

WAS «ENERGIEBEWUSSTE» GERÄTE LEISTEN KÖNNEN

Jedes Auto verfügt über eine Geschwindigkeitsanzeige. Mit derselben Selbstverständlichkeit könnte jedes Elektrogerät seinen aktuellen Stromverbrauch anzeigen. Dieser Grundgedanke steckt hinter einem aktuellen Forschungsprojekt des iHomeLab an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur. Die Wissenschaftler haben verschiedene technische Lösungen für Verbrauchsanzeigen in Echtzeit untersucht – und mögliche Einsatzgebiete evaluiert. «Energiebewusste» Geräte könnten demnach helfen, den Selbstversorgungsgrad in Quartieren mit dezentral produziertem Strom zu erhöhen und die Bereitstellung von Regelenergie mit Haushaltsgeräten begünstigen.



Der Nutzer eines Wäschetrockners mit Energy-Awareness kann am Gerät die Zeit einstellen, bis wann die Wäsche spätestens fertig sein muss. Innerhalb der definierten Zeitspanne kann die Betriebszeit des Wäschetrockners dann gemäss den Anforderungen des Mikrogrids bzw. des Regelenergie-Anbieters beliebig gewählt werden. Bild: HSLU



Andreas Rumsch (rechts) ist Forschungsgruppenleiter Smart Energy Management im iHomeLab an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur. Rumsch hat das Projekt zu Energy-Aware-Geräten gemeinsam mit Edith Birrer und Martin Friedli, beides seniorwissenschaftliche Mitarbeiter des iHomeLab, realisiert. Das Foto zeigt das Projektteam mit Exponaten des iHomeLab in Horw bei Luzern. Foto: B. Vogel

Seit geraumer Zeit untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, in welchem Mass Menschen Energie sparen, wenn sie dank Echtzeit-Feedback über ihren aktuellen Energieverbrauch Bescheid wissen. Ein möglicher Ansatzpunkt sind technische Lösungen, die dem Bewohner die Verbrauchsdaten des Stromzählers anschaulich vor Augen führen. Forscher des iHomeLab an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur (HSLU) haben schon vor einigen Jahren eine Analysesoftware (NIALM) entwickelt, die in der Lage ist, aus dem Gesamtstromverbrauch (Lastkurve eines Haushalts) zu bestimmen, welche Elektrogeräte im Haushalt aktuell eingeschaltet sind und wie viel Strom sie verbrauchen (vgl. dazu den BFE-Fachartikel «Ein Messsystem, das (fast) alle elektrischen Geräte erkennt», abrufbar unter: www.bfe.admin.ch/CT/strom).

Die NIALM-Technologie kommt heute in kommerziellen Produkten wie beispielsweise Smappee zum Einsatz. Andreas Rumsch, ein an der ETH Zürich ausgebildeter Elektroingenieur, der heute am iHomeLab zu Gebäudeintelligenz forscht, beurteilt die verfügbaren Lösungen zwiespältig: «NIALM funktioniert zwar grundsätzlich gut, und trotzdem arbeitet das Analyseverfahren nicht immer zufriedenstellend.» Zum einen würden angeschlossene Elektrogeräte nicht immer zuverlässig erkannt, der Heizstab eines Boilers zum Beispiel fälscherweise als Mikrowellengerät ausgewiesen. Zudem werde der Verbrauch nicht immer mit der angestrebten Genauigkeit von 10% bestimmt. Bei Geräten mit variablem Verbrauch –

etwa einer mit unterschiedlicher Drehzahl betriebenen Bohrmaschine – seien die Analysetools mitunter überfordert.

Verbrauch direkt beim Elektrogerät messen

Vor diesem Hintergrund hat sich ein Forscherteam um Andreas Rumsch daran gemacht, alternative Verfahren zur Erhebung des Echtzeitverbrauchs zu prüfen. In ihrem jüngsten Forschungsprojekt greifen sie auf die eigentlich naheliegende Idee zurück: den Verbrauch der Elektrogeräte nicht aus der Gesamlastkurve abzuleiten, sondern ihn direkt bei jedem einzelnen Gerät zu bestimmen. Das gelingt zum Beispiel, indem man eine LED-Lampe oder einen Wasserkocher mit einem Messchip ausrüstet, der den Verbrauch bestimmt. Solche Messchips sind heute für wenige Franken auf dem Markt verfügbar. In vielen Fällen ist der Einbau eines Messchips nicht einmal erforderlich: Komplexere Elektrogeräte wie Geschirrspüler oder Waschmaschinen sind heute mit Mikroprozessoren ausgestattet. Diese sind in der Regel mit wenig Zusatzaufwand in der Lage, den Verbrauch eines Geräts zu bestimmen. So «weiss» die elektronische Steuerung eines Geschirrspülers in jedem Moment, ob aktuell gerade aufgeheizt, gepumpt, gewaschen oder getrocknet wird und kann den aktuellen Energieverbrauch mit Rückgriff auf die Verbrauchsangaben des Herstellers jederzeit ausweisen.

