

STROMVERBRAUCHSMESSUNGEN IN MIETSWOHNUNGEN: IST TRANSPARENZ DER SCHLÜSSEL FÜR ENERGIEBEWUSSTSEIN UND EINSPARUNGEN?

Stefanie KÖNEN, Lukas HILGER, Tobias REHM, Leon PETERSEN,
Thorsten SCHNEIDERS

Technische Hochschule Köln, Betzdorfer Str. 2, 50679 Köln, Deutschland,
+49 221 8275 4405, stefanie.koenen@th-koeln.de, www.th-koeln.de

Kurzfassung:

Dieser Beitrag beschreibt die Untersuchung, inwiefern Echtzeit-Visualisierungen auf mobilen Endgeräten dazu beitragen können, das Energiebewusstsein zu fördern und individuelle Stromverbrauchsgewohnheiten nachzuvollziehen und möglicherweise zu verändern. Ein empirischer Feldtest wird mit Haushalten in Mietwohnungen durchgeführt. Dieser bietet, basierend auf technischen Neuerungen, direktes und indirektes Stromverbrauchs-Feedback an die Teilnehmenden. Einerseits über eine Smartphone-App und andererseits mithilfe von Langzeitmessungen an digitalen Stromzählern. Das Forschungsdesign umfasst, neben den technischen Messungen, Methoden der qualitativen Sozialforschung. Ziel ist es, die Nutzenden für ihr individuelles Stromverhaltensverhalten zu sensibilisieren. Untersucht wird, ob die Visualisierung genutzt wird, wie sie interpretiert wird, ob Veränderungsbedarfe identifiziert werden und Handlungsbereitschaft entsteht. Der Forschungsansatz mit einer kleinen Zielgruppe ermöglicht es, soziale Phänomene im realen Kontext zu erfassen, Vertrauen aufzubauen und tiefere Einblicke in komplexe menschliche Verhaltensweisen in Zusammenhang mit ihrem Nutzerverhalten zu gewinnen.

Keywords: Stromverbrauchsmessungen, Energieverbrauchstransparenz, Energiebewusstsein, (Verbrauchs-)Sensibilisierung, Energieeffizienz, Feedbackmechanismen, Handlungsbereitschaft

1 Einleitung

Kommunikation ist ein Schlüsselement, um die breite Unterstützung und das erforderliche Engagement für die Energiewende in der Gesellschaft zu gewinnen. Die Verwendung von Energie, ihre verschiedenen Formen, ihr Vorkommen und Energiemengen, werden in der Bevölkerung nicht immer klar definiert oder verstanden. Dies zeigen auch erste Workshops und Umfragen im Rahmen des Forschungsprojekts *MEnergie – Meine Energiewende*. Das im 7. Energieforschungsprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderte Projekt erfasst für die Bevölkerung wesentliche Themen der Energiewende. Mit partizipativen Methoden werden Ansatzpunkte für eine verbesserte Kommunikation zur Bewusstseinsbildung und mit dem Ziel der Erhöhung der Handlungsbereitschaft entwickelt. [1, 2]

In der ersten Phase des Projektes zeigten insgesamt acht Workshops in drei unterschiedlichen Zielgruppen-Konstellationen mit über 60 Teilnehmenden sowie diverse Ad-hoc-Interviews im Feld, dass der Fokus der teilnehmenden Personen bei Energiewendethemen auf der elektrischen Energie im Haushalt liegt. Energie wird in der Regel mit elektrischem Strom gleichge-

setzt. Gleichzeitig kann festgestellt werden, dass nur wenige Teilnehmende sich über den eigenen Stromverbrauch im Klaren sind. Die Kosten können selten exakt und auf Anhieb beziffert werden. Trotzdem sprechen die Menschen von finanziellen Belastungen durch gesteigerte Energiekosten [3] und teilweise von der eigenen Motivation, Energie für den Klimaschutz einzusparen zu wollen [2].

Diverse Studien haben bereits gezeigt, dass durch die Visualisierung von Stromverbrauchsdaten Einsparungen von 5 bis 20 % möglich sind [4–7]. Grundlegend wird zwischen indirektem und direktem Stromverbrauchs-Feedback unterschieden [7]. Indirektes oder auch historisches Feedback sind Rückmeldungen über bereits erfolgte Energieverbräuche. Direktes Feedback hingegen bezieht sich auf die Visualisierung der Energieverbräuche in Echtzeit. Dem direkten Feedback werden in diesem Kontext höhere Einsparmöglichkeiten nachgewiesen [8]. Der Fokus der Studien liegt in der Regel auf den quantifizierbaren Einsparpotenzialen, während die Auswirkungen der Digitalisierung auf das individuelle Nutzerverhalten und die Akzeptanz dieser Veränderungen in den Hintergrund treten. Abstrakte Größen, z.B. die Kilowattstunde (kWh), werden durch Graphen und Zahlen auf mobilen Endgeräten und in Web-Applikationen erfassbar und begreiflich gemacht. Diese Sichtbarmachung ermöglicht eine individuelle Ansprache der Nutzenden und damit die individuelle Möglichkeit, die eigenen Stromverbräuche direkt dem eigenen Verbrauchsverhalten bzw. den Geräten im Haushalt zuzuordnen. Die Menschen können die Nutzung ihrer Geräte nachvollziehen und werden möglicherweise dazu bewegt, Energie einzusparen. Als Motivatoren werden soziale, finanzielle sowie ideelle Anreize genannt [9].

Mit dem Einbau digitaler Stromzähler im Rahmen des beschlossenen Smart-Meter-Rollouts begegnet die deutsche Bundesregierung den technischen Anforderungen der Energiewende. Es wird eine digitale Infrastruktur geschaffen, die diverse Mehrwertdienste ermöglicht, darunter die digitale Anzeige des Stromverbrauchs, die Einführung dynamischer Stromtarife und langfristig ein flexibles Steuerungsmanagement von Verbrauchern und Erzeugungsanlagen [10]. Allerdings sieht der Rollout-Plan in Deutschland den Einbau von Smart Metern erst ab einem Jahresstromverbrauch von 6.000 kWh vor [11]. Viele Einfamilienhäuser und Mietswohnungen fallen unter diese Grenze und profitieren zunächst nicht von den o.g. Mehrwertdiensten. Auch die Option zur Einsicht detaillierter Verbrauchsdaten (Versand der Viertelstundenwerte an den Netzbetreiber und Einsicht über Webportal), wie es im Nachbarland Österreich vorgesehen ist, steht in Deutschland nicht zur Verfügung [12].

