). Projektpartner waren neben dem Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung, das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, das Institut für Sozialökologische Forschung (ISOE), die EVB Energy Solution und mehrere Energieversorger darunter auch die Linz AG.

2 Design des Feldversuchs

2.1 Auswahl der Haushalte und Durchführung des Feldtests

Im Rahmen des Feldversuchs wurden über 1500 Haushaltskunden der Linz AG zufällig einer Pilot- und einer Kontrollgruppe zugeordnet. Teilnehmer der Pilotgruppe konnten dann auswählen, ob sie Feedback zu ihrem Stromverbrauch über ein WEB-Portal oder per Post bekommen wollten. Darüber hinaus erhielten diese Haushalte Tipps zum Stromsparen. Diese Pilot-Gruppe und ihr Stromverbrauch wurden mit den restlichen Haushalten verglichen, die dabei als Kontrollgruppe agierten. Der Feldversuch wurde über 11 Monate im Zeitraum von Dezember 2009 bis Ende Oktober 2010 durchgeführt. In dieser Zeit wurde der Stromverbrauch der Haushalte aufgezeichnet und stand für eine spätere Auswertung zur Verfügung.

Die Auswahl der Haushalte erfolgte in einem dreistufigen Verfahren. Zunächst wurden mögliche Feldtestteilnehmer durch die beteiligten Energieversorgungsunternehmen identifiziert. Voraussetzung für die Teilnahme an dem Feldversuch war das Vorhandensein eines Smart Meters im Haushalt, über den der Stromverbrauch der Haushalte zeitnah erfasst werden könnte. Diese Feldtestteilnehmer wurden dann zufällig entweder der Pilot- oder der Kontrollgruppe zugeordnet. In einem zweiten Schritt wurden die Haushalte angeschrieben, um sie zur Teilnahme am Feldversuch einzuladen und ihnen Informationen über den Feldversuch zu geben. Die Haushalte der Kontrollgruppe wurden eingeladen an einer Studie zum Stromverbrauch im Haushalt teilzunehmen, wobei sie jedoch über den Feldtest und das Verbrauchsfeedback der Pilotgruppe keine Informationen erhielten. Die Bereitschaft zur Teilnahme der Haushalte an dem Feldtest wurde dann durch einen Telefonanruf abgefragt, wobei gleichzeitig auch die Zustimmung zur anonymisierten Erfassung und Auswertung der Stromverbrauchs- und anderer abgefragter Daten der Haushalte eingeholt wurde.

Die Haushalte wurden zweimal mit Hilfe eines computergestützten Fragebogens telefonisch zu ihrer Ausstattung mit Elektrogeräten sowie zu soziodemographischen Daten befragt, z. B.

Alter, Geschlecht, Bildung, etc. Die telefonische Befragung fand kurz nach Beginn sowie gegen Ende des Feldtestes statt.

2.2 Verbrauchsfeedback an die Haushalte

Im Vorlauf zum Feldversuch wurden qualitative Interviews mit 76 Haushalten durchgeführt, um die Anforderungen der Haushalte an ein Verbrauchsfeedback besser zu verstehen (Birzle-Harder et al. 2008). Folgende Motive zum Energiesparen haben sich in den Interviews für den Mainstream der Haushalte gezeigt:

- Kosten senken
- Im eigenen Haushalt Transparenz herstellen
- Rational und effizient wirtschaften
- Verbrauch analysieren und unnötigen Verbrauch aufspüren
- Kinder in diesem Sinne erziehen

Für ökologisch sensibilisierte Haushalte stellt das Energiesparen auch eine Form des nachhaltigen Handelns dar. Dieses Motiv betraf allerdings nur eine kleinere Gruppe innerhalb der Befragten. Diese Motive des Energiesparens sollten die eingesetzten Feedbackinstrumente unterstützen können, um auf eine breite Akzeptanz bei den Haushalten zu stoßen. Sowohl ein Verbrauchsfeedback über ein Internetportal als auch eine schriftliche Verbrauchsinformation wurden als geeignet angesehen. Diese Optionen standen im Rahmen des Feldtestes für die Pilotgruppe zur Verfügung und konnten durch die Haushalte gewählt werden.

