

Frondel, Manuel; Ritter, Nolan; Sommer, Stephan

Research Report

Stromverbrauch privater Haushalte in Deutschland: Eine ökonometrische Analyse

RWI Materialien, No. 92

Provided in Cooperation with:

RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, Essen

Suggested Citation: Frondel, Manuel; Ritter, Nolan; Sommer, Stephan (2015) : Stromverbrauch privater Haushalte in Deutschland: Eine ökonometrische Analyse, RWI Materialien, No. 92, ISBN 978-3-86788-661-1, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI), Essen

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/116776>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



Materialien

Manuel Frondel
Nolan Ritter
Stephan Sommer

Diskussionspapier

Stromverbrauch privater Haushalte in Deutschland: Eine ökonometrische Analyse

RUHR
UNIVERSITÄT
BOCHUM

RUB



Heft 92

Vorstand des RWI

Prof. Dr. Christoph M. Schmidt (Präsident)

Prof. Dr. Thomas K. Bauer (Vizepräsident)

Prof. Dr. Wim Kösters

Verwaltungsrat

Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl (Vorsitzender);

Manfred Breuer; Prof. Dr. Claudia Buch; Reinhold Schulte (Stellv. Vorsitzende);

Hans Jürgen Kerkhoff; Dr. Thomas A. Lange; Martin Lehmann-Stanislawski;

Dr.-Ing. Herbert Lütkestratkötter; Hans Martz; Andreas Meyer-Lauber;

Hermann Rappen; Prof. Regina T. Riphahn, Ph.D.; Reinhard Schulz;

Dr. Michael H. Wappelhorst; Josef Zipfel

Forschungsbeirat

Prof. Regina T. Riphahn, Ph.D. (komm. Vorsitzende);

Prof. Dr. Monika Bütler; Prof. Dr. Lars P. Feld; Prof. Dr. Stefan Felder;

Prof. Dr. Alexia Fürnkranz-Prskawetz; Prof. Timo Goeschl, Ph.D.; Prof. Timothy W.

Guinnane, Ph.D.; Prof. Dr. Kai Konrad; Prof. Dr. Wolfgang Leininger;

Prof. Dr. Nadine Riedel; Prof. Dr. Kerstin Schneider; Prof. Dr. Conny Wunsch

Ehrenmitglieder des RWI

Heinrich Frommknecht; Dr. Eberhard Heinke; Prof. Dr. Paul Klemmer †;

Dr. Dietmar Kuhnt

RWI Materialien Heft 92

Herausgeber:

Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung

Hohenzollernstraße 1-3, 45128 Essen, Tel. 0201 – 8149-0

Alle Rechte vorbehalten. Essen 2015

ISSN 1612-3573

ISBN 978-3-86788-661-1

Materialien

Diskussionspapier

Manuel Frondel, Nolan Ritter und Stephan Sommer

**Stromverbrauch privater
Haushalte in Deutschland:
Eine ökonometrische Analyse**

Heft 92

RUHR
UNIVERSITÄT
BOCHUM

RUB



Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über: <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Mitglied der



Das RWI wird vom Bund und vom Land Nordrhein-Westfalen gefördert.

ISSN 1612-3573

ISBN 978-3-86788-661-1

Manuel Frondel, Nolan Ritter und Stephan Sommer¹

Stromverbrauch privater Haushalte in Deutschland: Eine ökonometrische Analyse

Zusammenfassung

Zum Stromverbrauch der in privaten Haushalten verbreiteten Elektrogeräte gibt es wenig empirische Evidenz. Um diese Lücke zu schließen, wird im folgenden Beitrag ein ökonometrisches Modell geschätzt, das auf Basis der Daten einer detaillierten Erhebung zum Stromverbrauch und zur Geräteausstattung unter 2 100 Haushalten aus dem Jahr 2014 den individuellen Stromverbrauch von Haushalten auf die jeweilige Geräteausstattung zurückführt. Im Ergebnis zeigt sich, dass die von uns geschätzten mittleren Verbrauchswerte für Standardgeräte wie Kühl- und Gefrierschränke gut mit den Angaben von Verbraucherzentralen und Informationsportalen übereinstimmen. Der Vergleich unserer Schätzwerte mit öffentlich zugänglichen Informationen zum Stromverbrauch von zumeist neuen Geräten offenbart zugleich, dass in privaten Haushalten ein nicht unerhebliches Stromsparpotential existiert. Insgesamt macht unsere Analyse deutlich, dass der Stromverbrauch privater Haushalte sehr heterogen ausfällt und es daher eine starke Vereinfachung darstellt, einem Haushalt einer bestimmten Größe (Personenzahl) einen typischen mittleren Stromverbrauch zuzuschreiben.

JEL Classification: D12, Q41

Keywords: Conditional demand analysis; Kleinste Quadrate Schätzung

August 2015

¹ Manuel Frondel, RWI und RUB; Nolan Ritter, DIW; Stephan Sommer, RWI. – Wir danken dem Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) sowie der Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung (HEA) für die finanzielle Unterstützung der Erhebung der Geräteausstattung und den forsa-Mitarbeitern Ute Müller und Dr. Peter Matuschek für die gute Zusammenarbeit. Außerdem danken wir dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Projektes Nr. 54/09 „Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2006-2013“ sowie Colin Vance und einer anonymen Gutachterin bzw. einem anonymen Gutachter für hilfreiche Kommentare und Anregungen. – Korrespondenz: Manuel Frondel, RWI, Hohenzollernstr. 1-3, 45128 Essen, E-Mail: frondel@rwi-essen.de

1 Einleitung

Das Energiekonzept der Bundesregierung (2010) sieht vor, den Stromverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2020 um 10% gegenüber dem Jahr 2008 zu reduzieren. Um dieses Ziel zu erreichen, sollen die Bürger mit Hilfe von Informations- und Beratungsangeboten sowie durch wirtschaftliche Anreize in die Lage versetzt werden, Stromeinsparpotenziale zu realisieren. Dies ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass die privaten Haushalte im Jahr 2013 einen Anteil von 26,9% am Nettostromverbrauch von 514,9 Mrd. kWh in Deutschland aufwiesen (AGEB 2014).

Allerdings gibt es nur wenig empirische Evidenz darüber, wie umfangreich die Einsparpotenziale bei den privaten Haushalten in Deutschland ausfallen. So bestehen große Erkenntnislücken beim durchschnittlichen Stromverbrauch der in den Haushalten verbreiteten Elektrogeräte. Um diese Lücken zu schließen, sind empirische Studien zur Ermittlung der Geräteausstattung von Haushalten erforderlich sowie Modelle, mit deren Hilfe vom Stromverbrauch der jeweiligen Haushalte auf den Verbrauch der einzelnen Geräte geschlossen werden kann.

Anstatt auf Basis der Geräteausstattung wird der Stromverbrauch der privaten Haushalte in den meisten empirischen Studien jedoch mit Hilfe sozioökonomischer Charakteristika zu erklären versucht, etwa mit der Zahl der Mitglieder eines Haushaltes sowie dem verfügbaren Haushaltseinkommen, um nur zwei der wesentlichen Determinanten des Stromverbrauchs zu nennen. Dabei wird stillschweigend darüber hinweggesehen, dass nicht die Haushaltsmitglieder selbst den Strom verbrauchen, so wie sie Milch oder Bier konsumieren. Vielmehr sind in erster Linie die in einem Haushalt befindlichen Elektrogeräte für den Stromverbrauch verantwortlich. Die in empirischen Studien beschriebene Korrelation zwischen dem Stromverbrauch eines Haushaltes und der Zahl der Haushaltsmitglieder sowie dem Haushaltseinkommen resultiert letztlich aus der Korrelation dieser sozioökonomischen Größen mit der Zahl und der Nutzung der im Haushalt befindlichen Elektrogeräte. Diese Anzahl ist, ebenso wie die Art der Geräte, in den meisten empirischen Analysen jedoch unbekannt.

Für Deutschland liegt nun eine neue Erhebung unter rund 2 100 Haushalten vor, für die sowohl valide Angaben zum Stromverbrauch für das Jahr 2013 existieren als auch detaillierte Angaben zu ihrer Geräteausstattung und –nutzung, etwa die (auf das Jahr hochgerechnete) Anzahl an Spül- und Waschgängen mit Spül- bzw. Waschmaschinen. Auf Basis dieser Daten ist das Ziel der folgenden empirischen Analyse, mit Hilfe eines ökonometrischen Modells und den individuellen Stromverbrauchsangaben der privaten Haushalte den durchschnittlichen Verbrauch einzelner Geräte zu schätzen.

Dazu wird der Stromverbrauch auf einzelne Haushaltsattribute zurückgeführt, etwa das Vorhandensein eines Trockners, einer Sauna, eines Schwimmbeckens oder eines Wasserbetts, sowie auf die Anzahl der üblicherweise in einem Haushalt vorhandenen elektrischen Geräte, etwa die Zahl an Fernsehern, Computern oder Laptops. Zudem wird untersucht, ob Haushalte, die angeben, energiebewusst zu sein, einen geringeren Stromverbrauch aufweisen als andere Haushalte. Eine Alternative zur Schätzung eines solchen ökonometrischen Modells gibt es nicht, denn bislang gibt es keine flächendeckende Messung des Verbrauchs der einzelnen Geräte in den privaten Haushalten. Bis solche Techniken zum Standard in jedem privaten Haushalt gehören, dürfte es wohl noch Jahrzehnte dauern.

Im folgenden Abschnitt 2 werden die unserer Analyse zu Grunde liegenden Daten beschrieben. Anschließend werden in Abschnitt 3 das verwendete Schätzmodell sowie die Schätzergebnisse

vorgestellt. Abschnitt 4 vergleicht die Schätzergebnisse mit Verbrauchsangaben, wie sie etwa von der Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz bereitgestellt werden. Der Beitrag schließt mit einem Fazit.

2 Datenbeschreibung

Die Datengrundlage für unsere Analyse bilden zwei Erhebungen, die gemeinsam vom Rheinisch-Westfälischen Institut für Wirtschaftsforschung (RWI) und dem Marktforschungsinstitut forsa durchgeführt wurden. Zum einen wurde im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums (BMWi) zum wiederholten Male der Energieverbrauch der privaten Haushalte ermittelt, unter anderem auch der Verbrauch an Strom für die Jahre 2011 bis 2013 (RWI, forsa 2015a). Dazu wurden die rund 8 500 befragten Haushalte des forsa-Haushaltspanels gebeten, Angaben zu ihren Rechnungen für diese Jahre zu machen. Darüber hinaus wurden am jeweiligen Jahresanfang auch Stromzählerstände abgefragt.