Vor diesem Hintergrund wird in diesem Beitrag untersucht, ob Echtzeit-Visualisierungen auf mobilen Endgeräten, einen Beitrag zur Förderung des Energiebewusstseins leisten können. Die Einbeziehung der Nutzenden ist notwendig, da nicht allein durch die zur Verfügung gestellten Smart-Meter-Daten, Energie eingespart wird. Die Interaktion mit den Bewohnenden ist essenziell [13]. Die Forschungshypothese ist, dass die eigenen Energiegewohnheiten besser verstanden und auch hinterfragt werden, wenn sie für Nutzende direkt sichtbar sind und den elektrischen Verbrauchern im Haushalt zugeordnet werden können. Damit ergibt sich folgende Forschungsfrage:

Entsteht aus dem verbesserten Verständnis ein Bewusstsein für den individuellen Stromverbrauch und eine Reflexion bis hin zu Veränderungen der individuellen Nutzergewohnheiten?

Ziel ist es, diese Forschungsfrage mit einem empirischen Feldtest in realen Mietswohnungen zu untersuchen. Neben der technischen Datenerfassung aus einer Messkampagne wird mit

Methoden der qualitativen Sozialforschung die Auswirkung des direkten Feedbacks auf die Nutzenden erfasst. Nach Stille et. al. können die Vorteile der dynamischen Stromtarife nur ankommen, wenn die Nutzung der smarten Systeme durch die Menschen funktioniert. Die Verbraucherinnen und Verbraucher stehen im Mittelpunkt [14]. Ob und wie die Haushalte die Visualisierung ihrer individuellen Stromverbräuche nutzen und inwiefern sich das Energieverbrauchsverhalten verändert wird mit Leitfadeninterviews untersucht. Der empirische Feldtest wird im folgenden Kapitel näher beschrieben.

2 Methodik – empirische Feldforschung technisch und sozial

Basierend auf den ersten Ergebnissen aus Workshops und Umfragen, hat das inter- und transdisziplinäre Forschungsteam im Projekt *MEnergie* Feldtests zur Analyse des Stromverbrauchs in Mietwohnungen durchgeführt. Zur Umsetzung der Feldtests wurde ein Forschungsdesign entwickelt, welches sowohl technische als auch soziologische Aspekte berücksichtigt (s. Abbildung 1). Ziel ist es, die teilnehmenden Haushalte durch den Einsatz von Messtechnik, die mit modernen digitalen Stromzählern ausgestattet sind, über ihre individuellen Stromverbräuche zu sensibilisieren. Über eine Applikation werden auf dem Smartphone die Verbrauchsdaten visualisiert und stehen als direktes Feedback zur Verfügung. Mit Methoden der qualitativen Sozialforschung werden die Nutzung und der Nutzen des direkten Feedbacks untersucht. Das ermöglicht den Forschenden Rückschlüsse auf die Wirkung und mögliche Veränderungen im Energiebewusstsein der Teilnehmenden zu ziehen.

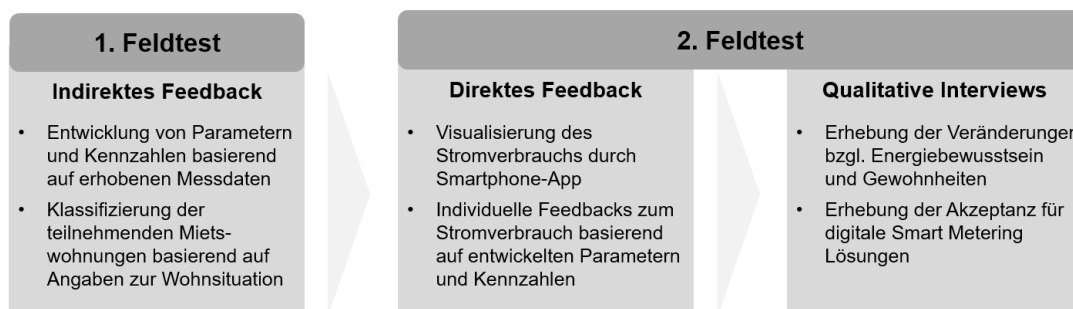


Abbildung 1: Forschungsdesign und Methodik-Bausteine für die Umsetzung des Feldtests

Im Sommer 2023 fand zunächst ein erster Feldtest mit dem Fokus auf indirektes Feedback statt (s. Kapitel 2.1). Ziel dieses Feldtests war, zunächst grundlegende Informationen über den Stromverbrauch und Einflussfaktoren auf den Stromverbrauch von Haushalten in Mietwohnungen zu identifizieren. Im Winter 2023/2024 wurde ein zweiter Feldtest mit dem Fokus auf direktes Feedback gelegt (s. Kapitel 2.2). Aufbauend auf den beiden Feldtests sollen anhand von qualitativen Interviews die Auswirkungen des indirekten und direkten Feedbacks untersucht werden (s. Kapitel 2.3).

