



Bits to Energy Lab

Steigerung der Energieeffizienz durch Verbrauchsfeedback bei der Warmwassernutzung

Abschlussbericht der ewz-Amphiro-Studie

27. November 2013

Verena Tiefenbeck¹
Vojkan Tasic¹
Samuel Schöb¹
Kathrin Degen²
Prof. Dr. Lorenz Goette²
Prof. Dr. Elgar Fleisch^{1,3}
Prof. Dr. Thorsten Staake^{1,4}

¹ ETH Zürich
² Universität Lausanne
³ Universität St. Gallen
⁴ Otto-Friedrich-Universität Bamberg

Kontakt: vtiefenbeck@ethz.ch



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE



amphiro
« »

Über diese Studie

Urheber der Studie ist das Bits to Energy Lab an der ETH Zürich. Die Studie wurde durchgeführt in Kooperation mit ewz und dem Bundesamt für Energie (BFE). Das Bundesamt für Energie unterstützte die vorliegende Studie durch die Finanzierung der Begleitforschung. ewz stellte die Studiengeräte als Abschlussgeschenke für die Teilnehmenden an der ewz-Studie Smart Metering zur Verfügung. Der Erhalt des Abschlussgeschenkes war unabhängig von der freiwilligen Teilnahme an der vorliegenden Studie. BFE und ewz unterstützten zudem die Durchführung der Studie durch zahlreiche Vorschläge und konstruktives Feedback zur Durchführung. Besonderer Dank gilt Mirjam Avdyli, Gian Andrea Jäger, Valentin Peter, Fabian Frei und Lukas Küng (ewz) sowie Nicole Mathys (BFE) für die Begleitung der Studie und die wertvolle Unterstützung bei der Datenerhebung.

Über die Autoren

Verena Tiefenbeck: Doktorandin und Leiterin der Amphiro-Feldstudie am Bits to Energy Lab, ETH Zürich.

Vojkan Tasic: Doktorand am Bits to Energy Lab, ETH Zürich.

Samuel Schöb: Master-Student am Bits to Energy Lab, ETH Zürich.

Kathrin Degen: Doktorandin am Département d'économétrie et d'économie politique der Universität Lausanne

Lorenz Goette: Professor am und Direktor des Département d'économétrie et d'économie politique der Universität Lausanne

Elgar Fleisch: Professor für Technologie- & Informationsmanagement an der ETH Zürich und der Universität St.Gallen.

Thorsten Staake: Direktor des Bits to Energy Labs und Professor für Wirtschaftsinformatik, insbesondere Energieeffiziente Systeme an der Otto-Friedrich-Universität Bamberg.

Copyright Bits to Energy Lab, ETH Zürich.

Bitte zitieren Sie diese Studie wie folgt: Tiefenbeck, Verena; Tasic, Vojkan; Schöb, Samuel; Degen, Kathrin; Goette, Lorenz; Fleisch, Elgar; Staake, Thorsten: *Steigerung der Energieeffizienz durch Verbrauchsfeedback bei der Warmwassernutzung*. Abschlussbericht der ewz-Amphiro-Studie, ETH Zürich, Schweiz, 27.11.2013.

Zusammenfassung

Der Energieverbrauch von Haushalten wird in erheblichem Masse durch das Verhalten der Bewohnerinnen und Bewohner bestimmt. Der Einsatz geeigneter Informations- und Kommunikationstechnologien kann eine generelle Auseinandersetzung von Konsumentinnen und Konsumenten mit dem Thema Energieeffizienz fördern und einen effizienten Umgang mit Strom und Wärmeenergie erwirken.

Der vorliegende Bericht fasst in diesem Zusammenhang die Durchführung und die Ergebnisse eines grossangelegten 2-monatigen Feldexperimentes mit knapp 700 Stadtzürcher Haushalten zusammen. Gegenstand der Untersuchung war die Wirkung einer lokalen Verbrauchsanzeige auf den Wärmeenergieverbrauch in der Dusche. Ziel war es, quantitativ darzulegen, inwieweit situationsbezogene Verbrauchsanzeigen zu einer Einsparung seitens der Konsumentinnen und Konsumenten führen. Zu diesem Zwecke erhielten alle Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer die Verbrauchsanzeige „amphiro a1“ für die Dusche. Das Gerät zeigt den Wasser- und Energieverbrauch sowie die Temperatur des aktuellen Duschvorganges an und speichert die Daten zu jedem Duschvorgang. Ein zufällig ausgewähltes Drittel der Haushalte erhielt als Kontrollgruppe während der gesamten Studiendauer eine Gerätevariante, die lediglich die Wassertemperatur anzeigte. Insgesamt wurden 636 Geräte ausgelesen und die Daten von 46'835 Duschvorgängen analysiert.

Die Auswertung zeigt, dass Haushalte mit Verbrauchsanzeige durchschnittlich 23% ihres Wasser- und Energiebedarfs beim Duschen einsparten. Dies entspricht knapp 360 Wattstunde (Wh) Wärmeenergie pro Duschvorgang - ohne Verluste bei der Warmwasserbereitstellung gerechnet. Unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Wirkungsgrades der Warmwassererzeugung in Schweizer Haushalten betragen die Einsparungen 443 Kilowattstunde (kWh) Wärmeenergie, die je nach Heizungsart meist mit Öl, Gas oder Strom bereitgestellt werden müssten; zudem werden 8'500 Liter Wasser pro Jahr und Haushalt eingespart. Dies entspricht einer Einsparung von CHF 96 (CHF 17 Trink- und Abwasserkosten plus CHF 79 Energiekosten). Im Vergleich: Die durchschnittliche Einsparung durch intelligente Stromzähler, wie sie in der ewz-Studie Smart Metering eingesetzt wurden, betrug 3.2% des Strombedarfs, entsprechend 86 kWh elektrischer Energie oder CHF 15 pro Jahr und Haushalt.

Das Bundesamt für Energie unterstützte die vorliegende Studie durch die Finanzierung der Begleitforschung. ewz stellte die Studiengeräte zur Verfügung: Dabei erhielt generell jeder Haushalt, der sich an der vorhergehenden ewz-Studie Smart Metering beteiligt hatte, ein „amphiro a1“ als Abschlussgeschenk. Die Haushalte konnten sich damit freiwillig an der vorliegenden Studie beteiligen.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1. Motivation	6
2. Studienübersicht	9
Studiengeräte.....	9
An der Studiendurchführung beteiligte Parteien.....	11
Zeitlicher Ablauf.....	11
Teilnehmerinnen und Teilnehmer (Rekrutierung und Gruppeneinteilung).....	12
Logistik	13
3. Erhobene Daten	14
Datenschutz	14
Umfragedaten.....	15
Duschdaten	15
4. Auswertung.....	16
Beteiligung und Rücklaufquote.....	16
Filtern der Daten.....	16
Software.....	17
5. Ergebnisse.....	17
Duschdaten während der Blindmessphase.....	17
Zufriedenheit und Weiterverwendung	18
Haupteffekte	19
Änderung weiterer Parameter.....	19
6. Einsparung pro Haushalt pro Jahr.....	20
7. Ausblick und Bedeutung	21

1. Motivation

Das Erreichen der Klimaziele erfordert eine Einbindung der Konsumenten in effizienzsteigernde Massnahmen.

