

NEUE ENERGIEN 2020

Publizierbarer Endbericht

CO₂-Reduktion auf Basis automatisierter Effizienz- und Energieanalyse für Haushalte mit Hilfe von Smart Metern

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

1 Einleitung

Die Steigerung der Energieeffizienz ist eine wesentliche Maßnahme, um die Emission von Treibhausgasen sowie Energiekosten zu senken. Ein Großteil des vorhandenen Einsparungspotenzials bei elektrischer Energie ist aber meist von individuellen Entscheidungen von Millionen von Endkunden abhängig. Diesen fehlen jedoch Entscheidungsgrundlagen, um durch aktives Handeln Einsparungen wirksam erzielen zu können.

Durch die immer größer werdende Anzahl von elektrischen Verbrauchergeräten in Haushalten ist es Stromkonsumenten nicht möglich zu erkennen, welche Verbrauchergeräte einen wesentlichen Anteil zum Stromverbrauch haben. Endkunden erhalten derzeit nur am Ende der Abrechnungsperiode lediglich Informationen darüber, ob sie mehr oder weniger verbraucht haben als in der vorangegangenen Periode. Auswirkungen durch geändertes Nutzverhalten oder durchgeführte Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung sind für sie dadurch kaum nachvollziehbar. Damit besteht für Haushaltskunden auch keine Möglichkeit, die persönlichen Einflussfaktoren auf den Energiebedarf im Umgang mit elektrischen Betriebsmitteln unmittelbar festzustellen.

1.1 Aufgabenstellung

Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung einer Methode zur *automatisierten Effizienz- und Energieanalyse*, die Stromkonsumenten ein Verfahren zur visuell aufbereiteten Überwachung des elektrischen Stromverbrauchs und Maßnahmen zur Senkung des Stromverbrauchs zur Verfügung stellt.

Die Projektziele lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Steigerung der Energieeffizienz in Privathaushalten
- Bewusstseinsbildung im Umgang mit elektrischer Energie

- Persönliche unmittelbare Wahrnehmung des Stromverbrauchs von einzelnen Elektrogeräten durch den Stromkonsumenten
- Erkennung und Steuerung des Einflussfaktors Nutzerverhalten im Umgang mit elektrischen Betriebsmitteln durch den Stromkonsumenten bzw. die Stromkonsumentin

Es werden folgende Projektergebnisse angestrebt:

- Schaffung von Grundlagenwissen zur Entwicklung von Industrie-Produkten für eine automatisierte Energieanalyse in Haushalten
- Einsatztauglichkeit und Nutzen von lastgangbasierten, automatisierten Energieanalysetools
- Feststellung der Genauigkeit und der genauen Einsatzmöglichkeiten von lastgangbasierten Energieanalysesystemen
- Aufzeigen der Grenzen von automatisierten, lastgangbasierten Energieanalysen in Synergie mit Smart-Meter-Systemen

1.2 Schwerpunkte des Projektes und verwendete Methoden

Für die Entwicklung der automatisierten Energieanalyse stellen sowohl die auslesbaren, verfügbaren Messdaten von Smart Metern als auch die Komplexität des Algorithmus und die sich daraus ergebende Zeitdauer für die automatisierte Analyse, Rahmenbedingungen dar. Deshalb wird im ersten Schritt des Projektes eine umfassende Recherche bezüglich der auslesbaren Messdaten von Smart Metern als auch bereits vorhandener Algorithmen durchgeführt, diese werden auf ihre Einsatztauglichkeit und ihre Effektivität zur Erreichung der angestrebten Projektziele überprüft. Zusätzlich wird der Erkennungsgrad von einzelnen Elektrogeräten in den untersuchten Haushalten überprüft, da dieser abhängig von Parametern wie z.B. dem genauen Verlauf des Lastgangs einzelner Elektrogeräte abhängt. Durch diese Analysen soll der maximal aufschlüsselbare Energieverbrauch von unterschiedlichen Kategorien von Haushalten und die Einsatztauglichkeit einer automatisierten Energieanalyse ermittelt werden.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Analyse des Nutzerverhaltens bei einzelnen Elektrogeräten. Da der Einfluss des Nutzerverhaltens einen wesentlichen Einfluss auf den Energieverbrauch hat, sind Algorithmen gefunden worden, die Defizite im Nutzerverhalten mit einem einhergehenden Mehrverbrauch automatisiert erkennen und diese Daten dem Nutzer übersichtlich und einfach zu verstehen zur Verfügung stellen.

Die Verifikation der programmierten Algorithmen erfolgt mit Hilfe von vielkanaligen Lastganganalysen, die anfangs in 5 Haushalten über eine Zeitdauer von 14 Tagen aufgenommen werden. Durch Befragung der Haushalte über das Nutzerverhalten wird weiters festgestellt, wie effizient in den Haushalten mit elektrischer Energie umgegangen wird, um eine zusätzliche Verifikationsmöglichkeit zu haben. Mit Hilfe der gewonnenen Messdaten und der Daten aus der Befragung ist der zu entwickelnde Algorithmus optimiert worden.

1.3 Einordnung in das Programm „Neue Energien 2020“

Besonders in der Energienetzinfrastruktur kann durch technologische Innovation der größte Effizienzgewinn durch das gelungene Zusammenspiel von komplexen Einzeltechniken und der vorhandenen Energieinfrastruktur realisiert werden. So werden durch das Projekt „Smart-Efficiency“ durch die in Zukunft eingesetzten intelligenten Stromzähler (Smart Meter) zur Messdatenerfassung

genutzt. Unter Nutzung der sich dadurch ergebende Synergie kann, eine kosteneffiziente, automatisierte elektrische Energieanalysemethode für Haushalte realisiert werden.

Effiziente Energienutzung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten

In dem Projekt „Smart-Efficiency“ wird eine effiziente Methode zur automatisierten Stromverbrauchsanalyse für Haushaltskunden entwickelt, die diesen ein Verfahren zur visuellen Darstellung der Stromeinsparungsmöglichkeiten und eine Aufschlüsselung des elektrischen Stromverbrauchs bietet. Somit werden sowohl bewusstseinsbildende Maßnahmen als auch Anreizmechanismen in Synergie mit intelligenten Stromzählern (Smart Meter) zur Ermöglichung von Energieeinsparungen ohne wahrgenommenen Komfortverlust ermöglicht. Weiters wird aber auch der Umgang von Endverbrauchern mit elektrischen Betriebsmitteln im Sinne von Energieeffizienzsteigerungen geschult, und es werden Stromkunden die Beeinflussungen des Energiebedarfs durch ein geändertes Nutzerverhalten dargestellt. Dadurch ist es Haushaltskunden möglich Rebound-Effekte zu erkennen und gezielt den persönlichen Energiebedarf zu steuern.

Energieeffizienzsteigerung

Die Untersuchungen optionaler Handlungen zur Verbesserung der Energieeffizienz durch zukünftige verbesserte Regelungstechniken auf Grundlage der Kenntnis des detaillierten Energieverbrauchs in Haushalten stellt einen wesentlichen Punkt des Projekt „Smart-Efficiency“ dar und kann in weiterer Folge auch auf Gewerbebetriebe übertragen werden. Die durch Effizienzsteigerungen erreichten Energieeinsparungen können direkt als Reduktion des Verbrauchs an fossiler und nuklearer Energieträger gewertet werden.

Gesamtwirtschaftliche Betrachtung von Smart-Grids-Lösungen

Die im Projekt „Smart-Energy-Efficiency“ gewonnenen Kenntnisse können dazu beitragen als Grundlage für politische Entscheidungen zur Lösung der Klima- und Energieprobleme dienen. Durch den Einsatz von der entwickelten automatisierten Energieanalysemethode können volkswirtschaftliche Effekte, die aufgrund von diesem Verfahren unter Nutzung von vorhandener Infrastruktur wie etwa Möglichkeiten der Regionalentwicklung entstehen.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in folgende Abschnitte:

1. Recherche und Prüfung von vorhandenen Algorithmen
2. Erstellung von Algorithmen zur Energieanalyse
3. Im Lastprofil erkennbare Defizite im Nutzerverhalten
4. Entwicklung eines Prototypen in geeigneter Form zur Umsetzung der automatisierten Energieanalyse
5. Betrachtung der Anwendertauglichkeit und des Nutzens der automatisierten Energieanalyse

2 Inhaltliche Darstellung

2.1 Recherche und Prüfung von vorhandenen Algorithmen

Die Recherche von vorhandenen Algorithmen zur Lastganganalyse ergab eine Vielzahl von Veröffentlichungen mit unterschiedlichen Ansätzen zur Analyse der Messdaten als Ergebnis. Auch in angrenzenden Bereichen, wie etwa dem Einsatz von solchen Algorithmen in der Industrie, wurden im Zuge der Recherche Ergebnisse gefunden. Im Folgenden sind die für die Entwicklung des Algorithmus bedeutendsten Publikationen angeführt:

- Michael Baranski: „Energie-Monitoring im privaten Haushalt“, Dissertation, Vuviller Verlag, Göttingen 2006, ISBN: 3-86717-020-1
Kurzinhalt:
In einem sehr umfassenden Werk werden von Michael Baranski Untersuchungen unternommen, welche Anforderungen an ein Energie-Monitoring-System gestellt werden sowie technische Grenzen aufgezeigt, die sich durch die Amortisationszeit, der Rechengeschwindigkeit und den Stromverbrauch eines solchen Gerätes ergeben. Außerdem beschäftigt sich Baranski mit einem neuen selbsterkennenden NIALM-Algorithmus, der aus dem Lastgang automatisiert Geräte erkennen kann. Da in der Lernphase sowie bei der Ausführung des Algorithmus keine Dateneingabe erforderlich ist, wird die Methode auch als „unsupervised“ bezeichnet. Zur Erkennung wendet er im ersten Schritt die Methode von Fuzzy-Clusterverfahren an, um häufig auftretende Schaltstufen zu detektieren. Durch Kombination von den gefundenen Cluster-Zentren mittels genetischen Algorithmen werden im zweiten Schritt Verbraucher-Modelle gebildet, die identifizierte Elektrogeräte widerspiegeln. Es zeigte sich, dass der optische Sensor am Ferrariszähler zur Messung der Wirkenergie eine nicht ausreichende Genauigkeit besitzt, um zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen. Die Ergebnisse zeigen insgesamt jedoch, dass der Algorithmus ein gutes Grundgerüst für weitere Verbesserungen wie etwa die Integration von Blindleistungsdaten oder Erkennung von Einschaltspitzen bietet.
- Hsueh-Hsien Chang, Ching-Lung Lin, Jin-Kwei Lee: „Load Identification in Nonintrusive Load Monitoring Using Steady-State and Turn-on Transient Energy Algorithms“, Proceedings of the 2010 14th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design
Kurzinhalt:
In diesem Beitrag wurden Lastganganalysen durchgeführt, wobei die Einschaltenergie als zusätzliches Kriterium neben der Analyse des Wirk- und Blindlastganges verwendet wurde. Bei der Untersuchung wurden Leistungsdaten im Millisekundenbereich mittels Neuronaler Netzwerke analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass durch die zusätzliche Analyse der Einschaltenergie einerseits die Erkennungsgenauigkeit gesteigert wird und andererseits der zeitliche Aufwand für die Analyse gesenkt werden konnte. Besonders bei elektrischen Verbrauchergeräten mit ähnlichem Wirk- und Blindlastgang, ermöglicht die Einschaltenergie eine bessere Differenzierung.
- A.G. Ruzzelli, C. Nicolas, A. Schoofs, and G.M.P. O’Hare: „Real-Time Recognition and Profiling of Appliances (RECAP) through a Single Electricity Sensor“, IEEE Secon 2010 proceedings
Kurzinhalt:
Ein Ansatz für ein möglichst einfach zu bedienendes Gesamtsystem, sowohl bei der Installation, als auch im Betrieb, wird in diesem Beitrag beschrieben. Mittels anzubringenden Stromzangen an der Steigleitung des Haushalts soll die Leistung gemessen werden, sowie

dessen aufgenommene Messdaten über Funk zu einem PC übertragen werden. Die Messdaten werden am PC in einer Datenbank gespeichert. In der Datenbank sind bereits viele Lastgänge von bekannten Elektrogeräten gespeichert und können auch über das Internet aktualisiert werden. Zusätzlich wird dem Benutzer die Möglichkeit angeboten, dass weitere Elektrogeräte über ein Menü durch Ein- und Ausschalten der Geräte zu vorgegebenen Zeitpunkten in die Datenbank integriert werden können. Eine Auswertung des aufgenommenen Lastganges erfolgt über Neuronale Netzwerke. Die ersten Tests bei der Analyse von Küchengeräten haben eine Trefferquote bei der Zuordnung von den untersuchten Geräten von mehr als 84 % ergeben.

