

Disaggregation von Lastkurven privater Haushalte im Kontext der Energiewende – Informationsgewinn für den Energiekonsumenten?

Marcel Saager¹, Patrick Baber¹, Maximilian Meyer¹, Stefan Wunderlich¹, Alexander Sandau¹ und Jorge Marx Gómez¹

¹ Carl von Ossietzky Universität, Department für Informatik, Lehrstuhl VLBA, Oldenburg, Deutschland

{marcel.saager,patrick.baber,maximilian.meyer,stefan.wunderlich,alexander.sandau,jorge.marx.gomez }@uni-oldenburg.de

Abstract. Dieser Beitrag umfasst eine empirisch-qualitative Erhebung, die im Zusammenhang mit User Experience im Energiemonitoring durchgeführt wurde. Dafür wurde ein Prototyp entwickelt, der auf Basis des NILM-Toolkits eine Disaggregation von Lastkurven privater Haushalte durchführen kann. Für den Endkunden wurde eine mobile Applikation entwickelt, die die Nutzerdaten aus der Disaggregation anzeigen kann. Zu diesem Zweck wurden Probanden hinsichtlich möglicher Informationen und Interaktionen in einer Applikation befragt. Abschließend wurden diese Ergebnisse evaluiert und Empfehlungen zu den wichtigsten Informationen und Funktionen abgeleitet.

Keywords: User Experience, Energiemonitoring, Machine Learning, Energieinformatik, Disaggregation

1 Motivation

Die Energiebranche unterliegt einem massiven Veränderungsprozess. Im Zuge des starken Wachstums der dezentralen Energieversorgung [1] müssen Politik, Unternehmen und Konsumenten neue Lösungsansätze partizipativ entwickeln, um den Stromverbrauch zu minimieren und das Elektrizitätsnetz besser regulieren bzw. entlasten zu können. Der Fokus der großen Energieversorger, mit Bezug auf die Energiewende, galt vorrangig der flächendeckenden Einführung und der Inbetriebnahme von erneuerbaren Energiequellen [2]. Doch durch die EEG-Umlage müssen private Konsumenten einen Teil der Subventionen der erneuerbaren Energien tragen [3] und nehmen somit eine aktive Schlüsselfunktion als Akteur in der Gestaltung der Energiewende ein. Die zeitnahe Bereitstellung umfassender Informationen, mit denen es dem Konsumenten möglich ist aktiver am Energiemarkt teilzunehmen, stellt einen vielversprechenden Ansatz dar. Durch einen höheren Informationsgrad kann der Konsument für den eigenen Energieverbrauch sensibilisiert werden, sodass sie bewusst an der Energiewende teilnehmen können. Dabei gilt es sowohl informative als auch

Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2018,
March 06-09, 2018, Lüneburg, Germany

technische Herausforderungen zu bewältigen: Dem Konsumenten stehen die aggregierten Informationen über seinen Energieverbrauch bereits zur Verfügung. Mit der Nutzung von digitalen Stromzählern können diese Informationen in variablen Intervallen digital abgerufen, gespeichert und als Lastkurven abgebildet werden [19]. Jedoch bleibt der Informationsgehalt beschränkt. Wird nicht vor jedem Energieverbraucher ein eigener Messpunkt installiert, steht auch bei digitalen Stromzählern nur eine aggregierte Lastkurve aus allen Verbrauchern zur Verfügung. Durch Methoden der Disaggregation von Lastkurven, zur Ermittlung der Lastprofile von Verbrauchern in privaten Haushalten, kann diese Informationslücke geschlossen und detaillierte Informationen für den Konsumenten bereitgestellt werden. Jedoch bleibt die Fragestellung offen, ob die Disaggregation von Lastkurven einen Mehrwert im Sinne einer Wissensgenerierung und Selbstreflektion für den Konsumenten bietet.

Bis zum Jahr 2014 hat sich unter anderem das von der Bundesregierung initiierte Forschungsprojekt E-Energy mit dem Thema befasst. Hierbei kam heraus, dass sich Kunden durch einen Informationszugewinn in ihrem Verhalten beeinflussen lassen [24], was für diese Forschungsarbeit von hoher Bedeutung ist. Andere Möglichkeiten unter der Verwendung von Smart Meter-Daten können zum Beispiel Clusteranalysen sein, die in variablen Tarifen gipfeln [25, 26]. Mit der exakten Thematik dieses Papers befassten sich ebenfalls ein Forschungsteam aus den USA, die der Frage nachgehen, ob die Disaggregation überhaupt die Lösung vieler Probleme ist. Dabei werden auch finanzielle Vorteile der Akteure angesprochen [4].

Um ein besseres Verständnis der Rahmenbedingungen zu erhalten wird in Abschnitt 2 die Energiewende in Deutschland näher beschrieben. In Abschnitt 3 ist die Problemstellung und Forschungsfrage mit Bezug auf die erläuterten Herausforderungen der Energiewende formuliert. Abschnitt 4 beschreibt die prototypische Umsetzung einer softwareseitigen Applikation zur Disaggregation von Lastkurven. Abschnitt 5 beschreibt die Anforderungserhebung für die Visualisierung der Informationen unter Anwendung von Interviews. Abschnitt 6 schließt mit einem kurzen Fazit und Ausblick.