Die Vermittlung rein rationaler Informationen hat in der Vergangenheit oft nicht die gewünschte Wirkung erzielt.

Unter den günstigen Bedingungen können jedoch hohe Einspareffekte erzielt werden.

Mit der Energiestrategie 2050 setzt die Schweiz „in erster Linie auf eine konsequente Erschliessung der vorhandenen Energieeffizienzpotenziale“.¹ Bemühungen um eine effizientere Nutzung von Wärme und Elektrizität bildeten wesentliche Elemente dieser Strategie. Von besonderer Bedeutung sind hierbei private Haushalte, die rund 27% des Energieverbrauchs unmittelbar verantworten.² Der Verbrauch wird neben langfristigen Investitionsentscheidungen massgeblich durch das tägliche Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer bestimmt. Entsprechend stellen Interventionen, die das tägliche Verhalten beeinflussen, eine vielversprechende Möglichkeit dar, Energieeffizienzpotenziale zu erschliessen.

Zahlreiche Studien zeigen jedoch, dass Konsumenten häufig sehr unzureichende und realitätsferne Vorstellungen davon haben, was den Energieverbrauch im Haushalt in welchem Masse beeinflusst. Entsprechend erhoffen sich Regulatoren von Massnahmen, welche den Konsumentinnen und Konsumenten den persönlichen Energieverbrauch aufzeigen, eine bessere Einschätzung der Konsequenzen des eigenen Handelns und schlussendlich eine Reduktion des Energieverbrauchs.

Entsprechende Massnahmen wie die Einführung von Smart Metering basieren meist auf der Annahme, dass eine rationale Vermittlung von mehr Information über den Energieverbrauch ausreicht, um das nötige Bewusstsein für eine nachhaltige Verhaltensänderung zu schaffen. Solche „rein sachlichen“ Kampagnen sprechen jedoch nur einen kleinen Teil der Bevölkerung an – und meist diejenigen, die sich ohnehin schon im Vorfeld aktiv mit Nachhaltigkeitsthemen auseinandergesetzt haben. Entsprechend blieb bei zahlreichen Pilotstudien zur Verbrauchsdatenvermittlung die Wirkung auf die Gesamtbevölkerung hinter den hohen Erwartungen zurück.

Die bisher gezeigten Effekte auf das Nutzerverhalten müssen jedoch nicht bedeuten, dass informationsbasierte Kampagnen zwangsläufig einen nur geringen Einfluss ausüben. Unter günstigen Randbedingungen – also bei einer klaren, personenbezogenen Rückmeldung zum Energieverbrauch ohne Zeitverzug (während der Ressourcennutzung), bezogen auf eine scharf umrissene Handlung und in einer einfach zu erfassenden Grösse ausgedrückt – konnte das Bits to Energy Lab in einer Pilotstudie erhebliche Einsparungen des Warmwasserverbrauchs beim Duschen aufzeigen. Hierfür installierten 61 Haushalte eine Verbrauchsanzeige in ihrer Dusche. Die dadurch erzielte Einsparung des Wasser- und Energiebedarfes betrug 22% – deutlich mehr als die 1-5%, die Programme zur Senkung des Stromverbrauchs typischerweise erzielen. Eine mögliche Ursache für die Effektgrös-

¹ <http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00527/>, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00527/>, Abruf 04.09.2013

² European Commission Energy Efficiency Status Report 2012, <http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/sites/energyefficiency/files/energy-efficiency-status-report-2012.pdf>, Abruf 04.10.2013

se ist die hohe tatsächliche und wahrgenommene Einflussmöglichkeit der Nutzerinnen und Nutzer auf den Verbrauch in Kombination mit dem unmittelbaren Feedback direkt während des Verbrauchs. Diese frühe Pilotstudie wies jedoch zahlreiche Mängel auf: Nur 50% der Haushalte, denen das Pilotgerät zur Verfügung gestellt wurde, beteiligten sich an der Studie. Dies kann eine Überschätzung der Resultate durch Selektionseffekte zur Folge haben. Beim Grossteil der Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer handelte es sich zudem um Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des BFE. Dabei ist anzunehmen, dass diese bereits vor Studienbeginn zum Thema „Energieverbrauch im Haushalt“ informiert und für diesen Themenkreis sensibilisiert gewesen waren. Dies könnte wiederum eine Unterschätzung der Resultate bedingen. Zudem war die Zahl der Teilnehmerhaushalte von 61 eher gering. Um aussagekräftigere und belastbarere Resultate zu erzielen, wird die vorliegende Studie deshalb nun mit einem saubereren Studiendesign und einer deutlich grösseren Anzahl und Diversität an Teilnehmerhaushalten durchgeführt.

Die positiven Ergebnisse der früheren Pilotstudie motivierten die Intensivierung der Forschung und die Weiterentwicklung des damaligen Prototyp-Gerätes.

Der in der Pilotstudie ermittelte hohe Spareffekt motivierte die Weiterentwicklung des Gerätes in den vergangenen Jahren und bewirkte parallel eine Intensivierung der Forschung an verhaltenswissenschaftlichen Ansätzen zur Energieeinsparung. Die vorliegende Studie vereinigt nun die Resultate dieser Forschungsarbeit in einem grossangelegten Feldexperiment mit knapp 700 Haushalten, um die Wirkung solcher Technologien näher zu erforschen und je nach Nutzergruppe und Kontext zu optimieren. Neben der direkten und quantifizierbaren Einsparung von Energie und Wasser in diesen Haushalten, wird hierbei die Gewinnung von Erkenntnissen angestrebt, die sich auf andere Massnahmen und Bereiche übertragen lassen.

Der Warmwasserverbrauch ist zweitgrösster Treiber des Energieverbrauches und CO₂-Ausstosses privater Haushalte.

Der Fokus der Studie auf Warmwasser hat mehrere Gründe: zum einen können Nutzerinnen und Nutzer ihren Verbrauch - insbesondere beim Duschen - sehr stark beeinflussen und bekommen eine direkte Rückmeldung dazu, wie sich ihr aktuelles Verhalten auswirkt. Die Warmwasserbereitung stellt zudem nach der Raumheizung den zweitgrössten Energieverbrauchsposten im Haushalt dar und bedingt einen höheren Energieverbrauch als Waschen, Trocknen, Kühlschrank und Beleuchtung zusammen (Abbildung 1). Duschen bedingt hierbei die grosse Mehrheit des Warmwasserverbrauchs. Zudem erfolgt die Warmwasserbereitung nach wie vor sehr CO₂-intensiv.

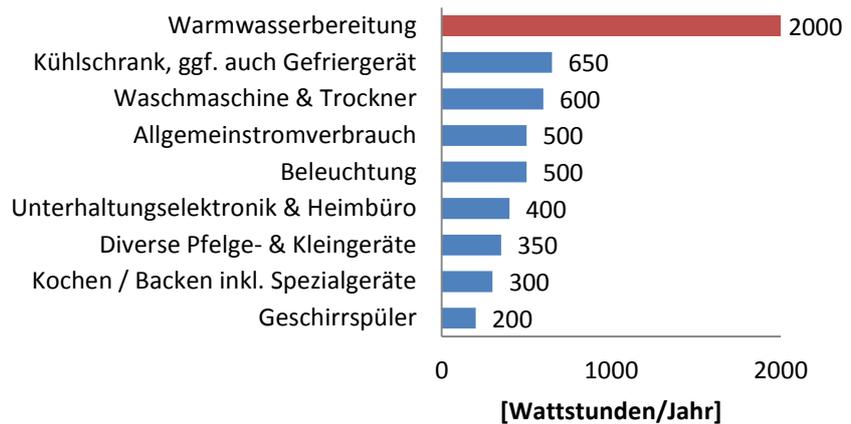


Abbildung 1: Energieverbrauch der Warmwasserbereitung in privaten Haushalten in der Schweiz (Quelle: SEV/VSE 19/2007).

