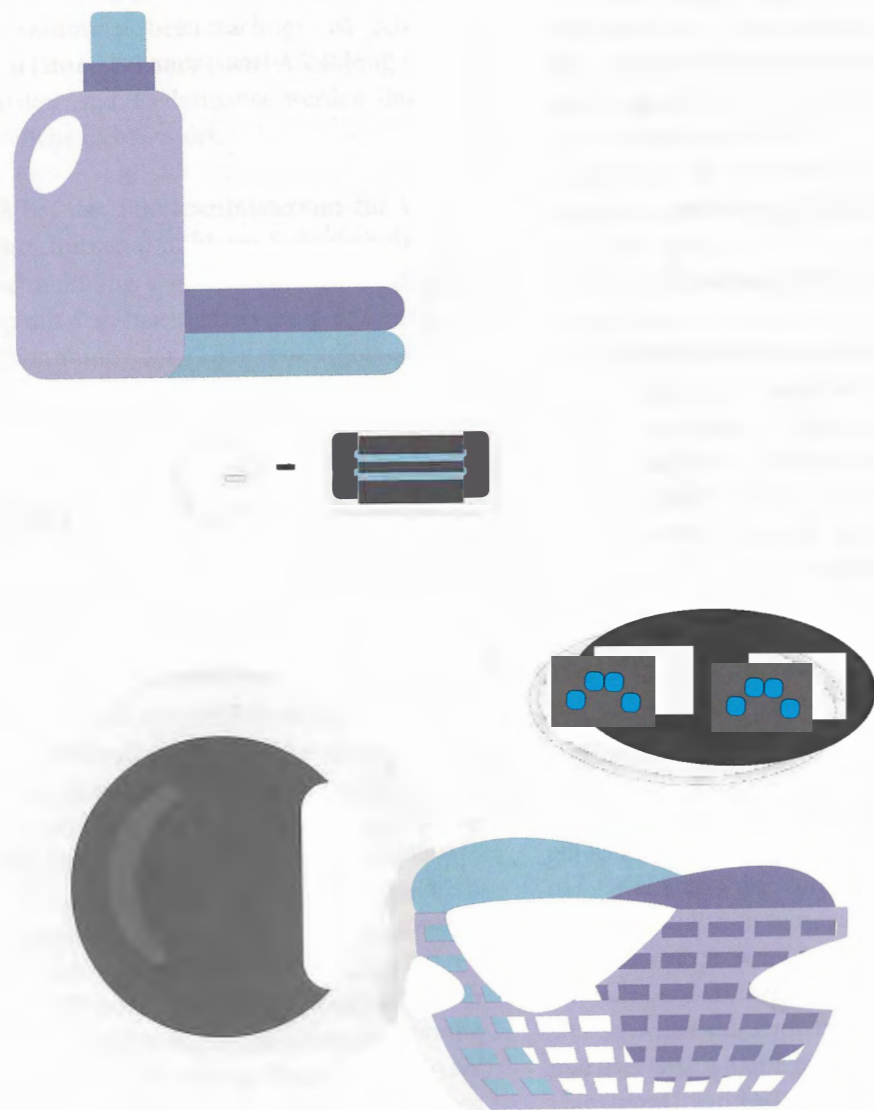


# Der Kühlschrank denkt mit: Stabile Stromnetze dank smartem Lastmanagement

Andreas Rumsch, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Institut für Elektrotechnik, iHomeLab



Die Energiewende steht noch bevor. Sicher ist bereits jetzt, dass wir durch den vermehrten Einsatz erneuerbarer Energiequellen mit einer zunehmend volatilen Verfügbarkeit an elektrischer Energie konfrontiert werden. Aktuell steuern Netzbetreiber große Verbraucher, um per Lastmanagement den Verbrauch an die Produktion anzugleichen. Aufgrund der Dezentralisierung der Energieerzeugung muss auch das Lastmanagement dezentralisiert werden, indem auch kleinere Verbraucher integriert werden. Das iHomeLab der Hochschule Luzern entwickelt dazu das Konzept der Energy-aware-Geräte weiter.

