

Manage Energy @ Home

Ein Weg zu mehr Energieeffizienz aus der Nutzersicht

Markus Gebhard, Februar 2012

Zusammenfassung

Smart Grids, dezentrales Energiemanagement, intelligente Stromzähler und Geräte sind aktuelle Trendthemen. Bei diesen liegt der Enthusiasmus etwas Gutes zu bewirken dicht neben großer Ernüchterung. Aus eigenen Erfahrungen soll aufgezeigt werden, welche Wünsche und Wirklichkeiten sich aus dem Betrieb und der Optimierung einer Solarthermie- und Photovoltaikanlage ableiten lassen. Politische Rahmenbedingungen, eigenes Nutzungsverhalten und lokale Initiativen zeigen schon im Kleinen Aspekte auf, wie eine Balance zwischen mikroskopischer Wirklichkeit und makroskopischen Trends hergestellt werden kann, zu der gerade intelligente Softwarelösungen einen gewichtigen Beitrag leisten können.

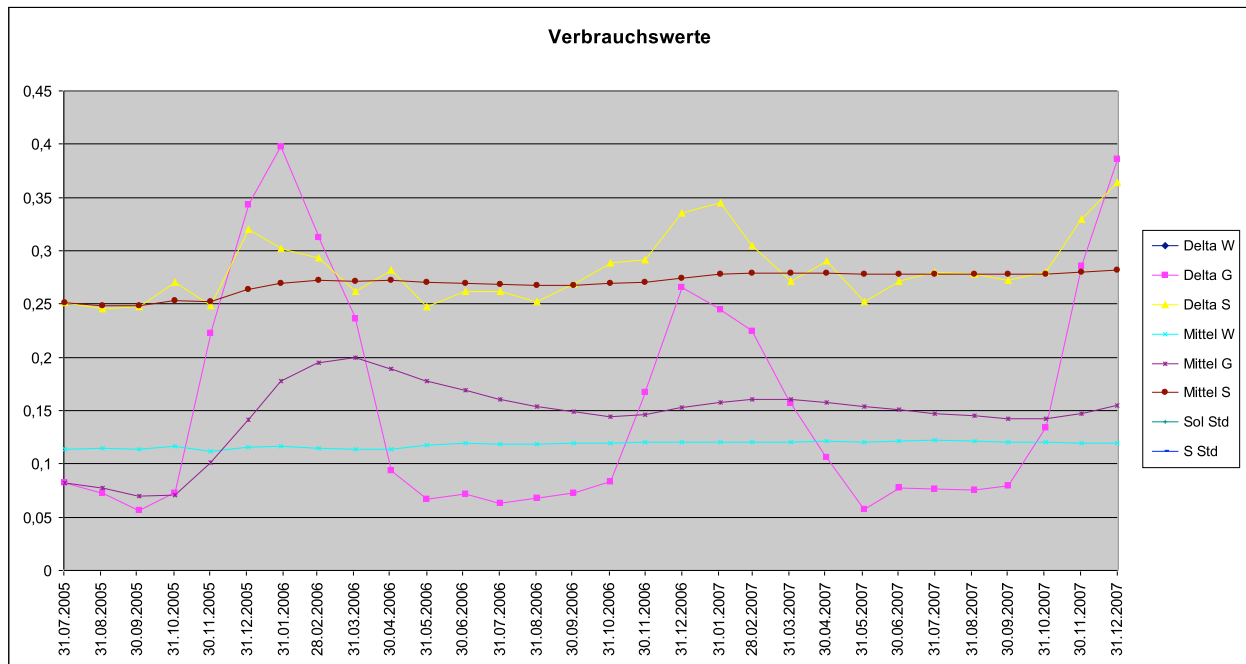
Inhalt

Dieser Aufsatz zeichnet auf Basis eigener Erfahrungen den Weg nach, wie schrittweise die eigene Energieeffizienz, die „bewusste Nutzung und vermiedene Verschwendung“ von Energie, optimiert werden kann. Die Herausforderungen ergeben sich dabei aus der Beobachtung privaten Nutzungsverhaltens, ad hoc und über einen kontinuierlichen Zeitraum. Eine „sinnvolle“ Interpretation der erhobenen Daten erfordert dann die tiefere Auseinandersetzung mit dem eigenen Status Quo und dem, was gemäß aktueller Trends, politisch, technisch und vor allem bezahlbar möglich ist anzugehen. Mit der Umsetzung konkreter Optimierungsschritte ergeben sich dann weitere Ideen und Schritte, die abschließend skizziert werden sollen.