2 Energiewende in Deutschland

Der Begriff Energiewende steht für die Realisierung einer nachhaltigen Energieversorgung in den Bereichen Strom, Mobilität und Wärme [5]. Bei der Energiewende wird gemäß der Bundesregierung ein „Zwei-Säulenprinzip“ verfolgt. Einerseits sollen die erneuerbaren Energien alternativ zur Kernkraft ausgebaut werden. Andererseits steht die Energieeffizienz im Mittelpunkt. Hierbei wird unter anderem das Einsparen vom elektrischen Strom und das Identifizieren von hohen Stromverbrauchern thematisiert [23]. Die Stromgewinnung aus nuklearen und fossilen Brennstoffen, also Braunkohle und Erdöl soll reduziert werden, sodass bis zum Jahre 2025 40 bis 45 % und bis 2050 mindestens 80 % des produzierten Stroms aus regenerativen Quellen erzeugt wird [6, 7]. Dies ermöglicht neue Geschäftsmodelle und Beschäftigungen, da innovative Dienste für die Energiewende umgesetzt und zahlreiche neue Arbeitsplätze geschaffen werden können [8]. Ein ähnlicher Trend ist

bei der Erstellung von Nachhaltigkeitsberichten zu erkennen. Große Unternehmen sind verpflichtet, ihren Umgang mit Energie transparent offenzulegen [9]. Deutschland bemüht sich flächendeckend Windparks zu errichten, die einen Atomausstieg begünstigen sollen [10]. Eine weitere Möglichkeit grünen Strom zu erzeugen sind Photovoltaikanlagen. Sichtbar entwickelt sich ein Trend seitens der Unternehmen zusammen mit Privatpersonen, funktionierende Marktmechanismen in diesen Bereichen aufzubauen [11]. Aktuell wird prognostiziert, dass im Jahr 2017 43,3 GW Photovoltaikleistung installiert sein wird. Im Jahr 2016 waren es noch 41,27 GW, was einen Anstieg von ca. 2 GW bedeuten würde [12].

Die Marktbarrieren sind indes noch immer vorhanden. Ein großes Problem ist die mangelnde Akzeptanz der Kunden [13, 14]. Außerdem können durch die prekäre Rechtssituation Konsumenten, oder in diesem Fall Prosumer, nicht als normale Stromlieferanten zugelassen werden [15].

Darüber hinaus zeichnet sich im privaten Bereich eine neue Entwicklung ab. Aufgrund der Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparender Anlagentechnik bei Gebäuden, kurzum die Energieeinsparverordnung EnEV, werden gerade private Haushalte und Hausbauer in die Pflicht genommen [16]. Gemäß EnEV darf Strom, der aus erneuerbaren Energien gewonnen wird, bei der sich die Quellen in einem bestimmten Haus befinden, von dem zu berechneten elektrischen Energiebedarf abgezogen werden. Die rechtlichen Bedingungen und die Berechnungsgrundlagen sind genauer im EnEV erläutert. Die Energiesparverordnung zur dezentralen elektrischen Energieerzeugung gilt als ein zentrales Anreizsystem, um über den eigenen Energiebedarf und -verbrauch nachzudenken [17]. An dieser Stelle kann dem Prosumer und Konsumenten durch die Disaggregation von Lastkurven der eigene Bedarf und Verbrauch aufgeschlüsselt als Hilfestellung dienen. Durch eine sinnvoll aufbereitete Applikation ist darauf aufbauend eine nachfrageorientierte Bereitstellung von stromrelevanten Informationen möglich.

Eine weitere wichtige Entwicklung ist der Austausch von Ferraris-Zähler der privaten Haushalte durch digitale Stromzähler [18]. Die schon seit den 90er Jahren bei Großkunden in Betrieb genommenen Stromzähler speichern den Stromverbrauch digital und können diesen in ein Kommunikationsnetz weiterleiten. Dabei können diese Daten auch aus der Ferne ausgelesen werden, sodass ein Ablesen des Zählerstandes vor Ort nicht mehr notwendig ist. Zudem ist die Frequenz der Übermittlung der Daten höher, wodurch es möglich ist, dem Kunden Informationen auf Monats- oder Tagesbasis anzuzeigen [19]. Dies lässt verschiedene Anwendungsfälle zu, die in disruptive Technologien und neue Geschäftsmodelle gipfeln können. Je höher die Frequenz dieser Daten ist, desto besser kann zum Beispiel die Disaggregation von Lastkurven einzelner Verbraucher durchgeführt werden. Deshalb sollte die bisherige Entwicklung, intelligente Stromzähler in private Haushalte zu verbauen, weiter fortgeführt werden. Es wird angestrebt, intelligente Energiemärkte und Netze zu errichten um das Potential dieses Technologiewandels auszunutzen [22].