Ergänzend dazu wurde im Jahr 2014 eine zufällige Auswahl von rund 2 100 Haushalten, von denen valide Angaben zum Stromverbrauch der vorgegangenen Jahre vorlagen, nach ihrer Geräteausrüstung und -nutzung befragt (RWI, forsa 2015b). Ein wesentliches Ziel dieser im Auftrag des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) sowie der Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung (HEA) durchgeführten Erhebung ist die Erklärung des Stromverbrauchs der einzelnen Haushalte mit Hilfe ihrer Angaben zur Zahl und Nutzung von Elektrogeräten. Wegen der geringen Verbreitung von Elektrospeicherheizungen hat sich diese Erhebung auf Haushalte beschränkt, die hauptsächlich andere Energieträger als Strom zum Heizen benutzen.

Das arithmetische Mittel des jährlichen Stromverbrauchs dieser Haushalte beläuft sich auf etwa 3 650 Kilowattstunden (kWh); der gegenüber Ausreißern robuste Median liegt mit recht genau 3 300 kWh allerdings deutlich darunter und ist wegen seiner Robusttheitseigenschaft bei der Angabe eines für eine Stichprobe typischen Wertes zu bevorzugen (Tabelle 1). Die Tabelle zeigt, dass der Stromverbrauch erheblich mit der Zahl der Haushaltsmitglieder variiert. Die Medianwerte bewegen sich zwischen rund 2 000 kWh für Einpersonenhaushalte und rund 4 600 kWh für Haushalte mit vier und mehr Personen. Die in der vorletzten Spalte von Tabelle 1 angegebenen Standardabweichungen sowie die starke Variation der Durchschnittswerte mit der Haushaltsgröße zeigen, dass es sich beim Stromverbrauch privater Haushalte um eine sehr heterogene Größe handelt.

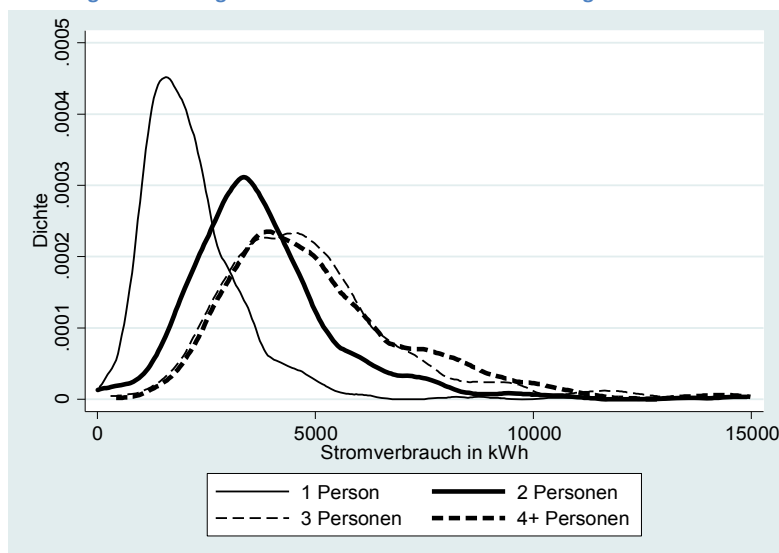
Tabelle 1: Mittlerer Stromverbrauch im Jahr 2013 nach Haushaltsgrößen

Haushaltsgröße	Anzahl an Beobachtungen	Arithmetisches Mittel	Standardabweichung	Median
1 Person	649	2 225,4	1 416,4	1 957,0
2 Personen	889	3 835,5	1 843,9	3 528,0
3 Personen	294	4 850,1	2 018,8	4 561,0
4+ Personen	273	5 113,0	2 197,0	4 568,5
Insgesamt	2 105	3 646,5	2 089,0	3 302,0

Noch deutlicher zu Tage tritt die Heterogenität des Stromverbrauchs in Abbildung 1, in der die Häufigkeitsverteilungen des Stromverbrauchs für die einzelnen Haushaltstypen durch Wahrscheinlichkeitsdichten approximiert wurden. An den mit zunehmender Zahl an Haushaltsmitgliedern breiter werdenden Dichtefunktionen lässt sich erkennen, dass der Stromverbrauch umso heterogener ausfällt, je größer ein Haushalt ist. Am schmalsten fällt erwartungsgemäß die Verteilung des Stromverbrauchs für Einpersonenhaushalte aus.

Die mit der Zahl der Haushaltsmitglieder zunehmende Heterogenität des Stromverbrauchs lässt sich unter anderem durch die wachsende sozioökonomische Vielfalt erklären: Während in Einpersonenhaushalten grundsätzlich nur eine erwachsene Person lebt, gibt es für Zweipersonenhaushalte zwei Varianten: Entweder besteht ein Zweipersonenhaushalt aus zwei erwachsenen Haushaltsmitgliedern oder aber aus einem Erwachsenen und einem Kind, wobei davon auszugehen ist, dass der Beitrag von Kindern zum Haushaltsstromverbrauch geringer ausfällt als von Erwachsenen. Haushalte mit mehr Mitgliedern weisen eine noch größere Anzahl an Kombinationen von Erwachsenen und Kindern auf. Interessanterweise scheint die Zunahme an Heterogenität eine Grenze zu kennen: Die Verteilung des Stromverbrauchs von Dreipersonenhaushalten ist der von Haushalten mit vier und mehr Personen sehr ähnlich.

Abbildung 1: Verteilung des Stromverbrauchs nach Haushaltsgröße



Aus Abbildung 1 geht weiterhin hervor, dass die Verbrauchsverteilungen nicht symmetrisch sind, sondern rechtsschief bzw. linkssteil. Diese Verbrauchsverteilungen sollen im folgenden Abschnitt durch die in Tabelle 2 aufgeführten Haushaltscharakteristika erklärt werden. Hierzu zählt beispielsweise die Haushaltsgröße, die in Form von Indikator- bzw. Dummy-Variablen in die Schätzungen eingeht. Die jeweilige Variable weist den Wert 1 auf, wenn die damit indizierte Haushaltsgröße für den jeweiligen Haushalt zutrifft, andernfalls wird ihr der Wert 0 zugeordnet. Aus Tabelle 2 kann somit die Zusammensetzung der Stichprobe in Bezug auf die Haushaltsgröße abgelesen werden. So gaben knapp 31% der Befragten an, einem Einpersonenhaushalt anzugehören. Etwa 42% lebten in Zweipersonenhaushalten, während Dreipersonenhaushalte 14% der Stichprobe ausmachen. Haushalte mit vier und mehr Mitgliedern werden in einer Kategorie (4+Personenhaushalt) zusammengefasst, da Haushalte mit mehr als vier Personen eher selten vorkommen.¹

Zudem wird in den Schätzungen berücksichtigt, dass die Haushaltsmitglieder während des Jahres für einige Wochen nicht zu Hause sein können und daher in dieser Zeit auch wenig bis gar

¹ Im Vergleich zur Grundgesamtheit aller deutschen Haushalte sind Einpersonenhaushalte in unserer Stichprobe leicht unterrepräsentiert, während Zweipersonenhaushalte etwas überrepräsentiert sind (Tabelle A1 im Anhang).

keinen Strom verbrauchen. Im Durchschnitt (arithmetisches Mittel) sind die Haushalte unserer Stichprobe ca. dreieinhalb Wochen im Jahr nicht zu Hause (Tabelle 2). Die übrigen Kontrollvariablen berücksichtigen die in Haushalten vorhandenen Geräte bzw. deren Nutzungshäufigkeit. Beispielsweise wurde die Anzahl der Waschgänge innerhalb der letzten vier Wochen erfragt. Diese Angaben sind auf ein volles Jahr extrapoliert worden, um so auf den jährlichen Stromverbrauch pro Spül- oder Waschgang schließen zu können. Jahresdurchschnittlich werden Wasch- und Spülmaschinen, sofern sie in einem Haushalt vorhanden sind, praktisch jeden zweiten Tag benutzt: Laut Tabelle 2 werden pro Jahr im Durchschnitt rund 186 Spülgänge mit der Spülmaschine absolviert sowie rund 185 Waschgänge mit der Waschmaschine. Trockner sind in etwas mehr als der Hälfte der Haushalte verbreitet und damit deutlich weniger als Waschmaschinen. Im Vergleich zu diesen werden Trockner deutlich seltener eingesetzt: Pro Jahr werden Trockner durchschnittlich knapp 100 Mal benutzt.

Tabelle 2: Deskriptive Statistiken

Variablen	Einheit	Arithmetisches Mittel	Standardabweichung	Anzahl an Beobachtungen
1 Personenhaushalt	0 oder 1	0,308	–	2 105
2 Personenhaushalt	0 oder 1	0,422	–	2 105
3 Personenhaushalt	0 oder 1	0,140	–	2 105
4+ Personenhaushalt	0 oder 1	0,130	–	2 105
Wochen unbewohnt	Anzahl	3,53	4,52	1 996
Spülmaschine	0 oder 1	0,824	–	2 079
Spülgänge pro Jahr	Anzahl	185,82	112,31	1 674
Waschmaschine	0 oder 1	0,958	–	2 098
Washgänge pro Jahr	Anzahl	184,52	147,43	1 991
Trockner	0 oder 1	0,556	–	2 098
Trockengänge pro Jahr	Anzahl	98,21	98,06	1 130
Kühlgeräte	Anzahl	1,35	0,576	2 050
Gefriergeräte	Anzahl	0,72	0,639	2 085
Fernseher	Anzahl	1,73	0,886	2 054
Computer	Anzahl	0,94	0,815	2 099
Laptops	Anzahl	1,00	0,906	2 099
Leuchtkörper	Anzahl	25,11	15,92	1 971
Mahlzeiten	Anzahl	317,84	136,78	2 100
Elektrischer Backofen	0 oder 1	0,941	–	2 079
Aquarium oder Terrarium	0 oder 1	0,062	–	2 094
Wasserbett	0 oder 1	0,041	–	2 094
Sauna	0 oder 1	0,075	–	2 094
Hausautomation	0 oder 1	0,205	–	2 094
Teichpumpe	0 oder 1	0,160	–	2 094
Warmwasserbereitung	0 oder 1	0,176	–	2 093
Klimaanlage	0 oder 1	0,004	–	2 106
Swimming Pool	0 oder 1	0,001	–	2 094
Solarium	0 oder 1	0,012	–	2 094

Das Abfragen der Nutzungshäufigkeiten kann für viele andere Geräte mit großen Ungenauigkeiten behaftet sein. So kann die befragte Person in Mehrpersonenhaushalten nicht unbedingt ver-

lässliche Angaben zum Fernsehkonsum der anderen Haushaltsmitglieder machen. Daher wird in solchen Fällen in unseren ökonometrischen Schätzungen auf die Anzahl der genutzten Geräte zurückgegriffen, da diese Angaben mit einer ungleich höheren Präzision erfasst werden können als deren Nutzungshäufigkeit. Andere Geräte wiederum kommen in relativ wenigen Haushalten vor, etwa Swimming Pools, Klimaanlage, Wasserbetten oder Solarien. In solchen Fällen verwenden wir das Vorhandensein dieser Geräte als Regressor in den Schätzungen. Unter Warmwasserbereitung wurde im Übrigen das Vorhandensein von Boilern, Durchlauferhitzern, Elektrokleinspeichern und ähnlichen Geräten subsumiert. Diese Geräte kommen nur bei einer Minderheit von weniger als einem Fünftel der Haushalte vor.