Herausforderung

Als wir im Jahr 2005 unser eigenes Haus, eine „normale Doppelhaushälfte ohne eine besondere Effizienzklasse“, bezogen haben, war es für uns ein Novum, mit Strom, Wasser und Gas komplett eigenverantwortlich umgehen zu können. Um uns einen Überblick zu verschaffen, haben wir von Anfang an Verbrauchsdaten erhoben. Dies erfolgte periodisch, jeweils durch manuelle Ablesung der Zählerstände zum Monatsende und ist im folgenden Diagramm wiedergegeben als Projektion auf den Verbrauch von Gas und Strom pro Stunde (in m^3/h bzw. kWh) respektive Wasser pro Tag (m^3/d). Wie die Verbrauchsdaten der ersten drei Jahre zeigen, ergab sich schon recht schnell ein recht konstanter Strom- und Wasserverbrauch. Der Gasverbrauch schwankte erwartungsgemäß zwischen Sommer und Winter, da bei uns Gas als primäre Wärmequelle für Warmwasserbereitung und Heizung verwendet wird. Der entsprechende Anstieg des Stromverbrauchs im Winter ist dabei direkt auf die Kopplung mit der elektrisch betriebenen Heizungs-pumpe zurückzuführen.

280 Watt pro Stunde im Mittel für den Stromverbrauch, für die üblichen Dinge, wie Kochen, Waschen, Kühlschrank und Fernsehen, erschien uns plausibel; im Bundesdurchschnitt waren es 2006 beim Stromverbrauch für einen Zwei-Personenhaushalt 3030 kWh/a entsprechend sogar knapp 346 W pro Stunde – also hier schon ziemlich gut.

