

Masterarbeit

Analyse von Kundenlastprofilen und automatische Zerlegung in Gerätelelastgänge

Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom Ingenieurs unter der Leitung von

o.Univ.-Prof.Dr.-Ing.Günther Brauner

betreut von

Sara Ghaemi, MSc. und Dipl.-Ing. Franz Zeilinger

E370

Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe

Eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Von

Anatol AMON, BSc.

Gersthofer Straße 6

1180

Wien, am 02.10.2011

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Frau Sara Ghaemi, MSc. und Herrn Dipl.-Ing. Franz Zeilinger für die großartige Unterstützung und hervorragende Betreuung während der Masterarbeit danken. Die zahlreichen Gespräche haben immer wertvolle Tipps und Hinweise gebracht, die für den Fortschritt sehr maßgeblich waren. Herrn Dipl.-Ing. Franz Zeilinger hat dazu noch endlose Geduld beim Korrekturlesen bewiesen, wofür ich mich nochmals ausdrücklich bedanken möchte.

Bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern, die mir die Möglichkeit für ein Studium gegeben haben, und bei meiner geliebten Frau, die mich mental durch das Studium begleitet hat.

Vielen Dank!

Abstract

Today's challenges of the energy systems are the peak loads during several times of a day. A way to handle this problem is load shifting, especially Demand Side Management. Although this is a normal practice for the industries, the households do not deal with this issue yet. But this should change in the future. Therefore it is necessary to find a proper but also cheap way to analyse the household. Now the question is, if it is possible to find a top-down algorithm, without too specific criteria and with a modicum of effort, and will then the results be good enough for efficient Demand Side Management. The algorithm should work with as less as possible information.

The second part is a summary of the problems for the implementation of Demand Side Management., especially the concerns of the customers.

Kurzfassung

Eine der heutigen Herausforderungen der Energiesysteme ist die hohe Spitzenlast zu einigen Zeitpunkten des Tages. Obwohl in Summe genug Energie zur Verfügung steht, so kann es bei Spitzenlast zu Engpässen bei der Leistungsbereitstellung kommen. Um diese Spitzenlast zu vermeiden, wird nun die Last zeitlich verschoben- Stichwort Demand Side Management. Für große Industriebetriebe ist das seit vielen Jahren schon Alltag, aber nicht für die Haushalte. Um das Potential hier ausschöpfen zu können, muss man zuerst die Haushalte besser analysieren können, und das mit einem vertretbaren Aufwand. Hier wird nun die Frage behandelt, wie denn nun mit anfänglich wenig Informationen und wenig rechentechnischen Aufwand zu brauchbaren Analysen des Haushaltes kommen kann. Des Weiteren soll beantwortet werden, ob ein solcher Algorithmus dann in der Lage ist, die Daten für effizientes Demand Side Management aufzubereiten.

Der zweite Teil gibt die Probleme, die für die Einführung für Demand Side Management ausschlaggebend sind, wieder und fasst auch nochmal die wesentlichsten Möglichkeiten dieser Methode zusammen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	5
1 Einleitung	6
2 Analyse des Kundenprofils	8
2.1 Beschreibung der Haushaltegeräte	9
2.1.1 Geräte mit einer Ein/Aus- Charakteristik	11
2.1.2 Quasi periodische Geräte	11
2.1.3 Geräte mit mehreren Schaltzyklen während eines Arbeitsganges	13
2.2 Top down Modellierung	14
2.2.1 Lastprofile	14
2.2.2 Aufbereitung der Daten	16
2.2.3 Algorithmus	21
2.2.4 Quasi periodische Geräte	25
2.2.5 Nicht periodische Geräte	27
2.2.6 Ergebnisse	30
2.2.7 Probleme bei der Erkennung von Geräten und deren Grenzen	43
2.3 Alternative Modellierung über Klassifizierungen	45
2.3.1 Klassifizierung	47
2.3.2 Ergebnis	49
2.4 Fazit	51
3 Demand Side Management	53
3.1 Theoretische Hintergründe	54
3.2 Technische Potentiale	55
3.3 Soziale Akzeptanz	56
3.4 Geräte	59
3.5 Haushaltlast vs. PV-Erzeugungsprofil	61
4 Schlussfolgerungen	70
5 Literaturverzeichnis	72

1 Einleitung

Die Energieversorgung von Haushalten wird heutzutage durch ein gewachsenes zentrales Energiesystem gewährleistet, das heißt ein großes Netz an Kabeln und Leitungen überträgt zu jedem Zeitpunkt genauso viel Energie zu den Endkundinnen und Endkunden, wie diese benötigen. Die Endkundinnen und Endkunden genießen dabei eine große Freiheit, sie können jederzeit so viel Energie beziehen wie sie möchten, ohne den Energieversorger zu informieren. Die Energie wird dabei von großen einzelnen Kraftwerken erzeugt – dabei kommt ein sehr hoher Anteil der Energie aus nicht erneuerbaren Energiequellen. Aus Rücksicht auf die Natur und auf die nachfolgenden Generationen gibt es nun Bestrebungen, einen neuen Weg in der Energieversorgung zu gehen: erneuerbare Energiequellen müssen eingebunden werden. Eine solche Implementierung bringt aber ganz wesentliche Probleme mit sich. Viele erneuerbare Energiequellen haben nicht die Flexibilität die man von, zum Beispiel, fossilen Energieträgern gewohnt ist. Eine Photovoltaikanlage kann nur dann elektrische Energie liefern, wenn die Sonne scheint, hingegen ein GuD-Kraftwerk kann auch in der Nacht in Betrieb sein. Dieses Problem kann dadurch gelöst werden, dass der Endverbraucher auf Teile seiner Freiheit verzichten müsste umso seinerseits einen Beitrag zur regenerativen Energieversorgung zu leisten. Dazu ist es aber notwendig Informationen über die Zeitverläufe der Geräte der Endverbraucherinnen und Endverbraucher zu haben. Damit ließen sich effektive Maßnahmen zur Implementierung abschätzen und auch planen.

Dies führt uns zur zentralen Fragestellung dieser Masterarbeit: Wie kann man die Information über die einzelnen Gerätelastprofile gewinnen, wenn lediglich die Gesamtlastprofile des Haushalts zur Verfügung stehen? Weiteres stellt sich die Frage, ob sich aus dieser Information heraus eine Art „Demand Side Management“ entwickeln lässt, das spezielle Geräte nur zu „günstigen“ Zeitpunkten in Betrieb nimmt? Wenn wir auf den Luxus verzichten, Strom zu beziehen, wann immer wir es wollen und dagegen spezielle Energiedienstleistungen nur dann beziehen, wann immer wir eine erneuerbare Energiequelle zur Verfügung haben, ist dann eine einfache Implementierung eines regenerativen Energiesystems möglich?

Bisher wurde die Frage der Laststeuerung von Energieversorgungsunternehmen lediglich nur in Hinsicht auf die Netzstabilität berücksichtigt – Stichwort Demand Response (wikipedia). Weicht die Netzfrequenz um nur einige wenige Zehntel-Hertz ab, so muss Last und/oder Erzeugung geändert werden, um so Schaden vorzubeugen. Es gibt bei manchen Energieversorgungsunternehmen die Möglichkeit während der Nacht für Heizung und

Warmwasser günstigeren Strom zu beziehen (Wienenergie GmbH). Dies wird mittels Rundsteuerempfänger vom Energieversorger bei den Endkundinnen und Endkunden geschaltet. Das Energieversorgungsunternehmen möchte auf diese Art und Weise das Lastaufkommen für Zwecke der Raumheizung und Wassererwärmung in die lastärmeren Nachtstunden verschieben. Nun haben wir für einen Haushalt ein ähnliches Problem, nur dass wir keine Rücksicht auf die Netzfrequenz nehmen möchten, sondern lediglich eine eigene, autonome Energieversorgung so gut wie möglich in der Haushaltsversorgung implementieren möchten – das Netz dient lediglich zur Lieferung von Ausgleichsenergie, oder kann sogar durch einen Speicher ersetzt werden.

Die hier im Weiteren verwendeten Daten wurden im Laufe des Projektes „ADRES Concept – Konzeptentwicklung für Autonome Dezentrale Regenerative EnergieSysteme“ des Instituts für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft der TU Wien im Zuge einer Messkampagne von Frau Sara Gahemi, MSc. erhoben. Es stehen von zwei Haushalten an zwei unterschiedlichen Tagen sowohl die Gesamtlastprofile als auch Einzelgerätmessungen zur Verfügung – sprich vier Messungen insgesamt.

2 Analyse des Kundenprofils

In diesem Kapitel wird das Grundrüstzeug für die Analyse des Kundenprofils entwickelt. Der zu analysierende Haushalt verfügt über eine ganz einzigartige Ausrüstung zur Verrichtung diversester Dienstleistungen für die Bewohner. Es soll ein Algorithmus gefunden werden, der diese Analyse durchführt und dabei so allgemein wie nur möglich gehalten werden soll, damit er universell einsetzbar bleibt. Es gibt zwei prinzipielle Herangehensweisen zur Entwicklung eines solchen Werkzeugs:

- *Bottom-up* Modellierung:

Dies würde bedeuten, dass sich der Gesamtverbrauch aus der Summe aller gemessenen Einzelgeräte ergibt. Natürlich muss jedes Gerät einzelnen gemessen werden, was einen hohen Aufwand bedeutet.

- *Top-down* Modellierung:

Das bedeutet, dass aus der Kenntnis des Gesamtverbrauchs des Haushalts man auf die einzelnen Geräte durch Mustererkennung schließt. Man muss dabei lediglich die Gesamtbelastung des Haushalts messen, was einen deutlich reduzierten Aufwand bedeutet, aber auch entsprechend weniger genaue Daten in Bezug auf die Einzelgeräte produziert.

Aufgrund der einfacheren technischen Realisierung wird ein Top-Down-Algorithmus entwickelt, welcher durch eine Mustererkennung versuchen wird, Haushaltsgeräte aus einem Lastprofil zu erkennen. Das Ziel ist ein Programm, das lediglich die Messung des Gesamtlastprofils als Input benötigt, um detaillierte Aussagen über die technische Ausrüstung des Haushaltes und dessen Einsatzzeiten machen zu können. Als Vorlage für diese Methode dient eine 1999 erschienene Publikation (Linda Farinaccio, 1999). Entscheidend in diesem Paper ist die sogenannte Trainingsphase für jeden Haushalt, in dem Kriterien ermittelt werden, um Geräte zuordnen zu können. Diese Kriterien sind dann natürlich nur auf diesen Haushalt zugeschnitten, da der Haushalt über eine einzigartige Konfiguration von Geräten und Einsatzzeiten verfügt. Die Erkennungsmerkmale der einzelnen Geräte umfassen im Wesentlichen die Schaltleistung, Gerätelaufzeit und Energieverbrauch.

Bei dem hier erarbeiteten Algorithmus soll auf eine solche ausgedehnte Lernphase verzichtet werden. Für einzelne Kriterien, die ja hier auch zu erarbeiten sind, ist eine reduzierte Lernphase natürlich von zentraler Bedeutung, da diese Informationen nur so gewonnen werden konnten. Trotzdem sind die dabei erarbeiteten Kriterien nicht mehr auf einen

speziellen Haushalt zugeschnitten, sondern allgemeiner gehalten. Es soll untersucht werden, ob man Haushalte nicht viel allgemeiner betrachten kann, das heißt im Weiteren ohne eine spezielle Trainingsphase. So soll der Algorithmus nicht nur eine spezielle Waschmaschine mit einem fixen Programm erkennen, sondern als Ergebnis soll eine Gerätekategorie identifiziert werden: Zum Beispiel, handelt es sich bei der erkannten Last um einen Waschmaschinentyp, eventuell noch mit der Information über die Verschiebbarkeit des Einsatzzeitpunktes dieser.

2.1 Beschreibung der Haushaltsgeräte

Zunächst erscheint es sinnvoll, sich über das Verhalten von einzelnen Geräten Gedanken zu machen. Unter Haushaltsgeräten versteht man jene Apparate, die Aufgaben des Alltags, hauptsächlich im privaten Haushalt aber auch in Büros, übernehmen. Klassische Beispiele sind hier Waschmaschinen, Wäschetrockner, Kaffeemaschinen, Staubsauger, Fernsehapparate, Computer, aber auch Lampen, Heizstrahler, Wasserboiler und viele weitere mehr. Für die Erkennung von Haushaltsgeräten in einem Lastprofil ist es wichtig den Verlauf selbiger Geräte zu kennen. Diese Charakteristika ergeben sich durch deren Arbeitsweise. Quellen hierzu können leider nicht genannt werden, da sie schlichtweg einfach nicht existieren. In der Literatur gibt es keine Aufzeichnungen über Lastprofile von Haushaltsgeräten. Auch die Hersteller selbst verfügen entweder nicht über solche Daten, oder stellten diese leider auch nach mehrfacher Nachfrage nicht zur Verfügung. Um sich aber ein Bild von den prinzipiellen Arbeitsweisen von Haushaltsgeräten zu machen benötigt man eine „Lernphase“¹. Dabei wurden die Lastprofile speziell von einigen Geräten gemessen.

¹ In Elsevier- Energy and Buildings 30, Seiten 245 bis 259, von Linda Farinaccio und Radu Zmeuraru, erscheinen 1999 wird in diesem Zusammenhang von einer Trainingsperiode gesprochen

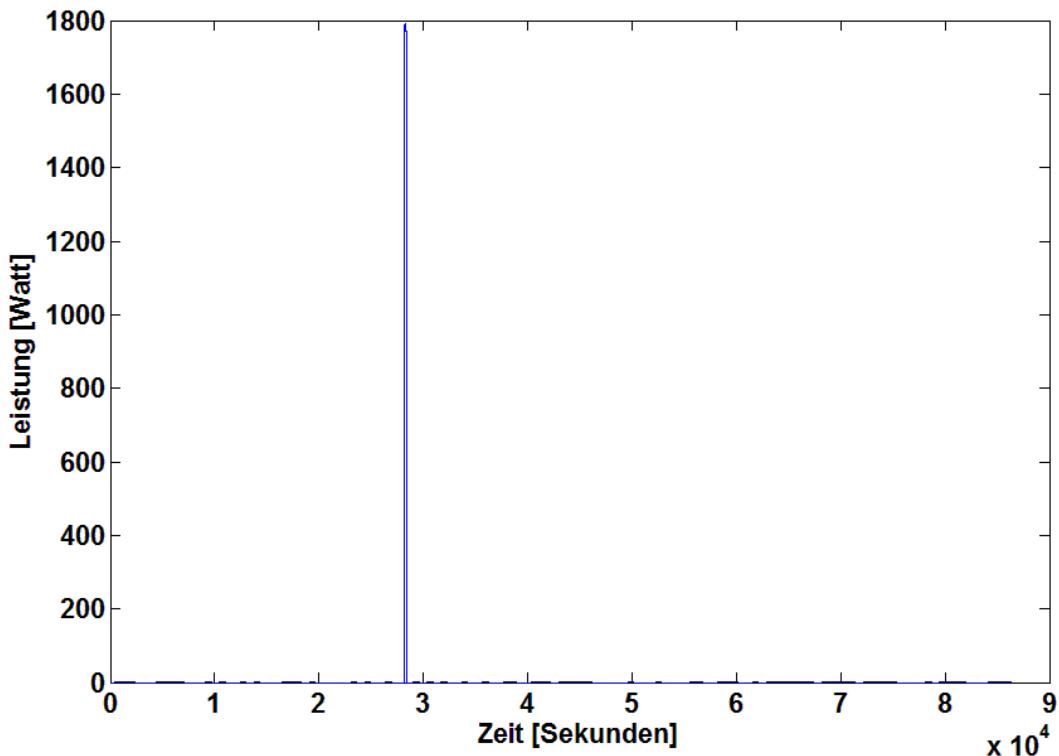


Abbildung 1: Das Lastprofil eines Wasserkochers über einen ganzen Tag. Betriebsdauer 199 Sekunden

Mit der Zeitinformation über die Lastverläufe und den dazu gemachten Einzelmessungen war eine Identifizierung der einzelnen Geräte aus dem Gesamtlastprofil leichter beziehungsweise überhaupt möglich.

Dabei haben sich grundsätzlich drei Typen von Geräten gezeigt:

- *Geräte mit einer einfachen Ein/Aus-Charakteristik*
- *Quasi periodische Geräte*
- *Geräte mit mehreren Schaltzyklen während eines Arbeitsganges*

Erschwerend kommt bei dieser Einteilung dazu, dass es Geräte gibt, die auch über verschiedene Arbeitsweisen verfügen können. Als Beispiel sei hier genannt, dass eine Waschmaschine über mehrere Programme verfügt, die einen unterschiedlichen Lastverlauf aufweisen können. Demnach wäre es sinnvoller, bei der Lastidentifizierung nicht von einem konkreten Gerät zu sprechen, sondern eher von einer Gerätekasse. Auch ist die Einteilung dieser drei Typen auch keine immerwährende statische Einteilung, da, obwohl bei den hiesigen Recherchen nicht aufgetreten, auch Mischtypen der hier vorgestellten Gerätearten vorstellbar sind.

2.1.1 Geräte mit einer Ein/Aus- Charakteristik

Geräte wie zum Beispiel Staubsauger, Espressomaschinen, Fernsehgeräte haben eine Einschaltflanke, und ziehen dann über einen bestimmten Zeitraum eine fast konstante Leistung.

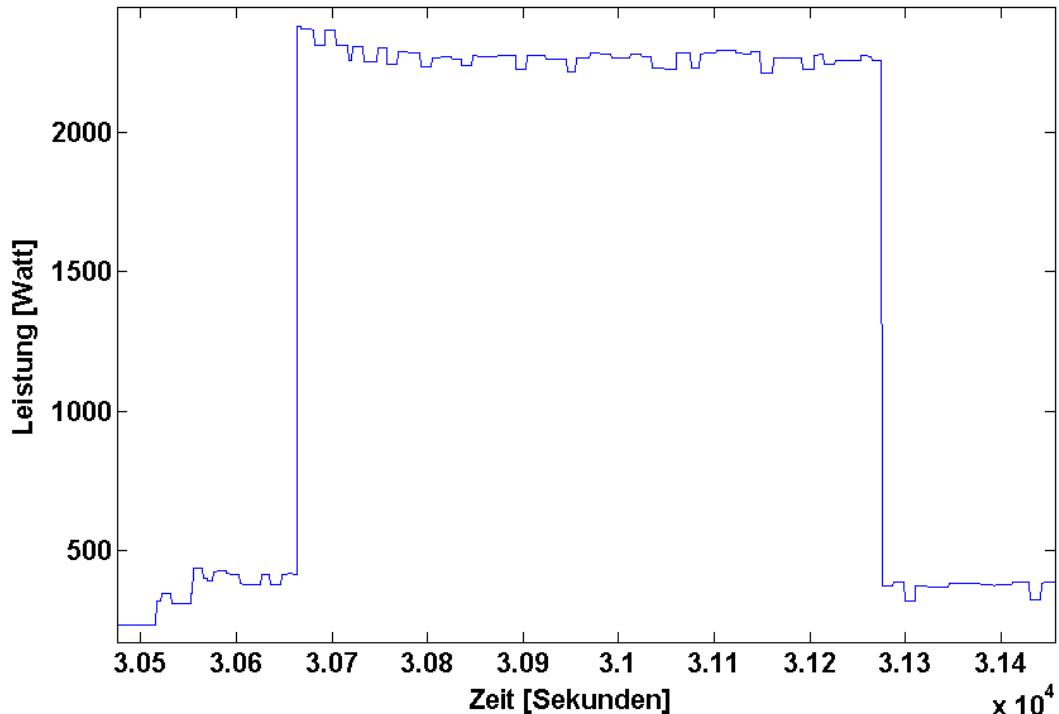


Abbildung 2: Lastverhalten eines typischen Ein/Aus- Gerätes aus einem Gesamtprofil

Die Unterscheidung solcher Geräte untereinander ist eigentlich nur über die Laufzeit und/oder über die aufgenommene Leistung möglich. Geräte mit der gleichen Laufzeit und Leistung sind nicht mehr voneinander zu unterscheiden. So hat ein typischer Heizlüfter im Badezimmer circa 2000 Watt und wird typischer Weise circa 10 Minuten betrieben. Ein Staubsauger mit derselben Leistung, auch handelsüblich bei circa 2000 Watt, wird eine ähnliche Laufzeit haben. Im Lastprofil sind dann keine Unterschiede mehr zwischen diesen beiden Geräten zu erkennen. Im Kapitel 3 wird diese Überlegung wieder eine Rolle spielen.

2.1.2 Quasi periodische Geräte

Insbesondere sind hier Geräte gemeint, die über große Zeiträume immer wieder denselben Schaltzyklus durchmachen. Zum Beispiel braucht ein Kühlschrank immer dann Leistung, wenn die Temperatur im Inneren zu hoch wird. Dadurch, dass immer wieder Wärme von

außen in den Kühlschrank eindringt, wird dieses immer wieder auftreten. Durch die nahezu konstante Zimmertemperatur werden die Zeitspannen zwischen den Arbeitszyklen fast immer gleich lang sein – deswegen quasi periodisch. Die Geräte haben natürlich keine exakte Periodendauer. Diese ändert sich je nach Höhe der Außentemperatur, hineinströmen von warmer Luft beim Öffnen oder durch das Einkühlen warmer Speisen im Kühlschrank.

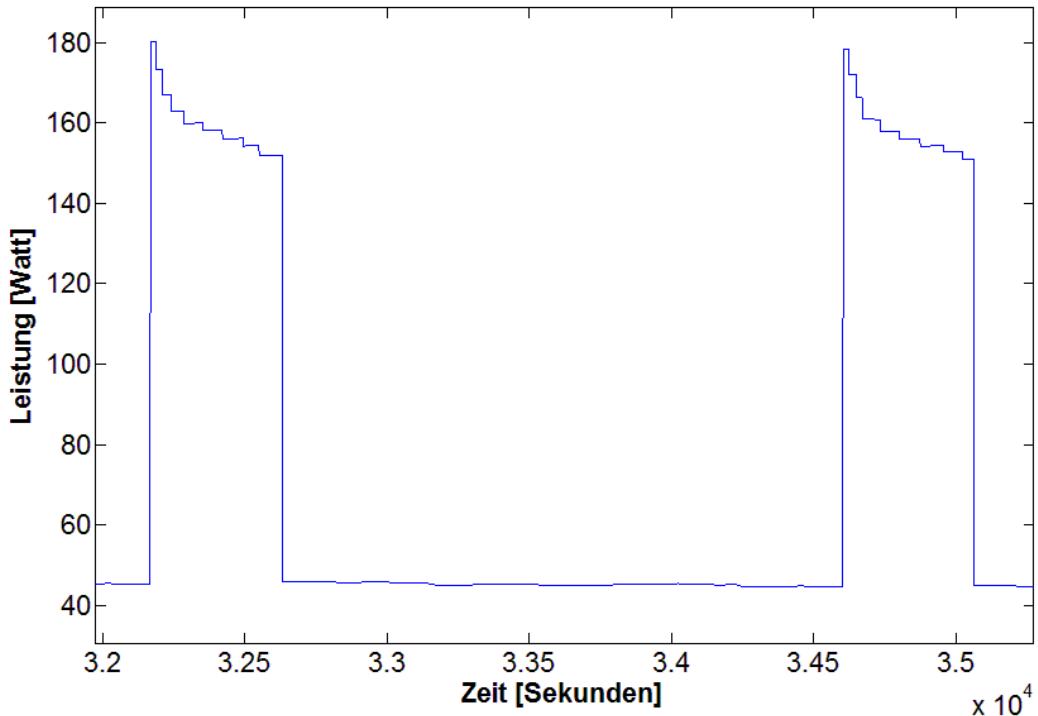


Abbildung 3: Lastverhalten eines quasi periodischen Gerätes(Kühlschrank). Man erkennt das „periodische“ Auftreten ein und desselben Lastverlaufes aus einem Gesamtlastprofil

Bei der Betrachtung fällt ein typisches Merkmal des Kühlschranks auf, nämlich, dass die Einschaltflanke 20 Prozent höher ist, als die Ausschaltflanke. Gleiches gilt natürlich auch für Gefriergeräte. Typischerweise haben Kühlgeräte heutzutage einen Leistungsverbrauch von 60 bis 300 Watt.

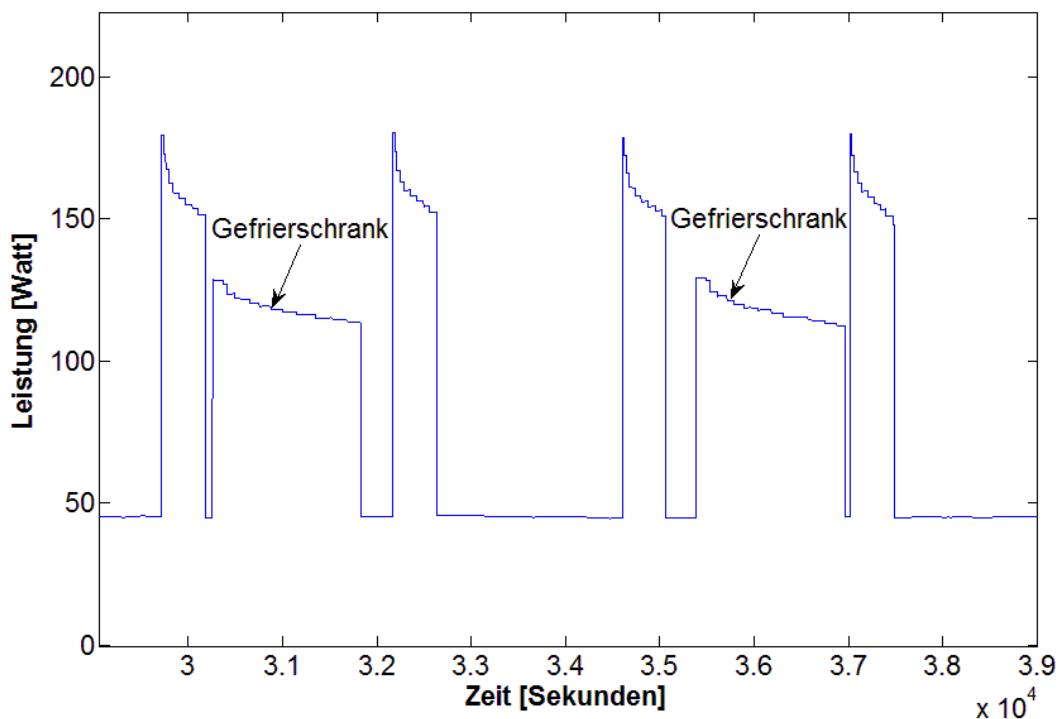


Abbildung 4: Gefrierschranklastgang eingebettet zwischen je 2 Kühlschranklastverläufen aus einem Gesamtlastprofil

Im Weiteren sprechen wir hier über periodische Ereignisse, periodische Events und auch Periodendauern, obwohl es sich hierbei natürlich nicht um echte periodische Vorgänge im üblichen Sinn handelt.