Die Stichprobenhaushalte verfügen im Mittel über 1,4 Kühlgeräte (Kühlschränke mit und ohne Gefrierfach), 0,7 Gefriergeräte (Gefrierschränke und Gefriertruhen) und 1,7 Fernseher. Im Schnitt besitzt jeder Haushalt einen Laptop und nahezu jeder einen Computer. Elektrische Backöfen werden in knapp 95% aller Haushalte verwendet. Andere Geräte haben eine eher seltene Verbreitung: Nur etwa 6% der Haushalte haben Aquarien oder Terrarien; das Vorhandensein von Wasserbetten wurde von lediglich 4,1% der befragten Haushalte bejaht. 7,5% der befragten Haushalte verfügen über eine Sauna. Teichpumpen sind in den Gärten von 16,0% der Haushalte vorhanden.

Die erfassten Geräte stellen lediglich einen begrenzten Teil der in Haushalten insgesamt verfügbaren Geräte dar, sollten jedoch einen großen Teil des Stromverbrauchs der Haushalte ausmachen. Das Abfragen von sämtlichen weiteren elektrischen Geräten mit eher geringem Stromverbrauch, wie etwa elektrischen Zahnbürsten, Wasserkochern, Brotschneidemaschinen, Staubsaugern, Ladegeräten für Mobiltelefone, etc. hätte die Befragten über Gebühr und – wegen des vermutlich statistisch nicht signifikant von null verschiedenen Effektes dieser Kleingeräte in Bezug auf den Stromverbrauch – nicht unnötig belastet.

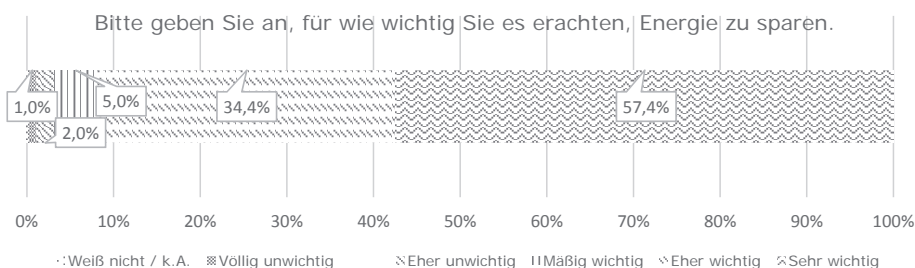
Diesen Reststromverbrauch bilden wir in den ökonometrischen Schätzungen dadurch ab, dass wir die Haushaltsgröße in Form der in Tabelle 2 aufgeführten Dummy-Variablen in die Regression aufnehmen. Da Haushalte mit verschiedener Personenzahl über eine unterschiedliche Anzahl an Mobiltelefonen, elektrischen Zahnbürsten und anderen Kleingeräten verfügen, ist es plausibel anzunehmen, dass sich die Koeffizienten für die verschiedenen Haushaltsgrößen unterscheiden werden.

Mit wenigen Ausnahmen sollten die Großverbraucher unter den Elektrogeräten jedoch durch die Erhebung erfasst worden sein. Eine nicht unbedeutende Ausnahme bildet das Beispiel der Umwälzpumpen für Heizungen, über deren Vorhandensein und Art die Befragten sich sehr unsicher zeigten. So konnten rund 37% aller Haushalte keine Angaben darüber machen, welche von den drei bestehenden Formen dieser Pumpen in ihrem Haus verwendet wird: permanent aktive, zeit- oder bedarfsgesteuerte Pumpen. Wegen vielfach fehlenden Informationen zum generellen Vorhandensein an Umwälzpumpen wurde keine entsprechende Dummy-Variable in die im folgenden Abschnitt dargestellten Regressionsmodelle aufgenommen, um die Zahl der für die Regression zur Verfügung stehenden Beobachtungen nicht zu sehr zu reduzieren. Die Konsequenz ist, dass der in der Regel nicht unwesentliche Beitrag von Umwälzpumpen zum Stromverbrauch mit dazu beiträgt, dass die Koeffizienten der Indikatorvariablen für die Haushaltsgrößen einen substantiellen Wert deutlich größer als null annehmen.

Das Energiebewusstsein der Haushalte wurde auf zwei unterschiedliche Arten erhoben: Zum einen wurden die Haushalte direkt nach Ihrer Einschätzung der Wichtigkeit des Energiesparens befragt (Abbildung 2). Zum anderen sollte das Energiebewusstsein auf indirekte Weise ermittelt wer-

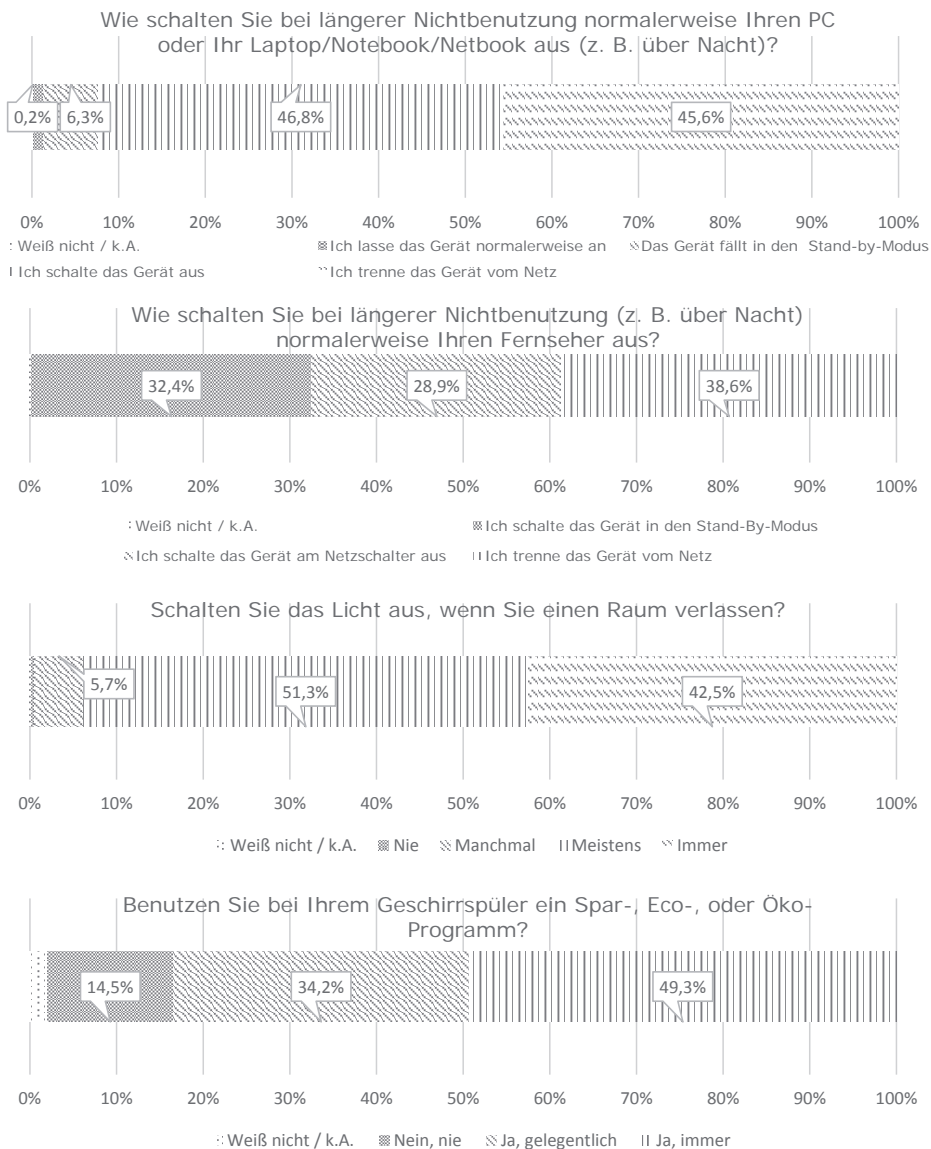
den, indem die Haushalte zu ihrem Verbrauchsverhalten befragt wurden, etwa ob sie bei längerer Nichtbenutzung elektrische Geräte wie den Fernseher oder den Computer ausschalten (Abbildung 3). Nicht ganz überraschend geben mehr als 90% der Haushalte an, dass es für sie wichtig bzw. sehr wichtig sei, Energie zu sparen. Lediglich 3% betrachten dieses Ziel als eher bzw. völlig unwichtig. Im Folgenden wird erläutert, warum es nicht unwahrscheinlich ist, dass dieses Ergebnis das bekannte Phänomen des Antwortens entsprechend der sozialen Erwünschtheit widerspiegelt.

Abbildung 2: Wichtigkeit des Energiesparens (N=2 106)



Neben der bloßen Bekundung von Präferenzen (stated preferences) befragten wir die Teilnehmer daher auch zu ihrem tatsächlichen (Energiespar-)Verhalten (revealed preferences), etwa ob sie bei längerer Nichtbenutzung den Fernseher ausschalten. Hier zeigt sich, dass das Energiebewusstsein weit weniger ausgeprägt ist, als es nach eigenem Bekunden der Fall sein sollte. So schaltet ein nicht unerheblicher Teil von knapp einem Drittel der Haushalte den Fernseher nicht aus, sondern versetzt diesen in den Stand-By Modus, wenn er nicht benutzt wird, während knapp 40% – und somit weit weniger als die Hälfte der Fernsehbesitzer – angeben, ihr Gerät bei längerer Nichtbenutzung (z. B. über Nacht) vom Netz zu trennen (Abbildung 3).