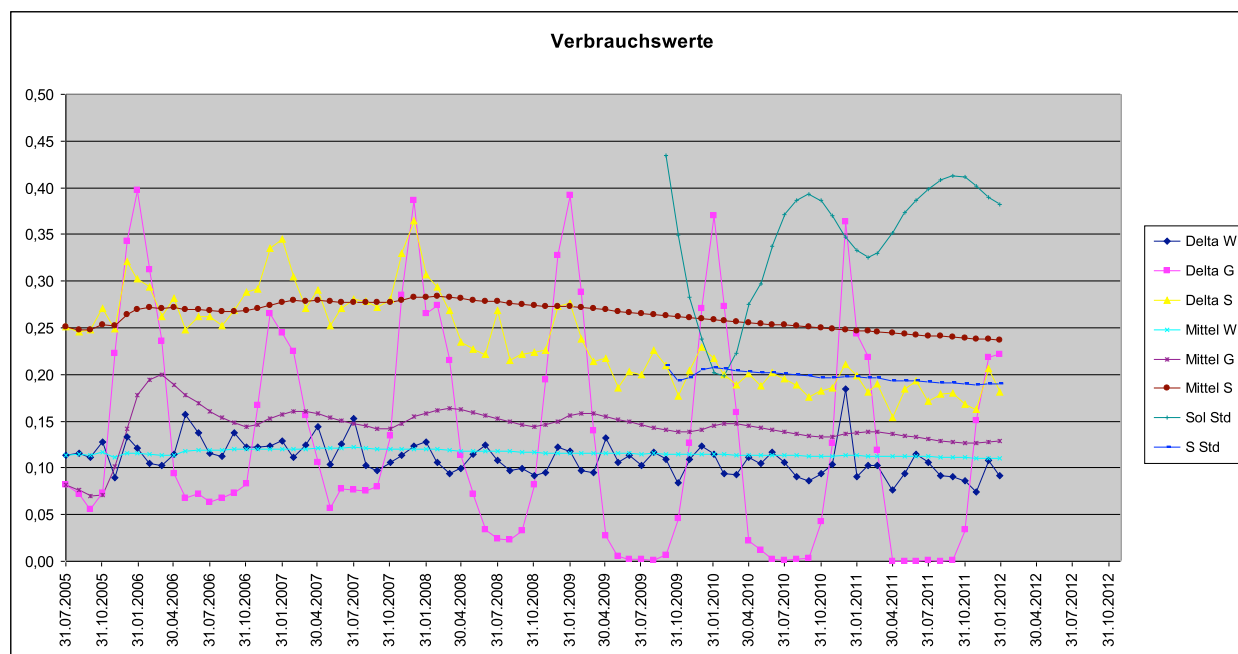


Beobachtung und Umsetzung

Der erste richtige Aha-Effekt bezogen auf „unsinnigen“ Energieverbrauch kam mit einer Wartung unserer Heizungsanlage. „Wisst Ihr eigentlich, dass eure Zirkulationspumpe (dieser Luxus, der dafür sorgt, dass sofort warmes Wasser da ist, wenn man einen Wasserhahn öffnet) immer läuft?“, war die Frage des Installateurs. Unsere Antwort war „Gehört das nicht so?“, mit der Reaktion „kann, muss aber nicht, insbesondere dann nicht, wenn niemand zuhause ist, der überhaupt Warmwasser verbrauchen könnte“. Zumindest eine Zeitsteuerung wäre hier sinnvoll, denn die Pumpe verbraucht kontinuierlich mindestens 30W und kühlt durch ständigen Umlauf zudem den Warmwasserspeicher aus, so dass nachgeheizt werden muss, ohne das Warmwasser überhaupt gebraucht würde. Warum das Ding nicht generell über die Heizungssteuerung betrieben wird, die schon auf unser Nutzungsprofil konfiguriert war, bleibt ein Geheimnis des Herstellers. Die folgende Umstellung, zunächst auf eine Zeitschaltuhr und später auf eine reine Temperatursteuerung (Lauf nur dann, wenn explizit warmes Wasser angefordert wird) war der Startschuss, tiefer in die Gegebenheiten und Möglichkeiten effizienterer Energienutzung einzusteigen. Die einfache Maßnahme, einen nicht offensichtlichen, aber dennoch kontinuierlichen Verbraucher „intelligenter“ zu machen, führte zu einer nicht unerheblichen Einsparung – wie heißt es so schön, „wir hatten Blut geleckt“.

Beim Thema „Warmwasserbereitung“ war im Nachhinein „leider“ die nächste Erkenntnis, dass Gas oder Strom zur Wärmeerzeugung zu nutzen eigentlich auch „unsinnig“ ist. Solarthermie war zu diesem Zeitpunkt (2008) „in“ und relativ bezahlbar, so dass wir die Warmwassererzeugung durch zwei solarthermische Kollektoren auf dem Dach ergänzt haben. Betrachtet man allerdings die entstandenen Kosten für den nachträglichen Einbau bezogen auf den tatsächlichen Nutzen (Sonne scheint vornehmlich dann ausgiebig, wenn man eh weniger warmes Wasser benötigt), so amortisiert sich diese „Effizienzsteigerung“ bei den aktuellen Energiepreisen wohl nicht – die kontinuierlich erreichbaren Temperaturdifferenzen werden erst bei den modernsten Heizungsanlagen mit gezieltem Einsatz von Wärmepumpen wieder interessant (Stichwort „Zeolithspeicher“).

Um den Themenkomplex Heizung abzuschließen – hier kann man als Laie das Grundprinzip der eigentlichen Heizungsanlage nicht ändern – sei noch auf die Umwälz- und Speicherladepumpe hingewiesen: Die verbauten Pumpen „etwas älterer“ Heizungsanlagen sind durchweg mit Drehstrom-Synchronmotoren ausgestattet. Diese ziehen „locker“ mindestens 50W (eher mehr), was einen Austausch gegen moderne Hocheffizienzpumpen sinnvoll erscheinen lässt. Hierbei gilt es aber zu beachten, dass die Installationskosten nicht schon den Sparvorteil auf die Pumpenlebenszeit auffressen sollten. Tauscht man selbst aus, so wie wir, kann man entsprechend den Stromverbrauch der eigenen Heizungsanlage weiter optimieren. Das folgende Diagramm zeigt, wie die entsprechenden Maßnahmen dafür gesorgt haben, dass sogar in der Heizperiode der jahresübliche Stromverbrauch nahezu gleich gehalten werden kann.