Knapp 90% des Warmwasserbedarfs privater Haushalte werden mit Öl, Erdgas und Strom bereitgestellt.

Abbildung 2 zeigt den Energieverbrauch für Warmwasser in Schweizer Haushalten im Jahre 2011 nach Energieträgern. Insgesamt werden 32 PJ jährlich für die Bereitstellung von Warmwasser benötigt.³ Wie aus der Grafik ersichtlich, decken die Energieträger Heizöl (40%), Elektrizität (25%) und Erdgas (21%) den überwiegenden Teil des Bedarfs. Nur ein geringer Anteil des Warmwassers wird durch die regenerativen Energien Holz, Solarthermie und Umgebungswärme bereitgestellt: Knapp 90% der Warmwassererzeugung in Schweizer Haushalten basiert nach wie vor auf den Energieträgern Öl, Erdgas und Strom.

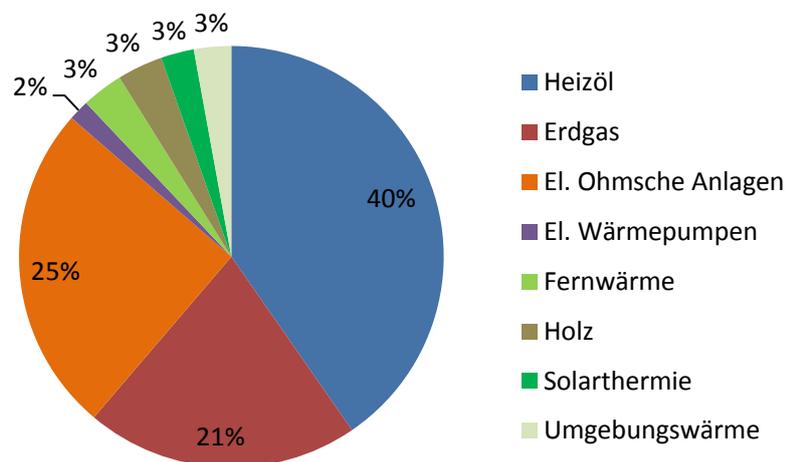


Abbildung 2: Warmwassererzeugung in Schweizer Haushalten nach Energieträgern.⁵

2. Studienübersicht

Studiengeräte

Die Wirkung von unmittelbarem Verbrauchsfeedback wird anhand einer Verbrauchsanzeige für die Dusche ermittelt.

Die Studie untersucht Wirkung, Skalierbarkeit und Wirtschaftlichkeit einer solchen unmittelbaren Verbrauchsanzeige.

Um die Wirkung von direktem und klarem Feedback während des Verbrauchs zu testen, erhielten 697 ewz-Kundinnen und -Kunden eine Energie- und Wasserverbrauchsanzeige für die Dusche. Bei diesen Studiengeräten handelt es sich um eine Version der intelligenten Duschverbrauchsanzeige amphiro a1 (Abbildung 3), deren Software das Forscherteam speziell für diese Studie modifizierte. Das Gerät kann einfach und ohne Werkzeug von den Nutzerinnen und Nutzern in fast alle mitteleuropäischen Duschen selbst eingebaut werden und benötigt keine Batterien.

Die Wirksamkeit einer solchen Verbrauchsanzeige auf das Nutzerverhalten wird im Rahmen dieser Studie untersucht. Daneben untersucht die Studie auch die Akzeptanz und Erfahrungen von Nutzerinnen und Nutzern mit dem Studiengerät im alltäglichen Gebrauch über längere Zeit. Dadurch soll neben dem Einspareffekt auch die Wirtschaftlichkeit und Skalierbarkeit solcher Massnahmen hinsichtlich einer flächendeckenden Einführung ermittelt werden.



Abbildung 3: Verbrauchsanzeige während des Betriebs (links) und eingebaut in eine Dusche (rechts).

Das Gerät zeigt den Energie- und Wasserverbrauch während des Duschens an.

Das Standardgerät misst während des Duschvorganges kontinuierlich den Wasser- und Energieverbrauch sowie die Wassertemperatur und zeigt die drei Informationen während der Wasserentnahme und direkt im Anschluss an die Dusche an (Abbildung 4).

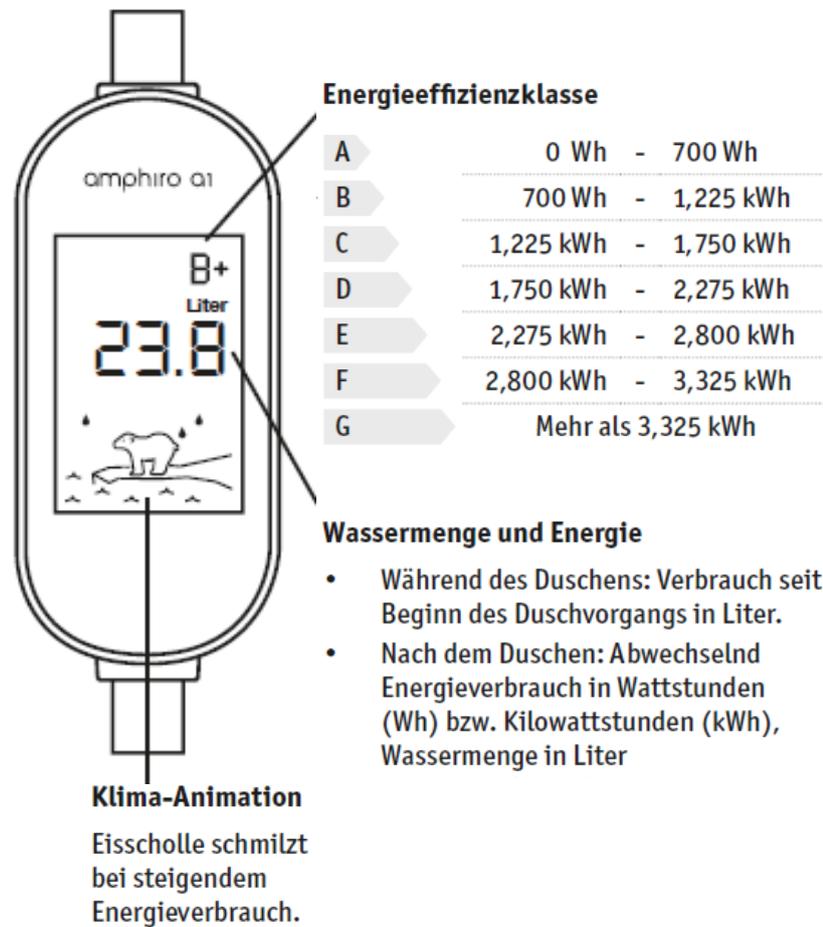


Abbildung 4: Anzeigehalte der Verbrauchsanzeige amphiro a1.

