

Mathias Dalheimer

Energiemanagement für Mietwohnungen mit Open-Source Smart Metern (EMOS)

F 2951

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2015

ISBN 978-3-8167-9578-0

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung

Energiemanagement für Mietwohnungen mit Open-Source Smart Metern (EMOS)

Abschlussbericht

Projektleitung:
Mathias Dalheimer
dalheimer@itwm.fhg.de

30. März 2015

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	4
2	Einleitung	11
2.1	Überblick über das Projekt	12
3	Projektkonzeption	14
3.1	Ersatz für den Chumby	15
3.2	Aufbau der Anzeigeeinheit	17
3.3	Herstellungskosten	20
3.4	Die ersten beiden Teilnehmerbefragungen	21
3.4.1	Vorgehensweise und Methoden	22
3.4.2	Festlegung von Untersuchungsthemen	23
3.4.3	Untersuchungsobjekte und ihre Merkmale	23
3.4.4	Merkmale von Mietern und Wohnungseigentümern	24
3.4.5	Merkmale von Gebäuden	25
3.4.6	Abhängige Variablen	25
3.4.7	Störvariablen	25
3.4.8	Arbeitshypothesen	26
3.4.9	Fragen	26
3.5	Entwurf des dritten Fragebogens	30
4	Projektresultate	32

4.1	Geräteinstallation	34
4.1.1	Softwareprobleme	34
4.1.2	Hardwareprobleme	36
4.2	Erhobene Messdaten	36
4.3	Raumklimadaten	39
4.4	Stromverbrauchsdaten	43
4.4.1	Erkennung von Geräten	46
4.4.2	Clustern von Teilnehmerhaushalten	48
4.5	Ergebnisse der Teilnehmerbefragung	51
4.5.1	Antwortverhalten	51
4.5.2	Analyse der Antworten	52
4.5.3	Erkenntnisse aus den Analysen	53
4.5.4	Zur Methodik der Kreuztabellen	73
4.5.5	Interpretation der Umfrageergebnisse	87
5	Fazit	88
5.1	Einordnung der Ergebnisse	88
5.2	Handlungsempfehlungen	90
5.2.1	Planerische Rahmenbedingungen	90
5.2.2	Technische Rahmenbedingungen	91
5.3	Ausblick	92
A	Schaltpläne	94
B	Klimazuordnung nach Leusden/Freymark	98

C Validierung der Arbeitshypothesen	99
C.1 Überprüfung der Hypothesen — Kosten	99
C.2 Überprüfung der Hypothesen — Sparpotential	100
C.3 Überprüfung der Hypothesen — Auswertung Messdaten	103
C.4 Überprüfung der Hypothesen — Vergleich verschiedener Nutzergruppen	104
D Bemerkungen zum Ordnungsrahmen	107
E Abweichungen vom ursprünglichen Projektplan	108

1 Kurzfassung

Das Projekt „Energiemanagement für Mietwohnungen mit Open-Source Smart Metern“ (EMOS) hatte zum Ziel, den Einsatz von Smart Metering-Techniken speziell in Mietwohnungen zu evaluieren. In Deutschland wohnt gut die Hälfte der Bevölkerung in Mietwohnungen. Das durchschnittliche Alter einer Mietwohnung beträgt rund 50 Jahre — das Modernisierungspotential ist enorm. Gleichzeitig haben Mieter oft keinen Einfluss auf Fassadendämmung, Erneuerung des Heizungssystems oder ähnliche Maßnahmen. Die Zielsetzung des Projektes ist daher, den Mietern Handlungsspielräume aufzuzeigen und gegebenenfalls auch Verhaltensänderungen herbeizuführen, die letztlich zu einer Reduktion des Energieverbrauchs führen.

Während des Projektes haben wir verschiedene Smart Meter sowohl für das Raumklima als auch für den Stromverbrauch in Testhaushalten installiert und Messdaten über das Internet aufgezeichnet. Die Messgeräte sind nicht für Abrechnungszwecke geeignet, sondern möglichst preiswert als Nachrüstlösungen entwickelt worden. Mieter können bei einem Wohnungswechsel die Geräte einfach mitnehmen.

Die Geräte sind als Open Source unter einer freien Lizenz verwertbar. Beim Smart Meter „Flukso“ greifen wir auf eine existierende Hardware zurück — wir haben allerdings die Softwarekomponenten massiv verändert, um Vor-Ort-Installationen möglichst reibungslos zu gestalten. Der Flukso wird in eine bestehende Unterverteilung eingebaut und über ein WLAN oder eine Ethernetverbindung mit dem Internetzugang des Hauses verbunden.

Abbildung 1 zeigt eine typische Installation. Der Flukso wird über die schwarzen Kabel mit Sensoren verbunden, die einfach um die Außenleiter der vorhandenen Elektroinstallation geklipst werden. So kann eine Installation durch eine Elektrofachkraft sehr schnell erfolgen. Als Nachteil dieser Messmethode ist jedoch anzumerken, dass keine geeichten Messwerte erhoben werden können. Für die Zwecke dieses Projekts ist der Flukso jedoch genau genug.

Die Messwerte des Fluxos sind auf zugehörigen Projektwebseite einsehbar. Dort können unsere Teilnehmer in verschiedenen Darstellungen Ihren Stromverbrauch einsehen und z.B. größere Verbraucher identifizieren. Die Darstellung dieser Messwerte ist eher an einer „Ingenieurssicht“ orientiert, sprich: Die Darstellung erfolgt anhand von Graphen und Kennzahlen. In Abbildung 2 ist ein beispielhafter Graph dargestellt. Weitere Darstellungen wie z.B. eine Jahresstromverbrauchsprognose waren ebenfalls online zugreifbar, vgl. Abb. 3.



Abbildung 1

Die Installation eines Fluksos. Das Messgerät selbst sieht aus wie ein WLAN-Router und ist diesem auch recht ähnlich aufgebaut. Die schwarzen Halleffektsensoren werden einfach um die Außenleiter der Elektroinstallation geklippt und mit der Messelektronik des Fluksos verbunden.

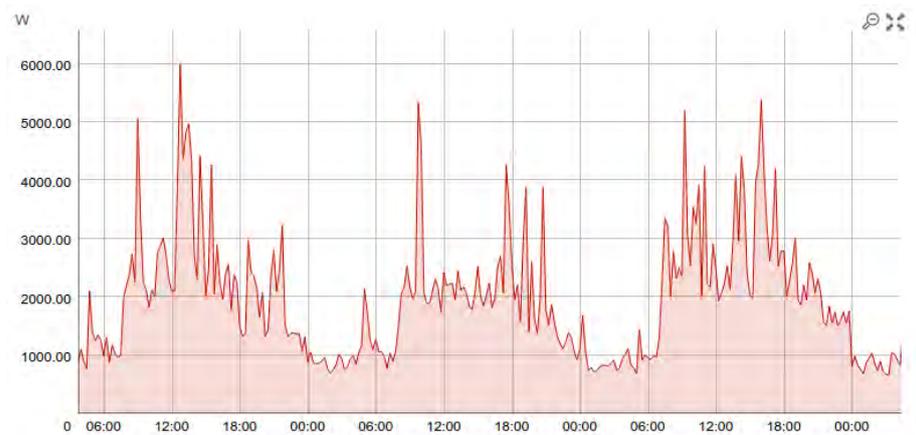


Abbildung 2

Darstellung des Stromverbrauchs eines Haushalts. Der Graph zeigt drei Tage im Vergleich. Weitere Darstellung wie Tagesverbräuche etc. standen den Teilnehmern ebenso zur Verfügung.

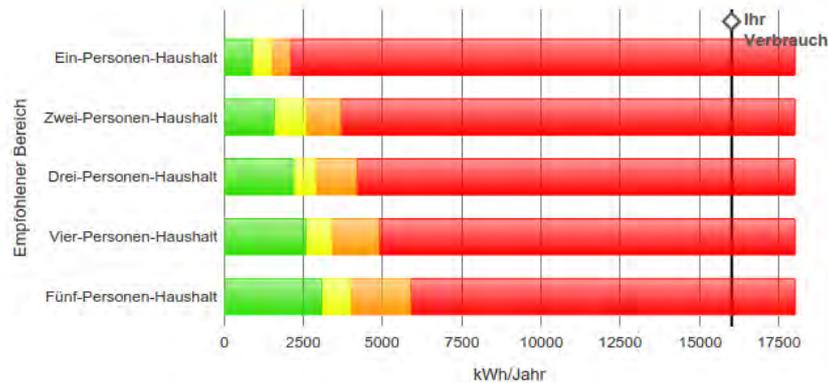


Abbildung 3 Darstellung des Jahresstromverbrauchs mit Bewertung anhand der Haushaltsgröße.

Teilnehmer konnten zusätzlich auch Email-Benachrichtigungen einrichten: So kann z.B. beim Überschreiten eines Stromverbrauchswerts automatisch eine Email generiert werden. Ergänzend zur Webseite hatten die Teilnehmer auch Zugriff auf ihre Verbrauchswerte in Echtzeit, vgl. Abb. 4.

Die Webseite spiegelte dabei immer den letzten verfügbaren Wert wieder. Dies hilft beim Aufspüren von Stromverbrauchern: Der Flukso überträgt seine Messwerte sekundlich an die Echtzeitanzeige. Schaltet man z.B. den Wasserkocher an, so ändert sich der Wert sehr schnell. Dieses instantane Feedback ermöglicht es, mit Tablet oder Smartphone im Haushalt auf die Suche nach Stromfressern zu gehen.

Bei der Erfassung des Raumklimas gingen wir einen anderen Weg: Während die Darstellung des Stromverbrauchs sich eher an technisch interessierte Teilnehmer richtete wollten wir mit dem Raumklimamessgerät einen eher spielerischen Ansatz realisieren. Wie können wir durch ein Spiel eine Verhaltensänderung herbeiführen und so das Raumklima verbessern? Grundvoraussetzung für ein funktionierendes „Raumklimaspiel“ ist — neben unmittelbarem Feedback — ein einfaches Spielprinzip [17]. Wir haben uns für eine Repräsentation des Raumklimas anhand des Raumbehaglichkeitsdiagramms nach Leusden und Freymark [16] entschieden, vgl. Abb. 22.

Leusden und Freymark haben empirisch untersucht, bei welchen Temperatur-/Luftfeuchtwerten Menschen sich wohlfühlen. Sie unterscheiden drei Zonen: *behaftlich*, *noch behaftlich* und *unbehaftlich*. Die Teilnehmer erhalten konkrete Handlungsempfehlungen, wie sie ihr Raumklima in den behaftlichen Bereich bringen können: Ist die Luftfeuchtigkeit beispielsweise zu hoch (21° C bei 75% r.H.), so wird ihm das „Fenster öffnen“-Symbol angezeigt.

Ursprünglich wollten wir diese Anzeige auf einem „Chumby“ der

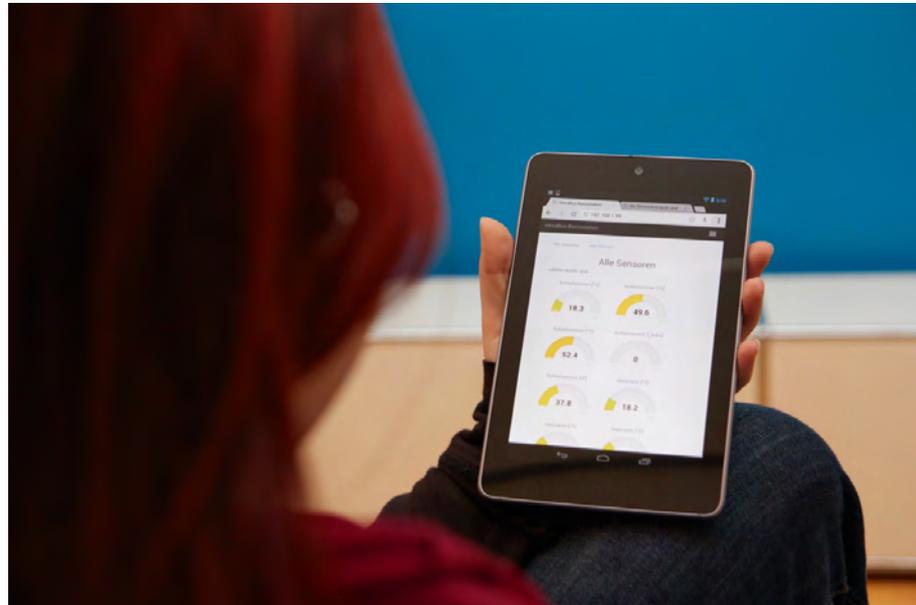


Abbildung 4 Darstellung der Sensorwerte auf einem Tablet. Über die lokale Basisstation hatten die Teilnehmer Zugriff auf Echtzeit-Werte in ihrem Haushalt. Die Webapplikation ist in jedem Browser lauffähig.

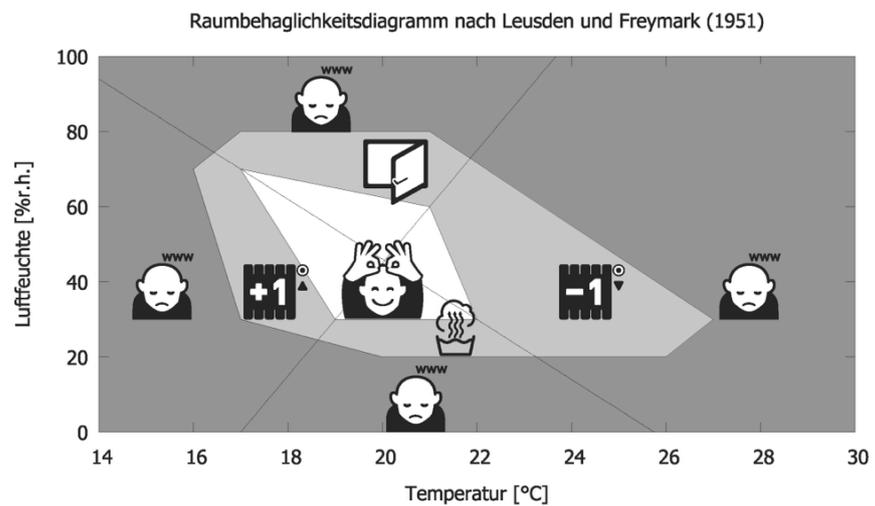


Abbildung 5 Raumbehaglichkeit nach Leusden und Freymark. Übliche Kombinationen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit wurden untersucht und durch Testpersonen in die Bereiche „behaglich“, „noch behaglich“ und „unbehaglich“ unterteilt. Wir verwenden ein modifiziertes Schema, um unseren Teilnehmern Rückmeldung über ihr Raumklima zu geben.

amerikanischen Firma Chumby Enterprises erstellen. Allerdings hat dieses Unternehmen zwischenzeitlich Konkurs angemeldet und den Support für Ihre Radiowecker-artigen Geräte eingestellt. Somit waren wir gezwungen, eine eigene Anzeigehardware basierend auf unserem Hexabus-System zu entwickeln, vgl. Abb. 6.



Abbildung 6

Der Raumsensor in einem Teilnehmerhaushalt. Das Gerät wurde speziell für das Projekt entwickelt und stellt die Handlungsempfehlungen auf einem sehr gut ablesbaren E-Paper-Display dar.

Der Raumsensor erfüllt zwei Funktionen: Einerseits misst der Sensor Raumlufttemperatur- und -feuchte. Die Messwerte werden über unser Hexabus-System zur Analyse auf die Projektwebseite weitergeleitet. Andererseits werden — basierend auf den Messdaten — auch konkrete Handlungsempfehlungen angezeigt, oder wie in Abb. 6 ein „Alles OK“-Symbol. Für die Raumklimadaten existieren also zwei mögliche Zugänge: Ein lokales Display mit einer konkreten Handlungsanweisung und die Projektwebseite, auf der die Messdaten als Graph ähnlich den oben gezeigten Stromverbrauchsdaten (vgl. Abb. 2) dargestellt werden.

Über die Projektlaufzeit konnten wir insgesamt 66 Haushalte für eine Projektteilnahme begeistern. Da Haushalte zu jedem Zeitpunkt dem Projekt beitreten konnten stehen nicht für alle Haushalte vollständige Messdaten zur Verfügung. Durch Umzüge etc. verließen Teilnehmer auch das Projekt. Wir haben in drei Umfragewellen versucht, Einstellungen, Motivation und Erwartungen an das Projekt zu erheben, siehe auch Abb. 7.

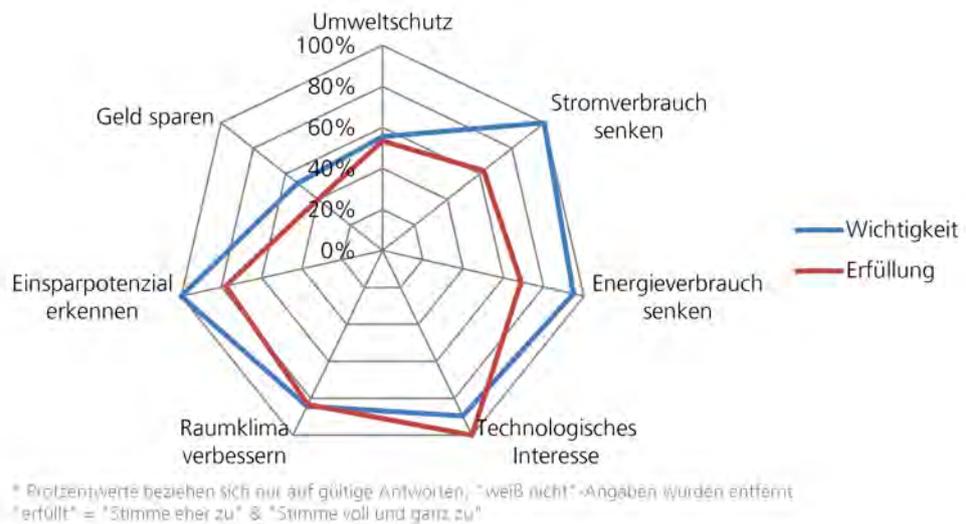


Abbildung 7

Übersicht über die Teilnehmerinteressen: Welche Interessen haben unsere Teilnehmer? Wie gut konnten wir diese Interessen adressieren?

Für unsere Teilnehmer stand Geld sparen und der Umweltschutz nicht im Vordergrund, sondern vielmehr das technologische Interesse, das Erkennen von Einsparpotentialen und die Senkung des Strom-/Energieverbrauchs. Während wir die Erwartungen in den Bereichen „Einsparpotentiale erkennen“, „Raumklima verbessern“ sowie „Technologisches Interesse“ erfüllen konnten ist uns das vor allem beim Thema „Stromverbrauch senken“ nicht gelungen. Gleichzeitig mussten wir allerdings auch feststellen, dass nur sehr wenige Haushalte überhaupt wissen, wie hoch ihr Energieverbrauch liegt. Aus unseren Umfragen konnten wir keine belastbare Datenbasis für Vergleichsrechnungen ableiten, sodass es uns nicht möglich ist, verlässliche Aussagen über die Einspareffekte abzuleiten. Unsere Teilnehmer wären jedoch durchaus bereit, für vergleichbare Geräte bis zu 150€ zu bezahlen. Eine Serienfertigung vorausgesetzt können vergleichbare Endverbraucherpreise mit unseren Technologien realisiert werden.

In Gesprächen mit den Teilnehmern hat sich herauskristalisiert, dass die Darstellung des Stromverbrauchs anhand von Graphen als wenig hilfreich empfunden wird. Dies bestätigt unsere These, dass Energiedarstellungen als solche nicht zwangsläufig zu Energieeinsparungen führen. Durch eine spielerische Darstellung, kombiniert mit konkreten Handlungsanweisungen, kann jedoch eine signifikante Verbesserung des Raumklimas erreicht werden.

Für zukünftige Projekte streben wir an, die spielerische Herangehensweise an

Energiemanagementthemen in den Vordergrund zu stellen. Die Rückmeldung aus Gesprächen zeigt uns, dass durch „Gamification“ [17] auch komplexe Zusammenhänge aus dem Bereich des Energiemanagements in einfachen Analogien dargestellt werden können.

In unseren Gesprächen zeigte sich auch, dass es zwei Teilnehmergruppen gibt:

- (1) Der technologisch orientierte Anwender, der primär an den Messdaten interessiert ist und weniger eine direkte Handlungsanweisung erwartet. Diese Teilnehmer sind oft die treibenden Kräfte in unseren Teilnehmerhaushalten und haben sich daher auch am intensivsten mit den Geräten beschäftigt.
- (2) Eine andere Gruppe stellen diejenigen dar, die sich eigentlich mit der Technik überhaupt nicht auseinandersetzen möchten. Graphenbasierte Darstellungen führen bei diesen Menschen nicht zu einer Auseinandersetzung mit Energiesparthemen. Diese bevorzugen eindeutig einen Ansatz, der ihnen konkrete Handlungsanweisungen empfiehlt — die in der Regel auch befolgt werden.

Im Hinblick auf die Einführung von Smart Metern in Deutschland gilt es, diese beiden Gruppen gleichberechtigt wahrzunehmen. Im Moment orientieren sich die Darstellungen der Energiewirtschaft eher an den Bedürfnissen der technischen Anwender. Eine Ergänzung der technischen Darstellungen durch konkrete Handlungsempfehlungen ist zu empfehlen und bietet — gerade auch im Bereich der Wärmeversorgung — noch zahlreiche Möglichkeiten, zielgruppengerechte Darstellungen zu entwickeln.

2 Einleitung

Die steigenden Energiepreise sorgen für ein neues Bewusstsein im Umgang mit Energie. Gerade im Wohnbereich werden viele Immobilien energetisch saniert und tragen so nachhaltig zur Reduktion von CO_2 bei. Allerdings beträgt das durchschnittliche Alter der Mietwohnungen inzwischen 50 Jahre, vgl. Tabelle 2 sowie den Mikrozensus 2012 [22, S. 21]. Insgesamt gibt es in Deutschland 19,6 Mio. Wohnungen, von denen allerdings nur rund 589.000 Wohnungen im letzten Jahrzehnt neu gebaut wurden. Rund 3% der Wohnungen werden pro Jahr neu gebaut. Diese Neubauten unterliegen der Energieeinsparverordnung (ENEV) und bieten damit eine hohe energetische Effizienz.

Gleichzeitig beträgt die Eigentümerquote in Deutschland nur 45,7%, d.h. etwas mehr als die Hälfte der Haushalte mietet Wohnungen. In diesen Wohnverhältnissen ist es für den Mieter schwieriger, die energetischen Verhältnisse zu verändern.

Diese Gesamtsituation hat zur Folge, dass viele Mieter ihre Energiekosten nicht signifikant reduzieren können. Die Änderung von Verhaltensweisen kann zu Einsparungen führen, allerdings ist es recht schwierig, tägliche Gewohnheiten zu ändern. Einen Ausweg bieten hier Feedback-Systeme, die über den Energieverbrauch informieren und so den Bewohnern die Konsequenzen ihres Handelns verdeutlichen. Dabei ist es erforderlich, dass dieses Feedback *zeitnah* und *einfach* erfolgt [6].

von ... bis ... errichtet	Anzahl Mietwohnungen (in Tsd.)
bis 1918	2733
1919 – 1948	2554
1949 – 1978	9924
1979 – 1986	1897
1987 – 1990	497
1991 – 2000	1401
2001 – 2004	280
2005 – 2008	248
2009 und später	61

Tabelle 1

Errichtungsjahr der Mietwohnungen für Gesamtdeutschland. Im letzten Jahrzehnt wurden 589.000 Wohnungen neu errichtet. Dies entspricht $589000/19595000 = 3\%$ des Wohnungsbestands. Quelle: Mikrozensus 2010 [22, S. 21]

Die bisherigen Forschungen in diesem Bereich setzen alle auf relativ teure Prototypen, um Messdaten z.B. über den Stromverbrauch direkt auf kleinen In-Home-Displays anzuzeigen. Projekte wie z.B. Intelliekon [15] haben die Effekte auf den Stromverbrauch von Haushalten sowohl quantitativ als auch

qualitativ untersucht. Jedoch haben diese Projekte den Nachteil, dass teilweise umfangreiche Installationsarbeiten oder auch teure Prototypen notwendig sind.

Das Ziel des Projekts „EMOS“ ist es, einen Schritt weiter zu gehen und ein rentables Feedbacksystem zu entwickeln, das auch in Mietwohnungen nachgerüstet werden kann. Dabei steht die Kostenseite im Vordergrund: Durch die Einsparung von Installationskosten sowie möglichst preiswerten Geräten soll eine finanziell attraktive Lösung für Mieter geschaffen werden. Bei einem Wohnungswechsel sollen Mieter in der Lage sein, die Geräte mit in die neue Wohnung zu nehmen.

2.1 Überblick über das Projekt

Das Projekt EMOS baut auf der Open Source-Infrastruktur von mySmartGrid auf und erweitert diese technisch um Komponenten, die Temperatur-/Luftfeuchtwerte sowie Stromverbräuche messen und aufzeichnen können. Wir bieten unseren Teilnehmern verschiedene Möglichkeiten, von diesen Messdaten zu profitieren.

Das Projekt ist auf 24 Monate angelegt und — dem ursprünglichen Antrag folgend — in folgende Phasen unterteilt:

- (1) *Erste Phase (6 Monate)*: Die Mess- und Anzeigesysteme werden entworfen und gebaut. Dabei setzen die Systeme auf dem HexaBus auf, einem preiswerten Hausbussystem, welches als Open-Source verfügbar ist. Parallel werden Teilnehmer akquiriert. Zu Beginn des Projekts sowie kurz vor der Schulung werden die Verbrauchszähler der Teilnehmer abgelesen.
- (2) *Zweite Phase (12 Monate)*: Die Mess- und Anzeigesysteme werden in Betrieb genommen und den Teilnehmerhaushalten zur Verfügung gestellt. Die Installation soll von den Teilnehmern selbst vorgenommen werden. In dieser Phase kann es notwendig sein, die Software der Komponenten anzupassen, wenn die Selbstinstallation nicht möglich ist. Daher wird die Installationsphase phasenweise vorgenommen, d.h. nicht alle Haushalte bekommen die Geräte gleichzeitig.
- (3) *Dritte Phase (6 Monate)*: Die Teilnehmer werden nach ca. einem halben Jahr befragt. Gleichzeitig werden die Verbrauchszähler wieder abgelesen. Danach ist der finanzielle Nutzen der Geräte zu bewerten: Die eingesparten Energiekosten müssen mit den Gerätekosten in ein Verhältnis gesetzt werden.

Der detaillierte Projektablauf ist in Tabelle 2.1 zusammengefasst. Die dort kursiv gesetzten Arbeitspakete mussten geänderten Rahmenbedingungen angepasst werden: Der Chumby, das von uns im Antrag als Anzeige eingepflanztes Gerät, ist aufgrund des Konkurses des Herstellers nicht mehr verfügbar. Die Konsequenzen für den Projektplan werden im Folgenden genauer erläutert.

Projektmonat	Geplante Arbeiten lt. Projektantrag
1-6	<ul style="list-style-type: none"> • Installation der elektrischen Komponenten in den Teilnehmerhaushalten • Integration von NIALMS-Komponenten in die mySmartGrid-Plattform • <i>Entwicklung von Hardwareprototypen zur Erfassung des Wärmebedarfs, Visualisierungen</i> • <i>Verifikation der Prototypen mit Hilfe von Fokusgruppen (Monat 6)</i>
7-18	<ul style="list-style-type: none"> • Fertigung der Prototypen, Vorbereitung der Installation in den Teilnehmerhaushalten • <i>Prototypen zur Darstellung der thermischen Kennzahlen auf dem Chumby</i> • <i>Integration der thermischen Darstellungen in den Chumby</i> • Integration der thermischen Daten in die mySmartGrid-Plattform • Implementation von Algorithmen zur Berechnung von Kennzahlen aus den erfassten Stromverbrauchsverläufen • Bewertungsverfahren für Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit • Feedbacksystem zum Lüftungsverhalten
19-24	<ul style="list-style-type: none"> • Weitere Entwicklungsarbeiten nach Bedarf • Erhebung von Teilnehmerzufriedenheit und -einsparungen durch Fragebögen • Auswertung sowie Ableitung von Handlungsempfehlungen • Schreiben des Abschlussberichts
1-24	<ul style="list-style-type: none"> • Querschnittsaufgabe: Betreuung von Teilnehmern, Lösen von Installationsproblemen. Diese Arbeiten finden parallel zu den obigen Aktivitäten statt.

Tabelle 2

Ursprünglicher Zeitplan laut Projektantrag. Die im Text beschriebenen Änderungen sind im Zeitplan *kursiv hervorgehoben*.

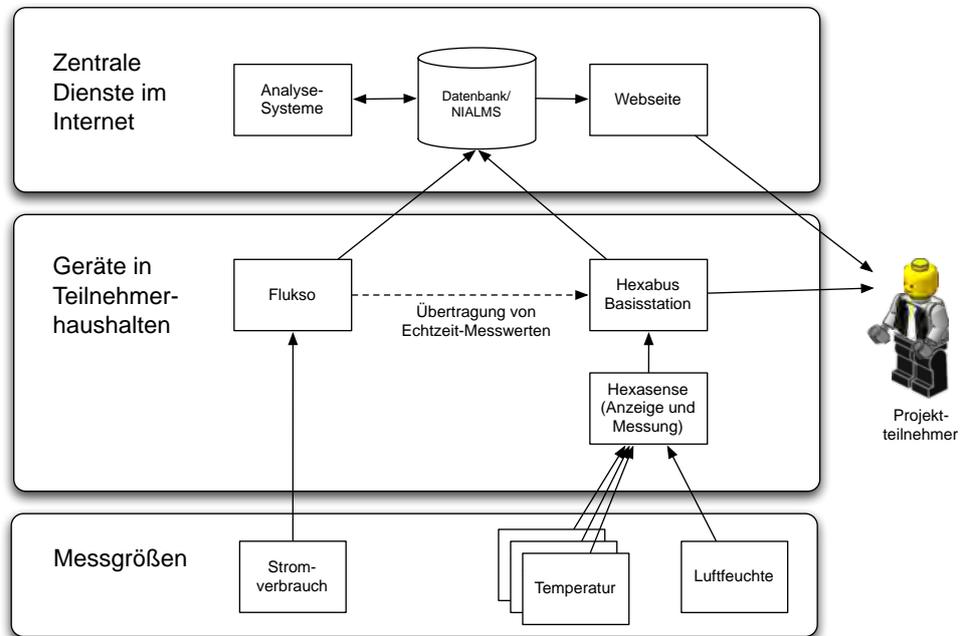


Abbildung 8 Überblick über die im Projekt verwendeten Geräte und Rechner.

3 Projektkonzeption

Zum Projektabschluss konnten wir insgesamt 66 Testhaushalte für das Projekt gewinnen. Die Haushalte wurden mit unserem Open-Source Smart Meter ausgestattet und später — nachdem die entsprechende Hardware verfügbar war — auch unsere Temperatur/Luftfeuchte-Messgeräte. Der grundlegende Zusammenhang der eingesetzten Geräte ist in Abbildung 8 dargestellt.

Für die Erfassung des Stromverbrauchs setzen wir unser bewährtes Open Source Smart Meter „Flukso“ ein. Dieses Smartmeter wurde um eine zusätzliche Kommunikationsschnittstelle zur Hexabus-Basisstation erweitert, damit die Teilnehmer ihren Stromverbrauch in Echtzeit auf dem Handy oder Tablet ansehen können (vgl. Abb. 10 auf Seite 16). Die Messdaten werden parallel auch auf unsere Webseite übertragen, wo die Werte in einer Datenbank gespeichert werden. Die Webseite bietet gleichzeitig vielfältige Anzeige- und Analysewerkzeuge.

Für die Temperatur- bzw. Luftfeuchtemessung setzen wir auf ein selbst entwickeltes Anzeigegerät „Hexasense“. Die Messdaten werden zur



Abbildung 9

Die Geräte zur Temperatur-/Feuchtemessung im Überblick. Im Uhrzeigersinn: PT100-Anlegefühler zur Messung der Zulauftemperatur eines Heizkörpers, Netzteile für das Anzeigergerät und die Basisstation, Hexabus-Basisstation, Anzeigergerät mit Verbindungskabel, Messverstärker/Stromversorgung für das Anzeigergerät

Hexabus-Basisstation übertragen und von dort wiederum zur mySmartGrid-Webseite. Zur Messung der Temperatur des Heizkörpers setzen wir einen Anlegefühler ein.

Über mySmartGrid-Webseite können unsere Teilnehmer zu jedem Zeitpunkt auf ihre Messdaten zugreifen, vgl. auch Abbildung 2 auf Seite 5.

3.1 Ersatz für den Chumby

Bei den Geräten zur Analyse des Raumklimas (vgl. Abb. 9) mussten wir im Vergleich zur ursprünglichen Projektplanung Änderungen vornehmen. Der Hersteller des Chumby, unserer Anzeige des Echtzeit-Stromverbrauchs, hat Konkurs angemeldet. Der Chumby sollte im Projekt das Inhome-Display realisieren: Die Anzeige des Stromverbrauchs sollte mit der Anzeige des Raumklimas und konkreten Handlungsempfehlungen kombiniert werden.

Wir haben uns — auch nach Berücksichtigung der Wünsche unserer Projektteilnehmer — letztlich dafür entschieden, den Raumklimasensor mit einem E-Paper-Display auszustatten. Der von uns verwendete Displaytyp ist jedoch nicht für die Anzeige sich schnell ändernder Inhalte geeignet - wir brauchen ca. fünf Sekunden, um eine neue Displayseite darzustellen. Dies ist für

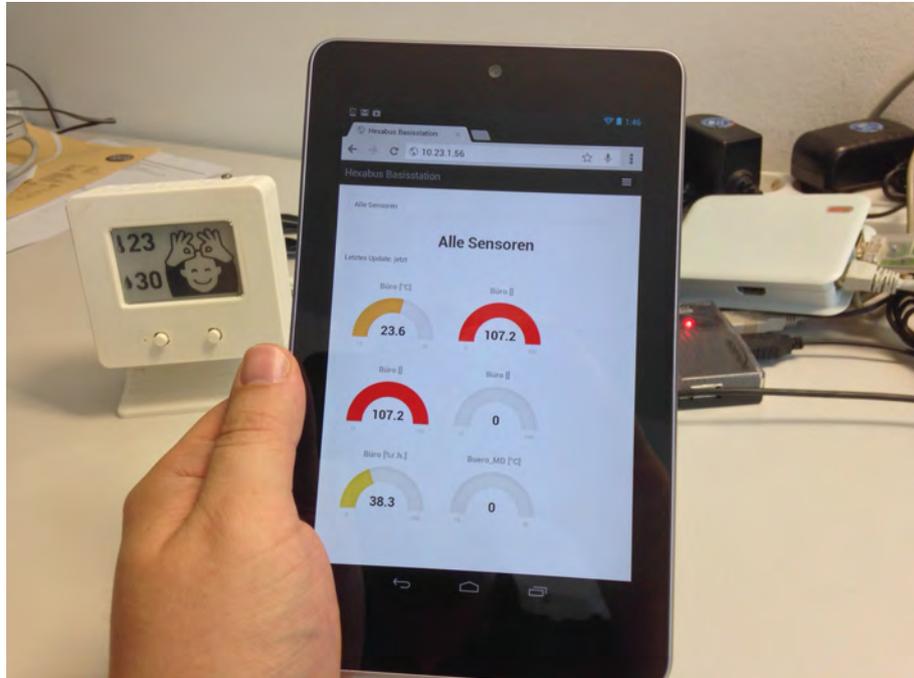


Abbildung 10 Anzeige der aktuellen Messwerte auf einem Tablet. Einige der hier gezeigten Messwerte sind nicht valide - diese sind unserem Testsetup geschuldet und werden bei den Teilnehmern nicht dargestellt.