2.1 Feldtest zu indirektem Feedback

Im Rahmen des ersten Feldtests wurden die Gesamtstromverbräuche mehrere Haushalte aufgezeichnet und ausgewertet. Ein Haushalt ist definiert als eine soziale Einheit bestehend aus einer Familie bzw. Gruppe von Menschen, die zusammenleben und bestimmte wirtschaftliche, soziale und familiäre Beziehungen teilt. Ein Haushalt kann in verschiedenen Wohnformen existieren. Hier sind es Wohnungen in einem Mehrfamilienhaus im urbanen Raum. [15]

Die Datenerhebung erfolgte im Zeitraum vom 01.05.2023 bis zum 31.05.2023 und fand in unterschiedlichen Haushalten in fünf Mietwohnungen eines Mehrfamilienhauses aus dem Baujahr 2018 im Stadtgebiet Köln statt (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Informationen zum Messobjekt und Wohnungen

Gebäudeart	Standort	Baujahr	Anzahl Wohnungen
Mehrfamilienhaus	Stadtgebiet Köln	2018	10
n = 5	Fläche [m ²]	Anzahl Bewohnende	davon < 18 Jahre
Wohnung 1	75	2	1
Wohnung 2	109	5	3
Wohnung 3	109	3	1
Wohnung 4	109	4	2
Wohnung 5	95	3	1

Die analysierten Haushalte variieren sowohl hinsichtlich der Wohnungswohnfläche (75 m² bis 110 m²) als auch der Haushaltsgröße (zwei bis fünf Personen). Das Mehrfamilienhaus wird durch eine zentrale Pellet-Heizungsanlage versorgt. Die Warmwasserbereitstellung in den Wohnungen erfolgt dezentral und elektrisch über Durchlauferhitzer.

Zur Erfassung der Daten wurden Sensoren mit optischen Impulszählern zur Auslesung von Stromzählern über die Infrarot-Schnittstelle der modernen digitalen Stromzähler verwendet. Der örtliche Messstellenbetreiber stellt die individuelle Zähler-Pin pro Haushalt bereit, damit die aktuelle Leistungsaufnahme und zurückliegende Leistungswerte abgelesen werden können. Das verwendete Messsystem¹ ist für kurz- und mittelfristige Messkampagnen ausgelegt und ermöglicht die Aufzeichnung und Speicherung der Stromverbrauchsdaten in einer Auflösung von einer Minute. Das Messsystem besteht aus dem optischen Sensor, einem Transmitter und einer Homebase (s. Abbildung 2).



Abbildung 2: Messaufbau des ersten Feldtests (optischer Impulszähler und Transmitter)

¹ Verwendet wurde ein mobiles Messsystem der Fa. Smart Cost.

Im ersten Feldtest wurden Messungen an einzelnen elektrischen Geräten in den Wohnungen durchgeführt. Dazu wurden mittels einphasigen Energieverbrauchszählern (Stecker für Schutzkontakt-Steckdose) unter anderem Kühlschränke, Spülmaschinen, Waschmaschinen, Kaffeemaschinen und Warmwasseruntertischgeräte erfasst. Die messtechnische Erfassung dieser elektrischen Geräte unterlag technischen und baulichen Einschränkungen (siehe auch Kap. 3.2.). Die Ergebnisse der Einzelverbrauchermessungen wurden den Teilnehmenden am Ende der Messkampagne präsentiert.

2.2 Feldtest zu direktem Feedback

Auf Basis der ersten Messkampagne wird ein zweiter, vertiefender Feldtest im gleichen Gebäude durchgeführt. Im Fokus steht dabei die fortlaufende Echtzeit-Visualisierung der Stromverbräuche über eine Smartphone-App für die Teilnehmenden sowie eine erweiterte sozialwissenschaftliche Erhebung mit Methoden der Qualitativen Sozialforschung. Über Leitfadenterviews wird erfasst, inwiefern sich die Echtzeit-Visualisierung der Stromverbräuche auf das Nutzerverhalten der Teilnehmenden auswirkt.

Im Zeitraum vom 01.12.2023 bis zum 31.01.2024 steht die Echtzeit-Visualisierung der Stromverbrauchsdaten auf mobilen Endgeräten im Fokus. Dazu wird ein System zur Auslesung digitaler Stromzähler über die Info-DSS-Schnittstelle (D0-Lesekopf) verwendet (s. Abbildung 3)². Das System besteht aus optischem Auslesekopf und einer Bridge. Der Auslesekopf erfasst den aktuellen Leistungsbezug und überträgt die ausgelesenen Daten über eine Funkverbindung an die Bridge. Diese ist mit einem Router verbunden, der die Übertragung der Daten auf einen Server sicherstellt. Die Stromverbrauchsdaten werden den Teilnehmenden des Feldtests als Live-Daten in einer Smartphone-App zur Verfügung gestellt (Direktes Feedback).



Abbildung 3: Links: Messaufbau mit beiden Systemen aus Feldtest 2, rechts: Visualisierung in Smartphone-App

² Verwendet wurde der Pulse IR der Fa. Tibber Deutschland GmbH

Darüber hinaus werden die Stromverbräuche der Wohnungen erneut mit dem in Kapitel 2.1. beschriebenen Messsystem erfasst. Diese Auslesung dient zum einen dem Vergleich mit den historischen Verbrauchswerten der ersten Messkampagne. Zum anderen bietet das System mit optischem Lesekopf eine Funktion zum Datenexport und ist damit essenziell für die wissenschaftliche Auswertung und Verarbeitung.

In der Smartphone-App stehen für die Teilnehmenden verschiedene Funktionen und Informationen zur Verfügung. Einerseits werden die Stromverbrauchsdaten wahlweise in Zeiträumen von 24 Stunden, 6 Stunden oder 1 Stunde bzw. von 5 Minuten visualisiert (s. Abbildung 3). Nutzende können sich auch den täglichen Stromverbrauch in Kilowattstunden (kWh) sowie zur Maximalleistung in Watt (W) anzeigen lassen.

Eine Funktion zur Disaggregation des Gesamtstromverbrauchs auf einzelne elektrische Verbraucher, steht in der App nicht zur Verfügung. Die teilnehmenden Haushalte erhalten nach der Hälfte des Feldtests ein individuelles Stromverbrauchs-Feedback. Die dort enthaltenen Kennzahlen und Grafiken basieren auf den ausgewerteten Daten und Ergebnissen des ersten Feldtests und stellen eine Form des indirekten Feedbacks dar (s. Kapitel 3 Ergebnisse).