WEB-Portal

Im Rahmen des WEB-Portals standen aktuelle Verbrauchszahlen den Haushalten zur Verfügung. Dabei konnten sie sich ihren historischen Verbrauch – in der Regel mit einem Tag Verzögerung – auf unterschiedlichen Zeitskalen ansehen. Dies reichte von Stundenwerten bis zu Monatswerten. Darüber hinaus stellte das WEB-Portal auch Stromeinspartipps zur Verfügung. Im WEB-Portal bestand die Möglichkeit, sich auch die geschätzten Kosten des Stromverbrauchs in Euro anzeigen zu lassen.

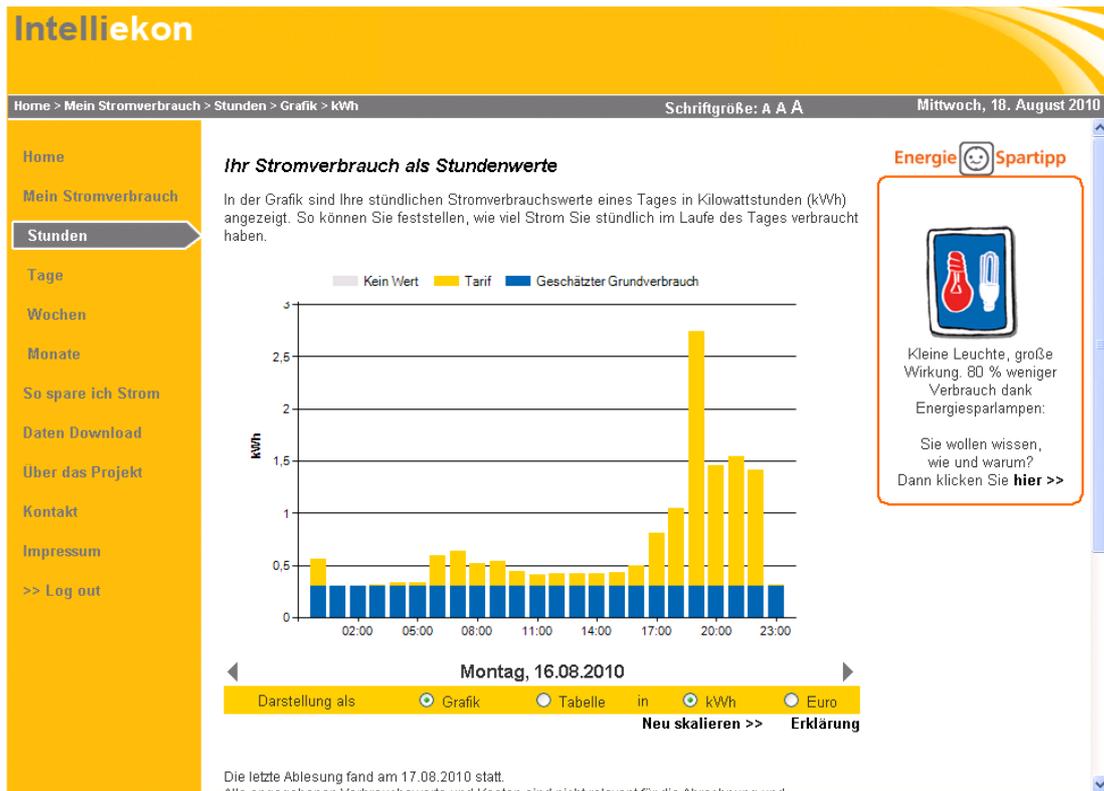


Abbildung 1: Intelliekon WEB-Portal als Verbrauchsfeedback zum Stromverbrauch

Schriftliche Verbrauchsinformation

Die schriftliche Verbrauchsinformation wurde den Haushalten während der Feldtestphase einmal in jedem Monat zugesendet und enthielt den historischen Stromverbrauch, wobei die dargestellte zeitliche Auflösung im Maximum nur Tage umfasste. Stündliche Verbrauchswerte wurden den Haushalten, die eine schriftliche Verbrauchsinformation bekommen haben, nicht mitgeteilt. Ebenfalls mit enthalten waren Energiespartipps.