2.1.3 Geräte mit mehreren Schaltzyklen während eines Arbeitsganges

Diese Gerätegruppe hat typischer Weise eine klar begrenzte Laufzeit, wie Geräte mit einer Ein/Aus- Charakteristik, aber haben viele Schaltspiele in Ihrem Verlauf:

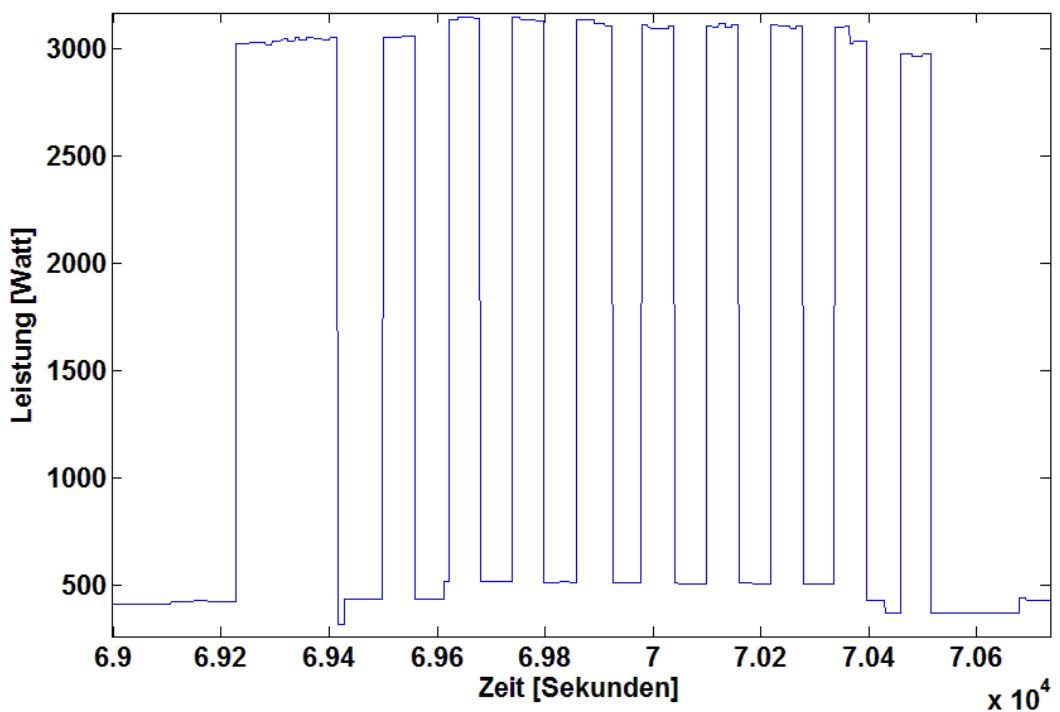


Abbildung 5: Lastverlauf eines Geschirrspülers aus einem Gesamtlastprofil

Typischerweise handelt es sich dabei um einen Geschirrspüler, oder andere Geräte mit mehreren, alternierenden Arbeitsschritten. Beim Geschirrspüler sind es drei Vorgänge die sich während des Betriebs abwechseln, nämlich die Warmwasserbereitung, Frischwasserpumpe und die Schmutzwasserpumpe (Wikipedia).

2.2 Top down Modellierung

Mit dem gewonnenen Wissen über die einzelnen Gerätetypen kann man jetzt anfangen Lastprofile von Haushalten zu untersuchen. Man wird der Top-down Vorgehensweise deswegen gerecht, weil man aus dem Lastprofil eine Information herausarbeitet und zu identifizieren versucht. Eine Bottom-Up-Methode würde einzelne, schon bekannte Muster heranziehen und versuchen, diese dann im Gesamtlastprofil zuzuordnen. Zunächst wird jedoch noch kurz auf die vorhandenen Daten eingegangen.

2.2.1 Lastprofile

Die nachfolgende Grafik stellt ein gemessenes Lastprofil für einen Haushalt für einen ganzen Tages dar. Die x-Achse hat die Zeitauflösung von Sekunden, sprich sie beginnt bei einer Tageszeit von 0 Uhr 0 Minuten und 0 Sekunden mit 0 und endet bei 23 Uhr 59 Minuten und 59 Sekunden mit dem Wert 86400. Auf der y-Achse ist die jeweilige aufgenommene Leistung des Haushalts aufgetragen.

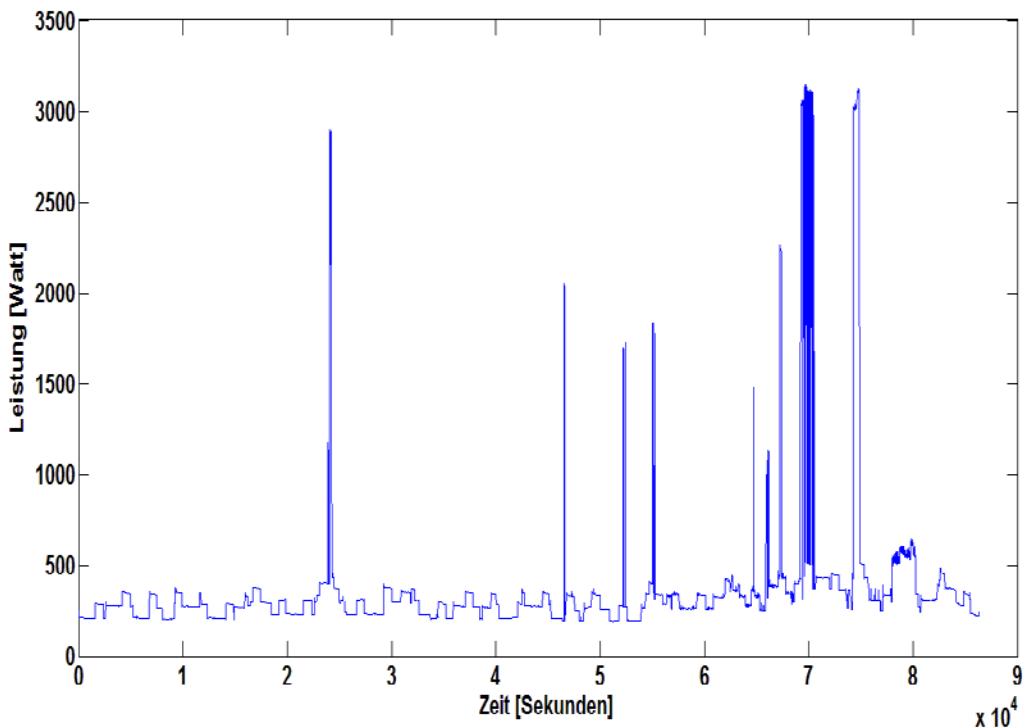


Abbildung 6: Lastprofil eines Haushaltes über einen ganzen Tag

Um Missverständnissen vorzubeugen, sei erwähnt, dass es sich in Abbildung 6 um keinen kontinuierlichen Verlauf handelt, sondern um diskrete Punkte zu jeder ganzen Sekunde. Trotzdem wird wegen des anschaulicheren Charakters die vorliegende Darstellung gewählt.

Als Erstes erkennt man einen Offset im Lastprofil, was bedeutet, dass die sich die Absolutwerte des Profils aus der echten Schaltflanke und eben diesem Offset zusammensetzen. Der Offset kommt als die Summe von kleinen Leistungen zustande, zum Beispiel durch die Stand-by-Modi verschiedener Geräte.

Es kann nicht angenommen werden, dass dieser Offset über den Betrachtungszeitraum konstant bleibt. In der Abbildung 6 beträgt der Offset im Durchschnitt fast 40 Watt – das entspricht an einem Tag einer Energiemenge von 0,96 kWh. Zum Vergleich, das ist die gleiche Energiemenge die eine handelsübliche Waschmaschine, ohne spezielle Energiesparmaßnahmen, für einen Waschgang von 6 kg Baumwolle bei 60° Celsius benötigt².

²Vergleiche <http://www.siemens-home.com/at/produksuche/wäschepflege/waschmaschinen-frontlader/ergebnis/list.html> Stand 23.06.2011

Was in Abbildung 6 auch gut zu sehen ist, sind die eindeutigen Spitzenlasten, wenn Verbraucher mit hoher Leistungsaufnahme aktiv sind. Diese Spitzenleistungen treten über den Tag verteilt nur ganz kurz auf. Man wird auch später sehen, dass diese Spitzenlast sehr hoch ausfallen kann, was bei der Versorgung natürlich eine große Rolle spielt. Solche Verbraucher sind typischer Weise Waschmaschinen, Geschirrspüler, Trockner, aber auch Staubsauger, Kaffeemaschinen und Heizlüfter. Erstere haben auch relativ lange Betriebsdauern, von bis zu mehreren Stunden.

Ein weiteres Merkmal aus Abbildung 6 sind die kleinen, immer wiederkehrenden kleinen Spitzen in recht kurzen Zeitabständen. Hierbei kann man feststellen, dass es Verbraucher mit geringer Leistungsaufnahme gibt, die nahezu periodisch ihren Betrieb aufnehmen. Obwohl sie nur relativ geringe Spitzenleistungen haben, so haben sie sicher die meisten Schaltspiele pro Tag. Typische Beispiele für solche Geräte wären hierfür Kühl- und Gefriergeräte.

2.2.2 Aufbereitung der Daten

Eine Möglichkeit ein Elektrogerät zu identifizieren ist über das Verhalten. Das Verhalten ist die Änderung der Momentanleistung, auf Grund der zeitlichen Abfolge von verschiedenen Funktionen innerhalb des Gerätes – zum Beispiel durch den abwechselnden Betrieb einer Pumpe und eines Heizstabes. Diese Änderungen machen sich als kurze steile Flanken in den Gesamtlastprofilen bemerkbar. Interessant für die weiteren Betrachtungen sind jetzt die Höhen dieser Änderungen. Aus dem Lastprofil des Haushalts wird nun die Information über die einzelnen Lastsprünge gewonnen. Dazu wird lediglich der Unterschied zwischen zwei benachbarten Werten gebildet:

$$B[i] = A[i+1] - A[i]$$

Von dem Lastprofil aus der Abbildung 6 gewinnt man dadurch eine Darstellung nur mit Ein- und Ausschaltflanken. Die positiven Leistungsänderungen sind Einschaltvorgänge und die negativen sind dann Ausschaltvorgänge. Diese Leistungsänderungen werden im Weiteren auch als Schaltflanken, oder als Flanken bezeichneten.

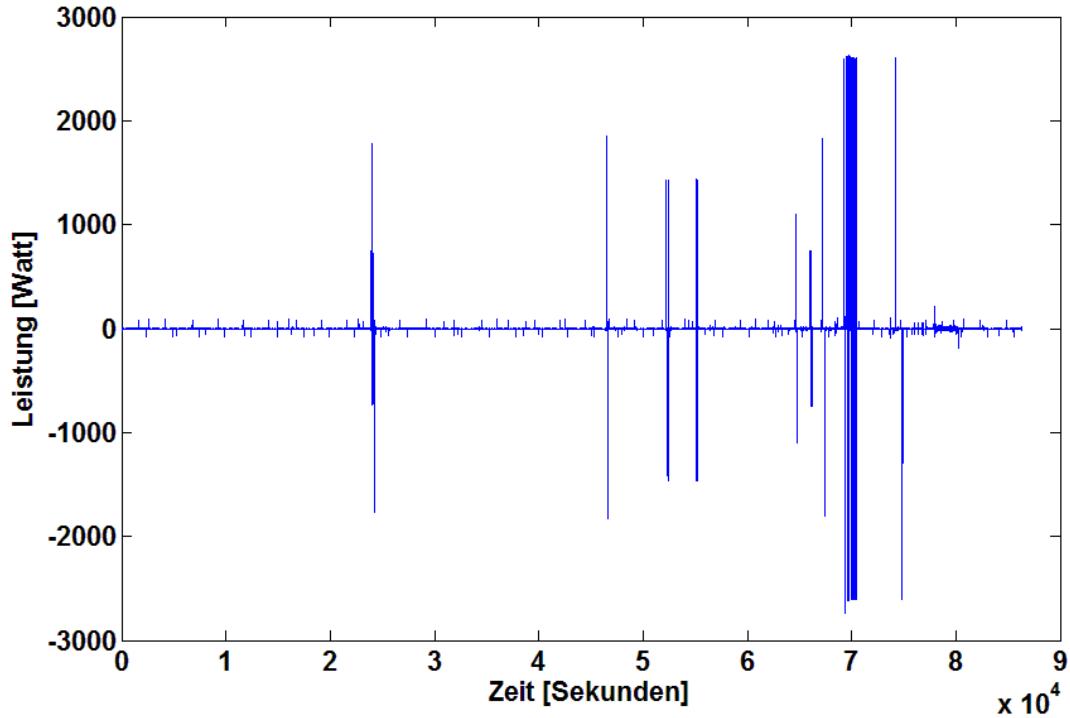


Abbildung 7: Leistungsänderungen aus Abbildung 6

Bei diesem Verfahren wird der Leistungsoffset eliminiert und übrig bleiben die reinen Schaltflanken. Bei 40 Watt, wie in unserem Beispiel, spielt das für die Zuordnungsproblematik keine weitere Rolle – ein 40 Watt Offset führt zu keiner Verwechslung zwischen zwei Geräten, da es sehr unwahrscheinlich ist, dass es zwei Geräte in einem Haushalt gibt, die die gleiche Charakteristik haben und nur so einen geringen Leistungsunterschied aufweisen. Anders wäre das bei einem Leistungsoffset von 300 Watt aus: Ein Staubsauger mit 1700 Watt würde dann leicht mit einem Heizlüfter, klassisch circa 2000 W, verwechselt werden, da auch die Einsatzdauern ähnlich sind – darum ist die Bildung der Laständerungen wichtig. Abbildung 7 ist nun eine spezielle Darstellung des Lastprofils aus Abbildung 6. Diese Darstellungsform wird nun als Deltareihe bezeichnet, da sie die zeitlich korrekte Reihenfolge der positiven und negativen Leistungsänderungen sehr gut beschreibt.

Bevor man mit der Analyse beginnt, ist es notwendig, die Deltareihe zu korrigieren. Dieser Verlauf ist ja willkürlich aus einer Ereigniskette herausgeschnitten, was bedeutet, dass es scheinbar nichtkausale Zusammenhänge geben kann. Zum Beispiel kann es passieren, dass es im Anfangsbereich des Lastprofils eine hohe Abschaltflanke gibt, ohne eine entsprechende Einschaltflanke. Das liegt daran, dass die Einschaltflanke nicht erfasst wurde, da sie vor dem

Erfassungsstartzeitpunkt aufgetreten ist. Trotzdem muss die „falsche“ Flanke gelöscht werden, um Fehler zu vermeiden. Das Pendant dazu ergibt sich gegen Ende des Lastprofils. Ein Gerät, das gegen Ende des Lastprofils eingeschalten wird und erst nach Ende der Messung wieder abgeschaltet wird, kann nicht als gültiger Event gewertet werden. Als Konsequenz müssen solche Flanken aus dem Profil entfernt werden.

Als nächstes kann man jetzt Zuordnungen treffen. Sofern man einen kausal gültigen Zusammenhang zwischen Ein- und Ausschaltflanke findet, kann man ab nun in diesem Zusammenhang von einem „Event“ sprechen. Abbildung 8 zeigt dazu ein Beispiel.

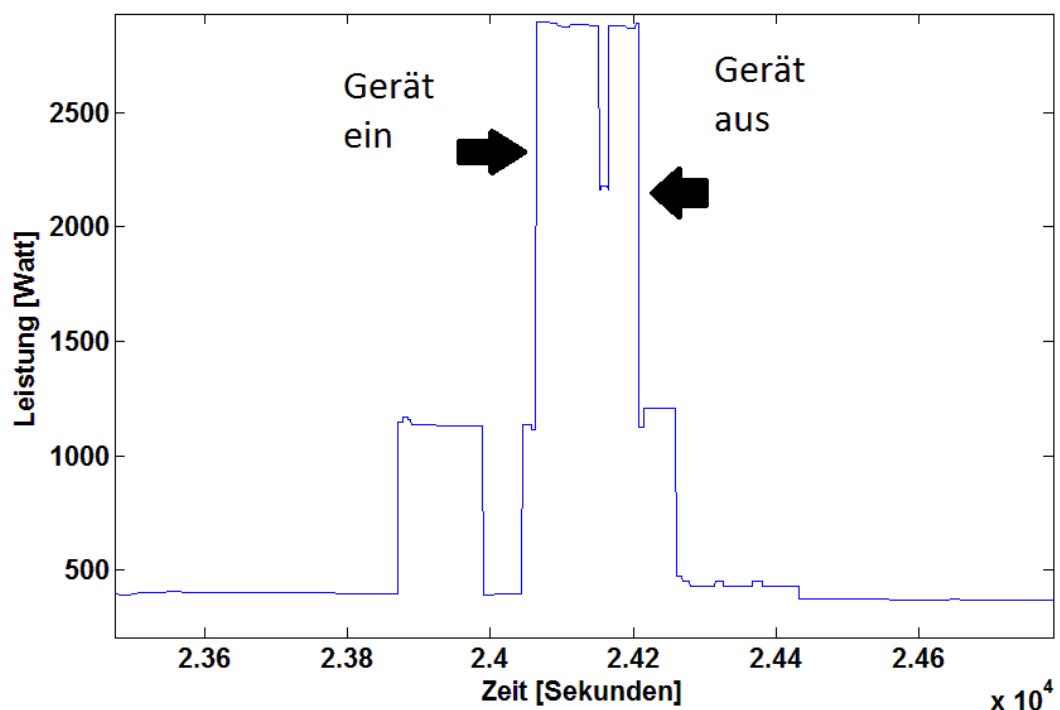


Abbildung 8: Beispiel für mehrere Geräte die teilweise gleichzeitig in Betrieb sind, aus einer Gesamtlastprofil

Als Deltareihe hätte dann der Lastgang aus Abbildung 8 die Form dargestellt in Abbildung 9.

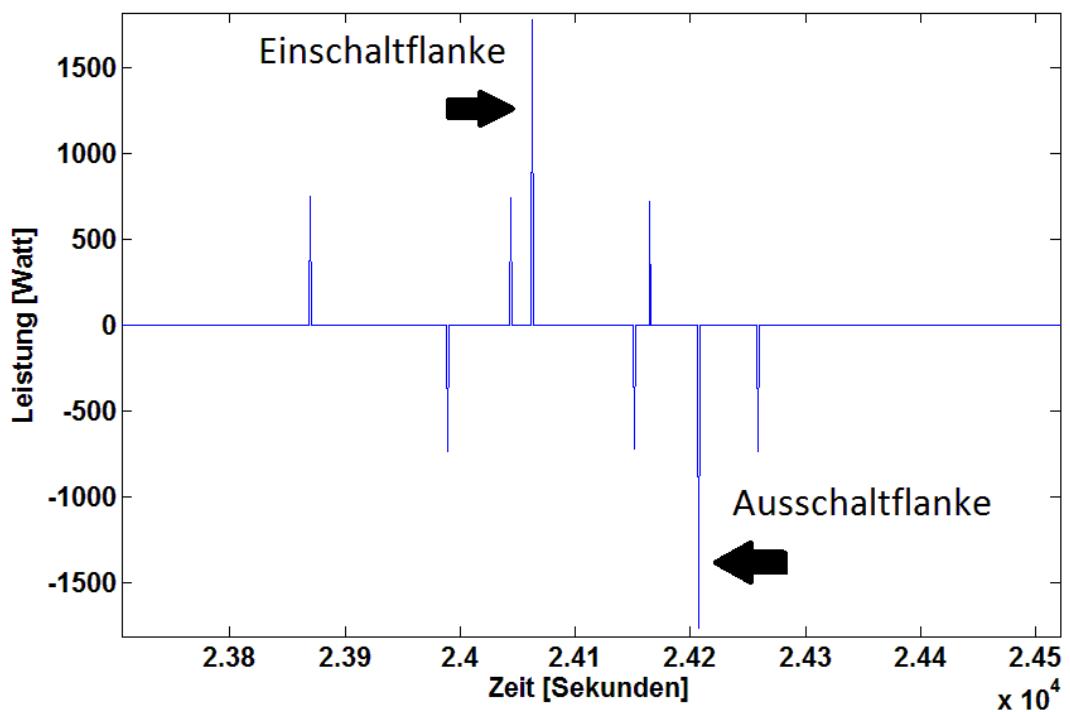


Abbildung 9: aus Abbildung 8 gewonnene Deltareihe

Der Algorithmus sollte jetzt erkennen, dass Ein- und Ausschaltflanke circa gleich groß sind. Das ist die Grundvoraussetzung für einen Event. Ganz analog verläuft die Suche bei periodischen Events. Abbildung 10 gibt ein Beispiel für zwei regelmäßig auftretende Geräte, gemessen aus einem Gesamtlastprofil.

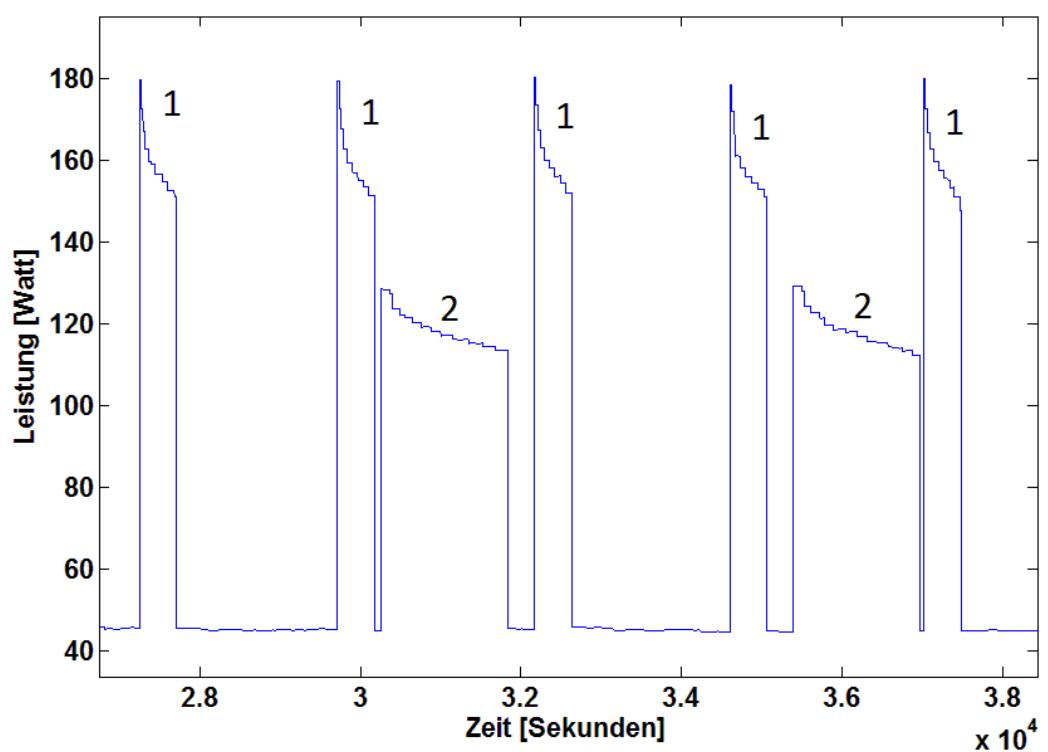
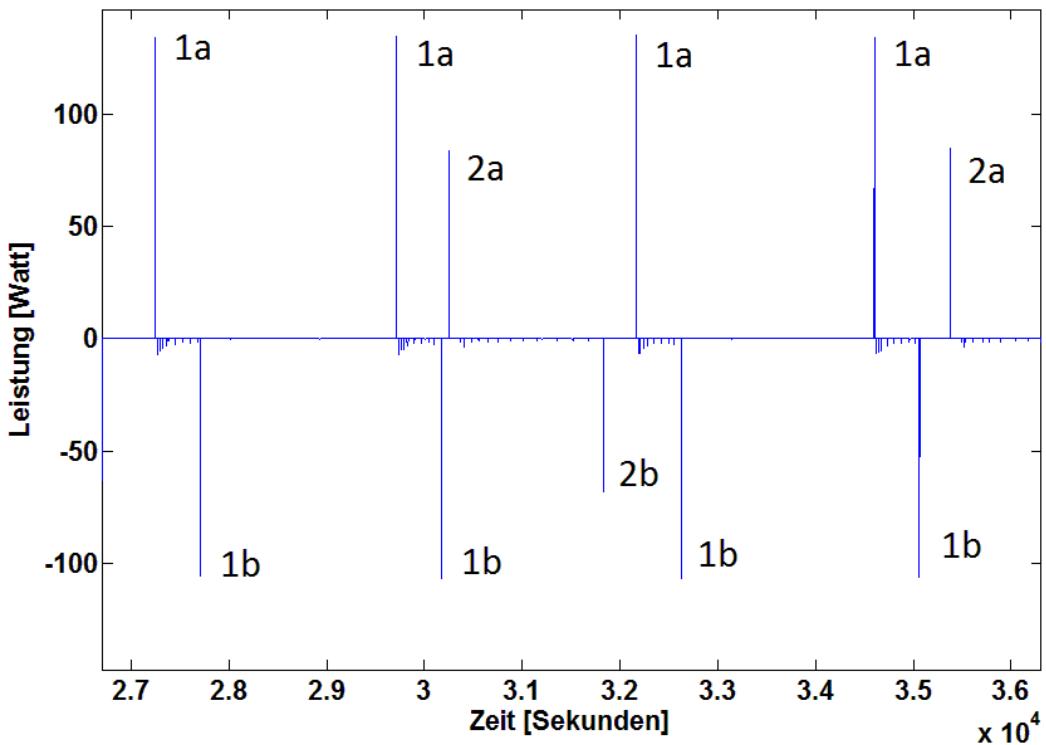


Abbildung 10 : Gesamtlastprofil mit zwei Geräten. 1 ist die Kennzeichnung für einen Kühlschrank; 2 die für den Gefrierschrank

Die entsprechende Deltareihe zeigt Abbildung 11.



**Abbildung 11: Deltareihe des Lastprofiles dargestellt in Abbildung 10 1a-
Einschaltflanke Kühlschrank; 1b- Ausschaltflanke Kühlschrank; 2a- Einschaltflanke
Gefrierschrank; 2b- Ausschaltflanke Gefrierschrank**

Aus dem Lastprofil wird nun erkannt, dass es mehrere Einschaltflanken gibt, die ähnliche Höhen haben. Dazu existieren auch jeweils Ausschaltflanken mit 80 prozentiger, negativer Höhe der Einschaltflanke. Bei der Erfüllung dieser Voraussetzungen sprechen wir hier von einem periodischen Event. Die Bedingung, dass die Ausschaltflanke nur 80 Prozent der Einschaltflanke betreffen soll, ist ein Vorgriff auf Kapitel 2.2.4 – der Identifizierung von Kühlgeräten, da man ja nicht annehmen darf, dass alle quasi periodischen Geräte ein solches Verhalten aufweisen. Es hat sich im Rahmen dieser Masterarbeit aber als praxistauglich erwiesen, da während der Recherchen keine anderen, günstigeren Verhaltensweisen ermittelt werden konnten. Dies stellt eine Beschränkung der Allgemeinheit dar und muss bei veränderter Sachlage natürlich korrigiert werden. Für die Belange dieser Masterarbeit ermöglicht diese Annahme aber die schnelle Identifizierung von Kühl- und Gefriergeräten.

Der nächste Abschnitt beschäftigt sich mit der Suche nach Geräten in den detektieren Events.

2.2.3 Algorithmus

Der Algorithmus ist wie folgt aufgebaut.