Sei es durch Messchips oder durch gezieltes Auslesen der Steuerungselektronik: Elektrische Geräte können in den Zustand versetzt werden, über ihren aktuellen, teilweise aber

auch über ihren für die nächsten Minuten, Stunden oder sogar Tage absehbaren Verbrauch Bescheid zu «wissen». Fachleute sprechen in dem Zusammenhang von «energy awareness» und bezeichnen entsprechend ausgerüstete Geräte als Energy-Aware-Geräte. Idealerweise sind diese «energiebewussten» Geräte auch in der Lage, den aktuellen Verbrauch über einen geeigneten Kommunikationskanal (z.B. das Internet) an Bewohner, Elektrizitätswerk oder andere Empfänger zu übermitteln. Die erforderlichen Schnittstellen sind z.B. in Fernsehgeräten heute schon vorhanden, und immer mehr Elektrogeräte werden standardmässig damit ausgerüstet.

Mikrogrids		iHomeLab HOCHSCHULE LUZERN		
Kosten	Zusätzl. Komm-Einheit nötig?	ja	ja	ja
	Zusätzl. Mess-Hardware nötig?	nein	nein	nein
	Zusatzkosten	tragbar	tragbar	tragbar
Nutzen	Lastverschiebungs-Potenzial	46%	11%	3%
	Zeitlicher Spielraum	Tag	Stunden	Stunden
	Akzeptanz durch Nutzer	ja	?	nein
	Nutzen von Energy Awareness	gut	mittel	keiner

Innerhalb von Mikrogrids können «energiebewusste» Boiler, aber auch Weisswaren wie Geschirrspüler und Waschmaschinen mittels Lastverschiebung genutzt werden, den Eigenverbrauch an dezentral produziertem Strom zu erhöhen. Bei Kühlschränken entfaltet Energy Awareness hingegen kaum Nutzen, da die Nutzer Qualitätseinbußen an den Lebensmitteln befürchten, wenn ihr Kühlschrank nicht gewohnheitsmässig gekühlt wird. Tabelle: HSLU

Kaum Zusatznutzen beim Energiesparen im Haushalt

«Vernetzte Geräte werden immer mehr Realität, daher haben wir in unserer Studie das Anwendungspotenzial der Energy-Aware-Technologie untersucht», formuliert Rumsch das Ziel der jüngsten Arbeit. Die Wissenschaftler haben drei mögliche Anwendungsfälle untersucht: Energiesparen, Mikrogrids und Regelenergie. Um es vorwegzunehmen: beim Energiesparen gelangen die Wissenschaftler zu einer skeptischen Einschätzung. Zwar treffe es zu, sagen die beteiligten Forscher, dass Echtzeit-Feedback generell Einsparungen von bis zu 8% ermöglicht und sie beziffern das Einsparpotenzial der drei untersuchten Kategorien von Haushaltsgeräten (TV, Lampen, Weisswaren inkl. Boiler) auf 6%.

Energiesparen		iHomeLab HOCHSCHULE LUZERN		
Kosten	Zusätzl. Komm-Einheit nötig?	nein	ja	ja
	Zusätzl. Mess-Hardware nötig?	ja	ev.	nein
	Zusatzkosten	tragbar	hoch	tragbar
Nutzen	Potenzial Einsparungen pro Jahr	1%	1%	4%
	Ändern Nutzer ihr Verhalten?	nein	ja	?
	Nutzen von Energy Awareness	0	tief	tief

Damit Elektrogeräte «energiebewusst» werden, brauchen sie eine Mess-Hardware (Messchip, Ausleseelektronik) und eine Kommunikationseinheit, die die Messdaten z.B. per Internet übermitteln. Im Bereich des Energiesparens bringen «energiebewusste» Geräte nach Einschätzung der iHomeLab-Forscher keinen (Fernseher) oder zumindest nur einen geringen (Lampen, Weisswaren) zusätzlichen Nutzen. Gleichwohl bleibt festzustellen: Würde das Sparpotenzial aufgrund von Echtzeit-Feedback voll ausgeschöpft, könnten über die drei Gerätekategorien (TV, Lampen, Weisswaren) hinweg ca. 6% des Haushaltsstroms eingespart werden. Tabelle: HSLU