Temperatur- sowie Luftfeuchtemesswerte nicht kritisch, behindert jedoch die Echtzeitanzeige von Stromverbrauchswerten. Daher ergänzen wir diese Anzeige durch ein webbasiertes Anzeigesystem (vgl. Abb. 10). Diese Anzeige kann mittels Smartphone oder Tablet, aber auch mit einem PC abgerufen werden. In diese Übersicht haben wir auch die Anzeige von Temperatur- und Luftfeuchtwerten integriert, sodass die Teilnehmer auf diesem System eine aktuelle Übersicht über alle Messdaten abrufen können. Sobald ein neuer Wert eingeht, werden die Grafiken automatisch aktualisiert. Dabei haben wir darauf geachtet, dass die Darstellung möglichst flüssig funktioniert, um eine entsprechend angenehme Anzeige zu ermöglichen. Ebenso ist die Webseite für die Nutzung durch PCs und Mobilgeräten geeignet.

Die Daten werden parallel zu unserer Webseite übertragen und dort archiviert. Langzeitdarstellungen (z.B. der Stromverbrauch der letzten drei Monate) sind dort abrufbar. Dort werden die Daten auch für Auswertungen gespeichert und dienen als Datengrundlage für diese Arbeit.

Die Darstellung von Messwerten auf dem Chumby entfällt somit und wird durch eine Anzeige auf dem E-Paper-Display bzw. über einen Webbrowser ersetzt. Dieser Arbeitsschritt ist bereits abgeschlossen, den Anzeigeprototyp¹ zeigt

¹Gedruckt auf einem 3D-Drucker mit niedriger Auflösung — die Projektteilnehmer erhalten Gehäuse, die mit höherer Auflösung gedruckt



Abbildung 11 Die Anzeigeeinheit für Temperatur und Luftfeuchte. Bei der Konzeption wurde auf ein auch aus der Ferne gut ablesbares Display geachtet.

Abbildung 11. Bei der Werteanzeige auf dem E-Paper-Display liegt der Schwerpunkt nicht auf der Anzeige der absoluten Messwerte, sondern auf der Anzeige einer Handlungsanweisung. In Abbildung 11 ist das Symbol für „Alles in Ordnung“ gezeigt. Anhand der aktuellen Temperatur- und Luftfeuchtemesswerte wird eine konkrete Handlungsanweisung über ein Symbol dargestellt.

3.2 Aufbau der Anzeigeeinheit

Die Anzeigeeinheit (vgl. Abb. 12) besteht aus einem Hexabus-Modul, welches in einer anwendungsspezifischen Platine eingesteckt wird, und einem E-Paper-Display. Die anwendungsspezifische Platine übernimmt in diesem Fall zwei Aufgaben:

- (1) Ein integrierter Temperatur-/Luftfeuchtesensor erfasst die Umgebungsluft. Durch das Gehäusedesign ist sichergestellt, dass der Sensor jederzeit frei angeströmt werden kann. Gleichzeitig werden die externen Anlegefühler an ein externes Gehäuse angeschlossen, in dem neben Messverstärkern auch die Stromversorgung für die Anzeigeeinheit untergebracht ist. Die

wurden.



Abbildung 12

Die Komponenten der Anzeigeeinheit. Von links nach rechts: Das E-Paper-Display, das Hexabus-Modul und die anwendungsspezifische Platine mit Temperatur-/Feuchtesensor. Die Komponenten werden mittels Steckverbindern direkt ineinander gesteckt. Für eine Großserie würden wir allerdings ein integriertes Ein-Platinen-Konzept vorziehen, da so einige Teile eingespart werden können.

Ausgänge der Messverstärker werden an das Hexabus-Modul weitergeleitet.

- (2) Das E-Paper-Display wird ebenfalls durch diese Platine angesteuert. Der verfügbare Flash-Speicher auf dem Hexabus-Modul ist zu gering, um die Bildschirmseiten für das Display zu speichern. Daher werden die Bildschirmseiten auf einem zusätzlichen Flash-Chip gespeichert. Diese Seiten werden dann schrittweise zum E-Paper-Display übertragen.

Da wir noch nicht auf die Messdaten, die erst später erhoben werden, zugreifen können ist derzeit ein einfaches Modell auf der Basis des Raumbehaglichkeitsmodells nach Leusden und Freymark[16] hinterlegt. Das Modell wurde von den Teilnehmern sehr positiv aufgenommen und wurde daher im Projektverlauf beibehalten, siehe auch Tabelle 6 auf Seite 84. Abbildung 13 stellt einige Symbole (hier ohne die eingeblendeten Messwerte) im Überblick dar.

Der Algorithmus für die Zuordnung der Temperatur-/Luftfeuchtemesswerte zu den Handlungsanweisungen ist in Abbildung 71 (Seite 98) dargestellt.

Die Schaltpläne für die Platinen sowie die Designdateien für das Gehäuse sind online im Hexasense-Repository zu finden [14]. Die Schaltpläne sind in Anhang A abgelegt. Das Hexabus-Modul übernimmt zum einen die Messwerterfassung sowie die Ansteuerung des E-Paper-Displays als auch die Kommunikation mit



Abbildung 13

Bildschirmsymbole für das Anzeigegerät. Die Temperatur- und Luftfeuchtwerte werden in diese Grafiken eingeblendet.

der Basisstation. Dabei benutzen wir 6LoWPAN [19], einen Standard der IETF für die Kommunikation in Personal Area Networks. Die Hexabus Basisstation dient — neben der Darstellung der Echtzeitmesswerte für Browser — auch zur die Kommunikation mit der zentralen Webseite (www.mysmartgrid.de). Ein Einrichtungsassistent unterstützt die Teilnehmer bei der Installation der Basisstation und der angeschlossenen HexaBus-Geräte.

Die Messgeräte — sowohl für das Raumklima als auch für den Stromverbrauch — sind softwareseitig im Wesentlichen fertiggestellt und als Open-Source Software auf Github verfügbar[13]. Die Fertigung der Hardware hat Anfang September 2013 begonnen, die Installation in den Teilnehmerhaushalten startete Ende 2013. Die Schaltpläne der von uns entwickelten Komponenten

sind im Anhang A dargestellt.

3.3 Herstellungskosten

Die Herstellungskosten der von uns entwickelten Hardwarekomponenten sind in Tabelle 3 dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass es sich bei den im Projekt verwendeten Geräten um Open-Source-Geräte handelt. Die Softwareentwicklung ist abgeschlossen - für weitere Geräte fallen keine weiteren Softwarekosten (z.B. in Form von Lizenzkosten) an. Für eine Serienfertigung (ab 10.000 Stück) müssten die Geräte nochmals überarbeitet werden, da einige Hardwarefunktionen redundant ausgelegt sind und effizienter gestaltet werden können:

- (1) Die Basisstation besteht derzeit aus verschiedenen Modulen. Das ist generell nicht notwendig, es kann sich hierbei um ein integriertes Gerät handeln. Bei größeren Stückzahlen halten wir Endverbraucherpreise von 30 Euro für machbar: Ein WLAN-Router ist im Handel ab ca. 20 Euro erhältlich und bietet eine vergleichbare Funktionalität. Das fehlende Hexabus-Interface kann für 5-10 Euro integriert werden.
- (2) Der Raumluftsensor ist vor allem durch sein 3D-gedrucktes Gehäuse teuer — jedoch ist dieses Fertigungsverfahren von den Gesamtkosten her bei dieser Stückzahl überlegen. Im Spritzgussverfahren würde ein vergleichbares Gehäuse ca. 2-3 Euro kosten. Ebenso würden diverse Platinen zu einer einzigen kombiniert werden. Der von uns verwendete, digitale Temperatur-/Luftfeuchtesensor würde gegebenenfalls durch ein preiswerteres Modell ausgetauscht. Die externen Rohr-Anlegefühler sind im Projekt notwendig, um eine entsprechende Datengrundlage für das Feedbacksystem zum Heizverhalten zu liefern. Diese sind später nicht notwendig.
Ein realistischer Endverbraucherpreis würde bei 40 Euro liegen: Ein Temperatur-/Luftfeuchte-Messsystem mit Kommunikationskomponente kann momentan für rund 20 Euro gekauft werden. Das von uns verwendete E-Paper-Komplettmodul kostet rund 20 Euro, das Display alleine liegt bei ca. 10 Euro.
- (3) Das Flukso-Smartmeter könnte durch ein Hexabus-basiertes Messsystem ersetzt werden. Die Kosten für diese Lösung würden rund 30 Euro betragen, da die Kommunikation über die Hexabus-Basisstation erfolgen kann. Die Messklemmen würden allerdings beibehalten werden, sodass der Endverbraucherpreis für die Strommessung inklusive Kommunikationsmodul bei rund 70 Euro liegen würde.

Nimmt man diese Schätzungen als Basis für einen Rollout der Geräte an würde eine Installation bei ca. 140 Euro liegen. Die Basisstation und der Raumluftsensor können durch die Bewohner selbst installiert werden. Der Smart Meter muss hingegen durch einen Fachbetrieb installiert werden. Die Kosten

Gerät (Komponente)	Netto-Herstellkosten (Euro) bei Stückzahl 100
Hexabus Basisstation: - Raspberry Pi - Gehäuse - Netzteil - Hexabus USB Interface - Arbeitszeit (Endmontage)	27,40 € 4,16 € 4,83 € 19,00 € 5,00 €
Hexasense Raumluftsensor: - Komponente Stromversorgung - Komponente Hexabusmodul - Komponente Anzeigemodul inkl. Feuchtesensor - E-Paper Display - Anlegefühler-Set (2 Stück) - Netzteil - Gehäuse (3D-Druck) - Arbeitszeit (Endmontage)	13,60 € 21,62 € 40,27 € 23,42 € 23,00 € 4,75 € 83,58 € 5,00 €
Smart Meter: - Flukso - Messklemmen-Set (3x 50A)	60,00 € 40,00 €
Gesamt pro Haushalt:	375,64 €

Tabelle 3

Übersicht über die Herstellungskosten der Messgeräte. Die relativ hohen Preise sind der Stückzahl geschuldet: Bei gleichem Funktionsumfang, jedoch geändertem Gerätekonzept unter Berücksichtigung industrieller Fertigung könnte ein Haushalt für rund 140 Euro mit den Geräten ausgestattet werden, siehe auch Abschnitt 3.3.

hierfür betragen — basierend auf unseren Erfahrungen mit über 250 Installationen im Projekt mySmartGrid — im Durchschnitt 45 Euro.

In diesem Projekt werden die Stückzahlen für eine Serienproduktion natürlich nicht erreicht. Die Komponenten wurden zu den in Tabelle 3 angegebenen Preisen fertig aufgebaut beschafft und müssen lediglich programmiert und zusammengebaut werden. Diese Arbeiten können auch von ungelernten Arbeitskräften vorgenommen werden, da wir entsprechende Programmier- und Testgeräte für die Fertigung aufgebaut haben.

3.4 Die ersten beiden Teilnehmerbefragungen

Umfragen dienen dazu, die Wirkung des Projekts in den Haushalten zu quantifizieren. Sie sind als ergänzende Begleitforschung zur Datenerfassung der Geräte angelegt. Zudem gewinnen wir damit Vergangenheitsdaten zu Stromverbrauch und Heizenergieverbrauch, welche sich auf andere Weise kaum erfassen lassen. Ein wichtiges Ziel es Projekts ist die Einsparung von Heiz- und Stromkosten in Mietwohnungen. Wie bereits dargestellt, gehen wir davon aus,

dass Verhaltensänderungen zu geringeren Heiz- und Stromkosten führen können. Studien zeigen, dass Feedbacksysteme solche Verhaltensänderungen unterstützen können [6]. Vordringlich wird durch EMOS also eine Verhaltensänderung angestrebt. Wir greifen bei den Umfragen auf Methoden und Instrumente der empirischen Sozialforschung zurück. Fragen, die sich in diesem Zusammenhang stellen, lauten:

- (1) *Hat das Projekt zu Veränderungen im Verhalten der Teilnehmerhaushalte geführt?*
- (2) *Welchen Einfluss hat das Verhalten eines Haushalts auf die Heizkosten?*
- (3) *Wie wirkt das Feedback-System auf das Verhalten der Haushalte?*
- (4) *Welchen Einfluss hat das Feedback-System auf das Verhalten eines Haushalts?*

In den folgenden Abschnitten gehen wir vertiefend auf unsere Vorgehensweise ein.

3.4.1 Vorgehensweise und Methoden

Wir gehen in zwei Schritten vor. Zunächst haben wir eine Vorstudie mit qualitativen Methoden durchgeführt. Anschließend führen wir die eigentlichen Umfragen zur Evaluation mit quantitativen Methoden durch.

- (1) *Vorstudie in Form von Fokusgruppen:*
Diese ist als Expertenbefragung von Projektpartnern und ausgewählten Teilnehmern gestaltet und dient zur Gewinnung von Hypothesen.
- (2) *Umfragen zur Evaluation:*
Es handelt sich um eine Längsschnittstudie. Sie wird als Befragung zu mehreren Zeitpunkten durchgeführt. Die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungswellen werden miteinander verglichen.

Wir haben bei der Entwicklung der Umfragen eine Top-down-Vorgehensweise gewählt:

- (1) Festlegung von Untersuchungsthemen
- (2) Festlegung von Untersuchungsobjekten
- (3) Bestimmung der Kontrollvariablen
- (4) Bestimmung der abhängigen Variablen
- (5) Bestimmung von Moderator-, Mediator- und Störvariablen
- (6) Aufstellen von Arbeitshypothesen
- (7) Formulierung von Fragen

In den folgenden Abschnitten gehen wir auf diese Arbeitsschritte ein.

Untersuchungsthemen

	Information kann gewonnen werden durch ...	
	... Geräte*	... Befragung
■ Stromverbrauch	x	x
■ Heizenergieverbrauch		x
■ Raumklima (Temperatur, Luftfeuchte)	x	x
■ Stromkosten		x
■ Heizkosten		x
■ Schimmelbefall		x
■ Wissen und Meinung der Teilnehmer		x
■ Fähigkeiten und Interessen der TN		x
■ Nutzerverhalten		?

* Flukso, HexaSense-Geräte

(a) Untersuchungsthemen

3.4.2 Festlegung von Untersuchungsthemen

Wir sind besonders interessiert an den Themen Strom- und Heizkosten sowie am Nutzerverhalten. Wichtige Fakten dazu können verlässlich und in hoher Auflösung über unsere Geräte Flukso und HexaSense aufgezeichnet werden. Vergangenheitsdaten über Strom und Raumklima können nur indirekt über Befragung gewonnen werden. Daten über Heizenergie können mit der Nebenkostenabrechnung belegt werden. Diese Daten gewinnen wir durch Befragung. Wissen, Meinung, Fähigkeiten und Interessen können nur über Befragung der Teilnehmerhaushalte festgestellt werden. Das Nutzerverhalten kann nur indirekt ermittelt werden. Es gilt dabei zu bedenken, dass Befragungen verzerrt sein können (z.B. bei der Frage nach Frequenz und Dauer des Lüftens). Wir streben an, dies durch die Art der Fragestellung und Formulierung weitestgehend auszuschließen. Einen Überblick über Untersuchungsthemen gibt die Tabelle 14(a).

3.4.3 Untersuchungsobjekte und ihre Merkmale

Es gibt eine Reihe von Objekten, die wir untersuchen. Dazu gehören Mieter, Wohnungseigentümer, Hausverwalter, Vermieter und Gebäude. In unseren Befragungen untersuchen wir zunächst einmal Mieter und Wohnungseigentümer. Wir bezeichnen sie nachfolgend als Teilnehmer oder Teilnehmerhaushalte. Beispiele für Merkmale von Mietern und Wohnungseigentümern sind Stromverbrauch, Heizenergieverbrauch, Investition

in Energieeffizienzmaßnahmen und Geräte, Nutzerverhalten sowie Geräteausstattung.

Mit Hausverwaltern, Vermietern und ausgewählten Teilnehmern wurden vorab in einer Vorstudie Experteninterviews durchgeführt, um Hypothesen zu gewinnen. Zudem werden Eigenschaften der Gebäude untersucht.

3.4.4 Merkmale von Mietern und Wohnungseigentümern

Im Hinblick auf die gewählten Untersuchungsobjekte und ihre Merkmale kommen eine Reihe von Variablen in Betracht. Dazu gehören:

- das Eigentumsverhältnis zur Wohnung (Mieter oder Eigentümer),
- *die Anzahl Personen im Haushalt*,
- die Wohnfläche (in m^2),
- *der Stromverbrauch in der Vergangenheit (in kWh/a)*,
- der Heizenergieverbrauch in der Vergangenheit (in kWh/a),
- das Wissen über Energieeffizienz, Umweltschutz, Sparen,
- die Geräteausstattung des Haushalts,
- die Lüftungsgewohnheiten (Frequenz, Dauer, Art: Stoß- oder Kipplüften) sowie
- die Heizgewohnheiten (Durchschnittstemperatur: eher warm oder kühl?).

Wir erfassen in mehreren Befragungswellen, welche Ausprägungen diese Merkmale bei den Teilnehmern jeweils annehmen. Dabei beobachten wir auch die Veränderung der Werte über den Projektzeitraum hinweg. Zusätzlich planen wir, in einer späteren Befragung die Akzeptanz der Geräte durch die Teilnehmer zu erfassen und zu beurteilen. Dabei greifen wir auf Modelle wie das Technology Acceptance Model (TAM) und darauf aufbauende Untersuchungsmodelle zurück. Damit können wir Aussagen darüber treffen, warum Teilnehmer eine Technologie nutzen oder nicht nutzen [7]. Dazu erfassen wir Variablen wie:

- der wahrgenommene Nutzen des Systems — insbesondere, zu welchem Grad das System aus Sicht der Nutzer zum Sparen von Heiz- und Stromkosten beiträgt,
- die wahrgenommene Einfachheit der Nutzung — insbesondere den empfundenen Schwierigkeitsgrad der Installation, die empfundene Übersichtlichkeit der Anzeige sowie die Verständlichkeit der Symbole,
- die Einstellung zur Nutzung des Systems,
- die Nutzung des Systems — etwa die Ablesehäufigkeit des HexaSense-Displays (mehrmals täglich, täglich, wöchentlich, seltener), die Inanspruchnahme von E-Mail-Benachrichtigungen u.ä.

3.4.5 Merkmale von Gebäuden

Im Hinblick auf die von den Teilnehmern bewohnten Gebäude kommen eine Reihe von Kontrollvariablen hinzu. Die Kontrollvariablen dienen dazu festzustellen, ob andere Merkmale den vermuteten Zusammenhang zwischen abhängigen Variablen und unabhängigen Variablen beeinflussen. Wir haben diese Kontrollvariablen identifiziert:

- der Gebäudetyp (EFH, MFH), die Anzahl von Wohnungen pro Gebäude,
- das Baujahr, die Baualtersklasse, (vgl. [9] und [23]),
- die Frage, ob Warmwassererzeugung hauptsächlich mit Strom erfolgt,
- der Heizungstyp (Gas, Öl, Solarthermie, andere Typen),
- die KfW-Gebäudeklasse (KfW-Effizienzhaus 40, 55, 70) sowie
- das Vorliegen eines Energieausweises (Verbrauchs- oder Bedarfsausweis).

3.4.6 Abhängige Variablen

Wir vermuten einen Zusammenhang der abhängigen Variablen (z.B. Stromverbrauch) und den unabhängigen Variablen (etwa das Vorhandensein eines Feedbacksystems). Als abhängige Variablen haben wir folgende identifiziert:

- den Stromverbrauch pro Zeit (kWh/Tag, kWh/Monat, kWh/a),
- den Stromverbrauch pro Nutzfläche (kWh/ m^2),
- den Stromverbrauch pro Haushaltsmitglied (kWh/Person) sowie
- den Heizenergiebedarf, ebenfalls bezogen auf Zeit, Nutzfläche und Haushaltsmitglieder.

Eine weitere Gruppe von abhängigen Variablen betrifft das Nutzerverhalten. Dazu gehören:

- die Veränderung der Lüftungsdauer in der Heizperiode,
- die Veränderung von Wissen und Meinung zu Energieeffizienz während und nach der Projektlaufzeit,
- die Anschaffung von Geräten sowie
- die Veränderung der Raumtemperatur.

3.4.7 Störvariablen

Zu den Störvariablen zählen z.B. Strompreissteigerungen sowie die Meinung zu Energiewende.

3.4.8 Arbeitshypothesen

Aufbauend auf den bisherigen Überlegungen haben wir Nullhypothesen formuliert, die zu *widerlegen* sind. Zur Veranschaulichung können folgende Beispiele dienen. Wir haben sie nach Themen wie Kosten, persönliche Einstellung, Wissen, Zusammenhang von Strom- und Heizkosten sowie Verzerrung geordnet. Zu jedem Thema haben wir 5-6 Hypothesen aufgestellt.

- *Kosten*: »Mieter (Wohnungseigentümer) erwarten durch EMOS eine Einsparung von weniger als 50 EUR/a bei den Energiekosten.«
- *Persönliche Einstellung*: »Die Höhe des Stromverbrauchs (des Heizenergieverbrauchs) ist unabhängig von der Einstellung zum Umweltschutz.«
- *Wissen und Meinung*: »Ein hohes Wissen über Heiztechnik hat keinen Einfluss auf die Heizkosten.«
- *Zusammenhang Strom- und Heizkosten*: »Die Höhe der Heizkosten ist mit den Stromkosten nicht korreliert.«
- *Verzerrung*: »Die Heizkosten (der Heizenergieverbrauch) der EMOS-Teilnehmer liegen deutlich unter (über) dem bundesdeutschen Durchschnitt.«

In der nächsten Befragungswelle kommen Hypothesen zu Verhaltensänderung, Sparpotenzial, Nutzergruppen und Lüftungsverhalten hinzu.

- *Kosten*: »Durch EMOS konnten keine Heizkosten gespart werden.«
- *Wissen*: »EMOS hat bisher nicht dazu geführt, dass die Teilnehmer ihren Stromverbrauch kennen.«
- *Sparpotenzial*: »Die Einsparung von Heizkosten durch EMOS ist unabhängig davon, welcher Heiztyp (Gas, Heizöl, Wärmepumpe, ...) vorliegt.«
- *Lüftungsverhalten*: »Ein Stoßlüften mindestens zweimal am Tag für 5 Minuten hat keinen Einfluss auf die Heizkosten.«
- *Nutzergruppen*: »Die Höhe der eingesparten Kosten ist unabhängig davon, wie viele Personen im Haushalt leben.«

An das Generieren der Hypothesen schließt sich das Formulieren von konkreten Fragen für den Fragebogen an. Dieser Fragebogen wird schließlich durch die Projektteilnehmer ausgefüllt.

3.4.9 Fragen

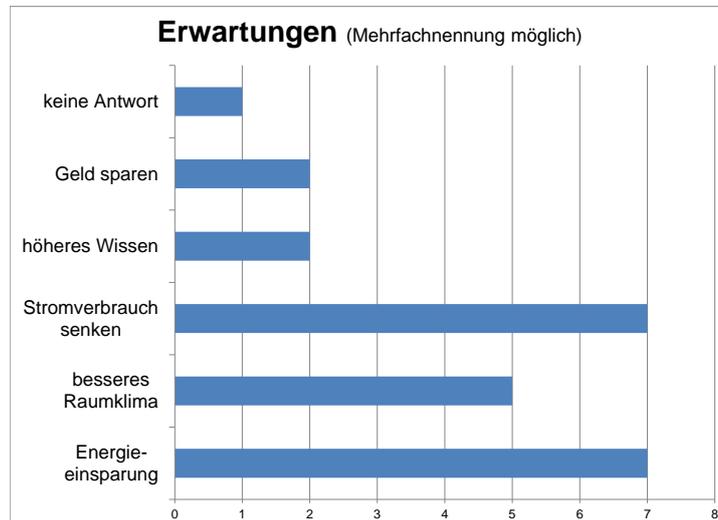
Wir befragen die Teilnehmer des Projekts mit einem Online-Fragebogen. Dieser ist in die Website integriert und kann nur von Projektteilnehmern beantwortet werden. Wir vergeben für jeden Teilnehmer eine pseudonyme Identifikationsnummer, die zusammen mit den Antworten abgespeichert wird. Diese Nummer behält der Teilnehmer bei, so dass sich die Entwicklung einzelner

Wurden die aufgeführten Maßnahmen zur Energieeinsparung in Ihrem Haushalt bereits durchgeführt? Falls nicht, sind sie geplant? Bitte kreuzen Sie die entsprechenden Antworten an.				
	wurde durchgeführt	geplant in den nächsten 6 Monaten durchzuführen	geplant, aber noch ungewiss, wann es durchgeführt wird	nicht geplant
Austausch der Glühbirnen durch LEDs oder Energiesparlampen				
Verwendung von Steckdosenleisten mit Schalter				
Nutzung von programmierbaren Thermostaten.				

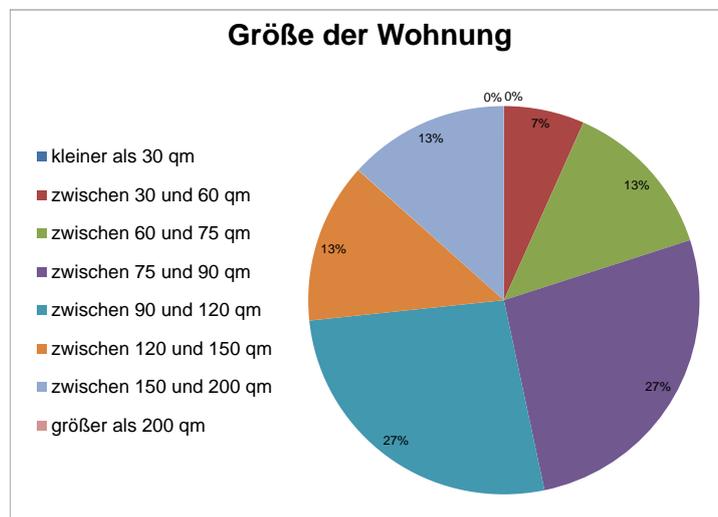
Tabelle 4

Beispielfrage aus dem Block »Daten über persönliche Einstellungen — Maßnahmen«

Probanden über den Projektzeitraum hinweg beobachten lässt. Wir laden die Teilnehmer unmittelbar zu Beginn zur Teilnahme an der ersten Umfrage ein. In mehreren Frage-Blöcken ermitteln wir Daten über Wohnung und Ausstattung (Wohnfläche, Heizung, Geräte), Daten über persönliche Einstellungen (Motivation, Luftqualität, Maßnahmen), demografische Daten und Verbrauchsdaten. In der aktuellen Befragungswelle richten wir Fragen wie die in 3.4.9 gezeigte an die Teilnehmer.

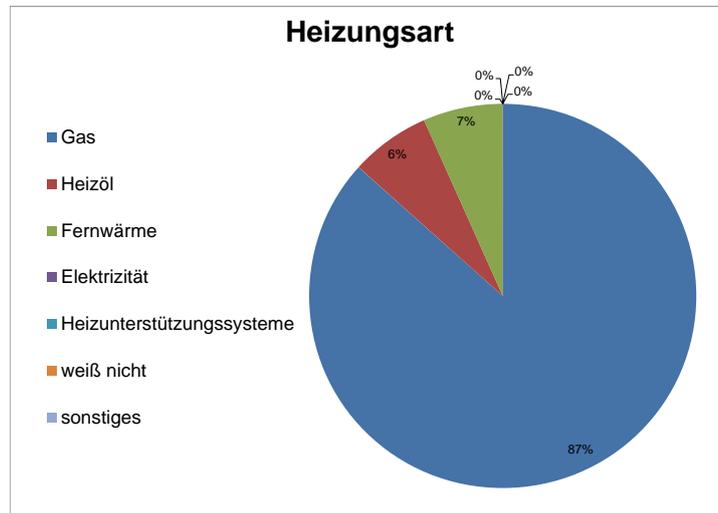


(b) Teilnehmererwartungen

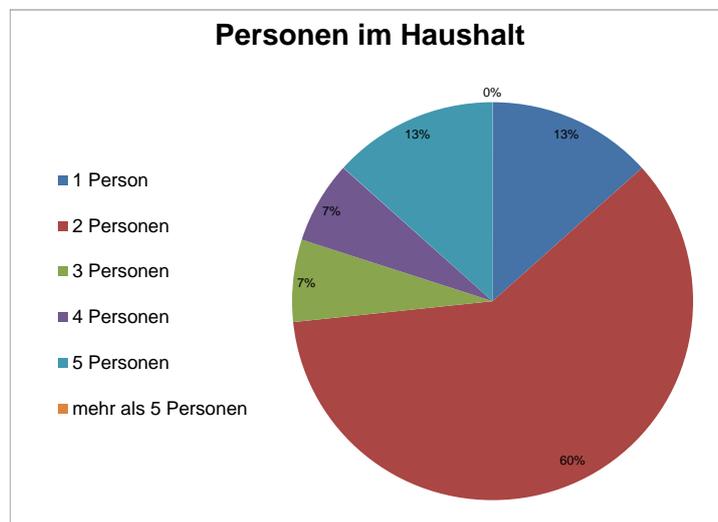


(c) Wohnungsgröße

Abbildung 14 Vorläufige Ergebnisse der ersten Teilnehmerbefragung (1).



(a) Heizungsart



(b) Haushaltsgröße

Abbildung 15 Vorläufige Ergebnisse der ersten Teilnehmerbefragung (2).

3.5 Entwurf des dritten Fragebogens

Die Befragungen der vorangegangenen zwei Wellen haben untersucht, wie es um die baulichen und persönlichen Gegebenheiten der Probanden bestellt ist. Bauliche Maßnahmen zur Energieeinsparung und die persönliche Einstellung zu bestimmten Themen wie Umweltbewusstsein, Wichtigkeit von Sparen und den Gründen zur Teilnahme am Projekt wurden dabei näher betrachtet. Für die dritte Befragungswelle sollten nun, entsprechend dem Projektantrag, vor allem die Teilnehmerzufriedenheit und Haushaltseinsparungen genauer untersucht werden. Von großer Wichtigkeit waren hier die Rentabilität und die Nützlichkeit der Geräte für den Verbraucher. Außerdem sollten auf Grundlage der Datenauswertung Handlungsempfehlungen zur Präzisierung und Ergänzung der Projektergebnisse formuliert werden.

- (1) *Bezug zu vorherigen Fragebögen*
Während die ersten beiden Befragungswellen sich hauptsächlich mit den technischen und persönlichen Rahmenbedingungen für die Teilnahme am Projekt beschäftigten, lag der Schwerpunkt der dritten Befragung auf der Teilnehmerzufriedenheit. Dementsprechend musste für die letzte Umfrage ein neuer Fragebogen entwickelt werden, welcher speziell auf Fragen nach *Nutzungsverhalten*, *Wahrnehmung der Nützlichkeit* der eingesetzten Geräte, *Akzeptanz* der eingesetzten Geräte, *Zahlungsbereitschaften* sowie wahrgenommene *Vor- und Nachteile* einging.
- (2) *Weiterentwicklung bestehender Fragen*
Ein Teil der zuvor gestellten Fragen wurde in ggf. leicht abgewandelter Form erneut gestellt, so dass grundlegende Informationen von allen Teilnehmern gesammelt werden konnten, die – aufgrund der zeitversetzten Installationen der Geräte – teilweise nicht an allen Befragungen teilgenommen haben. Zu diesen Informationen gehören etwa demografische Fragen oder Fragen zur Projektteilnahme und der Einstellung der Probanden zu bestimmten Themenfeldern. Einige Fragen zielten auch darauf ab, Veränderungen während der Projektteilnahme festzustellen (z.B. in der Einstellung), sofern die Teilnehmer an mehr als einer Befragung teilgenommen haben. Zum anderen erfüllen einige Fragen den Zweck, durch wiederkehrende Elemente eine vermeintliche Bekanntheit bzw. Vertrautheit zu schaffen und damit die Akzeptanz des Fragebogens zu erhöhen. So wurde etwa die Einstiegsfrage erneut mit Hilfe eines Bildes gestellt, welches in seiner Form den vorherigen Einstiegsbildern ähnlich sieht.
- (3) *Gestaltung und Verteilung*
Auch in Vorbereitung der dritten Befragungswelle wurde für die Entwicklung des Fragebogens die Google-Docs-Plattform genutzt. Diese erwies sich als besonders hilfreich, da sie es ermöglichte, dass die räumlich getrennten Teams des Fraunhofer ITWM und des Fraunhofer MOEZ synchron am Fragebogen arbeiten konnten.
Der Fragebogen der dritten Welle besteht aus 31 Fragenblöcken, wobei

diese in ihrem Umfang stark variieren. Einige Fragenblöcke stellen lediglich eine einzelne Frage, während andere mehrere Fragen mit identischen Ausprägungsmöglichkeiten enthalten. Um eine Vergleichbarkeit mit den vorherigen Fragebögen zu ermöglichen – was vor allem bei den identisch gestellten Fragen hilfreich ist – wurde zur Beantwortung der meisten Fragen erneut eine Viererskala genutzt. Zusätzlich zu den vier Antwortmöglichkeiten bestand jedoch immer die Möglichkeit nicht zu antworten bzw. „weiß nicht“ anzugeben. Diese Antworten können später problemlos herausgefiltert werden und verzerren somit die Analyse nicht. Abbildung 16 zeigt eine solche beispielhafte Antwortmöglichkeit.

9. Geben Sie bitte an, inwieweit Sie den folgenden Aussagen zustimmen. *
Markieren Sie nur ein Oval pro Zeile.

	stimme voll und ganz zu	stimme eher zu	stimme eher nicht zu	stimme überhaupt nicht zu	weiß nicht
Das Thema Klimawandel hat eine große Bedeutung für mich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Thema Umweltschutz hat eine große Bedeutung für mich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Einzelne Menschen können nichts zum Umweltschutz beitragen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Abbildung 16

Beispiel einer genutzten Viererskala

Die Viererskala hat den Vorteil, dass die Probanden sich mehr oder weniger deutlich für oder gegen eine Aussage entscheiden müssen. Eine neutrale Antwort ist nicht möglich, wodurch ausgeschlossen ist, dass unentschiedene Teilnehmer die Ergebnisse verzerren, indem sie eine mittlere Position markieren.