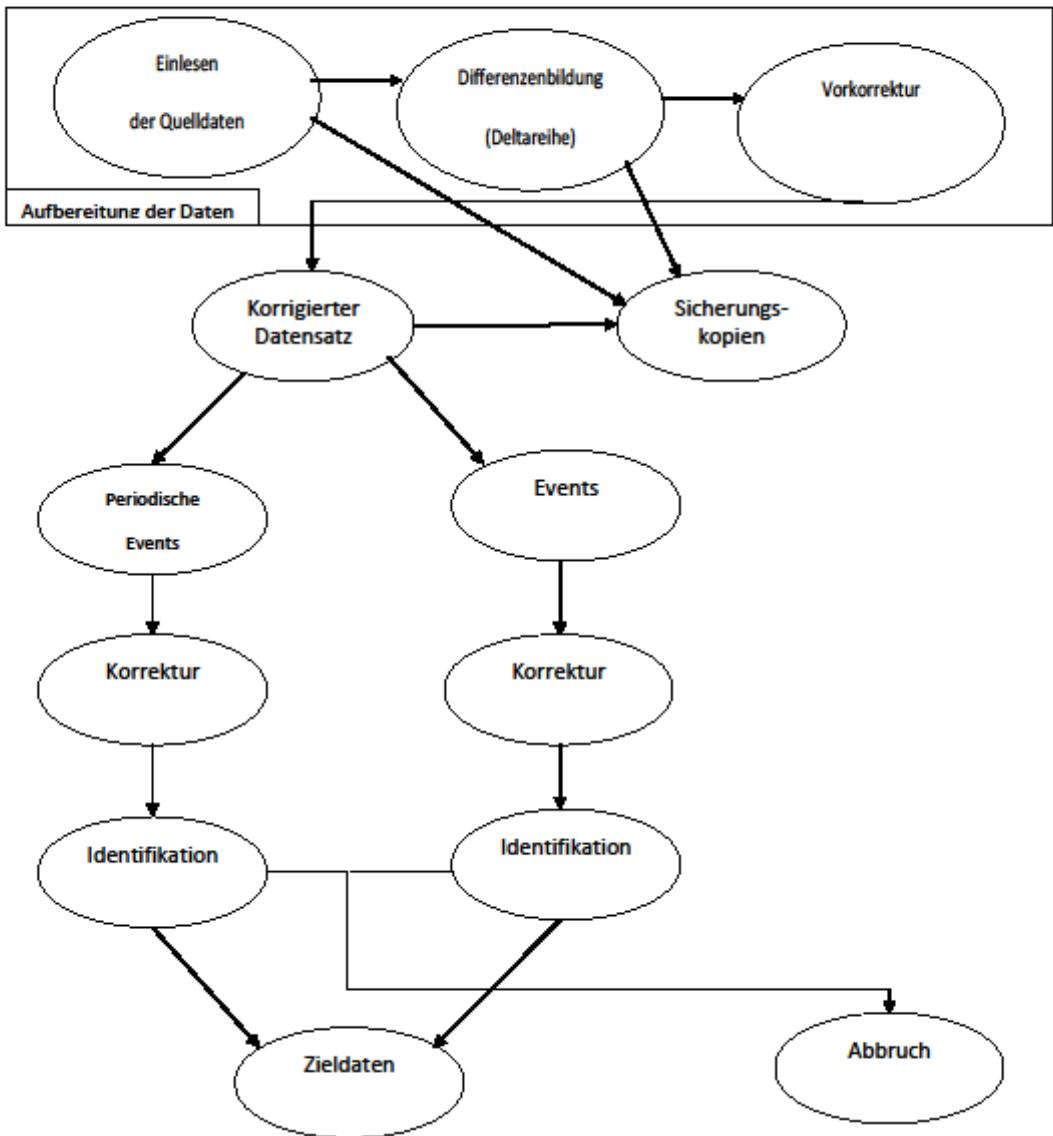


Abbildung 12: Schema des Algorithmus

Der erste Teil spiegelt die Aufbereitung der Daten wieder, wie es in Abschnitt 2.2.2 beschrieben wurde. Wie man hier erkennen kann, ist die weitere Vorgangsweise im Wesentlichen auf zwei Wege aufgeteilt: Zum einen wird nur nach periodischen Geräten gesucht, zum anderen wird nach Geräten der anderen Klassen gesucht. Die Eventfindung wird für periodische Events und nichtperiodische getrennt durchgeführt. Bei nicht periodischen Events geht man wie folgt vor:

Taucht nun eine Flanke auf, so wird ein neues Event begonnen (eröffnet), mit Einschaltzeitpunkt und Einschaltleistung. Taucht zeitlich danach eine tolerierbar ähnliche

Ausschaltleistung auf, das heißt im Bereich ± 10 Prozent und folgt in einem bestimmten Abstand danach auch keine ähnliche Ausschaltflanke mehr, kann das Event dann mit den Informationen über Ausschaltzeitpunkt, Ausschaltleistung und eventuellem Flankenverlauf, zwischen Ein- und Ausschaltzeitpunkt, dann geschlossen werden, das eröffnete Event wird dann zu einem geschlossenen Event. Alle geschlossenen Events können nach Fehlerkorrekturen identifiziert werden – Abschnitt 2.2.5.

Für periodische genügt es für den Anfang, alle ähnlicher Beträge, egal wann diese auftreten, zu suchen und zu speichern. Dabei geht man so vor, dass man einfach die erste Flanke im Bereich 40 bis 300 Watt als Vorlage nimmt, und alle folgenden im Bereich ± 10 Prozent mitspeichert. Wird eine Flanke gespeichert, so muss sie aus der Deltareihe gelöscht werden, um mehrfache Nennungen in unterschiedlichen Events zu vermeiden. Die dann notwendigen Korrekturen werden in Abschnitt 2.2.4 genauer beschrieben. Periodische Events haben als Ergebnis folgendes Aussehen, dargestellt in Abbildung 13 und Abbildung 14.

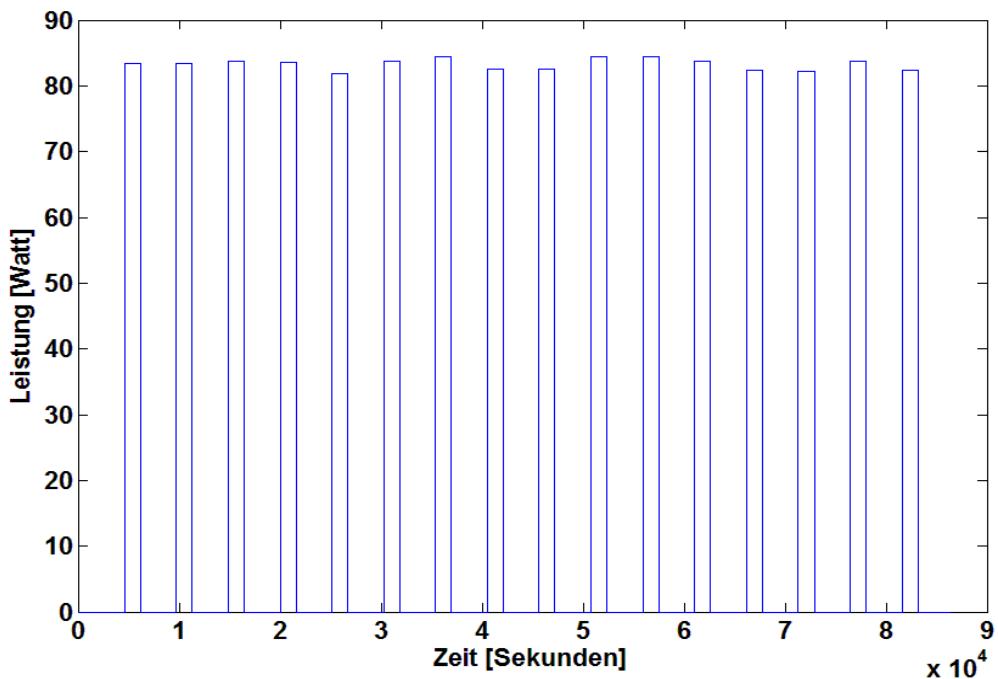


Abbildung 13: Lastprofil eines Kühlschranks über einen ganzen Tag

Variable Editor - ergebnis.Periodisches_Ereignis_1

Stack: Base

ergebnis.Periodisches_Ereignis_1 <1x1 struct>

Field	Value	Min	Max
Geraete	'Kuehlschrank/Gefrierschrank'		
orig_Flanken_Verlauf	<86399x2 double>	-107.6000	136.2000
Periodenabstaende	<35x1 double>	2349	2518
Betriebsdauer	<36x1 double>	457	484
Statistik	[465.8056,5.2253;2.4145e+03,43.3246]	5.2253	2.4145e+03
Flankenanzahl	[36,36]	36	36
Zeitpunkte_und_Ablaufreihenfolge	<72x2 double>	-107.6000	85170
genauer_Verlauf	<86399x1 double>	-107.6000	136.2000

Abbildung 14: Ergebnisdatenlayout

Das Ergebnis umfasst Informationen über den originalen Flankenverlauf, Periodenlängen- die Zeitabstände zwischen den einzelnen Einschaltflanken, die Reihenfolge der Ein- und Ausschaltflanken für die Fehlerkorrektur, Betriebsdauern, ebenso die Anzahl von Ein- und Ausschaltflanken und Erwartungswert und Standartabweichung der Periodenlängen und Betriebsdauern.

Alle anderen Events haben hingegen das Aussehen das in Abbildung 15 und Abbildung 16 dargestellt ist.

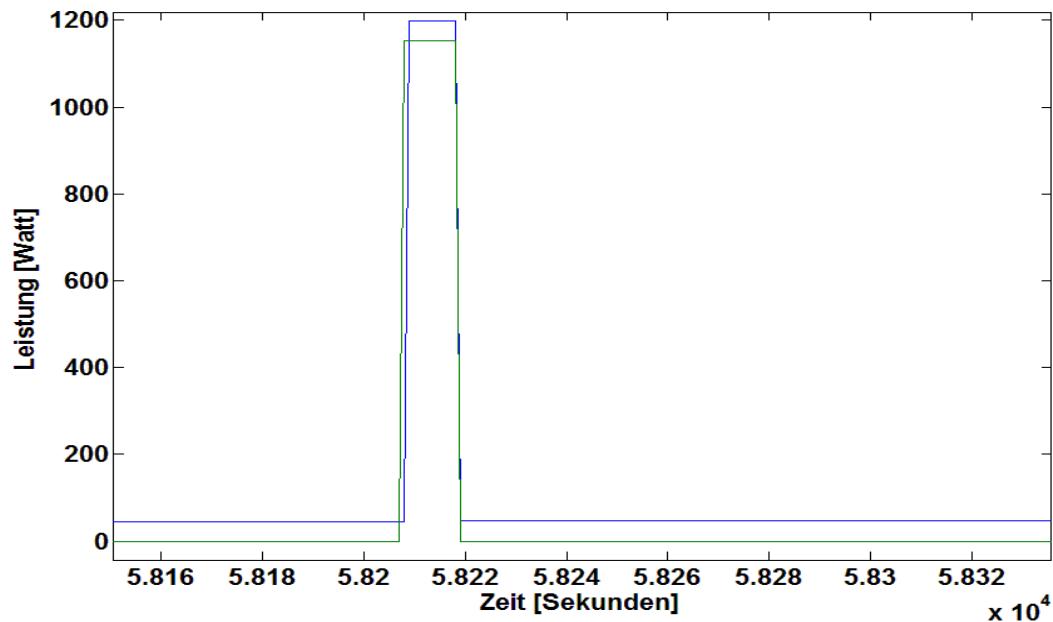


Abbildung 15: in blau das originale Lastprofil, in grün das vom Algorithmus detektierten Events

Field	Value	Min	Max
Einschaltleistung	[1.1526e+03;1.2125e+...	1.1489...	1.2125...
Einschaltzeitpunkt	[58208;58416;58446;5...	58208	58469
Ausschaltleistung	[-1.1516e+03;-1.2125...	-1.212...	-1.151...
Ausschaltzeitpunkt	[58218;58436;58459;5...	58218	58489
genauer_Verlauf	<8x2 double>	-1.212...	58489
dauer	[-10;-20;-13;-20]	-20	-10
abstaende	[208;30;23]	23	208

Abbildung 16: Ergebnisdatenlayout

Hier werden Informationen über Einschaltzeitpunkt und Einschaltleistung, sowie Ausschaltzeitpunkt und Ausschaltleistung gespeichert. Zusätzlich wird noch der gesamte Flankenverlauf dazwischen gespeichert, da sich ja auch um mehrere Schaltspielen handeln könnte. Bei mehreren Schaltspielen werden auch die zeitlichen Abstände der Schaltspielen erfasst, sowie alle Ein- und Ausschaltzeitpunkte.

All diese Informationen sind nötig, um die Plausibilität der Identifikation zu bestätigen oder zu widerlegen.

2.2.4 Quasi periodische Geräte

Bei periodischen Geräten verläuft die Suche nun wie folgt: Da wir bei quasi periodischen Geräten von Kühl- und Gefriergeräten ausgehen können, welche genauer in Kapitel 2.1.2 beschrieben wurden, treffen wir zunächst die Annahme, dass Kühlgeräte hauptsächlich im Leistungsbereich von 40 bis 300 Watt liegen³. Alle quasi periodischen Events werden nun nach Einschaltflanken in diesem Bereich durchsucht. Dazu kann man den arithmetischen Mittelwert der Einschaltflanken jedes Events bilden und vergleichen. Als nächstes ist auf die Kausalität Wert zu legen. Da es in diesem Leistungsbereich zu sehr vielen Störungen durch andere Geräte kommen kann, muss man vorher den Event korrigieren. Ein einwandfreier Betrieb bedeutet die alternierende Folge von Ein- und Ausschaltflanken. Trotzdem kann es passieren, dass nach dem Einschalten des Kühlschranks eine weitere Einschaltflanke derselben Höhe auftaucht.

³ Vergleiche <http://www.siemens-home.com/at/produksuche/k%C3%BChlen-und-gefrieren.html> Stand: 26.06.2011

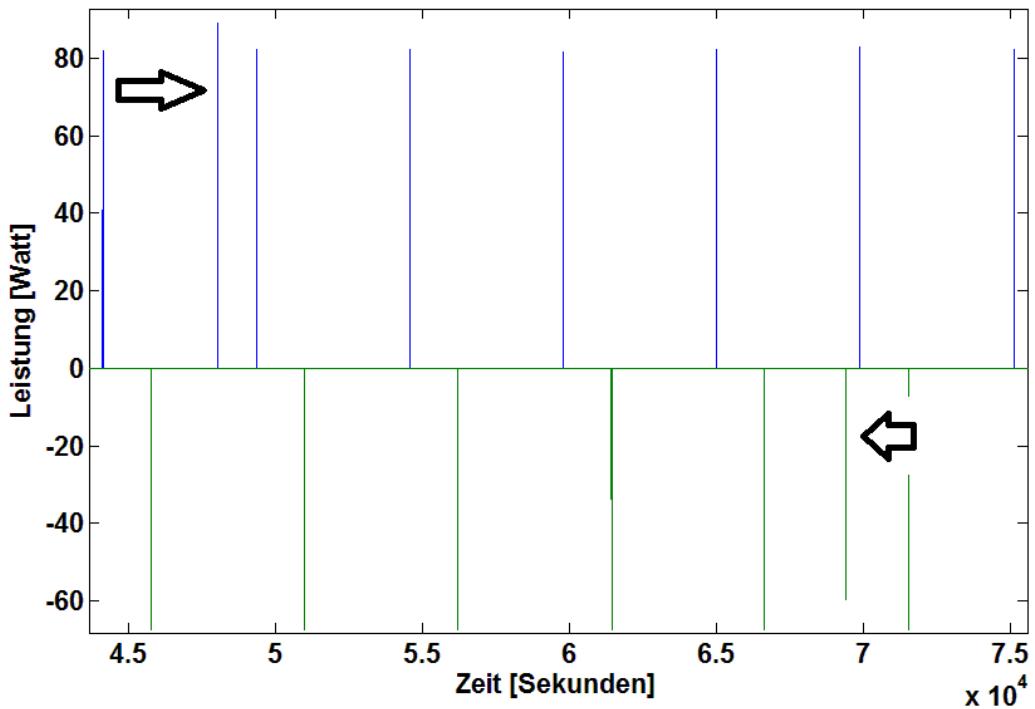
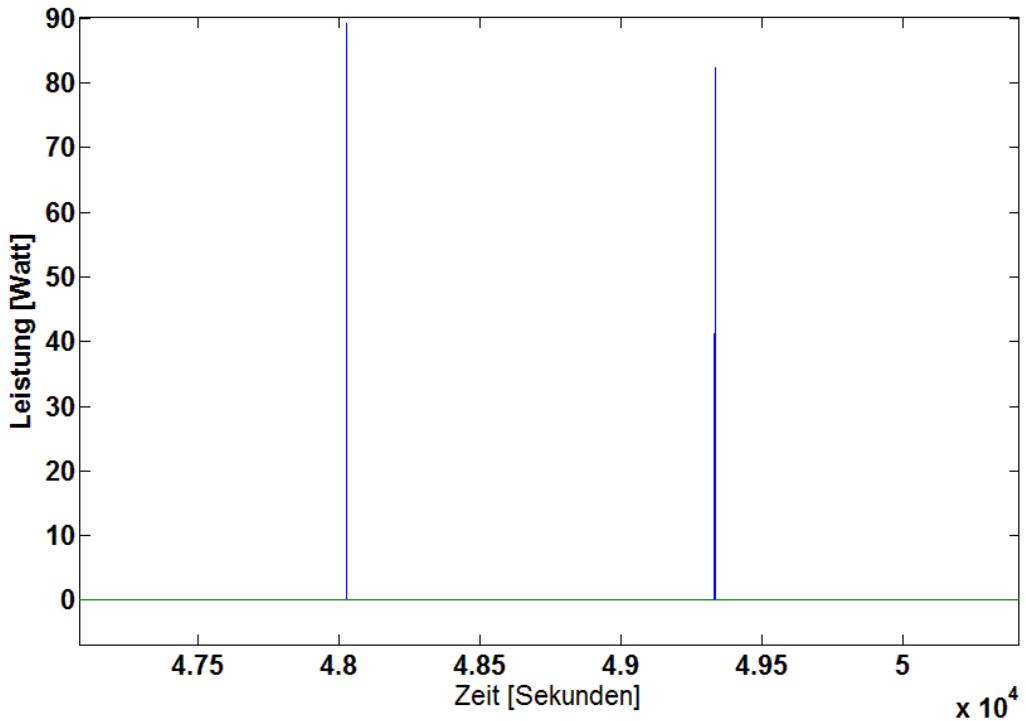


Abbildung 17: zwei aufeinanderfolgende Flanken(durch Pfeile markiert)

Dies ist möglich, da ein anderer Verbraucher kurz danach eingeschalten wurde, die Bedingung des Algorithmus erfüllt und fälschlicher Weise mit ins periodische Event aufgenommen wurde. Durch das häufige Einschalten des Kühlschranks sind solche Fehler keine Seltenheit. Durch Durchzählen der Reihe kann ein solcher Fehler erkannt und behoben werden. Bei zwei aufeinanderfolgenden gleichartigen Flanken wird einfach die vom Betrag der Höhe her, in Bezug auf den Mittelwert der anderen Flankenhöhen des Events, ähnlichere weiterverwendet und die andere gelöscht. Selbst wenn man dabei die physikalisch richtige Flanke entfernt, so spielt der Fehler aber für die weiteren Betrachtungen keine Rolle, da dadurch nur geringe Unterschiede zwischen tatsächlichem und gewählten Einschaltzeitpunkt zu erwarten sind.



**Abbildung 18: Die zwei aufeinanderfolgenden Flanken aus Abbildung 17 vergrößert.
Selbst beim Löschen der richtigen Einschaltflanke, ändert sich der Einschaltzeitpunkt
nur um circa 130 Sekunden**

Der korrigierte Verlauf kann nun zur Identifikation herangezogen werden. Waren die Korrekturen erfolgreich, hat man nun die komplette Information über das Kühl- oder Gefriergerät erhalten. Die Bedingungen, dass bei Kühl- und Gefriergeräten die Einschaltflanke um 20 Prozent höher ist, als die Ausschaltflanke, und, dass der Leistungsbereich zwischen 40 und 300 Watt liegt, sind nur Annahmen. Es ist natürlich denkbar, dass sich diese beiden Kriterien sich in Zukunft ändern können, oder vielleicht auch gar nicht mehr anwendbar sind, da dies auch eine Frage des technologischen Fortschritts sein wird.

2.2.5 Nicht periodische Geräte

Im Wesentlichen gehen wir davon aus, dass das aus dem Event zu findende Gerät eine Ein/Aus – Charakteristik hat, welche in Abschnitt 2.1.1 beschrieben wurde. Dabei handelt es sich um Geräte, bei denen es genau eine Einschalt- wie auch eine Ausschaltflanke gibt, die beide auch eine sehr ähnliche Höhe haben. Gut kann man diesen Sachverhalt in Abbildung 19 erkennen.

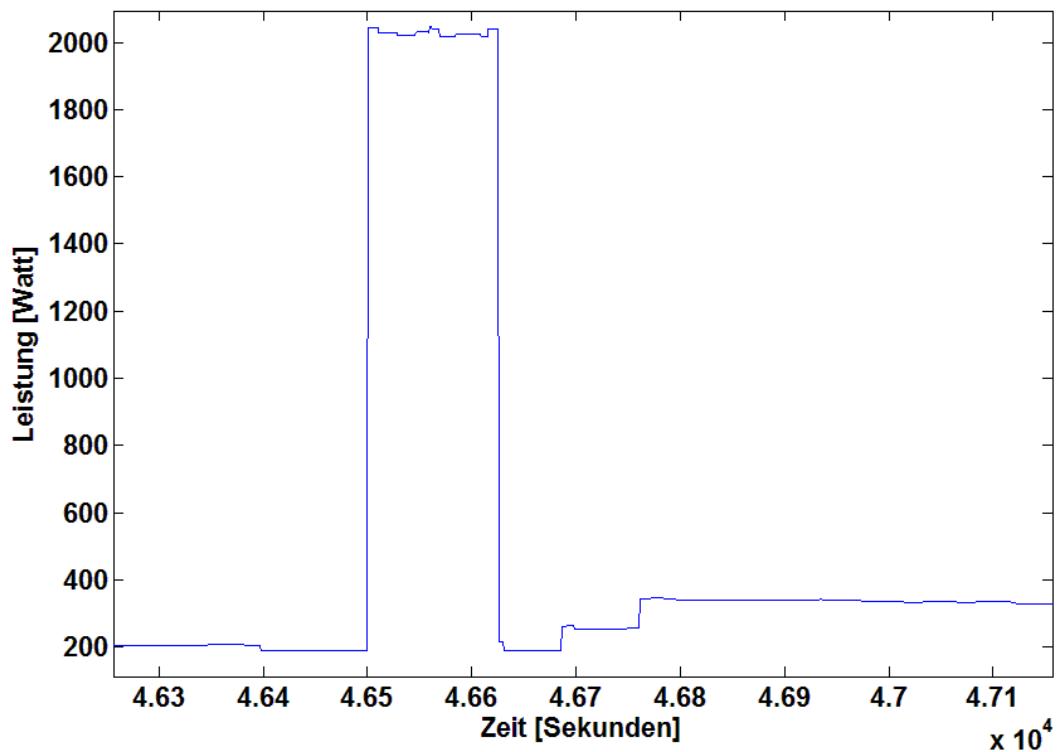


Abbildung 19: Ein/Aus Charakteristik - schlichtes Rechteck

Diese Annahme ist deswegen gerechtfertigt, da die bisherige Praxis genau diese Charakteristik gezeigt hat. Trotzdem muss auch überprüft werden, ob es sich nicht doch um ein Gerät mit mehreren Schaltzyklen handelt, wie es zum Beispiel in Kapitel 2.1.3 beschrieben ist. Der Algorithmus überprüft, ob nicht in absehbarer Zeit nach einer Ausschaltflanke, die schon einer Einschaltflanke zugeordnet ist, eine weitere Einschaltflanke kommt. Der Begriff absehbar ist deswegen so unpräzise gewählt, da genau dieser Punkt eine mögliche Schwäche des Algorithmus ist – mehr hierzu in Abschnitt 2.2.7. Folgt keine solche Flanke mehr, so kann man den Event zunächst abschließen, und sich nun auf die Suche nach einem Gerät machen.

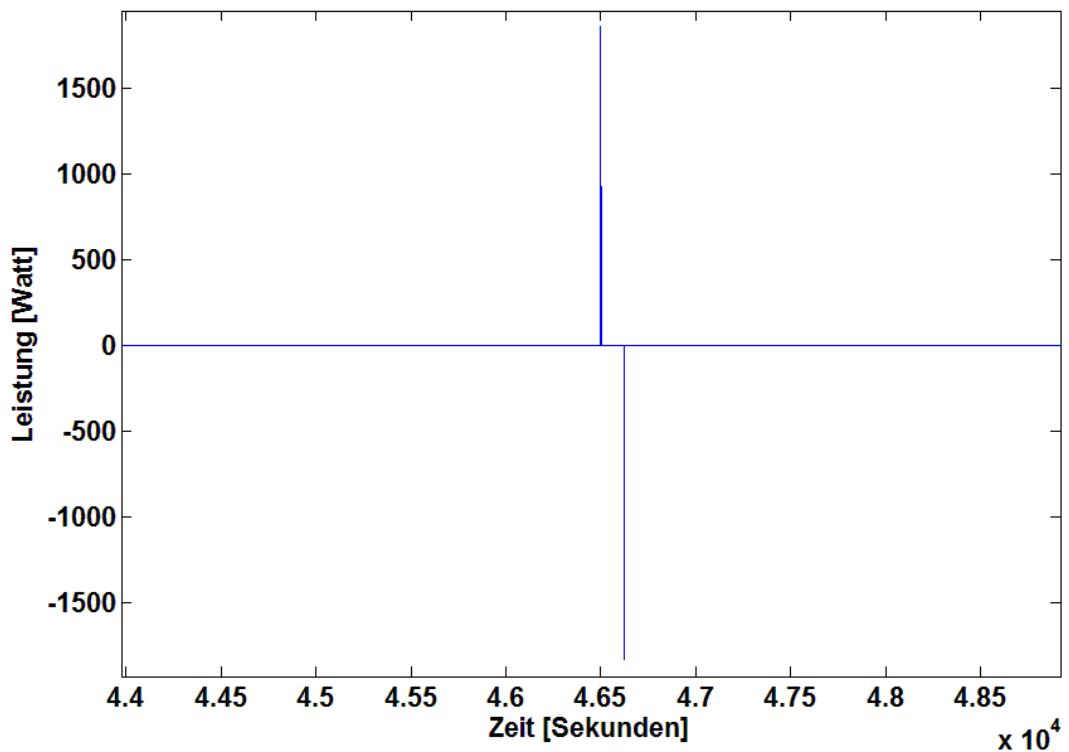


Abbildung 20: Leistungsänderungen aus Abbildung 19

Je nachdem, wie nun der genaue Verlauf aussieht, ist zunächst zu entscheiden, ob es sich nun um eine schlichte Ein/Aus Charakteristik handelt. Dies wird überprüft über die Anzahl der Ein- und Ausschaltflanken. Gibt es nur je eine, so handelt es sich klarerweise um ein Ein/Aus Gerät. Je nach Leistung und Dauer kann nun das Gerät identifiziert werden. Bei den durchgeführten Testläufen wurde dabei hauptsächlich eine Waschmaschine gesucht.

Hat das Event hingegen mehrere Ein- und Ausschaltflanken muss man das Event zunächst auf Kausalität überprüfen – es kann nur Zyklen geben, die eine abwechselnde Reihenfolge von Ein- und Ausschaltflanken hat, ähnlich wie bei quasi periodischen Geräten. Auch hier kann dann bei einer richtigen Reihenfolge, durch entsprechende Dauer und Leistung eine Zuordnung erfolgen. Eine Fehlerkorrektur, wie sie in 2.2.4 beschrieben wird, ist hier leider nicht möglich. Bei Fehlern in der Flankenfolge muss man leider das Verfahren abbrechen, da man über die weitere Identifizierung nur noch spekulieren kann. Wenn zwei ähnliche Geräte gleichzeitig arbeiten kann man die jeweiligen Einschalt- und Ausschaltzeitpunkte nicht mehr auseinanderhalten. Betriebsdauern können dabei empfindlich verfälscht werden, was auch einer Klassifizierung jede Aussagekraft rauben würde.

Im allgemeinen Fall, dass die Entscheidungskriterien für das eine oder andere Gerät nicht zu einem Ergebnis kommen, muss das Gerät als nicht identifizierbar gewertet werden- in Abbildung 12 als Abbruch gekennzeichnet. Für die Betrachtungen in Kapitel 3 spielen diese Geräte dann keine weitere Rolle, reduzieren aber dementsprechend das mögliche Potential für Demand Side Management.

2.2.6 Ergebnisse

Bei den zur Verfügung stehenden Daten konnte in fast allen Fällen die Lasten klassifiziert werden. Die getroffenen Einteilungen sind willkürliche getroffen worden, inspiriert durch Erfahrungen aus dem Einzelhandel. Leider gibt es keine Vorbildliteratur, die eine einheitliche Klassifizierung bereits vorgenommen hätte. Die hier getroffenen Annahmen treffen aus das Gros der „üblichen“ Haushaltsgeräte (SATURN Internet Redaktion) 2011 zu.