Jeder Duschvorgang wird aufgezeichnet - das Gerät kommt ohne Batterien aus.

Der Endverbrauch jedes Duschvorganges (bis zu 507 Stück beim Standardgerät) wird gespeichert. Auch nach kurzen Unterbrechungen, z.B. zum Einseifen, zählt das Gerät weiter und ordnet die Werte dem laufenden Duschvorgang zu. Das Gerät bezieht die zum Betrieb nötige Energie wie ein kleines Wasserkraftwerk aus dem Wasserstrahl. Nähere Informationen zum Standardgerät sind erhältlich unter www.amphiro.com.

Die Montage erfordert kein Werkzeug.

Nutzerinnen und Nutzer können das Gerät mit wenigen Handgriffen selbst montieren. Abbildung 5 und Abbildung 6 veranschaulichen die Position und den Einbauablauf des Gerätes in die Dusche.

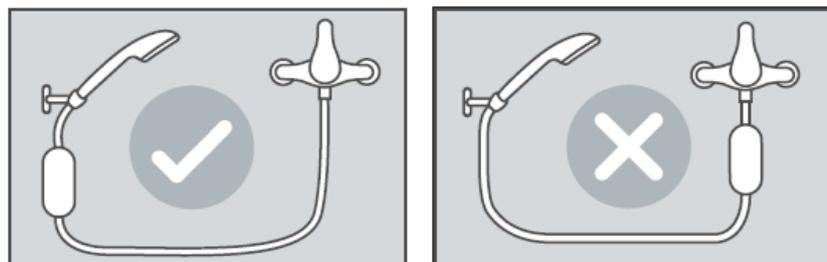


Abbildung 5: Position der Verbrauchsanzeige in der Dusche.

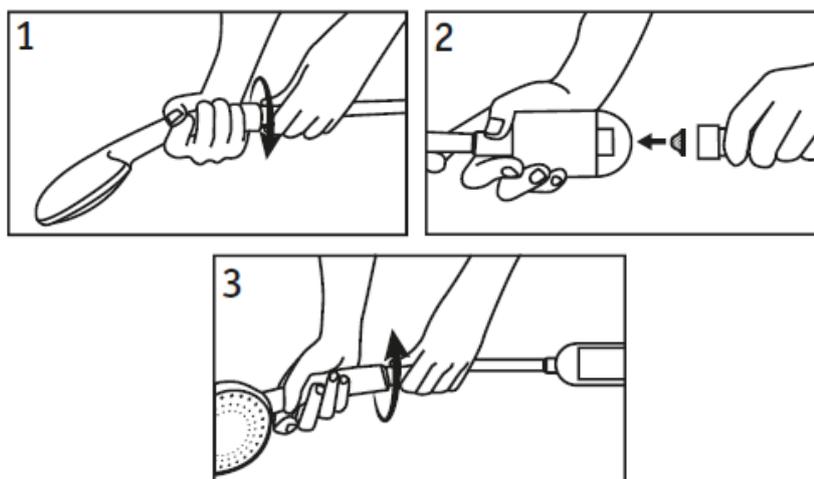


Abbildung 6: Einbau der Verbrauchsanzeige in drei Schritten.

Die Geräte wurden für die Studie eigens angepasst.

Für die Studie modifizierte das Forscherteam Speicher und Anzeige des Standardgerätes. Die Datenspeicherung ist näher beschrieben im Abschnitt „Erhobene Daten - Duschdaten“. Die während des Duschens angezeigten Informationen wurden ebenfalls modifiziert: Während der ersten zehn Duschvorgänge zeigten sämtliche Geräte lediglich die Wassertemperatur an (Blindmessungen zur Bestimmung des Verbrauchs ohne Feedback). Dies wurde in der Anleitung als „Eingewöhnungsphase des Gerätes“ bezeichnet. Die Kontrollgruppe (ein Drittel der Haushalte, per Zufall ausgewählt) erhielt Geräte, die während der gesamten zwei Monate nur die Temperatur anzeigten. Dies wurde in der Bedienungsanleitung damit erklärt, dass in der Studie unterschiedliche Anzeigeformate miteinander verglichen werden sollten und dass die teilnehmenden Haushalte im Anschluss an die Studie die Möglichkeit hätten, auch andere Anzeigeinhalte zu testen. Das Forscherteam deaktivierte bei allen Studiengeräte zusätzliche Funktionen wie z.B. die Anzeige eines Online-Codes, der eine Auswertung der Verbrauchswerte im Internet ermöglicht hätte, um eine verzerrende Wirkung durch die Nutzung des Amphiro-Online-Portals auszuschliessen.

ewz und das BFE unterstützten die Studie.

An der Studiendurchführung beteiligte Parteien

Die Amphiro-Studie wurde durchgeführt unter der Leitung von Forscherinnen und Forschern der ETH Zürich (Professur für Informationsmanagement, Bits to Energy Lab) in enger Zusammenarbeit mit ewz, der Universität Lausanne (HEC, Département d'économétrie et d'économie politique) und dem Jungunternehmen Amphiro AG. ewz finanzierte die Studiengeräte, das Bundesamt für Energie die Begleitforschung.

Die Feldphase der Studie dauerte zwei Monate.

Zeitlicher Ablauf

Die Feldphase (Datenaufzeichnung in den teilnehmenden Haushalten) betrug zwei Monate (Anfang Dezember 2012-Anfang Februar 2013). In den

697 ewz-Kunden wurden als Teilnehmer ausgewählt.

Monaten zuvor passte das Forscherteam gemeinsam mit der Amphiro AG die Studiengeräte, die Website mit FAQs sowie die Bedienungsanleitung für die Durchführung der Studie an. Die Studiengeräte wurden hierzu im Labor einzeln umprogrammiert und mit angepassten Bedienungsanleitungen versehen. Im Juli und September fanden zwei aufeinander aufbauende Schulungen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des ewz-Kundenzentrums statt. Diese waren zusammen mit dem ETH-Forscherteam Ansprechpartner für Kundenfragen.

Die Rekrutierung der teilnehmenden Haushalte erfolgte gestaffelt zwischen September und November 2012 (siehe Abschnitt „Teilnehmer“), der Versand der Geräte im Anschluss daran am 29./30. November 2012. Die Päckchen mit den Geräten enthielten ein vorfrankiertes und voradressiertes Rücksendekuvert. Wenige Tage nach Erhalt der Geräte wurden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer zusätzlich per E-Mail an den Einbau erinnert und darum gebeten, Schachtel und Rücksendekuvert für die Retournierung der Geräte zum Auslesen aufzubewahren.

Im Anschluss an die 2-monatige Feldphase wurden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer Anfang Februar aufgefordert, das Gerät zum Auslesen zurückzusenden und gebeten, einen etwa 20-minütigen Abschlussfragebogen auszufüllen. Das Forscherteam der ETH las anschliessend die Studiengeräte im Labor aus, ordnete dem Gerät die Pseudonymnummer (VID) aus der Kontaktdatenbank zu, überprüfte die Geräte auf Vollständigkeit und programmierte diese für den Normalbetrieb um. Jeder Teilnehmerhaushalt, der laut Fragebogen die Weiterverwendung des Gerätes beabsichtigte, erhielt dieses zur weiteren Verwendung retourniert. Im Laufe des folgenden Monats wurden noch zwei Erinnerungen an jene Teilnehmerinnen und Teilnehmer versendet, deren Gerät noch nicht eingetroffen war oder die den Fragebogen noch nicht ausgefüllt hatten. Das Auslesen, Überprüfen und Umprogrammieren der Geräte sowie deren Rückversand an die Teilnehmerhaushalte war im April 2013 abgeschlossen.