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass im Feedbackgespräch sowie der Darstellung in der individuellen Verbrauchsinformation sensibel mit den Daten und Vergleichen umgegangen werden muss. Besonders herausfordernd ist, dass die teilnehmenden Haushalte unter einem Dach leben und sich untereinander kennen. Die ethischen Grundprinzipien empirischer Sozialforschung werden reflektiert und gewahrt. [16]

2.3 Qualitative Sozialforschung – Leitfadeninterviews

Im dritten Teil des Forschungsvorhabens werden mithilfe von Leitfadeninterviews Veränderungen bzgl. des Energiebewusstseins und der Gewohnheiten erhoben. Die qualitative Sozialforschung ist eine Forschungsmethode mit Wurzeln in den Sozialwissenschaften. Im Rahmen dieses empirischen Feldtestes kommen neben den technischen Messungen, Methoden qualitativer Sozialforschung zum Einsatz. Sie zielen darauf ab, menschliches Verhalten, Einstellungen und Meinungen in Zusammenhang mit der Visualisierung von Stromverbräuchen zu erfassen. Dabei ist der Mensch nicht nur ein Untersuchungsobjekt, sondern auch ein erkennendes Subjekt [16]. Um relevante und aussagekräftige Forschungsergebnisse zur Nutzung von Maßnahmen zu erhalten, sind die Nutzenden einzubeziehen [17].

In diesem Forschungsdesign wird mit einer sehr kleinen Zielgruppe gearbeitet. Die Erfassung der Daten im natürlichen Umfeld der Teilnehmenden ermöglicht, soziale Phänomene in ihrem realen Kontext zu verstehen. Die Forschenden können Vertrauen zu den Teilnehmenden aufbauen und eine tiefe Einsicht in die sozialen Dynamiken erhalten. Menschliches Verhalten und soziale Phänomene sind komplex und vielschichtig. Der Einsatz qualitativer Methoden kann diese Komplexität erfassen und Zusammenhänge berücksichtigen, in denen sich Verhalten und soziale Ereignisse abspielen.

Die Einblicke in die subjektiven Erfahrungen und Nutzung der App zur Visualisierung von Stromverbräuchen ermöglicht, die Forschungshypothesen zum Einsatz neuer Technologien im realweltlichen Kontext zu überprüfen.

Qualitative Interviews und Beobachtungen versetzen die Interaktionspartnerinnen und -partner in die Lage, sich gedanklich in die Position des jeweils anderen hineinzusetzen. Damit eröffnet sich den Forschenden die Möglichkeit, tief in die Lebenswelten der Beteiligten einzutauchen und die Perspektiven besser zu verstehen.

Das Leitfadeninterview ist in der qualitativen Sozialforschung eine Möglichkeit, im Spannungsfeld von notwendiger Offenheit und gleichzeitig Strukturiertheit, die für die Vergleichbarkeit von Befunden benötigt wird, valide Ergebnisse zu erzielen. Die Strukturierung erfolgt durch den Leitfaden. [18] Dieser wird mit den technischen Messergebnissen und vorliegenden Daten aus den Feldtests 1 und 2 konzipiert. Deduktiv werden die Themen und Fragen des Interviews hergeleitet. Dazu werden die Ergebnisse aus den technischen Messungen zusammengefasst, und Vorannahmen entwickelt. Diese werden kategorisiert und in Fragen für das Interview überführt. Diese Fragen sind offengehalten und fordern die Befragten dazu auf, frei zu erzählen. [19]

3 Ergebnisse

Der Schwerpunkt dieses Beitrages liegt auf parameterbasierten Analysen auf Basis der Messdaten des ersten durchgeführten Feldtests. Dazu werden relevante Parameter abgeleitet und zum energetischen Vergleich der Wohnungen herangezogen (s. Kapitel 3.1). Die entwickelten Parameter bilden die Grundlage für ein individuelles Energieverbrauchsfeedback sowie für die Konzeption von Leitfadeninterviews.

Die bisherigen Erkenntnisse aus den beiden Feldtests (s. Kapitel 3.2) sollen in die weitere Forschungsarbeit im Rahmen der Leitfadeninterviews einfließen (s. Kapitel 3.3).

3.1 Auswertung Feldtest zu indirektem Feedback

3.1.1 Herleitung von Parametern

Auf Basis der Datenauswertung des ersten durchgeführten Feldtests konnten mehrere Parameter identifiziert werden, die eine Einordnung der Stromverbräuche und einen energetischen Vergleich zwischen den unterschiedlichen Haushalten ermöglichen (s. Tabelle 2).

Tabelle 2: Hergeleitete Parameter basierend auf den erhobenen Messdaten

Parameter	Einheit	Beschreibung	Herleitung/Bestimmung	Anwendungszweck
E_x	[kWh/p.P.]	Stromverbrauch pro Person (Woche, Monat, Jahr)	Bestimmung über arithmetisches Mittel; Nutzerzentrierte Indikatoren basierend auf Anzahl der Personen	Einordnung der Gesamtverbräuche mit vergleichbaren Wohnungen sowie der Literatur [20]
P_{base}	[W]	Durchschnittliche Grundlast der Wohnung	Berechnung der mittleren Grundlast in zwei Iterationsschritten	Für Bestimmung des Grundlast-Anteils und Benchmarking
k_{base}	[-]	Grundlast-Anteil	Grundlastverbrauch bezogen auf den Gesamtstromverbrauch in der Messreihe	Maß für den Anteil des Grundlastverbrauchs am Gesamtstromverbrauch
P_{peak}	[kW]	Aufgetretene Maximalleistung	Maximaler Wert in der aufgetragenen Datenreihe	Steigerung des Bewusstseins für Zeiträume mit hohem Stromverbrauch

Um einen nutzerzentrierten Indikator zu erhalten, werden die Ergebnisse anteilig pro Person bestimmt. Dies ermöglicht eine direkte Gegenüberstellung des Stromverbrauchs unabhängig von der Anzahl der Bewohnenden in dem jeweiligen Haushalt [21] [22].