2.2.6.1 Haushalt 1

Dieser Haushalt wurde am 25. März 2010 vermessen.

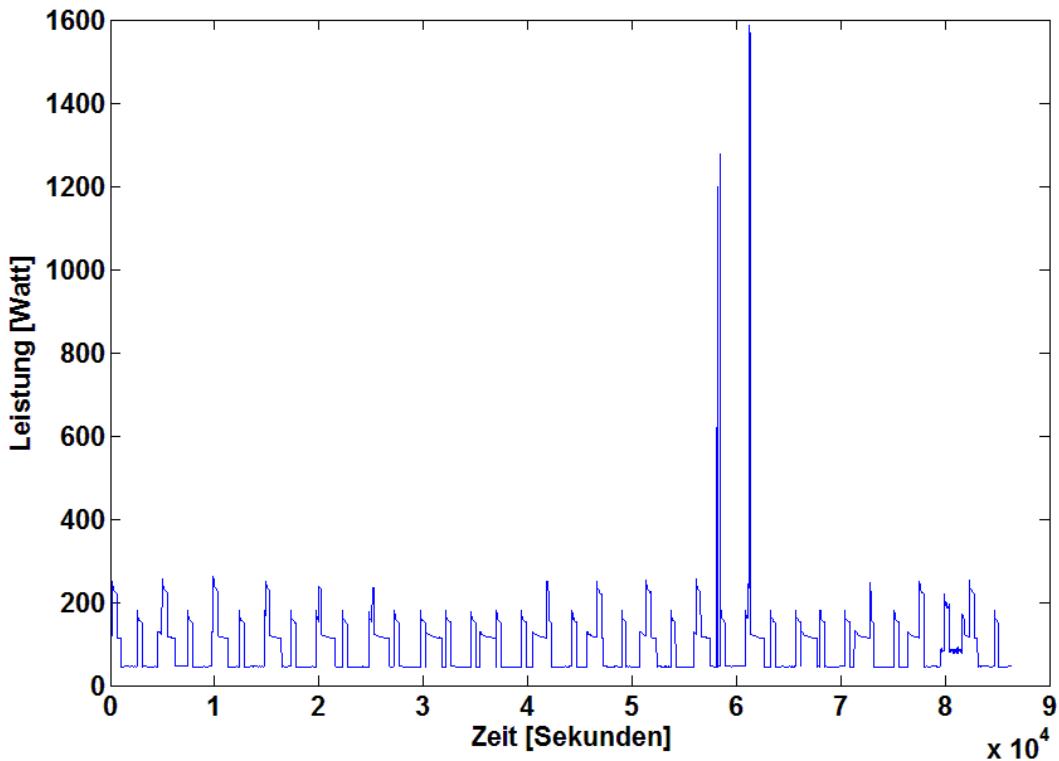


Abbildung 21: Lastprofil des Haushalts 1 zum angegebenen Datum

Durch den Algorithmus wurden alle aktiven Geräte gefunden und identifiziert, was durch die Einzelmessungen bestätigt werden konnte. Geräte die sich in einem Stand-by Modus befinden, haben zwar auch einen Leistungsverbrauch, dieser ist aber für die Betrachtungen

hier nicht charakteristisch genug, um für die Geräteidentifizierungen bedeutend zu sein. Deswegen werden kleine Leistungsänderungen in der Analyse ausgespart. Abbildung 22 zeigt die Lösungsgraphen des Algorithmus.

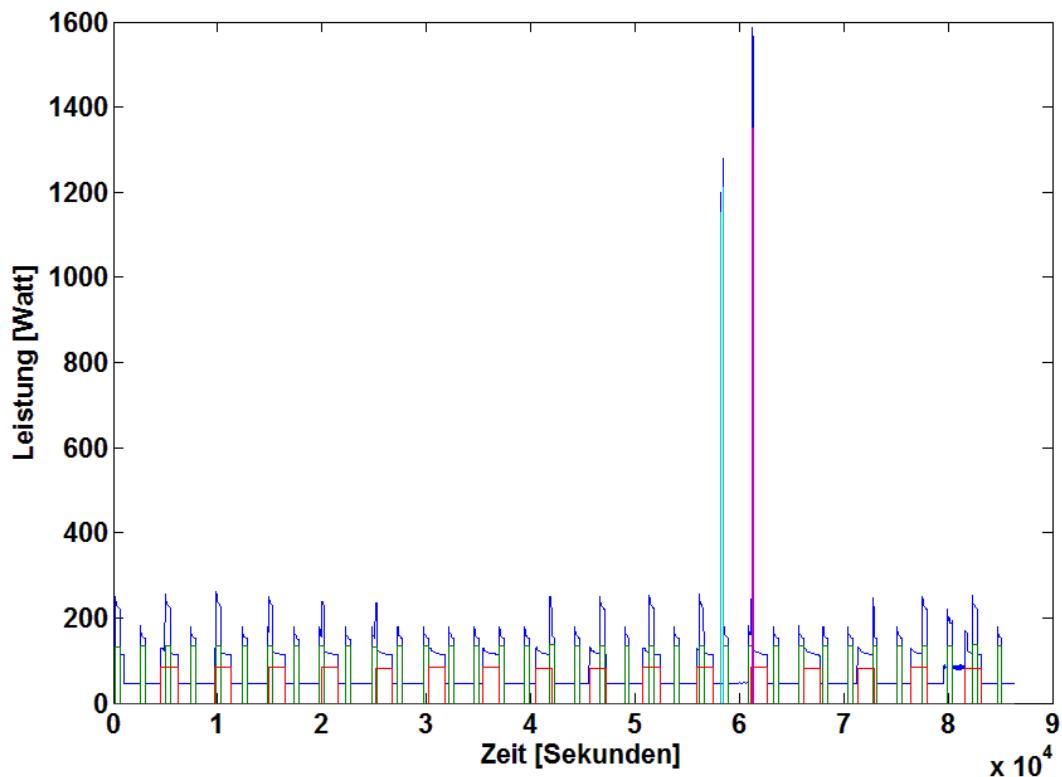
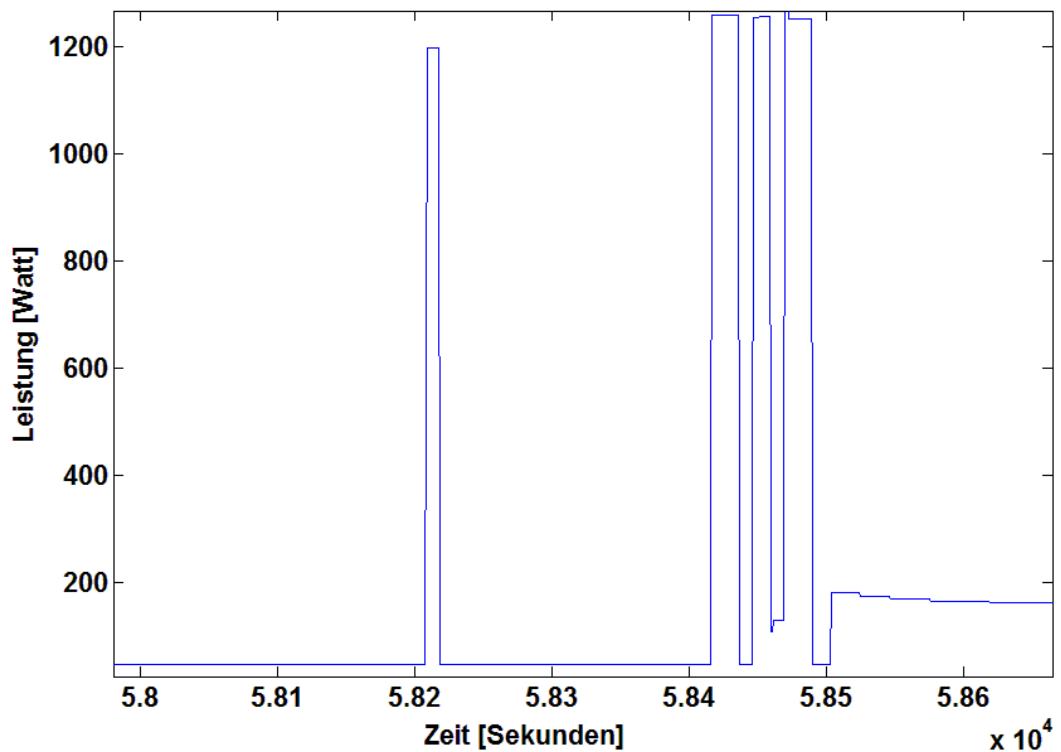


Abbildung 22: Lösung des Algorithmus mit Abbildung 21 als Input –
blau: Gesamtleistung; grün: Kühlschrank; rot: Gefrierschrank;
türkis: Kaffeemaschine; pink: Haushaltsgerät

In diesem Profil sind ein Kühl- und ein Gefriergerät im Einsatz. Die erste hohe Spitze von links ist ein Gerät mit mehreren Schaltzyklen, in diesem speziellen Fall eine Kaffeemaschine, detailliert dargestellt in Abbildung 23.



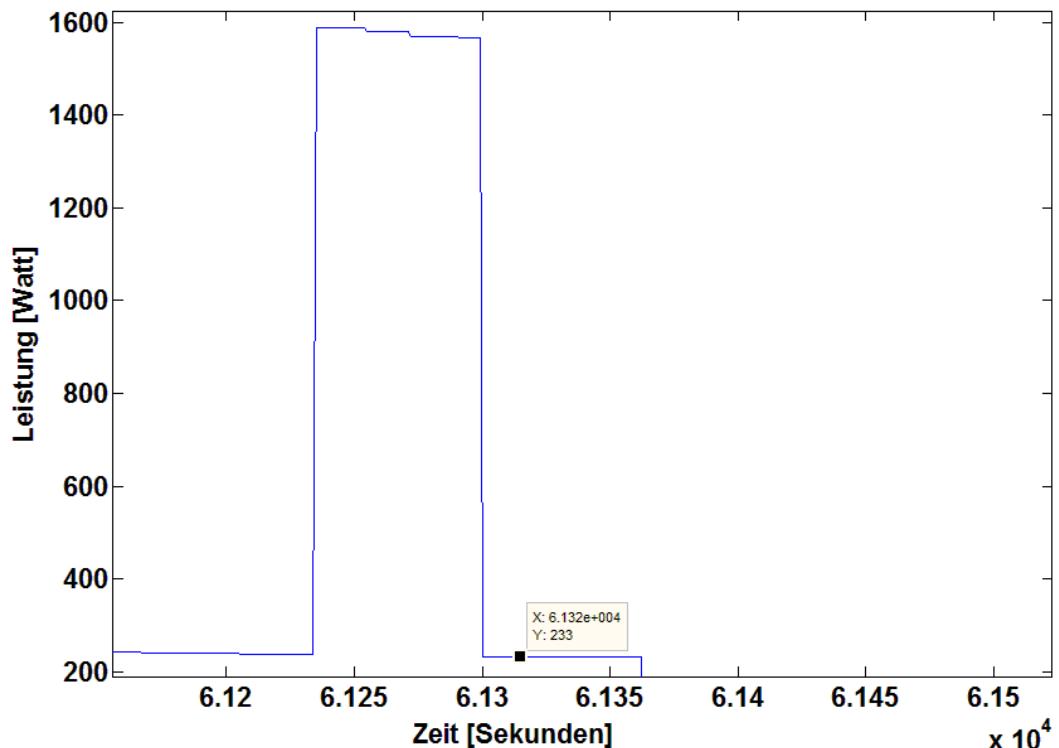


Abbildung 24: Rasierapparat, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 21

Der Algorithmus ist nicht soweit ausgereift, dass man das Gerät Abbildung 24 genau als Rasierapparat identifizieren kann. Es ist auch in Wirklichkeit nicht möglich, durch die hier gefundenen Informationen eine solch genaue Identifikation durchzuführen. Prinzipiell genügt es zu wissen, dass es sich hierbei nur um ein kleines Haushaltsgerät handeln kann. Die Einsatzzeiten sind kurz, die Leistung ist meist unter 2000 Watt. Beispiele dafür wären Bügeleisen, Handmixer, Rasierapparate, Stabmixer oder Saftpressen.

2.2.6.2 Haushalt 2

Dieser Haushalt wurde am 20. August 2010 vermessen.

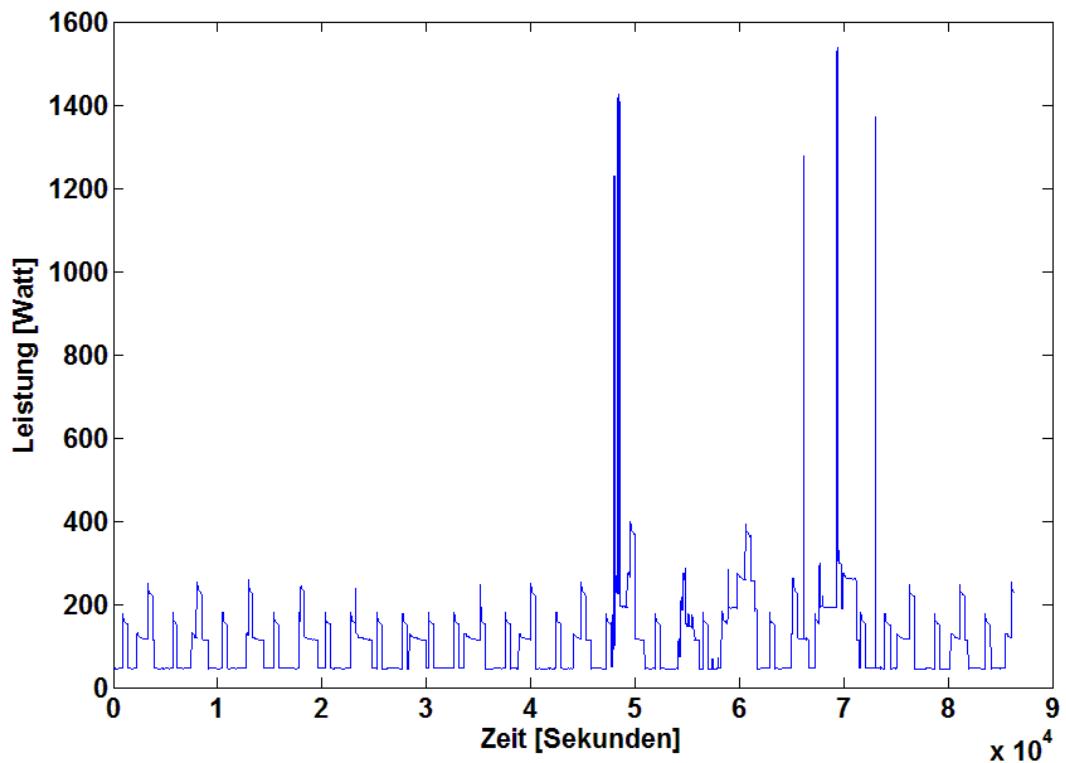


Abbildung 25: Lastprofil des Haushalts zum angegebenen Datum.

Auch hier sieht man ganz deutlich das Kühl- und das Gefriergerät kontinuierlich über den ganzen Tag arbeiten. Von links gesehen ist die erste hohe Spitze wieder ein Gerät mit mehreren Schaltzyklen. Eine genauere Auflösung bietet Abbildung 26.

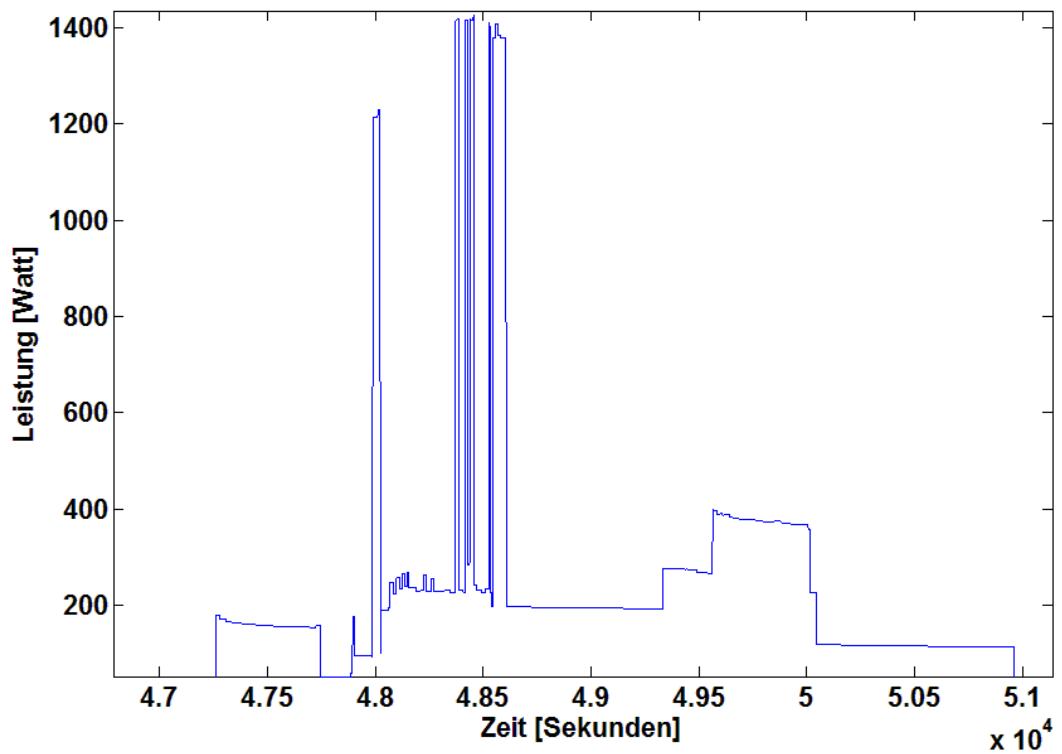


Abbildung 26: Spitze links, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 25

Geht man im Lastprofil weiter von links nach rechts, so tauchen weitere hohe Lastspitzen auf, wie in Abbildung 27 zu sehen ist.

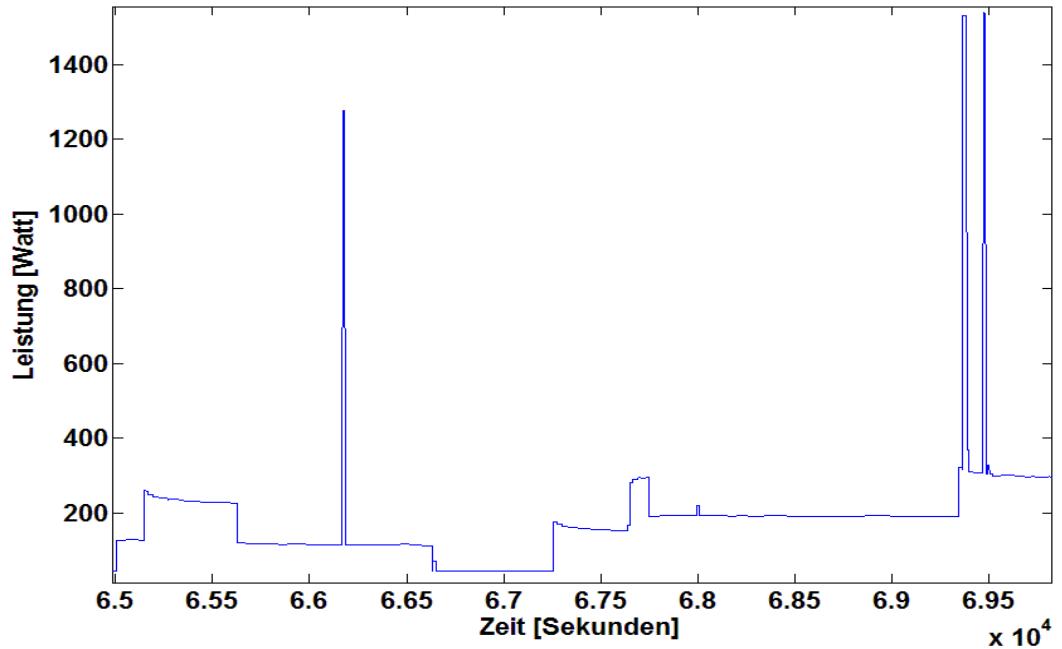


Abbildung 27: Die folgenden zwei Nadeln, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 25

Da die Flanken aus Abbildung 26 und Abbildung 27 in der Leistung praktisch gleich hoch sind, liegt der Verdacht nahe, dass es sich dabei um dasselbe Gerät handeln könnte. Die Einzelmessungen bestätigen, dass es sich dabei um ein und dasselbe Gerät handelt – eine Kaffeemaschine. Die letzte Lastspitze aus Abbildung 25 ist dann ein anderes Gerät – ein Rasierapparat, der in Abbildung 28 genauer dargestellt ist.

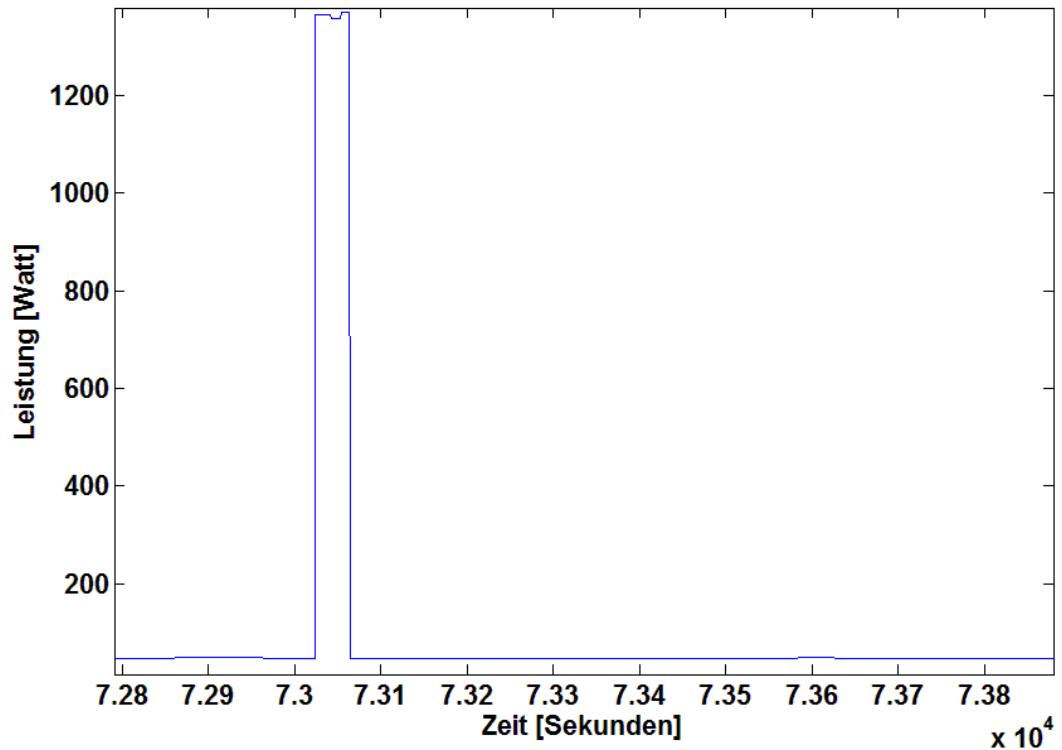


Abbildung 28: Gerät mit einer Ein/Aus- Charakteristik, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 25

Zum Vergleich werden noch die Lösungsgraphen in Abbildung 29 dargestellt.

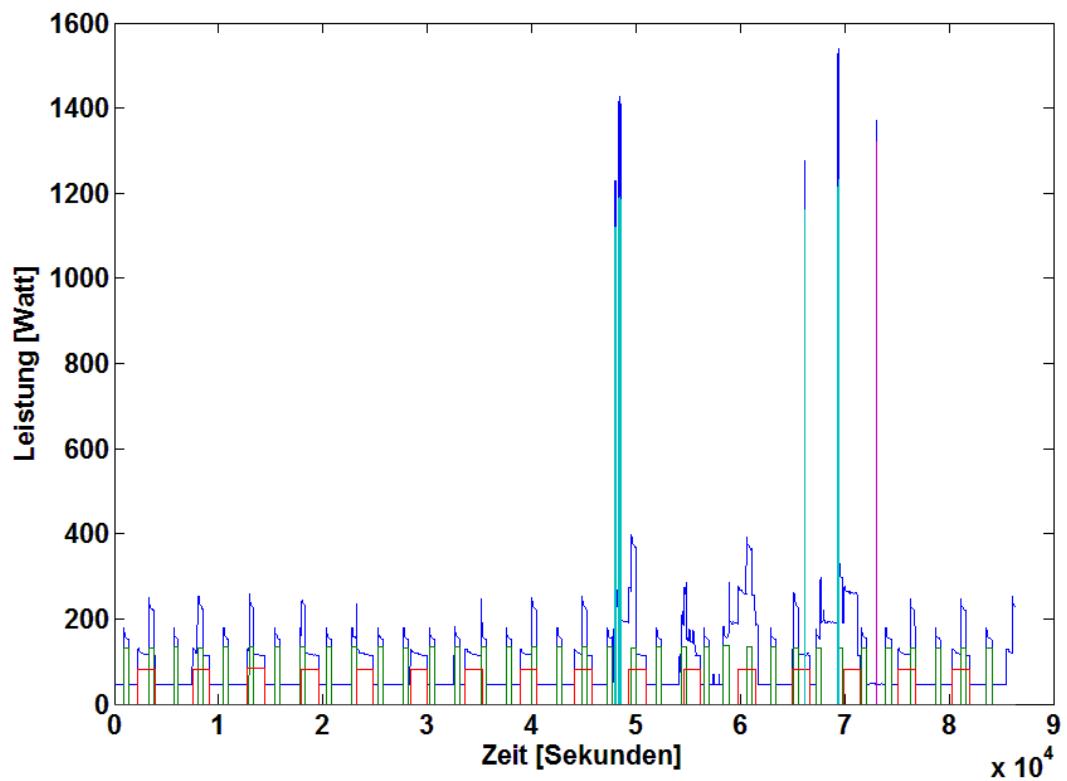


Abbildung 29 Lösungsgraphen des Lastprofils aus Abbildung 25 – **blau:** Gesamtleitung, **grün:** Kühlschrank, **rot:** Gefrierschrank, **türkis:** Kaffeemaschine, **pink:** Haushaltsgerät

2.2.6.3 Haushalt 3

Dieser Haushalt wurde am 15. Dezember 2009 gemessen.

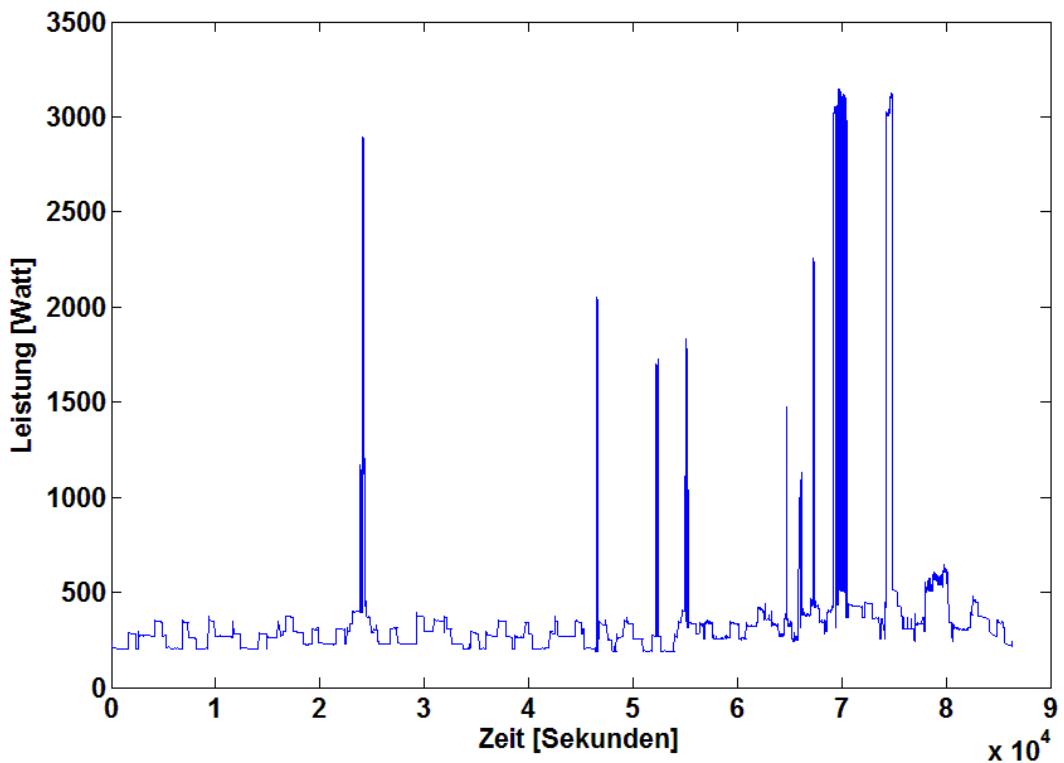


Abbildung 30 Lastprofil des Haushalts 3 zum angegebenen Datum.