Abbildung 3: Nutzungsverhalten in Bezug auf Computer (N=2 046), Fernsehgeräte (N=2 008), Licht (N=2 103) und Geschirrspülmaschinen (N=1 714)

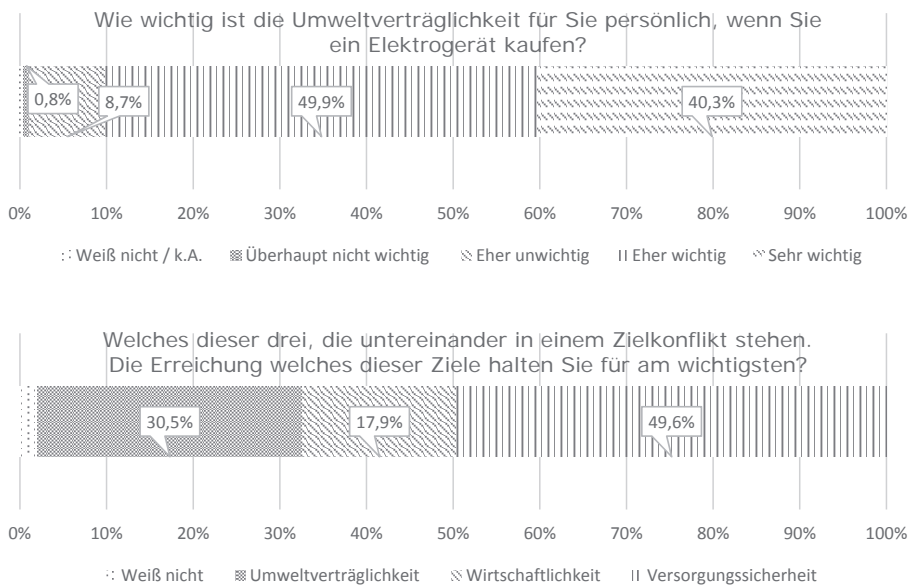


Ähnlich ist das Energiebewusstsein beim Ausschalten des Computers: rund 47% der Computerbesitzer fährt das Gerät nach dem Gebrauch herunter. Weitere 46% der Haushalte, die einen Computer besitzen, trennen ihn während der Zeit, in der er nicht genutzt wird, vom Netz, beispielsweise durch die Nutzung einer schaltbaren Steckerleiste. Hingegen lassen ca. 6% der Computernutzer das Gerät in den Stand-By-Modus fallen, wenn sie ihn nicht benutzen.

Energiebewusster zeigen sich die Haushalte beim Ausschalten des Lichts: Über 40% der Haushalte erklären, dass sie das Licht immer ausschalten, sobald sie den Raum verlassen. Mehr als 50% der Haushalte erklären, das Licht bei Verlassen des Raumes immer auszuschalten. Ebenso geben rund 50% der Haushalte, die eine Spülmaschine besitzen, an, immer das Spar-, Eco-, oder Ökoprogramm zu verwenden. Ein weiteres Drittel teilt mit, ein solches Programm zumindest gelegentlich zu benutzen.

Aussagekräftiger als die pure Bekundung von Einstellungen ist außerdem die Abwägung gegenüber anderen Präferenzen. Gefragt nach der wichtigsten Dimension im energiepolitischen Dreieck – Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit – geben nur rund 30% der Haushalte an, dass Umweltverträglichkeit das primäre Ziel sein sollte; am wichtigsten erscheint ihnen die Versorgungssicherheit, während die Wirtschaftlichkeit des Energiesystems laut den Befragten hingegen eine eher untergeordnete Rolle spielt (Abbildung 4). Im Gegensatz dazu zeigt sich bei der Frage nach der Umweltverträglichkeit beim Kauf neuer Elektrogeräte, bei der keine Abwägung der Prioritäten vorgenommen werden musste, wiederum das typische Phänomen der sozialen Erwünschtheit: Mehr als 90% der Antwortenden geben an, dass ihnen Umweltverträglichkeit in diesem Zusammenhang wichtig oder gar sehr wichtig sei.

Abbildung 4: Wichtigkeit von Umweltverträglichkeit beim Kauf neuer Elektrogeräte (N=2 106) und im energiepolitischen Zieldreieck (2 106)



3 Regressionsergebnisse

Während der Stromverbrauch privater Haushalte in vielen empirischen Studien mit Hilfe des Strompreises und sozioökonomischer Charakteristika wie dem Haushaltseinkommen zu erklären versucht wird, gibt es in der Fachliteratur auch eine Reihe von Analysen, die auf Basis empirischer Angaben zur Geräteausstattung und –nutzung der Haushalte sogenannte „conditional electricity demand (CDA) models“ schätzen. Beispiele für Studien, die solche bedingten Stromnachfragemodelle schätzen, sind etwa Parti und Parti (1980), Dubin und McFadden (1984), Caves et al. (1987), Hsiao et al. (1995), Halvorsen und Larsen (2001), Larsen und Nesbakken (2004), Dalen und Larsen (2015) oder Reiss und White (2005). Im Wesentlichen wird in diesen Studien der Einfluss der (bedingten) Nutzung von Elektrogeräten auf den Stromverbrauch ermittelt, vorausgesetzt natürlich, dass die jeweiligen Geräte in den einzelnen Haushalten überhaupt vorhanden sind.

In ähnlicher Weise schätzen wir nun ein ökonometrisches Modell, mit dem der Stromverbrauch der einzelnen Elektrogeräte bzw. der jeweiligen Gerätenutzung ermittelt wird. Dabei wird der Stromverbrauch y_i jedes Haushaltes i für das Jahr 2013 auf den Vektor x der Kontrollvariablen regressiert:

$$y_i = x^T \beta + \varepsilon_i,$$

wobei β den zugehörigen Vektor der zu schätzenden Koeffizienten darstellt. Der Störterm ε reflektiert alle unbeobachtbaren Größen, die annahmegemäß keinen systematischen Einfluss auf den Stromverbrauch ausüben. Zur Schätzung dieses linearen Modells verwenden wir eine einfache Kleinste-Quadrate-Schätzung (Ordinary Least Squares, OLS). Die Linearität des Modells begründet sich mitunter durch die Additivität der Beiträge der jeweiligen Geräte zum Stromverbrauch.²

Nach den in Tabelle 3 dargestellten Schätzergebnissen geht ein nicht unerheblicher Anteil des Stromverbrauchs auf Geräte und Nutzungszwecke zurück, die nicht explizit als Regressoren in die Schätzung aufgenommen wurden, sei es, weil ihre Erfassung mit großen Lücken verbunden war, wie die der Umwälzpumpen, oder weil ihre Erfassung für die Antwortenden mit großem Aufwand verbunden gewesen wäre. Dieser Stromverbrauch wird durch die Schätzwerte der Koeffizienten der Dummy-Variablen für die Haushaltsgrößen wiedergegeben. Dieser Restwert fällt bei Zweipersonenhaushalten um rund 830 kWh höher aus als für Einpersonenhaushalte. Drei- und Vierpersonenhaushalte haben einen noch höheren Restverbrauchswert. Ursache für die im Allgemeinen unterschiedlichen Restverbrauchswerte ist, dass sowohl die Zahl als auch die Dimension von nicht berücksichtigten Geräten von der Haushaltsgröße abhängen können. Allerdings ist der Unterschied zwischen Drei- und Vierpersonenhaushalten nicht statistisch signifikant, wie bereits durch den bloßen Vergleich der sehr nahe beieinander liegenden Schätzwerte für die zugehörigen Koeffizienten deutlich wird. Dies zeigt auch ein formaler Test: Die F-Statistik für den Test auf Gleichheit der Koeffizienten lautet $F(1; 1\,628) = 0,01$ (p -Wert = 0,9278) und reflektiert den geringen Unterschied in den Schätzwerten.

² Zur Überprüfung der linearen Modellspezifikation haben wir den Regression Equation Specification Error Test (RESET) von Ramsey (1969) benutzt. Damit wird überprüft, ob nichtlineare Kombinationen der erklärenden Variablen einen Einfluss auf die zu erklärende Variable haben. Falls nichtlineare Kombinationen der erklärenden Variablen einen Einfluss haben, dann sollte die lineare Modellspezifikation überdacht werden. Der Test auf funktionale Fehlspezifizierung lehnt in unserem Fall die Nullhypothese keiner Fehlspezifizierung nicht ab: die F-Statistik ist mit $F(3, 1\,625) = 2,17$ kleiner als der kritische Wert von 2,60 zum 5%-Signifikanzniveau. Zusätzlich haben wir wegen der Linksteilheit der Stromverbrauchsverteilungen eine Regression mit dem logarithmierten Stromverbrauch als abhängige Variable geschätzt. Die Nullhypothese keiner Fehlspezifizierung wird in diesem Fall bei $p < 0,0001$ abgelehnt. Somit besteht keine Veranlassung die Modellspezifikation zu ändern.

Tabelle 3: Kleinste-Quadrate-Schätzung des Stromverbrauchs privater Haushalte

	Koeffizienten	Standardfehler	t-Werte	p-Werte
Haushaltsgröße				
2	834,2**	83,7	10,0	0,000
3	1 370,0**	130,1	10,5	0,000
4	1 356,5**	160,8	8,4	0,000
je Woche unbewohnt	-21,2**	7,9	-2,7	0,007
pro Spülgang	1,27**	0,4	3,6	0,000
pro Waschgang	0,68	0,4	1,9	0,059
pro Trockengang	2,79**	0,5	5,3	0,000
pro Kühlgerät	303,2**	66,4	4,6	0,000
pro Gefriergerät	402,4**	61,5	6,6	0,000
pro Fernseher	113,8**	42,2	2,7	0,007
elektrischer Backofen	108,1	112,8	1,0	0,338
Aquarium bzw. Terrarium	761,3**	157,0	4,9	0,000
Wasserbett	512,2*	222,3	2,3	0,021
Sauna	264,8	149,2	1,8	0,076
Hausautomation	15,1	84,5	0,2	0,859
Teichpumpe	365,4**	102,6	3,6	0,000
pro Computer	147,8**	49,9	3,0	0,003
pro Laptop	8,2	43,4	0,2	0,850
Warmwasserbereitung	466,8**	88,4	5,3	0,000
Klimaanlage	481,9	459,4	1,1	0,294
Swimming Pool	1 907,8**	413,1	4,6	0,000
Solarium	402,5	515,6	0,8	0,435
pro Leuchtkörper	10,22**	2,7	3,8	0,000
pro zubereiteter Mahlzeit	0,40	0,3	1,5	0,138
Konstante	626,4**	160,4	3,9	0,000
Korrigiertes R ² : 46,8%				

** kennzeichnet statistische Signifikanz auf dem 1% Niveau und * auf dem 5% Niveau. Angegeben wurden robuste Standardfehler.

Auch die in der Regression berücksichtigten Geräte, wie die Kühl- und Gefriergeräte, können sowohl in der Zahl als auch in ihrer Dimension und Nutzung von der Haushaltsgröße abhängen. So werden größere Haushalte in der Regel über einen größeren Kühlschrank verfügen. Angaben zur Größe sind aber ebenso schwer abzufragen wie etwa Effizienzangaben oder das Gerätealter. Um dennoch mögliche Haushaltsgrößeneffekte bei der Schätzung zu berücksichtigen, haben wir sogenannte Interaktionsterme konstruiert, bei denen der Regressor für das jeweilige Gerät bzw. dessen Nutzung mit der Haushaltsgröße multipliziert (interagiert) wird. Die Produkte dieser Größen wurden als zusätzliche Regressoren in die Regression aufgenommen. Sämtliche dieser Interaktionsterme erwiesen sich jedoch als statistisch nicht signifikant. Die in Tabelle 3 dargestellten Schätzergebnisse beruhen daher auf der Schätzung ohne Interaktionsterme. Es ist nicht auszuschließen, dass ein Teil der Variation der Koeffizienten für die Haushaltsgrößen auf das Weglassen der Interaktionsterme zurückzuführen ist.