Um die Energiewende vollziehen zu können, muss sich der Anteil der erneuerbaren Energien signifikant erhöhen. Der Ausbau von Wind- und Sonnenenergie ist im Gange und erreicht immer höhere Werte. Damit geht auch einher, dass die elektrische Energie wetterabhängig nicht mehr konstant zur Verfügung steht. Dabei verändert sich die Verfügbarkeit sowohl während des Tages, als auch über das ganze Jahr. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Energieproduktion aus Sonnen- und Windenergie während eines Jahres.

Temporären Energieüberschüssen und -mängeln kann durch Energiespeicher und durch die Anpassung des Verbrauchs an die Energiemenge begegnet werden. In diesem Artikel gehen wir vertiefter auf die Anpassung mittels Lastmanagement ein, im Wissen, dass für eine optimale Lösung beide Komponenten zusammenspielen müssen. Der Verbrauch von elektrischer Energie kann insbesondere durch das sogenannte Demand-Side-Management gesteuert werden. Darüber wird der Stromverbrauch mit der Produktion möglichst synchron gehalten. In den bisher zentral organisierten Stromnetzen werden hierbei vorwiegend große, industrielle Verbraucher verwendet, um so große Energiemengen auszugleichen. Allerdings ist zu erwarten, dass die Energieproduktion in Zukunft zunehmend dezentralisiert wird. Häuser oder Quartiere werden mit eigenen Kraftwerken wie PV Anlagen oder Windgeneratoren ausgerüstet. Für das bisherige Lastmanagement müsste die Energie aus den Quartieren zur Industrie befördert werden. Limitierend wirkt dabei jedoch die Kapazität des Stromnetzes.

Ein Lösungsansatz besteht darin, nicht nur die Energieproduktion zu dezentralisieren, sondern auch das Lastmanagement. Anstatt die überschüssige Energie ins Netz einzuspeisen, sind Geräte im Haushalt oder auch im Gewerbe dann zu betreiben, wenn genügend Energie zur Verfügung steht. Im Falle eines einzelnen Hauses mit PV-Anlage spricht man von der Eigenverbrauchsoptimierung. Das bedeutet, dass die

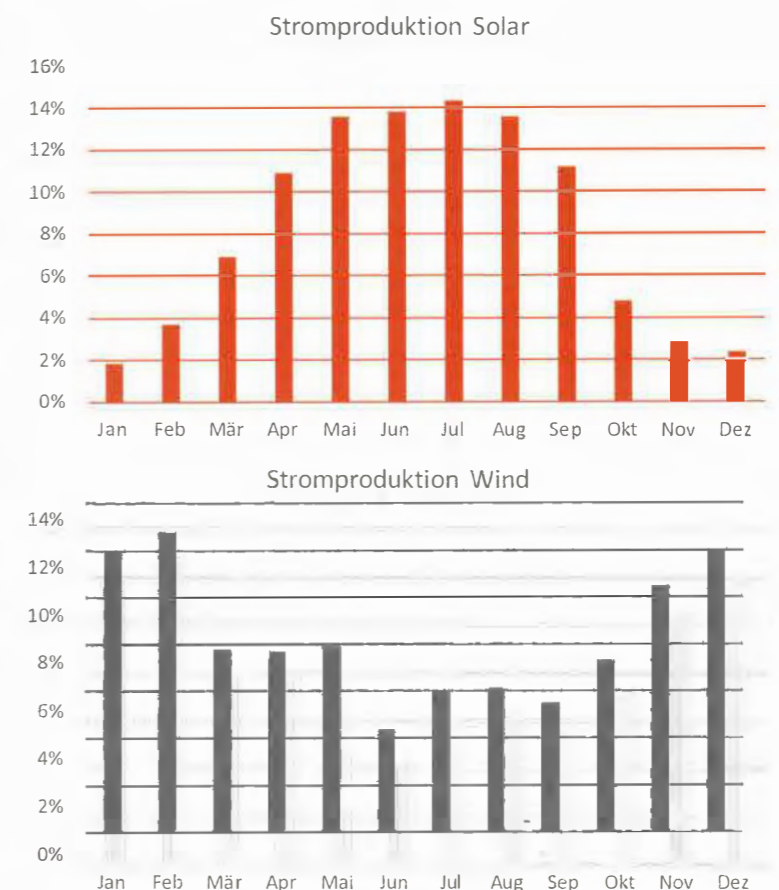


Abbildung 1:  
Saisonalen Verlauf der Energieproduktion aus den erneuerbaren Quellen  
Sonne und Wind

## Netzbetreiber können eine Vielzahl von Geräten der Haushalte eines Quartiers nutzen, um ihre Netze zu stabilisieren, indem sie lokal Verbrauch und Produktion synchronisieren.