Darauf folgte die Zusammenführung der Datensätze und die Auswertung der Daten. Erste Ergebnisse konnte das Forscherteam bereits veröffentlichen (siehe Ausblick und Bedeutung), weitere Details der Studie werden derzeit für eine wissenschaftliche Publikation ausgewertet.

Teilnehmerinnen und Teilnehmer (Rekrutierung und Gruppeneinteilung)

Die teilnehmenden Haushalte wurden unter den knapp 6'000 ewz-Kundinnen und -Kunden rekrutiert, die sich zuvor an der ewz-Studie Smart Metering beteiligt hatten. Diesen kündigte ewz zum Ende der ewz-Studie Smart Metering den Erhalt der Duschverbrauchsanzeige amphiro a1 als Abschlussgeschenk an. Dabei wurde auf die Möglichkeit hingewiesen, sich mit diesem Gerät freiwillig an einer weiteren 2-monatigen Studie zu beteiligen. Der Erhalt des Geschenkes war ausdrücklich unabhängig von der

Teilnahme an der weiteren Studie. Interessentinnen und Interessenten wurden gebeten, einen kurzen Eingangsfragebogen auszufüllen.

Basierend auf den Fragebögen wählte das Forscherteam 697 Haushalte wie folgt aus. Haushalte mit mehr als 2 Personen wurden ausgeschlossen, da der Speicher des Gerätes nur 202 Duschvorgänge aufzeichnen konnte und andernfalls möglicherweise nicht alle Duschvorgänge erfasst hätte.

Weitere Ausschlusskriterien waren

- Geplanter Umzug während der Studienzeit
- Ungeeigneter Typ von Dusche (keine Handbrause, sondern Regendusche oder seitliche Duschen)
- Weigerung, dem Datenschutzkonzept zuzustimmen
- Weigerung, der Rücksendung des Gerätes nach 2 Monaten (zum Auslesen der Daten) zuzustimmen

Es wurde eine gleiche Anzahl von 1- und 2-Personenhaushalten angestrebt; aufgrund einer niedrigeren Beteiligung von 1-Personenhaushalten konnte diese aber nicht ganz eingehalten werden. Insgesamt nahmen 324 Ein- und 373 Zweipersonenhaushalte an der Studie teil. Per Zufall wurde je ein Drittel der ausgewählten 1- und 2-Personenhaushalte in die Kontrollgruppe eingeteilt, die restlichen Haushalte erhielten ein Gerät mit Verbrauchsanzeige (siehe folgender Abschnitt „Gerät“).

Haushalte, die aufgrund der Haushaltsgrösse oder aufgrund der übrigen genannten Kriterien nicht für die Studie ausgewählt wurden, erhielten das Angebot, sich stattdessen an einer derzeit noch laufenden Langzeitstudie zu beteiligen.

Logistik

An der Studie interessierte Haushalte mussten im Fragebogen eingangs ihre ewz-Kundennummer angeben. Diese wurde zusammen mit der Gruppeneinteilung an ewz übermittelt. ewz bereitete die Versandlisten auf und übergab sie an das Non-Profit-Unternehmen Drahtzug für den Versand der Geräte an die Teilnehmerhaushalte. Die Versandfirma legte jeder Sendung ein vorfrankiertes und mit der Ziel- und Absenderadresse versehenes Rücksendekuvert bei.

Jedes Studiengerät wurde einzeln ausgelesen und überprüft.

Nach der Rücksendung durch die Teilnehmerhaushalte Anfang Februar 2013 erfolgte das Auslesen der Geräte einzeln an einem speziell entwickelten Laborterminal (siehe Abschnitt Auslesen der Duschdaten). Das Forscherteam ordnete mithilfe der Kontaktdatenbank jedem ausgelesenen Duschdatensatz die zugehörige Pseudonymnummer (VID) zu für die spätere Zusammenführung der anonymisierten Datensätze (siehe Abschnitt Datenschutz). Für jedes Gerät erfolgte eine Untersuchung hinsichtlich Funktion, Plausibilität des ausgelesenen Datensatzes, Vollständigkeit (inkl. Sieb, Dichtringe, Montageschlauch) und teilnehmerseitigen Wunsch zum Wiedererhalt. Schlussendlich programmierte das Forscherteam das Gerät auf die Standardgeräteeinstellungen und – sofern positiv – retournierte es zu-

sammen mit einer ergänzenden Bedienungsanleitung bezüglich der Neuerungen an den jeweiligen Nutzer.



Abbildung 7: Geräte nach der Rücksendung. Links Geräte, die noch ausgelesen werden müssen; auf dem Tisch Überprüfung auf Vollständigkeit und Funktion.

3. Erhobene Daten

Datenschutz

Vor Studienbeginn wurden die Teilnehmer über den Umfang der anonymisierten Datenanalyse, -speicherung und -nutzung aufgeklärt.

Der Eingangsfragebogen enthielt die Datenschutzerklärung, welche die Interessentinnen und Interessenten akzeptieren mussten, um an der Studie teilzunehmen. Diese beschreibt den Umfang der Datenerhebung, deren Speicherung, Verwendung und das Löschen. Die Datenschutzerklärung informiert die Umfrageteilnehmerinnen und -teilnehmer darüber, dass die Auswertung und Veröffentlichung der Daten nur in anonymisierter Form erfolgen und die Analyse mithilfe von pseudonymisierten Kennnummern (VID) durchgeführt würde. Die Zuordnung von Kundennummer und zugehöriger VID der Studienhaushalte erfolgte bei ewz. Das Forscherteam der ETH erhielt (wie in der Datenschutzerklärung beschrieben) von ewz eine Tabelle mit den Kundennummer-VID-Paaren der 697 Studienhaushalte. Diese Tabelle wurde in der temporären Kontaktdatenbank zur Durchführung der Studie abgelegt, um die Daten aus den unterschiedlichen Quellen (Duschdaten, Eingangsfragebogen, Abschlussfragebogen, Fragebogen der Universität Lausanne) zusammenführen und anonymisiert weiterverarbeiten zu können. Anders als bei der ewz-Kundennummer ist die Zurückverfolgung der VID nicht möglich.

Wie im Datenschutzkonzept beschrieben, wurden die Teilnehmer im Eingangsfragebogen um die Angabe ihrer aktuellen Anschrift und Emailadresse gebeten. Das Forscherteam separierte diese Angaben von den restlichen Umfragedaten (Haushaltsdaten). Hierzu wurden die Kontaktdaten in der temporären Kontaktdatenbank abgelegt und in der Umfrage durch die

Je ein Fragebogen zu Beginn und am Ende der Studie ergänzte die Duschdatensätze.

VID ersetzt. Der Duschdatensatz wurde beim Auslesen der Geräte ebenso um die VID ergänzt; auch beim Abschlussfragebogen ersetzte das Forscherteam die Emailadresse (zur Anmeldung) durch die VID für die anschließende Zusammenführung und Auswertung der Daten in anonymisierter Form.