Ein gesellschaftlicher Trend, der sich aus den aktuellen Umweltereignissen ergibt, fordert das Land und die Gesellschaft dazu auf, ihr Handeln und den Konsum von Energie zu überdenken. Die negativen Auswirkungen der Umweltbelastung durch fossile Brennstoffe und nukleare Kernenergie, nehmen in der gesellschaftlichen

Diskussion einen höheren Stellenwert ein. Daraus folgt, dass die Bundesregierung den Erzeugern und Konsumenten Anreize bietet, den Markt neu zu gestalten. Dies führt zu neuartigen Technologien, die den Energiemarkt bestimmen. Zum einen durch den Einbau intelligenter Stromzähler und zum anderen, dass Endverbraucher in die Pflicht genommen werden, sich aufgrund von Gesetzen und Verordnungen, am Ausbau eines intelligenten sowie nachhaltigen Marktes zu beteiligen.

3 Problemstellung

Da jeder Konsument grundsätzlich auf seinen Vorteil bedacht ist, müssen Anreize etabliert werden, diesen Trends und Bestimmungen Folge zu leisten. Dieser Beitrag fokussiert die Identifikation dieser Anreizmechanismen, um eine gesellschaftliche Akzeptanz zu fördern. Es ist davon auszugehen, dass das Vorwissen, die Pflichten und die Bedürfnisse der für die Energiewende im Zentrum stehenden Konsumenten, individuell sind.

Es wird deutlich, dass der Konsument im Zentrum der Energiewende steht. Der Informationszugang des Konsumenten zu seinem Energieverbrauch, um diesen bestmöglich in der ökologischen, ökonomischen und sozialen Dimension zu optimieren, muss aufgrund der verschiedenen Vorkenntnisse einfach gestaltet sein. Deshalb wird dem softwarebasierten Zugang in diesem Zusammenhang eine Schlüsselrolle eingeräumt. Die Informationen, die für den Kunden gewonnen werden, sollen nicht durch unsichere Sensorik gesammelt werden, die an verschiedenen Stellen im Haushalt angebracht werden können [20]. Um z. B. Informationen über den Stromverbrauch einzelner Geräte zu sammeln, müssten mehrere Strommessgeräte angeschafft und eingerichtet werden, was Kosten und Aufwand verursacht. In dieser Arbeit wird ein Softwarekonzept vorgestellt, das Lastkurven privater Haushalte disaggregiert. Die Software arbeite ohne zusätzliche Sensorik und basiert ausschließlich auf den Daten des intelligenten Stromzählers.

Damit der Konsument ein höheres Bewusstsein für den Stromverbrauch entwickeln kann, muss die Datenbasis um zusätzliche Informationen ergänzt werden. Über das Anzeigen von energiebezogenen Daten des eigenen Haushalts, kann das Konsumbewusstsein des Anwenders erhöht werden. Diese Informationen könnten durch die Disaggregation von den Lastkurven des Gesamtstromverbrauchs des Haushaltes gewonnen werden. Hierbei muss ermittelt werden, wie diese Informationen so einfach wie möglich für den Konsumenten aufbereitet werden können. Deshalb sind insbesondere Informationen über Verbräuche, Kosten oder den aktuellen Strompreis von Bedeutung.

Da eine Software den Prosumer dazu motivieren soll, mehr Verantwortung bei der Energiewende zu tragen, ist die Informationsgrundlage zu ermitteln. Dahingehend ist die Frage zu beantworten, welche Gewohnheiten ein Konsument preisgeben möchte und inwieweit dies mit der Rechtsprechung vereinbar ist.

Daraus leitet sich folgende Fragestellung ab: Welche Informationen könnten auf Grundlage eines exakt aufgeschlüsselten Energieverbrauchs durch Disaggregation,

eingebettet in einer Applikation, dem Konsumenten und somit auch der Energiewende förderlich sein?

4 Prototyp

Das Konzept der Disaggregation von Lastkurven wurde durch einen Software-Prototypen unter Laborbedingungen umgesetzt. Ein Großteil des Prototyps basiert auf dem NILMTK¹ (Non-intrusive Load Monitoring Toolkit), das aufgrund seiner Bedeutung detailliert erklärt wird. Entwickelt wurde NILM, als Basis des intelligenten Energiemonitoring. Das Toolkit mit statistischen Anwendungen, die überprüfen zu wie viel Prozent ein Gerät, auf Basis eines Datensatzes, aus einer Lastkurve erkannt werden kann. Das Ziel war es diesen Prozess im Hintergrund durchzuführen ohne den Anwender einzubinden. Ein weiteres Ziel war es, keine Zwischenmessstationen elektrischer Energie einzusetzen. Die Funktionsweise des Toolkits wurde im Laufe der Implementierung angepasst, da es nicht auf eine Echtzeitauswertung ausgelegt ist.

Zuerst ist es notwendig Vergangenheitswerte von Geräten auf einer Datenbank zu lagern. Mithilfe von Metadaten die das Framework beschreiben und Informationen zu den Stromdaten (Art der Geräte und Aufnahmeparameter) angeben, kann ein Testdatensatz generiert werden. Aus diesem wird unter Verwendung eines Converters eine Datei im HDF5-Format erstellt. Der Converter musste hierbei eigens an die prototypischen Verhältnisse angepasst werden. Ursprünglich brachte der Converter die Datensätze in ein .dat-Format, um diese anschließend gesammelt in eine HDF5-Datei zu verbinden. Dazu kam das Einbeziehen besagter Metadaten, welche die einzelnen Verbraucher beschreiben. Der abgeänderte Converter dagegen kann die auf der Datenbank gelagerten Daten direkt in das HDF5-Format bringen und die dazugehörigen Metadaten werden hierbei stark gekürzt. Die Betrachtung der Abbildung 1 macht dieses Vorgehen deutlicher.