Der Leistungsoffset zu Beginn der Aufzeichnung beträgt im Fall dieser Messung bereits mehr als 200 Watt. Obwohl man zu diesem Zeitpunkt noch „regelmäßige“ kleine Lastanstiege erkennen kann, ähnlich wie in Abbildung 25 oder Abbildung 21, so erfüllen diese nicht mehr die einfache Bedingung, dass die Einschaltflanke 20 Prozent größer sein soll als die Ausschaltflanke. Das Ergebnis sind mehrere periodische Events, die nicht mehr eindeutig als ein Kühl- oder Gefriergerät identifiziert können. Der Grund dafür ist, dass der Leistungsoffset sehr stark schwankt und nicht konstant bleibt. Dadurch entstehen mehrere Einschaltflanken mit zu unterschiedlicheren Amplituden. Da man aber von mehreren Geräten dieser Klasse ausgehen muss, kann man die einzelnen periodischen Events nicht einfach zusammenfassen. Trotz Deltareihenbildung wirkt sich der Leistungsoffset auf die Identifizierung aus.

Die Lastidentifizierung der restlichen Geräte läuft hingegen erfolgreicher. Von links nach rechts aufgelöst ergeben sich folgende Bilder.

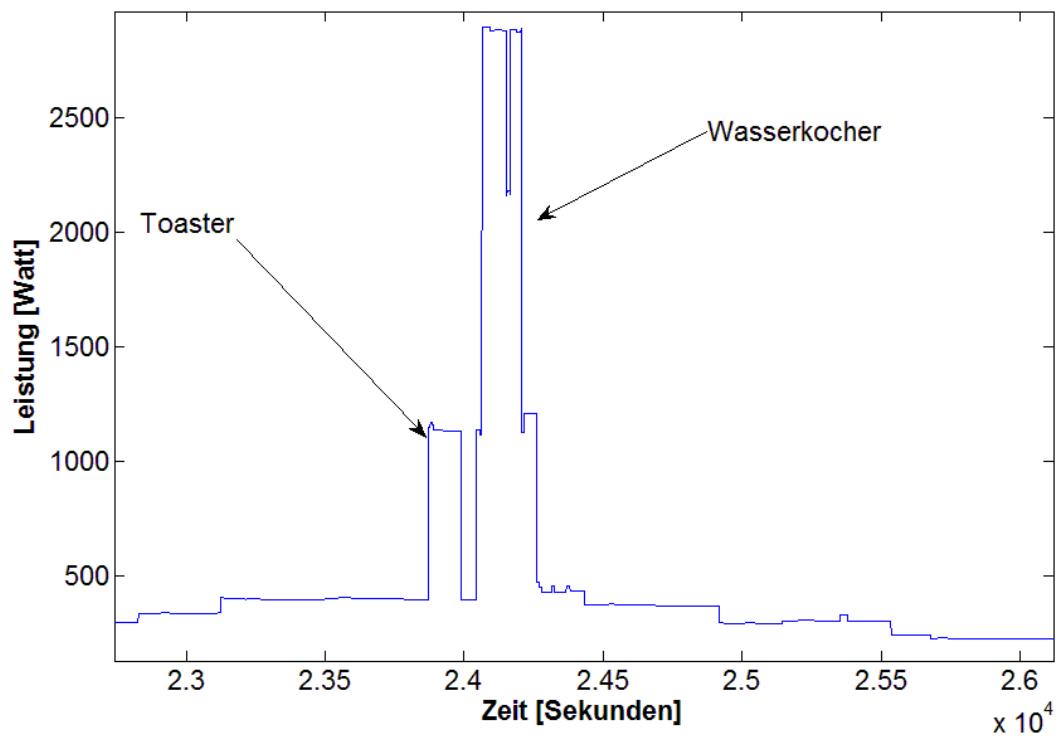


Abbildung 31: Zwei Geräte mit einer Ein/Auscharakteristik überschneiden sich, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 30

Dadurch, dass beide Geräte in Abbildung 31 einen großen Leistungsunterschied haben, sind sie trotz des überlagerten Verlaufs klar voneinander zu trennen. Weitere Geräte werden in Abbildung 32 und Abbildung 33 näher gezeigt.

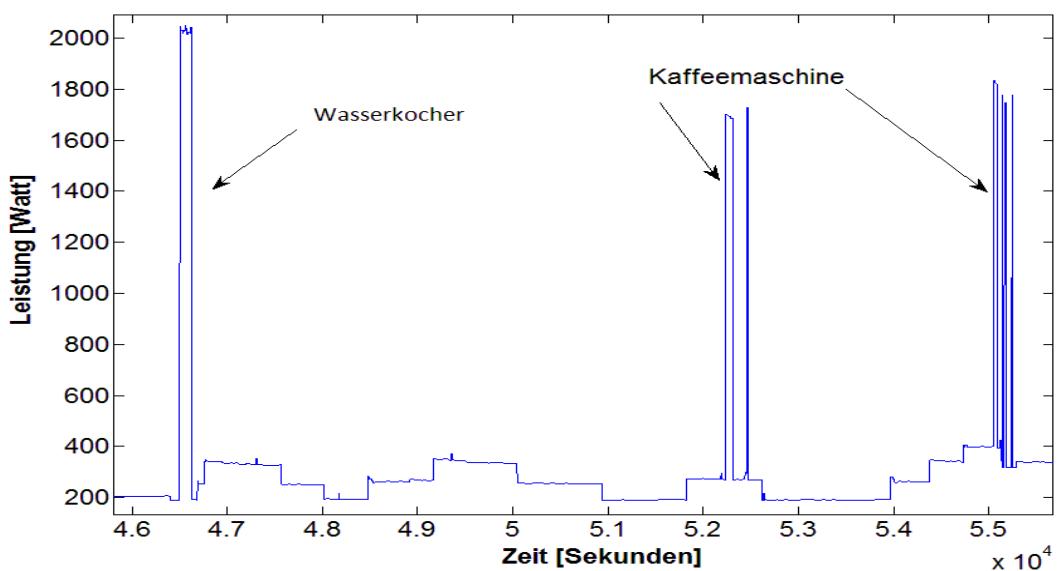


Abbildung 32: weitere Geräte, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 30

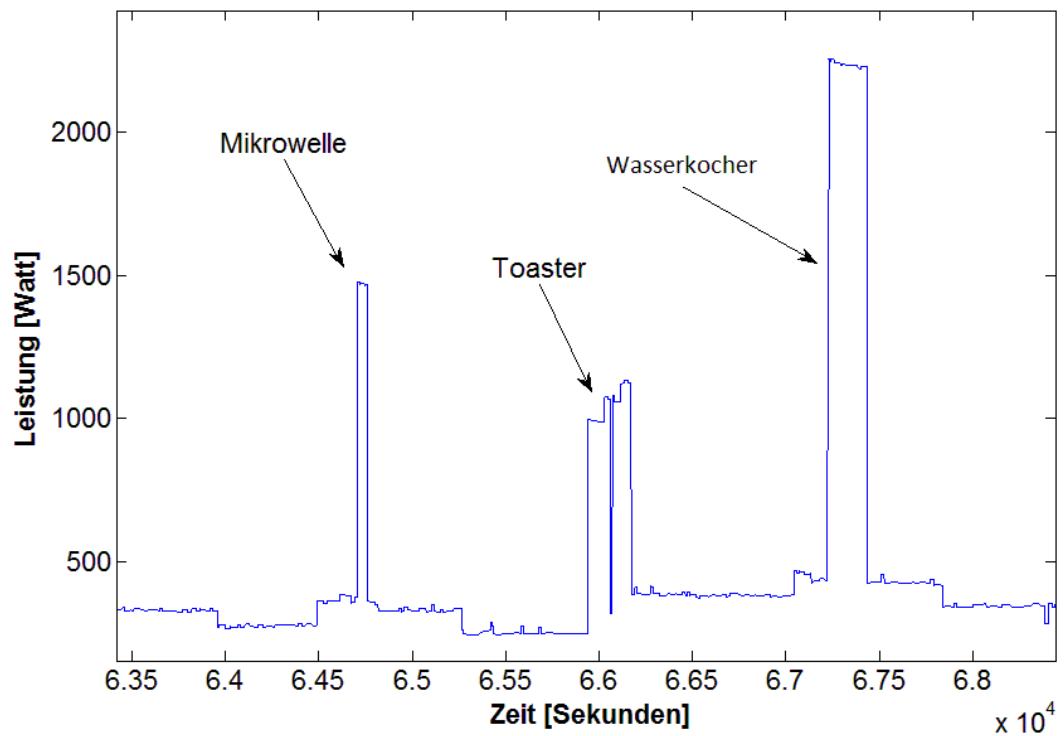


Abbildung 33: Geräte mit Ein/Aus Charakteristik, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 30

Das letzte Gerät aus diesem Lastprofil ist ein klassisches Gerät mit mehreren Schaltzyklen – detailliert in Abbildung 34 dargestellt. Hier ist das klassische Verhalten eines Geschirrspülers (mit vielen Schaltzyklen) sehr gut zu erkennen

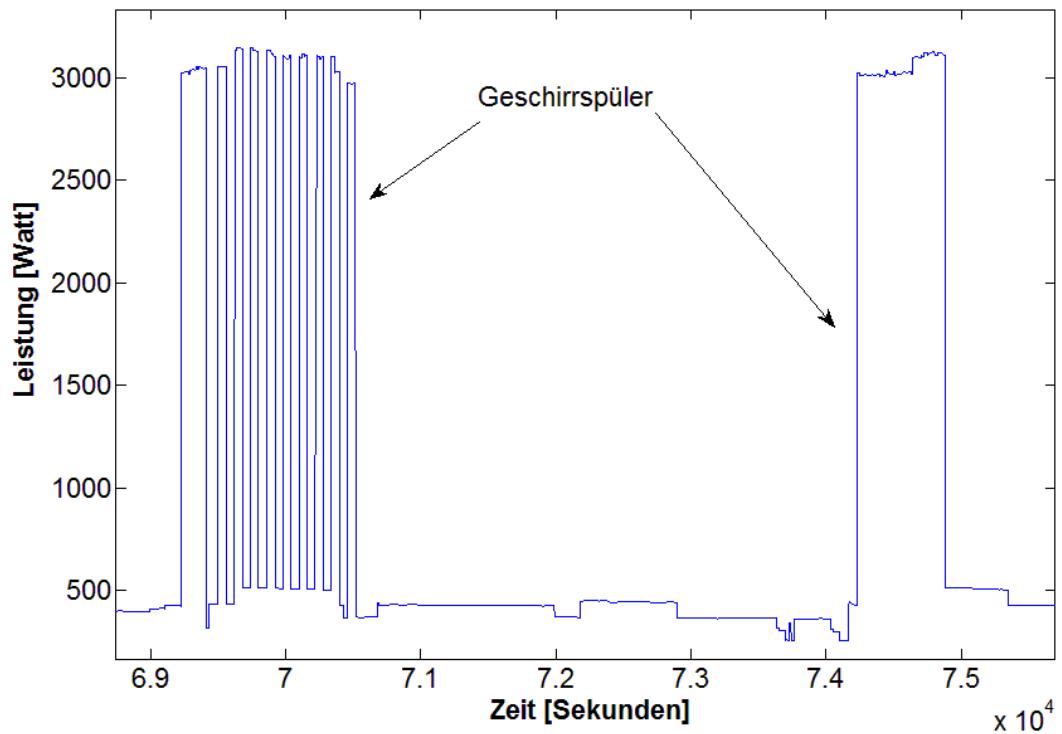


Abbildung 34: Schaltzyklen des Gerätes und eine längere Pause, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 30

In diesem Fall ist die besonders lange Pause am Schluss des Betriebs bemerkenswert. Es ist jetzt natürlich nicht ganz klar, ob der rechte Teil noch zum Lastverlauf dazugehört, oder nicht. Aufgrund der gleichen Leistung fügt man die beiden Lastverläufe zu einem Gerät zusammen, was auch mit der Einzelmessung übereinstimmt. Natürlich könnte dieser Lastverlauf aber auch zwei unabhängige Geräte beschreiben.

Als Fazit dieses Haushaltes kann man sagen, dass keine quasi periodischen Geräte aufgrund des hohen Leistungsoffsets gefunden werden konnten, aber die Haushaltsgeräte mit einer hohen Leistungsaufnahme klar zu identifizieren waren.

2.2.6.4 Haushalt 4

Der vierte Haushalt wurde am 5 August 2009 vermessen.

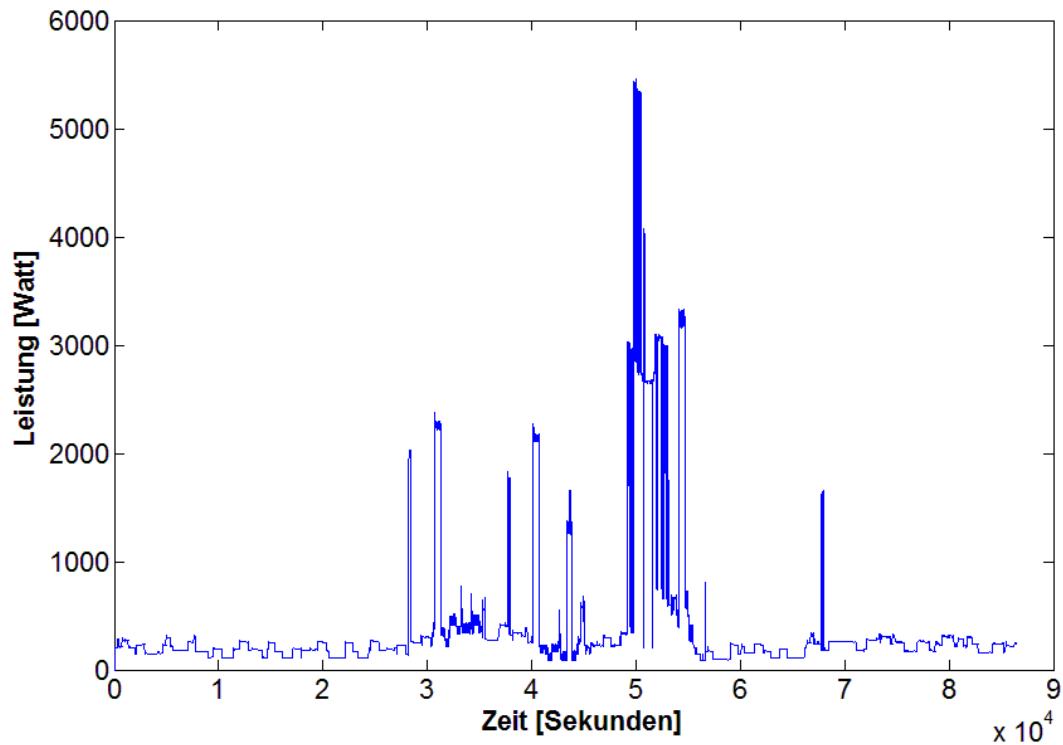


Abbildung 35: Lastprofil des Haushalts 4 zum angegebenen Datum.

Ebenso wie bei Haushalt 3, Abschnitt 2.2.6.3, ist das Leistungsoffset zu hoch, um quasi periodische Geräte zu finden. Die Suche nach den anderen Geräten ist in diesem Fall schwieriger, da es keine eindeutige Flankenzuordnung mehr gibt, wie in Abbildung 36 zu sehen ist.

Variable Editor - event.nummer2

Field	Value	Min	Max
Einschaltleistung	[1964;1.9659e+03]	1964	1.9659...
Einschaltzeitpunkt	[30663;40128]	30663	40128
Ausschaltleistung	[-2.3339e+03;-2.3042e+03;-2.2845e+03;-2.3182e+03;...]	-2.336...	-2.284...
Ausschaltzeitpunkt	[50715;51944;52371;52567;52844;52980;53093]	50715	53093

Abbildung 36: Problem mit der Flankenanzahl

Man kann erkennen, dass bei diesem Event, auf zwei Einschaltflanken sieben mögliche Ausschaltflanken kommen können. Dadurch, dass die wenigsten Geräte 20000 Sekunden (ca.

5 ½ h) Betriebsdauer pro Tag haben, kann man die plausibelste Wahl treffen – aber hier läuft man schon Gefahr einen Fehler zu begehen, da diese Wahl nicht mehr eindeutig ist.

Ein anderes Problem ist in Abbildung 37 gut zu erkennen.

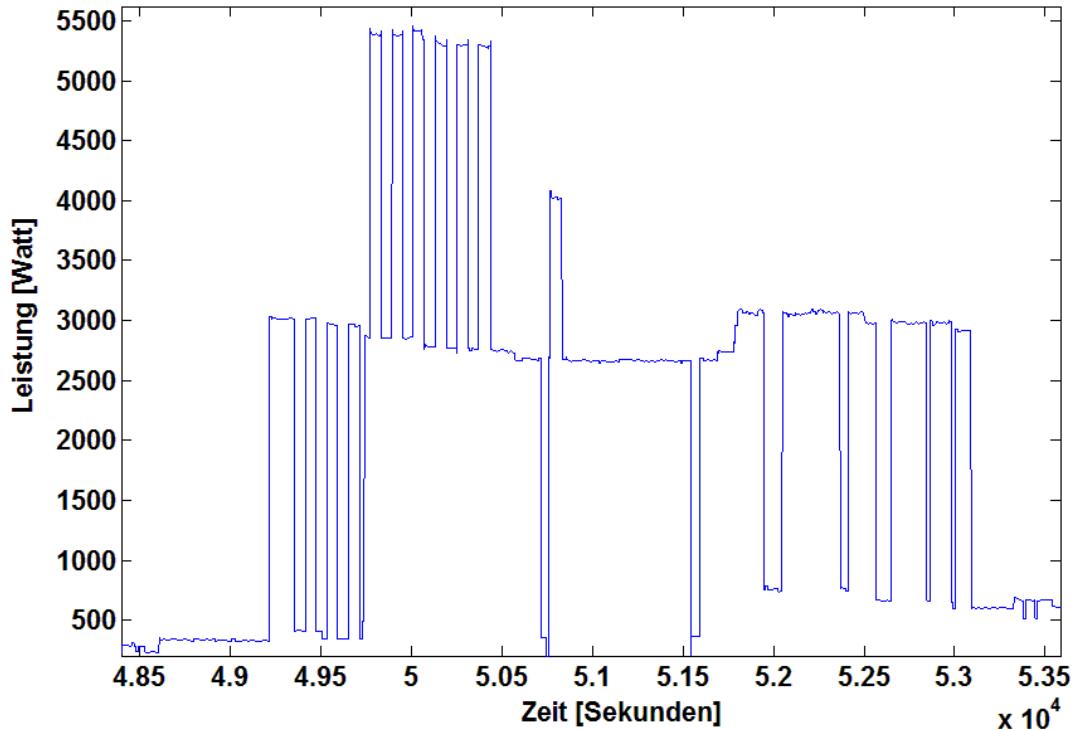


Abbildung 37: Zwei Geräte, die gleichzeitig in Betrieb sind

Man sieht auf dem Bild, dass sich 2 Geräte mit einer ähnlichen Leistung überlagern. Es ist nun nicht mehr so einfach (für den Algorithmus sogar unmöglich), hier ein Gerät zu detektieren, geschweige denn ein Event zu definieren und die einzelnen Geräte zu unterscheiden. Auch für der Beobachter kann nicht mehr zwischen den Geräten unterscheiden. Für eine eindeutige Zuordnung müsste man mehrere Kriterien kennen, die aber speziell für diesen Haushalt gewählt werden müssen. Dies würde auch genügen, um für die anderen Events eindeutigere Kriterien zur Lastidentifikation zu finden.

2.2.7 Probleme bei der Erkennung von Geräten und deren Grenzen

Die einzelnen Kriterien für die Lastidentifizierung können schon mit geringerem Aufwand recht gut gewählt werden. Im Laufe der Modellierung hat sich herausgestellt, dass schon wenige Bedingungen ausreichen um einzelne Haushaltsgeräte zu erkennen. Ebenso sind die Events leicht abzugrenzen, ohne genaue Aufschlüsselungen über die Leistung der Geräte zu haben, solange sich nicht Geräte mit ähnlichen Leistungen sich in ihren Betriebsdauern

überschneiden, wie es z.B. in Abbildung 37 der Fall war. Bei drei der vier Haushalte kann man die Events auch bei sich überschneidenden Gerätiprofilen leicht abschließen, da sich die Leistungen hinreichend gut unterscheiden. Beim vierten Haushalt aber kreuzen sich zwei Geräteverläufe mit ähnlichen Leistungen. Darin liegt die Schwäche des Algorithmus – dadurch, dass die Zuordnung auch über die Leistungen und deren Änderungen erfolgt, kann nicht in jedem Fall eine eindeutige Zuordnung getroffen werden. Das betrifft besonders Geräte mit mehreren Schaltzyklen. Um dieses Problem zu lösen, bedarf es weiterer Entscheidungskriterien, die nur über eine weiter vertiefende Lernphase zu finden wären. Diese widerspricht sich aber mit der anfänglichen Forderung nach einer kurzen Lernperiode, um Geräte ganz allgemein erkennen zu können.

Ein anderes Problem betrifft ausschließlich Geräte mit kleinen Leistungen. Wie in der folgenden Abbildung zu sehen ist, liegt der durchschnittliche Leistungsoffset bei circa 200 Watt, dargestellt in Abbildung 38.

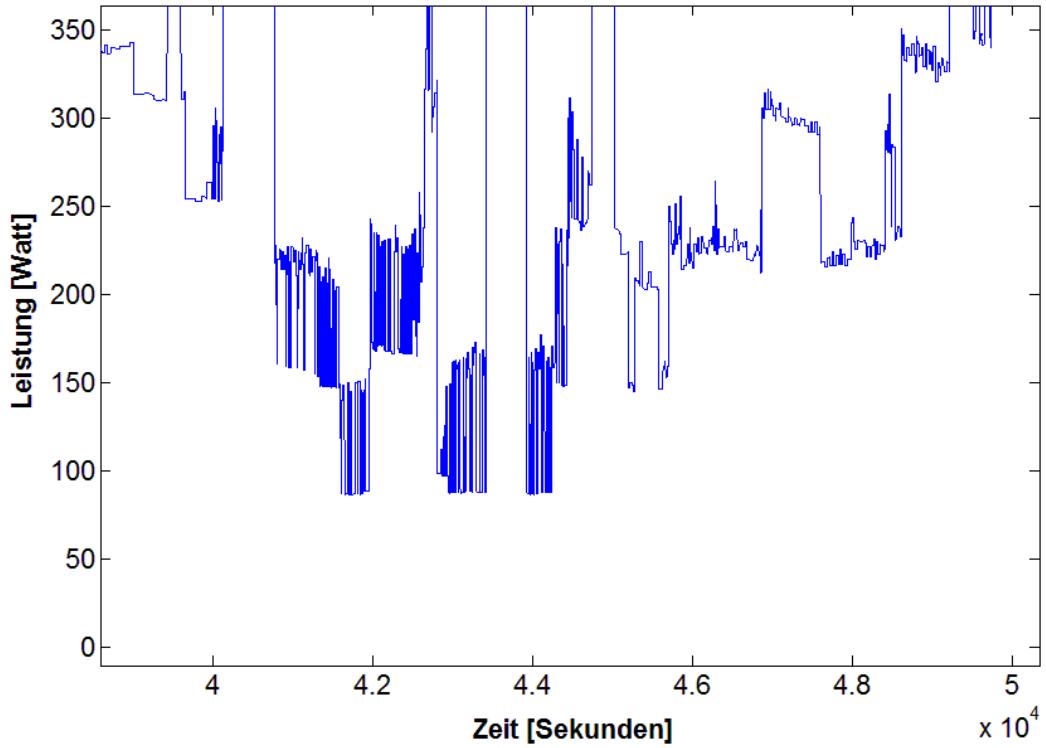


Abbildung 38: Starke Schwankungen des Leistungsoffsets, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 35

Geräte mit einer geringeren Leistung als das Leistungsoffset sind leider nicht mehr zu detektieren. Das betrifft vor allem Kühl- und Gefriergeräte, die heutzutage eine typische

Leistung von 50 bis 300 Watt haben⁴. In Abbildung 38 sind keine regelmäßigen Schaltflanken mehr zu erkennen. Ebenso liefert der Algorithmus hier keine brauchbaren Ergebnisse mehr.

2.3 Alternative Modellierung über Klassifizierungen

Bevor der in 2.2.3 beschriebene Algorithmus zur Anwendung kam, wurde zuvor eine andere Methode entwickelt. Es wurde versucht, Events nicht durch den kausalen Zeitverlauf zu finden, sondern nur auf Basis der Höhe der Schaltflanke zu Klassen zusammenzufassen.

⁴ Vergleiche <http://www.siemens-home.com/at/produksuche/k%C3%BChlen-und-gefrieren.html> Stand: 26.06.2011

Variable Editor - mais

Stack: Base

mais <1x1 struct>

Field	Value
Bis_150_Watt	<552x2 double>
Bis_250_Watt	<22x2 double>
Bis_350_Watt	[34224,276.2000;35587,-348.0000]
Bis_450_Watt	[45020,-390.7000]
Bis_550_Watt	[]
Bis_650_Watt	[56634,-643.1000]
Bis_750_Watt	[56623,724.8000]
Bis_850_Watt	[]
Bis_950_Watt	[]
Bis_1050_Watt	[]
Bis_1150_Watt	[]
Bis_1250_Watt	[43412,1176;43909,-1182]
Bis_1350_Watt	[]
Bis_1450_Watt	<14x2 double>
Bis_1550_Watt	[67858,-1.4706e+03;67979,-1.4744e+03]
Bis_1650_Watt	[]
Bis_1750_Watt	[]
Bis_1850_Watt	[28196,1.7849e+03;28395,-1.7704e+03]
Bis_1950_Watt	[31275,-1.8845e+03;40769,-1.8696e+03]
Bis_2050_Watt	[30663,1964;40128,1.9659e+03]
Bis_2150_Watt	[]
Bis_2250_Watt	[]
Bis_2350_Watt	<13x2 double>
Bis_2450_Watt	[49740,2.3707e+03]
Bis_2550_Watt	[50368,2.5401e+03;50758,2.4899e+03;51540,-2.4599e+03]
Bis_2650_Watt	<21x2 double>
Bis_2750_Watt	[]
Bis_2850_Watt	[]
Bis_2950_Watt	[]
Bis_3050_Watt	[]

Abbildung 39: Ergebnis einer Klassifizierung

Der Klassenname gibt die obere Schranke des Leistungsintervalls an. Die Klasse selbst hat die Form einer $n \times 2$ Matrix, wobei n die Anzahl der Flankenanzahl entspricht.