Umfragedaten

Der Eingangsfragebogen enthielt zudem Fragen für die im Abschnitt „Teilnehmerinnen und Teilnehmer (Rekrutierung und Gruppeneinteilung)“ beschriebenen Kriterien zur Selektion der Teilnehmenden. Weitere Fragen beinhalteten: Demographische Merkmale; Einstellung rund um den Wasser- und Energieverbrauch im Haushalt im Allgemeinen und beim Duschen im Speziellen; eine Selbsteinschätzung des eigenen Duschverhaltens (Wasserverbrauch, Temperatur, Dauer), auch relativ zu anderen Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern sowie die Abrechnung des Wasser- und Energieverbrauches (verbrauchsabhängig oder Pauschale Nebenkosten). Der Abschlussfragebogen enthielt hauptsächlich Fragen dazu, welche Erfahrungen die Teilnehmer mit dem Gerät gemacht hatten: Lesbarkeit, Verständlichkeit, Informationsgehalt und Beachtung der einzelnen Elemente; Fragen nach Diskussionen und Vergleichen im Haushalt, Bedienkomfort, selbstständigem Setzen eines Sparziels und selbst wahrgenommene Änderung des Verhaltens; Abweichungen vom regulären Betrieb (Gäste, Abwesenheit); Wahrscheinlichkeit der Weiterverwendung und Weiterempfehlung. Zur Erstellung und Durchführung beider Umfragen diente das Online-System SurveyGizmo.

Duschdaten

Von jedem einzelnen Duschvorgang erfassten die Geräte neben den standardmässig gespeicherten Grössen Wasserverbrauch und Durchschnittstemperatur auch die Dauer des Duschvorganges sowie Anzahl und Dauer von Unterbrechungen des Duschvorganges. Dadurch reduzierte sich die Zahl der maximal zu speichernden Duschvorgänge von 507 auf 202. Nähere technische Details zur Messung und Speicherung sowie zum Auslesen der Daten sind in einem auf der Konferenz „Energieinformatik 2013“ veröffentlichten Beitrag zusammengefasst.³

³ Tiefenbeck, V., Tasic, V., Schöb, S., Staake, T., Mechatronics to drive environmental sustainability: measuring, visualizing and transforming consumer patterns on a large scale. Proceedings of IEEE IECON, Energy Informatics 2013, Vienna, Austria. November.

4. Auswertung

697 Haushalte nahmen an der Studie teil, von 90% liegt ein kompletter Datensatz (Duschdaten und zwei Umfragen) vor.

Beteiligung und Rücklaufquote

Insgesamt erhielten 5'919 Haushalte eine Einladung zur Teilnahme an der Studie. 1'348 füllten den Eingangsfragebogen vollständig aus (Rücklaufquote 23%). Unter diesen wurden 697 Haushalte ausgewählt. Hauptausschlusskriterium war die Anzahl der Personen im Haushalt – nur 31% der Umfrageteilnehmerinnen und Umfrageteilnehmer waren Einpersonenhaushalte, daneben bestand ein Überangebot an interessierten Zweipersonenhaushalten. Daraus resultierend waren 52% der antwortenden bzw. 12% der angeschriebenen Haushalte an der Studie beteiligt.

685 Teilnehmerinnen und Teilnehmer sandten ihr Studiengerät zum Studienende zurück (98.3%). Insgesamt wurden 636 der Geräte erfolgreich ausgelesen. Der komplette Rohdatensatz umfasst 46'835 Duschvorgänge. Ein fast ebenso hoher Anteil an Teilnehmenden – 666 Haushalte – füllte den Fragebogen vollständig aus (95.5%). Von 629 Haushalten (90%) liegen sowohl die Duschdaten als auch beide Fragebögen vollständig vor.

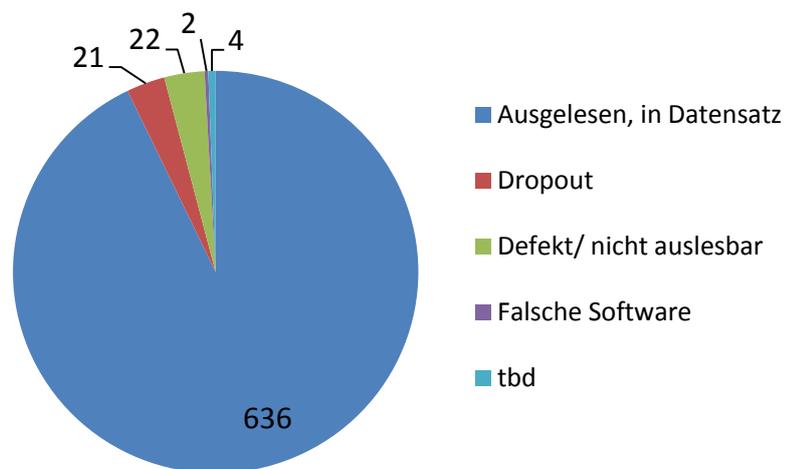


Abbildung 8: Rückgesendete Geräte und Auslesbarkeit der Daten.

Filtern der Daten

Das Forscherteam überprüfte und filterte den Datensatz bezüglich Inkonsistenzen und Unregelmässigkeiten der Personenzahl während der Studienzeit. Hierzu enthielt der Abschlussfragebogen einige Fragen zu Änderungen oder Schwankungen der Personenzahl, beispielsweise durch häufig anwesende Gäste, den Auszug/ Einzug eines Haushaltsmitgliedes oder längere Abwesenheit einzelner Haushaltsmitglieder. Bei einigen Zweipersonenhaushalten nutzte zudem nur ein und dieselbe Person die Dusche mit dem Amphiro-Gerät (zwei getrennte Bäder).

Haushalte mit solchen Inkonsistenzen wurden gesondert markiert und ausgefiltert. Der verbleibende Datensatz umfasst 526 Haushalte und 39'024 Duschvorgänge.

Software

Die einzelnen Dusch-Rohdatensätze liegen als csv-files vor, die Umfragedaten gesammelt als xlsx-Datei. Die Auswertung erfolgt grösstenteils mit Stata 11.0.

5. Ergebnisse

Die Analyse des Datensatzes ist noch im Gange, um auch weitere Aspekte und theoretische Konstrukte noch zu erforschen. Dieser Bericht enthält vorab die Haupteffekte und erste vorliegende Erkenntnisse. Es handelt sich dabei noch um vorläufige Zahlen, die sich je nach Analyseverfahren noch geringfügig ändern können.

Duschdaten während der Blindmessphase

Tabelle 1 zeigt Durchschnittswerte pro Duschvorgang aller Haushalte vor dem Aufschalten der Anzeige mit den Feedback-Informationen.

Tabelle 1: Durchschnittsdaten zum Duschverhalten während der Blindmessphase.