Die nun erstellte HDF5-Datei bildet jeweils die Basis zur Erstellung einer Trainingskurve und einer Testkurve, die nun disaggregiert werden können. Bestandteile dieser Datei sind Daten jener Geräte, die erkannt werden sollen. Der erste Schritt der Disaggregation sieht vor, mit den vorhandenen Verbrauchsdaten der Geräte ein statistisches Modell zu trainieren. Die Lastprofile jener Geräte, die später erkannt werden sollen, werden dem Algorithmus antrainiert. Der zweite Schritt ist nun das Erkennen der Geräte aus dem aggregierten Lastprofil. Das NILMTK besitzt dafür Algorithmen, die nach dem *Factorial Hidden Markov Model* und der *Combinatorial Optimization* arbeiten. Das Ergebnis der Operationen ist die Erkennung, wann die einzelnen Endgeräte angeschaltet waren und wie viel Strom diese verbraucht haben. Im letzten Schritt bietet das NILMTK die Funktion, die Ergebnisse mit den tatsächlichen Verbräuchen zu vergleichen. Je nach Metrik wird dann eine Aussage über die Güte der Disaggregation gegeben.

Die Entwicklung des Prototyps lief unter dem Arbeitstitel *pyranha*. In Abbildung 1 ist ein Komponentendiagramm des Prototyps abgebildet. Die linke Seite der Abbildung

¹ <https://github.com/nilmk/nilmk>

stellt die Datenerhebung dar. Mithilfe einer Stromquelle erfasst der digitale Stromzähler Wattwerte, die weiterverarbeitet werden. Durch eine optische Schnittstelle, die an dem digitalen Stromzähler angebracht ist, werden die Wattwerte in eine InfluxDB geschrieben. Die InfluxDB ist eine spezielle Datenbank, die die Messwerte mit einem dazugehörigen, eindeutig identifizierbaren Zeitstempel speichert. Dieser Zeitstempel dient somit als Primärschlüssel des Tupels. Aus der Datenbank werden die Tupel (Zeitstempel + Wattwerte) mit einem Converter in das HDF5 (H5) Format umgewandelt. Dieses Format benötigt das NILMTK um die Disaggregation durchzuführen. Die Lastkurve wird disaggregiert und die gewonnenen Informationen werden in die Datenbank auf einen neuen Tabellenabschnitt gelegt.

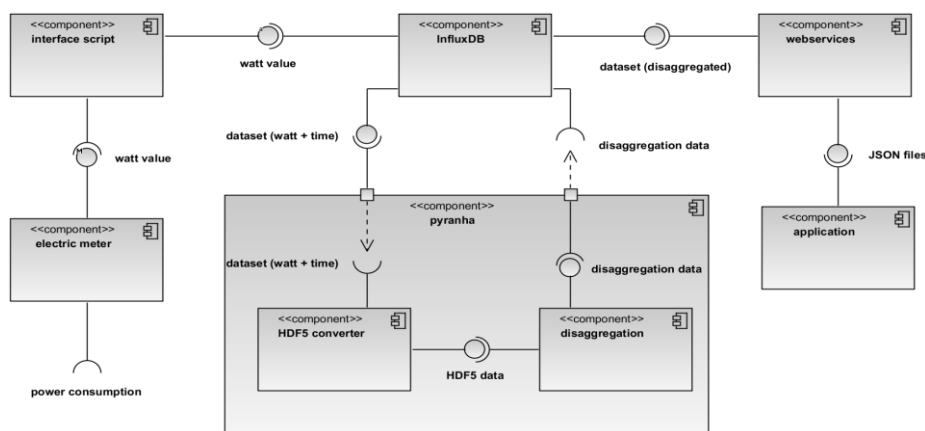


Abbildung 1. Komponentendiagramm des Prototyps zur Disaggregation von Lastkurven.

Für die Visualisierung wurde eine Applikation entwickelt, die konzeptionell und inhaltlich auf dieser wissenschaftlichen Arbeit beruht. Technisch wurde ein Webservice erstellt, der die disaggregierten Werte der InfluxDB im JSON-Format abrufen und für die mobile Applikation bereitstellt.

5 Empirisch-qualitative Erhebung

Für die Evaluation wurden semistrukturierte Interviews durchgeführt. Es wurden Probanden ausgewählt, die sich mit dem Thema Energie intensiver als der durchschnittliche Konsument beschäftigen. Insgesamt wurden acht Probanden aus dem Umfeld der Energiewirtschaft und Softwareentwicklung im Raum Oldenburg befragt und unter Verwendung eines strukturierten Interviewleitfadens nach Mayring [21] durch das Gespräch geführt. Dabei wurde das Gespräch aufgenommen und anschließend transkribiert.

