

Fachbeitrag zum Projekt Verbrauchsmessung (REALYSE) am iHomeLab der Hochschule Luzern

# Ein Messsystem, das die einzelnen elektrischen Geräte erkennt



iHomeLab-Projektleiter Lukas Kaufmann mit dem Demonstrator des NIALM-Systems: Zurzeit sind zwei Geräte eingeschaltet (Bildschirm und Ventilator). Auf dem Bildschirm links wird angezeigt, zu welcher Klasse die beiden Geräte gehören, zudem deren aktueller Stromverbrauch. (Foto: B. Vogel)

Die meisten Menschen haben keine Vorstellung, wie viel Strom sie zu Hause bei ihren alltäglichen Verrichtungen verbrauchen. Dabei wäre dies eine wichtige Voraussetzung für einen bewussten Umgang mit Energie. Forscher des iHomeLab an der Hochschule Luzern haben ein Analysesystem entwickelt, das aus der Gesamtlastkurve eines Haushalts alle eingeschalteten elektrischen Geräte erkennt und ihren individuellen Verbrauch in Echtzeit misst.

Benedikt Vogel, im Auftrag des BFE

■ Wer heute mit dem Auto unterwegs ist, weiss zu jeder Zeit, wie viel Treibstoff er gerade verbraucht. Dazu genügt ein Blick auf die Verbrauchsanzeige neben dem Tachometer. So bekommt der Fahrer ein gutes Gefühl für den Energieverbrauch – und die Kosten. Ein Gefühl, das beim nächsten Autokauf den Ausschlag geben kann, ein sparsameres Modell zu wählen. Oder bei Gelegenheit mal einen Eco-drive-Kurs auszuprobieren.

Anders beim Stromverbrauch. Hier fehlt den meisten Menschen ein Gefühl für konsumierte Strommengen. Denn Elektrogeräte enthalten in der Regel keine Verbrauchsanzeigen. So fehlt meistens die Vorstellung, wie viel Strom der Rasierapparat, die Schreibtischlampe oder der Mixer verbrauchen. Unter den Schlagworten Smart Home und Smart Metering wird seit einigen Jahren versucht, dieses Manko auszugleichen. Neuartige Geräte sollen den Energieverbrauch messen und damit zusätzlich er-

lauben, die Haushaltsgeräte bzw. die Haustechnik «intelligent» zu vernetzen und zu regeln.

## NIALM-Technologie als Grundlage

Anfang der 1990er-Jahre wurde dafür am Massachusetts Institute of Technology (Cambridge/USA) ein neues Konzept entwickelt. Die Grundidee besteht darin, aus der Gesamtlastkurve eines Haushalts die einzelnen elektrischen Geräte zu erkennen. Diese Technologie wird als berührungsfreie Lasterkennung von Verbrauchern (engl. NIALM für: non-intrusive appliance load monitoring) bezeichnet. Die NIALM-Technologie will also den individuellen Stromverbrauch sämtlicher Elektrogeräte in einem Haushalt messen, ohne jedes von ihnen mit einem eigenen Messgerät ausstatten zu müssen.

Diese Vision einer kostengünstigen Messinfrastruktur für Haushalte hat seither das Interesse verschiedener Forschergruppen geweckt. Eine davon ar-

beitet an der Hochschule Luzern in Horw etwas ausserhalb von Luzern. Dort können Interessierte am iHomeLab den Demonstrator eines neu entwickelten NIALM-Systems anschauen und ausprobieren. Lukas Kaufmann, wissenschaftlicher Mitarbeiter am iHomeLab, steht vor einem Tisch, auf dem sechs elektrische Verbraucher stehen, wie sie in jedem Haushalt zu finden sind: eine Stromsparlampe, eine LED-Lampe, eine Glühlampe, ein Bildschirm, ein Ventilator und eine Nespresso-Maschine. «Wenn Sie die Elektrogeräte einzeln ein- und ausschalten», sagt Lukas Kaufmann zum Besucher, «dann zeigt unser System wenige Sekunden später an, um welchen Gerätetyp es sich handelt und wie viel Strom er verbraucht.»