Zusätzlich zu dem Fragebogen wurde denjenigen Teilnehmern, welche zum ersten Mal an einer Befragung teilnahmen, eine E-mail mit ergänzenden Fragen geschickt. Mit Fragen zu Wohnverhältnis, Eigentumsverhältnis der Immobilie, Heiztyp und bereits durchgeführten Energieeffizienzmaßnahmen sollten vor allem grundlegende Daten beschafft werden, welche bereits in den vorangegangenen Fragebögen abgefragt wurden. Gegen eine erneute Abfrage im eigentlichen Fragebogen spricht, dass Teilnehmer, die diese Fragen bereits in einer früheren Befragung beantwortet haben, durch eine erneute Beantwortung derselben Fragen das Interesse an der Beantwortung des

restlichen Fragebogens verlieren könnten in der Annahme, dass viele der weitere Fragen ebenfalls identisch mit zuvor gestellten Fragen wären.

4 Projektresultate

Zur Teilnahme am EMOS Projekt wurden insgesamt 66 Haushalte im Kreis Kaiserslautern mit zugehörigen Geräten ausgestattet. Die Aufteilung nach privaten Haushalten, ITWM Mitarbeitern und Betatester² sah zum Start des Projektes wie in Abbildung 17 aus.

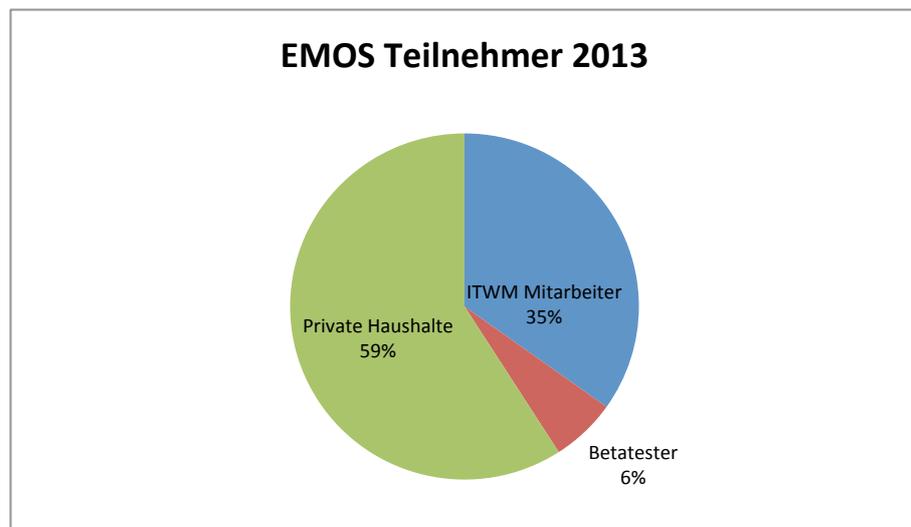


Abbildung 17

Teilnehmer im ersten Projektjahr 2013

Im Laufe des Projektes kam es zu Kündigungen aus unterschiedlichen Gründen, die nachstehend aufgelistet sind:

- (1) Das Erstellen des Hexabus-Basisstation Image zu kompliziert
- (2) Zeitmangel: Die Installation erforderte zu viel Zeit
- (3) Keine exakte Messung, da man über eine Fußbodenheizung verfügt
- (4) Funkprobleme

²Die Gruppe der Betatester setzt sich aus Projektteilnehmern zusammen, die schon im vorangegangenen Projekt mySmartGrid einen Smartmeter erhalten hatten und in diesem Projekt als erste mit den neuen Geräten versorgt wurden.

- (5) Umzug und danach kein Interesse mehr
- (6) Internetverbindung nicht 24h verfügbar
- (7) Optisch störend: Es handelt sich hier um die PT100-Rohranlegefühler inkl. rotem Kabel

Insgesamt haben neun Teilnehmer im Laufe des Projektes gekündigt und ihre Geräte wieder zurück geschickt. Trotz intensivem Support, konnten diese Teilnehmer nicht von einer weiteren Teilnahme überzeugt werden. 26 Teilnehmer haben ihre Geräte erhalten, allerdings haben wir von diesen Teilnehmern nur zeitweise bzw. nie Daten gesendet bekommen.

Weiterhin wurden sieben Installationen vor Ort durch einen ITWM Mitarbeiter durchgeführt. Diese Teilnehmer kamen im Laufe der Installation an einen der unten genannten Punkte, an denen sie die Installation nicht mehr eigenständig durchführen konnten und haben uns um Hilfe gebeten. Die Hauptgründe warum man keine Selbstinstallation durchführen konnte.:

- (1) das in Erfahrung bringen der Geräte-IP Adresse, Gateway-IP-Adresse und Subnetzmaske
- (2) das Erzeugen des Hexabus-Basisstation Images
- (3) der Download des Programmes WinZip
- (4) fehlender SD-Kartenleser zum Beschreiben der SD-Karte
- (5) das Pairing des Raumklimasensors mit der Hexabus Basisstation
- (6) das Anbringen der Rohranlegefühler an die Heizung

Weitere sieben Teilnehmer hatten lediglich das Problem das Hexabus-Basisstation Image für die SD-Karte zu erzeugen. Nach erfolgter Rücksprache haben diese von uns eine SD-Karte zugeschickt bekommen und konnten danach eigenständig mit der Installation fortfahren.

Somit können wir zum Ende des Projekts 31 aktive Teilnehmer verzeichnen, die EMOS in ihren Haushalten einsetzen. Von diesen 31 Teilnehmer mussten 30% Hilfe (vor Ort Installationen, fertige SD-Karten) für die Installation in Anspruch nehmen. Die Aufteilung nach privaten Haushalten, ITWM Mitarbeitern und Betatestern ist in Abbildung 18 dargestellt.

Neben den oben angeführten Installationsproblemen war es für uns auch recht schwierig, die Teilnehmer zur Beantwortung der Fragen in unseren Fragebögen zu bewegen. Insbesondere im Falle der Verbrauchswerte von Heizung und Elektrizität ist die Datenbasis sehr dürftig — so konnten uns lediglich 18 Teilnehmer ihren Heizenergiebedarf von 2012 mitteilen.

Daher ergänzen wir im Folgenden die Auswertung der Fragebögen mit rein qualitativen Aussagen der Teilnehmer, um ein differenzierteres Gesamtbild zu erheben. Zur sicheren, quantitativen Auswertung der verwendeten Techniken

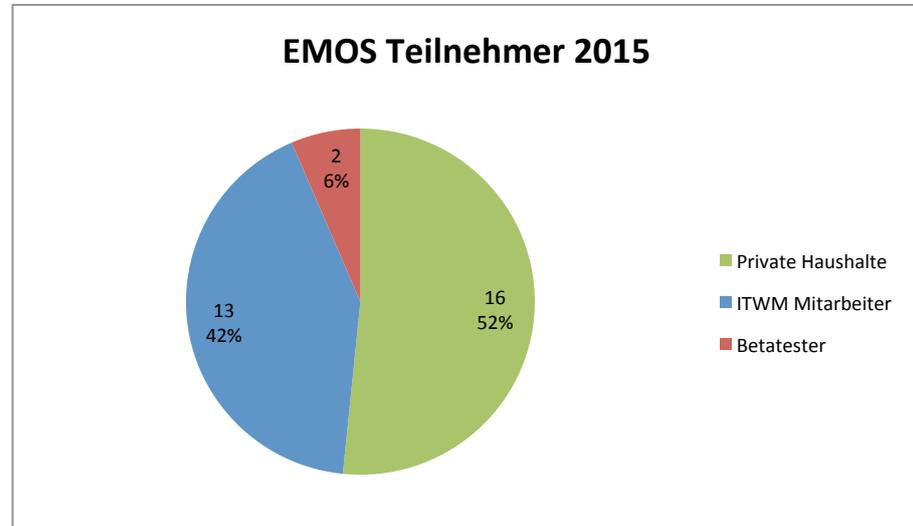


Abbildung 18 Teilnehmer im letzten Projektjahr 2015

müsste eine erheblich höhere Zahl von Teilnehmerhaushalten gewonnen werden.

4.1 Geräteinstallation

Die oben bereits beschriebenen Installationshindernisse haben wir mit unseren Teilnehmer ausführlich diskutiert. Im Kern können die aufgetretenen Probleme in zwei Kategorien unterteilt werden. Einerseits traten Probleme im Hinblick auf die Installation der Software, andererseits im Hinblick auf die Hardware auf. Im Hinblick auf die nachfolgenden Abschnitte muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass es sich bei der von uns eingesetzten Hard- und Software um Prototypen handelt und nicht die Reife eines Serienproduktes als Maßstab genommen werden darf.

4.1.1 Softwareprobleme

Die Hauptursache für die aufgetretenen Softwareprobleme war die Einrichtung der Internetverbindung für den Datentransport. Um die Installation einfach zu gestalten haben wir den Teilnehmern ein Werkzeug zur Verfügung gestellt, mit dem sie das Betriebssystem für die Basisstation direkt online konfigurieren und einrichten konnten. Dies erlaubte uns eine schnelle Anpassung der Software, sodass wir auf eingehende Anfragen direkt mit einem Patch reagieren konnten.

Allerdings führte die Eingabe von Netzwerkeinstellungen durch den Nutzer (vgl. Abbildung 19) zu gehäuften Supportanfragen. Die Ermittlung der notwendigen

Einstellungen zusammen mit den Projektteilnehmern war allerdings in den meisten Fällen eher unproblematisch.

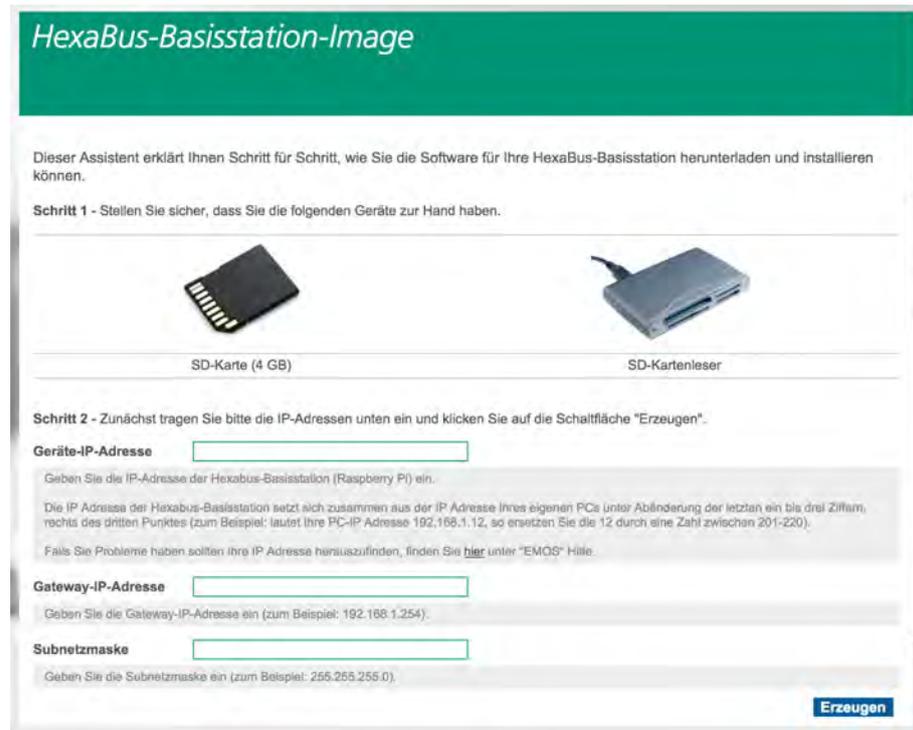


Abbildung 19

Die Konfigurationsoberfläche für die Generierung eines Betriebssystemimages für die Basisstation.

Der Download des Betriebssystemimages hingegen stellte einige Benutzer mit relativ kleiner Internetanbindung jedoch vor eine Geduldsprobe - in einem Falle dauerte der Download des Images rund eine halbe Stunde. Das anschließende Kopieren des Images auf die SD-Karte war für einige Teilnehmer ebenso ein Problem, da sie über keinen SD-Kartenadapter verfügten. In diesen Fällen haben wir den Teilnehmern einfach einen entsprechenden Adapter überlassen.

Nach der Installation der Software auf der Basisstation liefen die Geräte jedoch im Regelfall ohne weitere Probleme. Die Installation des Fluksos mussten wir — da ein Eingriff in den Unterverteiler des Mieters erforderlich ist — durch einen lokalen Fachbetrieb ausführen lassen. Dieser Fachbetrieb übernahm die elektrische Installation der Stromsensoren sowie die Einbindung des Fluksos in das Netzwerk des Projektteilnehmers. Einige Teilnehmer bestanden allerdings auch auf der selbstständigen Installation des Fluksos — in diesen Fällen mussten wir mit einem erhöhten Betreuungsaufwand rechnen.

Ein weiteres Softwareproblem betrifft den Raumtemperatursensor: Die Anzeige der Verhaltenshinweise berücksichtigt die im Sommer erhöhten Temperaturen nicht, vgl. auch Tabelle 7 auf Seite 85. So bekamen viele Teilnehmer den

Hinweis, dass die Temperatur zu hoch sei und die Heizung reduziert werden sollte. Dieser Hinweis ist im Winter sinnvoll, im Sommer jedoch durch die hohen Außentemperaturen nicht adäquat. Im Zuge eines Softwareupdates ließe sich dieses Verhalten natürlich ändern — jedoch erfordert das Softwareupdate direkten Zugriff auf das Gerät. Daher konnten wir die bereits installierten Geräte nicht mit neuer Software versorgen.

4.1.2 Hardwareprobleme

Die von uns entwickelte Hardware funktionierte im Allgemeinen reibungslos, vgl. auch Abschnitt „Probleme des Testsystems“ auf Seite 67. Es kam im Projekt zu keinem Ausfall von Geräten. In einigen Fällen war eine Installation des Flukso nicht möglich, da der Unterverteiler keinen Raum für weitere Geräte bot.

Im laufenden Betrieb traten in einigen Haushalten Funkempfangsprobleme auf. Diese führten dazu, dass die betroffenen Messgeräte keine Daten übermitteln konnten. Die Empfangsprobleme ließen sich aber in allen Fällen durch eine andere Positionierung des Empfängers beheben. In einigen Fällen wurde auch die Internetverbindung zeitweise unterbrochen. Der Flukso ist in der Lage, bis zu drei Tage lang die angefallenen Messwerte zu puffern. Ein lediglich kurzfristiger Ausfall der Internetverbindung kann problemlos überbrückt werden. Beim Hexasense-Gerät bzw. der Basisstation ist der Speicherplatz dafür nicht gegeben - hier gingen beim Ausfall der Internetverbindung auch die entsprechenden Messdaten verloren.

In einigen Haushalten wurde die Ästhetik der Temperaturerfassungskomponenten bemängelt. Die Kritik betrifft weniger den Raumtemperatursensor selbst als die Kabel für die Erfassung der Vor- und Rücklauftemperatur. Wir haben auf fertig konfektionierte Anlegefühler aus der Heizungstechnik eingesetzt, die über eine rote Silikonleitung mit dem Raumtemperatursensor (bzw. der Stromversorgungsbox) verbunden wurden. Leider empfanden viele Teilnehmer die Farbe der Leitung als sehr störend, sodass oftmals die Anlegefühler nicht montiert wurden.

4.2 Erhobene Messdaten

Einen Überblick über die von uns erhobenen Messdaten gibt Abbildung 20. Für die meisten Teilnehmer haben wir kontinuierlich Daten von Ende November 2013 bis Ende Januar 2015 aufzeichnen können. Um Weihnachten 2013 kam es zu einer Störung unseres Webdienstes, sodass wir eine Lücke von ca. 4 Tagen in den Messwerten aller Teilnehmerhaushalte haben.

Leider zeigt die Abbildung auch, dass die Geräte in den Teilnehmerhaushalten nicht kontinuierlich betrieben wurden. Viele Ausfälle sind auf Umzüge während

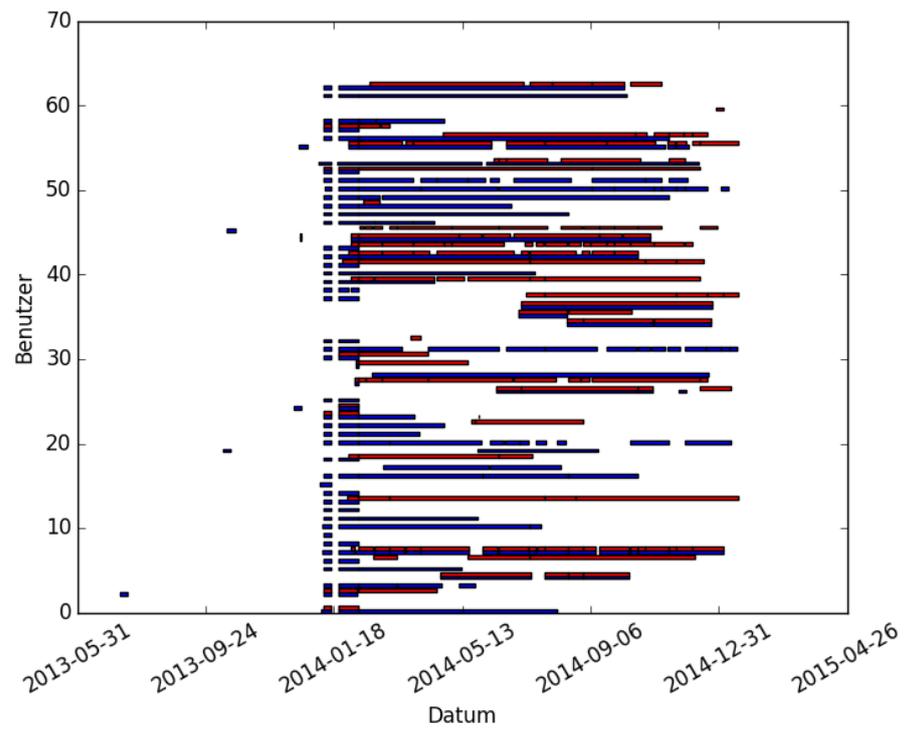


Abbildung 20 Überblick über die aufgezeichneten Daten im Meßzeitraum. Auf der X-Achse ist ein Zeitstrahl dargestellt, während auf der Y-Achse unterschiedliche Teilnehmerhaushalte abgetragen sind. Die blauen Balken markieren vorhandene Strommesswerte, die roten Temperaturmesswerte.

des Projektzeitraums zurückzuführen. Eine andere Ursache für fehlende Messdaten ist z.B. ein geändertes WLAN-Passwort - Teilnehmer vergaßen schlichtweg, z.B. im Flukso das entsprechende Passwort zu aktualisieren. Andere entfernten z.B. auch die Temperaturmesskomponenten, da die Ästhetik der Prototypen nicht gegeben war.

Jede einzelne Messreihe wurde ebenfalls noch einmal gesichtet und auf Plausibilität geprüft. Dazu wurde zum Beispiel berechnet, wie groß der zeitliche Abstand zwischen zwei eingegangenen Messungen ist. Die Abbildung 21 zeigt dies: Im oberen Teil der Grafik ist der zeitliche Abstand jeder Messung zur vorangegangenen Messung in Sekunden angegeben. Es zeigt sich deutlich, dass in der Regel alle 60 Sekunden ein Messwert erhoben werden konnte. Einige wenige Messungen wurden nicht aufgezeichnet - dies ist durch die Punkte über der roten Linie gekennzeichnet. Diese Zeitreihe kann für die folgenden Auswertungen problemlos verwendet werden.

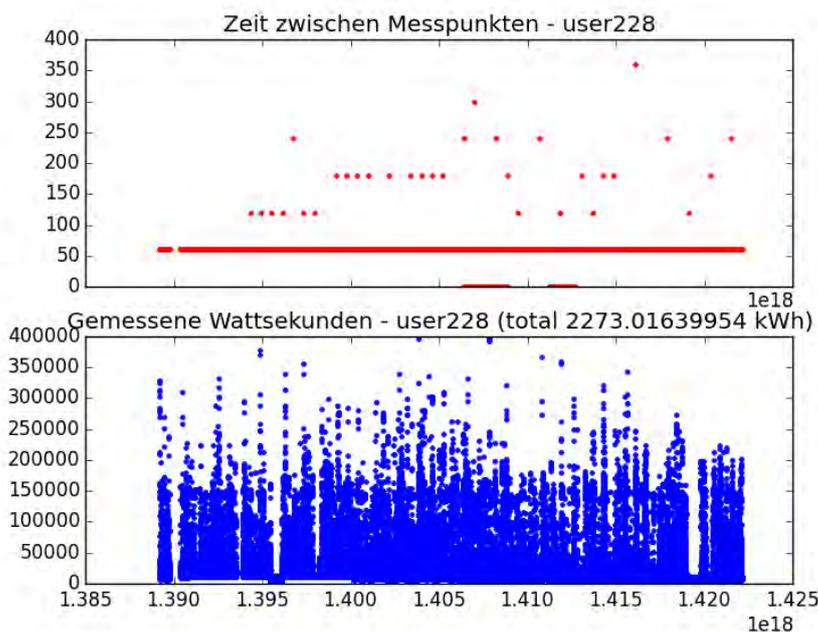


Abbildung 21

Darstellung der Messdaten des Benutzers 228: Die obere Grafik zeigt die Zeit zwischen zwei Messpunkten des Flukso im Projektverlauf, die untere Grafik die aus den Messdaten berechneten Wattsekunden zu jedem Zeitpunkt. Die X-Achse stellt hierbei einen Unix-Zeitstempel dar. Der Haushalt verbrauchte im Projekt 2273 kWh.

Tabelle 5 zeigt eine Übersicht über die verwertbaren Messreihen. Leider ist es uns lediglich bei 20 Haushalten gelungen, überhaupt brauchbare Messdaten im Hinblick auf den Heizungsbetrieb zu erheben. Wir konzentrieren uns bei der folgenden Auswertung eher auf die Auswertung der Raumklimadaten.

	Anzahl Haushalte
Flukso liefert Daten	36
Hexasense liefert Temperatur & Luftfeuchte	32
Heizungssensoren angeschlossen	24
davon verwertbare Heizungsmessdaten	20

Tabelle 5 Übersicht über die verwertbaren Messdaten

4.3 Raumklimadaten

Über das Raumklimamessgerät haben wir Lufttemperatur und -feuchte gemessen. Aufgrund der oben beschriebenen Schwierigkeiten ist es uns leider nicht gelungen, die Temperaturen für Vor- und Rücklauf in jedem Haushalt aufzuzeichnen. Die Datenbasis ist für Auswertungen nur sehr bedingt geeignet.

Im Hinblick auf das Raumklima interessiert uns im Projekt primär die Möglichkeit, durch eine Senkung der Raumtemperatur einen Einspareffekt erzielen zu können. Gleichzeitig muss das Wohnraumklima aber auch angenehm und gesundheitsförderlich bleiben. Die beiden erhobenen Parameter Lufttemperatur und -feuchte müssen also kategorisiert werden und eine Bewertung der Temperaturen in den Haushalten vorgenommen werden.

Leider haben wir im Projekt aufgrund von Verzögerungen bei der Fertigung der Raumklimamessgeräte die Installation erst im Ende 2013 vornehmen können. Es liegen uns überwiegend Messwerte aus der Heizperiode 2014/15 vor. Um das Heizverhalten getrennt von äußeren Einflüssen wie z.B. erhöhten Temperaturen im Sommer auswerten zu können stellen wir im Folgenden einen Haushalt immer auf der Basis von zwei Punkten dar:

- (1) Der „blaue“ Punkt bezeichnet die durchschnittlichen Winterwerte. Diese Werte wurden im Dezember/Januar/Februar aufgezeichnet.
- (2) Der „rote“ Punkt beschreibt hingegen die durchschnittlichen Sommerwerte, die im Juni/Juli/August gemessen wurden.

Um die beiden Temperaturen einem Haushalt zuordnen zu können verbinden wir die beiden Punkte mit einer Geraden. So lässt sich auch auf einen Blick erkennen, ob es in einem Haushalt einen signifikanten Unterschied zwischen Sommer- und Winterklima gibt.

Abbildung 22 stellt die Durchschnittswerte in einem Temperatur/Luftfeuchtediagramm dar. Zur Beurteilung des Raumklimas ist im Hintergrund wieder das im Projekt verwendete, modifizierte Leusden-Frey-mark-Diagramm (vgl. auch Anhang B) eingezeichnet. Zunächst ist auffällig, dass sich alle gemessenen Temperaturen im Durchschnitt innerhalb der noch behaglichen Zone befinden. Es traten also nur vereinzelt Werte auf, die als

unbehaglich zu bewerten wären.

Generell lässt sich feststellen, dass die mittleren Sommertemperaturen von 22,9° deutlich über den mittleren Wintertemperaturen von 20,9° liegen. Die Außentemperaturen dominieren im Sommer — wenige Haushalte ausgenommen — die Temperaturen in den Räumen. In wenigen Haushalten liegen sowohl Sommer- als auch Winterdurchschnittstemperaturen in dem von uns angestrebten niedrigeren Bereich. Die meisten Haushalte orientieren sich eher an den höheren Temperaturen.

Eine kleine Spreizung zwischen den beiden Messwerten lässt auf eine sehr gut isolierte Wohnung oder eine Kellerwohnung schließen. Die Haushalte mit einem sehr großen Unterschied zwischen Sommer- und Wintertemperatur sind überwiegend Dachgeschoßwohnungen.

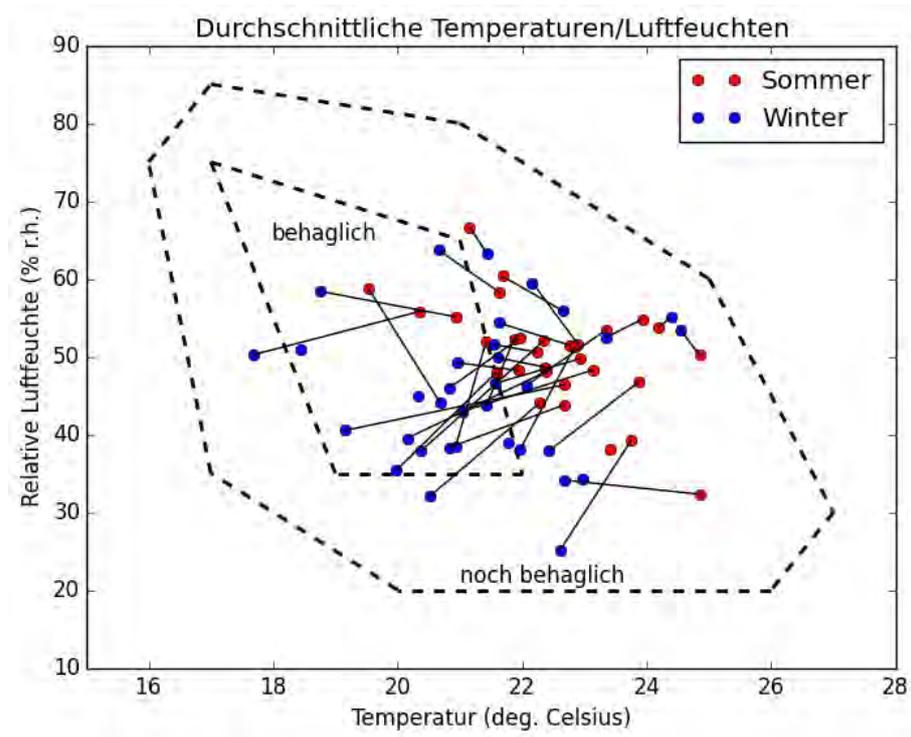


Abbildung 22

Alle Haushalte im modifizierten Behaglichkeitsdiagramm von Leusden & Freymark. Die Behaglichkeitszone wurde im Projekt um ein Grad nach links beschnitten, um so durch die Anzeige des Raumklimamessgerätes einen Anreiz zur Temperaturreduktion zu geben. Die Mehrzahl der Haushalte bevorzugt jedoch wärmere Temperaturen. Einzelne Punkte zeigen Haushalte, bei denen entweder nur Winter- oder nur Sommertemperaturen gemessen werden konnten.

Neben der Behaglichkeit des Raumklimas und den Einspareffekten durch die Absenkung der Raumtemperatur muss allerdings auch ein zweiter Faktor

berücksichtigt werden: Die Ausbildung von Schimmel. Schimmel findet in Wohnungen fast alle Wachstumsfaktoren vor, die notwendig sind: Die Temperaturen sind üblicherweise in einem günstigen Bereich und Tapeten, Holzoberflächen etc. enthalten genügend Nahrung [24]. Damit ist die Oberflächenfeuchtigkeit der dominierende Faktor bei der Entstehung von Schimmel in Wohnräumen.

Damit Schimmelpilze wachsen können muss auf der Oberfläche „freies“ Wasser vorhanden sein [24]. Die Wachstumsbedingungen sind für Schimmelpilze zumeist bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 80% gegeben. Innerhalb eines Raumes ist die Wärmeverteilung jedoch nicht konstant - Ecken in Außenwänden sind zumeist erheblich kälter als die Raumluft. In der Praxis legt man daher meistens von Oberflächentemperaturen zugrunde. In Raumecken unterschreitet die Temperatur der Raumluft um bis zu 10 Grad.

Da wir im Projekt immer nur die relative Raumluftfeuchte messen müssen wir unsere Daten umrechnen. Wir bedienen uns dabei des Taupunktabstands: Wie groß ist der Abstand zu der Temperatur, bei dem die Luftfeuchtigkeit auskondensieren würde (also rel. Luftfeuchtigkeit = 100% gilt)?

Dazu muss zunächst die Taupunkttemperatur aus dem gemessenen Temperatur- und Luftfeuchtwerten abgeleitet werden. Mit Hilfe der Magnusformel lässt sich der Sättigungsdampfdruck E der Raumluft mit der Temperatur T für $T \geq 0 \text{ } ^\circ \text{C}$ näherungsweise — unter der Annahme konstanter Gasdruckverhältnisse — berechnen:

$$E(T) = 6.1078 \cdot 10^{\frac{7.5 \cdot T}{237.3 + T}} \quad (1)$$

Aus dem Sättigungsdampfdruck kann der Dampfdruck e der aktuellen relativen Luftfeuchtigkeit r und der Lufttemperatur T berechnet werden:

$$e(r, T) = \frac{r}{100} \cdot E(T) \quad (2)$$

Mit dem Dampfdruck e kann schließlich die Taupunkttemperatur τ bestimmt werden:

$$\tau(r, T) = \frac{237.3 \cdot v}{7.5 - v} \quad (3)$$

wobei

$$v(r, T) = \log_{10} \left(\frac{e(r, T)}{6.1078} \right) \quad (4)$$

Für ein gegebenes Temperatur-/Luftfeuchte-Wertepaar lässt sich damit der Abstand zum Taupunkt berechnen. Dieser Abstand ist in Abbildung 23 dargestellt: Die gestrichelten Linie im Hintergrund stellen Isolinien dar, bei denen der Taupunkt Abstand einen gemeinsamen Wert erreicht hat. Im rot markierten Bereich (oberer Teil der Grafik) wird ein Taupunkt Abstand unterschritten, d.h. es kann zum Auskondensieren der Luftfeuchtigkeit in ungünstigen Zimmerecken kommen.

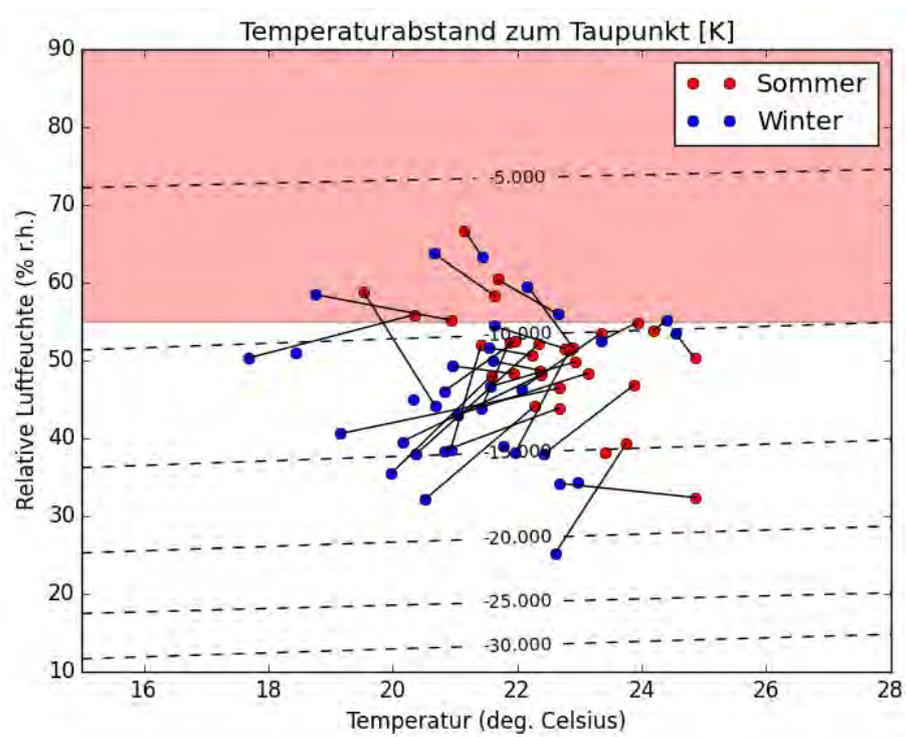


Abbildung 23

Haushalte und Abstand zum Taupunkt: Der Graph zeigt die mittleren Sommer- und Winterklimapunkte aller Haushalte. Im Hintergrund ist die Distanz zum Taupunkt in Kelvin angegeben. Die Haushalte im roten Bereich unterschreiten den bauphysikalisch wichtigen Abstand von 10 Kelvin. In diesen Haushalten muss eine Schimmelbildung befürchtet werden.

Im Vordergrund der Grafik sind die bereits diskutierten Durchschnittsklimawerte der Teilnehmerhaushalte aufgetragen. Einige Haushalte befinden sich in der Tat in einem Bereich, in dem eine Schimmelbildung befürchtet werden muss. Mit einigen dieser Haushalte konnten wir telefonisch bestätigen, dass Schimmel dort vorkommt. Bei anderen Haushalten zeigte sich jedoch, dass es bislang zu keinem Schimmelbefall gekommen ist. Unsere Methodik kann also allenfalls ein

Indikator für einen Schimmelbefall darstellen, jedoch nicht zuverlässig Schimmelbefall diagnostizieren. Auch der Schimmelpilzleitfaden [24] kommt zur Schlussfolgerung, dass die Luftfeuchtigkeit eine notwendige und zentrale Vorbedingung ist, allerdings weitere Faktoren für das Schimmelpilzwachstum notwendig sind.