5.1 Vorgehen

Insgesamt verfügt der Fragebogen über 18 Leitfragen. Zu jeder Fragestellung existieren eine oder mehrere Fragen, um gezielt Informationen aus dem Probanden zu eruieren. Deshalb wird zur Erklärung der Leitfaden in fünf Abschnitte aufgeteilt. Im Abschnitt zur Person wird der berufliche und biografische Hintergrund des Probanden erhoben. Dies hat den Zweck den Probanden an die Sprechsituation zu gewöhnen und ihn für die nachfolgenden Themen kommunikativer zu machen. Der zweite Abschnitt umfasst Fragen zum Energiemarkt. Insbesondere das Bewusstsein zur Energie und dem privaten Verhalten mit Energie soll erhoben werden. Im dritten Abschnitt folgen Fragen zum Nutzungsverhalten von mobilen Endgeräten und wie die Aufbereitung energiebezogener Daten bevorzugt wird. Der vierte Abschnitt ist der Kern des Fragebogens, da dieser direkt in Verbindung mit dem Prototyp zur Disaggregation von Lastkurven steht. Der Proband soll abschätzen, wie die Geräteerkennung im privaten Umfeld eingesetzt würde und welche Informationen nützlich seien. Zum Schluss des Interviews soll der Proband die Disaggregation von Lastkurven kritisch reflektieren und andere Anwendungsszenarien aufzeigen.

5.2 Auswertung

Zur Auswertung wird eine Analyse und Interpretation der Interview-Studie durchgeführt. Als unterstützende Software wird MAXQDA angewendet. Dafür wurde ein Kodierleitfaden erstellt, der die zur systematischen Analyse der Interviews verwendet wird. Die Ergebnisse des Kodierleitfadens werden anhand von drei Oberpunkten beschrieben und interpretiert. Dabei wurde ermittelt, welche primären Informationen in einer App visualisiert und dem Konsumenten zur Verfügung gestellt werden müssen. Diese wurden in zwei Kategorien aufgeschlüsselt, die die Informationen und die Funktionen abbilden. Außerdem gibt es eine allgemeine Kategorie, die die Forschungsfrage thematisiert.

Bei 7 von 8 Probanden ist die Selbsteinschätzung, über ihr Bewusstsein für Energie sehr hoch. Sie legen Wert auf Netzstabilität, und sparen aktiv Strom, dabei sind auch energieeffiziente Geräte sehr wichtig. Drei der 7 Probanden legen trotzdem weniger Wert auf ihren Stromverbrauch. Sie relativieren die Relevanz da ihnen Anreize verwehrt bleiben und sie Strom ohnehin verbrauchen. 6 Probanden kontrollieren ihren Stromverbrauch stetig, zwei von ihnen passen den Stromverbrauch aktiv an. Signifikant ist, dass vier Probanden bereits als Produzenten tätig sind, da sie eine Photovoltaikanlage besitzen. Dies hat vorrangig finanzielle Gründe.

Alle Probanden erwarten einen persönlichen Vorteil von den gesammelten Daten durch digitale Stromzähler, dennoch können diese Daten eine Sensibilisierung der Gesellschaft ermöglichen. Für Energieversorger könnten derartig aufbereitete Daten bessere Planungsmöglichkeiten bedeuten. Die Abbildung von einzelnen Verbrauchsgeräten kann helfen Einsparpotenziale in Haushalten zu identifizieren. Eine Zeitvermarktung ermöglicht die Weitergabe an Unternehmen, um defekte Geräte zu erkennen.

Im Anschluss sollten die Probanden ihre Nutzungsaffinität mobiler Endgeräte einschätzen. Im Kontext einer energiebasierten mobilen Applikation sind zwei Probanden skeptisch. Dennoch könnte sich ein Interesse entwickeln, falls eine Applikation zur Verfügung stünde. Als Alternative kann eine festinstallierte Station, anhand des Vorbilds der Photovoltaik-Anlagen, oder auch dezentere Informationen z. B. an einer Küchenuhr, geeignet sein. Eine mobile Website mit Login-Funktion hingegen wurde von einigen Befragten abgelehnt. Auf einem Smartphone soll die Applikation kontextsensitiv und schnell sein, wobei eine gute grafische Aufbereitung wichtig ist. Es lassen sich kaum Nutzungsintervalle prognostizieren, jedoch würde wahrscheinlich das Interesse mit der Zeit abnehmen.

Interessant für die Probanden ist die Darstellung des Gesamtverbrauchs sowohl in Echtzeit, als auch auf Tages-, Wochen- und Monatsbasis. Hierbei sind Auswertungsmöglichkeiten zum Energieverhalten, Konsum und auch der Produktion denkbar. Dabei sind Empfehlungen zur Reduzierung des Energieverbrauchs gewünscht. Darüber hinaus stehen für alle Probanden die Verbrauchskosten im Vordergrund. Kosten sollen über verschiedene Intervalle einsehbar sein. Außerdem wünschen sich zwei Probanden Amortisationsrechnungen, was eine Kopplung mit der Stromerzeugung oder der Anschaffung von energieeffizienten Geräten benötigt. Eine dritte Funktion ist die Koppelung von Strompreisen und Tarifen. Dabei wäre es interessant, die Tarife flexibel zu gestalten.