Die Wissenschaftler glauben indes nicht, dass dieses Potenzial mit Energy-Aware-Geräten besser ausgenutzt wird, wie Andreas Rumsch ausführt: «Wenn ich fernsehen will, tue ich das unabhängig von einem Verbrauchsfeedback, und bei den Weisswaren ist der Nutzen von Energy-Aware-Geräten sehr beschränkt, weil hier andere Kriterien wie Liegezeiten von Geschirr oder zugeteiltem Waschtage eine wichtigere Rolle spielen als der Energieverbrauch.» Der energiebewusste Nut-

Regelenergie		iHomeLab HOCHSCHULE LUZERN		
Kosten	Zusätzl. Komm-Einheit nötig?	ja	Evtl.	ja
	Zusätzl. Mess-Hardware nötig?	nein	nein	nein
	Zusatzkosten	tragbar	tragbar	tragbar
Nutzen	Regelenergie-Potenzial	210	3.3	75
	Zeitlicher Spielraum	Tag	< Tag	Stunden
	Akzeptanz durch Nutzer	ja	?	nein
	Nutzen von Energy Awareness	gut	mittel	keiner

Nach Einschätzung der Luzerner Wissenschaftler könnten Elektroboiler und Ladestationen von E-Mobilen dank Energy Awareness für die Bereitstellung von Regelenergie genutzt werden. Der Beitrag von E-Mobilen ist zurzeit noch gering, dürfte in Zukunft aber stark ansteigen. Nicht geeignet sind dagegen Kühlschränke, da die Nutzer Abweichungen bei der Kühlleistung nicht akzeptieren würden. Tabelle: HSLU

zer werde eher beim Kauf auf die Wahl eines energieeffizienten Geräts achten.

Anwendung bei Mikrogrids und Netzstabilisierung

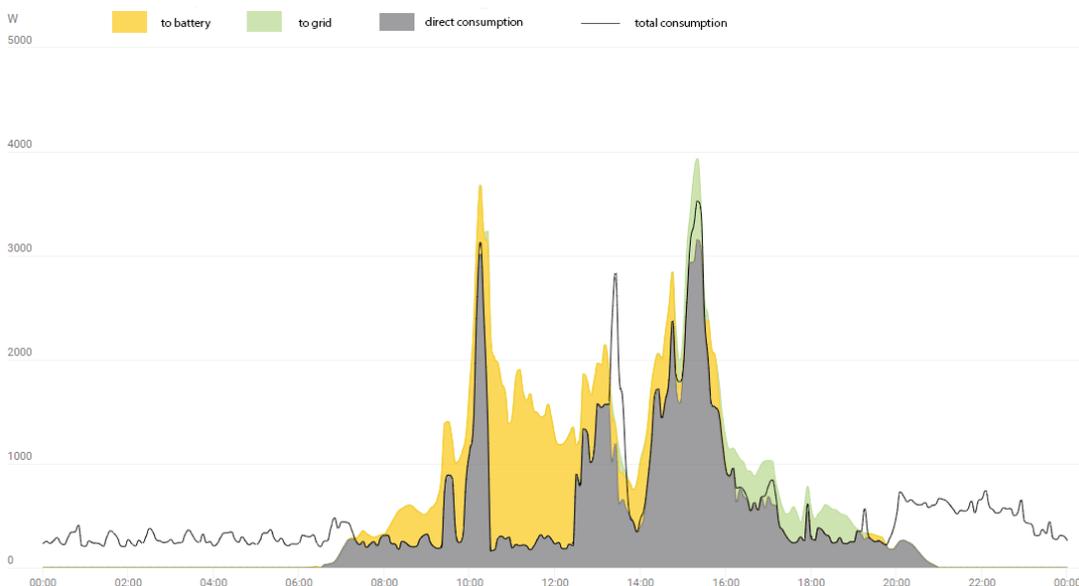
Ein potenzielles Anwendungsgebiet von Energy-Aware-Geräten sehen die iHomeLab-Forscher bei Wohn- und Gewerbequartieren, die über dezentrale Stromproduktions- und Speicheranlagen verfügen («Mikrogrids»). Hier können diese Geräte die Datenbasis für ein Energiemanagementsystem bereitstellen, das einen hohen Eigenversorgungsgrad anstrebt. Dank der Verbrauchsdaten werden die Elektrogeräte dann nach Möglichkeit zu den Zeiten betrieben, wenn dezentral Strom produziert wird (z.B. Photovoltaik-Strom). Geeignet dafür sind Boiler oder Weisswaren wie Geschirrspüler und Waschmaschinen, die alle über einen zeitlichen Spielraum verfügen, wann sie laufen sollen. «Energy-Aware-Geräte bieten hier einen Vorteil gegenüber NIALM-Technologien, weil sie auch Daten über den künftigen Energieverbrauch bereitstellen», sagt Rumsch. Nach seiner Schätzung liessen sich insgesamt rund die Hälfte des Haushaltsstroms für die Optimierung des Eigenverbrauchs nutzen.