Eine Überwachung der Schimmelpilzgefahr kann dennoch sowohl für Mieter als auch für Vermieter hilfreiche Informationen liefern. Wir prüfen derzeit, ob ein entsprechendes Gerät ohne Kommunikationsfunktionalität den Erfordernissen der Wohnungswirtschaft genügen würde.

4.4 Stromverbrauchsdaten

Die Stromverbräuche der Teilnehmerhaushalte wurden durch die installierten Fluksos erhoben. Durch das Messprinzip des Fluksos kann nur die Scheinleistung gemessen werden — dafür ist aber keine aufwändige Neuverkabelung erforderlich. In anderen Projekten haben wir die Abweichungen zwischen einem geeichten Smart Meter und einem Flukso verglichen. Wir konnten für normale Haushalte eine Abweichung von bis zu 2% feststellen, wobei die Abweichung von den elektrischen Verbrauchern im Haushalt (Blindleistungsanteil) abhängt. Für die Zwecke dieser Untersuchung sind die Messwerte ausreichend genau.

Aus den Messdaten haben wir für jeden Haushalt den jährlichen Stromverbrauch berechnet. Gemessen haben wir für jeden Haushalt eine Messreihe mit Tupeln (t, p) , d.h. zu jedem Zeitpunkt t haben wir eine zugehörige Leistung p in Watt gemessen. Um daraus einen Jahresstromverbrauch zu berechnen haben wir zunächst die zeitlichen Unterschiede zwischen den Zeitstempeln berechnet:

$$\delta t_i = t_{i+1} - t_i \forall i \quad (5)$$

Jedem dieser Messintervalle haben wir die Leistung p_i dem linken Zeitstempels (also t_i) zugeordnet und daraus die Arbeit W in Wattsekunden berechnet:

$$W_i = p_i \cdot \delta t_i \quad (6)$$

Die Arbeit ist in Wattsekunden ausgedrückt, kann aber einfach in Kilowattstunden umgerechnet werden.

Die Grafik 24 zeigt im oberen Bereich den aus den Messdaten abgeleiteten jährlichen Stromverbrauch. Ein einzelner Haushalt dominiert die Grafik: Der hohe Jahresstromverbrauch von 18500kWh/Jahr kann durch die in diesem

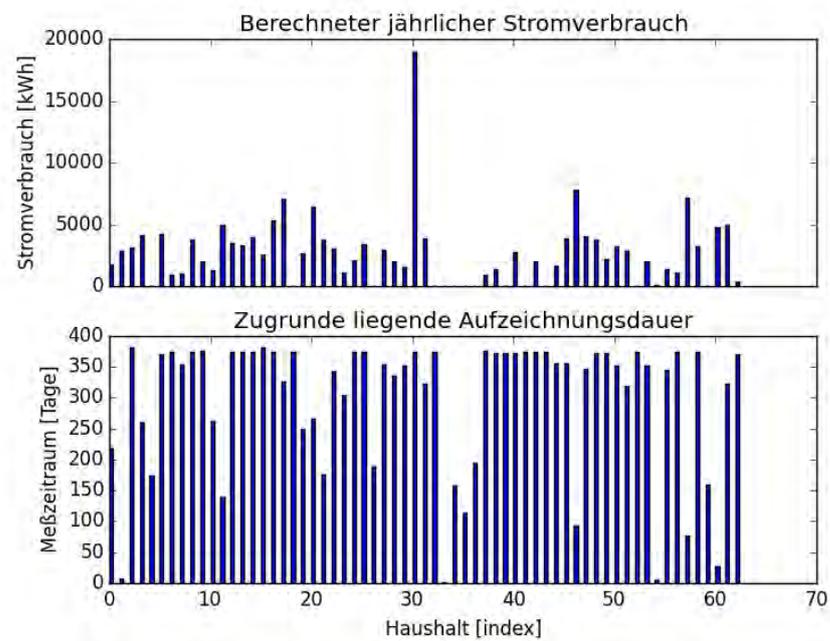


Abbildung 24

Überblick über die aufgezeichneten Stromdaten. Der jährliche Stromverbrauch wurde aus den aufgezeichneten Messdaten berechnet unter der Annahme, dass die Messdaten repräsentativ sind. Bei einigen Haushalten stehen leider nicht genügend Daten zur Verfügung — diese Datensätze wurden für Analysen nicht verwendet. Beide Graphen verwenden die gleiche X-Achse, d.h. zwei übereinanderliegende Säulen sind dem gleichen Haushalt zugeordnet.

Haushalt eingesetzte Nachtspeicherheizung erklärt werden. Die anderen Verbrauchswerte liegen im vorab erwarteten Bereich.

Die untere Hälfte der Abb. 24 stellt die zugrunde liegende Aufzeichnungsdauer dar. Da wir während der gesamten Projektlaufzeit neue Teilnehmer akzeptiert haben kann die Dauer der Datenaufzeichnung unterschiedlich sein. Ebenso sind einige Teilnehmer während des Projekts umgezogen, sodass die erforderlichen Installationsarbeiten erneut vorgenommen werden mussten. Die Aufzeichnungsdauer variierte dementsprechend. Generell haben wir nur diejenigen Haushalte in unsere Auswertung mit einbezogen, von denen wir mehr als 30 Tage an Messdaten aufzeichnen konnten.

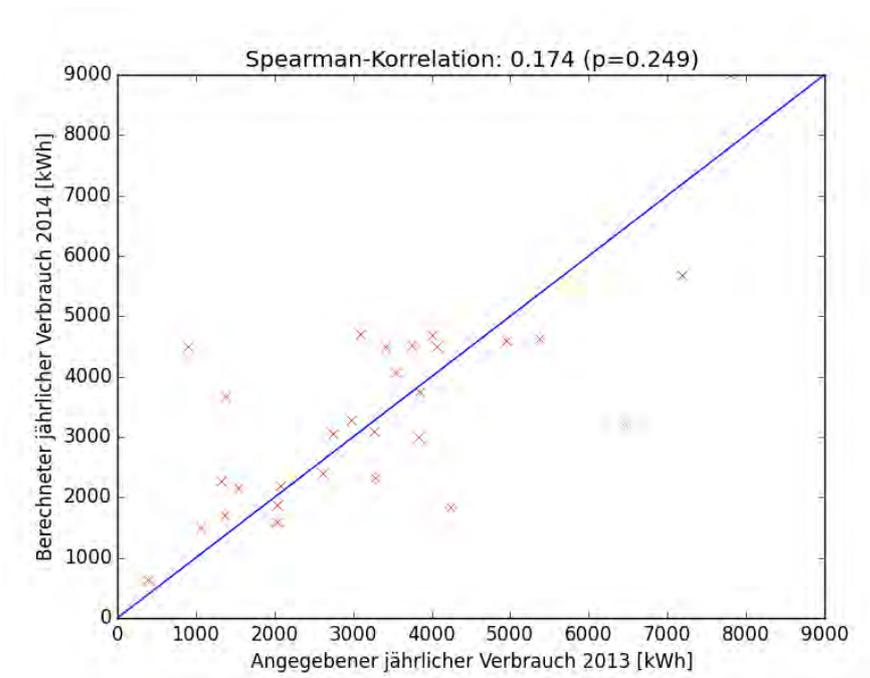


Abbildung 25

Korrelation der Jahresverbrauchswerte: Die Grafik vergleicht den von den Teilnehmerhaushalten im Fragebogen angegebenen Jahresstromverbräuche 2013 mit den von uns aus den Messwerten berechneten Jahresstromverbräuchen 2014. Es ist keine Korrelation feststellbar.

Insgesamt konnten wir also detaillierte Messdaten über einen Zeitraum von gut einem Jahr sammeln. Da wir auch die Einspareffekte durch die Smart Meter quantifizieren wollten haben wir die Jahresstromverbräuche aus den Jahren 2012 und 2013 über die Fragebögen abgefragt. Leider zeigte sich jedoch schon bei der manuellen Sichtung der Werte, dass überwiegend gerundete Werte (z.B. 1200 kWh, 2000 kWh) angegeben wurden und keine tatsächlichen Abrechnungswerte. In einem Fall wurde ein Fragebogen von einem Haushalt im Abstand von einem Monat doppelt beantwortet, jeweils mit signifikant unterschiedlichen Verbrauchsangaben.

Wir konnten leider keine verlässliche Datengrundlage herstellen. Abbildung 25 zeigt zum Beispiel einen direkten Vergleich der (geschätzten) Verbrauchswerte 2013 mit den gemessenen Verbrauchswerten 2014. Auch wenn man einen Einspareffekt unterstellt sollte sich eine Korrelation der Stromverbrauchswerte feststellen lassen — die jedoch in diesem Fall nicht gegeben ist (Spearman-Korrektur 0,174 bei $p = 0,249$). Anhand der Umfragewerte und unseren Aufzeichnungen können wir leider keine statistisch signifikanten Einspareffekte nachweisen.

4.4.1 Erkennung von Geräten

Eine Zielsetzung des Projekts war die Evaluation von Techniken zur Erkennung von Geräten im Haushalt. Diese als „Non-intrusive appliance load monitoring“ (NIALM) bekannte Gruppe von Algorithmen ist gegenwärtig Gegenstand vieler Untersuchungen. Schon 1992 hatte Hart et al mit der Charakterisierung von Haushaltsgeräten aus den Messdaten eines Smart Meters begonnen [12]. Einen Überblick über die gegenwärtigen Techniken liefert z.B. Berges et al [2] oder auch Zeifman et al [25]. Trotz der in den letzten Jahren zunehmenden Anzahl von Publikationen haben sich entsprechende Algorithmen bislang in der Praxis nicht durchsetzen können. Aus einer technologischen Perspektive reicht die Bandbreite der eingesetzten Techniken von einfachen genetischen Algorithmen [1] bis hin zur Auswertung von harmonischen Schwingungen der Einschaltmomente [5].

Wir haben auf der Basis der Stromverbrauchskurven aus dem Projekt und unserer Datenbank von Gerätesignaturen eine Detektionsmechanismus entworfen. Im Kern unseres Ansatzes steht eine Supportvektormaschine [4], vgl. Abbildung 26.

Die im Projekt aufgezeichneten Zeitreihen werden zunächst so aufbereitet, dass wir einzelne Signaturen (vergleichbar mit Schaltereignissen) erhalten. Diese werden dann jeweils für ein Gerät (z.B. ein Kühlschrank) in zwei Gruppen unterteilt: Das Gerät kommt in der entsprechenden Signatur vor (Positivbeispiel) oder nicht (Negativbeispiel). Während dem algorithmischen Design haben wir die Daten dann willkürlich in mehrere Datensätze unterteilt und unsere Supportvektormaschine trainiert.

Unsere Entwicklungen zeigten, dass die Supportvektormaschine durchaus in der Lage ist, die beiden Gruppen (Positiv- und Negativbeispiele) voneinander zu unterscheiden. Dem Hintergrundrauschen in privaten Haushalten kommt jedoch eine hohe Bedeutung zu: Fügt man in die zu erkennenden Signaturen ein Hintergrundrauschen ein, so sinkt die Erkennungsrate rapide ab, vgl. Abb. 27.

Bei drei zusätzlichen Geräten, die im Hintergrund des eigentlich zu erkennenden Gerätes betrieben werden, liegt die Erkennungsrate nur noch bei 68% —

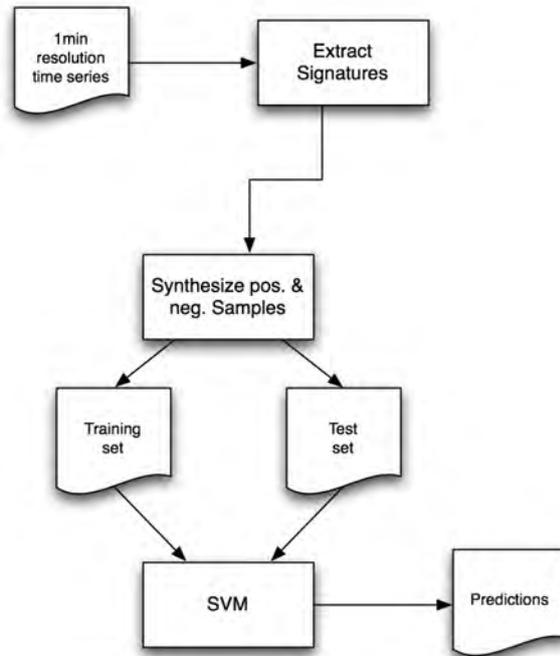


Abbildung 26 Überblick über unsere Toolchain zur Erkennung von Gerätesignaturen.

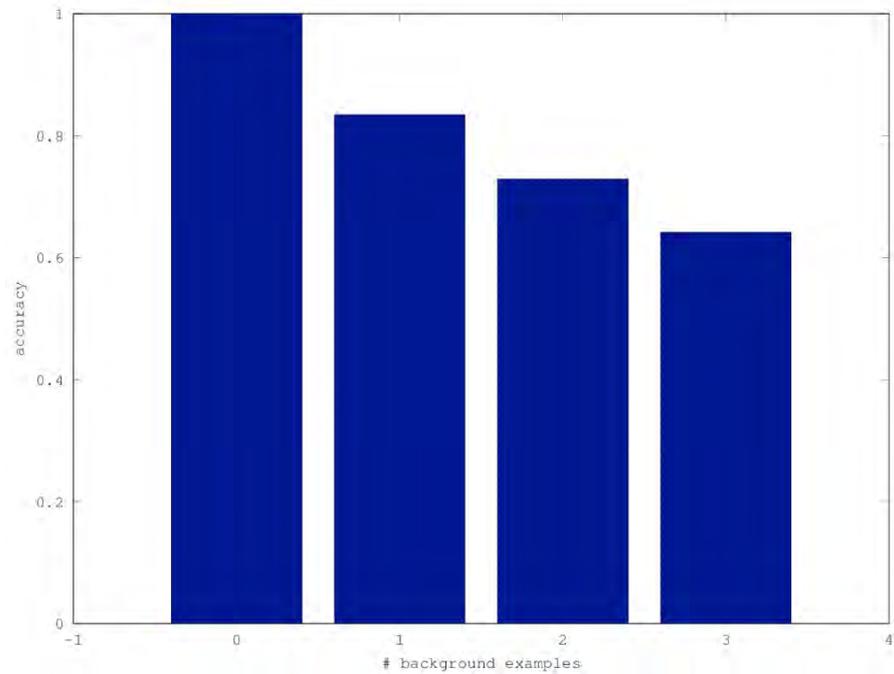


Abbildung 27 Abnahme der Erkennungsgenauigkeit wenn mehr Verbraucher in die Daten eingefügt werden.

zuwenig, um eine plausible Einordnung der Geräte unserer Teilnehmer machen zu können. Wir haben uns — auch nach Gesprächen mit Teilnehmern — entschieden, diese Forschungsrichtung nicht weiter zu verfolgen. Wir können zwar eine Einschätzung des Geräteparks geben, jedoch ist diese Einschätzung statistisch nicht stabil genug, um eine nützliche Information für unsere Teilnehmer zu bieten.

4.4.2 Clustern von Teilnehmerhaushalten

Das Clustering der Teilnehmerhaushalte versucht, Ähnlichkeiten in den Stromverbrauchsmustern der einzelnen Haushalte auszunutzen und so Gruppen von Haushalten zu identifizieren. Die Analyse der Teilnehmerdaten hat zum Beispiel gezeigt, dass der Stromverbrauch dem Lebensrhythmus der Bewohner folgt, vgl. Abb. 28.

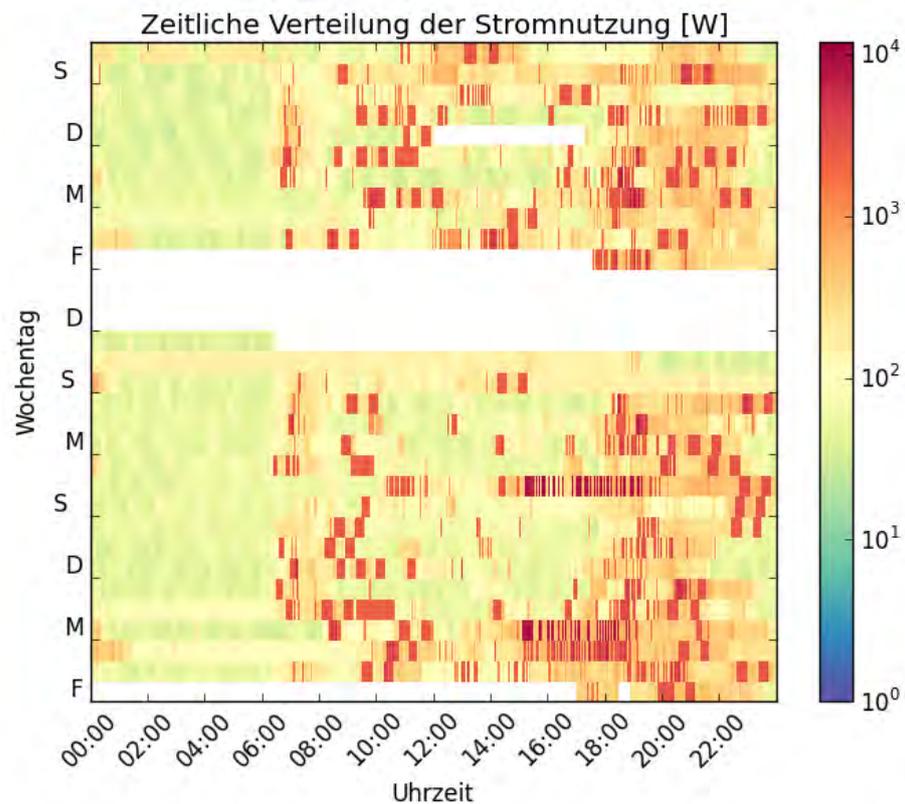


Abbildung 28

Zeitliche Verteilung des Stromverbrauchs eines Teilnehmerhaushalts. Es sind deutliche Strukturen zu erkennen die Rückschlüsse auf das Verhalten der Bewohner liefern. Die weißen Flecken sind auf fehlende Messdaten zurückzuführen.

In dieser Grafik ist deutlich zu erkennen, dass z.B. gegen sieben Uhr morgens

die Bewohner aufstehen und tagsüber oft niemand zuhause ist. Diese Informationen können aggregiert werden und so ein Profil des Haushalts erstellt werden. Berechnet man aus diesen Daten eine empirische, kumulative Verteilfunktion (siehe Abb. 29) so hat man eine sehr kompakte Repräsentation der Haushalte.

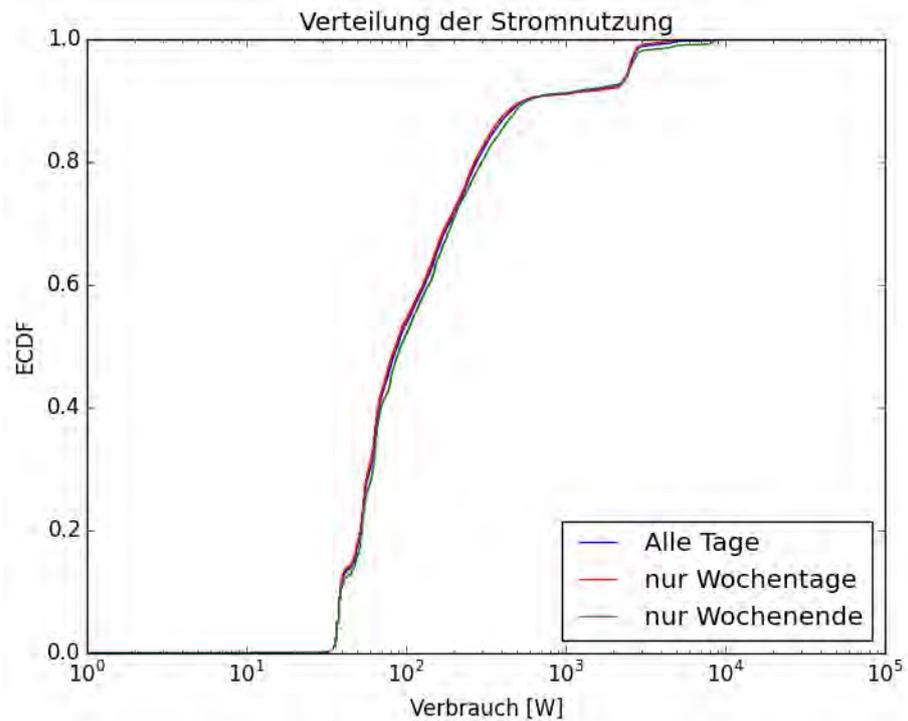


Abbildung 29

Empirische kumulative Verteilfunktion des Haushalts. Die Kurve kann als „Profil“ des Haushalts genutzt werden.

Diese Repräsentation kann nun dazu benutzt werden, um Haushalte zu gruppieren. Da die Repräsentation relativ kompakt ist und während der Entwicklung eines Verfahrens eine grafische Darstellung sinnvoll ist, haben wir zunächst ein hierarchisches Clusteringverfahren [20] umgesetzt. Die von uns gewählte agglomerative Variante betrachtet zunächst jeden Haushalt als einzelnen Punkt in einem n -dimensionalen Featureraum. Diejenigen beiden Punkte, die am nächsten beieinander liegen, werden zuerst zusammengefasst, vgl. Abb. 30: Die Distanz gibt an, bei welcher „Entfernung“ die beiden Cluster als ein Cluster betrachtet werden können. So werden Haushalte mit ähnlicher Verbrauchscharakteristik zusammengeführt.

In Abbildung 30 erkennt man deutlich die Baumstruktur, die durch das Zusammenfügen der einzelnen Haushalte entsteht. Dabei liegen einige Haushalte recht eng zusammen. Ab einer Distanz von 20 bietet es sich an, die Haushalte als eigenständige Cluster zu betrachten — in der Grafik haben wir

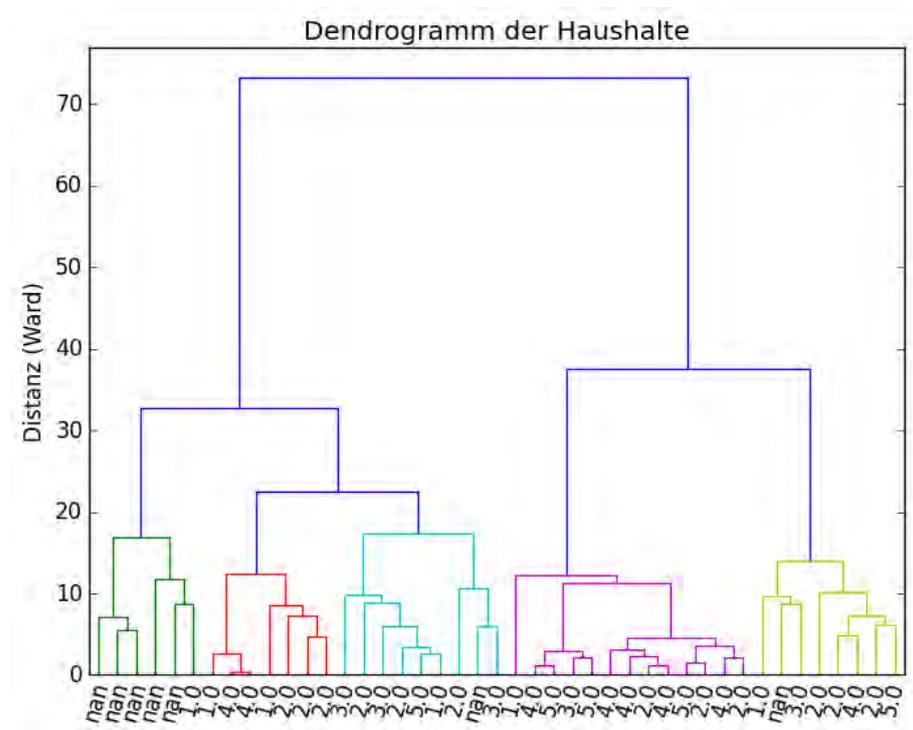


Abbildung 30

Clustering der Haushalte: Es ist durchaus möglich, ähnliche Stromverbrauchscharakteristiken zu identifizieren. Die obige Grafik zeigt fünf Cluster. Die Zahlen auf der x-Achse geben die Anzahl der Bewohner des entsprechenden Haushalts wieder. Es lässt sich keine Übereinstimmung der Haushaltsgröße mit den gebildeten Clustern erkennen.

die einzelnen Cluster entsprechend eingefärbt. In dieser Auswertung sind also fünf Typen von Haushalten identifizierbar.

Auf der X-Achse der Darstellung ist in diesem Beispiel die Anzahl der Bewohner abgetragen. Es lässt sich keine Übereinstimmung zwischen Haushaltsgröße und Stromverbrauchsprofil ableiten. Das verwundert auch wenig, da der Stromverbrauch sich eher an Lebensgewohnheiten und Gerätepark als an der Anzahl der Bewohner orientiert. Unsere Methode kann für eine Gruppenbildung eingesetzt werden, die dann zum Beispiel als Grundlage für ein Energiespiel dienen kann. Dieser Aspekt muss in einem Folgeprojekt genauer untersucht werden.

4.5 Ergebnisse der Teilnehmerbefragung

Die Erfassung der Messdaten ist — wie bereits in den Abschnitten 4.4 und 4.3 diskutiert — eine Herausforderung im Projekt. Wir haben unser Ziel, statistisch signifikante Aussagen aus den Messdaten abzuleiten, nicht erreichen können. Der Auswertung der Teilnehmerbefragung kommt daher eine hohe Bedeutung zu. In den folgenden Abschnitten diskutieren wir die gewonnenen Erkenntnisse.

4.5.1 Antwortverhalten

Im Zwischenbericht wurde erwähnt, dass die Rücklaufquote der ersten beiden Befragungen zu niedrig sei. In der dritten Befragungswelle wurde daher nach zwei Wochen³ ein Erinnerungsschreiben per Email versandt, welches die Teilnehmer des Projektes darum bat, die Fragebögen fristgerecht zu beantworten.

- (1) *Teilnehmerzahlen und fehlende Werte*
Das Erinnerungsschreiben bewirkte zwar, dass vor allem in den letzten 2 Wochen noch einige Fragebögen beantwortet wurden, allerdings war die Rücklaufquote erneut sehr gering. Dazu kommt, dass von den 22 Rückmeldungen lediglich 20 gültige Fragebögen waren, da es zwei Doppelungen gab. Grund hierfür war, dass zu einem späteren Zeitpunkt eine erneute Teilnahme an der Befragung erfolgte, nachdem es zunächst zu (lösbaren) technischen Problemen kam.
Von den 20 Teilnehmern haben wiederum nur 8 an den beiden vorangegangenen Befragungen teilgenommen. 3 weitere haben bereits den ersten Fragebogen, nicht aber den zweiten beantwortet, und 9 Personen sind erst nach der zweiten Befragung neu zum Projekt dazugekommen bzw. haben keinen der vorangegangenen Fragebögen beantwortet.

³Das entspricht der Hälfte der für die Beantwortung der Fragebögen vorgegebenen Zeit von 4 Wochen.

- Insgesamt muss die Rücklaufquote entsprechend erneut als zu gering für eine belastbare quantitative Auswertung bewertet werden.
- (2) *Vergleichbarkeit der Antworten mit vorherigen Fragebögen*
Statistisch belastbare Vergleiche der Antworten der dritten Befragung mit vorangegangenen Befragungen können streng genommen nicht durchgeführt werden bzw. sind nicht aussagekräftig, da eine Stichprobengröße von $n=8$ zu gering für eine quantitative Auswertung ist. Ein Vergleich der Antworten aus den einzelnen Fragebögen lässt jedoch eine qualitative Analyse zu, mit der zumindest Tendenzen dargestellt werden können.

4.5.2 Analyse der Antworten

- (1) *Problematik der geringen Teilnehmeranzahl*
Auch fragebogenintern, nur bezogen auf die dritte Befragung, ergeben sich durch die geringe Teilnehmeranzahl einige Probleme. Hinzu kommt, dass es stets möglich war, eine Frage durch die Option „weiß nicht“ offen zu lassen, was zu noch geringeren Rücklaufquoten in einzelnen Fragen führte.
So sind die Testergebnisse mitunter sehr instabil, was sich darin äußert, dass bereits eine weitere (oder fehlende) Antwort die Ergebnisse entscheidend verändern kann.
Beispiel: Der Stromverbrauch 2014 wurde etwa nur von 7 Personen angegeben und beläuft sich im Mittel auf ca. 3.300 kWh. Wird jedoch der Ausreißer mit einem Wert von 8.200 kWh (in einem Zweipersonenhaushalt!) entfernt, so beläuft sich der Stromverbrauch der Haushalte im Mittel auf nur noch ca. 2.500 kWh – eine Minderung um 800 kWh!
- (2) *Quantitative Analyse*
Aufgrund der geringen Stichprobengröße und den hiermit verbundenen Problemen bei einer quantitativen statistischen Auswertung (Robustheit, Validität und Reliabilität der Analysen sind bestenfalls fragwürdig) wurde entschieden, dass die Analyse der erhobenen Daten vornehmlich qualitativ erfolgen soll. Zusammenhänge und Bedingungen lassen sich somit immer noch vermuten und stellen – eine logische Schlussfolgerung vorausgesetzt – ein erstes Indiz für ein Verhaltensmuster dar.
- (3) *Qualitative Analyse*
Die qualitative Analyse der Daten erfolgt zuallererst durch Sichtprüfung und logische Überprüfung auf Plausibilität. Zeigen sich offensichtliche oder vermeintliche Zusammenhänge, so werden diese im Anschluss per Korrelationsanalyse näher untersucht. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Aussagekraft dieser Tests eher gering ist, so dass die Ergebnisse lediglich als Unterstützung für die aufgestellte Theorie oder Vermutung bestehen können, nicht aber als endgültiger Beweis.

4.5.3 Erkenntnisse aus den Analysen

Die Anzahl der beantworteten Fragebögen in der 3. Befragungswelle beläuft sich auf n=20. Die Anzahl der gültigen Antworten auf jede Einzelfrage kann jedoch variieren, da fehlende Angaben bzw. die Antwort „weiß nicht“ herausgefiltert wurden.

Gründe für die Teilnahme am Projekt:

Bereits im ersten Fragebogen wurde gefragt, was die Gründe zur Projektteilnahme sind und welche Erwartungen die Probanden mit dem Projekt verbinden.

Dabei wurden folgende Aussagen getroffen:

- 17x Wissenszuwachs um Sparpotenziale erwünscht
- 15x Energieverbrauch soll gesenkt werden
- 7x Das Raumklima ist unbefriedigend
- 2x Geld soll eingespart werden

Bei der dritten Befragung wurde diese Frage erneut aufgegriffen, da geprüft werden soll, ob sich die Motivation verändert hat. Außerdem sollte verglichen werden, ob sich die Erwartungen erfüllt haben.

Motivation zur Teilnahme

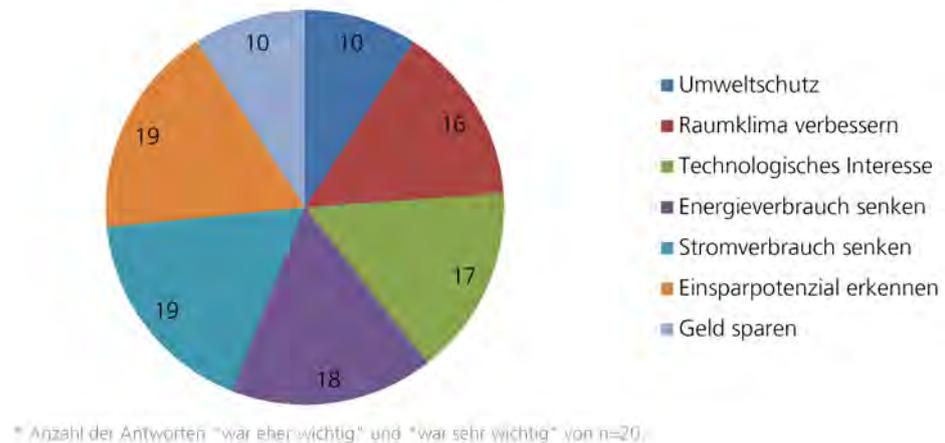


Abbildung 31

Antworten der 3. Befragung zu den Teilnahmegründen

Die Angaben der ersten Befragung spiegeln sich in den Antworten der dritten wieder. Die Teilnahmegründe können also bestätigt werden und haben sich im Laufe des Projektes nicht verändert. Interessant ist, dass der Umweltschutz und

reines „Geld sparen“ offenbar keine starken Gründe für die Teilnahme am Projekt darstellten. Hingegen scheint das technologische Interesse groß zu sein.

Demografie:

Personen im Haushalt

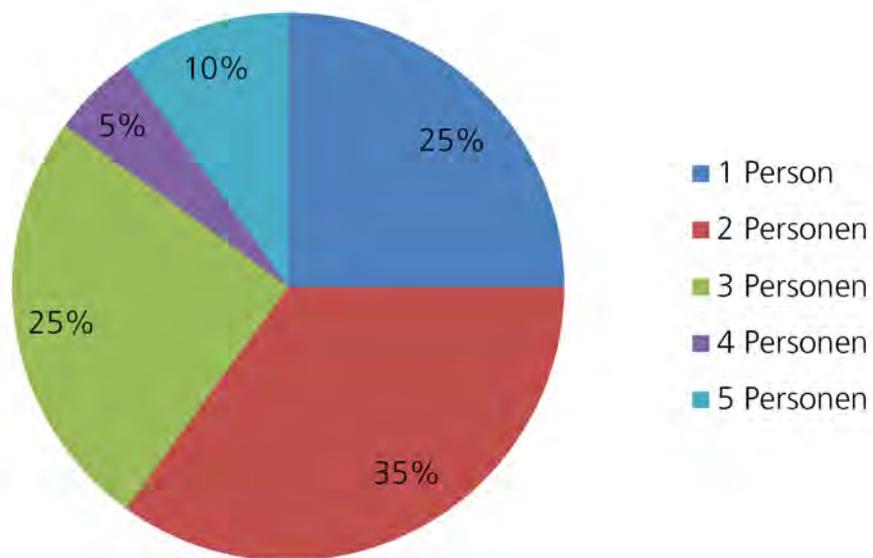


Abbildung 32

Anzahl der Personen im Haushalt

In den teilnehmenden Haushalten überwiegen die kleinen Haushalte deutlich, vgl. Abb. 32. Nur bei 15% der Probanden leben mehr als drei Personen in einem Haushalt. Diese Verteilung der Stichprobe entspricht zwar annäherungsweise der in Deutschland herrschenden Verteilung [21] jedoch lassen sich aufgrund des geringen Anteils von größeren Haushalten nur schwer Aussagen zum Einfluss der Personenanzahl auf Verbräuche und Ähnliches treffen.

In nur vier der Haushalte leben Kinder, und in zwei Haushalten Personen über 65 Jahren. Der Großteil der Befragten lässt sich also einer vergleichsweise jungen, kinderlosen Schicht zuordnen. Damit sind die Haushalte ohne Senioren in unserer Stichprobe deutlich überrepräsentiert (90% im Vergleich zu knapp 70% im gesellschaftlichen Durchschnitt), Haushalte mit Kindern sind mit 20%

der untersuchten Haushalte gegenüber dem bundesdeutschen Durchschnitt (ca. 33%) leicht unterrepräsentiert.