Neben den hergeleiteten Parametern sind Äquivalenzrelationen (vergleichende Kennzahlen) hilfreich, um den Stromverbrauch einordnen zu können [22]. Das ist vor allem für das Feedback an die teilnehmenden Haushalte relevant, um die Zugänglichkeit zu der Einheit Kilowattstunde (kWh) zu erhöhen. Dafür können Vergleiche durch Umrechnung der Energiemenge in mögliche gefahrene Kilometer (km) mit dem PKW oder verbrauchte Menge an CO₂ dienen.

3.1.2 Parametervergleich der Wohnungen

Anhand der hergeleiteten Parameter können die Wohnungen untereinander verglichen werden (s. Abbildung 4). Der Parametervergleich zeigt, dass der durchschnittliche wöchentliche Stromverbrauch pro Person deutlich variiert. Haushalt 3 hat den höchsten Stromverbrauch pro Kopf, gefolgt von Haushalt 5 und Haushalt 4. Die geringsten Stromverbräuche weisen Haushalt 2 und Haushalt 1 auf.

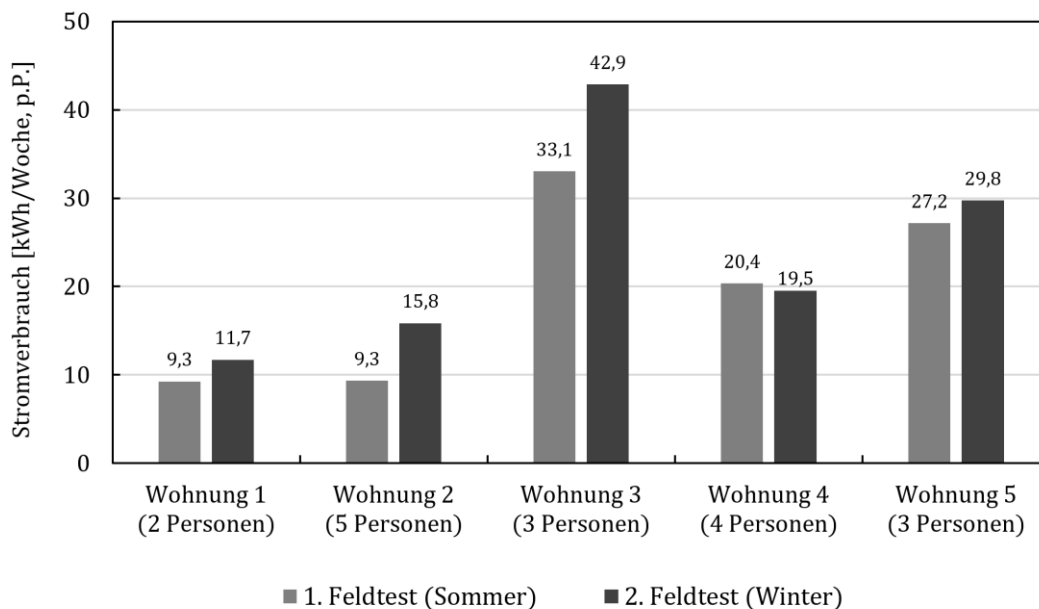


Abbildung 4: Vergleich durchschnittlicher Stromverbrauch pro Woche und pro Person

Beim Vergleich der Ergebnisse aus Feldtest 1 und Feldtest 2 fällt auf, dass bei den Haushalten 1, 2, 3 und 5 der Stromverbrauch pro Kopf gestiegen ist. Dies kann an dem saisonalen Einfluss liegen, der zu einer Veränderung des Stromverbrauchs führt. In Wohnung 4 hat sich der Stromverbrauch seit Erhebung im ersten Feldtest leicht verringert. Die leichte Einsparung könnte unter anderem darauf zurückzuführen sein, dass dort eine Sensibilisierung hinsichtlich des eigenen Stromverbrauchs erfolgt ist, die Veränderungen im Verbrauchsverhalten geführt hat. Dies geht aus ersten Gesprächen hervor, die in der Hälfte des zweiten Feldtestes durchgeführt wurden und das Interview bietet die Möglichkeit die Hintergründe tiefergehend zu erforschen.

Ein bekannter Effekt ist auch, dass mit steigender Personenzahl im Haushalt der Stromverbrauch pro Kopf sinkt, da die elektrische Grundausstattung der Haushalte weniger stark ins Gewicht fällt [20]. Dieser Effekt ist in den Haushalten 2-5 zu beobachten, während Haushalt 1 mit zwei Personen und gleichzeitig geringem Pro-Kopf-Verbrauch einen Ausreißer darstellt.

P_{base} erlaubt einen Vergleich der Grundlast zwischen den Wohnungen (s. Abbildung 5). Die Wohnungsgröße sowie die Wohnfläche können die Grundlast zwar beeinflussen, relevant sind jedoch elektrische Geräte mit hohen Vollbenutzungsstunden [23]. Die Grundlast wird daher hier nicht pro Kopf ausgewertet.