	1	2	3
1	37715	1.4256e+03	
2	37800	-1.4152e+03	
3	37826	1.4169e+03	
4	37865	-1403	
5	37898	1.4104e+03	
6	37909	-1.4365e+03	
7	50765	1.3904e+03	
8	50830	-1.3512e+03	
9	67746	1.4418e+03	
10	67817	-1.4045e+03	
11	67848	1.4428e+03	
12	67914	1.4494e+03	
13	67936	-1.4406e+03	
14	67969	1.4468e+03	
15			

Abbildung 40: Klasseninhalt, die linke Spalte enthält den Schaltzeitpunkt, die rechte Spalte die Schaltleistung

2.3.1 Klassifizierung

Wie in Abschnitt 2.2.3 wird zuerst durch Differenzenbildung eine Deltareihe erstellt, um den störenden Offset zu beseitigen. In diesem Fall ist es ganz besonders wichtig, die richtige Flanken Höhe, ohne Überlagerungen anderer Geräte, zu bestimmen, da die folgende Identifikation ja ausschließlich über die Leistung erfolgen soll. Das zu erwartende Ergebnis war somit eine Ansammlung von Zeitpunkten und den geschalteten Leistungen ähnlicher Höhe, zusammengefasst als Klasse. Die einzige Voraussetzung hier ist nur die Annahme, dass nicht zwei Geräte zum gleichen Zeitpunkt einen Schaltvorgang durchführen – was in der Praxis meist der Fall ist. Anders ausgedrückt bedeutet das, dass bei 86400 Sekunden pro Tag, und zu jeder vollen Sekunde ein Zeitschlitz für einen Schaltvorgang frei ist und man so daher pro Tag 86400 freie Schaltzeitpunkte hat. Hinzu kommt noch, dass nicht alle Schaltvorgänge eine Ein- oder Ausschaltflanke sind. Man kann vermutlich alle Laständerungen, deren Betrag kleiner als 30 Watt⁵ sind, ohne weiteres vernachlässigen, da es sich dabei um kleine Laständerungen handelt, die aus dem Gerätebetrieb herrühren, nicht aus neuen Schalthandlungen. Als Beispiel wird dazu nochmal die Messung von Haushalt 4, Abschnitt 2.2.6.4, herangezogen. An diesem Tag fanden insgesamt 5357 Schaltvorgänge statt.

⁵ In den zur Verfügung gestellten Daten ist der kleinste Verbraucher eine Aquarium-Pumpe mit 30 Watt.

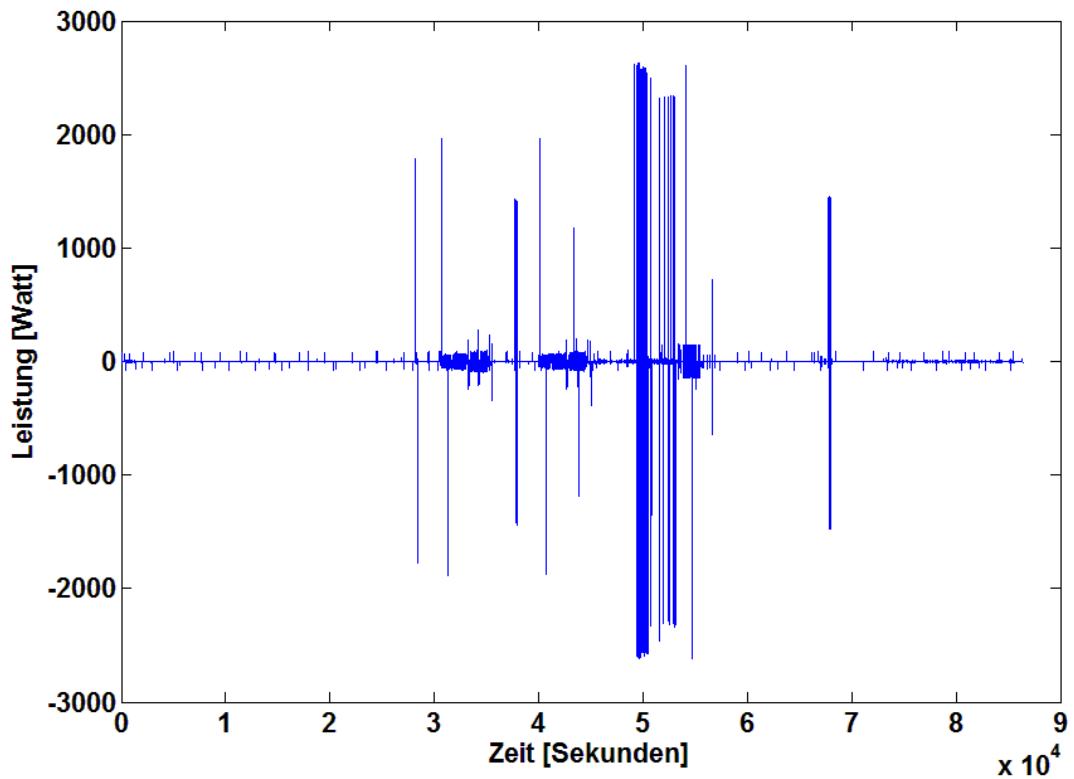


Abbildung 41 Deltareihe des 05.08.2009

Von diesen Schalthandlungen waren nur mehr 738 größer als 29 Watt, bezugnehmend auf die kleinste, hier zuordenbare Leistung der Aquarium-Pumpe. Auch wenn man die Grenze auf den Betrag von 15 Watt halbiert, so steigt die Anzahl der Schalthandlungen lediglich auf 923 an. Wenn man jetzt 923 Schaltflanken auf einen Tag aufteilen muss, so erscheint es plausibel, dass es eher unwahrscheinlich ist, dass zwei Schaltflanken auf denselben Zeitpunkt fallen werden. Damit ist die Annahme für diese Form der Betrachtung zwar nicht bewiesen, aber doch deutlicher untermauert.

Eine weitere notwendige Überlegung ist die Klassenbreite, das heißt in welchem Leistungsband agieren diese Geräte. Es ist nämlich nicht der Fall, dass ein und dasselbe Gerät zu allen Einschaltzeitpunkten immer die gleiche Leistung benötigt.

1	2	3	4
1	2316		
2	2.3308e +03		
3	2.3262e +03		
4	2.3395e +03		
5	2336		
6	2.3337e +03		

Abbildung 42: geringe Schwankung der Einschaltleistung

Da die Leistung von vielen Elektrogeräten in ganze Vielfache von Hundert⁶ eingeteilt sind, scheint eine Klassenbreite von 100 Watt als sinnvoll, die Grenzen der Klassen haben ein ungeradzahliges Vielfaches von 50 Watt als Wert. Das heißt, dass, zum Beispiel, alle Geräte mit Schaltleistungen von 1650 Watt bis 1750 Watt der Klasse für 1700 Watt zugeordnet werden. Diese Einteilung hat in den Testläufen mit den 4 Haushalten aus Abschnitt 2.2.6 die beste Aufteilung der Geräte auf die entsprechenden Leistungsklassen gebracht. Kleinere Intervalle haben zu viele leere Klassen erzeugt, und zu große Intervalle ergaben zu unübersichtliche Klasseninhalte.

2.3.2 Ergebnis

„Klassifiziert“ man nun einen Testhaushalt, so ergibt sich das Bild aus Abbildung 40. Man kann deutlich erkennen, dass Haushaltsgeräte nicht in allen Leistungsklassen auftauchen. Es gibt bevorzugte Leistungsbänder, in denen Haushaltsgeräte betrieben werden. Das bedeutet im Weiteren, dass eine Zuordnung der Geräte über die Leistung eine gute Methode zu sein scheint, weil es auf der einen Seite Cluster von Gerätefamilien geben dürfte, aber andererseits auch klare Abgrenzungen zu anderen Gerätschaften gibt. Ohne irgendeine Kenntnis von einem Haushalt zu haben kann man mit diesen sehr einfachen Überlegungen bereits Aussagen über die technische Ausrüstung machen. Über weitere, zusätzliche Kriterien kann man jetzt Gerätezuordnungen treffen.

Um aber sinnvolle Ergebnisse zu erzielen muss jetzt die Kausalität berücksichtigt werden, da die Klasseneinteilung allein nicht die gewünschte Antwort auf die Frage nach dem Einsatzzeiträume der einzelnen Geräte liefert.

⁶ Vergleiche dazu <http://www.siemens-home.com/at/> Stand: 26.06.2011

Variable Editor - mais.Bis_1450_Watt

	1	2	3	4
1	37715	1.4256e+03		
2	37800	-1.4152e+03		
3	37826	1.4169e+03		
4	37865	-1403		
5	37898	1.4104e+03		
6	37909	-1.4365e+03		
7	50765	1.3904e+03		
8	50830	-1.3512e+03		
9	67746	1.4418e+03		
10	67817	-1.4045e+03		
11	67848	1.4428e+03		
12	67914	1.4494e+03		
13	67936	-1.4406e+03		
14	67969	1.4468e+03		

Abbildung 43: Fehlerhafte Flankenanzahl. Es gibt mehr positive als negative (rot umrandet) Flanken

Im ersten Anlauf müsste man denken, dass die Klasse alleine alle nötigen Informationen enthalten müsste, um zuverlässige Identifikationen durchführen zu können. Die linke Spalte aus Abbildung 43 enthält die Schaltzeitpunkte, die rechte Spalte die jeweilige Schaltleistung. Findet man jetzt zum Beispiel zwei vom Betrag her gleiche Schaltflanken, wobei aber eine Flanke positiv und die andere Flanke negativ sei, könnte man hier dann ein Gerät vermuten. Ist dann noch der Einschaltzeitpunkt vor dem Ausschaltzeitpunkt, so ist es ein kausales Event. Je nach Eventdauer und Leistung kann man das Gerät nach bestimmten Kriterien identifizieren. Die Klassen aber haben in den seltensten Fällen gleich viele Ein- wie Ausschaltflanken – wie man in Abbildung 43 sehr gut erkennen kann. Die Ergebnisse die dadurch entstanden, waren nicht eindeutig oder zu fehlerhaft. Die Klassenbreite von 100 Watt war für manche Bereiche zu klein gewählt – fehlende Flanken befanden sich in Nachbarklassen – oder zu groß gewählt – zu viele fremde Flanken waren in einer Klasse vereint. Das war dann der entscheidende Anstoß für einen neuen Algorithmus. Es hat keinen Sinn die Geräte in Klassen zu unterteilen, die man statisch vorgibt, sondern die Geräte definieren ihre Klassen selbst. Wenn man auf eine neue Flanke trifft, so definiert diese eine neue Leistungsklasse, in welche dann alle weiteren Flanken aufgenommen werden, die eine

ähnliche Amplitude haben. Wie man bereits in Kapitel 2.2 erläutert, ist diese Vorgehensweise deutlich erfolgreicher.

2.4 Fazit

Wie die Ergebnisse aus 2.2.6 zeigen, lassen sich Geräte verschieden gut identifizieren. Dadurch, dass die brauchbaren Ergebnisse Informationen über Einschalt- und Ausschaltzeitpunkte enthalten, ist es nun möglich, diese Abläufe zeitlich zu planen. Als Beispiel führen wir nochmals Haushalt 2 aus Abschnitt 2.2.6.2 mit dem Lastprofil und den Lösungsgraphen an.

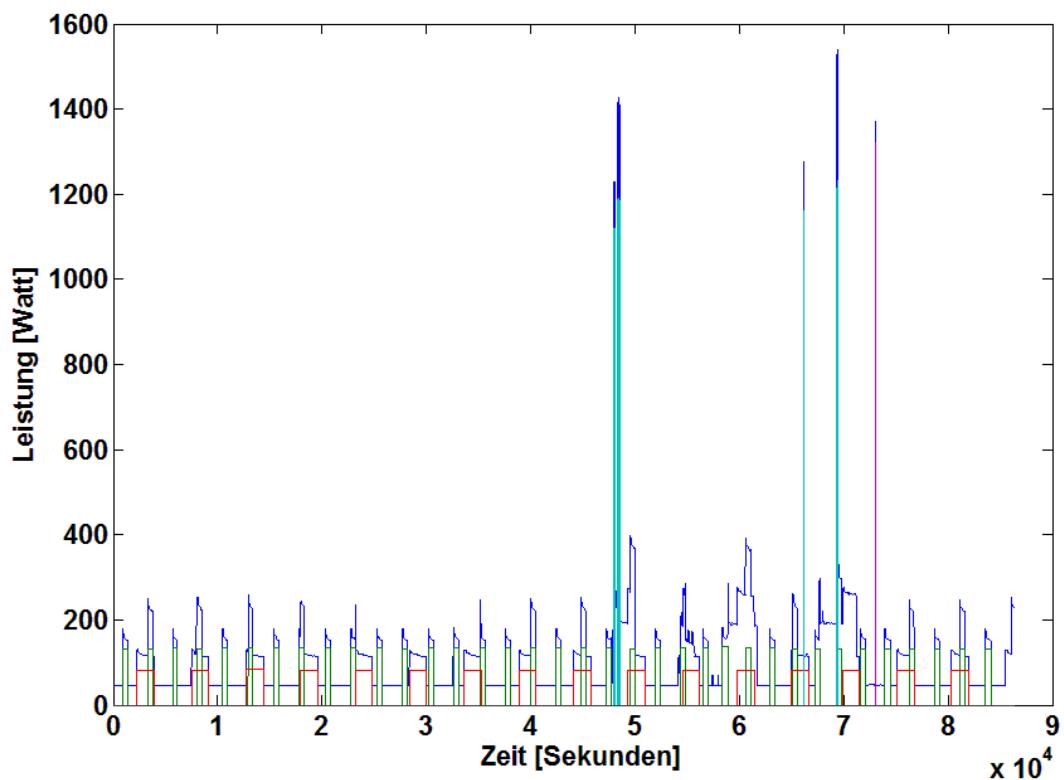


Abbildung 44: Haushalt 2 aus Abschnitt 2.2.6.2

Die pinke Spitze (ganz rechts) soll nun verschoben werden. Von Anfang- und Endzeitpunkt werden je 20000 Sekunden abgezogen – das entspricht circa 5½ Stunden. Dargestellt wird diese Verschiebung in Abbildung 45.

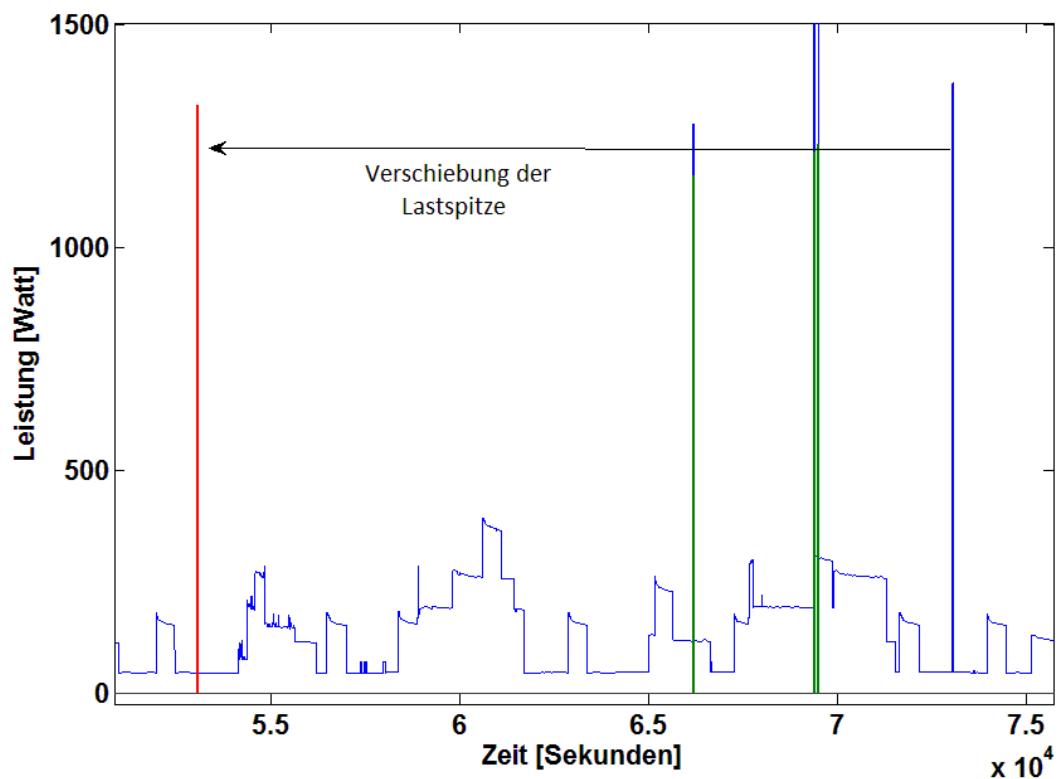


Abbildung 45: Verschiebung einer Lastspitze in Abbildung 44: Haushalt 2 aus Abschnitt 2.2.6.2

Natürlich ist diese Verschiebung keine spezielle Lastglättung, aber es zeigt deutlich die durch die Ergebnisse gewonnenen Möglichkeiten.

3 Demand Side Management

Kann ein Haushalt in Zukunft seine Energiedienstleistungen selbst befriedigen? Kann dies durch lokal verfügbare erneuerbare Energieträger geschehen? In der Einleitung wurde erwähnt, dass die erneuerbaren Energieträger nicht so zeitlich flexibel sind wie zum Beispiel fossile Energieträger. Das bedeutet aber nicht nur, dass die Energie für den Energiebedarf des ganzen Tages zur Verfügung stehen muss (man spricht dann von Energieautarkie), sondern auch, dass die geforderte Leistung zu jedem Zeitpunkt erzeugt werden muss (man spricht in diesem Fall von Leistungsautarkie).

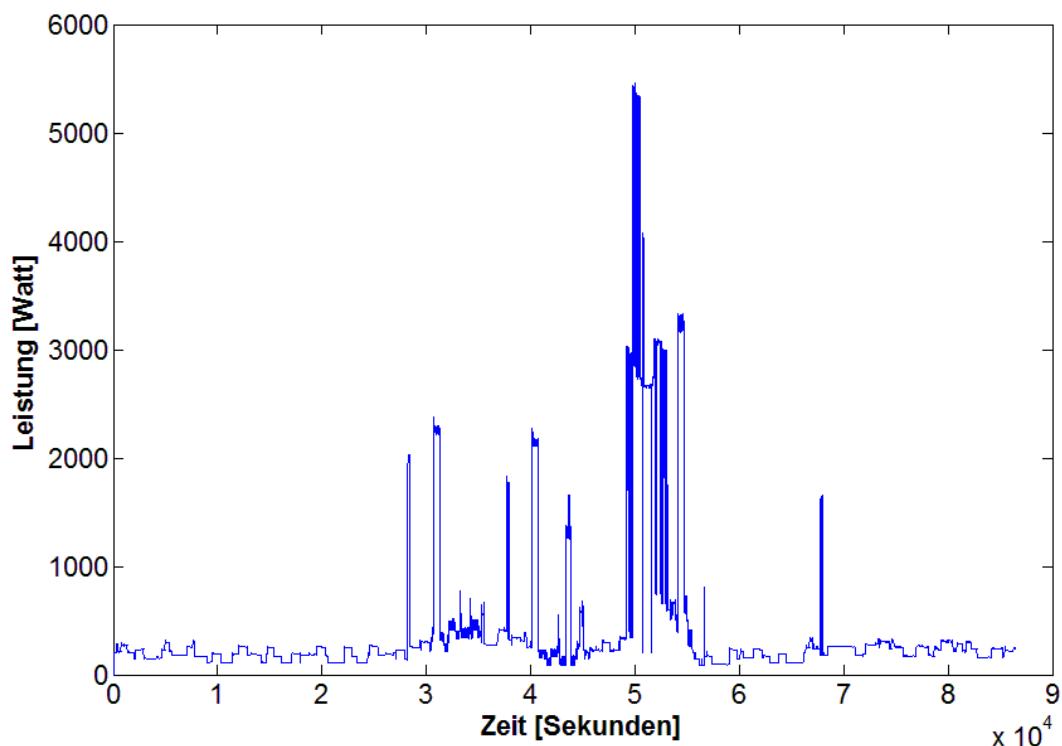


Abbildung 46: Ein Haushalt mit einer hohen Spitzenlast um die Mittagszeit

In der Abbildung 46 ist zu sehen, dass der betrachtete Haushalt kurzfristig eine Leistungsaufnahme von 5,5 kW haben kann. Wie soll nun, zum Beispiel eine Photovoltaikanlage ausgelegt werden um diese Nachfrage zu befriedigen? Wie soll der Energiebedarf in der Nacht gedeckt werden? Es werden Energiespeicher notwendig sein, um Erzeugungs- und auch Lastspitzen abzufangen, was wiederum die Kostenproblematik erneuerbarer Energieträger verstärkt.

3.1 Theoretische Hintergründe

Prinzipiell werden alle Maßnahmen, die das Lastverhalten verbraucherseitig beeinflussen als Demand Side Management (DSM) bezeichnet. Diese Maßnahmen sind im Wesentlichen die Bereitstellung von positiver oder negativer Reserveleistung. Positive Reserveleistung erhält man, indem man laufende Geräte abschaltet, oder am Starten hindert, negative Reserveleistung durch Starten nicht aktiver Geräte erzielt. Zum Beispiel könnte ein Energieversorger alle Gefriergeräte in Supermärkten während Schwach-Last-Zeiten auf Hochtouren laufen lassen, sodass die Geräte unter ihre eingestellte Temperatur herunterkühlen, um während Hoch-Last-Zeiten diese Geräte abzuschalten und ausgeschaltet zu lassen, was im Wesentlichen einem Speicher entspricht. Dadurch bleibt der Energieverbrauch für die gesamte Dauer gleich, aber man glättet das Lastprofil, ohne die Verwendung teurer Speicher. Überhaupt ist diese Auslegung der Lastverschiebung als Speichermedium sehr wirksam und auch kostengünstig – es ist auch der umgekehrte Weg möglich, Erzeugungsspitzen abzufangen, indem geplante Tätigkeiten von Elektrogeräten vorgezogen werden.

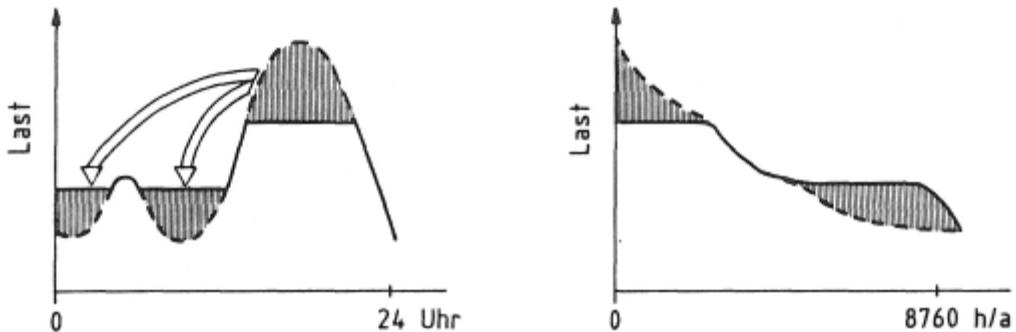


Abbildung 47 zeigt die Verschiebung von Last (Serafin von Roon, 2010)

Diese Herangehensweise wird im Deutschen auch als Laststeuerung bezeichnet. Dabei wird diese Strategie zur Optimierung der Erzeugerseite herangezogen. Demand Side Management soll helfen, den Kraftwerkseinsatz zu optimieren, oder die Auslastung der Übertragungsnetze zu verbessern. In dieser Masterarbeit soll aber untersucht werden, ob ähnliche Überlegungen dabei helfen können, den Haushaltsbedarf so zu verändern, dass er sich über das Dargebot eines erneuerbaren Energieträgers decken lässt. Im Kapitel 2 wurde ein Algorithmus beschrieben, der auf schnelle und einfache Weise Geräte identifizieren kann. Im nächsten Schritt soll nun die zeitliche Flexibilität der einzelnen Elektrogeräte genauer betrachtet und erarbeitet werden.

3.2 Technische Potentiale

Die heutige Marktsituation sieht kaum Geräte vor, die ein vernünftiges Demand Side Management vorsehen. Die Steuerung von Heizung und Warmwasserbereitung über Nachtstrom, wie in der Einleitung bereits kurz erwähnt wurde, ist nicht im jeweiligen Gerät implementiert, sondern wird über einen Rundsteuerempfänger realisiert. Dieser Empfänger schaltet zu fixen Zeiten einen eigenen Stromkreis frei, über welchen dann, zweckgebunden, Energie bezogen werden kann. Die Schaltzeiten sind fix vorgegeben und richten sich nicht nach Bedarfs-, oder Angebotslage.

Eine weitere, heute schon realisierbare Möglichkeit zum Demand Side Management bieten einige Haushaltsgeräte, wie Waschmaschinen, Trockner und Geschirrspüler. Viele solche Geräte sind mit Zeitvorwahlen ausgerüstet, das bedeutet, dass die Endkundin oder der Endkunde den Programmstart beliebig verzögern kann. Nun wird diese Möglichkeit heute zwar nicht dazu benutzt, um effektives Demand Side Management zu betreiben, sondern um die Tagesplanung für die Haushaltsführung zu erleichtern, dennoch sieht man die Möglichkeit und auch die Akzeptanz solche Anwendungen in Zukunft auch zu nutzen. Bei entsprechender Entwicklung der Technologien könnte man andenken, dass bestimmte Haushaltsgeräte nur dann ihren Betrieb aufnehmen, sollte ein erneuerbarer Energieträger ausreichend zur Verfügung stehen. Wenn man sowieso davon ausgeht, dass ein Haushalt in der Früh, bevor man das Haus verlässt um in die Arbeit zu gehen, die Waschmaschine so programmiert, damit die Wäsche fertig ist, wenn man wieder nach Hause kommt, so ist es absolut egal, wann gewaschen wird. Ein Gedankenbeispiel soll diese Möglichkeit verdeutlichen:

Ein Haushalt betreibt einen Geschirrspüler und eine Waschmaschine. Beide Geräte sind mit einem Warmwasseranschluss (Fa. Miele Österreich) ausgerüstet, das bedeutet, dass die Geräte das benötigte Warmwasser nicht selber herstellen müssen, oder gegeben falls nötig, lediglich im geringen Umfang selbst aufheizen müssen. Dies verkürzt die Betriebszeiten der Geräte erheblich. Der Haushalt verfügt zur Deckung seines Energiebedarfs über eine solarthermische Anlage und Photovoltaikzellen. Dadurch, dass sich Warmwasser günstiger speichern lässt als elektrische Energie, sollte man immer beide Technologien kombinieren, anstatt Energie für die Warmwasserbereitung aus einem elektrischen Speicher zu entnehmen. Warmwasser steht durch einen Speicher fast immer zur Verfügung, und somit warten beide Geräte nur mehr auf die elektrische Energie der Photovoltaikanlage. Diese muss dann nur über eine deutlich kürzere Zeit elektrische Energie in den stark reduzierten Umfang liefern. Durch Schätzungen und Modellierungen könnte man dann auf Grund von meteorologischen Daten die zu

erwartende Energiemenge und auch Lieferzeitpunkte schätzen und den Gerätetrieb danach ausrichten. Die Geräte könnten entweder über eine zentrale Steuerung einfach in Betrieb genommen werden oder die zukünftigen Haushaltsgeräte verfügen über eigene dafür vorgesehene, implementierte Steuerungen. Dadurch benötigt der Haushalt für diese beiden Geräte keinen Netzstrom mehr. Aber auch für den Betrieb man Netz, sind solche Überlegungen gut vorstellbar. So kann die Kommunikation ja nicht nur mit lokalen Energieproduzenten laufen, sondern auch mit dem Verbundnetz.

Die Problematik der allgemeinen Situation, dass die Markteinführung über viele Jahre dauern wird, bis man erzeugerseitig auf ein effektives Demand Side Management zurückgreifen kann, zeigt die folgende Grafik. Nur ein Teil des möglichen Potentials kann genutzt werden. Dazu kommt auch noch die Verlängerung der Markteinführung, da DSM-fähige Geräte zu Beginn vermutlich teurer sein werden, als andere.