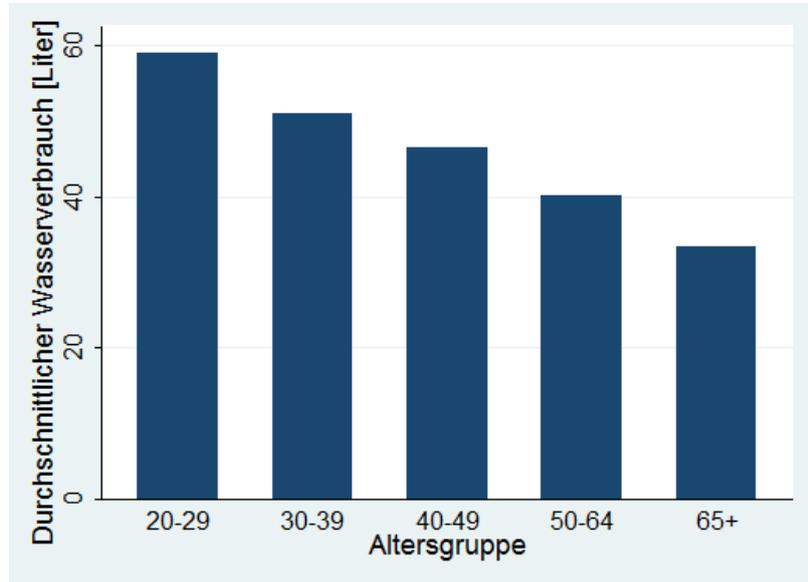
Messgrösse	Durchschnittswert
Wasserverbrauch	46 Liter
Energieverbrauch (ohne Verluste) ⁴	1.6 kWh
Flussrate	11 Liter / Minute
Dauer (reine Duschzeit)	4:10 Min:Sek
Dauer Unterbrechungen (z.B. Einseifen)	34 Sekunden
Wassertemperatur	36°C

Wie aus Abbildung 9 ersichtlich, ist der Verbrauch bei jüngeren Personen deutlich höher als bei älteren: 20-29-Jährige verbrauchen pro Duschvorgang 72% mehr Wasser als Menschen über 64. Zudem ist bei Nutzern mit langen Haaren der Verbrauch durchschnittlich um 21% höher als bei kurzhaarigen Nutzern.

Ein durchschnittlicher Duschvorgang verbraucht 1.6 kWh Wärmeenergie (ohne Verluste) und 46 Liter Wasser.

⁴ Da Heiz-, Speicher- und Transportverluste je nach Typ und Alter des Systems zur Warmwasserbereitung sehr unterschiedlich ausfallen, wurden keine Annahmen diesbezüglich getroffen, sondern der reine Wert bei 100% Wirkungsgrad verwendet (wie auch auf dem Gerät angezeigt). Der tatsächliche Verbrauch müsste noch mit diesen Verlusten beaufschlagt werden.

Abbildung 9: Durchschnittlicher Wasserverbrauch pro Duschvorgang nach Altersgruppe.



Die überwiegende Mehrheit der teilnehmenden Haushalte war mit dem Gerät zufrieden und wollte es nach Studienende weiterverwenden.

Zufriedenheit und Weiterverwendung

Die überwiegende Mehrheit der Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer gab in der Abschlussumfrage an, mit dem Gerät zufrieden zu sein (83%) und es weiterhin nutzen zu wollen (79%), s. Abbildung 10.

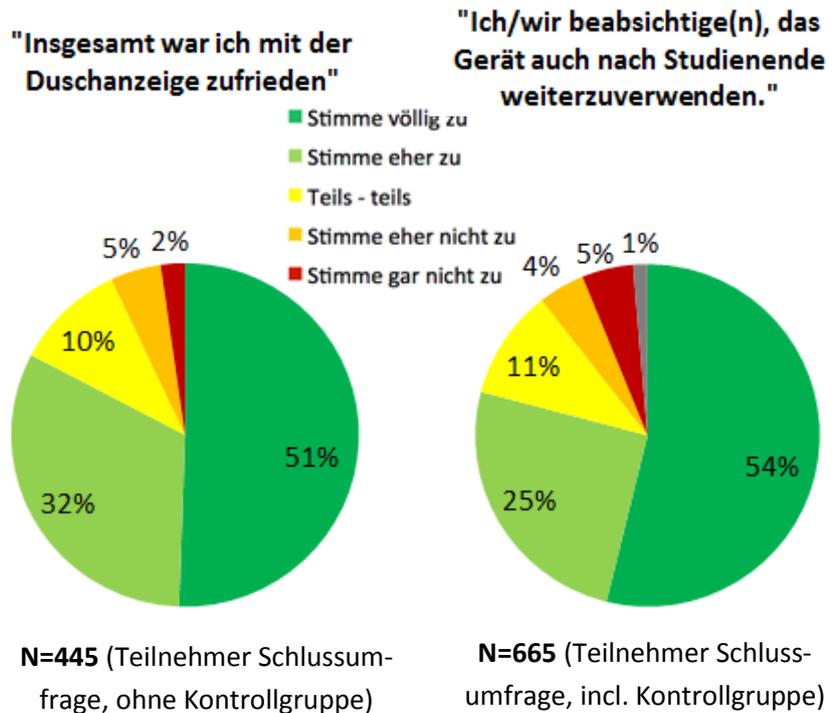


Abbildung 10: Zufriedenheit und Weiterverwendung.

Bei diesen Zahlen ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern zum einen zwar um einen generell an Energiethemen interessierten Personenkreis handelt (andernfalls hätten sie sich vermutlich nicht an der ewz-Studie Smart Metering sowie an der Amphiro-Studie beteiligt); zum anderen ist aber zu beachten, dass es sich nicht um Personen handelt, die das Gerät aus Interesse selbst aktiv erworben haben. Für einen Personenkreis, der das Gerät ungefragt als Überraschung erhalten hat, ist die Zufriedenheits- und Weiterverwendungsrate sehr hoch.

Haupteffekte

Bei der Auswertung wurde unterschieden zwischen Haushalten, die während der zwei Monate kein Verbrauchsfeedback erhielten (Kontrollgruppe), und Haushalten, die während des Duschens Informationen zu ihrem Wasser- und Energieverbrauch angezeigt bekamen. Ein- und Zweipersonenhaushalte wurden zudem getrennt ausgewertet, da die Anzahl der Duschkvorgänge in Zweipersonenhaushalten meist deutlich höher war.

Wie aufgrund der zufallsbedingten Gruppeneinteilung zu erwarten, verhielten sich die beiden Gruppen – mit und ohne Anzeige – während der Blindmessphase sehr ähnlich (Durchschnittswerte siehe Tabelle 1).

Haushalte mit Verbrauchs-
anzeige reduzierten im
Vergleich zur Kontrollgruppe
ihren Wasser- und
Energieverbrauch um
durchschnittlich 23%.

Mit Einsetzen der Verbrauchsanzeige ab Duschkvorgang 11 fiel der Verbrauch der Haushalte mit Verbrauchsanzeige aber drastisch: Der Einspar-effekt bei Einpersonenhaushalten betrug 21% ihres Wasser- und Energieverbrauchs, bei Zweipersonenhaushalten 25%. Der Verbrauch der Haushalte mit Verbrauchsanzeige blieb über die zwei Monate hinweg auf diesem niedrigen Niveau. Der Verbrauch der Kontrollgruppe hingegen stieg während der Studie tendenziell leicht. Dies ist vermutlich auf sogenannten Hawthorne-Effekt zurückzuführen, nämlich dass sich die Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer zu Beginn mehr beobachtet fühlten und – auch ohne die Anzeige der Verbrauchswerte – ihre Duschkdauer zu Beginn stärker als üblich einschränkten. Mit der Zeit fand aber eine Gewöhnung an das Gerät statt und die Gruppe ohne Verbrauchsanzeige verfiel wieder in ihr normales Duschkmuster.