Da die Disaggregation von Lastkurven im Fokus dieser Arbeit steht, wird das Hauptaugenmerk auf die Nutzbarkeit der Erkennung von Endgeräten gelegt. Eine Echtzeitdarstellung des Verbrauchs eines einzelnen Gerätes wird von allen Probanden als unnötig angesehen. Dennoch lassen sich erweiterte Szenarien aus dem Monitoring einzelner Geräte entwickeln. Ganz nach dem Vorbild des Gesamtverbrauchs wünschen sich die Probanden, Geräte im Zeitverlauf, auf Tages- Monats- oder Jahresbasis betrachten zu können. Ein Proband wünscht sich eine Betrachtung nach Tageszeit, um Anomalien entdecken zu können. Durch die Identifikation einzelner Geräte im gesamten Stromverbrauch ist es möglich „Energiefresser“ zu erkennen. Zudem ist es möglich, defekte Geräte zu bestimmen. Dies wird als enormes Potenzial zur Stromeinsparung gesehen. Hierbei könnten sich die Probanden Tipps zu Optimierungen in Form von Benachrichtigungen vorstellen.

Weiterhin ist die Integration der Applikation in einer Smart-Home-Anwendung interessant. Dies erweitert die Analyse um eine aktive Steuerung der Geräte. Auch Prognoserechnungen über zu erwartende Stromverbräuche sind denkbar. Um Anreize zu schaffen sind Community-Funktionen interessant, um sich mit den Nachbarn oder einer Gruppe vergleichen zu können. Inhaltlich könnte es um die Vergleichbarkeit von einzelnen Geräten gehen oder auch die Gesamtverbräuche der Haushalte zu bestimmten Zeiten.

Abgesehen von den Informationen, ist auch die Visualisierung und Strukturierung der Informationen ein wichtiger Aspekt. Die Probanden fänden es interessant, über verschiedene, frei wählbare Oberflächen zu verfügen, die ganz nach den Bedürfnissen individualisiert werden können. Dabei sollen die Informationen in Relation zu der Zeit und zu den Kosten stehen. Trotzdem ist es wichtig am Anfang über ein übersichtliches Dashboard zu verfügen, dass die wichtigsten Informationen aggregiert bereitstellt. Die

bereits angesprochenen Benachrichtigungen stellen sich als überaus sinnvolle Funktion heraus. Auf Basis einer Geräteerkennung könnten Benachrichtigungen erfolgen, falls Gerätedurchläufe fertig sind, Geräte zu lange laufen, Anomalien auftreten oder Optimierungshinweise vorliegen. Diese Benachrichtigungen sollten moderat erfolgen. Deshalb sollte die Applikation automatisch Informationen filtern, oder dem Nutzer sollten Konfigurationsmöglichkeiten gegeben werden. Als alternative Form der Benachrichtigungen können E-Mail oder SMS versendet werden.

Am Ende eines jeden Interviews wurde der Proband gebeten, sich Gedanken über die negativen Folgen eines derartigen Energiemonitoring zu machen. Die Probanden haben eine kritische Haltung gegenüber Dritten, die Interesse an derartig fein aufbereiteten Daten haben könnten. Es sind tiefe Einblicke in das Leben eines jeden Menschen möglich, insbesondere falls die Disaggregation von Lastkurven und die daraus resultierende Geräteerkennung umgesetzt wird. Lösungsansätze gibt es mehrere: Grundlegend sollte die Datensicherheit gesetzlich reguliert sein. Dabei sollten mindestens allgemeine IT-Sicherheitsstandards erfüllt sein. Darüber hinaus dürfen nur eingeschränkt Informationen an Dritte weitergeleitet werden. Dies kann durch eine lokale Datenhaltung und Verarbeitung gewährleistet werden. Dafür ist jedoch eine Recheneinheit im Haushalt notwendig. Im Idealfall kann der Nutzer freiwillig entscheiden, was mit seinen persönlichen Daten geschieht.

5.3 Ergebnis und Interpretation der Studie

Diese Studie soll zeigen, wie die Disaggregation von Lastkurven sinnvoll eingesetzt werden kann und welche resultierenden Informationen Mehrwerte für Konsumenten und somit auch der Energiewende bieten.

Zum einen wird deutlich, dass eine mobile Applikation geeignet ist, da diese zeit- und ortsunabhängig Zugriff auf die Informationen bietet. Zudem werden umständlichen Kontrollmechanismen bei der Authentifizierung vermieden. Der Nutzer hat ortsunabhängig die Möglichkeit sich mit dem Thema der elektrischen Energie zu befassen. Darüber hinaus haben die Konsumenten eine anfangs häufigere Nutzung beschrieben, die mit der Zeit wohl abnehmen würde. Dieses Nutzerverhalten ließe sich sehr gut mit einer mobilen Applikation abdecken und trägt zur angesprochenen Sensibilisierung der Gesellschaft bei. Deshalb kann festgehalten werden, dass die Informationen durch ein mobiles Medium zu dem Konsumenten geführt werden sollten.