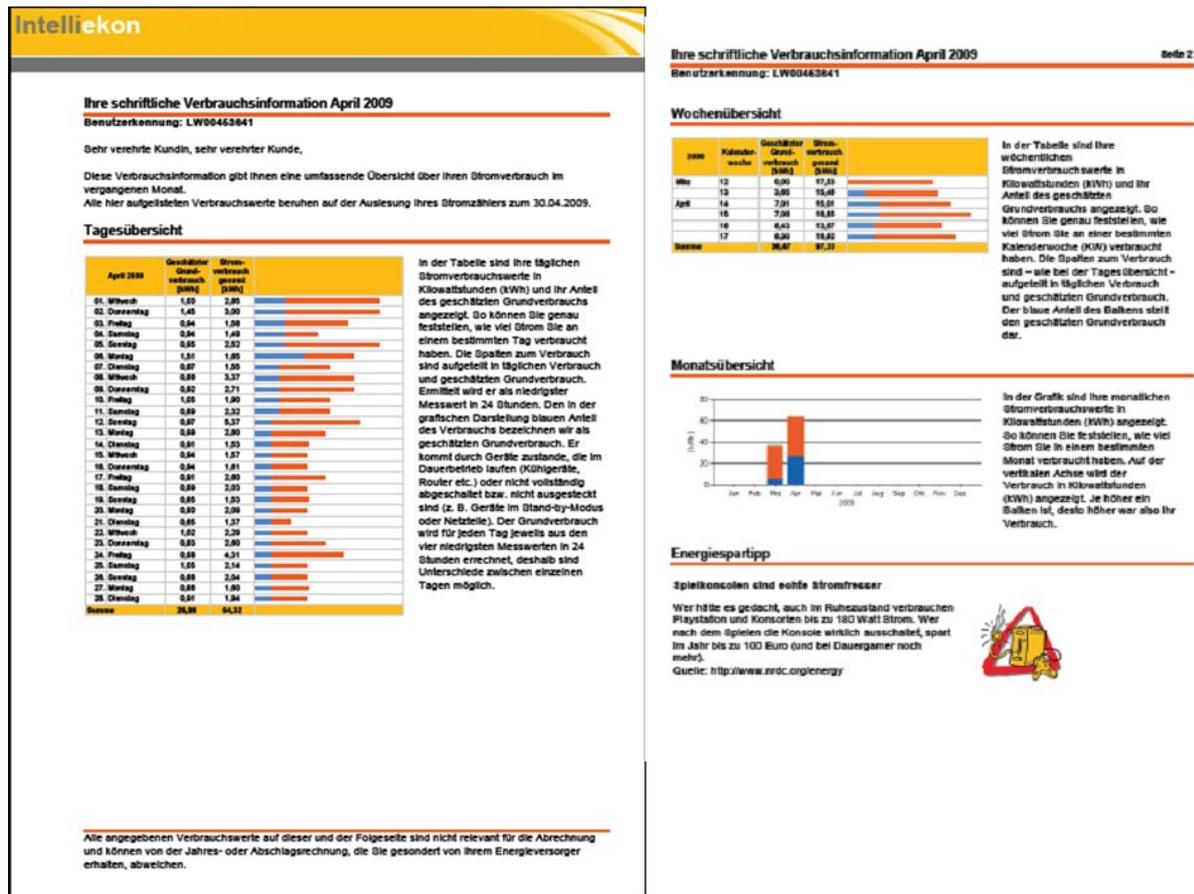


Abbildung 2: Schriftliche Verbrauchsinformation als Feedback zum Stromverbrauch

3 Statistisches Modell zur Schätzung der Verbrauchseinsparungen

Die Einspareffekte werden mit Hilfe einer multivariaten Regressionsanalyse ermittelt. Auf diese Weise lassen sich Unterschiede in der sozio-demographischen Struktur der Pilotgruppe und der Kontrollgruppe berücksichtigen. Als weitere Einflussgrößen für den Stromverbrauch werden u.a. die Anzahl Personen im Haushalt, die Ausstattung mit elektrischen Geräten und die Wohnungsgröße mit berücksichtigt. Für die Analyse der Effekte werden zwei Modelle eingesetzt. Dabei schätzt das Feedback-Modell den Einfluss den ein Feedback auf den Stromverbrauch hat. Das Feedback-Type Modell dagegen schätzt den Unterschied der sich aus der Wahl des Feedback-Instrumentes (WEB bzw. schriftliche Verbrauchsinformation) ergibt.