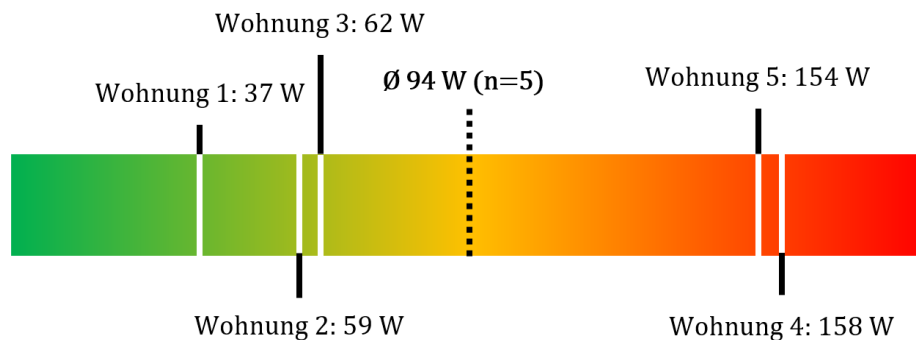


Abbildung 5: Vergleich der berechneten Grundlast P_{base}

Die Grundlast der einzelnen Wohnungen kann mit dem Mittelwert verglichen werden. Auf dieser Basis können erste Rückschlüsse zu Einsparmöglichkeiten gezogen werden und die teilnehmenden Wohnungen können aus dem Vergleich Rückschlüsse auf das eigene Stromverbrauchsverhalten ziehen. Zwei Wohnungen im untersuchten Gebäude haben eine höhere Grundlast als der Durchschnitt. In der Literatur liegt ein Parameter für die berechnete Grundlast nicht vor, was die Einordnung in einen Gesamtkontext erschwert. Fest steht jedoch, dass eine Grundlast nicht zwangsläufig zu einem hohen Stromverbrauch führt (s. Wohnung 4). Um den Anteil der Grundlast am Gesamtstromverbrauch zu ermitteln, bietet sich deshalb an, den Grundlast-Anteil näher zu analysieren (s. Abbildung 6).

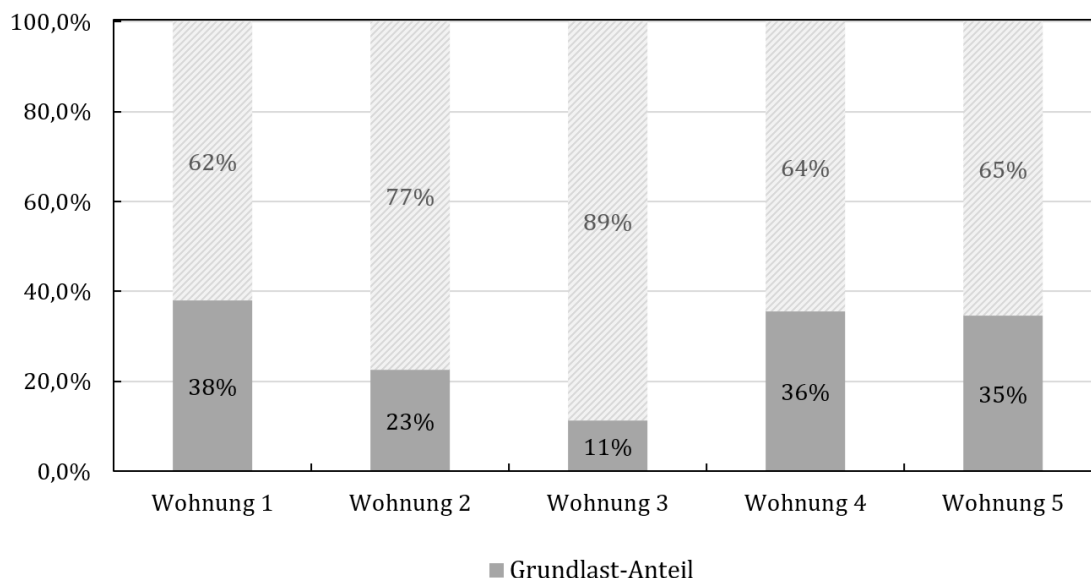


Abbildung 6: Vergleich Grundlast-Anteil zum Gesamtstromverbrauch

Der Grundlast-Anteil der einzelnen Wohnungen weicht stark voneinander ab. In Wohnung 1 werden 38 % des gesamten Stromverbrauchs im Messzeitraum durch die Grundlast erzeugt, wohingegen in Wohnung 3 nur 11 % durch die Grundlast zum Stromverbrauch beitragen.

3.2 Erste Erkenntnisse aus den Feldtests

Die ersten Rückmeldungen der Teilnehmenden zur Nutzung der App sind überwiegend positiv. Hervorgehoben wird z.B. das direkte Verbrauchsfeedback durch die App-Visualisierung, wodurch der Stromverbrauch spielerisch verstanden und eigenständig optimiert werden kann. Darüber hinaus konnte das Verständnis für Lastspitzen geschärft und deren Ursachen weitgehend ermittelt werden. Zu überprüfen ist es, ob in anschließenden Leitfadeninterviews ein gesteigertes Bewusstsein und Verständnis für Stromverbrauch nachgewiesen werden kann. Die intensive Betreuung und enge Zusammenarbeit haben weitere positive Effekte. Die Mietenden nehmen gerne an den Messungen teil, sind interessiert und stets gesprächsbereit. Zwar scheint das Thema Energieeffizienz sowie das Verständnis für den Stromverbrauch keine große Rolle zu spielen, dennoch konnten bereits in ersten ad-hoc-Gesprächen und zufälligen Begegnungen Verhaltensänderungen und eine gesteigerte Aufmerksamkeit beobachtet werden. Auch wurde bereits in effizientere Geräte investiert und Steckerleisten wurden installiert, um Standby-Verbraucher abzuschalten.

Es gab auch negative Rückmeldungen, z.B. aufgrund von Verbindungsproblemen des Routers. So war zeitweise keine Echtzeit-Visualisierung der Daten in der App möglich. Diese Erreichbarkeitsprobleme traten gerade in der Anfangsphase der Studie auf und eine Teilnehmerin gab an, dadurch das Interesse an der App verloren zu haben.

Der technische Messaufbau und die damit verbundene Auslesung der Stromzähler war herausfordernd. Aufgrund der Lage aller Zähler im Keller gab es kurzzeitige Probleme mit der Empfangsstärke der Internetverbindung, was zu Beeinträchtigungen beim Hochladen der Messdaten in die erforderliche Cloud führte. Die Internetverbindung konnte nur über einen Mobilfunkrouter bereitgestellt werden. Während dem ersten und zweiten Feldtest kam es zu Verbindungsabbrüchen und Datenverlusten (Datenvollständigkeit ca. 90%). Weiterhin hat sich während des ersten Feldtests gezeigt, dass die Abhängigkeit von der Teilnahmebereitschaft und der Erreichbarkeit der Bewohnerinnen und Bewohner (u.a. für Einzelverbrauchermessungen) eine Herausforderung darstellt. Aus diesem Grund kam im zweiten Feldtest eine Echtzeit-Visualisierung mit Smartphone-App zum Einsatz.