Die höchsten Stromverbrauchswerte gehen auf die in privaten Haushalten eher selten vorhandenen Swimming Pools, Wasserbetten, Aquarien und Terrarien zurück. Daneben schlagen auch

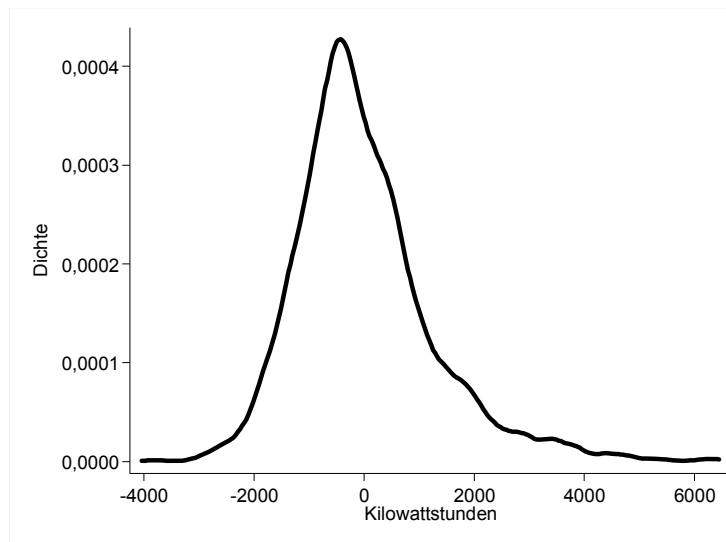
die Verbrauchswerte von einigen häufiger verwendeten Geräten, etwa zur Warmwasserbereitung, von Teichpumpen oder Gefriergeräten, deutlich zu Buche. Zur Interpretation der Schätzergebnisse nehmen wir beispielhaft die Schätzwerte für Computer und Fernseher. Der Verbrauch dieser Geräte ergibt sich aus zwei unterschiedlichen Komponenten. Zum einen bestimmt die Art, Größe und Leistungsfähigkeit der Geräte den Verbrauch. Zum anderen nutzen Haushalte diese Geräte unterschiedlich intensiv.

Über die Nutzung dieser Geräte durch die Antwortenden und die übrigen Haushaltsmitglieder haben wir jedoch nur sehr unsichere Informationen, die wir daher nicht bei der Schätzung berücksichtigt haben. Vielmehr gingen allein die Anzahl an Computern und Fernsehern als Regressoren in die Schätzung ein. Die entsprechenden Jahresverbrauchswerte in Form der geschätzten Koeffizienten von rund 114 kWh für einen Fernseher und 150 kWh für einen Computer beziehen sich daher auf ein durchschnittlich großes bzw. effizientes Gerät, das mit durchschnittlicher Intensität genutzt wird. Auf die weiteren Schätzwerte gehen wir im folgenden Abschnitt ein, in dem unsere Ergebnisse mit Werten aus der Praxis verglichen werden.

Insgesamt zeichnet sich die große Mehrheit der geschätzten Koeffizienten durch eine hohe statistische Signifikanz aus (Tabelle 3). Nicht statistisch signifikant sind hingegen die Koeffizienten für die Hausautomation, Laptops und den elektrischen Backofen. Bei Hausautomation und Laptops lässt sich dies dadurch erklären, dass diese einen eher geringen Verbrauch aufweisen. Dass der Koeffizient des Backofens sich nicht als statistisch signifikant von null verschieden erweist, könnte theoretisch damit zusammen hängen, dass in die Regression gleichzeitig sowohl ein Regressor für die Existenz eines Backofens aufgenommen wurde als auch ein Regressor für die Anzahl der zubereiteten Mahlzeiten pro Jahr. Von beiden Größen ist anzunehmen, dass sie eine gewisse Korrelation aufweisen. Lässt man allerdings die Anzahl an zubereiteten Mahlzeiten als Regressor bei der Schätzung fallen, ergibt sich für den elektrischen Backofen noch immer kein statistisch signifikanter Schätzwert. Dies lässt sich auch dadurch erklären, dass fast jeder Haushalt über einen elektrischen Backofen verfügt. Die damit einhergehende mangelnde Variation in den Werten dieses Regressors lässt das statistisch nicht signifikante Ergebnis nicht überraschend erscheinen.

Das von uns geschätzte Modell zeichnet sich dadurch aus, dass die Differenz zwischen den bei den Haushalten tatsächlich beobachteten Verbrauchswerten und den auf Basis unseres Schätzmodells für die jeweiligen Haushalte prognostizierten Schätzwerte klein ausfällt. Tatsächlich liegt der Median der Abweichungen bei etwa -200 kWh und damit nahe bei null, während die durchschnittliche Abweichung in Form des arithmetischen Mittels praktisch null beträgt (Abbildung 5). Letzteres ist bei Verwendung einer Kleinst-Quadrate-Schätzung allerdings nicht überraschend. Vielmehr resultiert dieses Ergebnis aus dem Prinzip dieser Schätzmethode. Insgesamt sind die Abweichungen zwischen beobachteten und prognostizierten Verbräuchen in rund 60% aller Fälle kleiner als 5% des jeweiligen Stromverbrauchs, in 70% aller Fälle ist die Abweichung kleiner als 10%. Dass es in 30% der Fälle größere Abweichungen als 10% gibt, sollte aber aufgrund der in Abbildung 1 illustrierten starken Heterogenität des Stromverbrauchs nicht weiter verwundern.

Abbildung 5: Verteilung der Differenz zwischen den beobachteten und den mit dem Modell prognostizierten Stromverbrauchswerten



Im Übrigen zeigen hier nicht dargestellte statistische Tests, dass nach Wohneigentümern und Mietern getrennt durchgeführte OLS-Regressionen keinerlei statistisch signifikante Unterschiede für die den Stromverbrauch erklärenden Größen ergeben. Offenbar bestehen die wesentlichen Unterschiede zwischen Mieter- und Eigentümerhaushalten in der deutlich unterschiedlichen Ausstattung mit Geräten, nicht aber in den Dimensionen und Verbrauchswerten der jeweiligen Geräte. Tatsächlich ist die Geräteausstattung in der Stichprobe bei Mietern und Eigentümern signifikant unterschiedlich (Tabelle A3 im Anhang).³

In den in der folgenden Tabelle dargestellten Kleinste-Quadrate wird zusätzlich das bekundete und offenbarte Energiebewusstsein der Haushalte berücksichtigt, um herauszufinden, ob diese tatsächlich weniger Strom verbrauchen. Dazu nehmen wir einerseits die von den Haushalten bekundete Wichtigkeit des Energiesparens („stated preferences“) und andererseits Angaben über energiesparendes Verhalten („revealed preferences“) in unsere Regression auf. Den in Abbildung 3 aufgeführten möglichen Verhaltensweisen werden je nach Einfluss auf den Stromverbrauch Werte zwischen 1 (für ineffizientes Verhalten) und 4 (für besonders effizientes Verhalten) zugeordnet. Im Anschluss erstellen wir einen Index, indem wir diese Werte addieren und definieren eine Dummy-Variable, die die antwortenden Haushalte anhand des Medians in zwei Gruppen teilt und den Wert 1 annimmt, sofern der Index-Wert größer ist als der Median.⁴ Die von den Haushalten bekundete Wichtigkeit des Energiesparens wird ebenfalls als Dummy-Variable aufgenommen, die den Wert 1 annimmt, sofern Energiesparen als wichtig bzw. sehr wichtig angesehen wird.

Haushalte, die das Energiesparen als wichtig empfinden, zeigen jedoch keinen statistisch signifikant niedrigeren Stromverbrauch als andere Haushalte (Tabelle 4), wenngleich deren Stromver-

³ Der Vergleich mit der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe des Statistischen Bundesamtes (destatis 2014b) zeigt, dass unsere Stichprobehaushalte bei den meisten Geräten etwas besser ausgestattet sind (siehe Abbildung A1 und Tabelle A2 im Anhang).

⁴ Werden die antwortenden Haushalte stattdessen anhand des 75%-Perzentils in zwei Gruppen, unterscheiden sich die Ergebnisse praktisch nicht von den im Folgenden dargestellten.

brauch laut Schätzergebnis um immerhin rund 200 kWh unterhalb des Verbrauchs der übrigen Haushalte liegt. Hingegen verbrauchen Haushalte, die sich energiesparend verhalten, indem sie beispielsweise bei Verlassen eines Raumes immer das Licht ausschalten oder das Energiesparprogramm der Geschirrspülmaschine verwenden, im Durchschnitt ca. 300 kWh weniger Strom als Haushalte, die energiesparende Verhaltensweisen nicht oder zu einem geringeren Ausmaß an den Tag legen. Die Koeffizienten der einzelnen Geräte und Anwendungen sowie der Haushaltsgrößen-Dummies sind praktisch unverändert im Vergleich zur Basisschätzung in Tabelle 3.

Tabelle 4: Regressionsergebnisse unter Berücksichtigung des Energiebewusstseins

	OLS-Schätzung laut Tabelle 3	Wichtigkeit	Verhalten
Haushaltsgröße			
2	834,2**	834,1**	805,5**
3	1 370,0**	1 372,9**	1 363,4**
4	1 356,5**	1 359,1**	1 347,0**
je Woche unbewohnt	-21,2**	-21,0**	-27,2**
pro Spülgang	1,27**	1,28**	0,98*
pro Waschgang	0,68	0,66	0,64
pro Trockengang	2,79**	2,79**	2,74**
pro Kühlgerät	303,2**	300,5**	298,1**
pro Gefriergerät	402,4**	403,2**	407,2**
pro Fernseher	113,8**	114,9**	101,3*
elektrischer Backofen	108,1	111,6	150,4
Aquarium bzw. Terrarium	761,3**	763,1**	764,0**
Wasserbett	512,2*	514,2*	498,4*
Sauna	264,8	262,7	255,2
Hausautomation	15,1	10,8	-19,8
Teichpumpe	365,4**	361,9**	433,2**
pro Computer	147,8**	144,2**	124,4*
pro Laptop	8,2	2,1	-15,3
Warmwasserbereitung	466,8**	464,7**	492,7**
Klimaanlage	481,9	468,4	482,8
Swimming Pool	1 907,8**	1 926,8**	2 117,4**
Solarium	402,5	405,3	453,0
pro Leuchtkörper	10,22**	10,39**	8,76**
pro zubereiteter Mahlzeit	0,40	0,41	0,57
Wichtigkeit des Energiesparens		-201,6	
Energiebewusstes Verhalten			-301,1**
Konstante	626,4**	812,6**	899,2**
Korrigiertes R ² :	46,8%	46,9%	39,4%
Zahl der Beobachtungen	1 653	1 652	1 273

** kennzeichnet statistische Signifikanz auf dem 1% Niveau und * auf dem 5% Niveau. Zugrunde liegen robuste Standardfehler.