- Kosuke Suzuki, Shinkichi Inagaki, Tatsuya Suzuki, Hisahide Nakamura and Koichi Ito: „Nonintrusive Appliance Load Monitoring Based on Integer Programming“ SICE Annual Conference, Japan, 2008

Kurzinhalt:

In diesem Beitrag wird ein Ansatz vorgestellt, bei dem die Erkennung von Elektrogeräten mit Hilfe von ganzzahliger linearer Optimierung durchgeführt wird. Dabei wird der Verlauf des Stromes von den einzelnen Elektrogeräten so kombiniert, sodass die Summe dem derzeit gemessenen Gesamtstrom entspricht. Die Analyse der derzeit eingeschalteten Elektrogeräte wird auf eine ganzzahlige, quadratische Optimierung zurückgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass damit verschiedene Betriebsmodi der untersuchten Elektrogeräte gefunden werden können. Außerdem benötigt die Methode bei der Installation bzw. beim Betrieb von weiteren Elektrogeräten keine Neulernphase, um die einzelnen Geräte zu erkennen. Die Erkennungsraten liegen zwischen rund 80 % und 97 %.

- Arend J. Bijker, Xiaohua Xia, Senior Member, IEEE, and Jiangfeng Zhang: „Active Power Residential Non-intrusive Appliance Load Monitoring System“, IEEE AFRICON 2009

Kurzinhalt:

Mit einem Ansatz, der Elektrogeräte mit genau zwei Betriebszuständen (ein/aus) modelliert, wird in diesem Beitrag ein Algorithmus vorgestellt. In einem Last-In-First-Out-Buffer werden positive Leistungssprünge gespeichert. Tritt ein negativer Leistungssprung auf, so wird der Absolutwert mit dem gespeicherten positiven Wert verglichen, wobei die Reihenfolge des Vergleichs mit dem zuletzt gespeicherten positiven Wert beginnt. Trotz der Einfachheit des Algorithmus wurden bei Versuchen Erkennungsgrade um die 50 % festgestellt.

- Rebecca L. Sawyer, Jason M. Anderson, Edward Lane Foulks, John O. Troxler, and Robert W. Cox: „Creating Low-Cost Energy-Management Systems for Homes Using Non-Intrusive Energy Monitoring Devices“, Energy Conversion Congress and Exposition, 2009

Kurzinhalt:

In diesem Beitrag wird eine Methode beschrieben, wie bei Elektrogeräten ein Mehrverbrauch aufgrund von nicht durchgeführten Wartungsarbeiten, Fehlfunktionen oder schlechter Wärmeisolation automatisch erkannt werden kann. Dabei wurden die Stromharmonischen sowie Lastgänge ausgewählter Verbraucher analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass beispielsweise schlecht isolierte elektrische Wasserheizer aufgrund des Lastganges und zusätzlich eingegebener Parameter erkannt werden können.

- Christopher Laughman, Kwangduk Lee, Robert Cox, Steven Shaw, Steven Leeb, Les Norford, and Peter Armstrong: „Power Signature Analysis“, IEEE power & energy magazine, march/april 2003

Kurzinhalt:

Neben Leistungssprüngen der Wirk- und Blindleistung werden in diesem Beitrag auch Stromharmonische zur Unterscheidung von Elektrogeräten herangezogen. Damit soll sowohl im Haushaltssektor als auch im Industriesektor eine bessere Unterscheidung von den zu

erkennenden Verbrauchergeräten erfolgen. Im dreidimensionalen Raum wird die 3. Stromharmonische mit den dazugehörigen Wirk- und Blindleistungsänderung aufgetragen und von einem Algorithmus werden die Daten zu Clustern zusammengefasst. Diese Cluster werden dann kombiniert und Elektrogeräten zugeordnet. Außerdem werden Stromharmonische höherer Ordnung herangezogen, um ein zusätzliches Kriterium für die Unterscheidung von Datenpunkten unterschiedlicher Elektrogeräte in überlappenden Bereichen zu erhalten.

2.2 Erstellung von Algorithmen zur Energieanalyse

2.2.1 Auswahl von Algorithmen

Da die automatisierte Erkennung des Energieverbrauches mit Hilfe der Messdaten von Smart Metern erfolgen soll, ist die maximal mögliche Auflösung der Messdaten bei am Markt verfügbaren Smart Metern zu berücksichtigen. Weitere beeinflussende Parameter bei der Auswahl sind die aus Smart Meter auslesbaren, aufgezeichneten elektrischen Parameter. Wie man aus Tabelle 1 entnehmen kann, hat eine diesbezügliche Recherche ergeben, dass die maximale zeitliche Auflösung bei der Abfrage von Wirk- und Blindleistung circa zwei Sekunden beträgt. Außerdem können auch die Effektivwerte der Spannungen der einzelnen Phasen, die zur Berechnung der normierten Leistung von Verbrauchergeräten benötigt werden, abgefragt werden. Zusätzliche Messparameter wie Stromstärke oder Stromharmonische können derzeit noch nicht bzw. nicht in dem benötigten Messintervall aus derzeit am Markt befindlichen Smart Metern ausgelesen werden. Diese technischen Randbedingungen sind bei der Auswahl und anschließenden Erweiterung sowie Anpassung von den Algorithmen zu berücksichtigen.

| SCHNITTSTELLE | MAX. AUFLÖSUNG VON P/Q PRO PHASE | MAX. AUFLÖSUNG SPANNUNG PRO PHASE |
|--------------------------------------|---|--|
| Service-Schnittstelle (IEC 62056-21) | 3-5 Sekunden | 3-5 Sekunden |
| Impulsanzeige | Bis zu 60.000 Impulse pro kWh oder kvar | n.v. |
| Multifunktionsschnittstelle | <i>P</i> : 2-4 Sekunden | n.v. |
| Drahtgebunden (PLC) | <i>im Gebäude</i> : 2-5 Sekunde, <i>extern</i> : 15-Minuten- Leistungsmittelwerte | <i>im Gebäude</i> : n.v. <i>extern</i> : 15 Minuten |

Tabelle 1: Übersicht der verfügbaren Schnittstellen sowie der maximalen Auflösung bei der Datenabfrage von Smart Metern zum Einsatz in Haushalten (n.v. ...nicht verfügbar)

Auswahl von Elektrogeräten und Haushalten

Die Auswahl der Messobjekte ist hinsichtlich der Aussagekräftigkeit der Potenziale für eine automatisierte Lastgangsanalyse von zentraler Bedeutung. Die Messobjekte müssen also so ausgewählt werden, dass die Ergebnisse bzw. Erkenntnisse auf eine möglichst große Anzahl an Haushalten übertragen werden können. Neben den objektbezogenen Faktoren gilt es daher, weitere Faktoren wie Personenanzahl, Lebensstandard und Ausstattung zu berücksichtigen.

| Haushalt | Typ | Wohnfläche | Wohnebenen | Personenanzahl | Grundstücksgröße | Heizung/ Warmwasser |
|----------|------------------|--------------------|------------|----------------|---------------------|-------------------------------|
| HH 1 | Mehrparteienhaus | 50 m ² | 1 | 2 | 0 | Fernwärme/ Elektr. |
| HH 2 | Einfamilienhaus | 140 m ² | 1 | 2 | 1000 m ² | feste Brennstoffe |
| HH 3 | Einfamilienhaus | 160 m ² | 2 | 2 | 1100 m ² | Pellets |
| HH 4 | Mehrparteienhaus | 90 m ² | 2 | 2 | 0 | Ölzentral |
| HH 5 | Einfamilienhaus | 130 m ² | 2 | 6 | 1000 m ² | Gas/Gas+Solar+ Elektr. |
| HH 6 | Mehrparteienhaus | 70 | 1 | 3 | 0 | Fernwärme/ Elektr. |
| HH 7 | Einfamilienhaus | 120 | 1 | 2 | 1300 | Ölzentral |
| HH 8 | Einfamilienhaus | 150 | 2 | 3 | 1200 | Feste Brennstoffe |

Tabelle 2: Übersicht der untersuchten Haushalte des 1. und 2. Messblocks

Tabelle 2 zeigt die wichtigsten Parameter der untersuchten Messobjekte. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet, dass der Durchschnitt der einzelnen Parameter aller Haushalte soweit möglich dem Durchschnitt aller österreichischen Haushalte entspricht. Die Lastgänge wurden über einen Zeitraum von 2 Wochen aufgenommen

Von jedem einzelnen Haushalt wurde die genaue Geräteausstattung mittels speziell vorbereiteten Fragebögen erfasst. Die Lastgänge der einzelnen Elektrogeräte wurden außerdem einzeln aufgenommen, um diese dann mittels erstellten Algorithmus auf die automatisierte Erkennbarkeit überprüfen zu können.

Messprinzip

Mittels der Datenlogger ELOG 550 bzw. ELOG 570 werden alle relevanten elektrischen Größen gemessen. Die Messgeräte verfügen über zwölf Eingänge zur Strommessung sowie drei Eingänge zur Erfassung der Spannung. Die Ankopplung der Strommesseingänge in die Messung erfolgte mittels Stromzangen. Die Spannungen wurden, bezogen auf den Neutralleiter, direkt gemessen. Das Messprinzip ist in Abbildung 1 zu sehen. Die Mittelungszeit bei der Abtastung wurde mit einer Sekunde gewählt, um möglichst hochauflösende Messdaten bei gleichzeitigem Einschalten von mehreren Elektrogeräten zu haben.