Neben der Messgröße Wasserverbrauch wurde die Veränderung weitere Parameter gemessen und analysiert. Dies wird im Folgenden beschrieben.

Änderung weiterer Parameter

Duschkdauer

Die Wassereinsparung wurde weitest gehend durch eine Verkürzung der Duschkdauer erreicht. Einpersonenhaushalte verkürzten ihre Duschkdauer um 20%, Mehrpersonenhaushalte um 24%.

Temperatur

Die durchschnittliche Duschtemperatur fiel mit der Anzeige im Vergleich zur Kontrollgruppe nur minimal um ein Viertel Grad Celsius, die Änderung ist jedoch statistisch signifikant.

Pausen

Die durchschnittliche Pausendauer erhöhte sich um 12%.

Flussrate

Die Flussrate änderte sich nur unwesentlich und nicht signifikant im Vergleich zur Gruppe ohne Verbrauchsanzeige.

Energie

Der Energieverbrauch errechnet sich aus der Wassermenge und der Duschtemperatur(-differenz zum Kaltwasserreferenzpunkt) berechnet. Die Energieeinsparung im Vergleich zur Kontrollgruppe beträgt 23%. Pro Duschvorgang sind dies durchschnittlich 360 Wh (bei 100% Wirkungsgrad der Warmwasserbereitstellung). Dies berücksichtigt jedoch noch keinerlei Verluste bei der Warmwasserbereitstellung, Speicherung oder beim Leitungstransport. Da diese je nach Heizungsart und -alter sehr unterschiedlich ausfallen können, zeigt das Gerät nur den rechnerischen Mindestverbrauch ohne Verluste an.

Unter Berücksichtigung typischer Verluste bei der Warmwasserbereitung beträgt die Einsparung 554 Wh Wärmeenergie pro Duschvorgang.

Der durchschnittliche Wirkungsgrad der Warmwasserbereitstellung in Schweizer Haushalten beträgt 65%⁵ (reine Vor-Ort-Verluste bei der Warmwassererzeugung im Haushalt, keine Primärenergiebilanz). Mit Berücksichtigung dieser haushaltsinternen Verluste bei der Warmwasserbereitstellung beträgt die Einsparung durch die Verbrauchsanzeige 554 Wh Wärmeenergie pro Duschvorgang. Zusätzliche Verluste bedingt durch Speicherung und Leitungstransport sind darin noch nicht berücksichtigt.

6. Einsparung pro Haushalt pro Jahr

Die durchschnittliche Einsparung durch das Gerät beträgt pro Haushalt jährlich 443 kWh Energie, 8'500 Liter Wasser und 96 CHF - ein Vielfaches dessen, was ein intelligenter Stromzähler typischerweise einspart.

Bei einer durchschnittlichen Haushaltsgrösse von 2,2 Personen und einem durchschnittlichen Wirkungsgrad der Warmwassererzeugung in Schweizer Haushalten von 65%³ ergibt sich eine **jährliche Einsparung von 443 kWh Energie und 8'500 Liter Trinkwasser pro Haushalt und Jahr. Daraus resultiert eine durchschnittliche Kosteneinsparung von CHF 96** (CHF 79 Energiekosten, CHF 17 Trink- und Abwassergebühren) pro Haushalt und Jahr. Diese Zahlen basieren auf der Annahme, dass die Spareffekte konstant bleiben. Während der zweimonatigen Studiendauer war keinerlei Abnah-

⁵ www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_3289174.pdf, Abruf 03.10.2013

me der Spareffekte zu beobachten; eine weitere Langzeitstudie zur Absicherung der Langzeitwirkung ist noch im Gange.

Im Vergleich: Die Einsparung bei der ewz-Studie Smart Metering betrug 86 kWh elektrischer Energie (3.2% des Stromverbrauchs) pro Haushalt und Jahr. Die Einsparung eines Amphiro-Gerätes beträgt 443 kWh Wärmeenergie, die (wie in Abbildung 2 dargestellt) in der Schweiz zu 88% durch die Energieträger Öl, Gas oder Strom bereitgestellt werden. Die Energieeinsparung beträgt somit durchschnittlich dem 5.2-fachen der Einsparung eines Strom-Smart Meters bei deutlich geringeren Investitionskosten.

7. Ausblick und Bedeutung

Bei einer flächendeckenden Einführung des Gerätes in 10% der Schweizer Haushalte ergäbe sich – unter dem Vorbehalt der zeitlichen Stabilität der Effekte – eine jährliche Energieeinsparung von 155 GWh. Dies entspricht in etwa der zweifachen Jahresstromproduktion durch Windkraft in der Schweiz (2012: 77 GWh⁶).

Die Studie belegt das hohe Energiesparpotential von Verbrauchsfeedbacksystemen.

Die vorliegende Studie verdeutlicht anhand eines konkreten Anwendungsfalles das Einsparpotenzial, das Verbrauchsfeedbacksysteme unter günstigen Bedingungen (zeitnah und konkret; Verbrauch direkt von den Nutzern beeinflussbar) erzielen können. Die beiden energieintensivsten Bereiche im Haushalt – Raum- und Warmwasserheizung – machen zusammen 85% des Haushaltsenergiebedarfs aus. Dennoch widmen Konsumentinnen und Konsumenten diesen beiden Bereichen vergleichsweise geringe Aufmerksamkeit; auch der Fokus von Energiesparkampagnen zielt oft auf andere Bereiche (z.B. Beleuchtung, Unterhaltungselektronik, Standby) ab.

Wie schon in der Pilotstudie⁷ festgestellt, sind mögliche Erklärungen für den aussergewöhnlich starken Spareffekt von 23% die grosse Einflussmöglichkeit der Nutzerinnen und Nutzer auf den Verbrauch, die unmittelbar zu beobachtende Wirkung einer Verhaltensänderung direkt am Ort der Handlung, die einfache Verständlichkeit des Kontextes und der klare Bezug des Feedbacks zur eigenen Person.

Teilaspekte der Studie wurden bereits beim Kongress SSES 2013 (Swiss Society of Economics and Statistics) „The Energy Transition and its Challenges“ vorgestellt, zwei weitere Konferenzbeiträge folgen im November 2013: Energy Informatics (Wien) und BECC (Sacramento). Das Forscherteam führt aktuell noch weitere Analysen durch und bereitet die Daten auf

⁶ <http://www.energiestiftung.ch/files/downloads/energiethemen-erneuerbareenergien-wind-windenergieschweiz/faktenblatt-windenergie-050312.pdf>, Abruf 07.10.2013

⁷ http://www.bitstoenergy.ch/wp-content/uploads/2010/06/Amphiro_Bits-to-Energy_BFE_Report_2011_07_29_DE.pdf, Abruf 03.10.2013

zur weiteren Veröffentlichung in namhaften internationalen wissenschaftlichen Zeitschriften. Neben der hier beschriebenen 2-monatigen Studie ist seit November 2012 derzeit noch eine weitere, mindestens 1-jährige Langzeitstudie im Gange, um die Langzeitwirkung des Gerätes zu untersuchen.

Für weitere praktische Implikationen der Studie für Politik und Gesellschaft möchten wir auf den BFE-Bericht zur Studie verweisen, der im Laufe des nächsten Jahres veröffentlicht wird.