Ein zweites Anwendungsgebiet orte die Luzerner Wissenschaftler bei der Bereitstellung von Regelenergie aus Haushaltsgeräten. Regelenergie – also Strom zur Stabilisierung des Elektrizitätsnetzes – erzeugt z.B. heute schon die Swisscom-Tochter tiko, indem sie den Betriebszeitpunkt z.B. von Wärmepumpen entsprechend steuert. Nach Ansicht der iHomeLab-Forscher könnten künftig vermehrt auch Bo-

BEITRAG ZUM INTERNATIONALEN EXPERTENAUSTAUSCH

Von 2014 bis 2016 hatten Wissenschaftler der Hochschule Luzern – Technik & Architektur die Energieeffizienz des Internet of Things (IoT) untersucht (vgl. dazu den BFE-Fachartikel «Vernetzung gelingt auch mit low power», abrufbar unter: www.bfe.admin.ch/CT/strom). Als Folgeprojekt führten die Forscher nun die im Haupttext dargestellte Untersuchung über das Potenzial von Energy-Aware-Geräten durch. Beide Studien entstanden im Rahmen des internationalen Technology Collaboration Programs «Energie Efficient End-Use Equipment» (kurz TCP 4E) der Internationalen Energieagentur (IEA). Dabei handelt es sich um eines von 39 Programmen, in denen sich jeweils eine international besetzte Expertengruppe zu einem bestimmten Energiethema austauscht und Forschungsprojekte initiiert.

Im 4E-Programm tauschen Fachleute aus zwölf Ländern einschliesslich der Schweiz Informationen und Erfahrungen aus und entwickeln Vorschläge für einen effizienten Umgang mit Energie. Das 4E-Prgramm hat drei Unterprogramme (sogenannte «Annexes»). Eines davon ist der Electronic Devices and Network Annex (EDNA), in dessen Rahmen die beiden oben erwähnten Untersuchungen entstanden sind. Die Studienergebnisse werden jeweils im «Executive Committee» des 4E-Programms diskutiert. Sie dienen den politischen Instanzen in der Schweiz und den anderen beteiligten Staaten als Anregung für regulatorische oder anderweitige umsetzungswirksame Schritte. BV



Das Ziel in einem Mikrogrid ist, den Verbrauch so zu steuern, dass er möglichst der erzeugten Energie entspricht (graue Flächen). Wenn mehr Energie produziert wird, kann diese in einer Batterie gespeichert werden (gelbe Flächen). Die lokale Speicherung ermöglicht es dann, dass Verbrauchsspitzen aus der Batterie gedeckt werden können (weisse Fläche). Wenn die Batterie gefüllt ist und kein Verbrauch mehr hinzugefügt werden kann, muss die überschüssige Energie ins Netz gespeist werden (grüne Flächen). Bild: HSLU

iler, Geschirrspüler, Waschmaschinen, Wäschetrockner oder Ladestationen von Elektromobilen zur Bereitstellung von Regelenergie herangezogen werden, indem deren Lastverschiebungspotenzial genutzt wird (im Prinzip so wie oben für die Mikrogrids dargestellt). «Ein Regelenergie-System, das auf Energy-Aware-Geräten beruht, hat den Vorteil, dass es den künftigen Energieverbrauch der einzelnen Verbraucher kennt», unterstreicht Andreas Rumsch.

Steuerungen entwickeln

Rumsch und sein Forscherteam sehen sich durch die Ergebnisse der aktuellen Studie ermutigt, an der Fortentwicklung von Energy-Aware-Technologien weiterzuforschen. Für jeden Anwendungsfall sind in einem nächsten Schritt Steuerungsalgorithmen und Kommunikationsprotokolle zu entwickeln. Wichtig sind zudem prospektive Steuerungen, etwa unter Einbezug von Wetterdaten. Kurzfristig sei das Potenzial von Energy-Aware-Geräten am ehestens in Mikrogrids zu realisieren, vermutet iHomeLab-Forscher Rumsch: «Wenn ein Bauherr eine Überbauung mit Mietwohnungen einrichtet, dann kann er darüber bestimmen, welche Elektrogeräte er einbaut und kann damit die Grundlage für ein Energiemanagementsystem legen, das dank Energy Awareness besonders effizient arbeitet.»

- Den **Schlussbericht** zum Projekt finden Sie unter: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40188>
- **Auskünfte** zu dem Projekt erteilt Roland Brüniger (roland.brueeniger[at]brueniger.swiss), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Elektrizitätstechnologien.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Elektrizität finden Sie unter www.bfe.admin.ch/CT/strom.