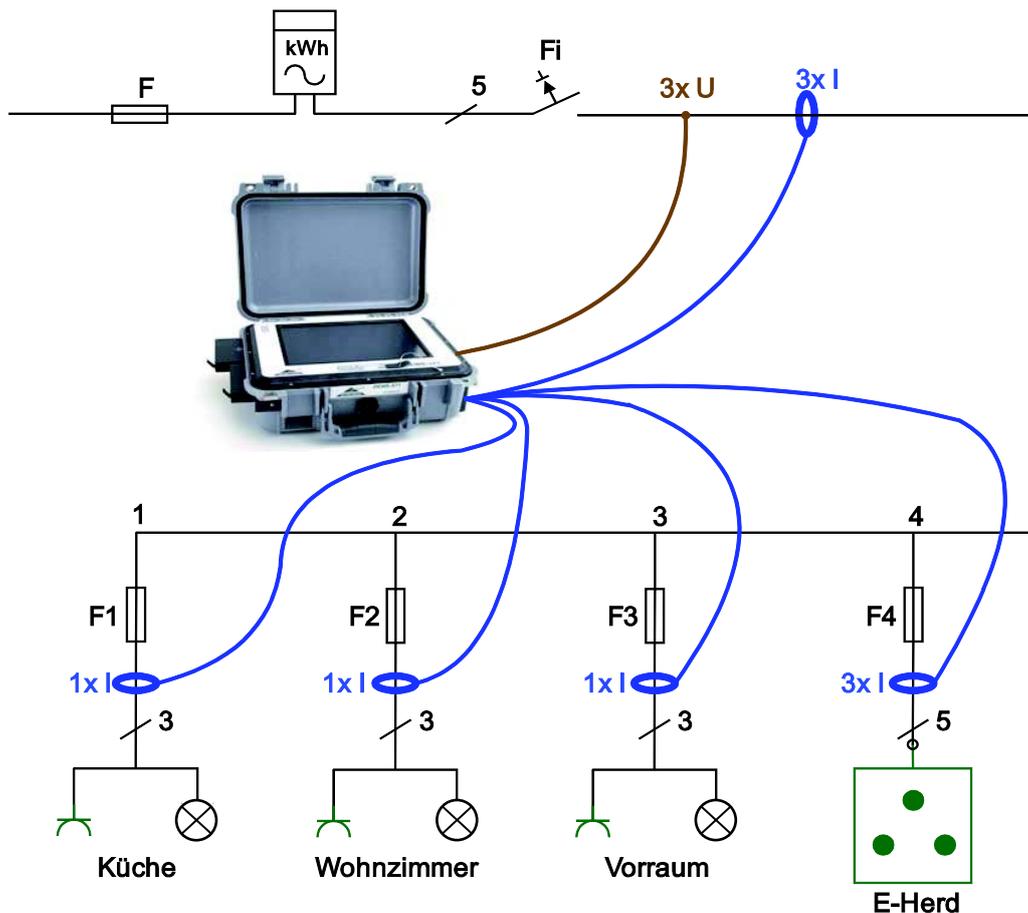


Abbildung 1: Messprinzip bei der Messung der Lastdaten der untersuchten Haushalte

Verifikation der Algorithmen und Datenanalyse

Die einzelnen Aufzeichnungen der Lastgänge von den untersuchten Elektrogeräten wurden im Detail untersucht. Während Elektrogeräte mit thermischen Prozessen wie Elektroherde, Waschmaschinen, Geschirrspüler oder Kühlschränken sehr ähnliche und regelmäßig auftretende Muster im Lastgang aufweisen, haben Elektrogeräte aus der Unterhaltungselektronik, die meist mit Schaltnetzteilen ausgestattet sind, sehr unregelmäßige Muster. Kennzeichnend für Elektrogeräte mit thermischen Heiz- oder Kühlelementen sind die sehr konstanten Leistungsaufnahmen während der Heiz- bzw. Kühlphase. Exemplarisch ist in Abbildung 2 der Lastgang einer Waschmaschine dargestellt, in dem deutlich die Heizphasen mit hoher Leistungsaufnahme zu erkennen sind.

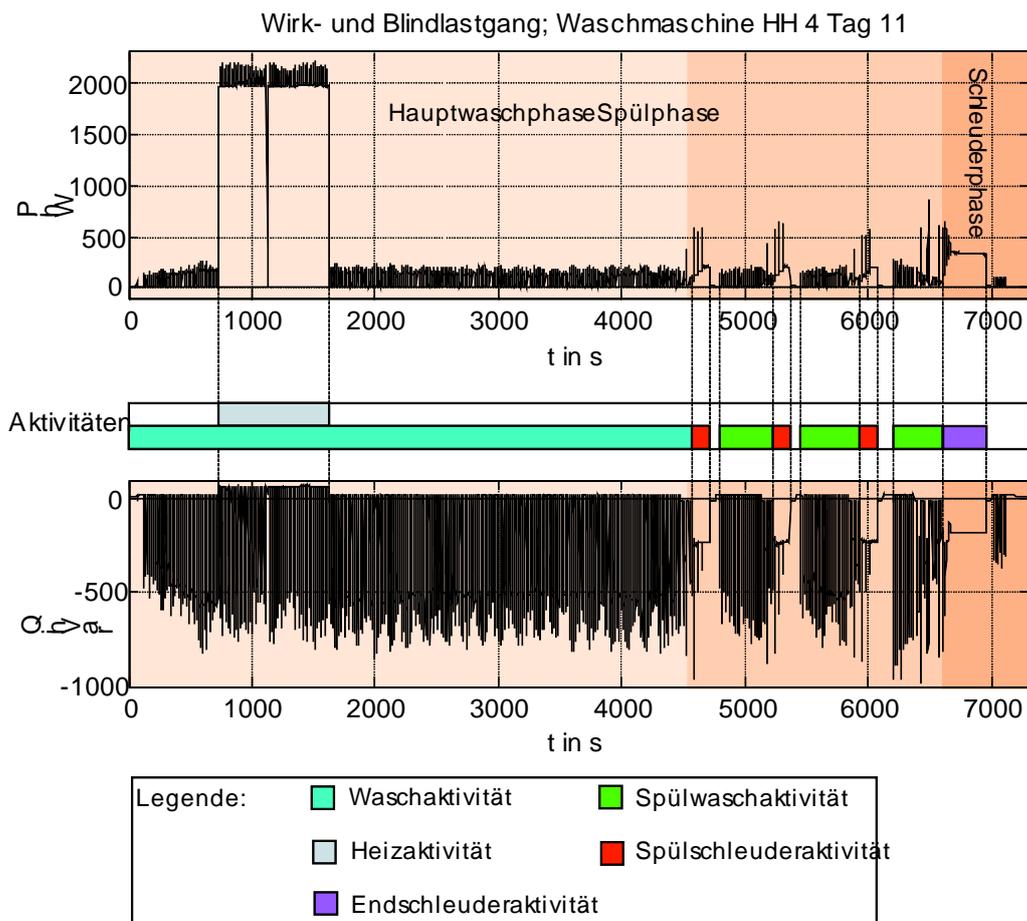


Abbildung 2: Wirk- und Blindlastgang einer Waschmaschine

Elektrogeräte mit Schaltnetzteilen, wie beispielsweise Laptops, haben wegen der unterschiedlichen Betriebsmodi eine variable Leistungsaufnahme, wie man in Abbildung 3 sehen kann. Zudem beeinflussen die Ladezyklen des integrierten Akkus den Verlauf der Leistung. Aufgrund der sich ständig ändernden Leistungsaufnahme ist eine automatische Erkennung bei dieser Gruppe von Geräten nahezu unmöglich.

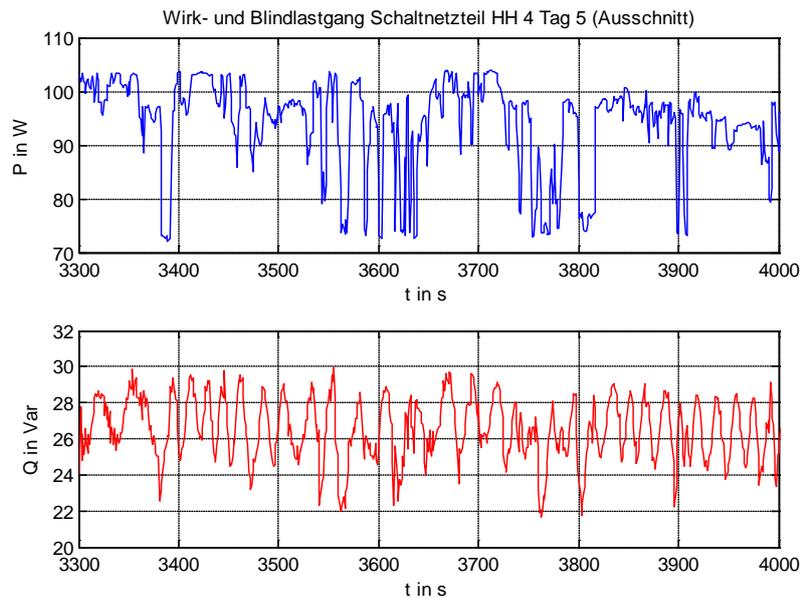


Abbildung 3: Leistungsaufnahme eines an einem Laptop angeschlossen Schaltnetzteils

Für die automatisierte Erkennung der Elektrogeräte wurden unter anderem folgende Funktionen entwickelt:

Leistungsnormierung zur Berücksichtigung von Spannungsschwankungen

Die aufgenommene Wirkleistung eines linearen ohmschen Verbrauchergerätes ist abhängig von der angelegten Spannung. Um identische, ohmsche Verbrauchergeräte bei unterschiedlichen Werten der Spannung erkennen zu können, wird die Leistung auf eine vorgegebene Spannung von 230 V normiert. Zu beachten ist, dass nicht alle Verbrauchergeräte, welche im Wirklastgang der Phasensumme aufscheinen, eine derartige Charakteristik aufweisen (z.B. Schaltnetzteile, Motore). Die Leistungsnormierung verursacht somit immer dort im Wirklastgang einen Fehler, wo Verbrauchergeräte mit einem nichtlinearen ohmschen Verhalten überlagert sind.

Filterung

Im Rahmen der Lastanganalyse hatte sich gezeigt, dass eine Filterung der Daten oft sinnvoll bzw. notwendig ist, um eine automatische Erkennung realisieren zu können. Die Analyse von diversen Geräten zeigte, dass einige von ihnen markante Leistungsspitzen in ihrem Lastgang aufweisen. Bei den Spitzen kann es sich sowohl um Anlaufspitzen von diversen Motoren als auch um Leistungsspitzen handeln, welche den Lastgang eines Gerätes repräsentieren (z.B. Heizphasen eines Laserdruckers). Abhängig von dem Gerät, welches erkannt werden soll, können diese Spitzen ein zusätzliches Erkennungsmerkmal, aber auch eine Störung darstellen.

Der Medianfilter ist ein nichtlinearer Filter mit sehr guten Eigenschaften bezüglich der Unterdrückung von kurzzeitigen Störimpulsen. Bei der Filterung werden kurzzeitige auftretende Störimpulse mit Hilfe des Messwertes, der in der Mitte der nach der Größe sortierten Messwerte des Filterfensters liegt, korrigiert.

Impulserkennung

Die Impulserkennung dient zum Auffinden einzelner Leistungsimpulse. Abhängig von den vorgegebenen zeitlichen Grenzen für die Impulsdauer werden die vorverarbeiteten Daten untersucht. Wird eine Kombination aus positiver und negativer Leistungsflanke mit entsprechendem

zeitlichen Abstand gefunden, so erfolgt die Hinterlegung der Flankenindexe (zeitliche Lage der Flanken), der Flankenhöhen sowie des exakten Abstandes der Flanken.