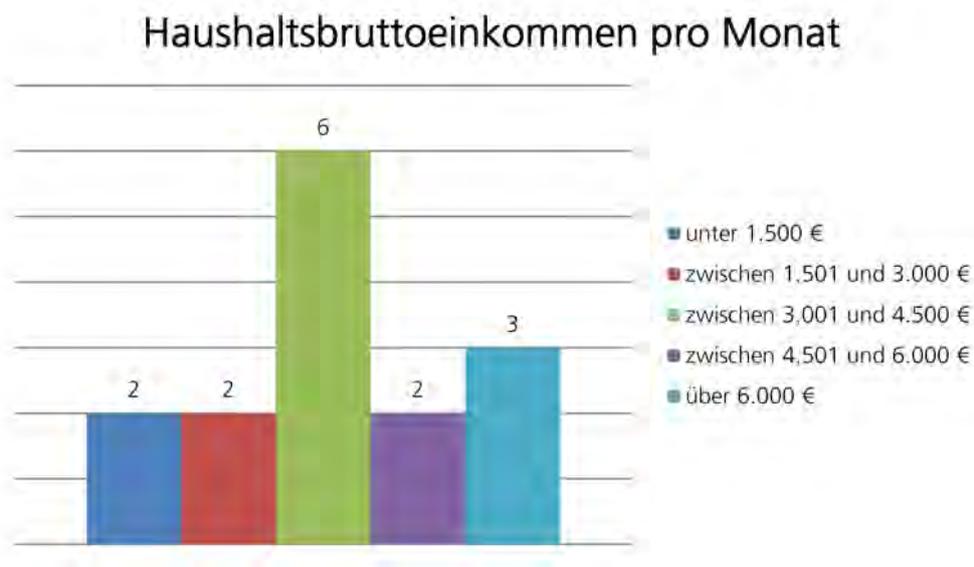


Abbildung 33

Bruttomonatseinkommen des gesamten Haushalts

11 der 15 Probandenhaushalte verfügen über ein monatliches Bruttoeinkommen von mehr als 3.000 Euro, vgl. Abb. 33. Dies stützt die Annahme, dass es sich bei einem Großteil der Haushalte um kinderlose Paare handelt, bei denen beide erwerbstätig sind.

Erfahrungen mit Smart Metern und Stromanbieterwechsel:

Zusätzlich zu diesen demografischen Fakten wurde noch erhoben, ob bereits Erfahrungen mit Smart Metern vorhanden sind und wie häufig der Stromanbieter in den letzten fünf Jahren gewechselt wurde. Dies sollte zeigen, ob Verzerrungen aufgrund vorheriger Erfahrungen vorliegen können und ob die Wechselhäufigkeit überdurchschnittlich hoch ist. Letzteres könnte darauf hinweisen, dass der Wunsch nach Einsparung von Stromkosten sehr hoch ist. Erfahrungen mit Smart Meter-Geräten lagen in etwa der Hälfte der Haushalte bereits vor. Auch ein Stromanbieterwechsel in den letzten fünf Jahren wurde in etwa der Hälfte der Haushalte vorgenommen, lag unserer Meinung nach jedoch nicht ungewöhnlich hoch. Lediglich 2 Probanden gaben an, in den letzten fünf Jahren mehr als dreimal, jedoch weniger als fünfmal den Anbieter gewechselt zu haben.

Dies deutet darauf hin, dass in den meisten Fällen versucht wird, Energiekosten vor allem durch persönliche Maßnahmen wie Smart Metering oder Verbrauchssenkungen zu minimieren. Womöglich sind die Einsparpotenziale durch Anbieterwechsel in den meisten Fällen bereits erschöpft. So oder so

ergeben sich hierdurch jedoch keine Verzerrungen, welche die folgenden Antworten bedingen könnten.

Es lässt sich festhalten, dass finanzielle Not in den wenigsten Fällen vorhanden zu sein scheint. Dies stimmt mit der Beobachtung überein, dass vor allem das technologische Interesse ausschlaggebend für die Projektteilnahme ist.

Grundlegende Einstellung:

Ein Interesse und Bewusstsein für Klimawandel und Umweltschutz sind vorhanden. Diese stellen aber offenbar nicht die Hauptbeweggründe der Probanden dar. Ein Zusatznutzen des Projektes für Umwelt und Klimaschutz wird sicherlich gesehen und ist durchaus erwünscht, aber zuallererst wollen die Probanden ihren Verbrauch senken. Dies stimmt auch mit dem technologischen Interesse für das Projekt überein.

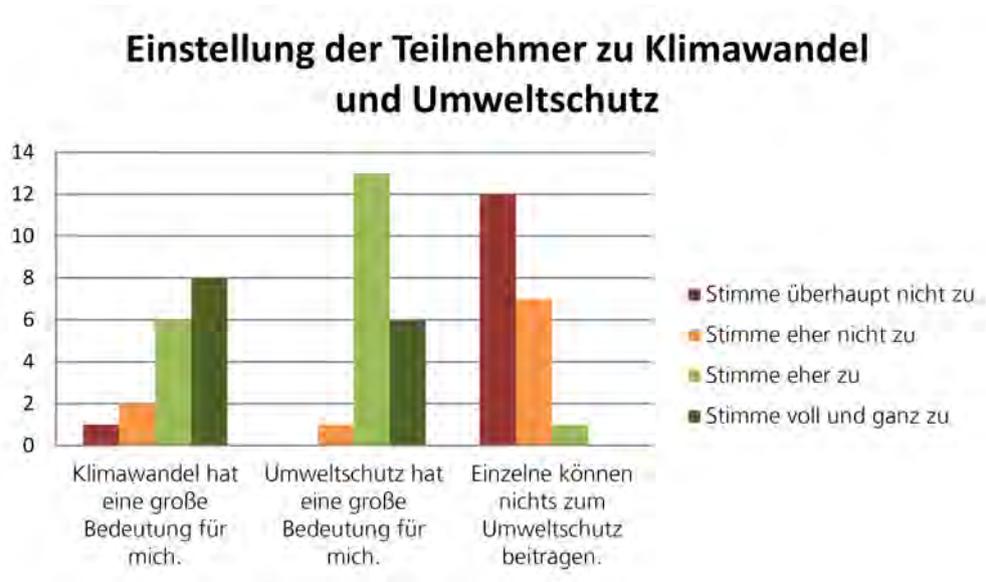


Abbildung 34

Einstellung zu Klimawandel und Umweltschutz und Bedeutung für das eigene Handeln

Das Interesse für die Themen Raumklima und Strom scheint in Zusammenhang mit dem Haushaltsbruttoeinkommen zu stehen, siehe Abbildungen 35 und 36. Ab einer gewissen Grenze, zwischen 4.500 und 6.000 Euro, scheint es häufiger zu sein, dass mit Freunden und Bekannten über die jeweiligen Themen gesprochen wird. Unter dieser Grenze sind die Themen – bewusst oder unbewusst – eher unwichtig.

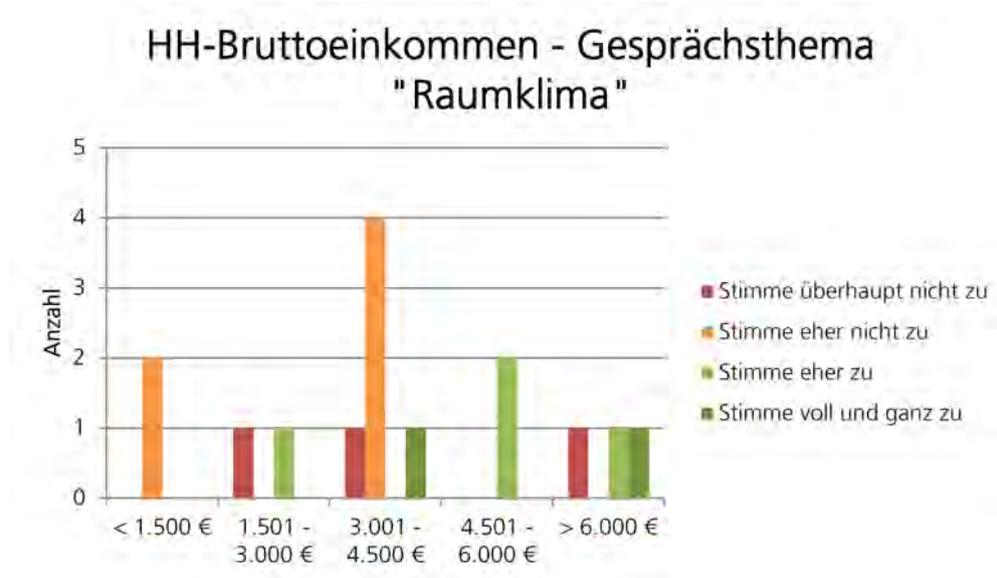


Abbildung 35 Zusammenhang zwischen Haushaltsbruttoeinkommen und Häufigkeit des Gesprächsthemas „Raumklima“ mit Bekannten und Verwandten

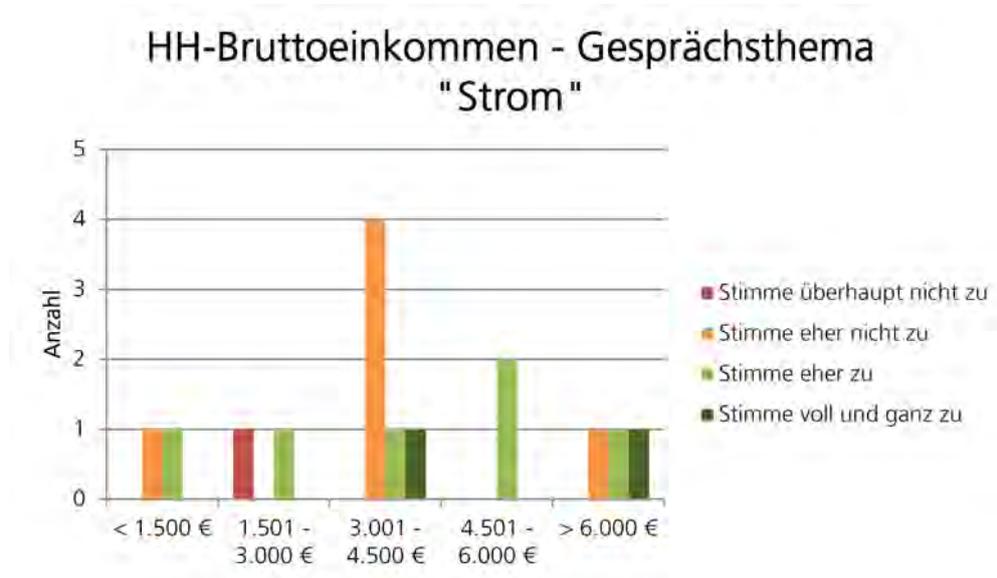


Abbildung 36 Zusammenhang zwischen Haushaltsbruttoeinkommen und Häufigkeit des Gesprächsthemas „Strom“ mit Bekannten und Verwandten

Möglicherweise können die Themen Raumklima und Strom als Themen gesehen werden, über die erst gesprochen wird, sobald die Grundbedürfnisse, in diesem Fall ausgedrückt über das Einkommen, gesichert sind.

Wie Abbildung 37 zeigt, sind die Probanden auch durchaus bereit ihre Gewohnheiten zu verändern, wenn sie dadurch sparen und/oder zum Umweltschutz beitragen – obwohl dies nicht die ausschlaggebenden Gründe für die Beteiligung am Projekt sind. Allerdings ist der überwiegende Teil nicht bereit, für Einsparungen auf etwas zu verzichten. Der aktuelle Lebensstandard darf also in den meisten Fällen nicht niedriger werden.



Abbildung 37

Bereitschaft zu Verzicht bzw. zum Ändern von Gewohnheiten

Erfüllung der Erwartung:

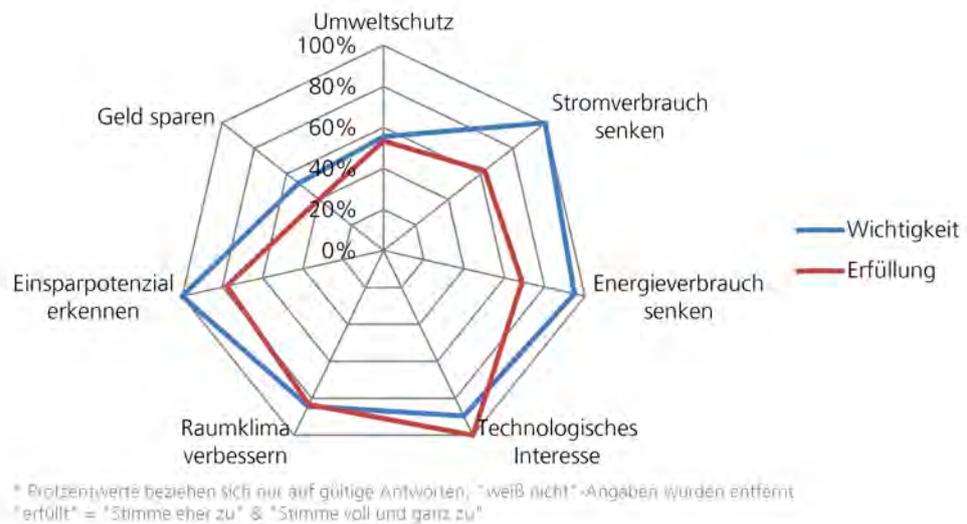


Abbildung 38 Wichtigkeit und Grad der Erfüllung der Erwartungen

In Abbildung 38 sind alle Projektteilnehmegründe aufgeführt, die in der ersten Befragung genannt wurden. In der dritten Welle wurde erneut gefragt, wie wichtig den Probanden die Gründe gewesen sind und wie sehr sie ihre Erwartungen als erfüllt ansehen. Es zeigt sich, dass besonders das technologische Interesse als wichtig angesehen und die Erwartungen dahingehend erfüllt wurden. Auch das Raumklima hat sich nach Meinung der Teilnehmer über den Projektzeitraum hinweg gebessert. Einsparpotenziale konnten ebenfalls weithin erkannt werden. Hingegen konnten die übrigen Wünsche nicht ausreichend erfüllt werden, was vor allem im Hinblick auf die hohe Wichtigkeit der Wünsche „Stromverbrauch senken“ und „Energieverbrauch senken“ als kritisch anzusehen ist. Die Wünsche Geld einzusparen und etwas zum Umweltschutz beizutragen, konnte das Projekt zwar ebenfalls nicht erfüllen, dafür waren den Teilnehmern diese Wünsche auch nicht sehr wichtig. Die angezeigten Handlungsempfehlungen des Raumsensors scheinen dazu geführt zu haben, dass sich das Raumklima gebessert hat und gleichzeitig Einsparpotenziale erkannt worden sind. Dagegen haben die Werte des Flukso offensichtlich nicht zu dem gewünschten Erfolg bei Einsparung von Stromverbrauch und Geld geführt.

Wissen der Teilnehmer:

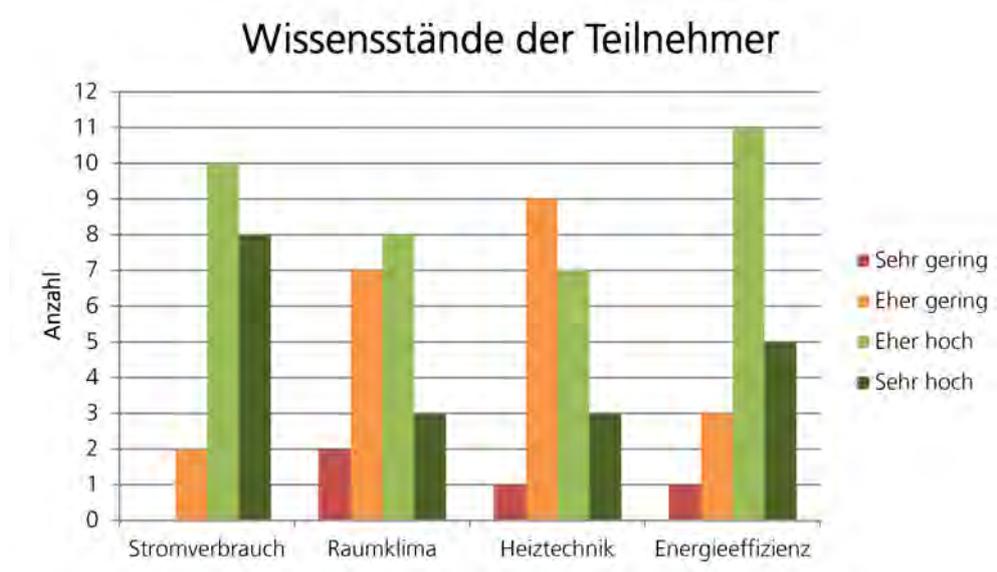


Abbildung 39

Wissensstände der Teilnehmer

Bei den Wissensständen der Teilnehmer (Abb. 39 zeigen sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der Themen „Strom“ und „Heizung“. So sind fast alle Teilnehmer der Meinung, einen eher bzw. sehr hohen Wissensstand zu Stromverbrauch und Energieeffizienz zu besitzen. Jedoch sind wesentlich mehr Teilnehmer der Meinung, dass ihr Wissen um Raumklima und Heiztechnik eher oder sogar sehr gering sei.

Die Vermutung liegt nahe, dass nur „kostenwirksames Wissen“, also das Wissen darum, wie man Strom- und Heizverbrauch senken kann, weithin bekannt sind. Raumklima und Heiztechnik lassen sich dagegen eher dem Wohlbefinden zurechnen und sind offenbar sekundär.

Wahrnehmung der Wohnsituation:

Die meisten Befragten sind mit der Luftqualität und dem Wohnklima insgesamt zufrieden, auch wenn nach eigenen Aussagen eher selten vor dem Schlafen gelüftet wird und vergleichsweise häufig angegeben wird, dass die Wäsche in der Wohnung getrocknet wird. Die relative Luftfeuchte beträgt trotz der oben genannten Aspekte nach Angabe der Befragten fast nie über 80%. Die Messreihen bestätigen dies.

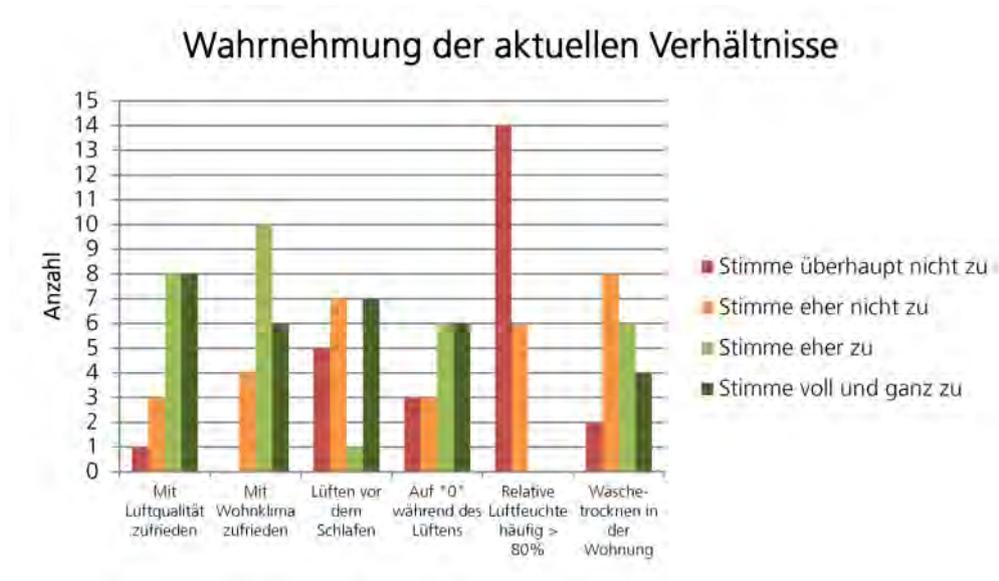


Abbildung 40 Wahrnehmung der aktuellen Wohnsituation (1)

Entgegen der Angabe, dass eher wenig über Raumklima und Heiztechnik bekannt ist, gibt doch ein Großteil hier an, dass die Zusammenhänge zwischen Raumluftfeuchte, Temperatur, Energieverbrauch und den entstehenden Kosten (hier als „Raumklima“ abgekürzt) bekannt ist. Analog dazu wird auch der Aussage zugestimmt, dass mehr Heizenergie verbraucht wird, wenn es in einem Raum feucht ist. Obwohl diese Zusammenhänge als bekannt angesehen werden, überrascht doch die Angabe, dass eher selten mindestens zweimal täglich für mindestens fünf Minuten gelüftet wird. Außerdem wird EMOS vergleichsweise häufig nicht als Werterhaltungsmaßnahme begriffen.

Bei den Aussagen zu Geräten, die im Standby gelassen werden und ob die Stromfresser im Haushalt bekannt wären, zeigt sich wieder das bekannte Bild, nämlich, dass die Probanden sich der unnötigen Stromverbraucher bewusst sind und diese minimieren.

Wahrnehmung der aktuellen Verhältnisse (Fortsetzung)

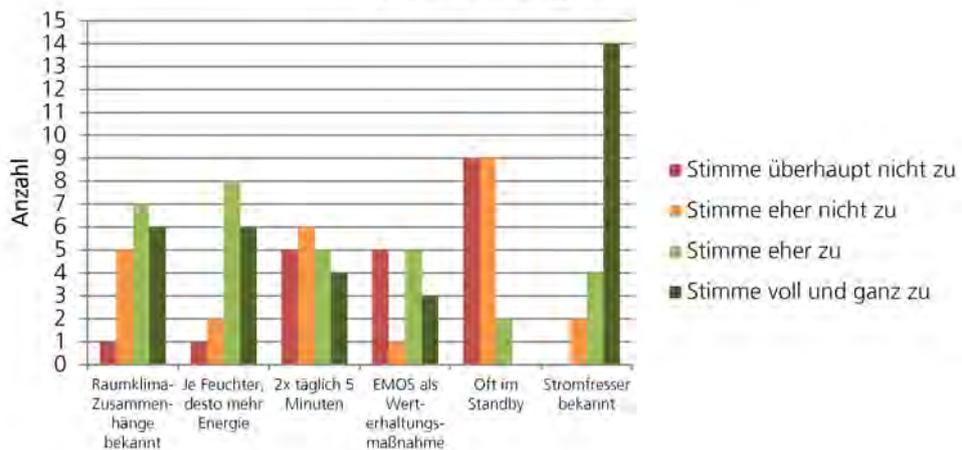


Abbildung 41 Wahrnehmung der Wohnsituation (2)

Das offensichtliche Missverhältnis von Lüftungsverhalten und dem Bekanntsein um die Zusammenhänge kann womöglich damit erklärt oder zumindest entkräftet werden, dass einige Räume sicherlich häufiger und regelmäßiger gelüftet werden als andere.

Insgesamt wird aber erneut deutlich, dass Stromkosten und -verbräuche weit bekannter zu sein scheinen, als die Zusammenhänge um das Raumklima und die Heizenergie, welche eingesetzt werden muss. Bei genauerer Betrachtung der Einkommensverhältnisse und der Aussage, dass die Wäsche in der Wohnung getrocknet würde, wird deutlich, dass offenbar ein Zusammenhang besteht.

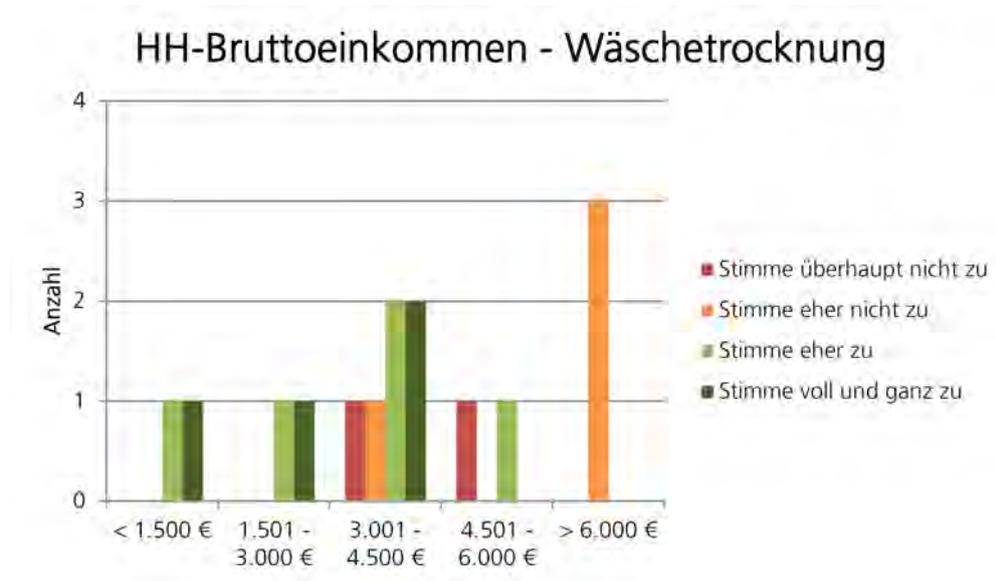


Abbildung 42 Zusammenhang zwischen Bruttoeinkommen und Wäschetrocknung in der Wohnung

Während die unteren zwei Einkommenskategorien eher oder voll der Aussage zustimmen, dass die Wäschetrocknung in der Wohnung erfolgt, gibt es ab der dritten Kategorie bereits einige Probanden, die diese Aussage ablehnen (vgl. Abb. 42). In der höchsten Einkommenskategorie, den Haushalten mit einem monatlichen Bruttoeinkommen über 6.000 Euro, wird die Wäsche hingegen gar nicht mehr in der Wohnung getrocknet. Entweder gibt es dann genügend Platz in der Immobilie, so dass ein separater Trockenraum genutzt werden kann, oder die Wäsche wird gänzlich außerhalb – etwa in der Reinigung – gewaschen und getrocknet. Das Einkommen hat also einen deutlichen Einfluss auf die Möglichkeiten und damit das Raumklima. Eine Studie des Gesundheitsamt der Freien Hansestadt Bremen kommt ebenfalls zu dem Schluss, dass das Haushaltseinkommen einen Einfluss auf die Entstehung von Schimmel hat [11].

Interesse am Projekt:

Das Interesse für das EMOS-Projekt geht in den allermeisten Fällen lediglich von einer Person aus, selten von zwei oder drei Personen im Haushalt. Entsprechend verwundert es nicht, dass die Geräte nur in etwa der Hälfte aller Fälle (11 von 20) von mehr als einer Person bedient und genutzt wurden, vgl. Abb. 43 und 44.

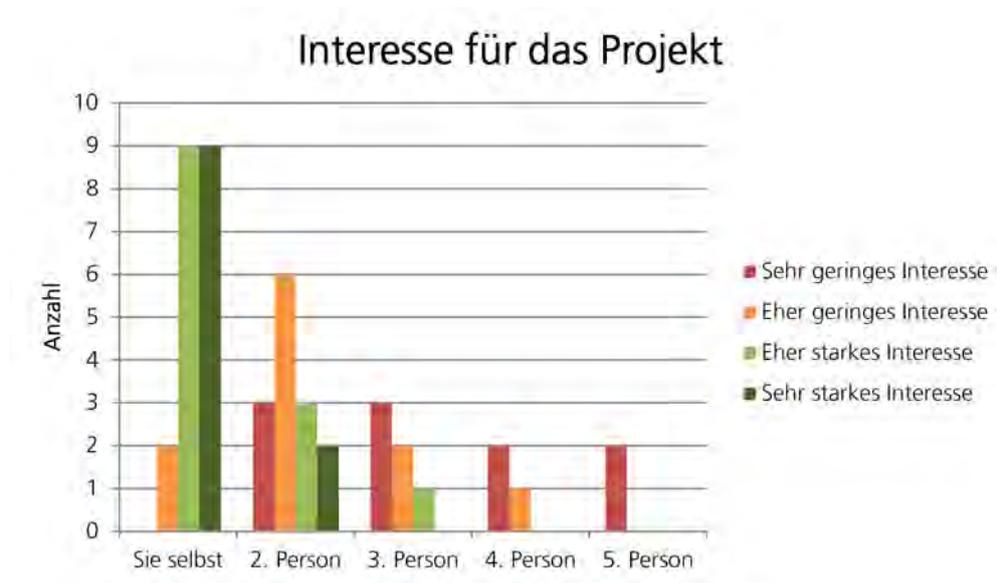


Abbildung 43 Interesse der Haushaltsmitglieder für das Projekt

Diese Beobachtung könnte bedeuten, dass eine Verzerrung der Antworten dahingehend vorliegen kann, dass nur diejenigen Personen mit den Geräten umgegangen sind, welche auch ein Interesse für die Technologie hatten. Entsprechend stellen die Antworten Aussagen von Personen dar, die ein höheres technisches Interesse als der „Durchschnittsbürger“ aufweisen, was wiederum Auswirkungen auf Nutzenbewertungen und Zahlungsbereitschaften haben kann.

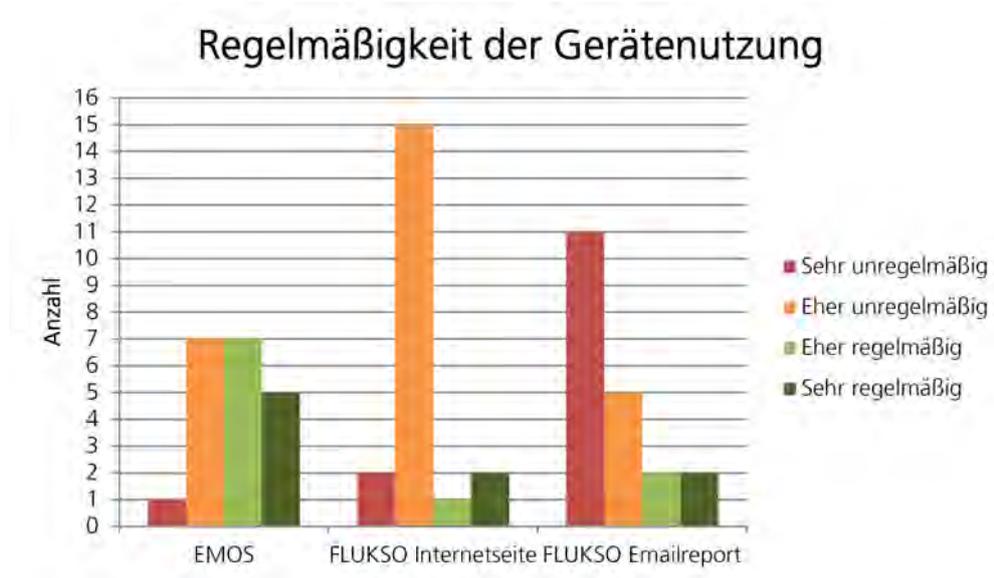


Abbildung 44

Regelmäßigkeit der Gerätenutzung

Der Raumsensor wird, verglichen mit der Internetseite des Flukso, relativ regelmäßig – also zu festen Zeiten und in festen Abständen – abgelesen. Die Akzeptanz scheint entsprechend höher zu sein. Die Emailfunktion des Flukso wurde hingegen von kaum einer Person regelmäßig genutzt.

Vor allem die Hinweise des Raumsensors dürften der Grund dafür sein, dass sich eher regelmäßig damit beschäftigt wird. Das Flukso hingegen zeigt lediglich Werte an, die aber ohne entsprechendes Wissen keinen Nutzen generieren, zumal es einen Mehraufwand bedeutet, die Werte abzurufen und eine geeignete Maßnahme zu überlegen. Der Raumsensor dagegen gibt lediglich Maßnahmen an, die sich sofort umsetzen lassen.

Benutzerfreundlichkeit der Geräte:

Darstellung, Navigation bzw. Bedienung sowie die Verständlichkeit der Geräte wird allgemein als gut gesehen, vgl. Abb. 45. Beim Fluksohelfen die Werte jedoch wesentlich besser beim Verständnis als bei der Optimierung des Stromverbrauchs. Beim Raumsensor sind beide Werte relativ schlecht beurteilt worden. So helfen hier die Werte nicht sonderlich gut, weder beim Verständnis noch bei der Optimierung der eingesetzten Heizenergie.

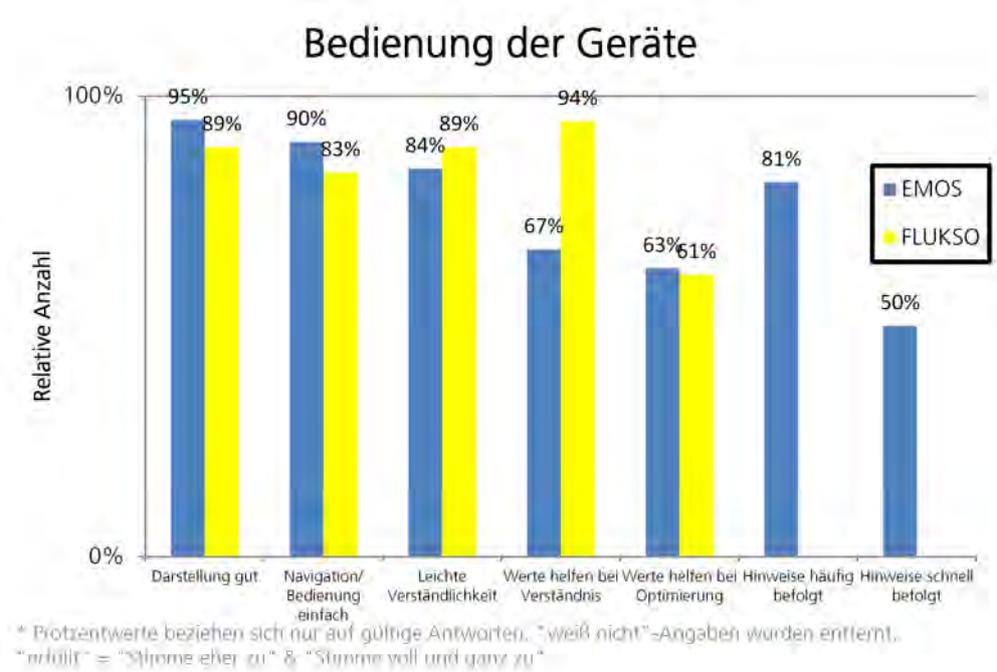


Abbildung 45

Benutzerfreundlichkeit der Geräte

Da das Flukso lediglich Werte zum Stromverbrauch anzeigt, aber keine Hinweise zur Optimierung liefert, werden die Informationen zwar als informativ, aber wenig nützlich gesehen. In vielen Fällen werden die offensichtlichen Stromfresser bereits eliminiert worden sein, so dass das pure Aufzeigen von noch vorhandenen Geräten mit großem Stromverbrauch wenig hilfreich für eine weitere Optimierung sein dürfte.