Das Aufspüren von Verschwendung durch Kontrolle des mittleren Verbrauchs und „Typenschildkontrolle“ ist eine Vorgehensweise, die dort sinnvoll ist, wo „größere, semantisch abgeschlossene Einheiten“ betrachtet werden können, so wie eben eine Heizungsanlage. Die vielen anderen Verbraucher, die etwa kontinuierlich wenig verbrauchen, wie Digitaluhren, Router oder Telefon, sowie solche die nur zeitweise verwendet werden, wie Licht, Staubsauger, Kaffeemaschine oder Herd, bilden im Mittel „nur“ ein Grundrauschen, das eine genauere Untersuchung ohne zusätzliche Hilfsmittel erschwert.

Um dies anzugehen, muss man schon „smarter“ werden. So „smart“, dass man letztlich gerade die Verbrauchsspitzen offenlegt, die insbesondere auch die Grundausslegung eines Energie-Verteilungssystems bestimmen. Was hilft es im Mittel „nur 200W“ zu benötigen, wenn der Spitzenverbrauch kurzzeitig die 3kW-Marke knackt (nicht nur ein Herd beim Aufheizen).

Dazu im Folgenden ein paar Grundlagen der Elektrotechnik aus [TEE08], ohne die eine korrekte Interpretation von Verbrauchswerten respektive deren Erfassung kaum möglich ist.

Elektrischer Strom beschreibt die kontinuierliche oder schwingende Bewegung von Ladungsträgern in einem Leiter; seine augenblickliche Stärke entspricht der Ableitung der durch einen

Leiterquerschnitt fließenden Ladung Q nach der Zeit t : $i = dQ/dt$; SI-Einheit des elektrischen Stroms ist Ampere (A).

Werden Ladungen Q getrennt beziehungsweise verschoben (chemisch, induziert, thermisch, piezoelektrisch, usw.), so kommt es zu **elektrischer Spannung** U als dem Quotient der zur Trennung aufzuwendenden Arbeit W und der verschobenen Ladung Q : $U = W/Q$; SI-Einheit der Spannung ist Volt (V).

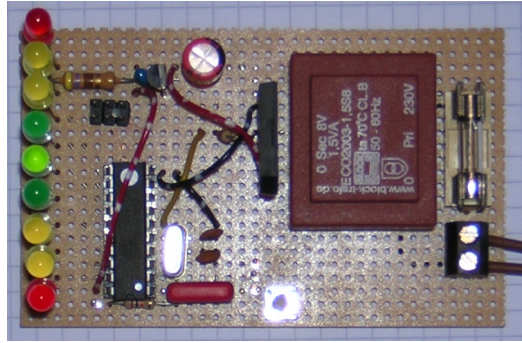
Elektrische Energie bezeichnet dann die **elektrische Arbeit** W , die benötigt wird, um eine Ladung Q unter der Spannung U zu transportieren. Als Gleichung gilt $W = QU$; SI-Einheit der elektrischen Arbeit ist Joule (entsprechend des elektrischen Wärmeäquivalents) beziehungsweise Wattsekunde: $J = W \cdot s = V \cdot A \cdot s$; mit der entsprechenden Umrechnung in die „übliche Einheit elektrischer Energie“ gilt $1\text{kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot s$

Elektrische Leistung P ist die Ableitung der elektrischen Arbeit W nach der Zeit t : $P = dW/dt$ in Watt.

Die primäre Versorgung mit elektrischer Energie erfolgt (noch) durch die großen Stromversorger in Form von dreiphasigem, sinusförmigem Wechselstrom mit einer definierten Frequenz von 50Hz respektive Periodendauer von 20ms und einer Spannung pro Phase von 230 Volt. Gerade diese Versorgung mit Wechselstrom macht die Verbrauchsbeobachtung für den Endverbraucher schwieriger, denn alle definierten Werte sind lediglich Mittelwerte; aufgrund möglicher Phasenverschiebungen (durch Kapazitäten, Induktion, Auf- und Abbau elektrischer und magnetischer Felder bei Erzeuger und Verbraucher) von Spannung und Strom ist die Leistung gerade nicht einfach das Produkt aus Strom und Spannung, wie in einem Gleichstromkreis. Vielmehr gilt:

Aus den zeitlich zusammenfallenden Werten von Strom und Spannung ergibt sich in einem Wechselstromkreis die **Augenblicksleistung**; ihr über eine volle Wechselstromperiode integriertes Mittel ergibt die **mittlere Leistung**. Die **Wirkleistung** ist der tatsächlich in nichtelektrische Form (Licht, Wärme, mechanische Leistung) umwandelbare Leistungsanteil $P = U I \cos \varphi$; die **Blindleistung** ist der nicht umwandelbare Anteil $Q = U I \sin \varphi$. Ohne Berücksichtigung der möglichen Phasenverschiebung ergibt sich „lediglich“ die **Scheinleistung** als Produkt der Effektivwerte von Spannung und Strom $S = U I$. Effektivwerte für Spannung und Strom eines Wechselstroms beziehen sich dabei auf die in einem Wirkwiderstand erzeugte Wärmemenge eines gleich großen Gleichstroms; sie sind der quadratische Mittelwert über eine volle Periode T .

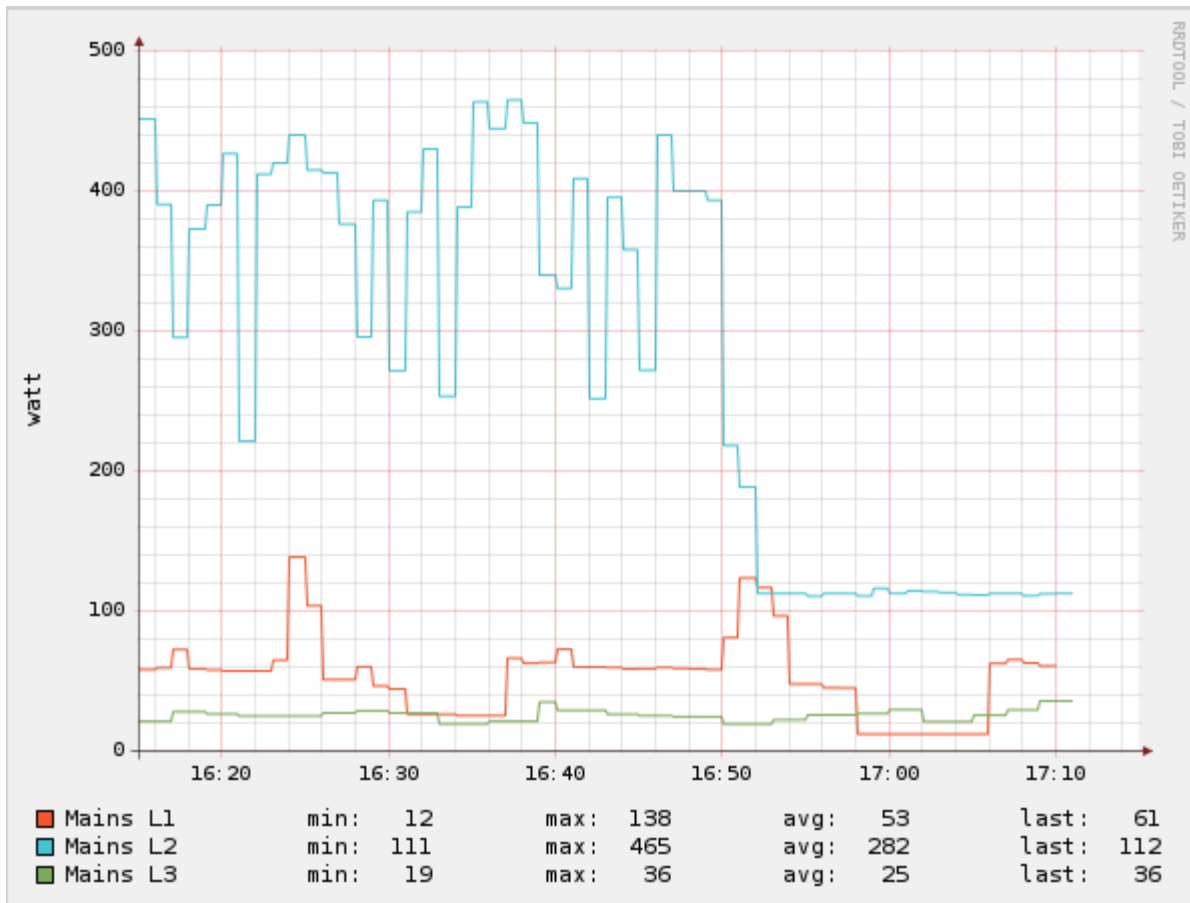
Also sind für die korrekte elektrische Verbrauchsmessung Spannung, Strom und Phase interessant – insbesondere wenn man feststellt, dass die Stromversorger über die Netzfrequenz automatisch Leistungsanpassungen regeln, sollte es zu Lastschwankungen kommen [EKT1201]. Im Mittel ist allerdings garantiert, dass die definierten Werte eingehalten werden. Die Schaltung im folgenden Bild zeigt eine potenzielle Abweichung von der mittleren Phasenlage von 50Hz bis +/- 1%) – die mittlere grüne LED zeigt in diesem Fall, dass genau 50Hz anliegen...