## Geräteklasse und Gerätetyp

Wir machen die Probe aufs Exempel, schalten die Stromsparlampe ein. Es dauert einige Sekunden. Dann erscheint auf dem Bildschirm die Anzeige: «Philips Tornado 8 W». Der Verbrauch der Lampe beträgt 7,7 Watt. Jetzt kommt der Ventilator an die Reihe und bläst uns ins Gesicht. Wenig später lesen wir auf dem Bildschirm: ein «Intertronic RT-23» mit einem aktuellen Verbrauch von 18,7 Watt. Die Nespresso-Maschine schafft es nach dem Einschalten auf 1097 Watt, allerdings nur für wenige Sekunden, dann ist das Wasser aufgeheizt. Als wir wenig später den Espresso-

so zubereiten, braucht die Maschine 1140 Watt. Nach einigen Sekunden ist das Tässchen voll – und der Stromverbrauch sinkt auf Null.

Das NIALM-System, das die Elektrogeräte erkennt und ihren Verbrauch misst, steckt in einer Box von der Grösse einer Schuhschachtel. Ist das System schlau genug, auch ein fremdes Elektrogerät zu erkennen? Der Besucher steckt sein Mobiltelefon-Ladegerät in die Steckdose neben dem NIALM-System. Verbrauch: 6,2 Watt. Geräteklasse: Kleinstverbraucher. «Unser Demonstrator erkennt die Geräteklasse, er erkennt, dass es sich um ein Gerät mit Schaltnetzteil und kleiner Energieaufnahme handelt», sagt Lukas Kaufmann, «dass es sich um ein iPhone 6 handelt, erkennt er nicht. Den Gerätetyp erkennt der Demonstrator nur, wenn er vorgängig auf diesen trainiert wurde.» Der Demonstrator des iHomeLab ist bisher auf die sechs Verbraucher trainiert, die auf dem Tisch stehen. Ein solches Training ist aber im Prinzip für alle handelsüblichen Elektrogeräte in wenigen Sekunden durchführbar.

#### Suche nach sparsamen Alternativen

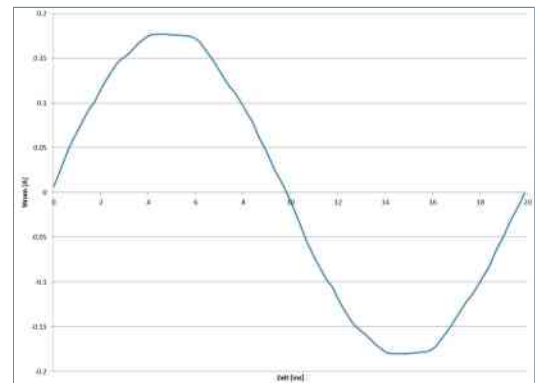
Lukas Kaufmann betreut das NIALM-Projekt des iHomeLab als technischer Projektleiter. Neben ihm steht Prof. Alexander Klapproth, Leiter des iHomeLab, an dem visionäre Gebäudetechnologien entwickelt und einem interessierten Publikum anschaulich vor Augen geführt werden. Für Klapproth rücken mit dem NIALM-System faszinierende Anwendungen in Griffweite. «Wir messen mit unserem NIALM-System nicht nur den Verbrauch, sondern wir wissen auch, zu welcher Geräteklasse es gehört. Das eröffnet uns die Möglichkeit, den Nutzern sparsame Alternativen einschliesslich konkretem Sparpotenzial vorzuschlagen.»

Um es an einem Beispiel zu illustrieren: Erkennt das NIALM-System in einer Wohnung einen Kühlschrank mit einem Verbrauch von 211 kWh/Jahr, dann kann es in einer Datenbank nach Kühlgeräten suchen, die weniger als 211 kWh/Jahr verbrauchen. Der Nutzer erfährt dann in Sekundenschnelle, ob er mit Alternativgeräten Strom sparen könnte und welche Geräte welchen Spareffekt mit sich bringen würden. «Sie können mit unserem System also sehr einfach bestimmen, welche Elektrogeräte in einem Haushalt bezüglich Energieeffizienz nicht mehr up to date sind», sagt Alexander Klapproth, «und selbstverständlich können Sie in gleicher Art auch in Büroliegenschaften die Stromfresser identifizieren und zugleich die mögliche Kostenersparnis errechnen lassen.» Um dieses Ziel zu erreichen, wollen die Luzerner Forscher ihr NIALM-System mit der Datenbank topten.ch verknüpfen, die eine breite Palette handelsüblicher Elektrogeräte unter anderem nach ihrer Energieeffizienz klassifiziert.