Beim Raumsensor ist die Lage etwas anders. Hier werden wenige Werte, dafür aber mehr Hinweise zum Optimieren geliefert. Daher ist es nicht verwunderlich, dass die Anzeige wenig zum Verständnis beiträgt. Dass die Werte bzw. Hinweise jedoch nur in rund 60% der Fälle bei der Optimierung des Heizenergieverbrauchs helfen würden, ist weniger verständlich. Ein Punkt kann sein, dass die Anweisungen zwar recht häufig, aber nur in 50% der Fälle zeitnah befolgt wurden.

Hier stellt sich die Frage, warum den Hinweisen nicht schneller gefolgt wird. Entweder sind die Betrachtungen der Anzeige derart sporadisch, dass erst zu spät eine Maßnahme (wie Lüften, Heizung höher/niedriger stellen) erfolgen kann, oder es wird sich bewusst dagegen entschieden. Etwa weil das Raumklima als angenehm empfunden wird, obwohl laut Anzeige keine optimalen Werte vorliegen.

Die Akzeptanz der Geräte zeigt sich also recht durchwachsen. Die Aufbereitung der Daten wird gut angenommen, die Umsetzung der Hinweise hingegen weniger gut. Allgemein lässt sich wieder eine höhere Akzeptanz für das Strom messende Gerät (Flukso) sehen, was mit den vorherigen Beobachtungen übereinstimmend ist.

Diese statistische Auswertung kann durch eine qualitative Auswertung der Gespräche mit unseren Teilnehmern so nicht bestätigt werden. So ist z.B. ein Kritikpunkt am Raumklimasensor, dass er im Sommer empfahl, die Heizung herunterzuregeln. Während der Softwareentwicklung wurden Sommertemperaturen einfach nicht berücksichtigt, sodass die Anzeige im Sommer natürlich nicht sinnvoll erscheint. In einem Seriengerät würden wir dies berücksichtigen.

Probleme des Testsystems:

Das Testsystem erwies sich im Praxiseinsatz als recht robust. In neun Fällen sind keinerlei Probleme aufgetreten, in fünf lediglich Probleme, die eigenständig gelöst werden konnten. Fünf weitere Problemfälle konnten durch den Support behoben werden und nur in einem Fall kam es während der Testphase zu unlösbaren Problemen.

Nutzen der Testgeräte:

Durch die Beschäftigung mit dem Projekt haben sich die Einstellungen zu den Themen Umweltschutz und Energieeffizienz eher verbessert, siehe Abbildungen 46 und 47.

Einstellung zum Umweltschutz positiv beeinflusst.

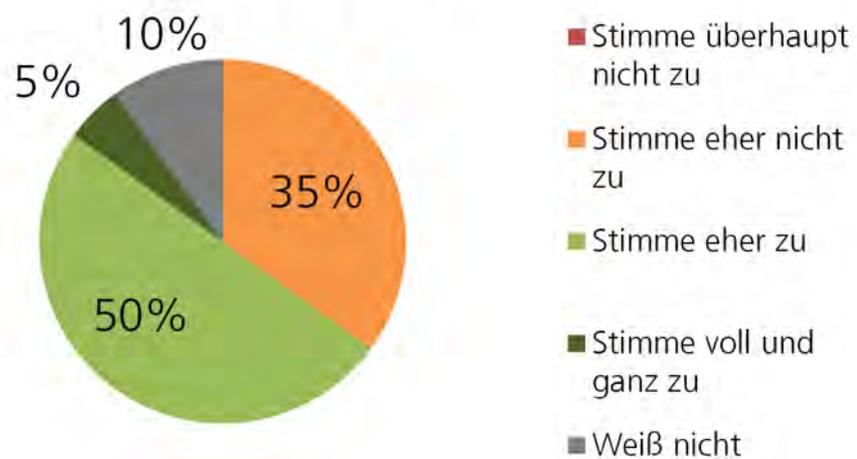


Abbildung 46

Veränderung der Einstellung zum Umweltschutz

Einstellung zu Energieeffizienz positiv beeinflusst.

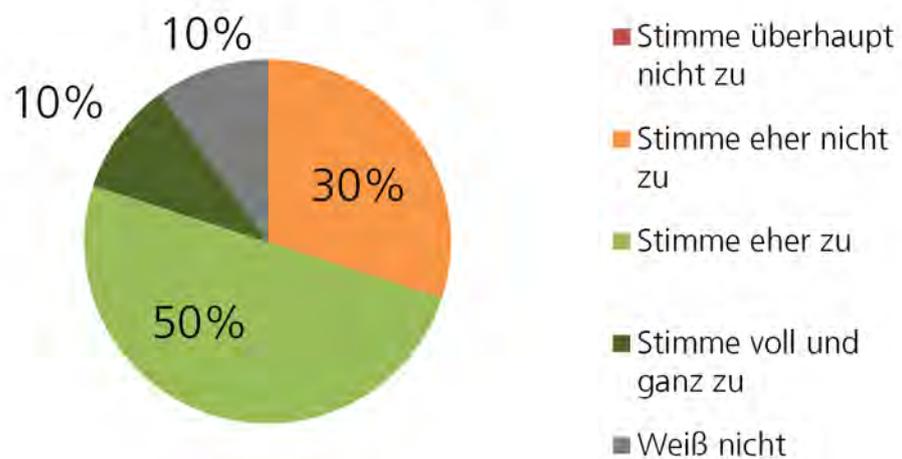


Abbildung 47

Veränderung der Einstellung zur Energieeffizienz

Das Wissen um Umweltschutz hat bei etwas mehr als der Hälfte der Teilnehmer nicht zugenommen (Abb. 48), was aber dem bereits hohen Wissensstand geschuldet sein kann. Bei den Energieeffizienzmaßnahmen gibt es kein klares Bild (Abb. 49).

Wissen um Umweltschutz hat zugenommen.

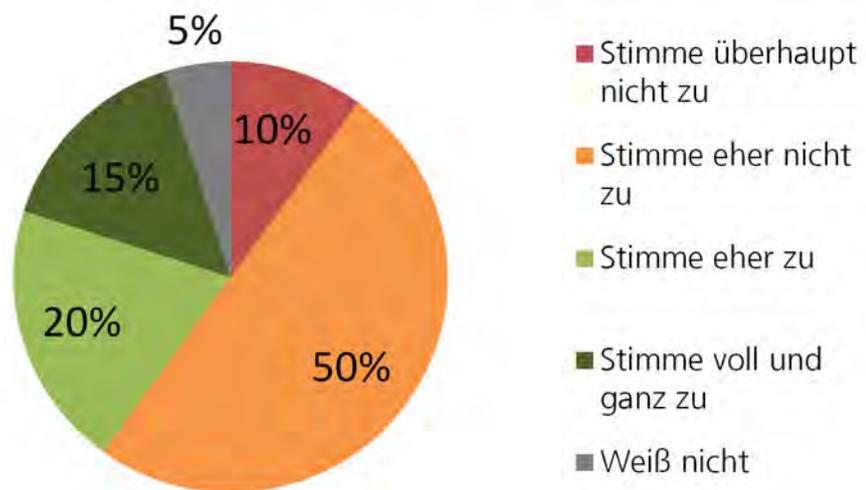


Abbildung 48

Veränderung des Wissens zum Umweltschutz

Wissen um Energieeffizienzmaßnahmen hat zugenommen.

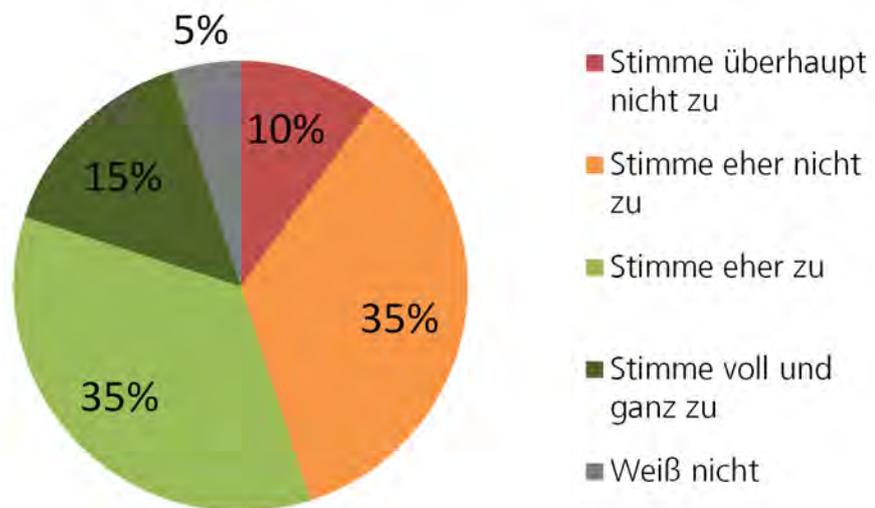


Abbildung 49 Veränderung des Wissens zu Energieeffizienzmaßnahmen

Offenbar haben die Anweisungen des Raumsensors und die Aussagen des Flukso die Probanden nicht sonderlich dazu veranlasst, sich mit den Themen Energieeffizienzmaßnahmen und Umweltschutz zu befassen, oder die Ausgangslevel waren bereits so hoch, dass es zu keinem nennenswerten Wissenszuwachs kam.

Nutzen EMOS:

EMOS hat nach überwiegender Meinung weder das Wohnklima, noch die Luftqualität gesteigert, und auch der Einspareffekt durch die Hinweise wird angezweifelt, siehe Abb. 50. Umso erstaunlicher, dass nahezu alle Befragten den Raumsensor weiterempfehlen würden (Abb. 51).

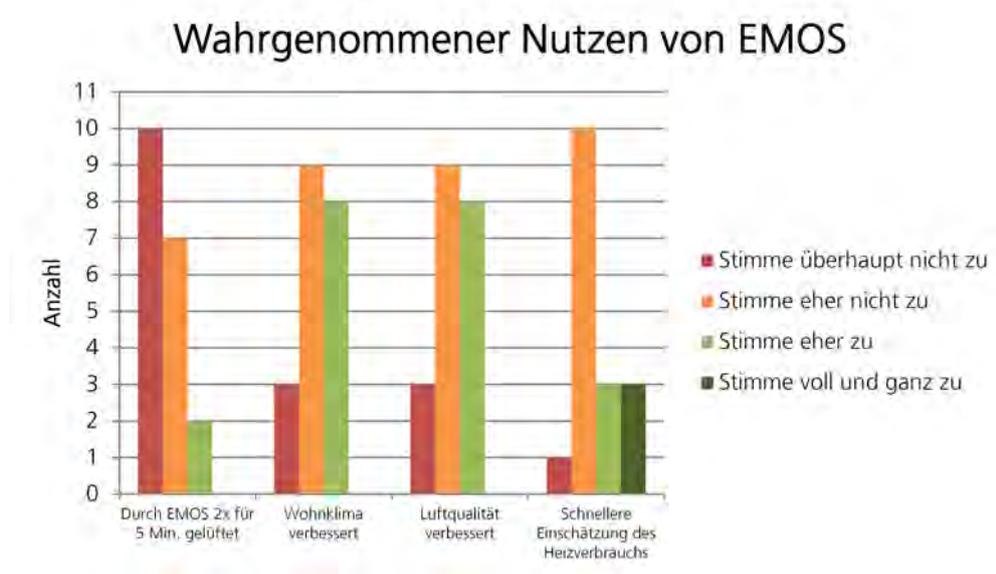


Abbildung 50 Wahrgenommener Nutzen von EMOS (1)

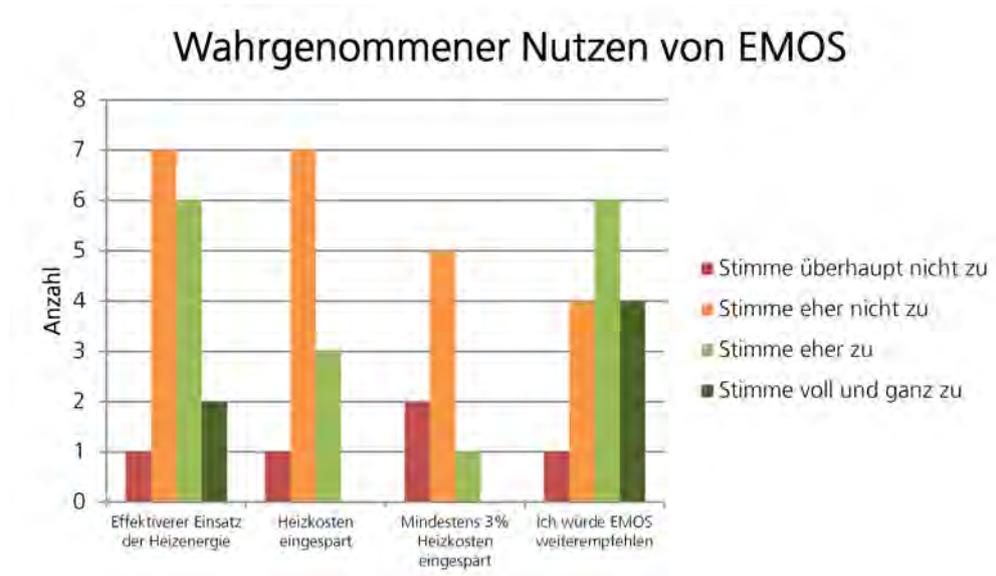


Abbildung 51 Wahrgenommener Nutzen von EMOS (2)

Bei einem Vergleich der zuvor wahrgenommenen Wohn- und Luftqualität und der wahrgenommenen Veränderung selbiger durch EMOS zeigt sich, dass

vielleicht ein Zusammenhang besteht. So sind offenbar vor allem diejenigen von positiven Veränderungen durch EMOS überzeugt, bei denen die jeweiligen Gegebenheiten bereits zuvor als positiv wahrgenommen wurden. Andererseits geben Personen mit zuvor wahrgenommener minderer Wohn- und Luftqualität an, sie haben diese durch EMOS nicht verbessern können. Diese Korrelation lässt sich zwar nicht statistisch belegen, leuchtet jedoch ein, wenn man die Korrelation zwischen Verbesserungen und Regelmäßigkeit der Nutzung hinzuzieht.

4.5.4 Zur Methodik der Kreuztabellen

In den folgenden Auswertungen werden Kreuztabellen genutzt. Dieser Abschnitt gibt eine kurze Einführung in die Methodik der Kreuztabelle.

Die Kreuztabelle stellt zwei Faktoren im Verhältnis zueinander dar. Dabei wird gezeigt, wie häufig Probanden mit einer bestimmten Ausprägung des einen Faktors eine bestimmte Ausprägung des anderen Faktors wählten. Auf diese Weise lassen sich Zusammenhänge zwischen den Faktoren erkennen, welche jedoch nicht als „belegt“ gelten. So ist es möglich, dass ein Zusammenhang zwischen dem Antwortverhalten von Faktor 1 und Faktor 2 erkannt wird, dieser Zusammenhang allerdings durch einen dritten – hier unbeobachteten Faktor – hervorgerufen wird (sog. Scheinkorrelation).

Da die betrachteten Werte in jedem Fall ordinalskaliert waren, eignete sich zur statistischen Bestimmung einer Korrelation der Wert von Spearman. Dieser gibt auf einem Intervall von -1 bis 1 an, wie stark die Faktoren voneinander abhängen. Bei dem Wert 1 sind beide Faktoren perfekt positiv korreliert. Das bedeutet, dass sich bei einer Veränderung des einen Faktors um eine Einheit der andere Faktor ebenfalls exakt um eine Einheit in die gleiche Richtung verändert. Bei einem Faktor von -1 würde sich bei einer Erhöhung des ersten Faktors um eine Einheit der zweite Faktor um exakt eine Einheit verringern. Beträgt der Korrelationskoeffizient den Wert 0, so sind die betrachteten Faktoren voneinander vollkommen unabhängig und eine Aussage über das Verhalten unmöglich.

Die näherungsweise Signifikanz gibt weiterhin an, wie wahrscheinlich es ist, dass bei der Analyse ein Fehler vorliegt, welcher die Ergebnisse der Korrelationsprüfung (den Spearman-Wert) unbrauchbar machen. Bei einem Wert von 1 liegt mit Sicherheit ein Fehler vor. Bei 0 liegt mit Sicherheit kein Fehler vor. Üblicherweise muss ein Wert von 0,1 oder kleiner erreicht werden, um eine ausreichend geringe Fehlerwahrscheinlichkeit annehmen zu können, damit die errechneten Werte als statistisch signifikant anerkannt werden können.

Im Beispiel der Abbildung 52 können die Werte wie folgt gelesen werden: Es

gab eine Person, die der Meinung ist, dass sie mit ihrem derzeitigen Wohnklima zufrieden ist und die gleichzeitig der Meinung ist, dass sich ihr Wohnklima durch den Einsatz des Raumsensors nicht verbessert habe. Hierzu analog sind 6 Haushalte der Meinung, dass sie mit ihrem derzeitigen Wohnklima „eher zufrieden“ sind und gleichzeitig annehmen, dass sich durch EMOS das Wohnklima „eher“ verbessert habe. Die Sichtprüfung deutet nun darauf hin, dass Probanden mit bereits zufriedenstellendem Wohnklima der Meinung sind, durch EMOS ihr Wohnklima noch weiter verbessert zu haben. Gleichzeitig sind Probanden mit ohnehin nicht zufriedenstellendem Wohnklima eher der Meinung, durch EMOS keine Verbesserung des Wohnklimas erreicht zu haben. Die statistische Analyse errechnet hierfür einen Spearman-Wert von 0,228. Demnach steigt der Rang der wahrgenommenen Verbesserung des Wohnklimas durch EMOS im Durchschnitt um 0,228 Einheiten an, wenn der Rang vom wahrgenommenen Wohnklima um eine Einheit besser wird. Wenn also einer der Probanden einen „besseren Wert“ für das wahrgenommene Wohnklima angibt (beispielsweise „stimme eher zu“ anstelle von „stimme eher nicht zu“ oder „stimme voll und ganz zu“ anstelle von „stimme eher zu“), dann bewertet diese Person auch die Verbesserung durch die Teilnahme am EMOS-Projekt um 0,228 Einheiten besser. Die Fehlerwahrscheinlichkeit („Näherungsweise Signifikanz“) liegt in diesem Fall jedoch bei 0,333. Demnach beträgt die Wahrscheinlichkeit, bei der Betrachtung einen falschen Schluss zu ziehen, bei rund 33% und ist eindeutig zu hoch, als dass die vermutete Korrelation der Werte aus statistischer Sicht angenommen werden darf.

Die Betrachtung der jeweiligen Zahlungsbereitschaften — Abbildung 64 — zeigt zum Vergleich ein hochgradig signifikantes Ergebnis, wonach die beiden Ausprägungen in hohem Maße (0,85) voneinander abhängig zu sein scheinen.

Wahrnehmung: Wohnklima zufrieden * Nutzen-EMOS: Wohnklima verbessert Kreuztabelle					
Anzahl					
		Nutzen-EMOS: Wohnklima verbessert			Gesamt
		stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	
Wahrnehmung: Wohnklima zufrieden	stimme eher nicht zu	1	3	0	4
	stimme eher zu	2	2	6	10
	stimme voll und ganz zu	0	4	2	6
Gesamt		3	9	8	20

Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler	Näherungsweise s Tb	Näherungsweise Signifikanz
Intervall- bzgl. Intervallmaß	Pearson-R	,303	,146	1,351	,193
Ordinal- bzgl. Ordinalmaß	Korrelation nach Spearman	,228	,174	,995	,333
Anzahl der gültigen Fälle		20			

Abbildung 52 Zusammenhang: Wahrgenommenes Wohnklima - Verbesserung des Wohnklimas

Wahrnehmung: Luftqualität zufrieden * Nutzen-EMOS: Luftqualität verbessert Kreuztabelle					
Anzahl					
		Nutzen-EMOS: Luftqualität verbessert			Gesamt
		stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	
Wahrnehmung: Luftqualität zufrieden	stimme überhaupt nicht zu	1	0	0	1
	stimme eher nicht zu	1	2	0	3
	stimme eher zu	1	2	5	8
	stimme voll und ganz zu	0	5	3	8
Gesamt		3	9	8	20

Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler	Näherungsweise s Tb	Näherungsweise Signifikanz
Intervall- bzgl. Intervallmaß	Pearson-R	,420	,153	1,965	,065
Ordinal- bzgl. Ordinalmaß	Korrelation nach Spearman	,319	,210	1,430	,170
Anzahl der gültigen Fälle		20			

Abbildung 53 Zusammenhang: Wahrgenommene Luftqualität - Verbesserung der Luftqualität

So hat sich die wahrgenommene Wohnqualität, aber auch die Luftqualität besonders dann verbessert, wenn regelmäßig der Raumsensor kontrolliert wurde. Dieser Zusammenhang ist sogar bei der kleinen Stichprobe hochgradig signifikant. Die Häufigkeit der Hinweis-Befolgung und deren Geschwindigkeit scheinen hingegen keine Bedeutung zu haben.

Kreuztabelle					
Anzahl		Nutzen-EMOS: Wohnklima verbessert			Gesamt
		stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	
Regelmäßigkeit: Display EMOS	Sehr unregelmäßig - Ich nutze das Gerät so wie es gerade passt und ich daran denke	0	1	0	1
	Eher unregelmäßig - Ich habe keine bestimmten Nutzungszeiten und gehe eher spontan vor	2	4	1	7
	Eher regelmäßig - Ich versuche mich weitestgehend an bestimmte Nutzungszeiten zu halten	1	3	3	7
	Sehr regelmäßig - Ich habe genaue Nutzungszeiten festgelegt und ich halte mich sehr strikt daran	0	1	4	5
Gesamt		3	9	8	20

Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler	Näherungsweise s Tb	Näherungsweise Signifikanz
Intervall- bzgl. Intervallmaß	Pearson-R	,520	,158	2,581	,019
Ordinal- bzgl. Ordinalmaß	Korrelation nach Spearman	,524	,152	2,607	,018
Anzahl der gültigen Fälle		20			

Abbildung 54

Zusammenhang: Nutzungsregelmäßigkeit EMOS - Verbesserung des Wohnklimas

Kreuztabelle					
Anzahl		Nutzen-EMOS: Luftqualität verbessert			Gesamt
		stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	
Regelmäßigkeit: Display EMOS	Sehr unregelmäßig - Ich nutze das Gerät so wie es gerade passt und ich daran denke	0	1	0	1
	Eher unregelmäßig - Ich habe keine bestimmten Nutzungszeiten und gehe eher spontan vor	2	4	1	7
	Eher regelmäßig - Ich versuche mich weitestgehend an bestimmte Nutzungszeiten zu halten	1	3	3	7
	Sehr regelmäßig - Ich habe genaue Nutzungszeiten festgelegt und ich halte mich sehr strikt daran	0	1	4	5
Gesamt		3	9	8	20

Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler	Näherungsweise s Tb	Näherungsweise Signifikanz
Intervall- bzgl. Intervallmaß	Pearson-R	,520	,158	2,581	,019
Ordinal- bzgl. Ordinalmaß	Korrelation nach Spearman	,524	,152	2,607	,018
Anzahl der gültigen Fälle		20			

Abbildung 55

Zusammenhang: Nutzungsregelmäßigkeit EMOS - Verbesserung der Luftqualität

Kreuztabelle					
Anzahl		Nutzen-EMOS: Wohnklima verbessert			Gesamt
		stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	
EMOS: Hinweise häufig befolgt	stimme überhaupt nicht zu	0	1	0	1
	stimme eher nicht zu	0	1	1	2
	stimme eher zu	2	3	4	9
	stimme voll und ganz zu	0	1	3	4
Gesamt		2	6	8	16

Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler	Näherungsweise s Tb	Näherungsweise Signifikanz
Intervall- bzgl. Intervallmaß	Pearson-R	,219	,191	,841	,414
Ordinal- bzgl. Ordinalmaß	Korrelation nach Spearman	,267	,198	1,036	,318
Anzahl der gültigen Fälle		16			

Abbildung 56

Zusammenhang: Häufigkeit der Hinweisbefolgung - Verbesserung des Wohnklimas

Kreuztabelle					
Anzahl		Nutzen-EMOS: Luftqualität verbessert			Gesamt
		stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	
EMOS: Hinweise häufig befolgt	stimme überhaupt nicht zu	0	1	0	1
	stimme eher nicht zu	0	1	1	2
	stimme eher zu	2	3	4	9
	stimme voll und ganz zu	0	1	3	4
Gesamt		2	6	8	16

Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler	Näherungsweise s Tb	Näherungsweise Signifikanz
Intervall- bzgl. Intervallmaß	Pearson-R	,219	,191	,841	,414
Ordinal- bzgl. Ordinalmaß	Korrelation nach Spearman	,267	,198	1,036	,318
Anzahl der gültigen Fälle		16			

Abbildung 57

Zusammenhang: Häufigkeit der Hinweisbefolgung - Verbesserung der Luftqualität

Kreuztabelle					
Anzahl		Nutzen-EMOS: Wohnklima verbessert			Gesamt
		stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	
EMOS: Hinweise schnell befolgt	stimme überhaupt nicht zu	1	1	0	2
	stimme eher nicht zu	0	3	2	5
	stimme eher zu	1	2	3	6
	stimme voll und ganz zu	0	0	1	1
Gesamt		2	6	6	14

Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler	Näherungsweise s Tb	Näherungsweise Signifikanz
Intervall- bzgl. Intervallmaß	Pearson-R	,371	,239	1,384	,192
Ordinal- bzgl. Ordinalmaß	Korrelation nach Spearman	,383	,248	1,437	,176
Anzahl der gültigen Fälle		14			

Abbildung 58

Zusammenhang: Geschwindigkeit der Hinweisbefolgung - Verbesserung des Wohnklimas

Kreuztabelle					
Anzahl		Nutzen-EMOS: Luftqualität verbessert			Gesamt
		stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	
EMOS: Hinweise schnell befolgt	stimme überhaupt nicht zu	1	1	0	2
	stimme eher nicht zu	0	3	2	5
	stimme eher zu	1	2	3	6
	stimme voll und ganz zu	0	0	1	1
Gesamt		2	6	6	14

Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler	Näherungsweise s Tb	Näherungsweise Signifikanz
Intervall- bzgl. Intervallmaß	Pearson-R	,371	,239	1,384	,192
Ordinal- bzgl. Ordinalmaß	Korrelation nach Spearman	,383	,248	1,437	,176
Anzahl der gültigen Fälle		14			

Abbildung 59

Zusammenhang: Geschwindigkeit der Hinweisbefolgung - Verbesserung der Luftqualität

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass diejenigen Personen eine Verbesserung der Luftqualität und des Raumklimas durch EMOS wahrgenommen haben, die sich regelmäßig mit dem Gerät auseinandergesetzt haben. Dies ist durchaus nachvollziehbar, da angenommen werden kann, dass

es diese Personen sind, die von sich aus bereits darauf achten, dass ein gesundes Raumklima herrscht und dabei durch EMOS unterstützt werden. Wohingegen Personen ohne ein gehobenes Interesse für Raumklima auch durch den Einsatz von EMOS nicht zu einer besseren Luft- und Wohnqualität kommen können. Die grundlegende Einstellung scheint demnach ein entscheidender Faktor für den Erfolg von EMOS zu sein.

Nutzen Flukso:

Analog zu vorherigen Beobachtungen scheint der Nutzen von Flukso als entschieden höher wahrgenommen zu werden als der des Raumsensors. So hilft das Gerät bei der schnelleren Einschätzung des Stromverbrauchs, dem effektiveren Einsatz von Strom und insgesamt bei der Einsparung von Stromkosten. Zudem geben die Testteilnehmer an, dank Flukso mehr auf den Stromverbrauch zu achten und sind sich wesentlich sicherer dank des Flukso mindestens 3% Stromkosten eingespart zu haben. Eine entsprechend hohe Weiterempfehlungsrate verwundert somit nicht.

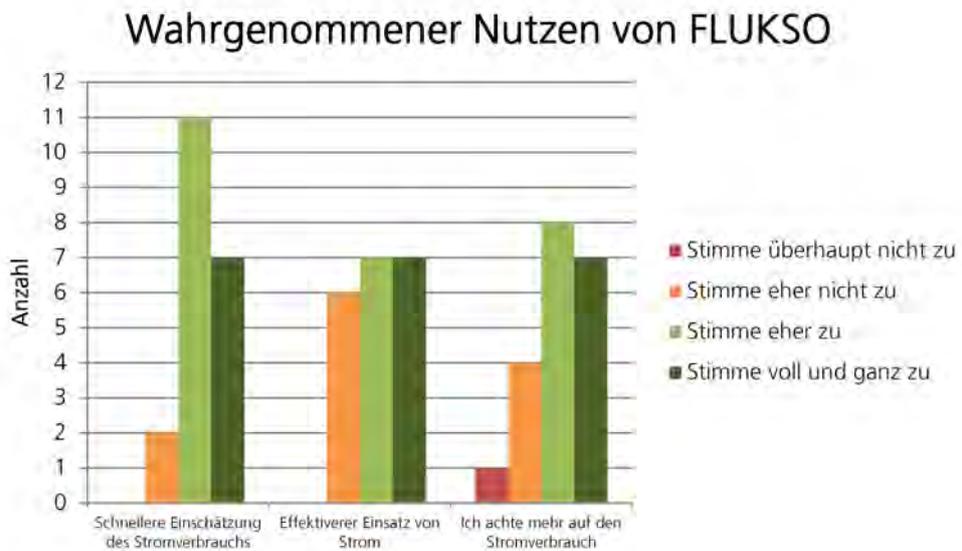


Abbildung 60

Wahrgenommener Nutzen von Flukso (1)

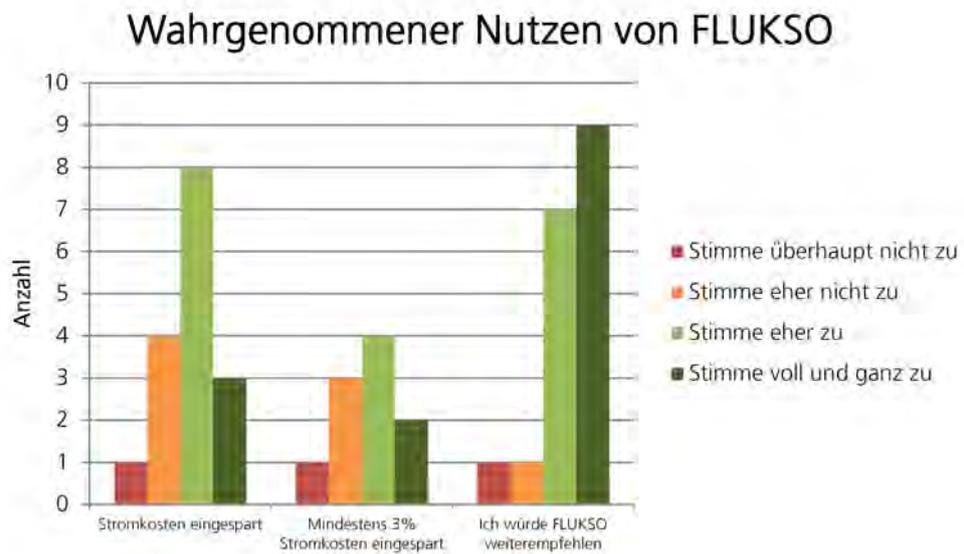


Abbildung 61 Wahrgenommener Nutzen von Flukso (2)

Diese Beobachtung steht im Kontrast zu der zuvor bemängelten Nützlichkeit des Flukso. Zuvor hieß es, dass die Werte zwar informativ, aber wenig hilfreich bei der Optimierung seien. Dennoch sind die Probanden nun der Meinung, Stromkosten – oft sogar von mindestens 3% – eingespart zu haben. Vermutlich liegt eine leichte Verzerrung der Wahrnehmung von Flukso vor. Auch wäre es denkbar, dass Flukso nicht bei der Optimierung im Sinne von Abschaltung oder Austausch nicht notwendiger Geräte half, wohl aber dadurch, dass genauer darauf geachtet worden ist, welche Geräte wann und wie lange laufen. Die Formulierung könnte somit eine Auswirkung auf die Ergebnisse haben.

Durchgeführte Energiemaßnahmen:

Immerhin $\frac{3}{5}$ der Teilnehmer wurden durch das Projekt dazu bewegt, mindestens drei kleinere Energieeffizienzmaßnahmen⁴ durchzuführen, vgl. Abbildung 62. $\frac{1}{3}$ der Haushalte nahm sogar mindestens eine größere Energieeffizienzmaßnahme⁵ vor (Abb. 63).

⁴Wie etwa die Verwendung von Steckerleisten, das Abschalten von Stand-by-Geräten nachts, die Erhöhung der Kühlschranktemperatur auf 6°C oder die Nutzung von Sparprogrammen von Waschmaschinen oder Geschirrspülern.

⁵Wie etwa der Austausch des Kühlschranks oder der Heizungspumpe.

Mind. 1 größere Energieeffizienzmaßnahme

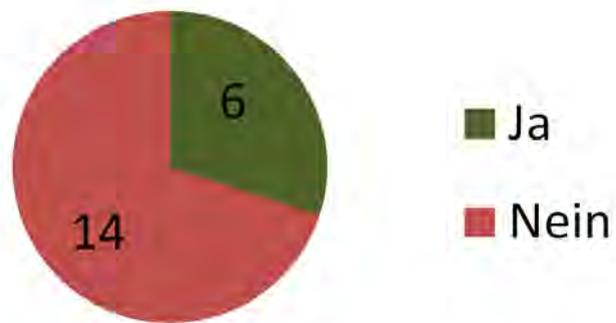


Abbildung 62

Durchführung von mind. 1 größeren Energieeffizienzmaßnahme

Mind. 3 kleinere Energieeffizienzmaßnahmen

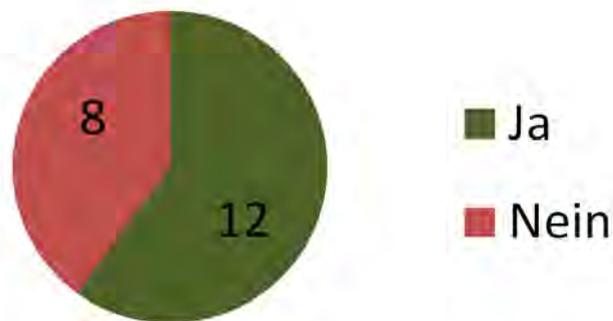


Abbildung 63

Durchführung von mind. 3 kleineren Energieeffizienzmaßnahmen

Die Gegenüberstellung von Haushaltsbruttoeinkommen und den durchgeführten Maßnahmen lässt einen Zusammenhang vermuten. So haben gut situierte Haushalte eher Energieeffizienzmaßnahmen ergriffen und auch überdurchschnittlich viele große Maßnahmen wurden durchgeführt. Bei den Haushalten mit einem Bruttoeinkommen von unter 3.000 Euro pro Monat wurden hingegen bis auf eine Ausnahme keine Maßnahmen durchgeführt – und auch dabei handelte es sich um kleinere Maßnahmen (Abb. 64).