Wie kann man nun das Grundrauschen des „mittleren elektrischen Verbrauchs“ besser auflösen? Man beschaffe sich intelligente Verbrauchszähler von seinem Energieversorger, die in der Lage sind entsprechende Werte zu liefern. Unsere aktuellen Verbrauchszähler haben allerdings noch nicht einmal Impulsausgänge zum Zählen; auch beginnen die Stadtwerke Karlsruhe gerade erst flächendeckend umzustellen; Auslaufen der Eichung ist Zeitpunkt der Umstellung...

Also muss eine Alternative her. Diese gibt es als Energiemessgeräte in Form von Zwischensteckern; dies ist akzeptabel für Spotmessungen, aber wenig geeignet für eine kontinuierliche Beobachtung und vor allem persistente Erfassung. Und es gibt das Fluksometer [FSM12]. Dabei handelt es sich um eine relativ preisgünstige und insbesondere offene Plattform, ausgeführt als Hardware und Software für die Verbrauchsdatenerfassung. Ein kleiner Webserver wird hierbei über einen Mikrocontroller mit Sensordaten gefüttert, die über ein Weblog visualisiert werden und eine „Community“ animieren über Energieverbrauch nachzudenken. Die Fraunhofer Gesellschaft führt mit dieser Plattform einen Feldversuch [FHG12] durch, um in drei Schritten Energieverbrauch zu messen und transparent zu machen, regelnd in den Energieverbrauch einzugreifen und letztlich genossenschaftlich am Strommarkt zu partizipieren.

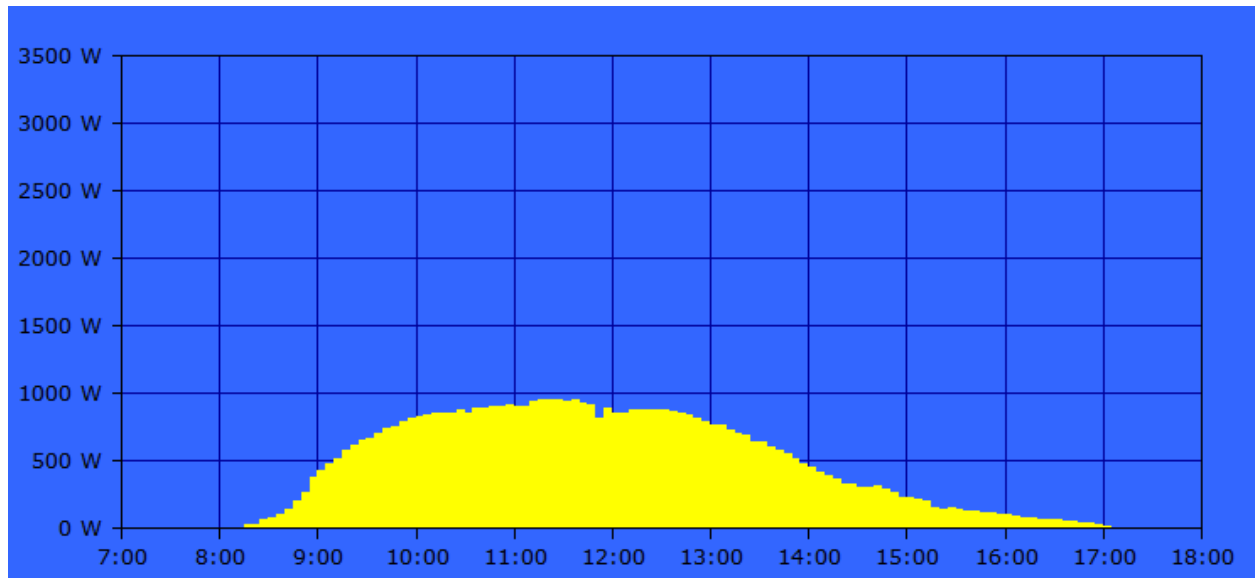
Für den Laien interessant ist das Fluksometer deshalb, weil es erlaubt ohne direkten Eingriff in die Stromleitungen trotzdem Verbrauchsdaten zu erheben und persistieren, auch für alle drei Leitungsphasen betrennt. Es ist dahingehend „ungenau“, dass Energieverbrauch über den Stromfluss gemessen wird; geht man aber von der Mittelwertregel von oben aus, so sollte dies vernachlässigbar sein. Verbrauchsdaten lassen sich im Auslieferungszustand bis auf Minutenbasis verfolgen, was für die erste Näherung auch an auftretende Stromspitzen akzeptabel sein sollte – der als datenschutzrechtlich unbedenklich erachtete 15 min Takt intelligenter Stromzähler glättet hier doch schon sehr stark. Im folgenden Bild ist wiedergegeben, wie sich der Lauf einer Waschmaschine darstellt.