Ferner zeigen wir in Tabelle A4 im Anhang unsere Basisregression getrennt nach solchen Haushalten, die Energiesparen als wichtig empfinden („stated“) und jenen, die angeben, sich tatsäch-

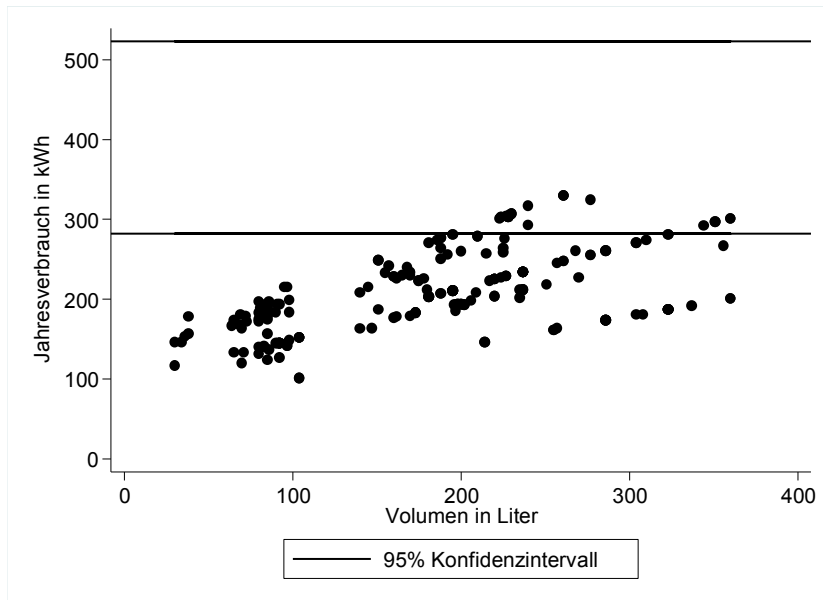
lich energiesparend zu verhalten („revealed“). Tendenziell sind die Koeffizienten der Haushalte, die sich energiesparend verhalten, etwas niedriger; vor allem bei den präzise geschätzten Koeffizienten. In anschließenden Chi-Quadrat-Tests wird die Nullhypothese auf gleiche Werte der Koeffizienten jedoch nicht verworfen.

4 Vergleich mit Angaben aus der Praxis

Mit einem mittleren Verbrauch von rund 400 kWh pro Jahr (Tabelle 3) haben die in der Stichprobe vorhandenen Gefriergeräte zwar einen höheren Verbrauch als 200 Liter-Gefriergeräte der Effizienzklasse A+ deren Verbrauch die Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung (HEA 2015b) auf 280 kWh veranschlagt (Tabelle 5). Dieser Unterschied erscheint jedoch aus mehreren Gründen plausibel: Erstens sind die Stichprobenhaushalte in der Regel mit weit weniger energieeffizienten Geräten ausgestattet. Diese weisen u.a. wegen ihres Alters eine deutlich schlechtere Effizienzklasse auf. So waren rund 22% der Gefriergeräte der befragten Haushalte zwischen 10 und 15 Jahre alt. Weitere 11% der Gefriergeräte waren laut Angaben der Haushalte sogar 15 Jahre oder älter.

Ein weiterer Grund für den relativ hohen Verbrauchsschätzwert für die Gefriergeräte aus unserer Stichprobe dürfte sein, dass diese zum Teil einen deutlich höheren Nutzinhalt haben als das in Tabelle 5 dargestellte 200-Liter-Gerät. Welche Verbrauchsunterschiede sich bei Gefriergeräten mit unterschiedlich hohem Nutzinhalt ergeben können, zeigt Abbildung 6. Derartige Informationen werden von der Website „Stromverbrauch Info“ (SI 2015) zur Verfügung gestellt. Bei Geräten, die einen höheren Nutzinhalt als 200 Liter aufweisen, kann der jährliche Stromverbrauch selbst bei energieeffizienten Geräten auch deutlich über 300 kWh liegen. Darüber hinaus ist zu beachten, dass die in Abbildung 6 dargestellten Verbrauchswerte zu Geräten gehören, die durchweg relativ neu sind.

Abbildung 6: Jährlicher Stromverbrauch (in kWh) von Gefrierschränken (SI 2015) und 95%-Konfidenzintervall unserer Schätzung



Der Vergleich unserer Schätzwerte mit den Daten der Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung verdeutlicht auch das Stromsparpotenzial, welches sich durch den Austausch der alten, ineffizienten Gefrierschränke ergibt. Laut unserer Studie besitzen 51,1% der Haushalte mindestens einen Gefrierschrank, wobei diese in 33% der Fälle mindestens 10 Jahre alt sind. Unter der Annahme, dass die Nutzerrate von 51,1% auch für die Grundgesamtheit der 39,9 Mill. Haushalte in Deutschland zutrifft und auch 33% aller Haushalte in Deutschland einen mindestens 10 Jahre alten Gefrierschrank haben und diesen durch ein besonders energieeffizientes A+++ Gerät ersetzen, könnten rund 1,7 Mrd. kWh eingespart werden, wenn unterstellt wird, dass dadurch pro Gerät im Durchschnitt 252 kWh weniger verbraucht wird (Tabelle 5). Dies entspricht etwa 1,2% des gesamten Stromverbrauchs der privaten Haushalte in Deutschland, welcher für das Jahr 2013 auf 138 Mrd. kWh geschätzt wird (RWI, forsa 2015a).

Tabelle 5: Beispiele für den jährlichen Stromverbrauch in kWh von Kühlschränken ohne Gefrierfach und Gefrierschränken

Effizienzklasse	A+	A++	A+++	RWI
Kühlschrank (155 Liter Nutzinhalt)	120	90	60	303
Gefrierschrank (200 Liter Nutzinhalt)	280	210	150	402

Quelle: HEA (2015a, 2015b)

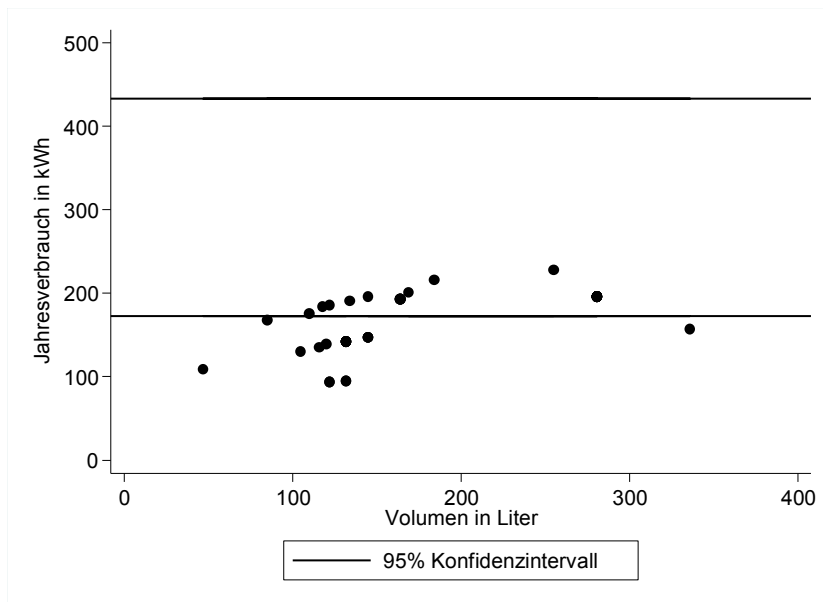
Auch der Schätzwert für den mittleren Stromverbrauch der Kühlgeräte aus unserer Stichprobe von rund 300 kWh pro Jahr ist deutlich höher als die in Tabelle 5 aufgeführten Werte. Aus denselben Gründen wie bei den Gefriergeräten erscheint der mittlere Verbrauch von 300 kWh pro Jahr dennoch plausibel. So gaben rund 22% der befragten Haushalte an, Kühlschränke mit einem Alter zwischen 10 und 15 Jahren zu verwenden. Weitere 12% der Haushalte besitzen Kühlschränke, die 15 Jahre oder noch älter sind. Diese sind weit weniger energieeffizient als die in Tabelle 5 dargestellten Geräte, die mindestens die Effizienzklasse A aufweisen. Wird unterstellt, dass – ebenso wie in unserer Stichprobe – 34% der 39,9 Mill. Haushalte in Deutschland einen mindestens 10 Jahre alten Kühlschrank haben und diesen durch ein besonders energieeffizientes A+++ Gerät mit einem Jahresverbrauch von 60 kWh ersetzen würden, ergibt sich ein Stromsparpotenzial von mehr als 3,3 Mrd. kWh bzw. ca. 2,4% des gesamten Haushaltsstromverbrauchs in Deutschland, wenn für den Verbrauch der alten Kühlschränke der von uns geschätzte Wert von 303 kWh (Tabelle 3) angesetzt wird.

Außerdem darf nicht übersehen werden, dass sich die in Tabelle 5 dargestellten Verbrauchsangaben auf einen 155 Liter großen Kühlschrank beziehen. Vor allem die größeren Haushalte aus unserer Stichprobe dürften jedoch über größere Modelle verfügen, die bei gleicher Effizienz mehr Strom benötigen als kleine Geräte. So weisen die in Abbildung 7 dargestellten, relativ neuen Kühlschränke (mit Gefrierfach) bei größerem Volumen tendenziell höhere Verbrauchswerte auf. Darüber hinaus wird deutlich, dass auch relativ neue Geräte bei vergleichbarem Volumen erheblich unterschiedliche Verbrauchswerte haben können. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in Abbildung 7 sowohl kostengünstige, aber stromintensive, als auch teure und damit häufig effiziente Geräte dargestellt werden.

Nicht zuletzt muss bei unseren Ergebnissen auch berücksichtigt werden, dass es sich um Schätzungen handelt, die grundsätzlich mit Schätzfehlern einhergehen. Dies wird durch die in Tabelle 3 dargestellten Standardfehler dokumentiert sowie durch das in Abbildung 7 gezeigte 95%-Konfidenzintervall. Zieht man von unserem Schätzwert von rund 300 kWh den Standardfehler von

rund 65 kWh ab, ist man beim höchsten der in Abbildung 7 dargestellten Verbrauchswerte von etwa 235 kWh angelangt.