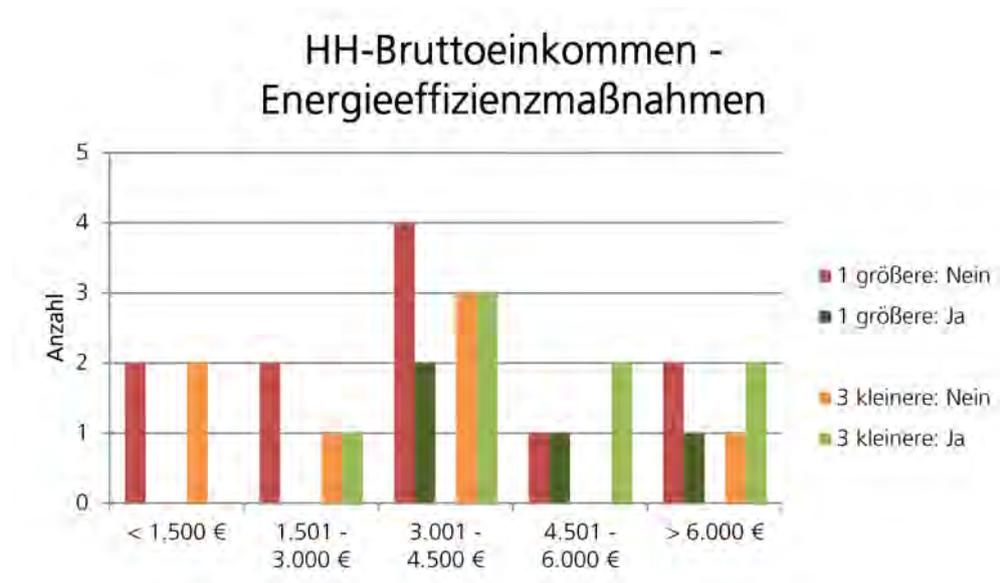


Abbildung 64

Zusammenhang zwischen Bruttoeinkommen und Durchführung von Energieeffizienzmaßnahmen

Sicherlich muss ein bestimmtes Einkommen vorhanden sein, damit größere Maßnahmen überhaupt finanziert werden können. Nicht jeder Haushalt verfügt etwa über die Mittel, sich einen energieeffizienteren Kühlschrank zu kaufen oder eine neue Heizanlage zu installieren. Kleinere Maßnahmen können dagegen auch von weniger wohlhabenden Haushalten durchgeführt werden und sind bereits ab 3.000 Euro HH-Bruttomonatseinkommen häufiger anzutreffen.

Zahlungsbereitschaften:

Die Tester sind bereit für das Flukso mehr Geld auszugeben als für den Raumsensor und bestätigen damit die Vermutung, dass das Flukso, trotz mangelnder Hinweise und einem angezweifelten Nutzen für Optimierungen, beliebter und akzeptierter ist als der Raumsensor. Mehr als 150 Euro würde jedoch kein Teilnehmer ausgeben, siehe Abbildung 65.

Vorteile	Nachteile
Verfügbarkeit der Daten	Gerät vor allem anfangs interessant und nützlich, nach den ersten Optimierungen jedoch nur noch selten von Wert
Sehen von Verbräuchen und dadurch Optimierung der selbigen	Installation durch Elektrofachkraft notwendig
	Analyse der Werte und Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen nur bei technikaffinen Personen möglich. Eher geringer Nutzen für den Ottonormalverbraucher

Tabelle 6

Teilnehmereinschätzung des Flukso

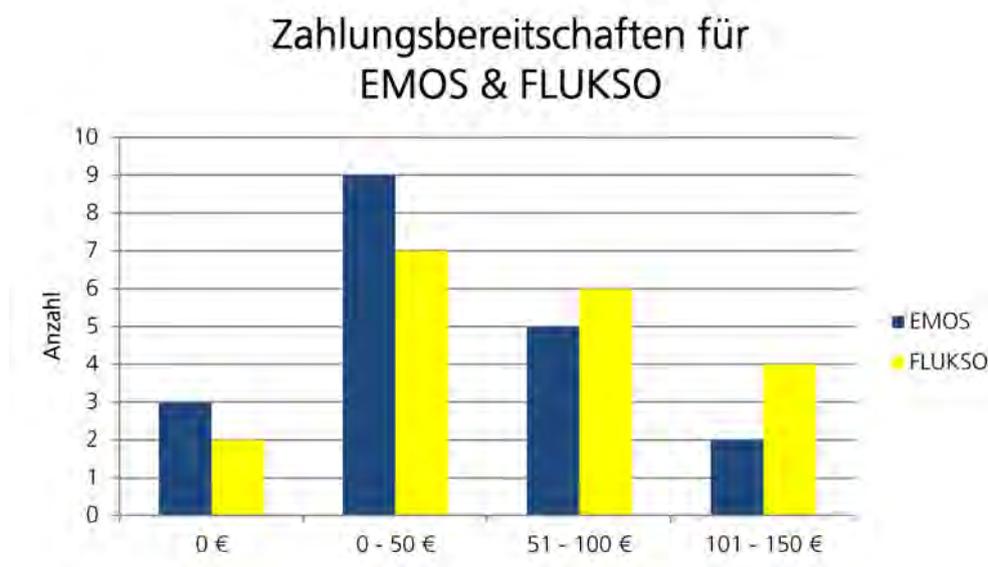


Abbildung 65

Zahlungsbereitschaften für EMOS und Flukso

Zusammengenommen lässt sich ein Gesamtpreis für beide Geräte von etwa 100 – 150 Euro durchaus vermarkten. Dieser Wert muss jedoch mit Vorsicht betrachtet werden, denn möglicherweise liegen hier Verzerrungen aufgrund der Technikaffinität der Probanden vor, welche den Nutzen und damit den Wert der Geräte aufgrund ihres technologischen Interesses höher bewerten als dies eine „Durchschnittsbürger“ tun würde.

Die von den Teilnehmern wahrgenommenen Vor- und Nachteile der Geräte sind

Vorteile	Nachteile
Anschauliche Darstellung mit „lächelndem Männchen“	Design des Prototypen (Verkabelung, Aufmachung)
Kein tiefes Verständnis der Materie notwendig, um den Anweisungen folgen zu können	Kein Speicher und darum ständige Internetverbindung notwendig
	Grenzwerte werden als zu pauschal angesehen
	Nutzung im Sommer wurde mehrfach als nicht sinnvoll angesehen (feste Temperaturgrenzwerte)

Tabelle 7

Teilnehmereinschätzung des Raumklima-Gerätes

in den Tabellen 6 und 7 dargestellt. Beim Flukso bewegt sich die Kritik auf einer konzeptionellen Ebene und kann so auch auf die Smart Meter der Messstellenbetreiber übertragen werden. Ein Einsatz im Rahmen einer Energieberatung durch einen qualifizierten Energieberater würde jedoch die Nachteile kompensieren und die Vorteile erhalten. Entsprechende Modelle werden im Nachgang des Projekts diskutiert werden.

Die Kritik am Raumklimagerät lässt sich größtenteils auf den Prototypen selbst zurückführen. Insbesondere wurde im Projekt nicht berücksichtigt, dass es im Sommer durchaus zu hohen Temperaturen in Wohnungen kommen kann, ohne dass ein Bewohner daran etwas ändern kann. Der frühe Stand der Produktentwicklung führt ebenfalls zu wahrgenommenen Nachteilen, insbesondere in den Punkten Verkabelung und Aufmachung.

Lassen sich die Projektteilnehmer in Raumsensor- und Flukso-Nutzer unterteilen?

Bezüglich der Zahlungsbereitschaften zeigt sich eine deutliche Korrelation, welche sogar hochgradig signifikant ist, vgl. Abbildung 66. Der Zusammenhang liegt bei 0,85 für ordinalskalierte Werte (Korrelation nach Spearman). Wer von den Probanden bereit ist viel Geld für Flukso auszugeben, der ist auch bereit mehr Geld in den Raumsensor zu investieren. Analog dazu geht eine geringere Zahlungsbereitschaft für das eine Gerät gleichzeitig mit einer geringen Zahlungsbereitschaft für das andere einher.

Zahlungsbereitschaft: EMOS * Zahlungsbereitschaft: FLUKSO Kreuztabelle						
Anzahl		Zahlungsbereitschaft: FLUKSO				Gesamt
		ich würde nichts bezahlen	bis zu 50 Euro	51 - 100 Euro	101 - 150 Euro	
Zahlungsbereitschaft: EMOS	ich würde nichts bezahlen	2	1	0	0	3
	bis zu 50 Euro	0	6	2	0	8
	51 - 100 Euro	0	0	3	2	5
	101 - 150 Euro	0	0	1	1	2
Gesamt		2	7	6	3	18

Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler	Näherungsweise s Tb	Näherungsweise Signifikanz
Intervall- bzgl. Intervallmaß	Pearson-R	,820	,065	5,739	,000
Ordinal- bzgl. Ordinalmaß	Korrelation nach Spearman	,850	,057	6,454	,000
Anzahl der gültigen Fälle		18			

Abbildung 66 Zahlungsbereitschaften für EMOS und Flukso

Eine nähere Betrachtung der Wahrnehmung der Geräte bezüglich Darstellung, Navigation, Verständlichkeit und Nützlichkeit der Werte belegt dies ebenso, siehe Abbildung 67. Wenn ein Faktor für Flukso gut (schlecht) bewertet wurde, dann wurde dieser Faktor für den Raumsensor ebenfalls als gut (schlecht) bewertet.

Auch bei den Aussagen zur Weiterempfehlung ist dieser Trend zu erkennen und kann statistisch belegt werden.

Nutzen-EMOS: würde EMOS weiterempfehlen * Nutzen-FLUKSO: würde FLUKSO weiterempfehlen Kreuztabelle						
Anzahl		Nutzen-FLUKSO: würde FLUKSO weiterempfehlen				Gesamt
		stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu	
Nutzen-EMOS: würde EMOS weiterempfehlen	stimme überhaupt nicht zu	1	0	0	0	1
	stimme eher nicht zu	0	1	1	1	3
	stimme eher zu	0	0	3	2	5
	stimme voll und ganz zu	0	0	0	4	4
Gesamt		1	1	4	7	13

Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler	Näherungsweise s Tb	Näherungsweise Signifikanz
Intervall- bzgl. Intervallmaß	Pearson-R	,740	,158	3,646	,004
Ordinal- bzgl. Ordinalmaß	Korrelation nach Spearman	,689	,177	3,151	,009
Anzahl der gültigen Fälle		13			

Abbildung 67 Weiterempfehlungseinstellung für EMOS und Flukso

Offenbar lassen sich die Probanden nicht hinsichtlich ihrer präferierten Nutzung für Flukso oder Raumsensor unterteilen. Eine Unterteilung scheint aber sehr

wohl dahingehend möglich, dass es eine Gruppe von Probanden gab, die ein generelles Interesse für Einsparmöglichkeiten und die hierfür angeschafften Geräte aufweist und eine Gruppe, der dieses Interesse fehlte.

4.5.5 Interpretation der Umfrageergebnisse

Es besteht kein Zweifel daran, dass die Rücklaufquote bzw. Teilnehmerzahl eindeutig zu niedrig ist, um verlässliche Aussagen zu treffen. Hinzu kommt, dass die Probanden zu einem Großteil ein technisches Interesse aufweisen welches höher sein dürfte, als das durchschnittliche technische Interesse in Deutschland. Dadurch sind vermutlich viele der Akzeptanzfragen wie Nutzungshäufigkeiten, Weiterempfehlungsverhalten und Zahlungsbereitschaften mehr oder weniger verzerrt.

Problematisch ist auch, dass unterschiedliche Teilnahmezeiträume und Teilnahmebeginne der Probanden gegeben waren. Gerade der Heizverbrauch hängt entscheidend davon ab, ob eine Winterperiode durchlebt wurde oder nicht. Einige Teilnehmer konnten hier schlicht deswegen keine oder zumindest keine verlässlichen Aussagen abgeben, da die Geräte erst nach der letzten Heizperiode installiert (oder in Betrieb genommen) werden konnten und die Befragung bereits zu Beginn der neuen Heizperiode durchgeführt wurde.

Nichtsdestotrotz lassen sich einige Erkenntnisse aus der Studie ziehen. So zeigt sich, dass die Handlungsempfehlungen des Raumsensors auf große Akzeptanz stoßen. Während übliche Messgeräte nur Werte anzeigen, die ohne entsprechende Vorbildung der Personen nutzlos sind, bietet diese Form der Unterstützung auch denjenigen Anwendern einen Vorteil, die kein Wissen um und nicht einmal ein Interesse für die Zusammenhänge von Raumklima und Heizverbrauch haben.

Der Flukso hingegen, welches lediglich Informationen über den Stromverbrauch misst und aufbereitet, ist im Allgemeinen nicht so gut bewertet worden. Zwar sind die Akzeptanzwerte sehr hoch, doch wird angemerkt, dass die bloße Aufbereitung der Verbrauchswerte wenig mehr als interessant ist und letztlich ohne Handlungsempfehlungen auch nur denjenigen einen echten (d.h. geldwerten) Mehrwert bieten kann, die sich ohnehin mit dem Thema Stromeinsparung auseinandersetzen und die nüchternen Werte in adäquate Handlungen umsetzen können.

Ein zentrales Anliegen des Projektes war die Senkung von Heizenergie- und Stromverbrauch in Mietwohnungen mit Hilfe des oben genannten Feedbacksystems. Besonderes Augenmerk liegt daher auf der Beantwortung der Frage, ob mit Einsatz dieses Feedbacksystems eine **Verhaltensänderung** bei den Teilnehmern erreicht werden konnte. Dabei spielten folgende Punkte eine wichtige Rolle:

- die Veränderung der Lüftungsdauer in der Heizperiode,
- die Veränderung von Wissen und Meinung zu Energieeffizienz während und nach der Projektlaufzeit,
- die Anschaffung von Geräten sowie

Laut Angaben der Teilnehmer der dritten Befragungswelle sind diesbezüglich folgende Aussagen zu treffen:

- Das Lüftungsverhalten hat sich im Laufe des Projekts nicht wesentlich verändert. 17 von 19 Befragten gaben an, durch EMOS „eher nicht“ oder „überhaupt nicht“ zum 2x täglichen mindestens 5-minütigen Lüften bewegt worden zu sein.
- Der Wissensstand in Bezug auf Energieeffizienz ist bei knapp der Hälfte der Haushalte verbessert worden. 9 von 19 Teilnehmern kreuzten an, dass ihr Wissen über Energieeffizienzmaßnahmen zugenommen hat. 60% der Teilnehmer gaben an, dass sich ihre Einstellung zum Thema Energieeffizienz durch das Projekt verbessert hätte.
- 6 von 20 Teilnehmern haben im Verlauf des Projektes eine größere Energieeffizienzmaßnahme durchgeführt, d.h. ein Gerät (Kühlschrank, Heizpumpe etc.) ausgetauscht.
- Eine Veränderung der Raumtemperatur war nicht Gegenstand der Befragung und lässt sich zuverlässig nur über die Auswertung der realen Messdaten feststellen.

Ergänzend lassen sich die Angaben der Teilnehmer über die Reduzierung des Energieverbrauchs hinzuziehen: 14 von 20 Teilnehmern sagten aus, elektrische Energie gespart zu haben, 11 von 16 haben auch die Stromkosten senken können. Immerhin noch 8 von 16 Teilnehmern gaben an, Heizenergie eingespart zu haben. Allerdings sind 8 von 11 Befragten der Meinung, keine Heizkosten eingespart zu haben.

5 Fazit

5.1 Einordnung der Ergebnisse

Einige der Projektergebnisse können durch Aussagen anderer Studien auf diesem Gebiet gestützt bzw. ergänzt werden, die im Folgenden in Zusammenhang gesetzt werden.

Ausgangspunkt des Projektes EMOS war das Ziel, die Strom- und Heizkosten durch Absenkung des Verbrauchs zu reduzieren. Mit Hilfe eines Feedbacksystems bestehend aus dem Raumluftsensor EMOS und dem Smart Meter Flukso sollte das Verhalten der Probanden dahingehend beeinflusst werden. Diese Zielsetzung deckt sich mit den in der Literatur aufgelisteten Vorteilen der Nutzung von Smart Metern: Transparenz in Bezug auf den Energieverbrauch, dadurch Steigerung des Energiebewusstseins und infolgedessen Energie- und Kosteneinsparungen [8, S. 25].

Interessant ist, dass die befragten Teilnehmer im Projekt EMOS auf die (teilweise gestützte) Frage nach den **Gründen für ihre Projektteilnahme** nicht in erster Linie angaben, Geld sparen zu wollen. Ganz vorn stehen Gründe wie „Einsparpotential erkennen“ und „Energieverbrauch senken“, die natürlich in Zusammenhang mit Kostensenkungen stehen können. Es stand aber auch explizit die Option „Geld sparen“ zur Auswahl, die deutlich seltener angekreuzt wurde. Ebenfalls wichtige Gründe waren das Interesse an technologischen Neuerungen sowie die Verbesserung des Raumklimas.

In einer bevölkerungsrepräsentativen Befragung der Forsa von 2010 [10, S. 42ff] war der von den Teilnehmern spontan meistgenannte Vorteil beim Einsatz von Smart Metern eine „bessere Kontrolle und Übersicht über den eigenen Stromverbrauch“ (36%). Am zweithäufigsten folgt die Möglichkeit, „verbrauchsintensive Geräte bzw. Verhaltensweisen zu erkennen und so Einsparpotenziale zu heben“ (19%). Dann folgen mit jeweils 15% „zeitabhängige Tarife“ und „Verbrauch/Kosten reduzieren“. Umweltaspekte, die ebenfalls ein wichtiges Argument für Verbrauchseinsparungen sein können, wurden erst in der gestützten Abfrage genannt, stehen dann aber noch vor den Kosteneinsparungen auf Platz 1.

Im EMOS-Projekt gaben 19 von 20 Teilnehmern an, dass ihnen Umweltschutz wichtig sei, 17 von 20 gaben außerdem an, dass sie ihre Gewohnheiten für den Umweltschutz ändern würden. 16 von 20 Teilnehmern würden ihre Gewohnheiten ändern, wenn sie dadurch Geld sparen könnten. Bei den Gründen für die Beteiligung am Projekt lag der Umweltschutz jedoch zusammen mit „Geld sparen“ auf dem letzten Platz.

Diese Einstellung genauer abzuklären, ist vor allem für die Investitionsplanung von großer Bedeutung. Die *Zahlungsbereitschaft* der EMOS-Teilnehmer für beide Geräte zusammen liegt laut Befragung bei ca. 100-150 Euro. Eine Studie der LMU München von 2009⁶ mit 200 Teilnehmern kommt auf eine optimale Preissetzung von 80-100 Euro für einen Smart Meter. Wenn beim Endverbraucher jedoch tatsächlich der Kostenaspekt im Vordergrund steht, ließe sich eine Zahlungsbereitschaft deutlich zuverlässiger im Verhältnis zu den gesparten Kosten ermitteln.

⁶LMU (2009): Studie zur Akzeptanz von Smart Metern bei Endverbrauchern, S. 3.

Für die *Einsparpotentiale* von Smart Metern liegen bereits verschiedene Untersuchungen bzw. Simulationen vor. Eine Studie des Schweizer Bundesamts für Energie von 2012 [3, S. 124] zeigt am Beispiel der Schweiz, dass im Haushaltsbereich bei einem 80% Rollout von Smart Metern bis zu 2,7% Strom gespart werden können, einzelne „motivierte“ Haushalte könnten ihren Stromverbrauch sogar um bis zu 5% senken. Der European Smart Metering Landscape Report des Projekts SmartRegions von 2012 [18, S. 37] gibt für Deutschland an, dass sich die Anschaffung von Smart Metern für Haushalte mit einem mittleren bis hohen Energieverbrauch lohnt. Ab einem Verbrauch von 3.400 kWh/a ließen sich die zusätzlichen Kosten kompensieren, Haushalte mit einem höheren Verbrauch könnten sogar Kosten einsparen.

Im EMOS-Projekt waren 11 von 16 Personen der Meinung, durch Flukso Stromkosten eingespart zu haben. Im Vergleich dazu gaben 14 von 20 Personen an, Strom (elektrische Energie) gespart zu haben. 6 von 10 Personen gaben sogar an, mindestens 3% der jährlichen Stromkosten eingespart zu haben. Diese Behauptung kann jedoch auf der Basis der Messdaten nicht untermauert werden.

5.2 Handlungsempfehlungen

5.2.1 Planerische Rahmenbedingungen

Die Resultate des EMOS-Projekts bieten eine sehr gute Grundlage, um anhand der erfolgreich abgelehnten Arbeitshypothesen und der vorliegenden Vermutungen Arbeitshypothesen weiterzuentwickeln bzw. neu aufzustellen und zu überprüfen. Eine weitergehende Untersuchung des Themas auf der Basis der Projektergebnisse sollte in einem größeren Rahmen erfolgen, um belastbare Ergebnisse zu erzielen. Wichtig wäre, vermutete Verzerrungen durch Abweichungen vom repräsentativen gesellschaftlichen Durchschnitt, zum Beispiel aufgrund eines überdurchschnittlich hohen Technikinteresses, durch eine höhere und kontinuierliche Teilnahme auszuschließen.

Bei einer erneuten Befragung sollte daher sichergestellt werden, dass mehr Teilnehmer generiert werden, die bereit sind die Studie über die gesamte Projektdauer zu begleiten. Einfluss lässt sich hier zum Beispiel über attraktivere Teilnahmebedingungen nehmen, wie etwa einen finanziellen Anreiz oder ein kostenloses Exemplar der späteren Serienproduktion anzubieten. Ebenso wichtig ist es, am Projektanfang eine angemessene Zeitspanne für die Akquise einzuplanen, um zu Beginn der eigentlichen Untersuchungsphase bereits ausreichend Probanden zur Verfügung zu haben und ggf. auch Probleme bei der Installation und Handhabung der Geräte vorab klären zu können (denkbar wäre eine kurze Anlaufphase).

Mit einer ausreichend großen und motivierten Teilnehmerzahl ließe sich auch die

Problematik der hohen Fluktuation innerhalb des Projekts und vor allem zwischen den Befragungswellen vermeiden, die die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mehrerer Befragungswellen stark einschränkt. Um eine einheitliche Datenbasis für alle Teilnehmer zu erhalten, müssten in diesem Fall grundlegende Fragen in jeder Befragung neu beantwortet werden und würden die Länge des Fragebogens und damit die Abbruchwahrscheinlichkeit seitens der Befragten deutlich erhöhen. Alternativ können diese Informationen über „Nachzügler-Fragen“ außerhalb des online-Standard-Fragebogens gesammelt werden, die aber für beide Seiten einen erheblichen zusätzlichen Aufwand bedeuten.

Durch die Vorarbeit im EMOS-Projekt lässt sich eine weitergehende Untersuchung in den Befragungen deutlich besser fokussieren. Die vorhandenen Ergebnisse erlauben die Ablehnung mehrerer Arbeitshypothesen, die anhand einer statistisch belastbaren Teilnehmerzahl bestätigt werden sollte. Aus den Tendenzen der nicht abgelehnten Hypothesen lassen sich in jedem Fall Fragen entwickeln, die zielgerichtet und über den Projektzeitraum konsistent verwendet, die angestrebte Nutzung/Akzeptanz der verwendeten Geräte dokumentieren bzw. Gründe für eine Nichtnutzung offenlegen. Dasselbe gilt für die erhofften Veränderungen im Verhalten und die daraus resultierenden Energieeinsparungen.

Im besten Falle ließe sich daraus ein übertragbares Konzept erarbeiten, mit dem man durch geeignete Produkte und Anleitung der Endverbraucher einen nennenswerten Beitrag zum flächendeckenden Roll-out von Smart Metern in Deutschland leisten kann.

5.2.2 Technische Rahmenbedingungen

Bezüglich des Prototypenaufbaus kam es zu negativen Rückmeldungen, daher sollte dieser für etwaige folgende Untersuchungen möglichst soweit ausgereift sein, dass zwischen Prototyp und Endfertigung keine großen Unterschiede mehr bestehen. So können die Teilnehmer besser einschätzen, wie sie das Endprodukt bewerten würden. Nutzen, Bedienungsfreundlichkeit und Zahlungsbereitschaft etwa können so besser, weil realistischer, abgefragt werden.

In einem Folgeprojekt sollte insbesondere das Design eines „Energiespiels“ im Vordergrund stehen. Die Darstellung von Energieverbräuchen hat unsere Teilnehmer nicht in dem gleichen Maße begeistern können wie die konkreten Handlungsanweisungen des Raumsensors. Dieser hatte jedoch an anderen Stellen Defizite.

5.3 Ausblick

Im Projekt EMOS konnten wir in realen Haushalten vielfältige Umsetzungsvarianten von Smart Metering-Technologien testen. Neben einem eher konventionellen Smart Meter für Strom haben wir auch ein kleines Raumklima-Messgerät mit einem einfachen Feedbacksystem eingesetzt. Beide Messgeräte haben ihre Messdaten auf unsere zentrale Plattform übertragen und so eine Datenauswertung ermöglicht. Die Messgeräte verfolgten unterschiedliche Ansätze: Der Flukso ähnelt einem konventionellen Smart Meter, d.h. die Darstellung ist eher technisch-nüchtern und liefert keine weiteren Anhaltspunkte für Verbesserungen. Der Raumsensor liefert hingegen direkte Handlungsempfehlungen, die zur Verbesserung des Raumklimas umgesetzt werden können. Zusätzlich liefert der Raumsensor auch exakte Messdaten, die — ebenso wie die Messdaten des Fluksos — auf der Webseite des Projekts eingesehen werden können.

Aufgrund unserer relativ geringen Teilnehmerzahl können wir kaum statistisch belastbare Aussagen zur Akzeptanz der Geräte machen. Aus direkten Gesprächen mit den Teilnehmern können wir jedoch berichten, dass direkte Handlungsanweisungen deutlich positiver aufgenommen werden als der Zugriff auf Messreihen. Die Messreihen dienen eher als Protokoll, anhand dessen konkrete Fragen im Bezug auf den Energieverbrauch beantwortet werden. Nur sehr wenige Teilnehmer haben sich permanent mit den Messreihen auseinandergesetzt. Eine von den Messreihen losgelöste, direkte Handlungsanweisung hat einen höheren Einfluss.

Im Hinblick auf die Einführung von Smart Meter-Systemen gilt dies zu beachten: Ein Smart Meter alleine führt nicht zu Energieeinsparungen. Die Auseinandersetzung mit dem eigenen Verbrauch muss gefördert werden. Die gegenwärtig angedachten Viertelstundenmesswerte haben zusätzlich eine zu geringe zeitliche Auflösung: Einzelne Geräte sind kaum erkennbar. Gleichzeitig wären vermutlich viele Haushalte mit dem Ableiten von Energieeinsparmaßnahmen überfordert. Eine Hilfestellung erscheint uns notwendig: Diese kann im Rahmen einer Energieberatung auf der Basis der Smart Meter-Messdaten erfolgen, oder durch ein Feedbackgerät, welches direkt an die CLS-Schnittstelle des Messsystems angeschlossen werden kann. Für zukünftige Projekte empfehlen wir auch die verstärkte Einbeziehung der Wohnungswirtschaft: So könnte z.B. ein aktives Raumklimamonitoring der Schimmelbildung in Mietwohnungen entgegenwirken.

Fazit

Schaltpläne

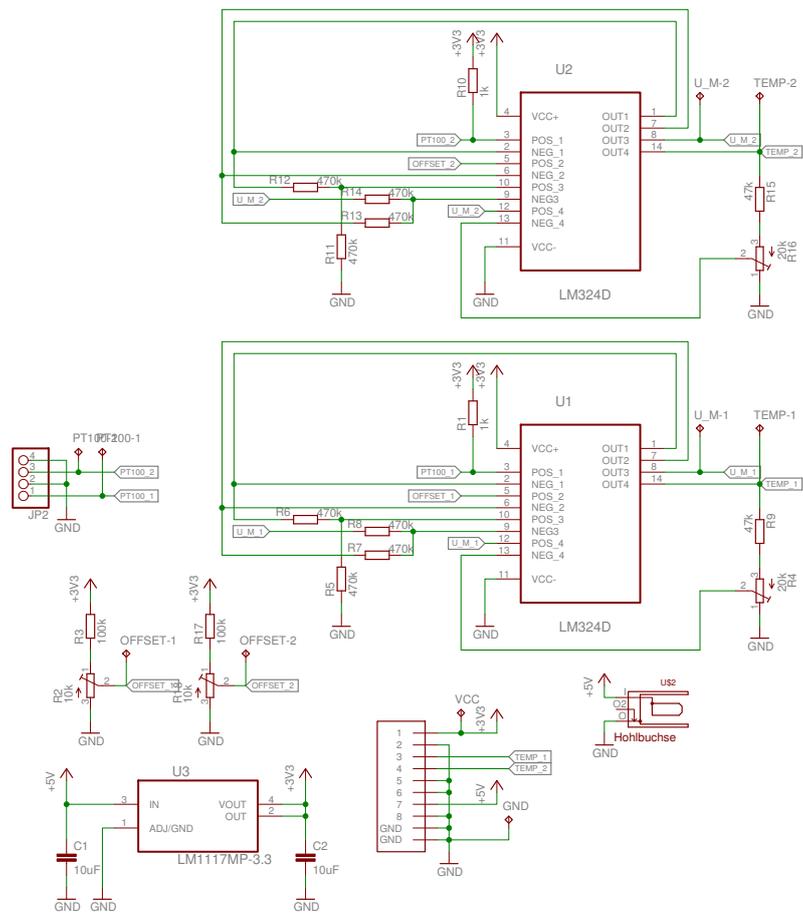
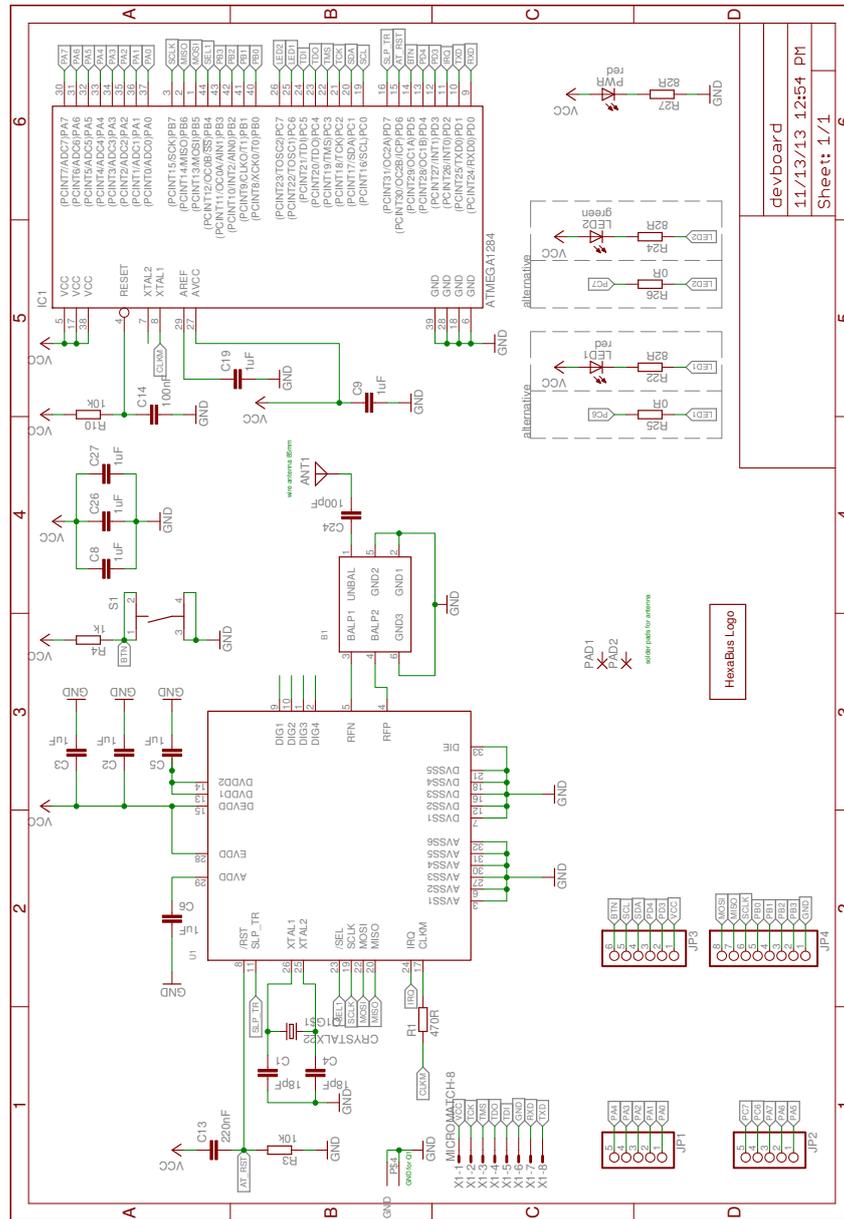


Abbildung 69

Stromversorgung und Messverstärker für die externen PT100-Sensoren.



11/13/13 12:55 PM /home/md/Projects/hxb-devboard/devboard.sch (Sheet: 1/1)

Abbildung 70

Schaltplan des Hexabus-Moduls. Der Mikrocontroller ATmega1284 übernimmt sowohl die Ansteuerung des E-Paper-Displays und des Temperatur-/Luftfeuchtesensors als auch die Kommunikation über 6LoWPAN.

Schaltpläne

B Klimazuordnung nach Leusden/Freyemark

```
1 # climate polygons: Y is relative humidity, X is temperature
2 # values taken from Pels Leusden and H. Freyemark. Darstellungen der
3 # Raumbehaglichkeit fuer den einfachen Praktischen Gebrauch. Der
4 # Gesundheitsingenieur, 16(72):23-25, 1951.
5
6 # "good" corresponds to Zone I
7 good_climate = Geometry::Polygon.new([pt(17, 75), pt(21, 65),
8                                       pt(22, 35), pt(19, 35)])
9 # "acceptable" corresponds to Zone II
10 acceptable_climate = Geometry::Polygon.new([pt(16, 75), pt(17, 85),
11                                             pt(21, 80), pt(25, 60), pt(27, 30), pt(26, 20), pt(20, 20),
12                                             pt(17, 35)])
13 # everything else is Zone III and therefore bad
14 gc_major = Geometry::Line.new(good_climate.vertices[1],
15                               good_climate.vertices[3])
16 gc_minor = Geometry::Line.new(good_climate.vertices[0],
17                               good_climate.vertices[2])
18 basedir = File.join(File.dirname(__FILE__), "..", "pics")
19 temprange.each {|temp|
20   humrange.each {|hum|
21     point = pt(temp, hum)
22     if good_climate.contains?(point)
23       stat = "GOOD"
24     elsif acceptable_climate.contains?(point)
25       stat = if left_of(gc_major, point)
26             if left_of(gc_minor, point)
27               then "WARM" else "AIR" end
28             else
29               if left_of(gc_minor, point)
30                 then "DRY" else "COLD" end
31               end
32             else
33               stat = "NOPE"
34             end
35     end
36     img_temp = Image.read(File.join(basedir,
37                                     "t#{temp}.png"))[0].transparent('white')
38     img_hum = Image.read(File.join(basedir,
39                                    "h#{hum}.png"))[0].transparent('white')
40     img_stat = Image.read(File.join(basedir,
41                                     "s#{stat}.png"))[0].transparent('white')
42     img = Image.new(EPD27::PIXEL_PER_LINE, EPD27::LINES_PER_DISPLAY)
43     img.composite!(img_temp, 0, 0,
44                   CompositeOperator::OverCompositeOp)
45     img.composite!(img_hum, 0, 0,
46                   CompositeOperator::OverCompositeOp)
47     img.composite!(img_stat, 0, 0,
48                   CompositeOperator::OverCompositeOp)
49     filename = "img-#{temp}-#{hum}.png"
50     img.write(File.join(basedir, filename))
51   }
52 }
```

Abbildung 71

Ausschnitt aus dem Ruby-Quellcode, der die Zuordnung zwischen Temperatur und Luftfeuchte zu den Handlungsempfehlungen trifft. Der vollständige Sourcecode ist auch unter https://github.com/mysmartgrid/hexasense/blob/development/firmware/at45_uploader/bin/gen_images.rb verfügbar.