Mittels des Fluksometers lassen sich Gewohnheiten schon recht gut erkennen und auf bestimmte Geräte zurückführen, insbesondere dann, wenn man ein bestimmtes Gerät bewusst „verfolgt“. Erkennt man dessen Anteil am Gesamtverbrauch, so lässt sich „gewissenhaft“ evaluieren, ob eine Nutzungsanpassung, ein Ersatz oder sogar ein Verzicht angeraten ist.

Nächste Schritte und Ideen

Die gesellschaftliche Diskussion um erneuerbare Energien, zunehmend auch dezentrale Energieerzeugung oder Vergütungssätze für Klein- beziehungsweise dezentrale Erzeuger zeigt, dass sich etwas bewegt. Jede Stromleitung bedeutet Verluste; ergo sollte Strom idealerweise dort verbraucht werden, wo er erzeugt wird. Dies geht makroskopisch sicher nicht immer (Windparks versus Aluminiumwerke); wenn man als Betreiber einer Photovoltaikanlage aber von der reinen Renditeoption absieht und vielleicht über Eigenverbrauch und damit ein Maß an Autarkie nachdenkt, so erkennt man, dass selbst im kleinen Maßstab Verbrauch und Erzeugung selten zusammenpassen. Wir sind tagsüber kaum zu Hause; unsere Photovoltaikanlage erzeugt aber genau dann Strom. Unsere mittlere Tages-Erzeugungsleistung deckt unseren kompletten Stromverbrauch ab – und trotzdem geht es aktuell technisch schon nicht zusammen (außer man stellt sich eine kleinwagenteure Akkulatoreinheit in den Keller – Kosten, Nutzen?)



Ziel sollte also sein, die vielen dezentralen Erzeuger so zu verketteten, dass Stromangebot und Nachfrage optimal und über kurze Wege zusammenpassen. Idealerweise sind dies zunächst die eigenen Geräte im Haus. Dazu bedarf es einer besseren Erkennung der relevanten Verbraucher (ein Kollege hat hier von einer Mustererkennung von Verbrauchern oder zumindest Klasse solcher gesprochen), sowie deren verbesserter Einsatzplanung. Das nicht selbst nutzbare Delta kann dann verwendet werden, um die „nächste Größenordnung“ zu optimieren und zunehmend globaler eine sinnvolle Balance herzustellen.

Aktuell geht es aber um die Beobachtung; und wie man beim „design thinking“ lernt, können allein schon aus der lokalen Beobachtung „wilde Ideen“ entstehen, von denen man noch nicht einmal den Hauch einer Vorahnung hatte – man sollte nur offen sein auch das Unmögliche zuzulassen.

Literatur

- [TEE08] Lindner, Brauer, Lehmann; Taschenbuch der Elektrotechnik und Elektronik; Hanser 2008
- [EKT1201] Laues; Netzlupе – Frequenz im Focus; Elektor Magazin 01/2012, Seite 22ff.
- [FSM12] www.flukso.net
- [FHG12] www.mysmartgrid.de