Impulsperiodenerkennung

Diese funktioniert im Wesentlichen gleich wie die Impulserkennung. Der Unterschied liegt nur in der Vorgabe der Bedingung durch die Impulsauszeit und der Suche nach einer weiteren positiven Flanke.

Impulsgruppenerkennung

Die Impulsgruppenerkennungsfunktion ist eine Funktion, um mehrere aneinandergereihte Impulsperioden erkennen zu können. Als Filterkriterium für Impulsgruppen kann eine minimale und eine maximale Anzahl von Impulsen für eine Gruppe vorgegeben werden, als Gruppentrennungskriterium dient die Vorgabe einer Grenze für den Impulsabstand.

2.2.2 Identifizierbare Elektrogeräte

Mit Hilfe der oben beschriebenen Funktionen wurden für jede Elektrogerätetype individuelle Algorithmen programmiert, um dieses aus dem Lastgang automatisiert erkennen zu können. Dabei hat sich gezeigt, dass bei gleichen Elektrogeräten unterschiedlichen Typs durchaus Abweichungen beim zeitlichen Verlauf des Lastganges auftreten und eine individuelle Anpassung der Algorithmen notwendig war. Es hat sich gezeigt, dass die automatisierte Erkennung von Elektroherden, Waschmaschinen, Geschirrspüler, Kühlschränken sowie auch Fernsehern durch die entwickelten Algorithmen möglich ist. Abbildung 4 zeigt, dass der tatsächliche Energieverbrauch von Elektroherd und Geschirrspüler zu ca. 100 % erkannt wird. Der Energieverbrauch von Waschmaschinen und Kühlschränke wurde bei den untersuchten Haushalten zu über 80 % erkannt.

Bemerkung: Eine Erkennung von mehr als 100 % ergibt sich dann, wenn eine Übererkennung erfolgt ist. D.h., dass der berechnete Stromverbrauch größer ist, als der tatsächliche Stromverbrauch.

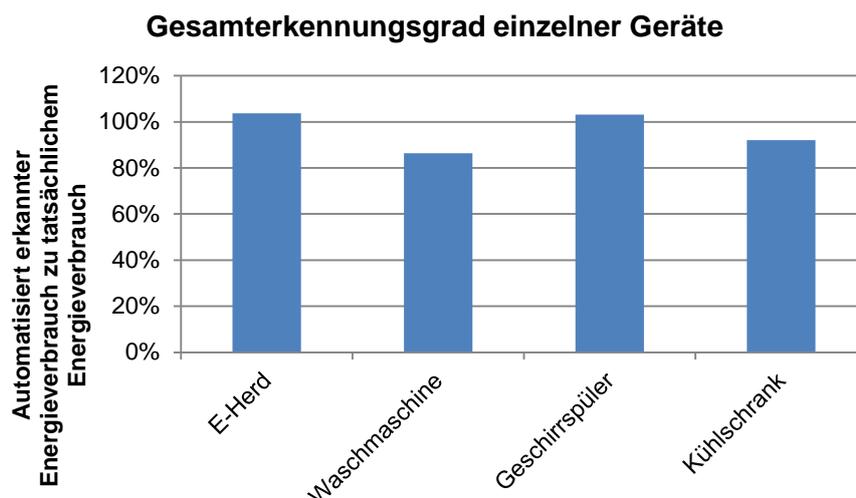


Abbildung 4: Automatisiert erkannter Energieverbrauch einzelner Elektrogeräte im Vergleich zum tatsächlichen Energieverbrauch

Insgesamt ergibt sich, dass pro Haushalt rund 50 % bis 80 % des Gesamtstromverbrauchs nach einzelnen Elektrogeräten sowie der Grundlast, die ständig eingeschaltet ist, aufgeschlüsselt werden kann (siehe Abbildung 5). Der Grund für die unterschiedlich hohen Schwankungsbereiche der

Erkennbarkeit liegt darin, dass nicht in allen Haushalten dieselben Verbrauchskategorien vorhanden sind. Weiters kann die Abschätzung der Erkennbarkeit innerhalb einer Kategorie variieren, da die Lastgänge der Geräte innerhalb der entsprechenden Kategorie unterschiedlich sein können (z.B. E-Herd mit Energieregler vs. E-Herd mit Schaltstufen).

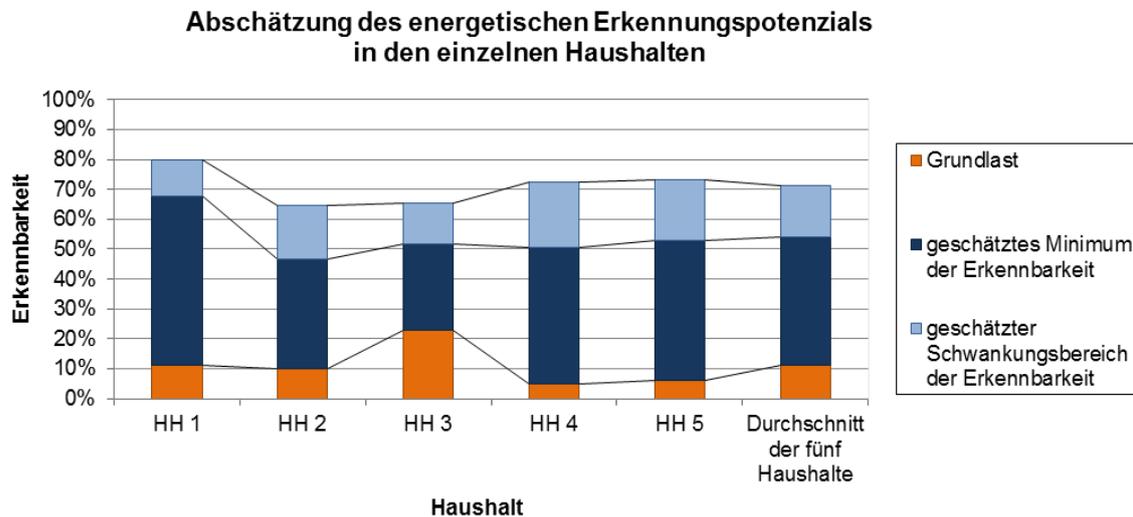


Abbildung 5: Abschätzung des Einsparungspotenzials bei der automatisierten Erkennung von Elektrogeräten

2.3 Im Lastprofil erkennbare Defizite im Nutzerverhalten

Auffinden der zu untersuchenden Elektrogeräte

Aufgrund der Ergebnisse bezüglich der automatisierten Erkennbarkeit von Elektrogeräten wurden alle Elektrogeräte, die vom Algorithmus erkannt werden können, auf Änderungen im Lastgang, verursacht durch Defizite im Nutzerverhalten, analysiert. So wurden Lastgänge von Elektroherden, Waschmaschinen, Geschirrspülern, Kühlschränken und auch Wäschetrocknern untersucht.

Durchführung von Messungen

Für jedes zu untersuchende Elektrogerät wurden im ersten Schritt Energiespartipps recherchiert. Für die Nutzung von Haushaltsgroßgeräten wurde dabei eine Reihe von Energiespartipps gefunden, allerdings waren meist keine detaillierten Angaben zu den genauen Energieeinsparungen vorhanden. Deshalb wurde im zweiten Schritt eine Bewertung der einzelnen Energiespartipps bezüglich des Einflusses auf den Energieverbrauch der einzelnen Geräte vorgenommen. Anhand dieser Bewertung wurden Testfälle für die einzelnen Elektrogeräte zusammengestellt, um die Veränderungen des Lastgangs sowie den Einfluss auf den Gesamtenergieverbrauch feststellen zu können. Für die Messung des Lastganges wurde der Datenlogger ELOG 570 von DEWETRON sowie ein an einen PC anschließbares Wattmeter des Typs Wattman von ADC Power verwendet.

Analyse der Messwerte und Darstellung der Ergebnisse

Elektroherde

Aufgrund des hohen Energieverbrauchs von Elektroherden, wirkt sich hier ein effizientes Nutzerverhalten stärker aus als z.B. bei Haushaltskleingeräten. Die Messungen haben ergeben, dass für das Aufheizen von Wasser um 75°C die Topfgröße den größten Einfluss auf den Energieverbrauch hat. Durch Verwendung eines Wasserkochers lassen sich rund 60 % der Energie einsparen. Beim Kochvorgang hingegen wirkt sich das Kochen ohne Deckel am meisten auf den Energieverbrauch aus und kann bis zu 400 % mehr Energie verbrauchen.

Für die automatisierte Erkennung der Lastgänge eignet sich somit die Erkennung von kurzen Kochdauern zum Erwärmen von Flüssigkeiten und den Hinweis für den Nutzer, dass das Erwärmen vom Wasser im Wasserkocher effizienter ist.

Backöfen

Bei Backöfen haben Energiespartipps wie die Nutzung der Restwärme oder die Vermeidung von Vorheizphasen sowie das Öffnen der Backofentür neben der gewählten Backofentemperatur den größten Einfluss auf den Energieverbrauch. Da die Temperatur durch das Backgut vorgegeben ist, kann eine Einsparung vom Nutzer nur durch die vorher genannten Energiespartipps erfolgen. Aus dem Lastgang können jedoch nur sehr bedingt Rückschlüsse auf eine Vorheizphase geschlossen werden. Somit kann den Haushalten der Gesamtverbrauch des Backofens bei den einzelnen Verwendungen visualisiert werden, wobei durch zusätzliche Abfrage vom Nutzungsverhalten mit Hilfe der Daten der Nutzungsdauern gezielte Einsparungstipps angezeigt werden können.

Warmwasseraufbereitung

Bei der Warmwasseraufbereitung können Haushalte aufgrund der automatisierten Erkennung des Energieverbrauchs und durch die Eingabe der Personenanzahl unter Berücksichtigung des Alters, der durchschnittliche Energieverbrauchswert andere Haushalte zum Vergleich angezeigt werden. Außerdem ist es möglich, die benötigte Energie pro Tag darzustellen, um den Einfluss durch den Warmwasserverbrauch besser darzustellen.

Kühlschränke

Bei den durchgeführten Testreihen bei der Messung des Energieverbrauchs von Kühlschränken hat sich gezeigt, dass die Raumtemperatur den größten Einfluss auf den Energieverbrauch hat. Der Verlauf des Lastgangs erlaubt somit nur geringe Rückschlüsse auf das Nutzerverhalten. Um genauere Aussagen treffen zu können, sind neben den Verlauf des Lastgangs auch Temperaturmessungen im Inneren des Kühlschranks sowie auch außerhalb notwendig.

Waschmaschinen

Den größten Einfluss auf den Energieverbrauch haben die Wahl der Temperaturstufe sowie die Verwendung einer Vorwäsche und die Benützung der Waschmaschine mit halbvoller Beladung (siehe Abbildung 6). Mit Hilfe der Erkennung der genauen Dauer der Heizphase kann durch die automatisierte Energieanalyse und durch zusätzliche Eingaben von dem Fassungsvermögen der Waschtrommel meist auf die eingestellte Waschtemperatur rückgeschlossen werden. Zudem ist es möglich, das verwendete Waschprogramm automatisiert zu erkennen, da sich die einzelnen Waschphasen im Lastgangs widerspiegeln.