C Validierung der Arbeitshypothesen

In diesem Anhang werden die einzelnen Arbeitshypothesen der dritten Umfrage im Detail betrachtet. Die Untersuchung der zuvor aufgestellten Arbeitshypothesen erweist sich trotz geeigneter Fragestellungen als nicht immer einfach. In manchen Fällen ist die Teilnehmerzahl zu gering, so dass keine aussagekräftigen Ergebnisse vorliegen. Die nachfolgenden Untersuchungen der Hypothesen sind daher in manchen Fällen hochgradig subjektiv und können durch die erhobenen Daten allenfalls unterstützt, jedoch nicht belegt werden.

Gemäß der statistischen Konvention kann eine Hypothese niemals endgültig bestätigt werden. Bei einer statistischen Untersuchung können die angenommenen Hypothesen nur mit einer gewissen Irrtumswahrscheinlichkeit abgelehnt werden. Je geringer die Irrtumswahrscheinlichkeit, desto sicherer ist die Ablehnungsannahme.

Andererseits können Hypothesen, die nicht sicher abgelehnt werden können, nicht als „wahr“ angenommen, also nicht bestätigt werden. Die Wahrscheinlichkeit sich bei der Ablehnung zu irren, ist lediglich zu groß. Für die Überprüfung der Hypothesen wurde entsprechend nur untersucht, ob die Hypothese aufgrund der qualitativen (und ggf. quantitativen) Auswertung abgelehnt werden kann. Für den Fall, dass keine eindeutigen Indizien für eine Ablehnung vorliegen, kann die Hypothese bis auf weiteres nicht abgelehnt werden.

C.1 Überprüfung der Hypothesen — Kosten

- (1) **Durch EMOS konnten keine Stromkosten gespart werden.**
✘ Ablehnung
11 von 16 Personen sind der Meinung, durch FLUKSO Stromkosten eingespart zu haben. Die Messdaten des Fluksos können diesen Eindruck weder bestätigen noch widerlegen.
- (2) **Durch EMOS konnten nicht mindestens 3% der jährlichen Stromkosten gespart werden.**
[Keine Ablehnung]
Nur 10 Personen antworteten auf die Frage, ob sie durch den Raumsensor mindestens 3% der jährlichen Stromkosten sparen konnten. Davon waren 6 Ja und 4 Nein, daher zu wenig differenziert, um eine Ablehnung aussprechen zu können.
Die Messdaten können hier keine eindeutige Aussage liefern.
- (3) **Durch EMOS konnten keine Heizkosten gespart werden.**
[Keine Ablehnung]

- 8 von 11 Personen geben an, keine Heizkosten eingespart zu haben. Die Messdaten können hier keine eindeutige Aussage liefern.
- (4) **Durch EMOS konnten nicht mindestens 3% der jährlichen Heizkosten gespart werden.**
[Keine Ablehnung]
7 von 8 Probanden stimmten der Aussage, dass das Projekt ihnen dabei half mindestens 3% der Heizkosten einzusparen, „eher nicht“ oder „überhaupt nicht“ zu.
- (5) **Durch EMOS konnte keine elektrische Energie gespart werden.**
✘ Ablehnung
Der Aussage, dass durch FLUKSO der Strom eingespart werden konnte, stimmen 14 von 20 „eher“ oder „voll“ zu.
- (6) **Durch EMOS konnte keine Heizenergie gespart werden.**
[Keine Ablehnung]
Die Hälfte der antwortenden Probanden (8 von 16) bejahen die Aussage, dass durch EMOS Heizenergie eingespart werden konnte. Dementsprechend kann die Hypothese nicht eindeutig abgelehnt werden.
- (7) **Auch wenn die relative Raumluftheuchte häufig über dem empfohlenen Wert von 80% liegt, sind die Heizkosten nicht überdurchschnittlich hoch.**
[Keine Ablehnung]
Auf die Frage, ob die relative Luftfeuchte häufig über 80% lag, antworteten 14 Probanden mit „stimme überhaupt nicht zu“, 6 Probanden mit „stimme nicht zu“. Damit ist die Voraussetzung der Hypothese – eine häufige Überschreitung des Wertes von 80% nach Wahrnehmung der Teilnehmer nicht gegeben, die Hypothese kann nicht abgelehnt werden.

C.2 Überprüfung der Hypothesen — Sparpotential

- (8) **Die Einsparung von Heizkosten durch EMOS ist unabhängig davon, welche Energieeffizienz-Maßnahmen zuvor bereits durchgeführt wurden.**
[Keine Ablehnung]
Es wurde nur eine konkrete Maßnahme abgefragt, die Einfluss auf die Heizkosten hat: der Einsatz von Thermostaten. Daher ist ein Vergleich mit anderen Maßnahmen nicht möglich.
- (9) **Die Einsparung von Heizkosten durch EMOS ist unabhängig davon, welcher Heiztyp (Gas, Heizöl, Wärmepumpe, ...) vorliegt.**
[Keine Ablehnung]
Nur 12 Angaben wurden zu der Heizart gemacht. Davon geben wiederum nur 6 eine Aussage über etwaige eingesparte Heizkosten ab. Dabei lassen sich keine eindeutigen Tendenzen erkennen, so dass die Hypothese nicht mit Sicherheit abgelehnt werden kann, vgl. Abbildung 72.

Heizart * Nutzen-EMOS: Heizkosten eingespart Kreuztabelle					
Anzahl		Nutzen-EMOS: Heizkosten eingespart			Gesamt
		stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	
Heizart	Gas	1	2	1	4
	Heizöl	0	0	1	1
	Elektrizität (Strom)	0	1	0	1
Gesamt		1	3	2	6

Abbildung 72 Zusammenhang von Heizart und Heizkosten Einsparungen

- (10) **Die Einsparung von Stromkosten durch EMOS ist unabhängig davon, welche Energieeffizienz-Maßnahmen zuvor bereits durchgeführt wurden.**

✘ Ablehnung

Die Auswertungen (vgl. Abb. 73 - 76) zeigen, dass durchaus ein Zusammenhang zwischen wahrgenommenen Stromkosteneinsparungen und Energieeffizienzmaßnahmen besteht. Es lässt sich sogar eine leichte Tendenz bei der Art der Maßnahme ablesen.

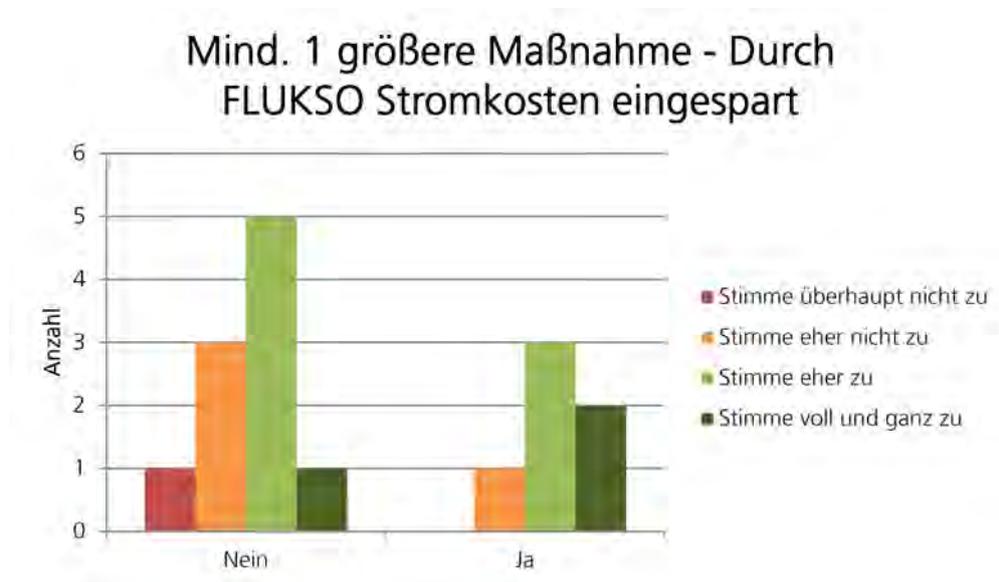


Abbildung 73 Zusammenhang zwischen der Durchführung von mind. einer größeren Energieeffizienzmaßnahme und der Einsparung von Stromkosten durch FLUKSO

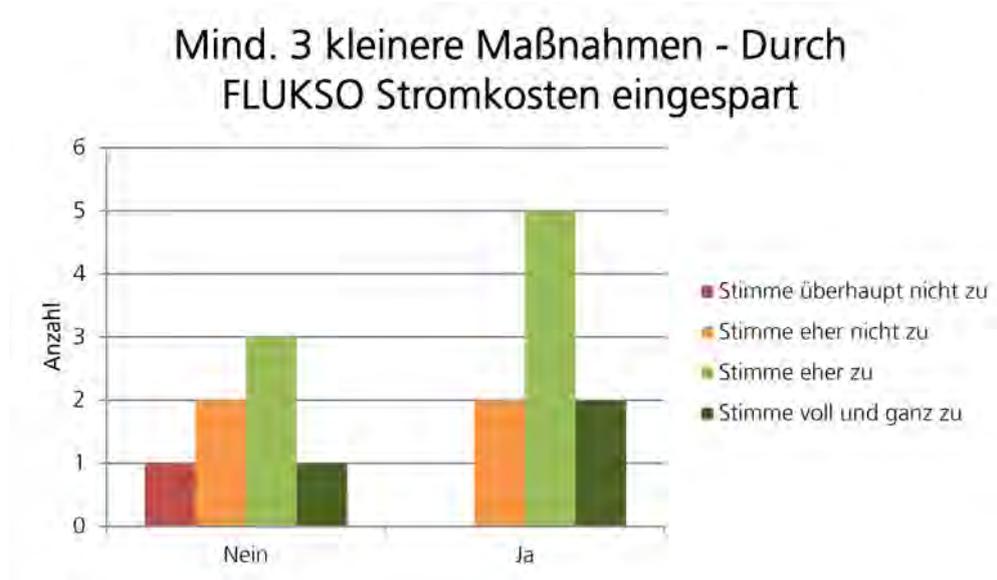


Abbildung 74 Zusammenhang zwischen der Durchführung von mind. drei kleineren Energieeffizienzmaßnahmen und der Einsparung von Stromkosten durch FLU

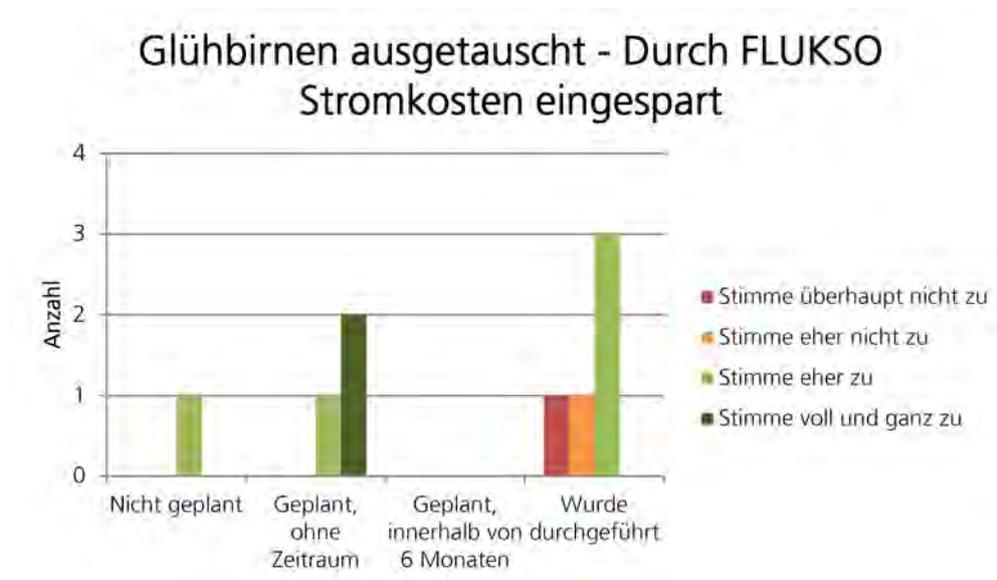


Abbildung 75 Zusammenhang zwischen dem Austausch von Glühbirnen und der Einsparung von Stromkosten durch FLUKSO

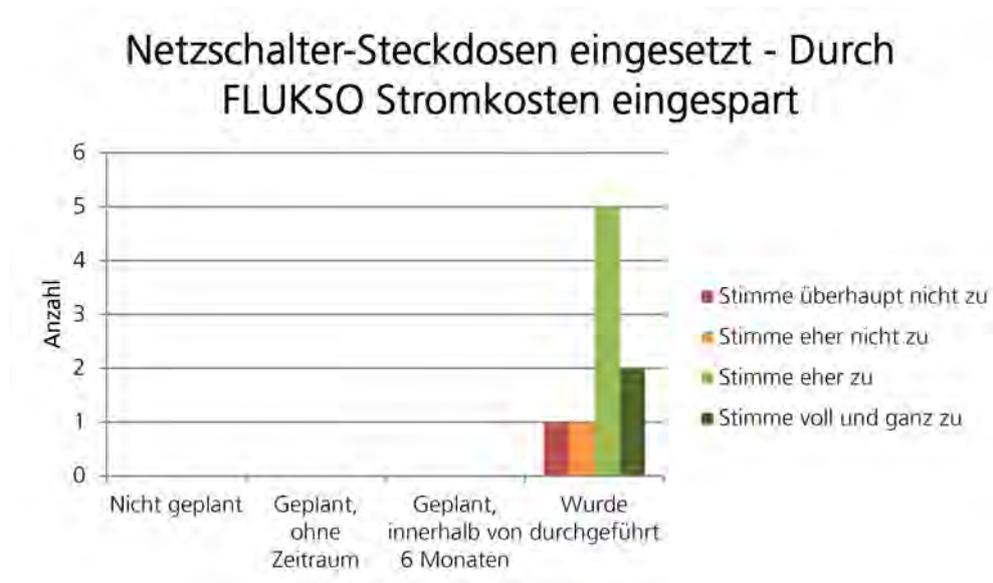


Abbildung 76

Zusammenhang zwischen dem Einsatz von Netzschalter-Steckdosen und der Einsparung von Stromkosten durch FLUKSO

Wenn mindestens 1 größere oder 3 kleinere Energieeffizienzmaßnahmen durchgeführt wurden, dann wird eher angegeben, dass durch FLUKSO Strom eingespart werden konnte.

Die Grafiken 74, 75 und 76 zeigen, ob Strom durch FLUKSO eingespart wurde im Zusammenhang mit Energieeffizienzmaßnahmen, die in der ersten Befragungswelle abgefragt wurden. Wurde im ersten Fragebogen geantwortet, dass in den nächsten 6 Monaten eine Maßnahme geplant ist, dann wurde diese bis zum dritten Fragebogen annahmegemäß bereits durchgeführt – eine Kontrolle gibt es allerdings nicht.

Hier zeigt sich – mit Ausnahme der letzten Maßnahme, den programmierbaren Thermostaten – ein ähnliches Bild. Wenn Energieeffizienzmaßnahmen geplant und durchgeführt wurden, so wird tendenziell eher angegeben, dass mit Hilfe von FLUKSO auch Stromkosten eingespart werden konnten.

Hier dürfte erneut die grundlegende Einstellung zum Thema Strom von großer Bedeutung sein, da angenommen werden darf, dass Personen mit einem Interesse für Energieeffizienzmaßnahmen eher darauf achten weiterhin Strom zu sparen und hierbei durch FLUKSO unterstützt werden.

C.3 Überprüfung der Hypothesen — Auswertung Messdaten

(11) **Ein Stoßlüften mindestens zweimal am Tag für 5 Minuten hat keinen Einfluss auf die Raumluftfeuchte.**

[Keine Ablehnung]

Egal ob 2x täglich für mindestens 5 Minuten gelüftet wird oder nicht, die

Antwort bezüglich einer relativen Luftfeuchte von mehr als 80% fällt immer negativ aus. Die Messdaten liefern hier keine eindeutigen Hinweise.

(12) **Ein Stoßlüften mindestens zweimal am Tag für 5 Minuten hat keinen Einfluss auf die Heizkosten.**

[Keine Ablehnung]

Die wahrgenommene Heizkosteneinsparung der Teilnehmer ist unabhängig davon, ob die Teilnehmer der Meinung waren 2 Mal täglich für mindestens 5 Minuten gelüftet zu haben oder nicht, daher kann die Hypothese nicht eindeutig abgelehnt werden.

Wahrnehmung: 2x täglich 5 Minuten * Nutzen-EMOS: Heizkosten eingespart Kreuztabelle					
Anzahl		Nutzen-EMOS: Heizkosten eingespart			Gesamt
		stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	
Wahrnehmung: 2x täglich 5 Minuten	stimme überhaupt nicht zu	0	1	2	3
	stimme eher nicht zu	1	2	0	3
	stimme eher zu	0	3	0	3
	stimme voll und ganz zu	0	1	1	2
Gesamt		1	7	3	11

Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler	Näherungsweise s Tb	Näherungsweise Signifikanz
Intervall- bzgl. Intervallmaß	Pearson-R	-,126	,335	-,381	,712
Ordinal- bzgl. Ordinalmaß	Korrelation nach Spearman	-,148	,368	-,450	,663
Anzahl der gültigen Fälle		11			

Abbildung 77

Zusammenhang von täglichem Lüften und Heizkosten Einsparungen

C.4 Überprüfung der Hypothesen — Vergleich verschiedener Nutzergruppen

(13) **Mieter investieren mehr in Energieeffizienz-Maßnahmen als Wohnungseigentümer.**

✘ Ablehnung

Die Zahlungsbereitschaften für EMOS und FLUKSO scheinen unabhängig von den Eigentumsverhältnissen zu sein. Außerdem kann ein leichter Trend abgelesen werden dahingehend, dass Eigentümer eher als Mieter mindestens 1 größere und vor allem mind. 3 kleinere Energieeffizienzmaßnahmen durchgeführt haben. Mieter scheinen dementsprechend nicht mehr in Energieeffizienzmaßnahmen zu investieren als Eigentümer. Offensichtlich investieren sogar Eigentümer mehr als Mieter, siehe Abbildungen 78-81. Die Hypothese muss daher abgelehnt werden.

Kreuztabelle						
Anzahl		Zahlungsbereitschaft: EMOS				Gesamt
		ich würde nichts bezahlen	bis zu 50 Euro	51 - 100 Euro	101 - 150 Euro	
Miete/Eigentum	Miete	2	4	2	1	9
	Eigentum	1	4	3	1	9
Gesamt		3	8	5	2	18

Abbildung 78 Zusammenhang von Eigentumsverhältnis und Zahlungsbereitschaft für Raumsensor

Kreuztabelle						
Anzahl		Zahlungsbereitschaft: FLUKSO				Gesamt
		ich würde nichts bezahlen	bis zu 50 Euro	51 - 100 Euro	101 - 150 Euro	
Miete/Eigentum	Miete	1	3	3	1	8
	Eigentum	1	3	3	2	9
Gesamt		2	6	6	3	17

Abbildung 79 Zusammenhang von Eigentumsverhältnis und Zahlungsbereitschaft für FLUKSO

Kreuztabelle				
Anzahl		Miete/Eigentum		Gesamt
		Miete	Eigentum	
Energieeffizienzmaßnahme: mind. 1 größere	Nein	7	5	12
	Ja	2	4	6
Gesamt		9	9	18

Abbildung 80 Zusammenhang von mind. 1 größeren Energieeffizienzmaßnahme und Eigentumsverhältnis

Kreuztabelle				
Anzahl		Miete/Eigentum		Gesamt
		Miete	Eigentum	
Energieeffizienzmaßnahme: mind. 3 kleinere	Nein	5	2	7
	Ja	4	7	11
Gesamt		9	9	18

Abbildung 81 Zusammenhang von mind. 3 kleineren Energieeffizienzmaßnahme und Eigentumsverhältnis

- (14) **Die Höhe der eingesparten Kosten ist unabhängig davon, wie viele Personen im Haushalt leben.**
[Keine Ablehnung]
Vergleicht man die Haushaltsgröße mit den Angaben, dass mindestens 3% Heiz-/Stromkosten gespart wurden, so ergeben sich keine eindeutigen Aussagen, die Hypothese kann daher nicht abgelehnt werden. Auch auf der Basis von Messdaten kann keine Ablehnung erfolgen.
- (15) **EMOS hat nicht dazu geführt, dass die Teilnehmer ihren Stromverbrauch kennen.**
[Keine Ablehnung]
Es gab kaum Angaben zum Stromverbrauch. Entsprechend kann diese Hypothese nicht widerlegt werden (auch wenn 18 von 20 die Angabe machen, dass sie durch FLUKSO *schneller* den Stromverbrauch ablesen können).
- (16) **Durch EMOS hat das Wissen über Energieeffizienz-Maßnahmen nicht zugenommen.**
[Keine Ablehnung]
Sehr ausgeglichenes Antwortverhalten (bei 9 Personen Wissenszunahme, bei 10 keine), so dass die Hypothese nicht abgelehnt werden kann.
- (17) **EMOS hat nicht dazu geführt, dass die Teilnehmer den Zusammenhang von Raumluftfeuchte, Temperatur und Heizkosten kennen.**
[Keine Ablehnung]
Laut den Probanden war der Zusammenhang bereits vorher bekannt, es hat keinen Wissenszuwachs gegeben, deswegen kann die Hypothese nicht abgelehnt werden.
- (18) **Durch EMOS konnte die Luftqualität in der Heizperiode nicht verbessert werden.**
[Keine Ablehnung]
Die Luftqualität wurde von Beginn an als angenehm empfunden und hat sich eher bei denen verbessert, die bereits zufrieden waren. Wo es Defizite gab, konnte der Raumsensor nicht helfen.
- (19) **EMOS hatte keinen Einfluss auf die Einstellung der Probanden zu Umweltschutz und Energieeffizienz.**
✘ Ablehnung
Die Hypothese kann abgelehnt werden, da ein Großteil angab, dass sich die Einstellungen zu den Themen positiv verändert hätten.
- (20) **Durch EMOS wurden Teilnehmer nicht zu mindestens einer größeren Energieeffizienz-Maßnahme (Austausch eines Kühlschranks, Heizungspumpe, ...) motiviert.**
[Keine Ablehnung]
Auf die Gesamtheit bezogen kann die Hypothese nicht abgelehnt werden, da insgesamt überwiegend keine größeren Maßnahmen unternommen wurden.
- (21) **Durch EMOS wurden Teilnehmer nicht zu mindestens drei kleineren Energieeffizienz-Maßnahmen (Verwendung von Steckerleisten,**

Abschaltung von Standby-Geräten nachts, Erhöhung der Kühlschranks-Temperatur auf 6°C, Nutzung von Sparprogrammen von Waschmaschine oder Geschirrspüler) motiviert.

[Keine Ablehnung]

12 von 20 Personen geben an, durch EMOS mindestens drei kleinere Energieeffizienz-Maßnahmen durchgeführt zu haben. Allerdings geben 8 an, keine drei kleineren Maßnahmen durchgeführt zu haben. Die Hypothese kann demnach nicht eindeutig abgelehnt werden

(22) **Durch EMOS wurden die Teilnehmer nicht zum 2x täglichen 5-Minuten-Lüften motiviert.**

[Keine Ablehnung]

17 von 19 geben an „eher nicht“ oder „überhaupt nicht“ durch EMOS zum 2x täglichen mindestens 5-minütigen Lüften bewegt worden zu sein. Die Hypothese kann also nicht abgelehnt werden.

D Bemerkungen zum Ordnungsrahmen

Nach Absprache mit der BBSR wurde die ursprünglich geforderte Einhaltung der Schutzprofile verworfen. Im Zuwendungsbescheid vom 11.12.2012 heisst es hierzu (S. 3):

„Die Berücksichtigung der Schutzprofile nach BSI war eine Auflage, die durch das Expertengremium verabschiedet wurde. Dies ist im Verlauf der Antragsprüfung eingehend mit dem Forscher diskutiert worden. Es wurde festgestellt, dass diese Implementierung in diesem Rahmen aus diversen Gründen nicht möglich ist. Dies ist vor allem der Fall, da eine Veränderung der Hardware für diesen Fall notwendig würde. Dies ist jedoch erst möglich, wenn die Schutzprofile für diese Anwendung endgültig beschlossen sind.“

Dem ursprünglichen Antrag folgend haben wir keine Anstrengungen übernommen, das von uns verwendete Smart Meter Flukso an die Erfordernisse des Schutzprofils anzupassen. Die Funktionalität des Flukso aus der Sicht des Projekts kann jedoch auf einem — schutzprofilkonformen — Smart Metering Gateway implementiert werden. Dazu ist lediglich ein Zugriff auf die Messdaten des angeschlossenen Smart Meters in Echtzeit notwendig.

Ebenso sind alle von uns verwendeten Messgeräte ungeeicht. Die Richtlinie 2004/22/EG über Messgeräte setzt den Rahmen für Messgeräte in der EU. Diese werden über das deutsche Eichrecht in nationales Recht umgesetzt. Für Messungen, die Abrechnungszwecken dienen, müssen natürlich geeichte Messgeräte verwendet werden. Für unser angestrebtes Ziel, ein Feedbacksystem für Nutzer zu bieten, ist der zusätzliche Aufwand für die Eichung der Messgeräte jedoch nicht gerechtfertigt — die bereits in den Wohnungen installierten, abrechnungsrelevanten Messeinrichtungen werden lediglich ergänzt.

Ende Januar 2015 ist das Schutzprofil des BSI noch nicht vollständig finalisiert. Insbesondere die Spezifikationen für die Zertifizierung sind nicht abgeschlossen, sodass derzeit auch noch keine zertifizierte Hardware im Markt verfügbar ist. Einzelne Hersteller haben allerdings Vorprodukte im Zertifizierungsprozess beim BSI. Es ist daher momentan unklar, welche Anpassungen an unseren Messgeräten vorgenommen werden müssten, um zum Schutzprofil kompatibel zu sein.

Wenn man den gegenwärtigen Diskussionsstand als Grundlage nimmt müsste ein Messgerät immer über einen verschlüsselten TLS-Kanal mit dem im Haushalt installierten Smart Metering Gateway kommunizieren. Diese Anforderungen könnten durch alle unsere Geräte erfüllt werden. Wenn zusätzlich noch eine eigene Verschlüsselungshardware in den Messgeräten erforderlich ist, so müsste diese in die Messgeräte integriert werden.

Andererseits sollte ein Zugriff auf die Daten von schutzprofilkonformen Messgeräten durch den Verbraucher selbst über die Controllable Local Systems (CLS)-Schnittstelle jederzeit möglich sein. Sollten schutzprofilkonforme Messgeräte ausgerollt werden, so könnten die im Projekt entwickelten Darstellungen und Verfahren auch auf diese Daten übertragen werden.

E Abweichungen vom ursprünglichen Projektplan

Durch den Konkurs des Herstellers des Chumbys waren wir gezwungen, vom ursprünglichen Projektplan abzuweichen. Im Wesentlichen ergaben sich zwei Änderungen:

- (1) Da der Hersteller des Chumby seinen Betrieb eingestellt hat konnten wir die Echtzeit-Anzeige von Verbrauchswerten nicht wie geplant umsetzen.

Dies bedeutete, dass wir mehr Arbeit in die Visualisierung via HTML5 innerhalb der Hexabus Basisstation investieren mussten. Prinzipiell werden die Darstellungen, die für den Chumby geplant waren, nun durch die HTML5-Oberfläche ersetzt.

- (2) Die Fertigung des Raumklima-Messgeräts ist ebenfalls verspätet, da durch die Änderung der Anzeigemethode von einer einfachen LED-Anzeige zu einem recht komplexen E-Paper ein Redesign der Hauptplatine notwendig war. Ebenso musste unsere Software in wesentlichen Teilen überarbeitet werden: Die Grafiken, die auf dem E-Paper angezeigt werden, sind zu groß für den von uns verwendeten Mikrocontroller. Ein zusätzlicher Flashspeicher wurde also ebenfalls in die Hauptplatine integriert. Wenn eine neue Bildschirmseite angezeigt werden soll, wird die komplette Bildschirmseite aus dem Flash-Speicher zum Controller des E-Paper-Displays übertragen und dort angezeigt. Die Treiber für E-Paper-Display und Flash-Speicher mussten neu geschrieben werden. Leider wurden durch den von uns beauftragten Platinenfertiger falsche Bauteile bestückt. Zur Zeit erörtern wir diverse Optionen, wie die Bestückungsfehler behoben werden können.

Die Verzögerungen im Bereich der Fertigung der Geräte haben zur Folge, dass die Raumklima-Komponenten mit erheblichen Verzögerungen in den Teilnehmerhaushalten installiert wurden.

Literatur

- [1] Michael Baranski. *Energie-Monitoring im privaten Haushalt*. Cuvillier Verlag, 2006.
- [2] Mario E. Berges, Ethan Goldman, H. Scott Matthews, and Lucio Soibelman. Enhancing electricity audits in residential buildings with nonintrusive load monitoring. *Journal of Industrial Ecology*, 14(5):844–858, 2010.
- [3] Bundesamt für Energie BFE der Schweiz. *Folgeabschätzung einer Einführung von «Smart Metering» im Zusammenhang mit «Smart Grids» in der Schweiz*. 2012. http://www.bfe.admin.ch/smartgrids/index.html?lang=de&dossier_id=06008.
- [4] Christopher J.C. Burges. A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2(2):121–167, 1998.
- [5] Khaled Chahine and Khalil El Khamlichi Drissi. A Novel Feature Extraction Method for Nonintrusive Appliance Load Monitoring. *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, 2013.
- [6] Sarah Darby. The effectiveness of feedback on energy consumption. A Review for DEFRA of the Literature on Metering, Billing and direct Displays, April, 2006.
- [7] Fred D. Davis, Richard P. Bagozzi, and Paul R. Warshaw. User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models. *Management Science*, 35 (8), August 1989. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.35.8.982>.
- [8] Dirk Westermann and Nicola Döring and Peter Bretschneider (Hrsg.). *Smart Metering: Zwischen technischer Herausforderung und gesellschaftlicher Akzeptanz*. *Interdisziplinärer Status Quo*. 2013. <http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=21399>.
- [9] Discher, H.; Hinz, E.; Enseling, A. *dena-Sanierungsstudie. Teil 1: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung im Mietwohnungsbestand*. 2010. http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Gebaeude/Dokumente/dena-Sanierungsstudie_Teil_1_MFH.pdf.
- [10] forsa - Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH. *Erfolgsfaktoren von Smart Metering aus Verbrauchersicht*. 2010. Studie im Auftrag des Verbraucherzentrale Bundesverbandes, abrufbar unter http://www.vzbv.de/sites/default/files/mediapics/smart_metering_studie_05_2010.pdf.
- [11] Gesundheitsamt Freie Hansestadt Bremen. *Feuchtigkeit und Schimmel in Wohnräumen. Praxisbericht 2012*. 2013. http://www.gesundheitsamt.bremen.de/sixcms/media.php/13/3_GBE_Schimmelbericht_2013.pdf.
- [12] G.W. Hart. Nonintrusive appliance load monitoring. *Proceedings of the IEEE*, 80(12):1870–1891, Dec 1992.
- [13] Hexabus Projektseite auf Github, 2013. <https://github.com/mysmartgrid/hexabus>.

- [14] Hexasense Projektseite auf Github, 2013.
<https://github.com/mysmartgrid/hexasense>.
- [15] Intelliekon Projektseite, 2012. <http://www.intelliekon.de>.
- [16] Pels Leusden and H. Freymark. Darstellungen der Raumbehaglichkeit für den einfachen Praktischen Gebrauch. *Der Gesundheitsingenieur*, 16(72):23–25, 1951.
- [17] Jane McGonigal. *Reality Is Broken: Why Games Make Us Better and How They Can Change the World*. Penguin Group , The, 2011.
- [18] Roland Hierzinger et al. *European Smart Metering Landscape Report*. 2012. SmartRegions Deliverable 2.1,
<http://www.smartregions.net/GetItem.asp?item=digistorefile;366174;1522¶ms=open;gallery>.
- [19] Zach Shelby and Carsten Bormann. *6LoWPAN: The Wireless Embedded Internet*. Wiley Publishing, 2010.
- [20] Nathan Srebro, Jason Rennie, and Tommi S. Jaakkola. Maximum-margin matrix factorization. In L.K. Saul, Y. Weiss, and L. Bottou, editors, *Advances in Neural Information Processing Systems 17*, pages 1329–1336. MIT Press, 2005.
- [21] Statistisches Bundesamt. *Zensus 2011 - Bevölkerung und Haushalte*. 2011. <https://ergebnisse.zensus2011.de/auswertungsdatab/download?pdf=00&tableId=0&locale=DE&gmdblt=1>.
- [22] Statistisches Bundesamt. *Bestand und Struktur der Wohneinheiten. Fachserie 5 Heft 1 — Mikrozensus-Zusatzerhebung 2010*. 2012.
<https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/EinkommenKonsumLebensbedingungen/Wohnen/WohnsituationHaushalte.html?nn=68748>.
- [23] Stolte, C. et al. *dena-Sanierungsstudie. Teil 2: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung in selbstgenutzten Wohngebäuden*. 2012.
http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Presse/Meldungen/2012/12-03-26_dena-Sanierungsstudie_Einfamilienhaeuser.pdf.
- [24] Umweltbundesamt (Hrsg.). *Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen*. 2002. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-zur-vorbeugung-untersuchung-bewertung>.
- [25] M. Zeifman and K. Roth. Nonintrusive appliance load monitoring: Review and outlook. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 57(1):76–84, February 2011.