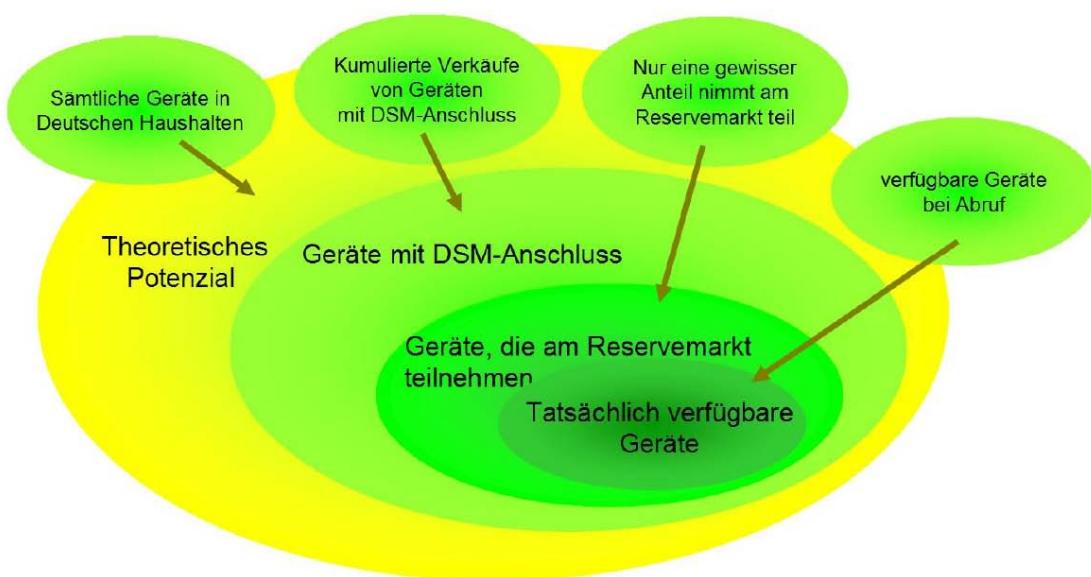


Abbildung 48: Abschätzung der tatsächlich verfügbaren Reserveleistung (Serafin von Roon, 2010)

3.3 Soziale Akzeptanz

Ein quasi energieautarker Haushalt ist in seinen Freiheiten natürlich mehr eingeschränkt, als ein Haushalt mit Netzanschluss, da die Steuerung der Geräte an das lokale Dargebot angepasst werden muss und erst in zweiter Linie an die Bedürfnisse der Haushaltsmitglieder. Ganz gleich, wie die technische Realisierung möglich oder auch unmöglich wäre, so stellt

sich auch die Frage nach der Akzeptanz solcher Maßnahmen und für welche Geräte der Einsatz eines solchen Systems denn überhaupt möglich und sinnvoll wäre?

In Ländern mit einer unregelmäßigen Energieversorgung ist es nichts Besonderes, zeitweise auf Strom verzichten zu müssen, oder den fürs Kochen benötigten Brennstoff erst sammeln zu müssen. Aber in industrialisierten Ländern sind solche Umstände undenkbar. Ein autarker Haushalt aber muss genau mit dieser Situation umgehen können. Aber auch die Kundinnen und Kunden mit Netzanschluss kann die Beschneidung der Freiheit, Energie dann zu beziehen wann immer man das möchte, eine unangenehme Umstellung sein. Man möchte zuerst die Möglichkeiten ausschöpfen, die Einschränkungen bei der Gerätebenutzung für die Kundin oder den Kunden so zu gestalten, dass diese nicht bemerkt wird.

Zum Beispiel werden in diesem Zusammenhang oft die Kühl- und Gefriergeräte genannt, da bei diesen Geräten der Start verzögert werden kann, ohne Einschränkungen in ihrem Betrieb befürchten zu müssen. Diese Zeitverzögerung bietet eine Leistungsreserve an, jedoch nur für die Zeitspanne, bis die Temperatur im Kühlgerät soweit angestiegen ist, dass die eingelagerten Waren beschädigt werden könnten. Die Betrachtung der Kühlgeräte ist einzeln betrachtet kein großes Potential – wie in Abschnitt Quasi periodische Geräte 2.1.2 beschrieben wurde, liegt die Leistungen hauptsächlich im Bereich 60 bis 300 Watt und in Abschnitt 2.2.6.4 gibt es Spitzenlasten von bis zu 6000 Watt. Das Demand Side Management für Kühl- und Gefriergeräte ist nur für die Betrachtung des gesamten, überregionalen Energieverbrauchs interessant – nicht aber für den einzelnen Haushalt. Darin besteht vielleicht auch ein Akzeptanzproblem für die Haushalte, da sie bei einer durchaus sinnvollen Entwicklung nicht mitmachen wollen, da für sie womöglich kein direkter Nutzen entsteht. Die Motivation zum Umweltschutz ist vermutlich gegeben, aber das ist nicht die unmittelbare Entscheidung beim Kauf eines, vermutlich teureren, DSM-fähigen Gerätes. Die Frage, die sich dabei aufdrängt, ist, warum man mehr Geld investieren sollte, um einen Effekt, der jetzt noch nicht spürbar ist, zu verhindern? Es bleibt deswegen zu befürchten, dass die Konsumentinnen und Konsumenten sich eher für billigere Technologien entscheiden werden.

Schwieriger stellt sich die Situation bei Geräten dar, bei denen Zeitverzögerungen des Betriebs tatsächliche Einschnitte in deren Betrieb mit sich bringen. Haushaltstätigkeiten wie Kochen und Körperpflege sind Anlass gesteuert, man kocht, weil man Hunger hat, und da will man nicht auf einen Zeitpunkt zum Kochen warten müssen.

Es gibt aber auch emotionale Gründe, die die Einführung von DSM-Anwendungen behindern dürften. In einer Studie der TU Graz wurden die Akzeptanzprobleme der Haushalte für DSM-Anwendungen erhoben (Mert, 2008). Hier wurden in Österreich, Deutschland, Italien, Slowenien und im Vereinigten Königreich je 200 Haushalte mit unterschiedlichen Personenanzahlen und Verhaltensmustern befragt. Die Fragen gingen auf die Akzeptanz von DSM-Methoden, sogenannte „smart operations“, ein. So bezeichnet man ein DSM-fähiges Gerät, auch „smart device“ genannt. Ebenso wurde die Akzeptanz bezüglich mehrerer Geräte erhoben. Die Studie hat ergeben, dass viele Befragte sich nicht wirklich mit der heutigen Energieproblematik beschäftigen oder gar verstehen. Der Bereitschaft ein „smart device“ für den Haushalt anzuschaffen, ist nicht etwa durch die neuere Technologie oder dem Gewinn für die Umwelt gegeben, sondern lediglich beim Austausch der bestehenden Geräte im Schadensfall vorhanden, und auch nur dann, wenn es keine Mehrkosten im Vergleich zu einem vergleichbaren konventionellen Gerät gibt. Abbildung 49 zeigt einen Ausschnitt aus dieser Studie mit den Hauptmotiven für den Kauf und die Anwendung von „smart devices“.

<i>Smart-A</i>	<i>Consumer acceptance</i>
----------------	----------------------------

The following conditions have to be met in order to convince consumers to buy smart appliances:

- Technology is considered as mature and experiences are available.
- Acceptable prices and/or subsidies are given.
- They have a financial gain by using smart appliances.
- Feasible cost models are available.
- Comfort is maintained or enhanced.
- Good information about smart appliances is available.
- The appliances have a good usability and attractive designs.

Abbildung 49: Ausschnitt aus (Mert, 2008)

Eine weitere Schwierigkeit in diesem Zusammenhang ist die Scheu vor neuen Technologien, bei deren Anwendung es noch keine nennenswerte Erfahrung gibt. Abbildung 50 hat die wesentlichsten Bedenken der Befragten aus der Studie von (Mert, 2008) zusammengefasst.

- Doubts about the safety of smart appliances
- Doubts whether technology is mature
- Fear to loose control
- Concerns about additional (hidden) costs
- Doubts that ecological effects will be met
- Scepticism about motivation of main actors

Abbildung 50: Ausschnitt aus (Mert, 2008)

Die wesentlichsten Forderungen der Konsumentinnen und Konsumenten sind keine Einschnitte in der Qualität der Energiedienstleistung und Freiheit der Anwendung. Weiters dürfen keine Mehrkosten durch Kauf oder Betrieb entstehen. Dazu kommen noch die Bedenken der Personenkreise hinsichtlich eines möglichen Verlustes seiner, vermeintlich notwendigen, Kontrolle über das Gerät. Meist wird auch dem effektiven ökologischen Nutzen keine Bedeutung beigemessen.

Zur Animierung der Kunden zum Kauf von “smart devices” meint der Autor dieser Studie: *“Main motivator for the majority of consumers to buy smart appliances is the prospect of a financial benefit. The ecological benefit is viewed as a positive side effect, which makes them feel good and indicates their green conscience, [...]“* (Mert, 2008).

3.4 Geräte

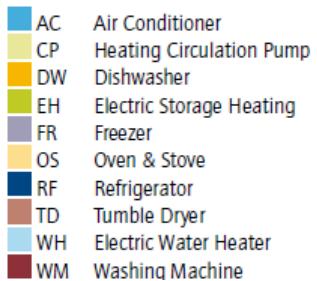
Prinzipiell kommt natürlich jedes Haushaltsgesetz als mögliches „smart device“ in Frage. Trotzdem ist die Zielsetzung vom Betrachter abhängig. So wird ein Haushalt mit einer Photovoltaikanlage eher versuchen, den eigenen Bedarf zu decken. Interessant dabei sind die Geräte mit einer hohen Leistungsanforderung und einzelnen Schaltspielen. Das Ziel ist es dann, überlagerte Spitzen zu vermeiden, um nur eine kleine Momentanleistung zu fordern. Eine niedrige Leistungsanforderung bedeutet eine kleinere Dimensionierung der Photovoltaikanlage und eine gute zeitliche Auslastung der Photovoltaikanlage bedeutet einen kleineren Speicher für elektrische Energie. Kleinere Verbraucher, auch wenn sie immer wiederkehrende Schaltspiele aufweisen, sind eigentlich sekundär, da die Energiemenge gar nicht so wichtig ist, im Vergleich zur Leistung.

Hingegen könnten die Energieversorgungsunternehmen genau eine gegenteilige Sicht der Dinge haben. Da die Akzeptanz für „smart devices“ zu Beginn der Einführung vermutlich noch recht unpopulär und nicht weit verbreitet sein dürfte, wird man eher die Geräte berücksichtigen, die unbemerkt agieren können. Ein Haushaltsschrank hat im Vergleich

zur Waschmaschine einen viel geringeren Leistungsverbrauch, aber man kann unbemerkt vom Endverbraucher und ohne Serviceeinbußen den Betrieb kurzfristig aussetzen. Diese Möglichkeit macht für einen Haushalt alleine kaum einen Sinn, da es sich dabei nur um eine Leistung von um die 100 Watt handelt. Dadurch, dass jeder Haushalt ein oder zwei Kühl- und Gefriergeräte unterhält, ist das für die Energieversorgungsunternehmen vorerst ein sehr interessantes Potential. Im Weiteren spielen natürlich auch andere Haushaltsgeräte eine Rolle.

Die Frage bezüglich der Gerätewahl wird in einem europäischen Projekt „Smart Domestic Appliances in Sustainable Energy Systems“- kurz SmartA⁷, behandelt. Ähnlich wie (Mert, 2008) kommt auch hier die Aussage vor, dass der entscheidende Parameter die Akzeptanz der Haushalte ist. Abbildung 51 zeigt einen Ausschnitt aus dem Smart-A Projekt (Timpe, 2009).

	WM	TD	DW	OS	RF	FR	AC	WH	EH	CP
Specific load during operation	high	high	high	high	low	low	mod.	high	v. high	low
Availability	low	low	low	low	high	high	low	mod.	mod.	mod.
Shifting flexibility	mod.	mod.	high	low	low	low	low	mod.	high	mod.
Convenience for consumers	low	low	mod.	low	high	high	low	mod.	high	mod.



AC	Air Conditioner
CP	Heating Circulation Pump
DW	Dishwasher
EH	Electric Storage Heating
FR	Freezer
OS	Oven & Stove
RF	Refrigerator
TD	Tumble Dryer
WH	Electric Water Heater
WM	Washing Machine

Abbildung 51: Ausschnitt aus (Timpe, 2009)

Dargestellt in Abbildung 51 sind einige Haushaltsgeräte und deren Eigenschaften in Bezug zur Eignung für DSM. Die einzelnen Eigenschaften sind bewertet von „low“ bis „v.high“. Bemerkenswert an dieser Tabelle sind vor allem die letzten beiden Zeilen, die die Akzeptanz der Konsumentinnen und Konsumenten mit beinhalten. Bei wenigen Geräten ist die Bereitschaft gegeben, externe Laststeuerungen zuzulassen.

⁷ <http://www.smart-a.org/>

3.5 Haushaltslast vs. PV-Erzeugungsprofil

Um jetzt den effektiven Nutzen solcher Maßnahmen deutlich darstellen zu können wird nun ein Verbraucherlastprofil einem Erzeugerprofil gegenübergestellt. In Abbildung 52 wird das Lastprofil des Haushalts 4, aus Kapitel 2.2.6.4, und das Erzeugerprofil einer Photovoltaikanlage in Zwentendorf, Niederösterreich übereinandergelegt. Die Erzeugerdaten wurden von der EVN Netz GmbH ermittelt und in einer Bakkalaureatsarbeit (Johannes Liedler, 2009) aufbereitet. Es stehen nur Daten im Zeitraum Ende August bis Anfang September zur Verfügung, was die Betrachtung für die Wintermonate leider ausschließt, da im Winter naturgemäß ein viel geringeres Sonnenenergiedargebot zur Verfügung steht. Die Situation im Winter ist angebotsseitig viel schlechter, da in Österreich ein deutlicher Sonnenstundenunterschied zwischen Sommer und Winter besteht. Im Winter ist die Sonnenleistung auch durch den tieferen Sonnenstand niedriger und es gibt weniger Sonnenstunden. Die oftmals bewölkte Wetterlage erzeugt dann auch mehr diffuses Licht, was das Leistungsdargebot weiter mindert. Durch denselben Umstand ist dann auch die Nachfrage nach Energiedienstleistungen für Wärme und Beleuchtung erhöht, was die Knappheit weiter verschärfen würde. Deshalb ist an dieser Stelle nochmals darauf hinzuweisen, dass die folgende Situation lediglich auch die sonnenstarken Sommermonate anzuwenden ist.

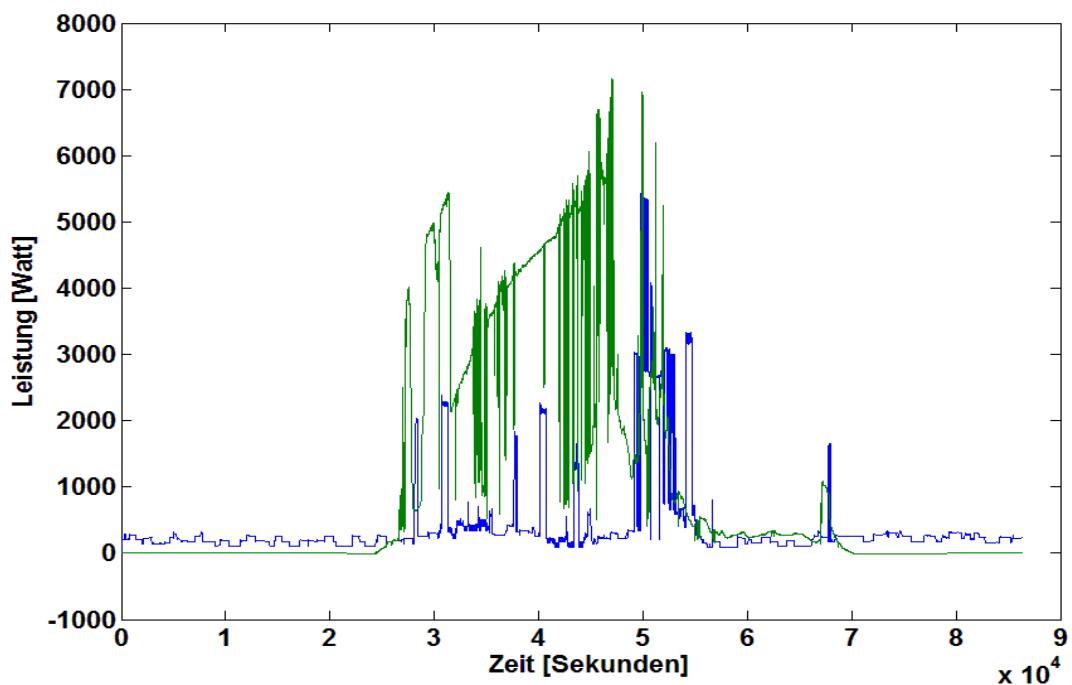


Abbildung 52: blau: Haushaltmessung vom 05.August 2009; grün: Erzeugerprofil einer Photovoltaikanlage am 05.September 2009

Zur besseren Darstellung wird der Verbrauch mit dem gleichen Vorzeichen dargestellt wie die Erzeugung. Schon bei oberflächlicher Betrachtung sieht man die deutliche Überproduktion, da diese Anlage mit einer Nennleistung von 8 kW für die Anwendung in einem Haushalt überdimensioniert ist. In Abbildung 53 sieht man deutlich die Überproduktion während der Schwach-Last-Zeiten.

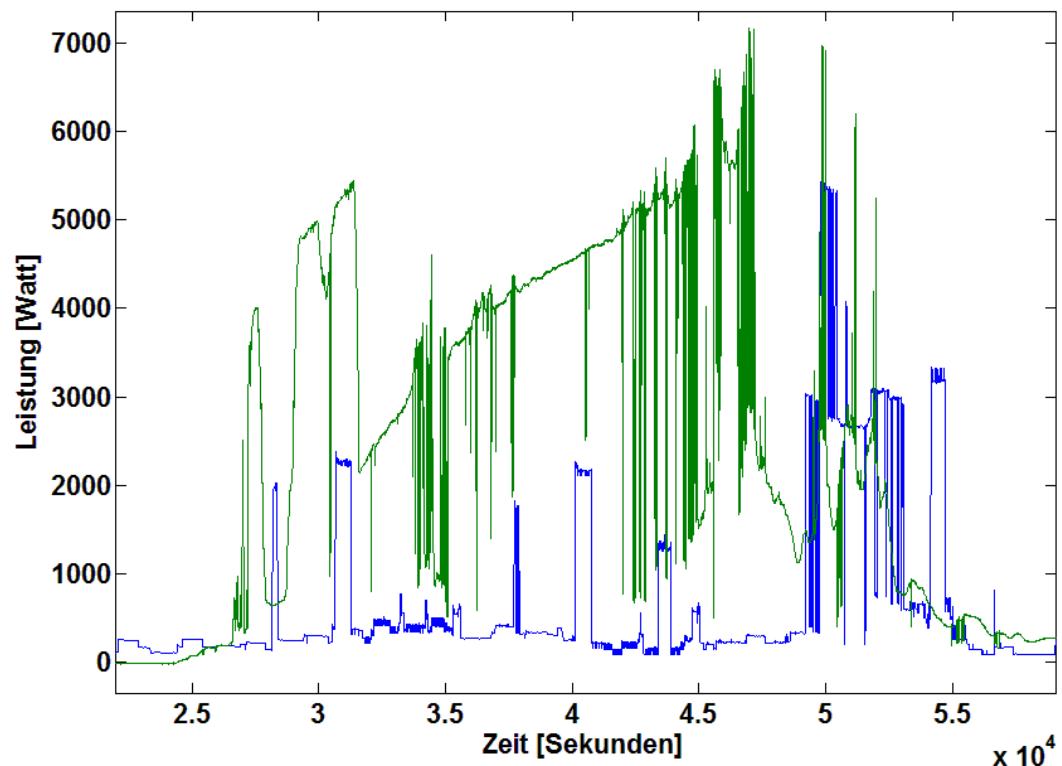


Abbildung 53: Ausschnitt aus Abbildung 52

Hier wird nun der Bedarf eines Speichers deutlich sichtbar, denn obwohl mehr Energie produziert wird, als benötigt, kommt es doch zu zwei Leistungsdefiziten, wie in Abbildung 54 und Abbildung 55 dargestellt wird.

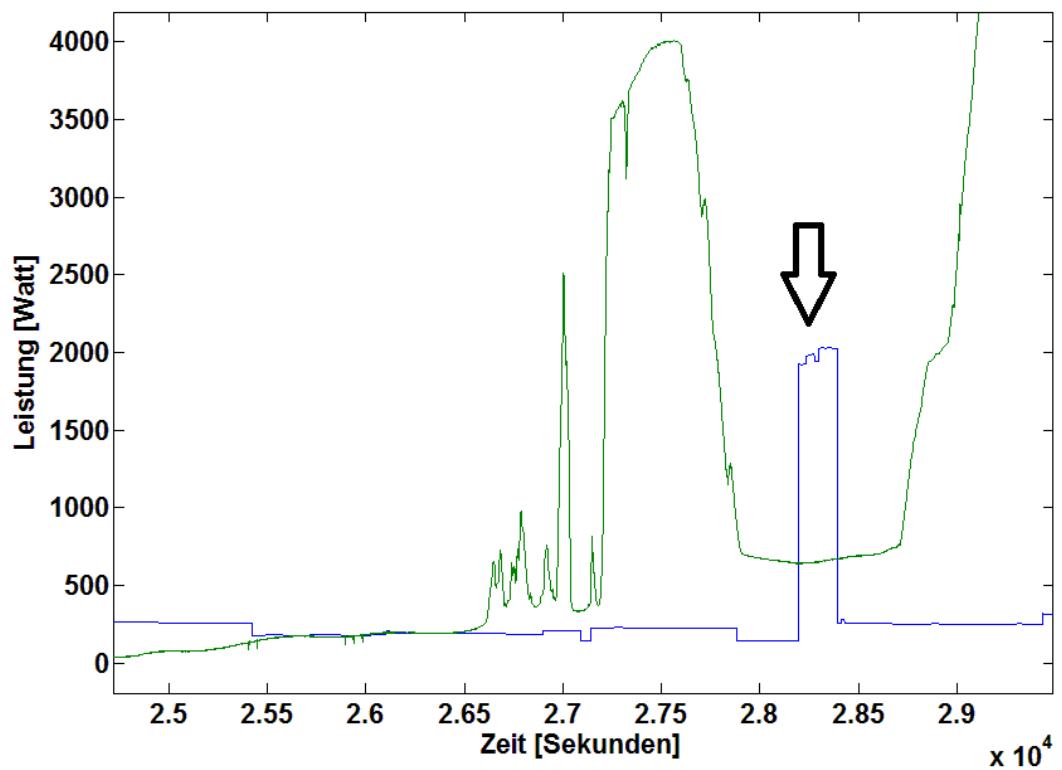


Abbildung 54: Leistungsdefizit 1, vergrößert aus Abbildung 52

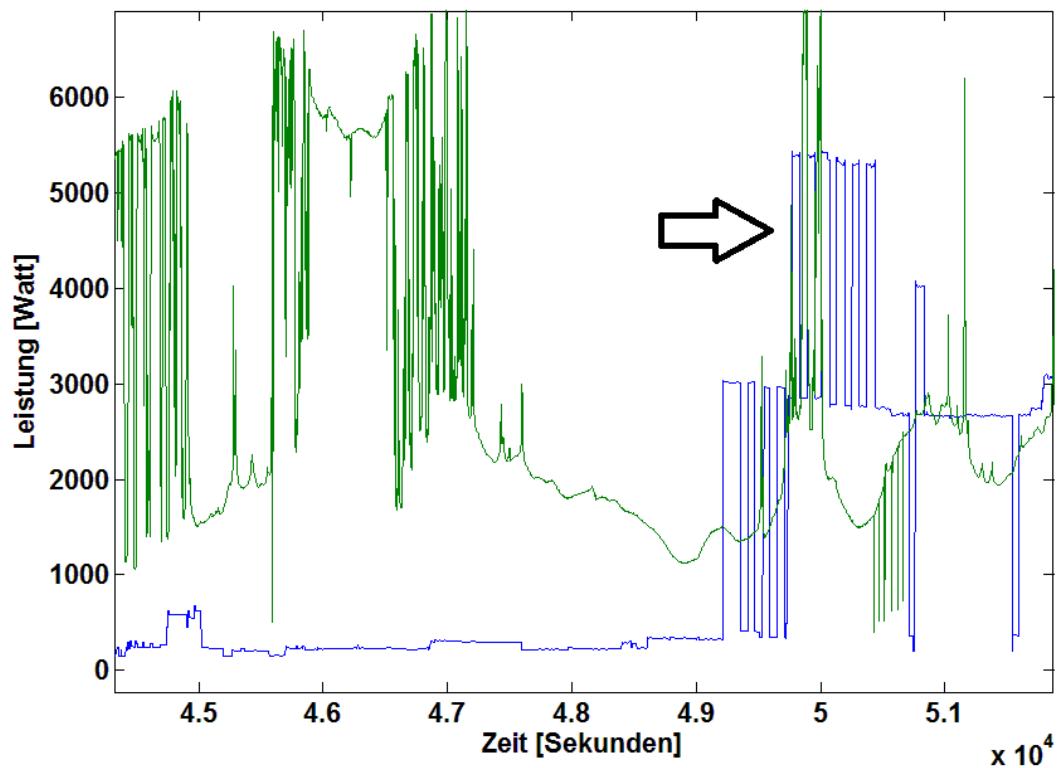


Abbildung 55: Leistungsdefizit 2, vergrößert aus Abbildung 52

Die Optimierung der Speichergröße ist nicht das Ziel dieser Masterarbeit, aber es ist schlüssig, dass bei der Verschiebung der mit den Pfeilen markierten Lastspitzen in Abbildung 54 und Abbildung 55 in den Bereich der Überproduktion, der Bedarf an elektrischer Speicherkapazität sinken würde. In der Praxis würde die Überlegung so aussehen, dass man eine perfekte Prognose für den entsprechenden Tag zur Verfügung hat und die Einsatzzeiten seiner Elektrogeräte so plant, dass die Momentanleistung von Erzeugung und Verbrauch immer ausgeglichen sei. Da das Erzeugungsprofil als statische Gegebenheit angesehen werden muss, kann man mit den Verbrauchern alle möglichen Permutationen für die Betriebszeiten ausrechnen, und die verlaufsähnlichste zum Erzeugerprofil dann als Fahrplan für die Einsatzzeiten der Haushaltsgeräte wählen. Die Differenzen zwischen Erzeugung und Verbrauch sind dann durch einen Speicher auszugleichen. Nimmt man statt der Speicherkapazität aber das Dargebot an erneuerbarer Energie im Verbundnetz an, so sieht man ebenso deutlich, dass dadurch die Auslastung für eben diese Energieträger sich stark verbessern würde. Auch zur Vermeidung von Engpässen bei Übertragungskapazitäten oder von zu hohen Lastspitzen kann man solche Überlegungen nutzen, je nachdem wie die Lösungsziele definiert werden.