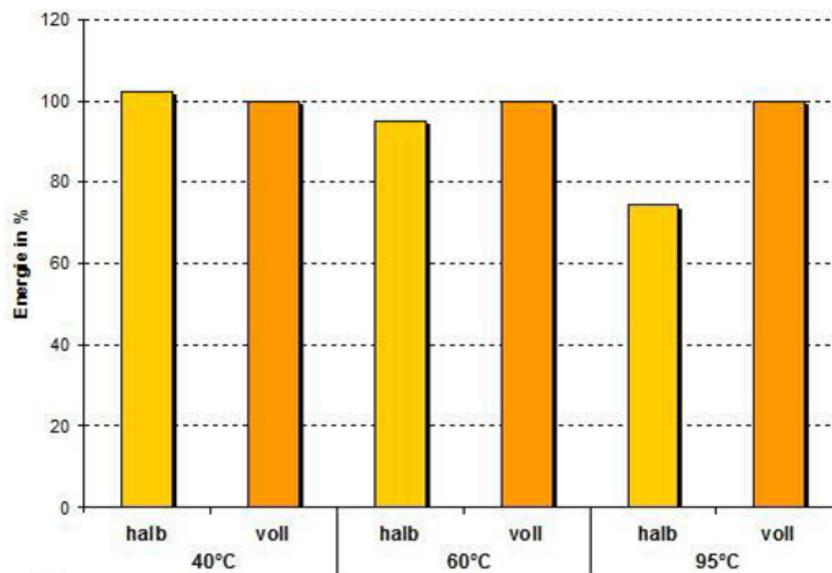


Abbildung 6: Gesamtenergieverbrauch einer Waschmaschine bei unterschiedlichen Temperaturstufen und halbvollen Beladungen im Vergleich zur vollen Beladung

Eine zusätzlich durchgeführte Befragung hat zudem gezeigt, dass viele Haushalte oft Temperaturstufen von 60°C und höher zum Waschen verwenden. Durch die automatisierte Energieanalyse können somit der Verbrauch der Waschmaschine sowie die Verwendung der unterschiedlichen Programme, Temperaturstufen und die damit einhergehende Änderung des Energieverbrauchs für den einzelnen Haushalt visualisiert werden.

Wäschetrockner

Ähnlich wie bei der Waschmaschine können durch den automatisierten Algorithmus die unterschiedlich ausgewählten Programme erkannt und visualisiert werden. Beim Trocknen der Wäsche haben die Restfeuchte der Wäsche, somit also die eingestellte Schleuderdrehzahl bei der Waschmaschine und auch das Material der Textilien einen wesentlichen Einfluss auf den Energieverbrauch. Eine hohe Schleuderdrehzahl der Waschmaschine bedingt zwar eine geringere Restfeuchte aber hat auch Auswirkungen auf das Zerknittern der Wäsche und den damit einhergehende Mehrverbrauch beim Bügeln. Somit ist eine gesonderte Betrachtung der Energiespartipps für den Wäschetrockner nicht möglich, sondern kann nur in Zusammenhang mit allen beteiligten Prozessen erfolgen.

2.4 Entwicklung eines Prototypen zur Umsetzung der automatisierten Energieanalyse

Erstellung eines Hard- und Software-Konzepts

Anwendungsbereich

Den Einsatz sowie die Systemgrenzen des zu entwickelnden Prototypen kann man in Abbildung 7 sehen. Dem Prototypen liegen folgende Funktionen dar:

1. Auslesen der Messdaten vom Smart Meter
2. Speicherung der Daten in der Datenbank
3. Weiterverarbeitung und Analyse der mittels entwickelten Algorithmen
4. Speicherung der Analysedaten in der Datenbank
5. Visualisierung der Mess- und Analysedaten
6. Zugangsmöglichkeit für Endkunden

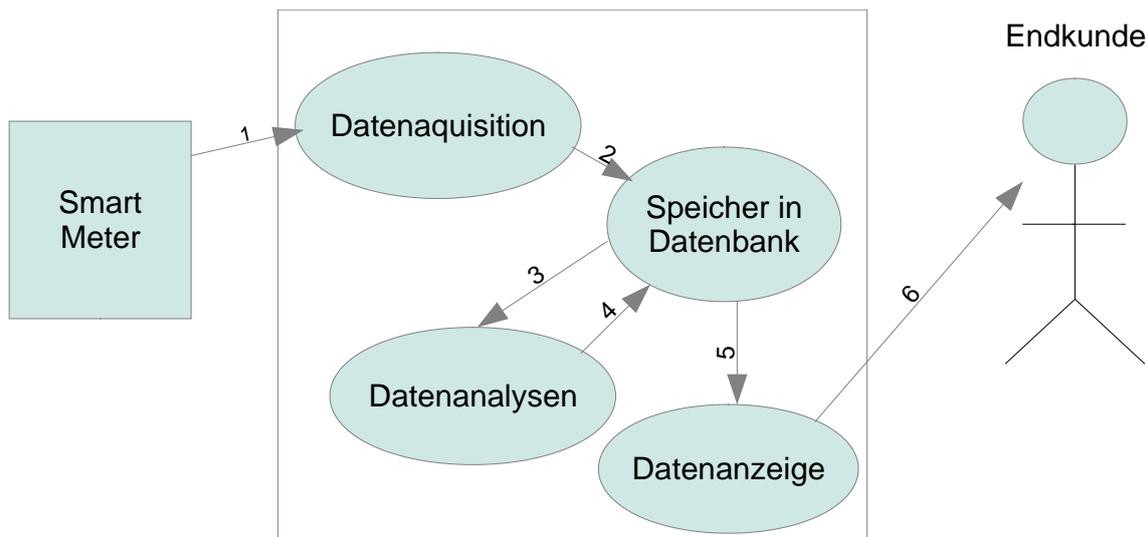


Abbildung 7: Anwendungsfeld diagramm des zu entwickelnden Prototypen

Bei der Entwicklung des Prototypen in einem Haushalt zur Anwendung der automatisierten Energieanalyse wird ein Mini-PC mit einer Leistungsaufnahme kleiner als 15 Watt verwendet.

Abfrage der Messdaten vom Smart Meter

Zur automatischen Erkennung der Verbrauchsgeräte mit Hilfe des im Zuge dieses Projektes entwickelten Algorithmus ist eine 1-sekündige Auflösung der Verbrauchsdaten notwendig, damit zwischen gleichzeitig eingeschalteten Elektrogeräten besser differenziert werden kann.

Durch die Auftrennung des Gesamtverbrauchs in die Verbräuche pro Phase kann die Erkennungsgenauigkeit wesentlich gesteigert werden. Die handelsüblichen, am Markt befindlichen Zähler verarbeiten zwar intern die für die automatisierte Energieanalyse notwendigen Daten in genügend kleinen zeitlichen Auflösungen, können allerdings diese Werte nicht in einem Intervall von einer Sekunde ausgeben.

Als mögliche Alternative wäre es, drei einphasige Smart Meter zu verwenden und die Daten der Wirk- und Blindenergie sowie den Spannungseffektivwert pro Zähler auszulesen. Allerdings ist bei dieser Variante die zeitliche Synchronisierung der einzelnen Phasen nur bis zu einer Genauigkeit von 500 ms möglich, was bei einphasigen Verbrauchern zu keiner Beeinflussung, jedoch bei mehrphasigen Verbrauchern zu Erkennungsschwierigkeiten führen kann. Abgesehen von den Mehrkosten benötigen drei Smart Meter zudem einen erhöhten Platzbedarf, der in den Hausunterverteilern nur in Ausnahmefällen zur Verfügung steht. Es hat sich gezeigt, dass diese Lösung als nicht praktikabel angesehen werden kann.

Eine Alternative würde die Verwendung eines Industriezählers (z.B. EMH LZJQ) sein, der periodisch im Sekundenintervall einen Snapshot aller Messwerte erzeugt, die dann mittels PC abgefragt werden können [3]. Dieser Zähler hat eine Genauigkeitsklasse von 0,5, jedoch schlägt sich dies auch mit einem 5 bis 10-fachen höheren Preis im Vergleich zum typischen im Haushalt eingesetzten Smart Metern nieder. Zur Abfrage der Daten der Zähler ist außerdem ein spezielles Hardware-Modul mit angepasster Software notwendig, da die Schnittstellen der Smart Meter-Hersteller proprietär sind.

Anforderungen an Prototypen

Der Prototyp soll in einem Elektroinstallations-Verteiler untergebracht werden und an drei dort installierte Smart Meter per verfügbaren Schnittstellen angeschlossen werden. Aus diesen Anforderungen ergeben sich folgende Eigenschaften für die Hardware des Prototyps:

- Geringer Stromverbrauch
- Kleine Abmessungen
- Kompatibles Betriebssystem, um Webserver, Datenbank und Anwendungsprogramme betreiben zu können
- Ausreichende Speichermöglichkeit, um Lastgänge über einen längeren Zeitraum zu speichern
- Kostengünstig
- Schnittstellen zur Anbindung an Smart Meter und Zugangsmöglichkeit für Endkunden

Funktionsprinzip des Prototypen

In Abbildung 8 kann das Blockschaltbild des Prototyps gesehen werden. In einer MySQL-Datenbank werden die gemessenen Lastgangdaten pro einzelner Phase gespeichert. Diese Messdaten dienen dem entworfenen Algorithmus als Grundlage zur Berechnung und Abschätzung des Stromverbrauchs der einzelnen, detektierbaren Elektrogeräten. Die Resultate der durchgeführten Analyse werden wiederum in der Datenbank hinterlegt. Mit Hilfe des Softwarepaketes Joomla erfolgt die graphische Darstellung der Messdaten, die mittels eines Browsers abgerufen werden können. Zum Zugriff auf den Prototypen mittels Browser ist zusätzlich noch ein Webserver notwendig, der die Daten zwischen dem Browser und dem Joomla-Softwarepaket über Hypertext Transfer Protocol (http) bzw. Common Gateway Interface (CGI) überträgt.

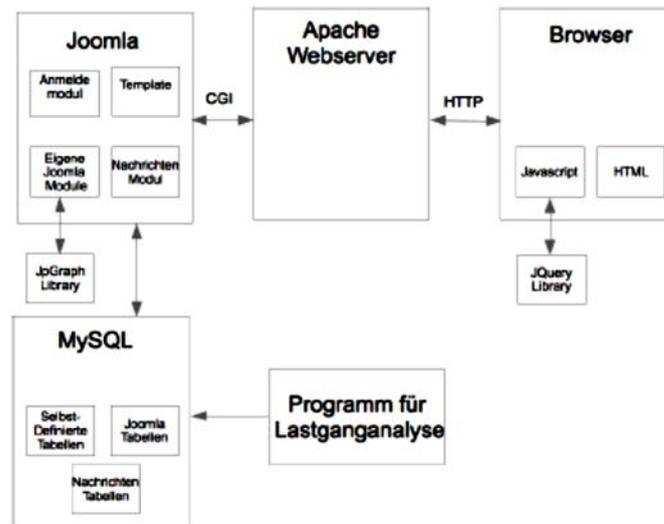


Abbildung 8: Blockschaltbild des Prototypen

2.4.1 Bedienoberfläche des Prototypen

Zur Darstellung der Ergebnisse der automatisierten Energieanalyse wurde für Haushaltskunden eine eigene Oberfläche, die mittels des Softwarepakets Joomla erstellt wurde entwickelt. Mittels Browser ist es möglich die Übersichtsseiten aufzurufen (siehe Abbildung 9). Es wurden insgesamt drei Bereiche zur Darstellung der Ergebnisse eingerichtet. Diese beinhalten einen Verbrauchsüberblick in dem der Gesamtstromverbrauch aller detektieren Elektrogeräte prozentuell im Vergleich zum Gesamtstromverbrauch dargestellt wird. Somit ist es dem Haushaltskunden möglich einzelne verbrauchsintensive Elektrogeräte zu identifizieren. Um den Verbrauchsverlauf einzelner Elektrogeräte im Überblick zu haben, kann im Menü „Verbrauchsüberblick“ der Verbrauchsverlauf der letzten Wochen, Monate oder Jahre angesehen werden. Dadurch kann gezielt der Verbrauchsverlauf einzelner Elektrogeräte beobachtet werden und Maßnahmen die Reduzierung des Verbrauches – wie z.B. Austausch eines alten ineffizienten Kühlschranks und Ersatz durch ein Neugerät – analysiert werden.