3.1 Feedback Modell

Der beobachtete Stromverbrauch Y der Haushalte lässt sich folgendermaßen beschreiben:

$$Y = X\beta + I_p\delta + \varepsilon, \tag{1}$$

wobei X ein Vektor von Variablen ist, die den Stromverbrauch eines Haushaltes beeinflussen. Der Vektor β stellt einen Vektor von Parametern dar, die geschätzt werden

müssen. Schließlich stellt ε die Fehlerkomponente dar. Die Variable I_p zeigt an ob ein Haushalt zur Pilotgruppe gehört. Der Parameter δ gibt den Einfluss des Verbrauchsfeedbacks auf den Stromverbrauch an und bildet damit das zentrale Ergebnis der Regressionsanalyse – der Einspareffekt, der sich erzielen lässt. Da die Zugehörigkeit zur Pilotgruppe zufällig ausgewählt wurde, lassen sich die Parameter der Gleichung (1) mit Hilfe einer Kleinste-Quadrate-Schätzung ermitteln. Als zweite Schätzmethode wurde die "Quantile Regression" verwendet, um den Einfluss der Stromverbrauchshöhe auf den Einspareffekt zu ermitteln. Dabei wird unterstellt, dass der Parameter δ für unterschiedliche Quantile des Stromverbrauchs variiert.

3.2 Feedback Type Modell

Der Einfluss des Feedbacks – WEB-Portal oder schriftliche Verbrauchsinformation – wurde mit Hilfe des Feedback Type Modells untersucht. Dabei wurde berücksichtigt, dass die Auswahl der Feedbackart (WEB-Portal bzw. schriftliche Info) nicht zufällig erfolgte. Der beobachtete Stromverbrauch Y der Haushalte der Pilotgruppe (die Kontrollgruppe wurde in diesem Modell nicht betrachtet) lässt sich folgendermaßen beschreiben:

$$Y = X\beta + I_w\delta + \varepsilon, \quad (2)$$

Die Variable I_w zeigt an, welche Art von Feedback ein Haushalt gewählt hat.

4 Kenndaten der Haushalte und Variablen des statistischen Modells

Insgesamt wurden Daten von 1525 Haushalten verwendet, wobei 775 Haushalte der Pilotgruppe und 750 Haushalte der Kontrollgruppe angehörten. Als abhängige Variable wurde der jährliche Stromverbrauch der Haushalte geschätzt, wobei der durchschnittliche Stromverbrauch pro Tag in der Feldtestphase proportional auf ein Jahr skaliert wurde.

Als erklärende Variablen für den Stromverbrauch wurden Charakteristika des Haushaltes und die Ausstattung mit Elektrogeräten verwendet. Die Haushalte wurden anhand ihres Einkommens, ihrer Bildung, der Anzahl an Personen nach Altersgruppen und der Wohnungsgröße charakterisiert. Die Variable Einkommen (Income) kann den Wert 1 (Einkommen bis 1500 €), 2 (Einkommen 1500 € - 2500 €) und 3 (Einkommen über 2500 €) annehmen. Die Variable Bildung (Education) hat den Wert 0 für eine Ausbildung von weniger als 10 Jahren und 1 bei einer Ausbildungsdauer von mehr als 10 Jahren. Die 6 Altersgruppen, nach denen die Anzahl an Personen im Haushalt als Variable einfließen, umfassen: 0 – 5, 6 – 17, 18 – 30, 31 – 45, 45 – 60 und über 60 Jährige.

Die Ausstattung an Geräten umfasste die Anzahl an Kühlschränken, Trocknern, Gefrierschränken, Spülmaschinen, Boilern und Fernsehgeräten. Die Anzahl der übrigen Elektrogeräte (Appliances) sowie die berichtete Nutzungsdauer des ersten Computers (Computertime) ging ebenfalls als erklärende Variable ein.

Als weitere erklärende Variable für den Stromverbrauch wurde die Teilnahme in der Pilotgruppe (Smart) verwendet. Aus der Befragung der Haushalte, für die sämtliche erklärenden Variablen zur Verfügung standen, konnten 1070 verwendet werden, wovon 601 der Pilotgruppe angehörten. Tabelle 1 zeigt die Statistik der erklärenden Variablen in der Pilot- und Kontrollgruppe. Es zeigt sich, dass die Zusammensetzung der Pilot- und Kontrollgruppe relativ ähnlich ist.