Bewohnerinnen und Bewohner möglichst viel der selbst produzierten Energie auch im eigenen Haushalt verbrauchen. In diesem Fall bleibt die Hoheit über die Geräte im Haushalt.

Netzbetreiber können eine Vielzahl von Geräten der Haushalte eines Quartiers nutzen, um ihre Netze zu stabilisieren, indem sie lokal Verbrauch und Produktion synchronisieren. In diesem Fall übernimmt der Netzbetreiber die Steuerung der Geräte, wobei die Geräte in den Haushalten als Flexibilität für das Stromnetz zur Verfügung stehen.

### Nicht alle Geräte eignen sich

Den Eigenverbrauch zu optimieren heißt also, die Geräte im Haushalt dann in Betrieb zu nehmen, wenn die erforderliche Energie zur Verfügung steht. Bei mehreren Geräten wird es für Nutzende jedoch zunehmend schwieriger abzuschätzen, wieviel Energie von den Geräten benötigt wird und zu welcher Zeit diese betreiben werden sollten. Die Komplexität wird auch

dadurch erhöht, dass der Energiebedarf der Geräte nicht konstant ist, sondern sich abhängig vom gerade ausgeführten Prozessschritt ändert. Eine Waschmaschine verbraucht beispielsweise am Anfang eine hohe Energiemenge zum Aufheizen des Wassers. Während der restlichen Zeit ist der Energiebedarf gering. Aus diesem Grund gibt es Produkte am Markt, die das Management solcher Geräte übernehmen können.

Wenn Konsumentinnen und Konsumenten ihre Geräte als Flexibilität zur Verfügung stellen, müssen sie sich nicht damit auseinandersetzen, wie der Energieverbrauch ihrer Geräte aussieht. Das übernimmt der Netzbetreiber. In beiden Fällen sind aber Geräte zu identifizieren, welche sich für das Lastmanagement und somit zur Verschiebung des Energiebedarfs eignen. Den höchsten Effekt erzielen dabei Geräte mit hohem Energiebedarf: Elektroboiler, Waschmaschine, Wäschetrockner, Spülmaschine, Kochherd und Backofen sowie der Kühlschrank und Tiefkühler eignen sich aus energetischer Sicht für das Lastmanagement.

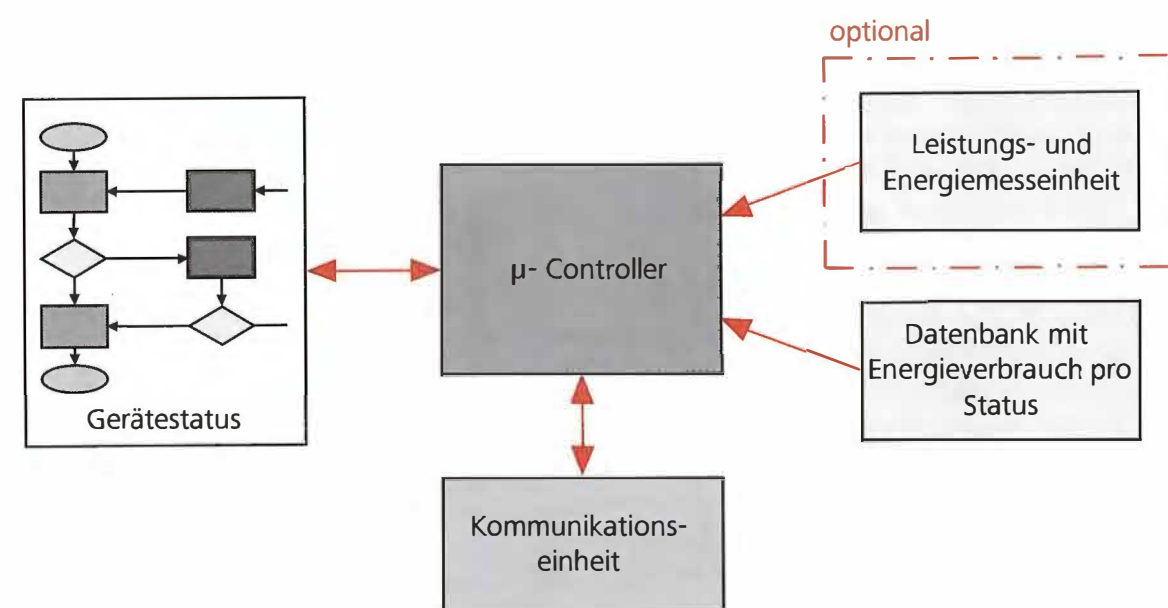


Abbildung 2:  
Gerätearchitektur für «energy-aware» Geräte.