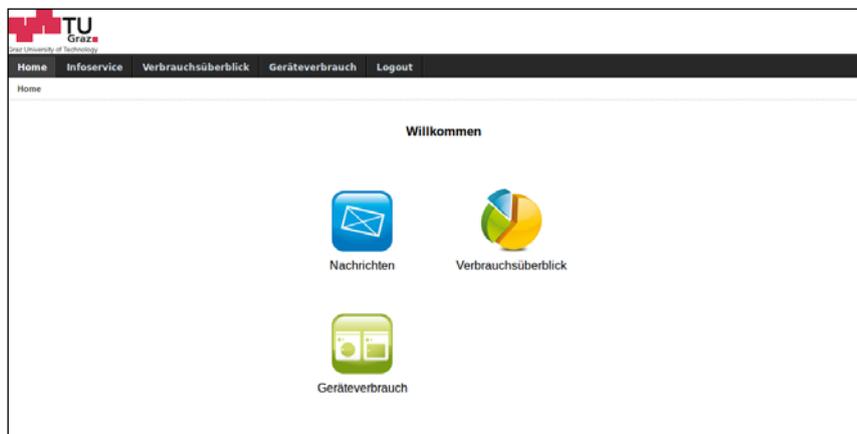


Abbildung 9: Übersichtsdarstellung der Anzeige beim Zugriff auf die entwickelte Oberfläche mittels Browser

Zusätzlich wurde der Menüpunkt „Infoservice“ integriert in dem wichtige Nachrichten zur Reduzierung des eigenen Energieverbrauchs aufgezeigt werden. Es werden beispielsweise Informationen angezeigt, wie etwa plötzlich auftretende Stromverbrauchsänderungen einzelner Elektrogeräte, um nicht vorhergesehene Betriebsarten (wie etwa unbeabsichtigtes Offenlassen der Gefrierschranktür) vorzeitig zu entdecken und Maßnahmen dafür ergreifen zu können. Durch dieses Informationsservice sollen Haushaltskunden zudem einfache, umsetzbare Steuerungsmaßnahmen - wie etwa Hinweise auf hohen Energieverbrauch beim Kochen durch Nichtverwendung von Kochdeckeln - zum bewussten und effiziente Umgang mit Energie erhalten.

Abbildung 10 zeigt exemplarisch den elektrischen Energieverbrauch eines Wäschetrockners. Der genaue Zeitraum des Verbrauchsüberblicks ist durch die angebrachten Buttons sowie die Eingabe des Datums wählbar. Somit ist dem Endverbraucher möglich Zeiten des intensiven und weniger intensiven Verbrauchs festzustellen.

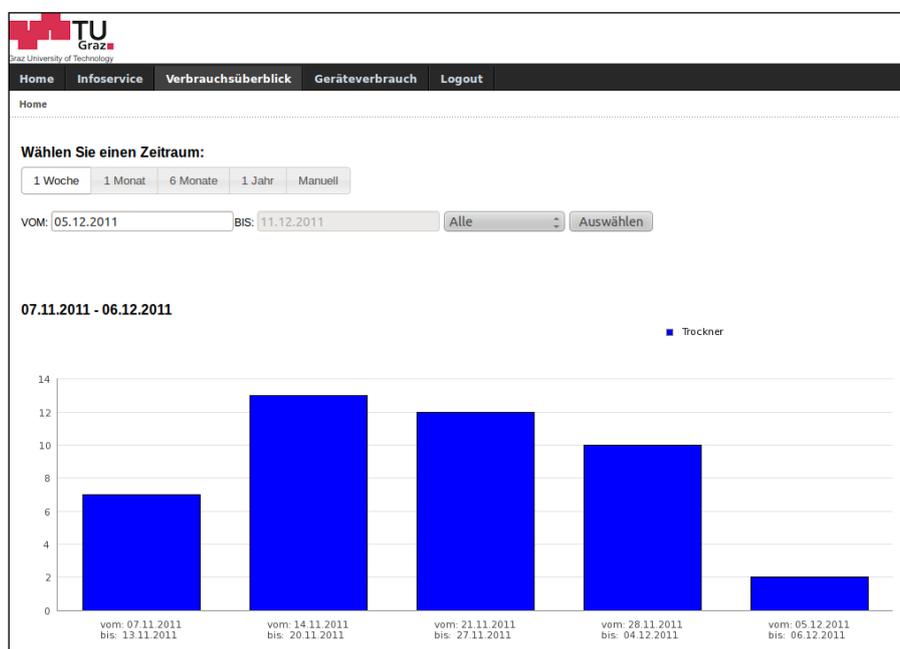


Abbildung 10: Verbrauchsüberblick mehrerer Wochen eines automatisch detektierten Verbrauchers (Trockner)

Beim Einsatz des Prototypen sind die zugrundeliegenden Messdaten wesentlicher Bestandteil für eine gute Aufschlüsselbarkeit des Stromverbrauchs in den Stromverbrauch von einzelnen Elektrogeräten. So kann zudem durch höhere Auflösungen der Messdaten die Erkennbarkeit vergrößert werden. Ein weiterer wesentlicher Punkt ist Anzahl der Phasen über die ein Haushalt versorgt wird. Bei einphasiger Versorgung überlagern sich alle im Haushalt eingeschalteten Verbraucher, was die Aufschlüsselung des Gesamtlastganges in die Lastgänge einzelner Elektrogeräte weiter erschwert. Ein Vergleich des Erkennungsgrades bei den Verbrauchern E-Herd, Waschmaschine, Geschirrspüler und Kühlschrank bei drei- und eine-phasiger Versorgung ist in Abbildung 11 zu sehen. Während es bei einphasiger Versorgung beim E-Herd zu vermehrt falsch-positiven Detektionen kommt, werden beim Geschirrspüler oder auch Kühlschrank zu wenig Flanken detektiert, was zu einem prognostizierten Minderverbrauch führt. Im Gegensatz dazu liegen die Erkennungsgrade bei 3-phasiger Versorgung zwischen 85 % und 105 %, sind somit deutlich größer als zwischen rund 60 % bis 130 % bei einphasiger Versorgung.

Eine weitere Verbesserung des Erkennungsgrades kann durch zusätzliche Messung eines weiteren Abganges im Verteilerschrank erfolgen. Dies kann beispielsweise durch einen weiteren Stromzähler

als auch durch zusätzliche Messhardware erfolgen. Allerdings ist dies mit zusätzlichem Kosten verbunden.

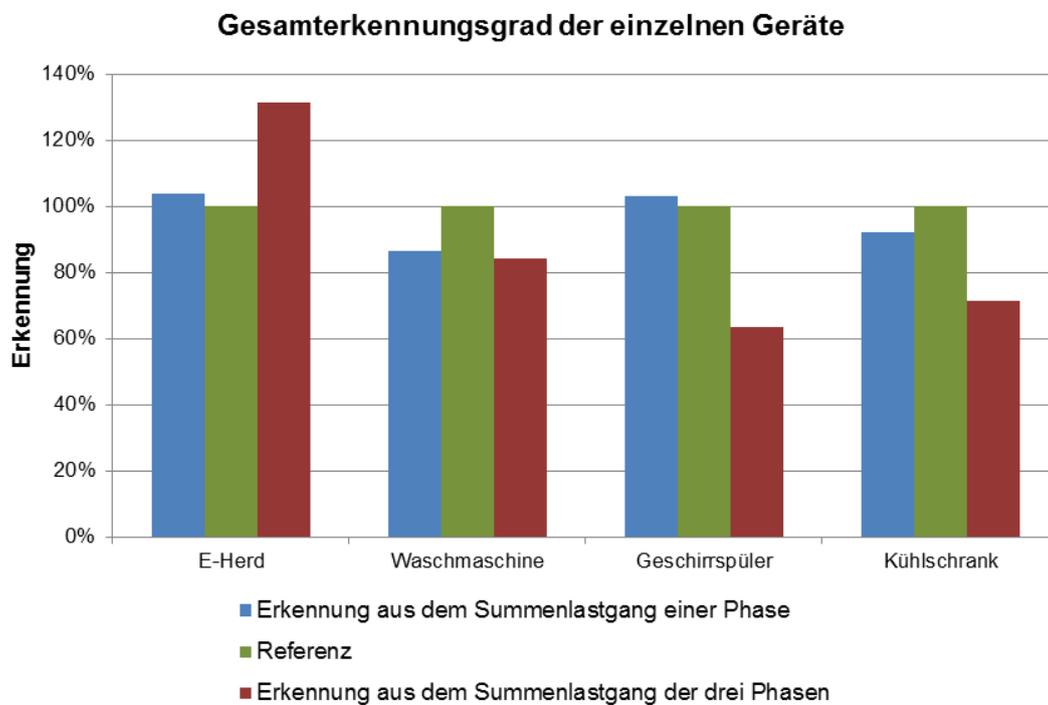


Abbildung 11: Gesamterkennungsanteil einzelner Elektrogeräte zum tatsächlichen Verbrauchswert in Abhängigkeit der Anzahl der verfügbaren, separat gemessenen Phasen

2.5 Betrachtung der Anwendertauglichkeit und des Nutzens der automatisierten Energieanalyse

In österreichischen Haushalten sind wenige Elektrogeräte für einen wesentlichen Anteil am Stromverbrauch verantwortlich, deshalb werden nur diese Elektrogeräte aus dem Lastgang identifiziert (siehe Abbildung 12). Kennzeichnend für diese Gruppe der Elektrogeräte sind ein hoher Leistungsverbrauch oder auch charakteristische Lastprofile. Die erwähnten Eigenschaften ermöglichen eine Identifizierung dieser Geräte aus dem Summenlastgang.