Zum anderen wird von den Probanden die Aufbereitung der Informationen stark thematisiert. Insbesondere beim Fokus auf die Durchschnittskonsumenten, wird auf eine einfache Darstellung Wert gelegt. Ein Dashboard als Startseite einer mobilen Applikation, welches die wichtigsten Informationen direkt aufzeigen kann, wird von allen Nutzern präferiert. Zusätzlich kann auf dem Dashboard optional auf verschiedene, detaillierte Seiten innerhalb der App verwiesen werden. Die Daten müssen grafisch sinnvoll aufbereitet sein und in Relation zu anderen Größen, wie Zeit oder Währung, gebracht werden. Gleiches gilt für die Analyse einzelner Verbraucher. Anhand variabler Zeitintervalle muss der Konsument einen Einblick in den Verbrauch erhalten. Unerfahrenen Konsumenten werden somit Möglichkeiten eröffnet, die Anomalien zu

erkennen und den Stromkonsum zu optimieren. In Kombination mit einer Benachrichtigungsfunktion erscheint die Geräteerkennung noch nützlicher. Hierbei darf der Konsument jedoch nicht zu sehr gestört werden, sodass eine einfache Benachrichtigung per Push-Funktion, bei defekten und bei angelassenen Geräten, individuell angepasst werden sollte. Die Benachrichtigung bei nicht ausgeschalteten Geräten, lässt sich durch die Verbindung mit der Standortfunktion eines Mobiltelefons, umsetzen. Dabei sind auch Betrachtungen der Vergangenheitswerte interessant, damit der Konsument sein Energieverhalten selbst reflektieren kann.

Es lassen sich folgende Kernanforderungen an eine Softwareanwendung zur Optimierung des Energiebedarfs (Tabelle 1) stellen:

Tabelle 1. Anforderungen an die Applikation

<i>Anforderung</i>	<i>Beschreibung</i>
Mobile Applikation	Informationen werden dem Konsumenten durch eine mobile Applikation angeboten.
Dashboard	Informationen zum Gesamtverbrauch anzeigt, wahlweise in Relation zum Strompreis.
Unterseite mit Stromverbrauch einzelner Verbraucher	Einzelne Verbraucher werden in Relation zu den Stromkosten gesetzt und historische Verbrauchsprofile angezeigt.
Benachrichtigungsfunktion	Benachrichtigungsfunktion auf Basis des Push-Prinzips mit Filterfunktionen
Unterseite mit Gesamtstromverbrauch	Vergangenheitswerte des Gesamtstromverbrauchs
Lokale Datenverarbeitung	Die Datenverarbeitung durch die Disaggregation muss lokal gehalten sein und Daten müssen lokal gespeichert werden.

6 Reflexion und Ausblick

Die Funktionsweise des Prototyps bietet den Konsumenten eine Vielzahl an Informationen die durch die ermittelten Anforderungen sinnvoll in dessen Alltag eingebunden werden können. Ob diese Information einen Beitrag zur Energiewende leisten können muss über einen längeren Zeitraum getestet werden. Fest steht jedoch, dass der Prototyp, anders als bei Sensorik oder intelligenten Steckdosen keinesfalls störend in das Leben des Konsumenten eingreift, da hierfür keine zahlreichen zusätzlichen Zwischenmessstationen angeschafft werden müssen, welche mit der Anzahl der Verbraucher ansteigt. Problematisch ist, dass derartig sensible Daten für negative Zwecke missbraucht werden können. Dem Konsumenten muss klar sein, dass

der Energielieferant viele Informationen über das Verhalten sammeln kann, deshalb müssen im Rahmen der Rechtsprechung Regulierungen festgelegt werden.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass sich das Verhalten von Prosumern steuern lässt. Beispielhaft dienen die Aussagen der Probanden, dass sie eine kostenorientierte Darstellung der erkannten Endgeräte begrüßen würden. Das bedeutet zum einen, dass sie darüber nachdenken ihr Konsumverhalten aus opportunistischen Gründen zu verändern. Andererseits, jedoch vor allem daraus resultierend, ergibt sich, dass diese Kosteneinsparungen in eine überdachte Nutzung der Endgeräte und schließlich zum verantwortungsvolleren Stromkonsum führen kann. Die Quintessenz der Interviewstudie beinhaltet, dass die Technologie eines solchen Prototypen für die Erkennung von Geräten, die einen zu hohem Stromverbrauch aufweisen, am sinnvollsten ist. Das würde in der Tat einen Informationsgewinn für den Konsumenten und somit einen Beitrag zur Energiewende bedeuten, da so Effizienz im Haushaltssektor gesteigert werden kann. Um in Bezug zu den Ergebnissen eine allgemeingültige Aussage treffen zu können, müsste die vorliegende Studie in ihrer Stichprobe erweitert und in verschiedene Sinus-Milieus getestet werden. Darüber hinaus könnte der Leitfaden an die bisherigen Ergebnisse angepasst werden und eine darauf aufbauende, zweite Studie durchgeführt werden, die eine noch detailliertere Anforderungsdefinition zulässt.

Der Prototyp wurde indes lediglich unter Laborbedingungen erstellt und getestet. Dabei konnten zwei vorher eingespielte Geräte voneinander unterschieden werden. Die Grenzen hierbei waren die Frequenzen der gewonnenen Daten, die wenig Spielraum für weiteres forschen zuließen. Deshalb wurde gerade ein Forschungsschwerpunkt auf die Nutzungsmöglichkeiten einer solchen Technologie gelegt, anstatt die Optimierung weiter zu verfolgen. Die Datengrundlage müsste hierfür deutlich höher frequentiert sein. Erst dann würde es Sinn ergeben den Prototypen weiter zu verfolgen. Weiterführend ist die Entwicklung der mobilen Applikation mit den Anforderungen angestrebt. Die Disaggregation von Lastkurven ist eine von vielen Möglichkeiten, disruptive Technologien, wie den intelligenten Stromzählern, in der Energiewirtschaft nutzbar zu machen. Erkennbar wichtig ist jedoch, dass die Informationen einfach gehalten und für den Konsumenten zugänglich sind.