Abbildung 7: Stromverbrauch von Kühlschränken mit Gefrierfach (SI 2015) und 95%-Konfidenzintervall unserer Schätzung



Vergleichswerte zum Stromverbrauch von Spül- und Waschmaschinen sowie Trocknern wurden von der Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz und dem Öko-Institut (VÖ 2012a, b) veröffentlicht. Demnach verbraucht ein Gerät der Effizienzklasse A+++ nur rund 60% des Stroms, der für ein 12 Jahre altes Gerät nötig ist. Tabelle 6 reproduziert diese Vergleichswerte und weist darüber hinaus den Verbrauch pro Spülgang aus. Dieser wurde durch die Division des Stromverbrauchs und der unterstellten Anzahl von 280 Spülgängen pro Jahr berechnet. Die letzte Spalte enthält den von uns geschätzten Verbrauch von 1,3 kWh pro Spülgang aus Tabelle 3. Dieser liegt leicht unterhalb des von VÖ (2012a) angegebenen Wertes für Altgeräte und reflektiert wohl die Tatsache, dass viele der Stichprobenhaushalte ältere Spülmaschinen verwenden: Rund 28% der antwortenden Haushalte besitzen eine Spülmaschine, die 10 Jahre oder älter ist.

Jedoch sollte auch hier berücksichtigt werden, dass der Schätzwert von 1,3 kWh mit einem Standardfehler von 0,3 kWh verbunden ist. Addiert man diesen zum Schätzwert von 1,3 kWh und multipliziert das Resultat von 1,6 kWh mit der mittleren Zahl von 186 Spülgängen pro Jahr, kommt man zu einem deutlich höheren Durchschnittsverbrauch der Spülmaschinen der Stichproben von knapp 300 kWh pro Jahr und liegt damit bei dem in Tabelle 6 für die A+-Geräte angegebenen Stromverbrauch.

Die Multiplikation unseres Schätzwertes von 1,3 kWh pro Spülgang mit den in Tabelle 6 unterstellten 280 Spülgängen pro Jahr ergibt für die Spülmaschinen aus unserer Stichprobe einen mittleren jährlichen Stromverbrauch von 364 kWh. Im Vergleich zu einem besonders energieeffizienten Gerät, welches einen Jahresverbrauch von 237 kWh aufweist, beläuft sich das durchschnittliche Ein-

sparpotenzial auf 127 kWh. Wird unterstellt, dass von den 39,9 Mill. Haushalten in Deutschland 82,4% eine Spülmaschine besitzen (Tabelle 2) und es für die 28% der Haushalte, deren Spülmaschine älter als 10 Jahre ist, vorteilhaft wäre, diese durch ein energieeffizientes A+++ Gerät zu ersetzen, beläuft sich das Einsparpotenzial auf mehr als 1,2 Mrd. kWh. Dies entspricht ca. 0,8% des Stromverbrauchs der privaten Haushalte von 138 Mrd. kWh (RWI, forsa 2015a). Allerdings dürfte es in vielen Fällen selbst bei höheren Einsparungen von 200 oder 300 kWh pro Jahr ökonomisch wenig vorteilhaft sein, die alte Spülmaschine gegen eine neue auszutauschen. Unter Berücksichtigung des Energie- und Materialverbrauchs zur Herstellung neuer Spülmaschinen wäre dies auch unter ökologischen Aspekten fragwürdig.

Tabelle 6: Stromverbrauch in kWh von Spülmaschinen

Effizienzklasse	Altgerät	A+	A+++	RWI
Stromverbrauch pro Jahr	384	292	237	364
Spülgänge pro Jahr	280	280	280	280
Verbrauch pro Spülgang in kWh	1,4	1,0	0,9	1,3

Quelle: VÖ (2012a) und eigene Berechnungen

Legt man statt 280 Spülgängen pro Jahr die mittlere Anzahl von 186 Spülgängen zugrunde, die aus unserer Stichprobe ermittelt wurde (Tabelle 2), kommt man zu einem durchschnittlichen Stromverbrauch pro Jahr von 242 kWh und damit einem Wert, der beinahe dem in Tabelle 6 für Geräte der höchsten Effizienzklasse A+++ entspricht. Dies erscheint weniger plausibel und stellt die aus der Stichprobeninformation resultierende mittlere Zahl von 186 Spülgängen pro Jahr in Frage.

Der Stromverbrauch für einzelne Spülgänge hängt außerdem von der gewählten Wassertemperatur ab. Für ein Gerät der Effizienzklasse A+++ beträgt der Verbrauch pro Spülgang nur dann rund 0,9 kWh (Tabelle 6), wenn bei niedriger Temperatur von 40°C gespült wird (Tabelle 7). Wird mit einer Temperatur von 70°C gespült, steigt der Stromverbrauch auf mehr als das Doppelte an. Vor dem Hintergrund, dass selbst hocheffiziente A+++-Geräte bei Spülgängen mit 70°C knapp 2 kWh Strom verbrauchen, erscheint der von uns geschätzte Durchschnittsverbrauch von 1,3 kWh pro Spülgang sicherlich nicht als zu hoch.

Tabelle 7: Stromverbrauch (kWh) eines Spülgangs mit einer Spülmaschine der Effizienzklasse A+++ in Abhängigkeit der Temperaturwahl

Temperatur	40°C	50°C	70°C
Stromverbrauch in kWh	0,90	1,05	1,90

Quelle: VÖ (2012a)

Auch zum Stromverbrauch von Waschmaschinen pro Waschgang sind Vergleichswerte verfügbar. Der von uns geschätzte Wert von 0,7 kWh pro Waschgang fällt in das in Tabelle 8 angegebene Intervall der Verbrauchswerte für eine 10 Jahre alte Waschmaschine. Unter Berücksichtigung des Standardfehlers in Höhe von rund 0,4 kWh korrespondiert unser Schätzwert von 0,7 kWh gut mit diesen Vergleichswerten.

Tabelle 8: Stromverbrauch einer 10 Jahre alten Waschmaschine in Abhängigkeit von der Temperaturwahl

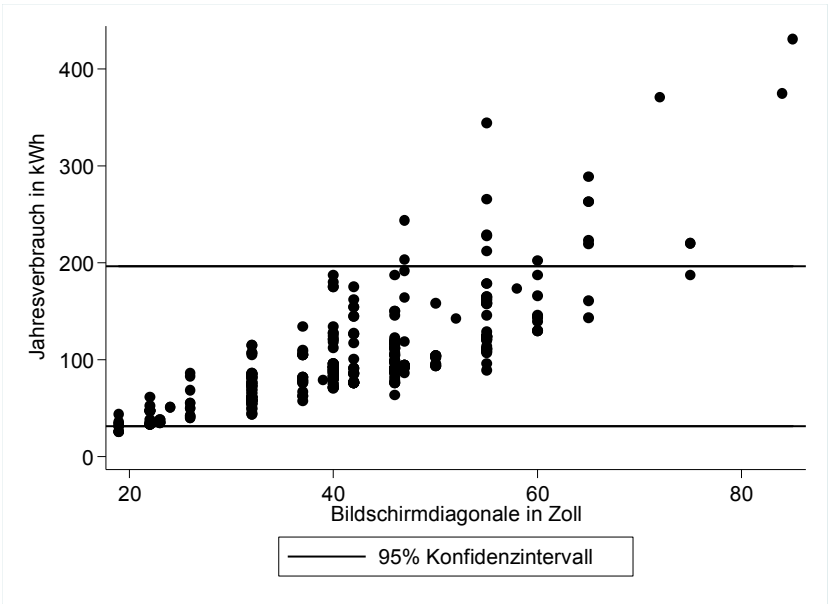
Temperatur	30°C	40°C	60°C	90°C
Stromverbrauch in kWh	0,4	0,6	1,1	1,8

Quelle: VÖ (2012b)

Für Haushalte mit älteren und damit weniger effizienten Waschmaschinen dürfte der Stromverbrauch pro Waschgang indes höher ausfallen als in Tabelle 8 dargestellt. Solche Haushalte sind in der Stichprobe jedoch keine Seltenheit: Tatsächlich nutzen rund 10% der antwortenden Haushalte eine Waschmaschine, die 15 Jahre oder älter ist; insgesamt besitzen fast 30% der Haushalte eine Waschmaschine, die mindestens 10 Jahre alt ist.

Auch bei Fernsehgeräten spielen das Alter und die Größe eine entscheidende Rolle für den Stromverbrauch (Abbildung 8). So ist eine klar steigende Tendenz des Jahresstromverbrauchs bei zunehmender Bildschirmdiagonale zu beobachten. Neben der Größe, dem Alter, der Effizienzklasse und der Nutzungshäufigkeit ist auch die Technologie von großer Bedeutung. Rund ein Drittel der antwortenden Haushalte verfügt über alte Röhrengeräte, die mehr Strom verbrauchen als Geräte, die auf anderen Technologien beruhen, etwa LCD- oder LED-Fernseher.

Abbildung 8: Stromverbrauch von Fernsehgeräten (SI 2015) und 95% Konfidenzintervall unserer Schätzung



Der von uns geschätzte durchschnittliche Stromverbrauch in Höhe von 114 kWh pro Gerät liegt daher nicht überraschend zwischen den in Tabelle 9 ausgewiesenen Werten für ein Fernsehgerät der Effizienzklasse B und einem Altgerät. Legt man den in Tabelle 3 dokumentierten Standardfehler von 42,2 als Intervall um den mittleren Verbrauchswert, wird fast der gesamte Bereich der in Tabelle 9 dargestellten Werte abgedeckt.

Tabelle 9: Stromverbrauch von Fernsehgeräten in kWh

Effizienzklasse	A+	B	Altgerät
Stromverbrauch in kWh	60	88	159

Quelle: VÖ (2012c)

Referenzverbrauchswerte für andere Geräte wie zum Beispiel Aquarien oder Terrarien sind nicht erhältlich. Die Kombination aus relativer Seltenheit im Haushalt, starker Heterogenität in der Größe sowie die Variation in der Ausstattung dieser Geräte mit Heizgeräten und Leuchtmitteln führt dazu, dass der von uns geschätzte durchschnittliche Stromverbrauch von Terrarien bzw. Aquarien mit rund 780 kWh pro Jahr nur ein grober Richtwert sein kann.

Insgesamt demonstriert dieser Abschnitt, dass unsere Schätzwerte gut mit öffentlich zugänglichen Informationen vergleichbar sind. Zudem zeigt sich, dass in der Anschaffung neuer, energieeffizienter Geräte ein nicht unerhebliches Stromeinsparpotenzial steckt. Der Austausch von mehr als 10 Jahre alten Spülmaschinen, Kühl- und Gefrierschränken könnte den Stromverbrauch der privaten Haushalte in Deutschland nach unseren Abschätzungen um 6,4 Mrd. kWh bzw. rund 5% senken. Allerdings ist es unklar, ob der Ersatz alter durch neue, effizientere Geräte ökonomisch und ökologisch sinnvoll ist.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im vorliegenden Beitrag wurde mittels eines ökonometrischen Modells der Stromverbrauch von rund 2 100 deutschsprachigen Haushalten auf Basis ihrer Ausstattung mit elektrischen Geräten sowie deren Nutzungshäufigkeit erklärt. Diese Angaben wurden im Auftrag des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) sowie der Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung (HEA) mit Hilfe einer im Jahr 2014 durchgeführten Erhebung ermittelt. Im Ergebnis ist festzuhalten, dass die von uns geschätzten mittleren Verbrauchswerte für Standardgeräte wie Kühl- und Gefrierschränke gut mit den Angaben von Verbraucherzentralen und Informationsportalen übereinstimmen. Darüber hinaus zeigt sich, dass der Betrieb von Swimming Pools, Aquarien, Terrarien oder Saunen ein sehr energieintensives Vergnügen sein kann.