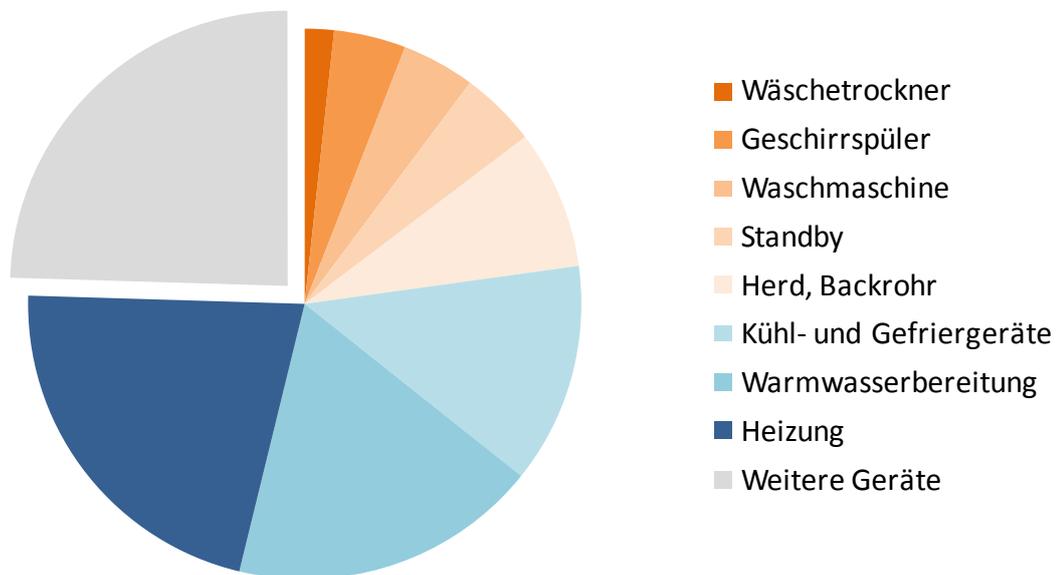


Abbildung 12: Durchschnittlicher österreichischer Haushalt: Übersicht der Elektrogeräte mit dem größten Energieverbrauch, Befragungsergebnisse aus [6]

Das ermittelte energetische Erkennungspotenzial, welches Verbrauchskategorien zuordenbar ist, liegt bei den untersuchten Haushalten durchschnittlich zwischen zirka 50 % bis 80 % (siehe Abbildung 5). Dies entspricht in etwa dem Stromverbrauch eines durchschnittlichen österreichischen Haushalts.

Die Erkennungsgenauigkeit ist abhängig von der genauen Geräteausstattung des einzelnen Haushalts. Mit Hilfe des entworfenen Algorithmus können bestimmte Elektrogeräte mit guter Erkennungsgenauigkeit von 85 % bis 105 % aus dem Summenlastgang identifiziert werden. Für Haushaltskunden ist dieser Erkennungsgrad für eine erste grobe Abschätzung der genauen Verbrauchsdaten verwendbar. Jedoch ist anzunehmen, dass durch weitere Forschungsarbeiten der Erkennungsgrad weiter erhöht werden kann. Haushaltskunden haben durch das entwickelte System mit dem Anschluss an bereits bestehende Smart Meter folgenden Nutzen:

- Kostengünstige Lösung
- einfach installierbar
- einfache Bedienung
- stets aktuelle Informationen
- Überblick über Energieverbrauchsaufteilung
- Fernüberwachung und Ferndiagnose mit Hilfe von Anschlussmöglichkeiten ans Internet

Zur Plausibilisierung der gewonnenen Messwerte wurden zusätzlich die Stromverbräuche der Verbrauchskategorien, welche aus den Messungen und aus dem Strom- und Gastagebuch [6] (ca. 250 Haushalte beinhaltet) ermittelt wurden, mit denen von den Durchschnittswerten der untersuchten Haushalte gegenübergestellt. Abbildung 13 zeigt, dass die Aufteilung der Verbrauchskategorien trotz der geringen Anzahl untersuchter Haushalte im Vergleich zu den 254 Haushalten, die im Rahmen des Strom- und Gastagebuchs untersucht wurden bei dem Großteil der Verbrauchskategorien gut übereinstimmt.

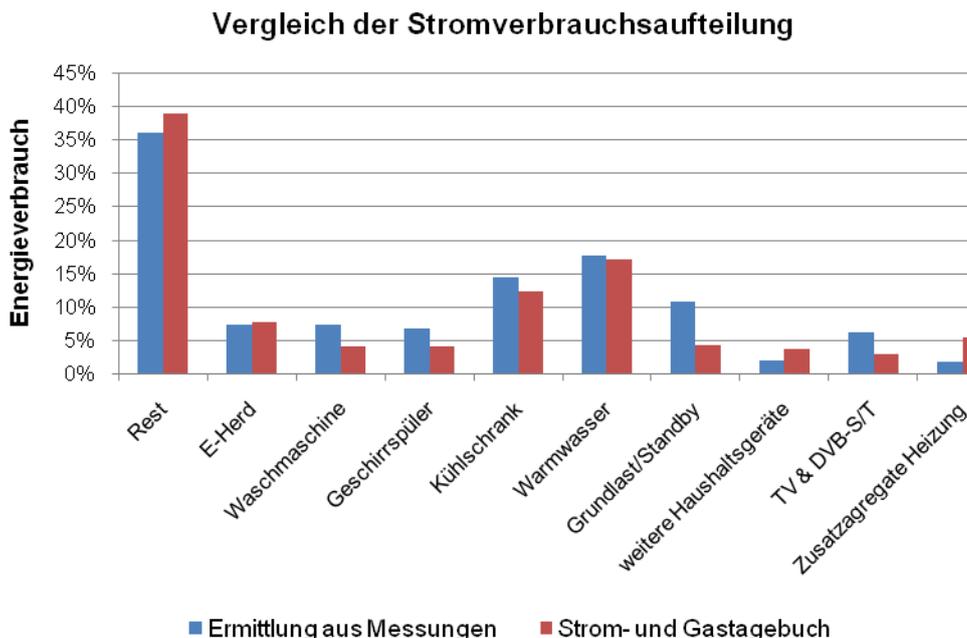


Abbildung 13: Vergleich der Stromverbrauchsaufteilung

Kostenanalyse beim Einsatz der automatisierten Energieanalyse

Um für Haushaltskunden ein möglichst kostengünstiges System anzubieten, müssen sich die Investitionskosten in weniger als 3 bis 6 Jahren amortisieren. Der Stromverbrauch eines österreichischen Haushalts beträgt im Durchschnitt 4390 kWh [6]. Bei einem mittleren Strompreis von 17 Cent pro kWh betragen die jährlichen Stromkosten rund 746 Euro pro Haushalt.

Bei der Betrachtung der Kostenanalyse wird angenommen, dass der Nettoeinspareffekt zwischen 3 % und 6 % beträgt. Durch die dynamische Investitionsrechnung können die Investitionskosten sowie die jährlichen Einsparungen auf einen Zeitpunkt bezogen und gegenübergestellt werden. Der Kapitalwert berechnet sich laut [17] mit:

$$BW = EB \cdot z \cdot \frac{1 - z^n}{1 - z} \tag{Gl. 2.1}$$

- BW... Barwert nach n Jahren
- EB... konstanter jährlicher Einsparbetrag
- z... Zinssatz in % + 1
- n... Betrachtungszeitraum in Jahren

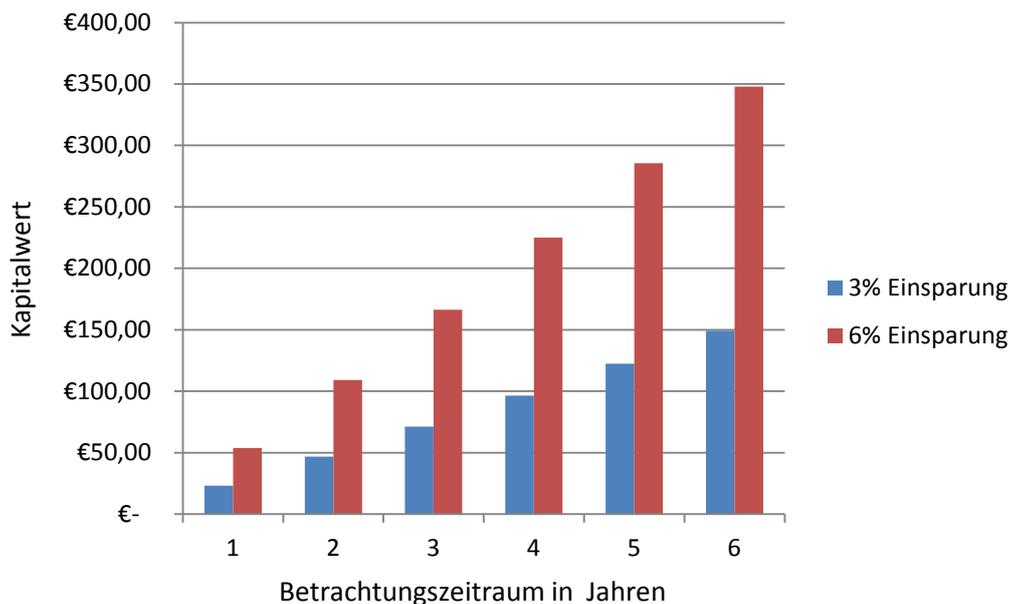


Abbildung 14: Kapitalwert der jährlichen Einsparungen von 3% bzw. 6% des Gesamtstromverbrauches in Abhängigkeit des Betrachtungszeitraums bei einem festen Zinssatz von 3%

Als Zinssatz wurde 3% gewählt und abhängig von der Einsparung ergeben sich bei einem Betrachtungszeitraum von 6 Jahren ein maximaler Kapitalwert von 350€. Bei einer Einsparung von nur rund 3% des Gesamtstromverbrauches sinken die maximalen Investitionskosten, damit das vorgeschlagene System rentabel wird, auf nur 150€. Somit müssen preisgünstige Komponenten ausgewählt werden, was aufgrund der immer leistungsfähigeren CPUs und dem damit einhergehende Preisverfall bei genügend großer Stückzahl auch erreicht werden kann. Als Alternative kann zudem auch die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, dass Energieversorgungsunternehmen oder auch andere Utility-Service-Provider solche Systeme zum Verleih für eine begrenzte Zeit anbieten, damit Kunden Ihren Energieverbrauch analysieren und steuern können. Durch die automatisierte Analyse ist eine gezielte Änderung möglich, die dann zu einem späteren Zeitpunkt einer erneuten Prüfung unterzogen werden kann. Nichts desto trotz ist eine möglichst detaillierte, kontinuierliche Analyse mit einem dauerhaft installierten System, das Änderungen überwacht und den Konsumenten automatisch informiert, einer temporären Lösung vorzuziehen.

Zu beachten ist zudem auch der Eigenverbrauch solcher Systeme. Bei einer durchschnittlichen täglichen Leitungsaufnahme von 15 W ergibt sich ein jährlicher Stromverbrauch von rund 130 kWh, was einer Einsparung von 3 % entspricht. Dies würde die berechnete 6% Einsparung halbieren und die erzielten Einsparungen von 3% zunichtemachen. Somit sind hochleistungsfähige Kleinrechner mit geringstem Verbrauch, wie sie auch im Bereich der Smartphones vorzufinden sind zum Aufbau eines solchen Systems vorzuziehen.

3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Highlights des Projektes „Smart Efficiency“

Im Rahmen des Projektes wurden in unterschiedlichen Haushaltstypen Detailmessungen des Summenlastganges sowie auch von Lastgängen einzelner Verbraucher durchgeführt. Die gewonnenen Messdaten dienen als Basis für eine Datenbank um weitere Verbesserungen an der automatisierten Erkennung von Elektrogeräten vornehmen zu können. Die Ergebnisse zeigen, dass mit Hilfe des entwickelten Algorithmus eine gute Erkennung einzelner Verbraucher aus dem Summenlastgang möglich ist. Zudem haben die Messergebnisse gezeigt, dass an bestimmten Elektrogeräten wie etwa Elektroherden auch der effiziente Umgang aus dem Lastgang erkennbar ist. Beispielsweise wurde festgestellt, dass bei Kochvorgängen ohne Kochdeckel die Taktung des Elektroherdes wesentlich verändert wird.