Ein Schlüsselfaktor ist allerdings die Akzeptanz der Nutzerinnen und Nutzer. Für Kühlschränke und Tiefkühler besteht eine gewisse Akzeptanz, allerdings nur, wenn die Temperatur niemals höher wird, als der gewünschte Grenzwert und solange die Nutzenden die volle Kontrolle über die Kühlgeräte behalten [2]. Zusätzlich befürchten die Nutzenden, dass das Kühlgut beschädigt werden könnte, wenn die Temperatur von extern kontrolliert wird und sie die Funktionsweise nicht vollständig verstehen [3].

Elektrische Boiler verrichten ihre Arbeit im Hintergrund ohne Nutzerinteraktion. Wenn garantiert ist, dass die Nutzenden nie kalt duschen müssen, ist die Akzeptanz bei solchen Geräten hoch. Auch bei Waschmaschinen und Spülmaschinen sind Randbedingungen zu beachten. So darf die Wäsche nicht zu lange nass oder das Geschirr schmutzig in der Maschine liegen. Auch wünschen die Nutzenden eine definierte, späteste Endzeit für den Wasch- oder Spülvorgang [4].

### Potenzial von Haushaltsgeräten für das Lastmanagement

Das Potenzial der Flexibilität kann höchstens so hoch sein wie der Energieverbrauch der

geeigneten Haushaltsgeräte. Neben der Menge der verschiebbaren Energie muss ein Lastmanagement auch den Zeitraum berücksichtigen, in dem das Verschieben durchgeführt werden kann. Bei Geräten mit Benutzerinteraktion, wie Geschirrspüler und Waschmaschine, liegt der Zeitraum im Bereich einiger Stunden. Bei Geräten ohne Benutzerinteraktion hängt die Zeitspanne von deren Isolierung und dem Verhalten der Nutzenden (Öffnen der Kühlschranktür) ab. Letzteres ist der Grund dafür, dass für Kühl- und Gefrierschränke eine Zeitspanne von einigen Stunden angenommen wird, obwohl sie eine akzeptable Temperatur für 24 Stunden halten können. Ein Boiler ist typischerweise so konzipiert, dass er nur einmal täglich beheizt werden muss.

Das größte Potenzial für verschiebbare Energie weist der Boiler mit 2.000 kWh/Jahr auf. Alle weiteren, geeigneten Geräte steuern weitere 1.000 kWh/Jahr bei [4]. Insgesamt stehen pro Haushalt somit maximal 3 MWh/Jahr Flexibilität zur Verfügung. Das Aggregieren einer bestimmten Anzahl von Haushalten zu einem Regelenenergiepool setzt zusätzliche Potenziale frei. Ein Regelenenergieanbieter muss mindestens 5 MW an Regelleistung zur Verfügung stellen können, damit er am Markt der sekundären