#### Grenzen der Erkennbarkeit

Denkbar sind für den Luzerner Forscher aber auch weitere Anwendungen. Etwa um Geräte aufzuspüren, die unnötig in Betrieb sind. Oder als Warnsystem, wenn zum Beispiel vergessen wurde, einen Kochherd auszuschalten. Das NIALM-System zeichnet auf, welche elektrischen Geräte in einem Haushalt wann benutzt werden. «Auf dieser Grundlage können wir Aktivitätsmuster erkennen. Das wird uns neue Anwendungen eröffnen, die zum Beispiel für ältere alleinlebende Menschen nützlich sind, da sie zusätzliche Sicherheit bieten», erklärt Alexander Klapproth.

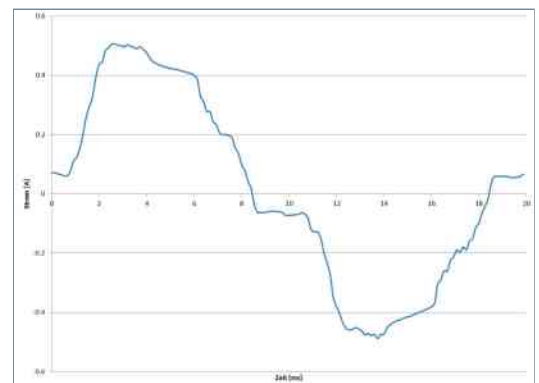
Der am iHomeLab entwickelte Demonstrator zeigt das Potenzial der Technologie auf. Er zeigt aber auch die mit ihr



Typische Strombezugskurve eines ohmschen Verbrauchers, hier einer konventionellen Halogenlampe mit 28 W. (Messgrafiken: HSLU)



Typische Strombezugskurve eines Schaltnetzteils mit «Ladungsspitzen», hier eines Smartphone-Ladegeräts. (Messgrafiken: HSLU)



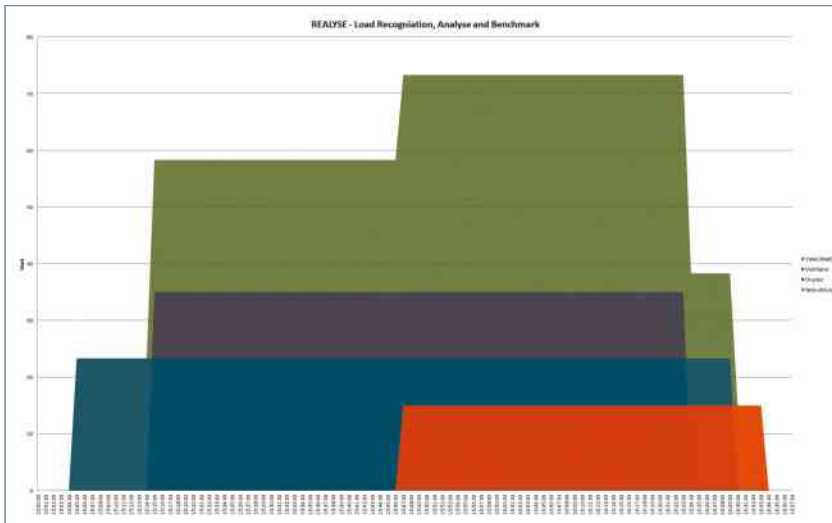
Typische Strombezugskurve eines Schaltnetzteils, hier von einem PC-Monitor von Samsung. Die Kurve ist mit Leistungsfaktorkorrekturfilter (PFC) geglättet. (Messgrafiken: HSLU)



Das Forscherteam hinter REALYSE: Rainer Kyburz (Leiter Energieeffizienz-Forschung am iHomeLab), Martin Camenzind (Assistent), Alexander Klapproth (Leiter iHomeLab), Lukas Kaufmann (technischer Leiter REALYSE-Projekt), Paul Schmieder (wissenschaftlicher Mitarbeiter). Es fehlt Andreas Rumsch (Projektleiter REALYSE). (Foto: HSLU)



Eingang des iHomeLab in Horw bei Luzern: In diesem Gebäude demonstriert die Hochschule Luzern der Öffentlichkeit smarte Haustechnik der Zukunft. (Foto: Damian Poffet)



**Geräte-Erfassung durch den Demonstrator des iHomeLab:** Als erstes wird der Drucker eingeschaltet (blau), einige Minuten später kommt der Ventilator (violett) dazu. Etwa 45 Minuten nach Messbeginn wird zusätzlich eine Beleuchtung (orange) eingeschaltet. Die grüne Summenkurve zeigt die totale Leistungsaufnahme aller eingeschalteten Geräte. (Grafik: iHomeLab)

Gerätekategorie	Beispiel
Stromsparlampen	Sparlampe, LED-Leuchte
Glühlampen	Glühlampe, Halogenlampe
Grosse ohmsche Verbraucher	Kochherd, Elektroofen
Kaffeemaschinen	
Induktive Verbraucher	Waschmaschine, Mixer
Kühlgeräte	
Kleinstverbraucher	Handy-Ladegerät
Elektronik ohne PFC	Laptop, Tintenstrahldrucker
Elektronik mit PFC	PC, Fernseher

PFC (Leistungsfaktorkorrekturfilter) dienen dazu, phasenverschobene und nicht sinusförmige Ströme zu glätten, so dass im Versorgungsnetz keine Störungen auftreten.