Zu Beginn der Messungen mussten die Teilnehmenden teilweise mehrfach auf die App und die Zugangsdaten aufmerksam gemacht werden. Die Frage, ob ein geringes Interesse am Thema besteht, bleibt im Rahmen der Leitfadeninterviews zu überprüfen. Grundlegend ist aber davon auszugehen, dass die teilnehmenden Haushalte sehr interessiert an den Daten und Ergebnissen sind, zumal sie sonst einer freiwilligen Teilnahme wohl kaum zugestimmt hätten. Für den Umgang mit direktem Stromverbrauchsfeedback über eine Smartphone-App müssen die Nutzenden über ein solches Endgerät verfügen. Eine am Feldtest interessierte Person schied durch diese Voraussetzung grundsätzlich aus und konnte nicht teilnehmen.

Für die Auswertung der Daten aus beiden Feldtests müssen die Messzeiträume berücksichtigt werden. Es wurden lediglich Kurzzeitmessungen von vier bis acht Wochen durchgeführt. Diese Messungen stellen eine Momentaufnahme des Stromverbrauchs dar und saisonale Einflüsse können nur bedingt berücksichtigt werden. Durch Korrekturfaktoren aus der Literatur kann eine saisonale Korrektur der Messwerte einer Kurzzeitmessung vorgenommen werden [21]. Es ist jedoch zu beachten, dass Langzeitmessungen notwendig sind, um dies zu validieren. In den weiterführenden Forschungsarbeiten sind die aufgezeigten Tendenzen in Hypothesen zu überführen und im Rahmen von Leitfadeninterviews zu testen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Diese Forschungsarbeit beschäftigt sich mit der Frage, ob das Energiebewusstsein durch direktes und indirektes Feedback über den Stromverbrauch gefördert und individuelle Gewohnheiten hinterfragt verändert werden können. Dazu wurden im Zuge eines empirischen Feldtests Stromverbrauchsmessungen in einem Mehrfamilienhaus durchgeführt. Auf der Basis der erhobenen Messdaten erhielten die Teilnehmenden direktes (in Echtzeit) und indirektes Feedback ihrem individuellen Stromverbrauch (mittels Feedbackbogen).

Auf der Grundlage der erfassten Stromverbrauchsdaten wurden mehrere Parameter zum energetischen Vergleich der Wohnungen entwickelt. Der Parametervergleich unter den am Feldtest beteiligten Wohnungen verdeutlicht trotz der Verwendung relativer Parameter die energetischen Unterschiede. Die entwickelten Parameter helfen, verschiedene Wohnungen anhand von Kennzahlen miteinander zu vergleichen. Darüber hinaus können die Kennzahlen, wie z.B. der Grundlast-Anteil oder der Verbrauch pro Person, als Feedback genutzt werden. Diese Parameter können die Haushalte unterstützen, um Ihren Stromverbrauch besser zu verstehen und gegenüber anderen Haushalten einzuordnen. Dies wurde im Rahmen eines Feedbackbogen im zweiten Feldtest umgesetzt.

Die Wirksamkeit der Feedbacks zum Stromverbrauch sind im weiteren Verlauf der Forschungsarbeit durch Leitfadeninterviews mit den Teilnehmenden zu überprüfen. Die bisherigen Erkenntnisse und die Auswertung umfassender Literatur haben bereits gezeigt, dass ein direktes Feedback von Stromverbräuchen durch eine ansprechende Visualisierung zur Steigerung des Energiebewusstsein führen kann. Neben technischen Aspekten werden in den Forschungsarbeiten auch soziale und individuelle Faktoren zu berücksichtigen. Vor diesem Hintergrund greifen die Leitfadeninterviews folgende Fragenkategorien auf (s. Tabelle 3):

Tabelle 3: Fragenkategorien der Leitfadeninterviews

Fragenkategorien	Zentrale Fragen
Motivation	<ul style="list-style-type: none"> • Welches Interesse besteht am Feedback zum Stromverbrauch? • Warum beteiligen sich die Haushalte an der Studie? • Welche Erwartungen haben die Teilnehmenden?
Wahrnehmung	<ul style="list-style-type: none"> • Wie nehmen die Haushalte das Feedback (direkt und indirekt) wahr? • Ist es inspirierend sich mit den eigenen Stromverbräuchen zu beschäftigen? • Macht die App Freude? • Gibt es Überraschungen?
Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> • Wie bewerten die Haushalte das Feedback? • Wie wird der eigene Stromverbrauch eingehordnet? • Können bestimmte Geräte zugeordnet werden? • Kann Verhalten abgeleitet werden?
Wirkung	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Wirkungen hat die Visualisierung der Stromverbräuche? • Welche Gefühle werden ausgelöst? • Sind Änderungen wünschenswert?
Handlungsbereitschaft	<ul style="list-style-type: none"> • Werden Maßnahmen zum Einsparen geplant? Umgesetzt? • Gibt es Änderungen im Stromverbrauchsverhalten?

Die aktuellen Stromverbrauchsmessungen liefern den Haushalten durch Transparenz neue Erkenntnisse über den eigenen Stromverbrauch. Sie legen einen Grundstein für das Verständnis und die Nutzung zukünftiger Smart Meter-Anwendungen. Die direkten und indirekt Feedbacks leisten einen wichtigen Beitrag zur Bewusstseinsbildung. Sie haben das Potenzial, den für die Energiewende wichtigen effizienten Umgang mit Energie sowie die allgemeine Akzeptanz eines bewussten Energieverbrauchsverhaltens zu steigern.

Danksagung

Wir danken dem 7. Energieforschungsprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) für die Förderung dieses Projektes *MEnergie – Meine Energiewende* (Förderkennzeichen: 03EI5223A).