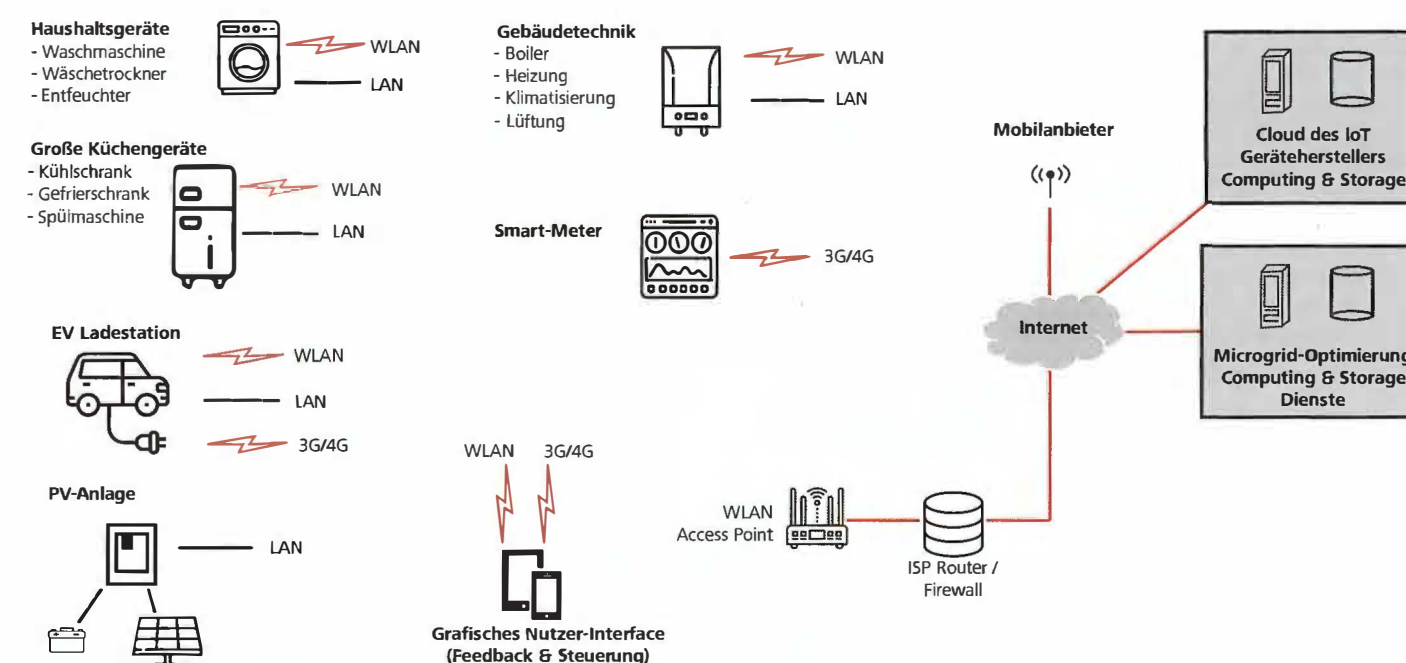


Abbildung 3:  
Ein Microgrid besteht aus Geräten, welche geeignet für das Lastmanagement und mit dem lokalen Netzwerk verbunden sind. Das lokale Netzwerk ist mit dem Internet verbunden. Das Lastmanagement kann lokal oder in der Cloud ausgeführt werden.

## Den Eigenverbrauch zu optimieren heißt also, die Geräte im Haushalt dann in Betrieb zu nehmen, wenn die erforderliche Energie zur Verfügung steht.

Regelleistung teilnehmen kann. So sind etwa 15.000 Haushalte nötig, um einen Regelenergiepool zu bilden. Außerdem zeigt sich, dass von allen Haushalten ein relevanter Beitrag zur Regelenergie geleistet werden könnte. Der zunehmende Anteil der Elektrofahrzeuge legt nahe, auch das Potenzial zu berücksichtigen, welches sich daraus ergibt, dass der Zeitpunkt des Ladens innerhalb einer gewissen Zeit verschiebbar ist. So soll beispielsweise das Elektrofahrzeug bis zum Ende des Arbeitstages zu mindestens 80% geladen sein. Wann genau das Fahrzeug geladen wird, spielt keine Rolle. Um mit Elektrofahrzeugen einen Regelenergiepool zu bilden, sind mindestens 22.000 Fahrzeuge respektive Ladestationen notwendig. [4]

### Lademanagement mit „Energy-aware“-Geräten

Um das Flexibilitätspotenzial nutzen zu können, muss ein Netzbetreiber die nutzbaren Geräte ansteuern können. Auf eine sehr einfache Art und Weise ist das bisher mit Rundsteuersignalen gelöst worden. Dabei steuern die Netzbetreiber jedoch eine große Anzahl von Geräten gleichzeitig. In Zukunft wird die Ansteuerung der Geräte individuell erfolgen müssen, um auf die jeweilige, lokale Energiesituation eingehen zu können. Aktuell ist das möglich, indem die Netzbetreiber in jedem Haushalt Geräte installieren, die Signale vom Netzbetreiber empfangen und die Haushaltsgeräte steuern können. Dabei schalten solche Geräte meist die Stromzufuhr zu den Geräten, da diese noch kaum mit Kommunikationsschnittstellen ausgestattet sind. Nachteilig wirkt sich aus, dass insbesondere Haushaltsgeräte, die einen ganzen Prozess mit verschiedenen internen Zuständen abfahren, über Zu- und Abschaltung der Stromzufuhr gesteuert werden, ohne dass die steuernde Einheit den internen Zustand des Geräts kennt. Ein weiterer Nachteil ist, dass ein zusätzliches Gerät notwendig ist. Am iHomeLab der Hochschule Luzern haben Forschende das Konzept