**Diese neun Geräteklassen werden vom NIALM-System der Hochschule Luzern erkannt, ohne dass das Gerät speziell trainiert wird. (Tabelle: B. Vogel/HSLU)**

einhergehenden Schwierigkeiten. So ist der Demonstrator nach Auskunft seiner Entwickler in der Lage, alle elektrischen Verbraucher in einem Haushalt «untrainiert» neun Geräteklassen (z. B. Kaffeemaschine) zuzuweisen. Wird das NIALM-System auf einen elektrischen Verbraucher trainiert, erkennt er dessen Gerätetyp (Nespressomaschine für Kapseln, Filterkaffeemaschine) meistens, allerdings nicht immer. Die Erkennung ist noch nicht fein genug, um in jedem Fall auch den Gerätetyp zuverlässig zu identifizieren, was je nach Anwendungszweck mehr oder weniger relevant ist. Auch sind weitere Forschungsanstrengungen nötig, um für solche Entwicklungen typische Kinderkrankheiten auszumerzen und den Demonstrator in ein marktreifes Produkt zu

überführen. Im Rahmen des aktuellen, vom Bundesamt für Energie geförderten Projekts soll der Demonstrator in die Lage versetzt werden, die in Echtzeit erkannten Elektrogeräte mit der topten.ch-Datenbank abzugleichen. Dieses Ziel wollen die Forscher bis Ende November 2015 erreicht haben.

#### Der Fingerabdruck von Elektrogeräten

Jedes elektrisch betriebene Gerät in einer Wohnung (Lampe, Elektroherd, Computer usw.) bezieht aus dem Netz so viel Leistung, wie es für seinen Betrieb benötigt. Will man den Stromverbrauch ermitteln, installiert man bei jedem Verbraucher ein Messgerät – das ist zum Beispiel beim System ecowizz von Geroco (Martigny VS) ein «Smartplug», oder beim West-

schweizer Start-up eSmart ein Messchip. Das iHomeLab der Hochschule Luzern geht einen anderen Weg: Es verwendet zur Strommessung ein Messsystem auf der Basis der NIALM-Technologie: Für dieses Messsystem wird pro abgesicherten Stromkreis (also pro Leitungsschutzschalter) ein Messgerät verbaut. Dieses misst einmal pro Sekunde während einer Periode von 20 Millisekunden mit 150 Einzelmessungen den Stromverlauf auf diesem Kreis und sendet die Messdaten an eine ebenfalls im Verteilerkasten montierte zentrale Einheit. Diese führt dann die Analyse der Daten aller Messgeräte durch, kommuniziert diese an externe Stellen und kann darüber hinaus noch weitere Funktionen übernehmen.

Wie aber ermitteln die NIALM-Messgeräte aus einem Gesamtstrom, welche elektrischen Verbraucher zum Messzeitpunkt am entsprechenden Stromkreis eingeschaltet sind? Einen ersten Hinweis liefern abrupte Änderungen des Gesamtstroms bzw. der daraus errechneten Gesamtleistung. Nimmt die Gesamtleistung um 1200 Watt zu, wurde möglicherweise eine Platte des Elektroherds eingeschaltet. Geht die Gesamtleistung um 60 Watt zurück, könnte eine alte Glühlampe ausgeschaltet worden sein. Solche Sprünge in der Stärke (Amplitude) des Gesamtstroms bzw. der Gesamtleistung liefern erste Anhaltspunkte, welche Geräte in einem Haushalt aktuell eingeschaltet sind. Werden hingegen zwei Geräte exakt zur gleichen Zeit ein- oder ausgeschaltet bzw. findet kein Ein-/Ausschaltvorgang statt, ist eine Erkennung nicht möglich.