5 Literatur

- [1] BMWK. "7. Energieforschungsprogramm: Förderfähige Gesellschaftsthemen im Überblick - energiesystem-forschung.de." Zugriff am: 18. Januar 2024. [Online.] Verfügbar: <https://www.energiesystem-forschung.de/forschen/energiewende-gesellschaft>
- [2] S. Könen, A. Karrenbrock und U. Blieske, "Society's Acceptance and Willingness to Act in the Context of the Energy Transition: Qualitative Survey Using the Example of Photovoltaics," (WIP-Munich) *40th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, 2023, doi: 10.4229/EUPVSEC2023/5DV.3.45.
- [3] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. "BDEW-Strompreisanalyse Juli 2023." [Online.] Verfügbar: <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreisanalyse/>
- [4] A. Podgornik, B. Susic und B. Blazic, "Effects of customized consumption feedback on energy efficient behaviour in low-income households," *Journal of Cleaner Production*, Jg. 130, S. 25–34, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.02.009.
- [5] M. Klobasa, J. Schleich und S. Gölz, "Welche Einspareffekte lassen sich durch Smart Metering erzielen: Ergebnisse eines Feldversuchs," in *Tagungsband EnInnov 2012*. Zugriff am: 23. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Events/Eninnov2012/files/lf/LF_Klobasa.pdf
- [6] E. Aydin, D. Brounen und N. Kok, "Information provision and energy consumption: Evidence from a field experiment," *Energy Economics*, Jg. 71, S. 403–410, 2018, doi: 10.1016/j.eneco.2018.03.008.
- [7] Zangheri, Serrenho und Bertoldi, "Energy Savings from Feedback Systems: A Meta-Studies' Review," *Energies*, Jg. 12, Nr. 19, S. 3788, 2019, doi: 10.3390/en12193788.
- [8] K. Carrie Armel, A. Gupta, G. Shrimali und A. Albert, "Is disaggregation the holy grail of energy efficiency? The case of electricity," *Energy Policy*, Jg. 52, S. 213–234, 2013. doi: 10.1016/j.enpol.2012.08.062. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421512007446>
- [9] M. Vetter, S. Haug, L. Baumann, C. Dotter und K. Weber, "EVEKT - Erhöhung der Verbraucherpartizipation an der Energiewende," 2023. Zugriff am: 24. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://opus4.kobv.de/opus4-oth-regensburg/frontdoor/deliver/index/docId/6035/file/EVEKT_OTH_Arbeitspapier_2.pdf

- [10] Bundesministerium der Justiz, *Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende: GNDEW*, 2023. Zugriff am: 29. November 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.recht.bund.de/bgbl/1/2023/133/VO.html>
- [11] Rödl & Partner. "Neustart für den Smart-Meter-Rollout." [Online.] Verfügbar: <https://www.roedl.de/themen/kursbuch-stadtwerke/2023/neustart-smart-meter-rollout>
- [12] Wiener Netze GmbH. "Ihre Optionen beim Smart Meter." [Online.] Verfügbar: <https://www.wienernetze.at/optionen>
- [13] K. Buchanan, R. Russo und B. Anderson, "Feeding back about eco-feedback: How do consumers use and respond to energy monitors?," *Energy Policy*, Jg. 73, S. 138–146, 2014. doi: 10.1016/j.enpol.2014.05.008. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.science-direct.com/science/article/pii/S0301421514002894>
- [14] K. S. Stille, *Energiemanagement von Haushaltsgroßgeräten: Intelligente Lastverschiebung mit Lastspitzenvermeidung* (Intelligente Technische Systeme - Lösungen aus dem Spitzencluster it's OWL). Berlin: Springer Vieweg, op. 2018.
- [15] Statistisches Bundesamt. "Haushalt: Definition." Zugriff am: 28. Januar 2024. [Online.] Verfügbar: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Haushalte-Familien/Glossar/haushalt.html>
- [16] S. Lamnek und C. Krell, *Qualitative Sozialforschung: Mit Online-Materialien*, 6. Aufl. Weinheim: Beltz, 2016. [Online]. Verfügbar unter: <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1116682>
- [17] L. M. Vaughn und F. Jacquez, "Participatory Research Methods – Choice Points in the Research Process," *Journal of Participatory Research Methods*, Jg. 1, Nr. 1, 2020, doi: 10.35844/001c.13244.
- [18] N. Baur und J. Blasius, Hg. *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (Springer VS Handbuch). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer VS, 2014. [Online]. Verfügbar unter: <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=970545>
- [19] Stefanie Vogt und Melanie Werner, "Forschen mit Leitfadeninterviews und qualitativer Inhaltsanalyse Skript," Script, FAKULTÄT FÜR ANGEWANDTE SOZIALWISSENSCHAFTEN, TH Köln, 2014. [Online]. Verfügbar unter: https://www.th-koeln.de/mam/bilder/hochschule/fakultaeten/f01/skript_interviewsqualinhaltsanalyse-fertig-05-08-2014.pdf
- [20] Anne Weißbach. "Stromverbrauch im Haushalt." Zugriff am: 30. Januar 2024. [Online.] Verfügbar: <https://www.co2online.de/energie-sparen/strom-sparen/strom-sparen-stroms-partipps/stromverbrauch-im-haushalt/>
- [21] F. C. Melo, G. Da Carrilho Graça und M. J. Oliveira Panão, "A review of annual, monthly, and hourly electricity use in buildings," *Energy and Buildings*, Jg. 293, S. 113201, 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113201.
- [22] T. Schmid, S. Dong und K. Kramer, "Nutzersensibilisierung für die Ressource Strom: Sensibilisierung für die Ressource Strom durch benutzernahe Visualisierung und interaktiven Wettbewerb," Technische Universität München - Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen, 2018. Zugriff am: 23. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.arc.ed.tum.de/fileadmin/w00cgv/klima/Publikationen/Berichte/Kurzbericht_Nutzersensibilisierung_DE.pdf
- [23] Verein Deutscher Ingenieure, *VDI 3807 - Blatt 4: Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude - Teilkennwerte elektrische Energie*, 2008.