In einem anderen Beispiel sieht man Haushalt 3, mit dem Erzeugerprofil vom 05 September 2009 – dargestellt in Abbildung 56

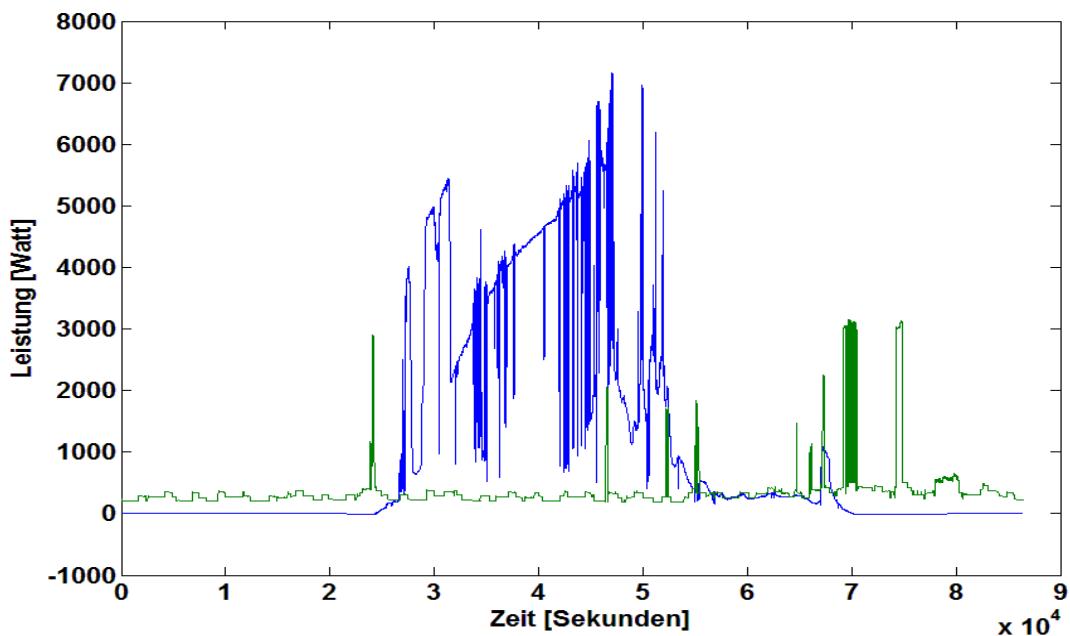


Abbildung 56 blau: Erzeugerprofil, grün: Verbraucherprofil der entsprechenden Daten

Man kann in Abbildung 56 genau erkennen, dass einige Verbraucher nicht während der erzeugungsstarken Zeitspannen in Betrieb sind. Ohne große mathematische Überlegungen kann man den Verlauf recht bequem energetisch verbessern - Abbildung 57:

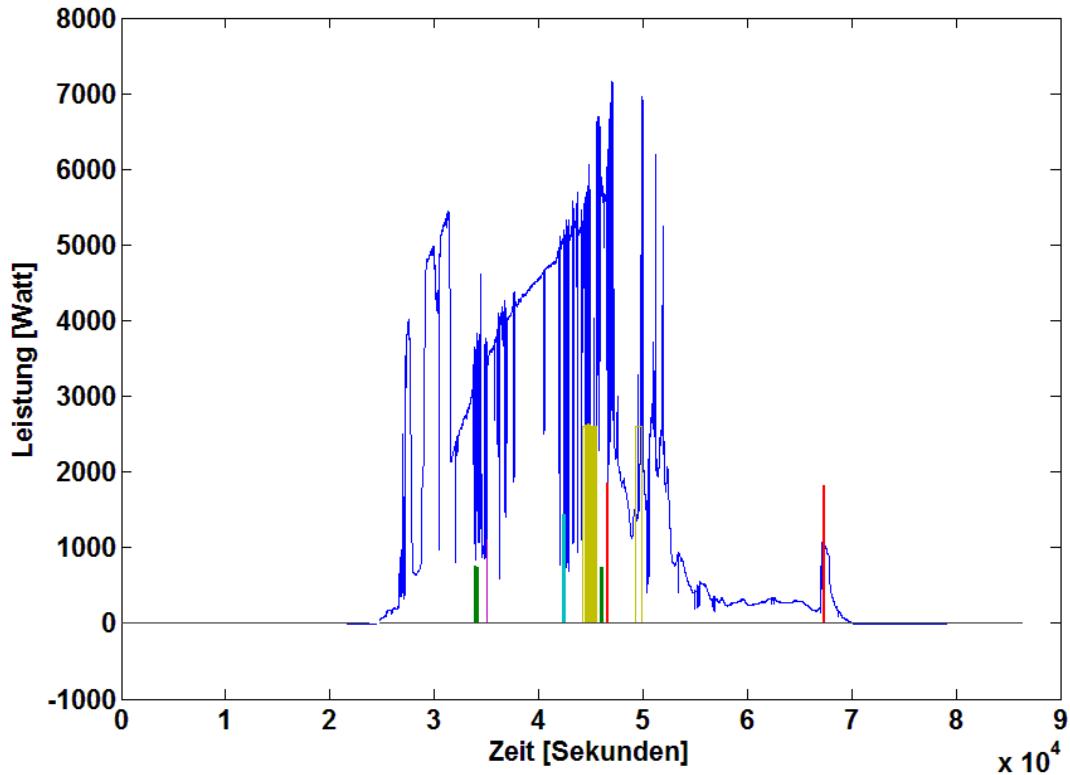


Abbildung 57 blau Erzeugerprofil, alle anderen Farben: diverse verschobene Verbraucher aus Abbildung 56

Die Verbraucher wurden damit an das Erzeugerprofil angepasst und die großen Leistungsverbraucher mit erneuerbarer Energie versorgt. Die hier vorgefundene Konfiguration zwischen Haushalt und Photovoltaikanlage ist nur als Modell zu betrachten, da man in der Praxis nie eine solch große Anlage für die Versorgung eines Hauses planen würde.

Zur besseren Näherung an eine realistische Situation kann man nun unter bestimmten Annahmen die Funktion eines Speichers oder des Verbundnetzes besser abschätzen. Der in diesem Abschnitt betrachtete Haushalt hat einen Energiebedarf von 8,77 kWh für diesen Tag, hingegen werden durch das Panel 25,93 kWh erzeugt. Nimmt man nun an, dass das betrachtete Panel einfach so viel kleiner wäre, dass damit genau der Haushaltsverbrauch gedeckt wäre, so ergibt das einen Faktor von 0,338 für die einzelnen Leistungen – siehe Abbildung 58. So wird hier speziell der Fall betrachtet, dass die PV-Anlage den Haushalt

energetisch

versorgt

(Energieautarkie).

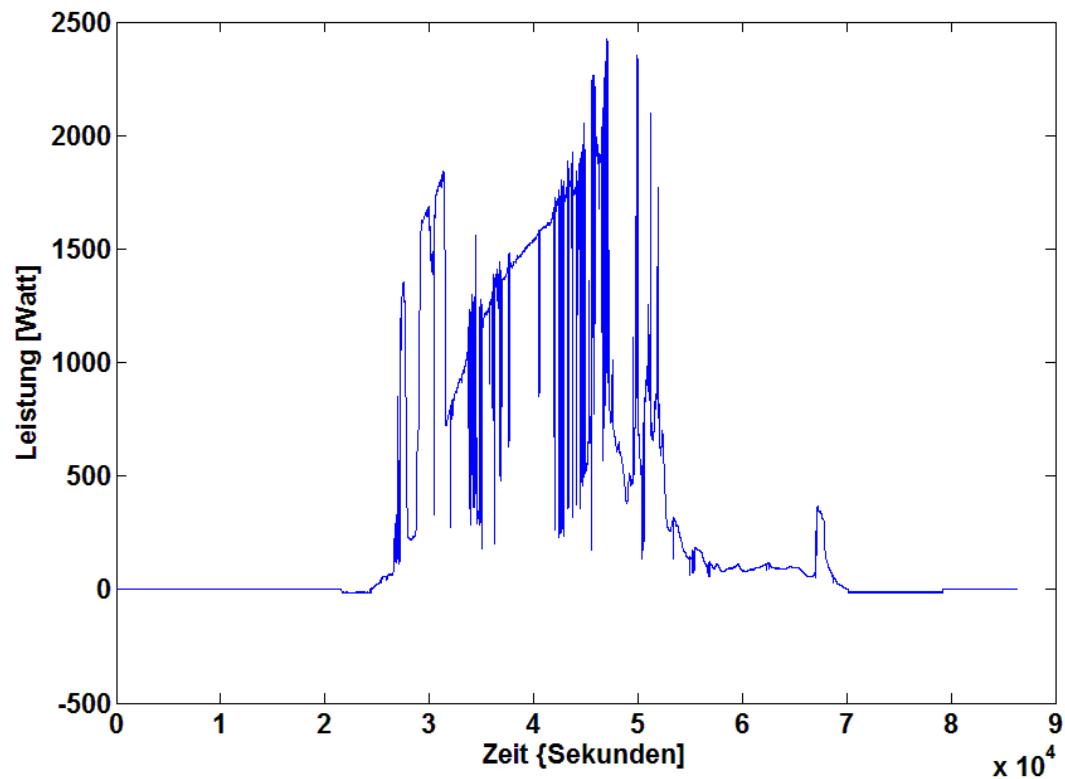


Abbildung 58: PV-Modell mit Faktor 0,338 multipliziert

Legt man nun die Erzeugung über den Verbrauch so ergibt sich das neue Bild dieses Tages – Abbildung 59. Abbildung 60 zeigt dann die Differenz zwischen Verbrauch und Erzeugung. Durch die Normierung ergibt die Summe der einzelnen Funktionswerte aus Abbildung 60 tatsächlich auch 0.

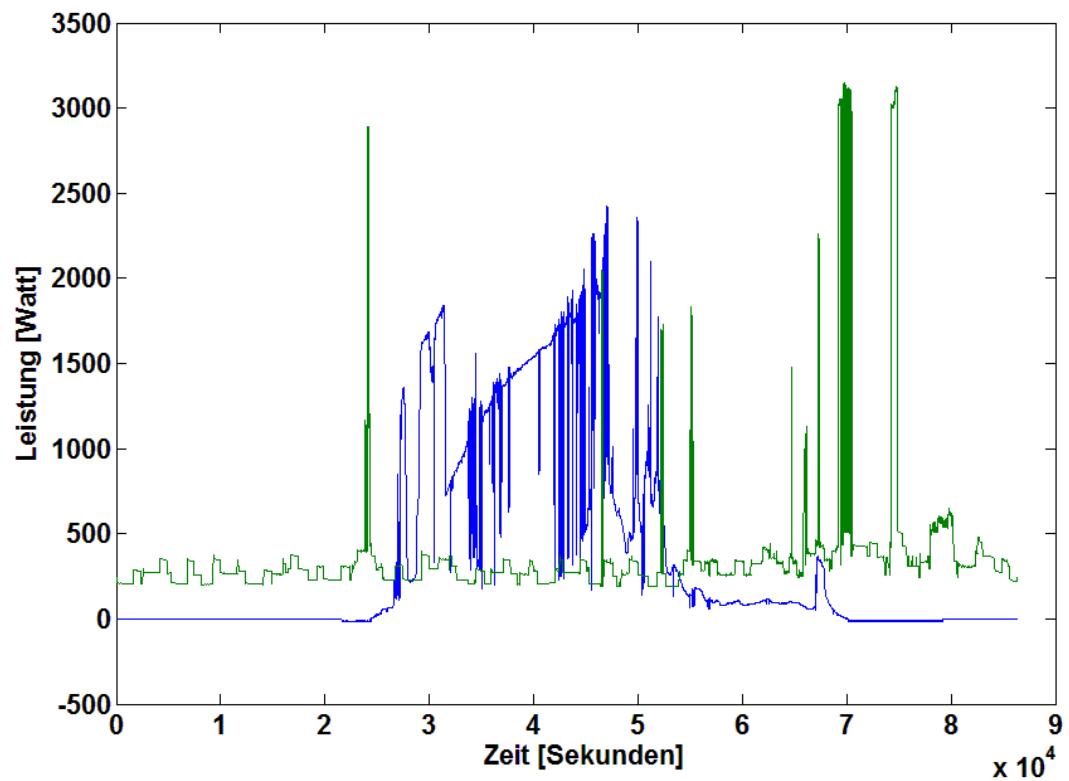


Abbildung 59: übereinandergelegtes Lastprofil (grün) und Erzeugerprofil (blau)

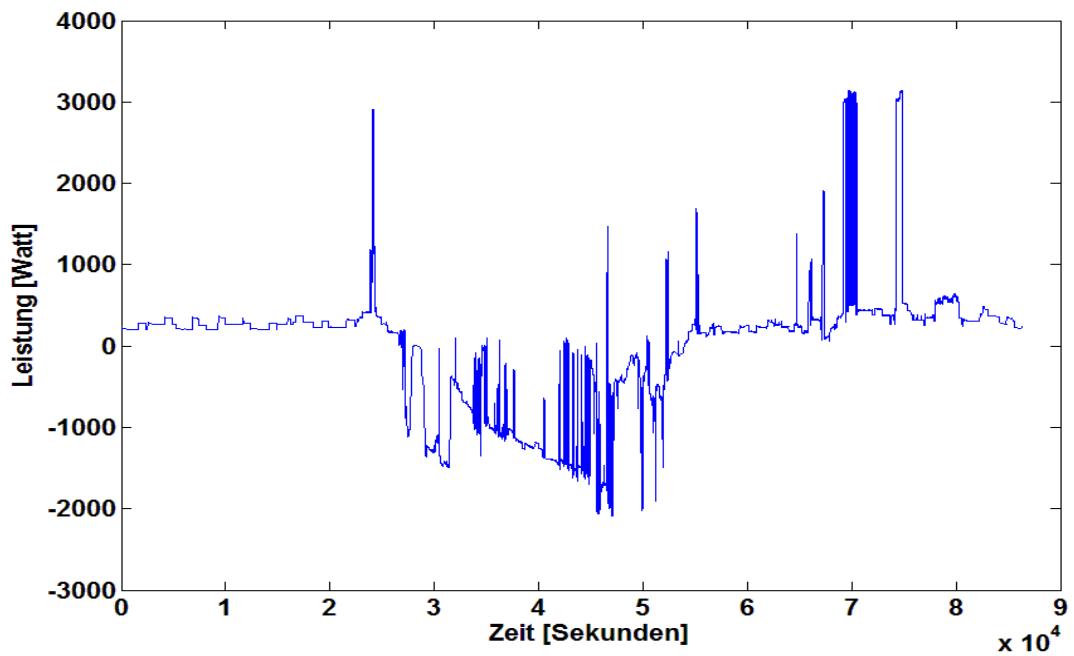


Abbildung 60: Differenz zwischen Erzeugung und Verbrauch aus Abbildung 59

Abbildung 60 ist jetzt jene Umkehrfunktion, die ein Speicher erfüllen muss, damit die Deckung des Leistungsbedarfs zu jedem Zeitpunkt erfüllt ist. Dabei wird gefordert, dass bei

Überproduktion noch genug Speicherkapazität zur Verfügung steht, um elektrische Energie zu speichern, aber auch bei Energiebedarf genug gespeicherte Energie im Speicher zur Verfügung steht. Lässt man nun diesen Verlauf, wie einen Film ablaufen, indem man die Zeitpunkte von links nach rechts abfährt und jede Änderung zum aktuellen Speicherstand aufsummiert, so beschreibt man mit dieser Variable dann den momentanen Speicherzustand. Der dabei entstehende höchste positive Wert ist der Maximalwert für benötigte Speicherenergie, der dabei entstehende niedrigste Wert ist der Maximalwert für benötigte Speicherkapazitäten – Abbildung 61.

Name	Value	Min	Max
A	<86400x1 double>	189	3.1472...
ans	25.9339	25.9339	25.9339
batt	-1.1628e-06	-1.162...	-1.162...
erzeugung	9.3362e+07	9.3362...	9.3362...
lopi	<86400x1 double>	-2.088...	3.1396...
max	7.7369e+06	7.7369...	7.7369...
min	-1.4417e+07	-1.441...	-1.441...
safe_ziel	<86400x1 double>	-16.27...	7.1659...
verbrauch	3.1569e+07	3.1569...	3.1569...
ziel	<86400x1 double>	-16.27...	2.4230...

Abbildung 61 Variable max bezeichnet maximale Speicherenergie, min bezeichnet maximale Speicherkapazität

Die Lösungen in Abbildung 61 sind Angaben der Energie in Wattsekunden. Umgerechnet wären dann die maximal benötigte Speicherenergie (Variable max) 2,15 kWh; die maximal benötigte Speicherkapazität (Variable min) hat den Wert von 4 kWh. Durch DSM Maßnahmen könnten diese Werte verringert werden und damit die Kosten für Speichergröße reduziert werden. Natürlich sind diese Angaben der Energiespeicher nur mit dem Wissen des zukünftigen Sonnendargebots möglich – sprich man benötigte dafür eine perfekte Prognose. Da eine perfekte Prognose aber bislang nicht zuverlässig produziert werden kann, wird die Speicherauslegung großzügiger ausfallen müssen, als es hier getan wurde um den Eigenbedarf zu jedem Zeitpunkt decken zu können.

Auch hier sei nochmals erwähnt, dass die Auslegung für die Speicherung elektrischer Energie nur in den Sommermonaten so geringe Werte haben wird. Wenn die, durch die Sonneneinstrahlung erzeugte, Momentanleistung im Winter geringer wird, ist der Bedarf an gespeicherter Energie natürlich höher. Fraglich bleibt aber auch, wodurch dann der

Mehrbedarf an Energie gedeckt werden kann, da die angeschlossene Photovoltaikanlage sowieso schon zu wenig Energie liefern kann.

4 Schlussfolgerungen

Die Möglichkeiten zur Verbesserung unserer Energieversorgung ist heutzutage ein großes Thema und wird in vielen wissenschaftlichen Arbeiten und Projekten behandelt und vorangetrieben. Das Ziel dieser Masterarbeit war es, Überlegung und Methoden für den Haushalt zu entwickeln, die die Einführung eines effektiven Demand Side Managements begünstigen. Das Hauptaugenmerk liegt dabei bei der Identifizierung von Haushaltsgeräten und der Bewertung bezüglich deren Eingliederung in Methoden zur Laststeuerung. Mit einfachen Methoden gelingt dies unter bestimmten Voraussetzungen mehrheitlich gut.

Dazu wurde der Prototyp eines Algorithmus an vier Haushalten getestet. Die Ergebnisse waren zwar mehrheitlich erfolgreich, können aber nicht die gewünschte Ziele erreichen. Gerade in den Situationen, die zu Lastspitzen führen, nämlich bei der Überlagerung von Geräten mit einer hohen Leistungsanforderung, versagt der Algorithmus und man muss auf aufwendigere Methoden zurückgreifen. Die Probleme, die eine Mustererkennung aus einem Gesamtprofil mit sich bringen, werden auch dadurch verschärft, dass die Produzenten von Haushaltsgeräten entweder nicht über Musterlastprofile ihrer eigenen Geräte verfügen, oder diese nicht freizügig mitteilen möchten. Dieses Problem erschwert nicht nur die gegenwärtige Lage bei der Erhebung von Kriterien zur Geräteerkennung, sondern macht auch in Zukunft eine ständige Adaptierung neuer Verhaltensweisen und auch Verhaltensveränderungen notwendig. Eine Literaturrecherche blieb ohne befriedigendes Ergebnis.

Recherchen zum zweiten Teil dieser Masterarbeit, zum Thema des Demand Side Managements, ergeben eine recht vielversprechende Möglichkeit erneuerbare Energieträger in die zukünftige Energieversorgung einzubinden. Die Zahl an Pilotprojekten und Publikationen vermittelt eine optimistische Zukunftssicht für diese Technologie. Durch die bereits etablierten Methoden der Laststeuerung bei Heizung und Warmwasser wurden ja auch schon früher ähnliche Überlegungen angestellt. Der flexible Einsatz von DSM-fähigen Geräten hilft bei der Vermeidung teurer Energiespeicher, da die zeitliche Lastverschiebung eben genau die wesentlichen Bedingungen eines Speichers erfüllt. Anders betrachtet kann man die Einführung von DSM-Methoden als Beschleuniger für die erneuerbaren Energieträger sehen. Glaubt man aber der Studie (Mert, 2008), so ist die Bereitschaft der Haushalte, „smart devices“ zu integrieren, eher gering einzuschätzen. Über die Schaffung finanzieller Anreize wäre die Motivation zum Umstieg natürlich größer, aber auch Technophobie und die Bedenken hinsichtlich eines möglichen Kontrollverlust bremsen die Einführung neuer Technologien. Erschwerend kommt hier noch dazu, dass sich durch

Laststeuerungsmaßnahmen keine direkten Vorteile für die Konsumentinnen und Konsumenten ergeben. Diese sozialen Probleme sind nur durch Aufklärung und Information zu beseitigen. Diese Informationen sind durchaus vorhanden werden aber zur Zeit nicht großräumig kommuniziert.

5 Literaturverzeichnis

- Fa. Miele Österreich. (kein Datum). *Miele Haushaltsgeräte - Waschmaschinen*. Abgerufen am 29. August 2011 von http://www.miele.at/at/haushalt/produkte/Waschmaschinen_Frontlader_Geraete_W_5841_WPS_Allwater.htm
- Johannes Liedler, B. (13. September 2009). Monitoring von PV Anlagen. WIEN.
- Linda Farinaccio, R. Z. (1999). Using a pattern recognition approach to disaggregate the total electricity consumption in a house into the major end-uses. *Elsevier- Energy and Buildings* 30 , 245-259.
- Mert, W. (2008). *Smart Domestic Appliances in Sustainable Energy Systems (Smart-A)*. Inter-university Research Centre for Technology, Work and Culture, Graz.
- SATURN Internet Redaktion. (kein Datum). *Saturn*. Abgerufen am 23. August 2011 von www.saturn.at
- Serafin von Roon, T. G. (2010). *Demand Side Management in Haushalten Methoden zur Potentialanalyse und Kostenabschätzung*. Forschingsstelle für Energiewirtschaft e.V., Am Blütenanger 71 80995 München +49 89 158121-0, sroon@ffe.de, www.ffe.de.
- Timpe, C. (2009). *Smart Domestic Appliances Supporting the System Integration of Renewable Energy*.
- Wienenergie GmbH. (kein Datum). *Wienenergie Nachtstrom*. Abgerufen am 16. August 2011 von Wienenergie Nachtstrom: <http://www.wienenergie.at/we/ep/programView.do/channelId/-22261/programId/23117/pageTypeId/11889>
- wikipedia. (kein Datum). *Demand Response*. Abgerufen am 11. September 2011 von http://en.wikipedia.org/wiki/Demand_response
- Wikipedia. (kein Datum). *Geschirrspülmaschine- Wikipedia*. Abgerufen am 23. August 2011 von <http://de.wikipedia.org/wiki/Geschirrsp%C3%BClmaschine>

Abbildung 1: Das Lastprofil eines Wasserkochers über einen ganzen Tag. Betriebsdauer 199 Sekunden	10
Abbildung 2: Lastverhalten eines typischen Ein/Aus- Gerätes aus einem Gesamtprofil	11
Abbildung 3: Lastverhalten eines quasi periodischen Gerätes(Kühlschrank). Man erkennt das „periodische“ Auftreten ein und desselben Lastverlaufes aus einem Gesamtlastprofil	12
Abbildung 4: Gefrierschranklastgang eingebettet zwischen je 2 Kühlschranklastverläufen aus einem Gesamtlastprofil	13
Abbildung 5: Lastverlauf eines Geschirrspülers aus einem Gesamtlastprofil	14
Abbildung 6: Lastprofil eines Haushaltes über einen ganzen Tag.....	15
Abbildung 7: Leistungsänderungen aus Abbildung 6.....	17
Abbildung 8: Beispiel für mehrere Geräte die teilweise gleichzeitig in Betrieb sind, aus einer Gesamtlastprofil	18
Abbildung 9: aus Abbildung 8 gewonnene Deltareihe	19
Abbildung 10 : Gesamtlastprofil mit zwei Geräten. 1 ist die Kennzeichnung für einen Kühlschrank; 2 die für den Gefrierschrank	20
Abbildung 11: Deltareihe des Lastprofiles dargestellt in Abbildung 10 1a- Einschaltflanke Kühlschrank; 1b- Ausschaltflanke Kühlschrank; 2a- Einschaltflanke Gefrierschrank; 2b- Ausschaltflanke Gefrierschrank	21
Abbildung 12: Schema des Algorithmus	22
Abbildung 13: Lastprofil eines Kühlschrankes über einen ganzen Tag	23
Abbildung 14: Ergebnisdatenlayout	24
Abbildung 15: in blau das originale Lastprofil, in grün das vom Algorithmus detektierten Events....	24
Abbildung 16: Ergebnisdatenlayout	25
Abbildung 17: zwei aufeinanderfolgende Flanken(durch Pfeile markiert).....	26
Abbildung 18: Die zwei aufeinanderfolgenden Flanken aus Abbildung 17 vergrößert. Selbst beim Löschen der richtigen Einschaltflanke, ändert sich der Einschaltzeitpunkt nur um circa 130 Sekunden	27
Abbildung 19: Ein/Aus Charakteristik - schlichtes Rechteck.....	28
Abbildung 20: Leistungsänderungen aus Abbildung 19	29
Abbildung 21: Lastprofil des Haushalts 1 zum angegebenen Datum	30
Abbildung 22: Lösung des Algorithmus mit Abbildung 21 als Input – blau: Gesamtleistung; grün: Kühlschrank; rot: Gefrierschrank; türkis: Kaffeemaschine; pink: Haushaltsgerät.....	31
Abbildung 23: Kaffeemaschine, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 21	32
Abbildung 24: Rasierapparat, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 21	33
Abbildung 25: Lastprofil des Haushalts zum angegebenen Datum.....	34
Abbildung 26: Spitze links, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 25	35
Abbildung 27: Die folgenden zwei Nadeln, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 25	35
Abbildung 28: Gerät mit einer Ein/Aus- Charakteristik, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 25 ...	36
Abbildung 29 Lösungsgraphen des Lastprofils aus Abbildung 25 – blau: Gesamtleitung, grün: Kühlschrank, rot: Gefrierschrank, türkis: Kaffeemaschine, pink: Haushaltsgerät	37
Abbildung 30 Lastprofil des Haushalts 3 zum angegebenen Datum.	38
Abbildung 31: Zwei Geräte mit einer Ein/Auscharakteristik überschneiden sich, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 30.....	39
Abbildung 32: weitere Geräte, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 30	39
Abbildung 33: Geräte mit Ein/Aus Charakteristik, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 30	40

Abbildung 34: Schaltzyklen des Gerätes und eine längere Pause, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 30.....	41
Abbildung 35: Lastprofil des Haushalts 4 zum angegebenen Datum.....	42
Abbildung 36: Problem mit der Flankenanzahl	42
Abbildung 37: Zwei Geräte, die gleichzeitig in Betrieb sind	43
Abbildung 38: Starke Schwankungen des Leistungsoffsets, gemessen aus Lastprofil in Abbildung 35	44
Abbildung 39: Ergebnis einer Klassifizierung.....	46
Abbildung 40: Klasseninhalt, die linke Spalte enthält den Schaltzeitpunkt, die rechte Spalte die Schaltleistung	47
Abbildung 41 Deltareihe des 05.08.2009	48
Abbildung 42: geringe Schwankung der Einschalteleistung	49
Abbildung 43: Fehlerhafte Flankenanzahl. Es gibt mehr positive als negative (rot umrandet) Flanken	50
Abbildung 44: Haushalt 2 aus Abschnitt 2.2.6.2	51
Abbildung 45: Verschiebung einer Lastspitze in Abbildung 44: Haushalt 2 aus Abschnitt 2.2.6.2	52
Abbildung 46: Ein Haushalt mit einer hohen Spitzenlast um die Mittagszeit	53
Abbildung 47 zeigt die Verschiebung von Last (Serafin von Roon, 2010)	54
Abbildung 48: Abschätzung der tatsächlich verfügbaren Reserveleistung (Serafin von Roon, 2010) ..	56
Abbildung 49: Ausschnitt aus (Mert, 2008)	58
Abbildung 50: Ausschnitt aus (Mert, 2008)	59
Abbildung 51: Ausschnitt aus (Timpe, 2009)	60
Abbildung 52: blau: Haushaltmessung vom 05.August 2009; grün: Erzeugerprofil einer Photovoltaikanlage am 05.September 2009	61
Abbildung 53: Ausschnitt aus Abbildung 52	62
Abbildung 54: Leistungsdefizit 1, vergrößert aus Abbildung 52	63
Abbildung 55: Leistungsdefizit 2, vergrößert aus Abbildung 52	63
Abbildung 56 blau: Erzeugerprofil, grün: Verbraucherprofil der entsprechenden Daten	64
Abbildung 57 blau Erzeugerprofil, alle anderen Farben: diverse verschobene Verbraucher aus Abbildung 56.....	65
Abbildung 58: PV-Modell mit Faktor 0,338 multipliziert	66
Abbildung 59: übereinandergelegtes Lastprofil(grün) und Erzeugerprofil(blau)	67
Abbildung 60: Differenz zwischen Erzeugung und Verbrauch aus Abbildung 59	67
Abbildung 61 Variable max bezeichnet maximale Speicherenergie, min bezeichnet maximale Speicherkapazität	68