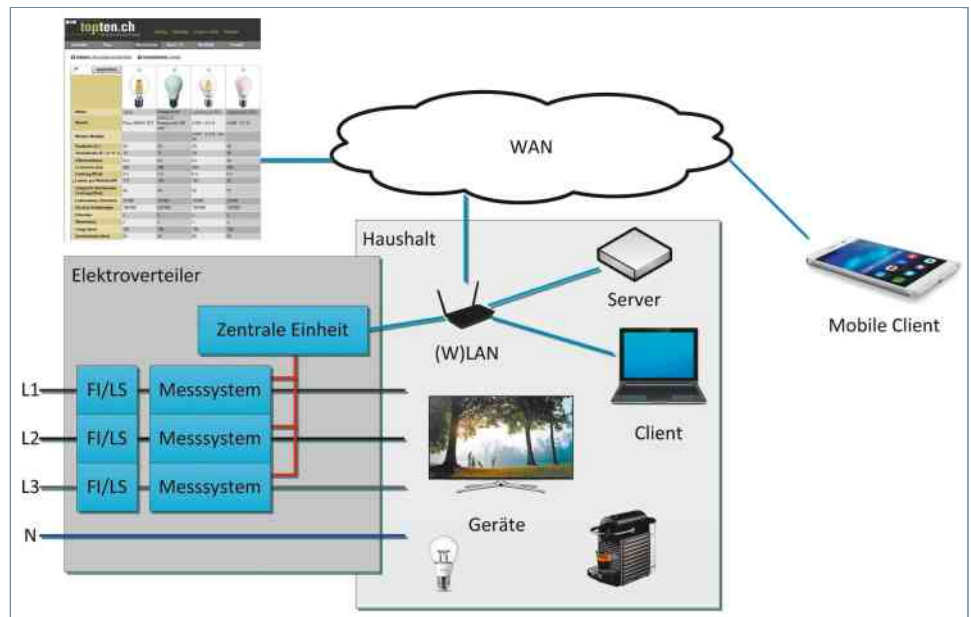
Elektroherde und Glühlampen sind sogenannte ohmsche Verbraucher. Sie lassen sich nur an der Stärke des bezogenen Stroms erkennen. Anders ist das beim Staubsauger oder beim Haarföhn, die mit Elektromotor betrieben werden. Elektromotoren sind sogenannte induktive Verbraucher. Sie beziehen – wie ohmsche Verbraucher – einen Strom, der sich grafisch als Sinuskurve darstellen lässt, allerdings ist der Strombezug durch eine Phasenverschiebung gekennzeichnet (der Sinus des Strombezugs ist gegenüber dem Sinus der Wechselspannung zeitlich verzögert). Das Gerät kann für die Erkennung eines Staubsaugers oder eines Föhns auf zwei Charakteristika – Stromstärke und Phasenverschiebung – abstellen.

Eine dritte Gruppe von elektrischen Haushaltsgeräten (z.B. Laptops und Fernsehgeräte) haben Schaltnetzteile. Diese enthalten Umrichter, die den Wechselstrom aus der Steckdose in Gleichstrom umwandeln. Umrichter und weitere elektrische Bauteile, die in Schaltnetzteilen verbaut sind, hinterlassen im Stromverlauf ganz bestimmte Spuren. Die Strombezugskurve ist hier nicht mehr sinusförmig, sondern weist einen unregelmässigen Verlauf mit ausgeprägten Spitzen («Ladestösse») auf. Schaltnetzteile lassen sich also an sehr individuellen Kurvenverläufen (und daneben natürlich auch an der Stromstärke) erkennen. Die automatisierte Auswertung solch unregelmässiger Kurven erfordert grosse Rechnerkapazitäten. Um den Datenumfang zu vermindern und die Computerauswertung zu beschleunigen, stellen die Luzerner Wissenschaftler die unregelmässigen Kurven annäherungsweise als die Summe von Sinuskurven mit unterschiedlicher Amplitude und Frequenz dar (Genauigkeit: bis zur 11. Oberwelle). Dadurch wird die Strombezugskurve zwar nicht ganz adäquat abgebildet, aber jede Kurve lässt sich so mit einem vergleichsweise kompakten Datenset darstellen.

Jedes Elektrogerät hinterlässt mit seiner Strombezugskurve also quasi einen «elektrischen Fingerabdruck». Das vom iHomeLab entwickelte NIALM-System wertet diesen Fingerabdruck mit einem ausgeklügelten Analyseprogramm (Algorithmus) aus und kann so die angeschlossenen Geräte einer von neun Geräteklassen zuordnen. Soll das NIALM-System nicht nur die Gerätekategorie, sondern sogar den jeweiligen Gerätetyp erkennen, muss es «trainiert» werden. Dies geschieht, indem ein Mensch bei der ersten Messung die beobachtete Strombezugskurve dem passenden Gerätetyp zuordnet. Immer wenn das NIALM-System später diese Strombezugskurve detektiert, kann es aus dieser auf den fraglichen Gerätetyp schliessen.