Während sich die überwältigende Mehrzahl der in einer Kleinst-Quadrat-Regression geschätzten Koeffizienten als statistisch signifikant erwiesen hat, zeigt die Höhe der Standardfehler der geschätzten Koeffizienten, dass eine beachtliche Unsicherheit über den durchschnittlichen Beitrag einzelner Geräte zum Stromverbrauch besteht. So wird mit einem Standardfehler von 66 kWh geschätzt, dass jeder Kühlschrank im Mittel einen Verbrauch von rund 300 kWh pro Jahr aufweist. Damit beträgt der Standardfehler ca. 20% des geschätzten mittleren Verbrauchs.

Verschiedene Faktoren tragen zu dieser durch den Standardfehler ausgedrückten Unsicherheit bei. Neben dem Stichprobenumfang, der selbstverständlich immer eine Frage der für die Erhebung zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel ist, muss beachtet werden, dass private Haushalte eine sehr heterogene Ausstattung mit elektrischen Geräten aufweisen. Große Heterogenität besteht auch im Hinblick auf die Größe, das Alter und die Energieeffizienz der Geräte sowie die Nutzungshäufigkeit. Je größer diese Heterogenität ist, desto höher fallen auch die mit den Schätzwerten verbundenen Standardfehler aus. Zusammen mit der unterschiedlichen Haushaltsgröße und der damit einhergehenden unterschiedlichen Ausstattung mit Geräten erklärt dies die große Heterogenität im Stromverbrauch der privaten Haushalte.

Daher würde die große Bandbreite im Stromverbrauch eines von den Stichprobenhaushalten verwendeten Elektrogerätes selbst dann weiter bestehen, wenn es allen Haushalten möglich wäre, den Stromverbrauch jedes einzelnen ihrer Geräte mit Hilfe von Messgeräten präzise zu messen. Mit dem hier beschriebenen ökonometrischen Modell ist eine weniger aufwändige Alternative aufgezeigt

worden, ohne dass der Beitrag jedes einzelnen Gerätes zum Stromverbrauch eines Haushalts gemessen werden muss.

Insgesamt verdeutlicht unsere Analyse, dass es eine starke Vereinfachung darstellt, wenn, wie es in den Medien oftmals geschieht, einem Haushalt einer bestimmten Größe (Personenzahl) ein typischer mittlerer Stromverbrauch zugeschrieben wird. Dies wird der starken Heterogenität des Stromverbrauchs der privaten Haushalte nicht gerecht. Darüber hinaus zeigt der Vergleich unserer Schätzwerte mit öffentlich zugänglichen Informationen zum Stromverbrauch von zumeist relativ neuen Geräten, dass in unseren Stichprobenhaushalten ein nicht unerhebliches Stromsparerpotential existiert, auch wenn unklar bleibt, inwieweit diese Potential unter ökonomischen Gesichtspunkten gehoben werden kann. Dieses technisch mögliche Stromsparerpotenzial kann zumindest teilweise durch Information und Beratung der Haushalte realisiert werden, denn – wie unsere Ergebnisse zeigen – kann der Stromverbrauch im Haushalt durch einfache Änderungen der Verhaltensweise spürbar gesenkt werden, etwa durch Vermeiden des Stand-By-Betriebs bei Fernsehern.

Anhang

Abbildung A1: Geräteausstattung nach Haushaltsgröße

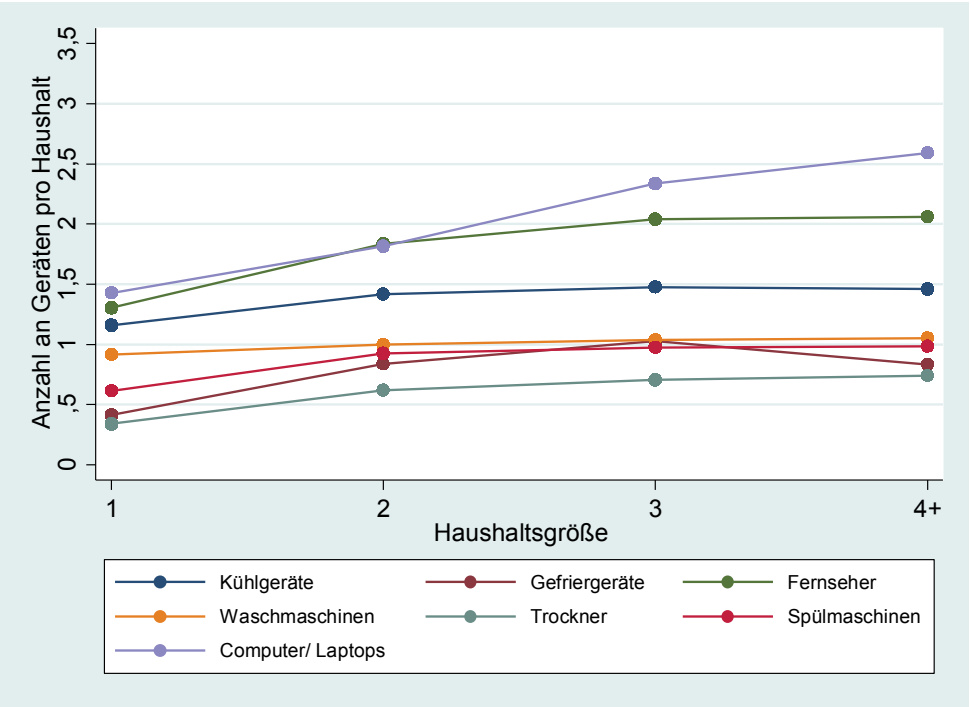


Tabelle A1: Haushaltsgrößenverteilung in der Stichprobe und in Deutschland

Stichprobe			
Haushaltsgröße	Westdeutschland	Ostdeutschland	Gesamt
1 Person	29,8%	35,2%	30,8%
2 Personen	42,1%	42,9%	42,2%
3 Personen	14,1%	13,3%	14,0%
4+ Personen	14,0%	8,6%	13,0%
	100%	100%	100%
Statistisches Bundesamt			
1 Person	39,7%	43,5%	40,5%
2 Personen	34,1%	35,8%	34,4%
3 Personen	12,5%	12,4%	12,6%
4+ Personen	13,7%	8,3%	12,5%
	100%	100%	100%

Quelle: destatis (2014a)

Tabelle A2: Geräteausstattung von je 100 Haushalten nach Haushaltsgröße

Statistisches Bundesamt					
Haushaltsgröße	1	2	3	4	5+
Fernseher	116,6	170,3	203,4	209,9	215,5
Computer	102,1	165,6	245,1	274,3	313,3
Kühlgeräte	105,5	128,2	135,6	141,6	149,4
Gefriergeräte	34,6	66,1	71,1	79,6	90,4
Geschirrspüler	45,9	77,2	89,4	96,1	98,8
Waschmaschinen	89,4	100,7	103,2	105	109,8
Trockner	22,3	43,1	55,6	66,1	73,2

Quelle: destatis (2014b)

Stichprobe				
Haushaltsgröße	1	2	3	4+
Fernseher	130,5	183,8	203,9	206,1
Computer	142,7	181,8	233,8	258,9
Kühlgerät	115,9	141,8	146,0	147,4
Gefriergerät	41,3	83,2	83,8	102,7
Geschirrspüler	61,2	92,3	97,2	98,5
Waschmaschinen	91,8	100,0	103,8	105,2
Trockner	34,0	62,1	70,4	74,1

Tabelle A3: Geräteausstattung von je 100 Haushalten nach Wohnsituation

Einkommens- und Verbrauchsstrichprobe des Statistischen Bundesamtes		
	Eigentümer	Mieter
Fernseher	188,0	135,4
Computer	191,0	145,3
Kühlgeräte	139,3	108,8
Gefriergeräte	81,7	36,8
Geschirrspüler	87,3	54,5
Waschmaschinen	103,2	92,6
Trockner	56,1	26,9

Quelle: destatis (2014b)

RWI, forsa-Stichprobe				
	Eigentümer	Mieter	Chi²	p-Wert
Fernseher	186,0	145,5	114,06	0,000
Computer	198,8	160,0	72,44	0,000
Kühlgerät	144,8	115,2	168,09	0,000
Gefriergerät	87,5	40,8	294,48	0,000
Geschirrspüler	93,2	65,5	177,17	0,000
Waschmaschinen	101,5	92,8	45,14	0,000
Trockner	65,4	36,9	153,91	0,000

Tabelle A4: Regressionsergebnisse getrennt nach energiebewusstem Verhalten

	„Revealed“	„Stated“	Chi ²
Haushaltsgröße			
2	768,5**	852,7**	0,58
3	1 322,9**	1 402,6**	0,28
4	1 486,1**	1 355,3**	0,47
Je Woche unbewohnt	-35,0*	-23,9**	0,61
pro Spülgang	0,58	1,19**	1,43
pro Waschgang	0,65	0,78*	0,06
pro Trockengang	2,50**	2,68**	0,08
pro Kühlgerät	232,5*	318,2**	1,23
pro Gefriergerät	397,3**	406,0**	0,01
pro Fernseher	79,6	109,5**	0,31
elektrischer Backofen	308,1	123,1	1,06
Aquarium bzw. Terrarium	595,3**	734,8**	0,67
Wasserbett	604,1*	461,1**	0,24
Sauna	337,8	263,2	0,19
Hausautomation	1,4	-4,4	0,00
Teichpumpe	298,7*	331,5**	0,09
pro Computer	129,4	144,0**	0,05
pro Laptop	46,2	1,3	0,67
Warmwasserbereitung	566,7**	520,5**	0,15
Klimaanlage	-622,4	522,5	2,41
Swimming Pool	2 108,4*	1 964,8*	0,51
Solarium	711,3	486,6	0,13
pro Leuchtkörper	8,46*	10,42**	0,38
pro zubereiteter Mahlzeit	0,67	0,43	0,40
Konstante	621,0	577,6**	0,03
Korrigiertes R ²	36,0%	46,6%	
Zahl der Beobachtungen	646	1 534	

** kennzeichnet statistische Signifikanz auf dem 1% Niveau und * auf dem 5% Niveau. Ausgewiesen werden robuste Standardfehler.