Diese Forschungsergebnisse können in Zukunft einen wesentlichen Beitrag leisten, um die automatisierten Algorithmen noch weiter voranzutreiben und ein serienreifes Produkt zu etablieren, das dem Endkunden hilft energiebewusster zu leben und auch Energie einzusparen.

Welche Erkenntnisse für das Projektteam wurden aus dem Projekt gewonnen und wie arbeitet das Projektteam mit den erarbeiteten Ergebnissen weiter?

Durch die Analyse von den unterschiedlichen Lastgängen einzelner Elektrogeräte konnte das Verhalten und insbesondere der genaue Energieverbrauch von den Verbrauchsgeräten genauestens aufgeschlüsselt werden. Es hat sich zudem gezeigt, dass Elektrogeräte mit großem Energieverbrauch besser detektiert werden können, als Elektrogeräte mit geringer Leistungsaufnahme.

Die gemessenen Einzellastgänge der Verbraucher werden für weitere Folgeprojekte von großer Wichtigkeit sein, da insbesondere bei anderen Aufgabenbereichen - wie etwa der Ermittlung von Netzverlusten - die genaue Einschaltdauer und der genaue Verlauf der Lastgänge von großer Bedeutung sind. Zudem sind die Erkenntnisse über die genauen Einschaltzeitpunkte sowie auch deren Dauer für die Abschätzung von Möglichkeiten zur Lastverschiebung essentiell.

Für welche anderen Zielgruppen sind die Projektergebnisse relevant und interessant und wer kann damit wie weiterarbeiten?

Während des Projektes hat sich eine Reihe von Zielgruppen herauskristallisiert. So sind zum einem Endverbraucher eine wichtige Zielgruppe, da mit Hilfe des entwickelten Algorithmus bestimmte Elektrogeräte gut erkannt werden können und einen ersten Verbrauchsüberblick schaffen können. Aber auch Unternehmen, die sich im Rahmen von Forschungsarbeiten mit automatisierten Energieanalysen auseinandersetzen wollen sind die Projektergebnisse relevant. In weiterer Folge können auch Service-Provider, die eine automatisierte Energieanalyse als Dienst anbieten wollen von den Projektergebnissen profitieren.

Nutzen für den Endverbraucher

Aufgrund der aus dem Projekt „Smart-Efficiency“ stammenden Erkenntnisse sowie durch weitere Forschungsaktivitäten werden Haushaltskunden dadurch profitieren, dass ihr individueller Stromverbrauch automatisiert aufgeschlüsselt, visuell dargestellt und zudem das persönliche Energieeinsparpotenzial aufgezeigt wird.

Somit erfolgt bei Endverbrauchern sowohl eine Bewusstseinsbildung bei dem Umgang mit elektrischen Betriebsmitteln als auch eine persönliche unmittelbare Wahrnehmung des Stromverbrauchs von einzelnen Elektrogeräten. Dadurch steht Haushaltskunden ein Verfahren zur Verfügung mit dem sie ihren Stromverbrauch überwachen und gezielt senken können sowie die Möglichkeit die Energieeffizienz zu steigern.

Dies stellt einen wichtigen Ansatz zur Realisierung einer zukünftig nachhaltigen Energieversorgung auf Basis von Erneuerbaren Energieträgern dar.

Nutzen für Energiesparberater

Energiesparberater erhalten durch die Ergebnisse aus dem Projekt „Smart-Efficiency“ Informationen über den detaillierten Stromverbrauch und das genaue Energieeinsparungspotenzial von einzelnen Haushalten und können diese Erfahrungen in ihre Arbeit mit einbeziehen. Außerdem gibt die in diesem Projekt untersuchte Beeinflussung von Defiziten im Nutzerverhalten bei dem Umgang mit elektrischen Betriebsmitteln genaue Aufschlüsse darüber wie groß das Einsparungspotenzial in diesem Bereich ist und wie eine automatisierte Erkennung möglich ist.

Zudem profitieren Energiesparberater durch die Möglichkeit, dass sie Lastganganalysen automatisiert auswerten können und somit ihren Kunden eine kostengünstige und vor allem effiziente Analyse ihres Stromverbrauches mit genauen Aussagen über Energieeinsparungspotenziale mit verbundenen Kostensenkungen anbieten können.

4 Ausblick und Empfehlungen

Der entwickelte Algorithmus kann als Grundlage für weitere Forschung im Bereich der automatisierten Erkennung der Lastgänge von Elektrogeräten dienen. Im Hinblick auf weitere Forschungsaktivitäten ist im Besonderen auf die Parametrierung des Algorithmus zur Erkennung bestimmter Lastgänge, wie etwa auftretende Leistungsspitzen und Zeitdauern der Flanken, ein großer Schwerpunkt zu setzen. Weitere Forschungsschwerpunkte ergeben sich zudem:

Integration der Analyse des Blindlastganges

Im Rahmen der untersuchten Haushalte hat sich gezeigt, dass die Integration der Blindlastgangsanalyse in erster Linie für die Erkennung von motorischen Verbrauchern (Motor der Waschmaschine, Kühlschrank) sinnvoll wäre, um die Erkennungswahrscheinlichkeit dieser Geräte bei stark überlagerten Wirklastgängen zu verbessern. Hilfreich kann der Blindlastgang auch zur Erkennung von zum Beispiel Mikrowellenherden sein, wobei dessen anteiliger Stromverbrauch aufgrund der meist sehr kurzen Laufzeiten vernachlässigbar ist.

Integration einer intelligenten Überprüfung der erkannten Lastgänge

Besonders für die Erkennung von getakteten ohmschen Verbrauchern (E-Herd, elektrischer Warmwasserspeicher, Bügeleisen) wäre die Integration einer Überprüfung hinsichtlich der Variation der Impulsdauern sinnvoll. Das Problem der Übererkennung von Energie, wie es zum Beispiel beim E-Herd aufgetreten ist, könnte so durch Berücksichtigung von typischen Kochvorgängen reduziert werden.

Prüfung der Erkennbarkeit weiterer Geräte

Weiters wäre die Erkennbarkeit von Geräten zu überprüfen, welche nicht explizit in der Arbeit behandelt wurden. Basierend auf den ermittelten Energieverbräuchen scheint besonders die genauere Betrachtung von TV-Geräten wichtig. Allgemein wäre weiters zu prüfen, inwieweit es mit den vorhandenen Daten möglich ist, Geräte mit Schaltnetzteilen zu erkennen. Speziell der Nutzen der schwankenden Leistungsaufnahme als Erkennungskriterium wäre näher zu untersuchen.

Messung der Lastgangsdaten mit Hilfe von Smart Metern

Im Rahmen zukünftiger Untersuchungen ist zu prüfen, inwieweit die Hardware und Software von Smart Metern angepasst werden kann um weitere Messdaten wie etwa Wirkleistung, Blindleistung, Spannung oder auch Stromharmonische aus Smart Metern auslesen zu können. Dadurch können die Messdaten für Smart Meter für eine automatisierte Lastganganalyse verwendet werden, ohne dass zusätzliche teure Messhardware gekauft werden muss. Damit können Synergien genutzt werden und Smart Meter für zusätzliche Funktionalitäten eingesetzt werden, als sie ursprünglich vorgesehen waren.

5 Literaturverzeichnis

- [1] MySQL 5.1 Referenzhandbuch, 2010. <http://dev.mysql.com/doc/refman/5.1/de/storage-requirements.html>, zugegriffen am 10.08.2011
- [2] Globalscale Technologies, <https://www.globalscaletechnologies.com/t-dreamplugdetails.aspx>, abgerufen am 20.08.2011
- [3] Datenblatt EMH LZQJ, <http://www.amptronh.com/Kwh%20Meter/LZQJ-man.pdf>, abgerufen am 23.08.2011
- [4] Echelon EM-1021, <http://www.echelon.com/metering/datasheets/EM-1021-Single-German.pdf>, abgerufen am 26.08.2011
- [5] Smart Meter-Server, Ubitronix, <http://www.ubitronix.com>, abgerufen am 26.08.2011
- [6] Statistik Austria: Strom- und Gastagebuch 2008, Februar 2009, http://www.statistik.at/web_de/wcmsprod/groups/gd/documents/stddok/043743.pdf abgerufen am 03.03.2010
- [7] George W. Hart, Nonintrusive Appliance Load Monitoring, Proceedings of the IEEE, Vol. 80, No. 12, Dezember 1992
- [8] Reinhard Feiel: Online-Leistungsanalyse mit Lasterkennung und Energieverbrauchsauflösung, Diplomarbeit, Institut für Elektrische Anlagen, Technische Universität Graz, 1994
- [9] Hannu Pihala: Non-intrusive appliance load monitoring system based on a modern kWh-meter, 1998
- [10] Reinhard Iskra: Der Stromverbrauch im Haushalt – Lastganganalyse und Leistungssparpotenziale, Dissertation, Institut für Elektrische Anlagen, Technische Universität Graz
- [11] Christopher Laughman et al.: Advanced Nonintrusive Monitoring of Electric Loads, IEEE power & energy magazine, march/april 2003
- [12] Hsueh-Hsien Chang et al.: Load Recognition for Different Loads with the Same Real Power and Reactive Power in a Non-intrusive Load-monitoring System, 2008
- [13] Elias L. Quinn: Privacy and the new Energy Infrastructure, 2009
- [14] Schmutz et al.: Forschungsbericht „Stromsparerpotenziale in der Landwirtschaft“, Im Auftrag der Oberösterreichischen Landesregierung, Institut für Elektrische Anlagen, Technische Universität Graz, 2009
- [11] Michael Baranski: „Energie-Monitoring im privaten Haushalt“, Dissertation, Vuviller Verlag, Göttingen 2006, ISBN: 3-86717-020-1
- [12] Hsueh-Hsien Chang, Ching-Lung Lin, Jin-Kwei Lee: „Load Identification in Nonintrusive Load Monitoring Using Steady-State and Turn-on Transient Energy Algorithms“, Proceedings of the 2010 14th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design
- [13] A.G. Ruzzelli, C. Nicolas, A. Schoofs, and G.M.P. O'Hare: „Real-Time Recognition and Profiling of Appliances (RECAP) through a Single Electricity Sensor“, IEEE Seccon 2010 proceedings
- [14] Kosuke Suzuki, Shinkichi Inagaki, Tatsuya Suzuki, Hisahide Nakamura and Koichi Ito: „Nonintrusive Appliance Load Monitoring Based on Integer Programming“ SICE Annual Conference, Japan, 2008

- [15] Arend J. Bijker, Xiaohua Xia, Senior Member, IEEE, and Jiangfeng Zhang: „Active Power Residential Non-intrusive Appliance Load Monitoring System“, IEEE AFRICON 2009
- [16] Rebecca L. Sawyer, Jason M. Anderson, Edward Lane Foulks, John O. Troxler, and Robert W. Cox: „Creating Low-Cost Energy-Management Systems for Homes Using Non-Intrusive Energy Monitoring Devices“, Energy Conversion Congress and Exposition, 2009
- [17] Walther Anne, Rollwage Nikolaus: “Investitionsrechnung“, WRW-Verlag, 2002, ISBN: 3-927250-76-7