### Pilotanlage in realer Umgebung

In einem Folgeprojekt wollen die Wissenschaftler das NIALM-System in einer realen Umgebung einsetzen und austesten. So ist vorgesehen, in einer Liegenschaft mehrere Wohnungen mit dem System auszurüsten, wie Rainer Kyburz, Leiter Energieeffizienz-Forschung am iHomeLab ausführt: «Damit wollen wir die Erkennungsraten evaluieren, aber auch Erfahrungen sammeln, wie die Nutzer mit dem System umge-



**Systemübersicht:** Im Elektroverteiler eines Haushalts wird pro abgesicherten Stromkreis ein Messsystem installiert. So werden alle im Haushalt angeschlossenen Geräte gemessen und die Daten auf der zentralen Einheit analysiert. Die zentrale Einheit ist mit dem lokalen Netzwerk (LAN/WLAN) verbunden. Über dieses werden die Daten an einen Server im lokalen Netzwerk gesendet. Dieser bereitet die analysierten Daten vor für die Anzeige auf einem Client (Laptop, Tablet, Smartphone) und holt über das Internet von topten.ch die Daten, die den Effizienz-Vergleich mit anderen Elektrogeräten derselben Klasse ermöglichen. WAN = Wide Area Network, WLAN = Wireless Local Area Network. (Illustration: HSLU)

hen und welchen Nutzen sie daraus ziehen.» Das iHomeLab ist momentan auf der Suche nach einem Partner in der Immobilienbranche, der ein geeignetes Objekt zur Verfügung stellen möchte. Und dann ist zu guter Letzt auch wichtig, dass das NIALM-System nicht selber zum Stromfresser wird. Der Demonstrator braucht zurzeit 500 mW. Die Zielmarke der Luzerner Forscher liegt bei 200 mW. ■

Weitere Auskünfte zu dem Projekt erteilt Roland Brüniger (roland.brue-niger@r-brue-niger-ag.ch), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Elektrizitätstechnologien. Weitere Fachbeiträge über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Elektrizitätstechnologien findet man unter [www.bfe.admin.ch/CT/strom](http://www.bfe.admin.ch/CT/strom)

[www.ihomelab.ch](http://www.ihomelab.ch)  
[www.topten.ch](http://www.topten.ch)

### Vielfältige Ansätze zur Verbrauchsmessung

Es gibt bereits eine Reihe von Produkten, die eine Aufschlüsselung des Stromverbrauchs erlauben. «Die meisten davon basieren jedoch auf der Auswertung von Smart-Meter-Daten, welche typischerweise eine zeitliche Auflösung von 15 Minuten haben», betont Klapproth. Dabei werde versucht, die Geräte allein über die Leistungsaufnahme via Ein-/Ausschaltvorgänge und allenfalls Kontextinformationen (z.B. Tageszeit) zu identifizieren (z.B. Plot-Watt/USA, Bidgely/USA, Fluida/F. The Energy Detective/USA). Auf diesem Weg können allerdings nur grosse Verbraucher erkannt werden.

Ein Produkt der belgischen Firma Smappee ([www.smappee.com](http://www.smappee.com)), welches für 199 Euro zum Kauf angeboten wird, geht einen Schritt weiter. Das Gerät erkennt die Elektrogeräte im Haushalt ebenfalls über die Leistungsaufnahme via Ein-/Ausschaltvorgänge. Allerdings erfolgt die Messung mit einer feineren zeitlichen Auflösung, nicht nur alle 15 Minuten. «Dies verbessert zwar die Erkennungsgenauigkeit gegenüber dem Smart-Meter-Ansatz, trotzdem können im Gegensatz zu unserem System nur die grösseren Verbraucher detektiert werden» sagt iHomeLab-Leiter Alexander Klapproth.

Weiter gibt es laut Klapproth einige Produkte, die ähnliche Ansätze wie das NIALM-System des iHomeLab verfolgen, jedoch eine aufwendigere und teure Messelektronik benötigen (z.B. LoadIQ/USA, Qualiteo Wattseeker/F, Smart Impuls/F). Diese sind für den Einsatz in der Industrie konzipiert und zu teuer für den Wohnungsbereich.