Tabelle 1: Statistische Beschreibung der erklärenden Variablen

Variable	Unit	Full sample				Pilot	Control
		Mean	Std. Dev.	Min.	Max.	Mean	Mean
Electricity	kWh/year	3288	1452	703	7963	3267	3314
Smart	0/1 dummy	0.56	0.50	0	1	1	0
Age5	number	0.18	0.48	0	3	0.16	0.22
Age17	number	0.41	0.75	0	4	0.40	0.42
Age30	number	0.41	0.67	0	4	0.38	0.45
Age45	number	0.66	0.80	0	3	0.68	0.63
Age60	number	0.51	0.73	0	3	0.47	0.57
Age60plus	number	0.35	0.68	0	3	0.40	0.28
Floorsize	m ²	105	46	25	538	107	102
Income	1/2/3 dummy	2.16	0.77	1	3	2.16	2.16
Education	0/1 dummy	0.54	0.50	0	1	0.51	0.57
Fridge	number	1.22	0.47	0	4	1.25	1.18
Dryer	number	0.39	0.49	0	1	0.40	0.38
Freezer	number	0.74	0.56	0	3	0.75	0.72
Dishwash	number	0.88	0.36	0	2	0.90	0.87
Boiler	number	0.39	0.57	0	3	0.38	0.40
TV	number	0.83	0.80	0	5	0.87	0.79
Computertime	number	2.63	3.61	0	24	2.63	2.62
Appliances	number	6.67	2.77	1	27	6.73	6.59

5 Einspareffekte durch Feedback zum Stromverbrauch

Die Analysen mit dem Kleinste-Quadrate-Schätzer zeigen, dass die Haushalte der Pilotgruppe einem um ca. 4,5 % geringeren Stromverbrauch ausweisen als die Haushalte der Kontrollgruppe. Auswertungen der einzelnen Monate belegen, dass der ermittelte Effekt über den betrachteten Zeitraum relativ konstant bleibt und sich in dieser Zeit kaum abschwächt. Tabelle 2 gibt die Parameter der einzelnen Variablen jeweils in kWh an. Da die abhängige Variable der jährliche Stromverbrauch eines Haushaltes ist, geben die einzelnen Parameter den jeweiligen Anteil der erklärenden Variablen am jährlichen Stromverbrauch an. So erhöht beispielsweise das Vorhandensein eines weiteren Kühlschranks in einem Haushalt (Variable Fridge) den Stromverbrauch dieses Haushalts statistisch um 328 kWh/a. Ist ein Haushalt dagegen Teil der Pilotgruppe (Variable Smart) dann sinkt statistisch der Stromverbrauch dieses Haushalts um ca. 154 kWh/a bzw. um 4,5 %.

Tabelle 2: Ergebnisse des Kleinste-Quadrate-Schätzers zum Stromverbrauch

Smart	-154.47	**
	(69.90)	
Age6	118.05	
	(77.99)	
Age17	276.95	***
	(63.08)	
Age30	356.76	***
	(71.59)	
Age45	531.02	***
	(82.75)	
Age60	506.49	***
	(79.82)	
Age60plus	557.04	***
	(74.27)	
Floorsize	5.81	***
	(1.04)	
Income	103.19	**
	(52.11)	
Education	-89.11	
	(72.22)	
Fridge	328.14	***
	(101.90)	
Dryer	434.89	***
	(75.56)	
Freezer	217.57	***
	(68.42)	
Dishwash	44.74	
	(105.29)	
Boiler	304.14	***
	(61.79)	
TV	159.20	***
	(49.06)	
Computertime	39.00	***
	(11.40)	
Appliances	65.29	***
	(19.35)	
Constant	-53.17	
	(164.55)	
R ² (adjusted)	0.4330	
Sample size	1070	
Smart in % of consumption	4.51%	

*** Signifikanzlevel p=0.01, ** Signifikanzlevel p=0.05 und * Signifikanzlevel p=0.1

Die Schätzungen zum Stromverbrauch (Quantile Regression), die zusätzlich auch die Höhe des Stromverbrauchs bei der Schätzung der Parameter berücksichtigen, zeigen, dass die erzielbaren Einsparungen sehr stark auch vom Level des Stromverbrauchs abhängen (siehe Tabelle 3). Signifikante Einsparungen lassen sich dabei im 30. bis zum 70. Perzentil

nachweisen. In den oberen und unteren Perzentilen lassen sich dagegen keine signifikanten Einsparungen finden.

Tabelle 3: Ergebnisse der quantile regression Schätzung des Stromverbrauchs

Percentile	Variable Smart [kWh]	Signifikanzlevel	Savings [%]	Percentile consumption [kWh]
p10	-15.19		-0.90	1688
p20	-24.97		-1.18	2116
p30	-149.43	***	-5.75	2599
p40	-174.27	**	-5.97	2919
p50	-125.38	**	-3.86	3248
p60	-107.37	*	-3.03	3544
p70	-134.01	*	-3.37	3977
p80	-69.73		-1.59	4386
p90	-123.05		-2.36	5214

*** Signifikanzlevel $p=0.01$, ** Signifikanzlevel $p=0.05$ und * Signifikanzlevel $p=0.1$

Die Analysen zum Einfluss der Feedbackart haben gezeigt, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Feedbackarten gegeben hat. Aus diesem Grund wird hier auf eine vertiefte Darstellung der Schätzergebnisse verzichtet.