Referenzen

1. Energietechnische Gesellschaft im VDE: Dezentrale Energieversorgung 2020. www.vde.com/etg (2007) (Stand: 06.09.17)
2. Synwoldt, C.: Dezentrale Energieversorgung mit regenerativen Energien. Springer Vieweg, Wiesbaden (2016)
3. Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB): Prognose der EEG-Umlage 2017 nach AusglMechV. <https://www.netztransparenz.de/EEG/EEG-Umlage/EEG-Umlage-2017> (2016) (Stand: 05.09.17)
4. Carrie Armel, K., Gupta, A., et al.: Is disaggregation the holy grail of energy efficiency? The case of electricity. Electrical Engineering Department, Stanford University. USA (2012)
5. Maubach, K.: Energiewende, Wege zu einer bezahlbaren Energieversorgung. Springer VS, Wiesbaden (2013)

6. Bundesministerium für Energie und Wirtschaft: Die nächste Phase der Energiewende kann beginnen. <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/energiewende.html> (2016) (Stand: 05.09.17)
7. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Ein Strommarkt für die Energiewende. http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/weissbuch.pdf?__blob=publicationFile&v=29 (2015) (Stand: 05.09.17)
8. Bardt, H., Kempermann, H.: Folgen der Energiewende für die Industrie. Institut der deutschen Wirtschaft Köln Medien GmbH. Köln (2013)
9. Franz, P.: Nachhaltigkeitsberichterstattung: Empfehlungen für eine gute Unternehmenspraxis. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Berlin (2009)
10. Landeszentrale für politische Bildung Baden-Württemberg: Die Energiewende 2011. <http://www.lpb-bw.de/energiewende.html> (2011) (Stand: 05.09.17)
11. Erneuerbare Energien: Der Photovoltaikmarkt in Deutschland wird 2017 wieder wachsen. <https://www.erneuerbareenergien.de/der-photovoltaikmarkt-in-deutschland-wird-2017-wieder-wachsen/150/436/99880/> (Stand: 05.09.17)
12. Quaschnig, V.: Installierte Photovoltaikleistung in Deutschland. <https://volker-quaschnig.de/datserv/pv-deu/index.php> (Stand: 27.12.17)
13. Statista: Inwieweit sind Sie für oder gegen den Gebrauch von Solarenergie in Deutschland? <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/196147/umfrage/meinung-zum-gebrauch-von-solarenergie-in-deutschland/> (Stand: 05.09.17)
14. Langer, E.: Akzeptanz für erneuerbare Energien. CARMEN e.V. Straubing (2014)
15. Marx, E., Der Tagesspiegel: Zum Nachbarn für eine Tasse Strom. <http://www.tagesspiegel.de/politik/energiewende-zum-nachbarn-fuer-eine-tasse-strom/13666956.html> (Stand: 05.09.17)
16. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Energieeinsparverordnung. <http://www.bmub.bund.de/themen/bauen/energieeffizientes-bauen-und-sanieren/energieeinsparverordnung/> (Stand: 05.09.17)
17. Giacobelli, S: Die Energiewende aus wirtschaftssoziologischer Sicht. Springer VS. Wiesbaden (2017)
18. Greveler, U.: Die Smart-Metering-Debatte 2010-2016 und ihrer Ergebnisse zum Schutz der Privatsphäre. Datenbankspektrum 16, 137-145 (2016)
19. Maubach, K.D.: Energiewende – Wege zu einer bezahlbaren Energieversorgung. Springer VS, Wiesbaden (2014)
20. Heinrich, B., Linke, P., Glöckler, M.: Grundlagen der Automatisierung - Sensorik, Regelung, Steuerung. Springer Fachmedien, Wiesbaden (2015)
21. Mayring, P.: Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken. Beltz Verlag, Weinheim und Basel (2015)
22. Aichele, C., Doleski, O.: Smart Market: Vom Smart Grid zum intelligenten Energiemarkt. Springer Gabler Verlag. Wiesbaden (2014)
23. Bundesregierung: Energiewende. <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/0-Buehne/ma%C3%9Fnahmen-im-ueberblick.html> (Stand: 23.12.17)
24. Karg, L., Kleine-Hegemann, K., Wedler, M., Jahn, C.: E-Energy Abschlussbericht. B.A.U.M. Consult GmbH. München (2014)
25. Flath, C., Nicolay, D., Conte, T, et al.: Clusteranalyse von Smart-Meter-Daten. Springer Gabler Verlag. Wiesbaden (2012)
26. Meinecke, C.: Vom einfachen zum adaptiven Verbraucher: Möglichkeiten von Feedback-Systemen und variablen Tarifmodellen. Bitkom Research GmbH. Berlin (2016)