6 Schlussfolgerungen

Die durchgeführten Untersuchungen legen nahe, dass sich durch ein Feedback zum Stromverbrauch Einsparungen in einer Größenordnung von 4,5 % für einen durchschnittlichen Haushalt erzielen lassen. Betrachtet man die Einsparungen in Abhängigkeit des Stromverbrauchslevels, so hat sich gezeigt, dass die Haushalte mit sehr hohem und sehr niedrigem Stromverbrauch innerhalb des Untersuchungssamples keine signifikanten Einsparungen erzielt haben. Dies bedeutet, dass ca. die Hälfte des Samples nicht oder nur sehr gering auf das Verbrauchsfeedback reagiert hat.

Haben die Haushalte die Wahl, welches Feedback sie bekommen möchten (WEB-Portal bzw. schriftliche Verbrauchsinformationen), zeigen sich keine signifikanten Unterschiede bei den erzielten Einsparungen. Der hohe Anteil von ca. 50 % an Haushalten, die sich für die schriftliche Verbrauchsinformation entschieden haben, legt nahe, dass diese Option neben einem WEB-Portal grundsätzlich den Haushalten angeboten werden sollte.

Der erzielte Effekt liegt etwas unterhalb der Erwartungen, die sich aus der Literatur ableiten lassen (Fischer 2008, Ehrhardt-Martinez et al. 2010), so werden in einem aktuellen Papier der EU Kommission bis zu 10 % Einspareffekte genannt (European Commission 2011). Für die Haushalte bedeuten die erzielbaren Einsparungen nur einen geringen finanziellen Einspareffekt, der zum Teil wieder durch Investitionen in die Smart Meter kompensiert werden kann, wenn die dafür anfallenden Kosten auch direkt durch die Haushalte getragen werden müssen.

Aus Sicht einer nachhaltigen Entwicklung stellt der erzielte Effekt allerdings einen substantiellen Beitrag dar. Werden Smart Meter darüber hinaus für den Betrieb zukünftiger

Netze mit hohem Anteil erneuerbarer Energien benötigt, fällt die Gesamtbewertung deutlich positiver aus. Für die weitere Entwicklung von Smart Metern sowie von Smart Grid Konzepten ist daher eine umfassende Kosten-Nutzen Betrachtung von zentraler Bedeutung. Hierzu können die durchgeführten Untersuchungen einen wichtigen Beitrag liefern.

Literatur

- Birzle-Harder, B.; Deffner, J.; Götz, K.: Lust am Sparen oder totale Kontrolle? Akzeptanz von Stromverbrauchs-Feedback, Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE), Frankfurt a.M., September 2008 online verfügbar unter <http://www.isoe.de/shop/literatur/sonstige-materialien/lust-am-sparen-oder-totale-kontrolle-akzeptanz.htm>
- Ehrhardt-Martinez, K., K.A. Donnelly, and J.P. Laitner (2010). Advanced Metering Initiatives and Residential Feedback Programs: A Meta-Review for Household Electricity-Saving Opportunities. Report No. E105. American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C.
- European Commission (2011). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Smart Grids: from innovation to deployment. COM (2011) 202 final, Brussels, 12 April 2011.
- Fischer, C. (2008). Feedback on household electricity consumption: A tool for saving energy? Energy Efficiency 1, 79–104.
- Intelliekon 2011: Nachhaltiger Energiekonsum durch intelligente Zähler-, Kommunikations- und Tarifsysteme, Forschungsprojekt gefördert durch das deutsche Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), online unter <http://www.intelliekon.de/>
- Lugmaier, A.; Brunner, H.; Prügler, W.; Glück, N.; Kupzog, F.; Fechner, H.; Tauschek, U.; Rieder, T.; Derler, K.; Mühlberger, T. (2010): Roadmap Smart Grids Austria, FEEI – Fachverband der Elektro- und Elektronikindustrie, Wien online unter <http://www.smartgrids.at/?download=104.pdf>
- PwC (2010): Study on Cost-Benefits on the implementation of Smart Metering in Austria, PriceWaterhouseCoopers Austria, June 2010