von „Energy-aware“-Geräten weiterentwickelt. Ursprünglich bedeutet „energy aware“, dass ein Gerät seinen eigenen Energiebedarf kennt und auf einer Anzeige die Nutzenden darüber informieren kann [5].

Das neue Konzept für „energy awareness“ besteht aus drei Komponenten [4]:

1. Das Gerät kennt seinen eigenen Energiebedarf und kann diesen über eine Kommunikationsschnittstelle nach außen mitteilen.
2. Das Gerät kennt seinen künftigen Energiebedarf und kann diesen über eine Kommunikationsschnittstelle nach außen mitteilen.
3. Das Gerät kann über die Kommunikationsschnittstelle von extern Informationen erhalten, um eine gewünschte Betriebsart auszuführen.

Weil die meisten Haushaltsgeräte, die für das Lastmanagement geeignet sind, bereits über einen Prozessor gesteuert werden, ist die Integration der „energy awareness“ ohne große Mehrkosten realisierbar. Auf die Leistungs- und Energiemessung kann oft verzichtet werden, da der Energiebedarf aus der Kenntnis des Prozessschritts genügend genau abgeschätzt werden kann. So ist beispielsweise der Leistungsbedarf für den Betrieb der Heizelemente bekannt.

Jedes „Energy-aware“-Gerät wird entweder direkt oder via Gateway mit dem Internet verbunden und kann einem Dienstleister so seine Informationen über den aktuellen und künftigen Energiebedarf übermitteln. Dieser berechnet aus den Daten und weiteren Informationen – wie beispielsweise der Wettervorhersage – einen optimalen Plan für den Betrieb der Haushaltsgeräte. Der Dienstleister sendet dann die notwendigen Steuerinformationen an die Geräte, sodass sich die Geräte optimal verhalten

können. So kann an einem sonnigen Tag eine Waschmaschine angewiesen werden, möglichst sofort möglichst viel Energie zu verbrauchen und unmittelbar mit dem Aufheizen auf maximaler Stufe zu beginnen.

Ein großer Vorteil dabei ist, dass keine zusätzlichen Geräte für das Lastmanagement nötig sind. Die Funktionalität ist in den Geräten integriert und bildet mit einem Dienstanbieter in der Cloud den erforderlichen Funktionsumfang für das Lastmanagement. Mit dem gleichen Konzept können auch lokale Lösungen umgesetzt werden. So kann der Betreiber eines Microgrids das Lastmanagement vor Ort installieren und so die darin befindlichen elektrischen Erzeuger und Verbraucher optimal aufeinander abstimmen.

### Der Weg zur Umsetzung führt über Standardisierung

Für den Einsatz von „Energy-aware“-Geräten müssen der aktuelle Energieverbrauch, die Prognose des Energieverbrauchs und die Steuerbefehle kommuniziert werden. Um möglichst unabhängig von Herstellern zu sein, muss ein Protokoll definiert sein, das all diese Informationen beinhaltet und übertragen kann. Für die Prognose muss ein „Energy-aware“-Gerät seinen Energiebedarf für das von den Nutzenden gewählte Programm kommunizieren. Im Fall einer durch die Nutzenden eingegebenen Verzögerung muss außerdem ein alternativer Zeitplan für den Energiebedarf enthalten sein. Zu definieren ist ein Prognosehorizont, der zwischen einigen Stunden (morgens beim Verlassen des Hauses wird der Start der Waschmaschine so verzögert, dass sie spätestens am Abend fertig ist) und einem Tag (der Boiler kann um einen Tag verschoben werden) variieren kann.

Die Steuerbefehle müssen im Protokoll dargestellt werden und können von der direkten Steuerung eines Geräts (Starten/Stoppen jetzt oder zu einem bestimmten Zeitpunkt) bis hin zur Erstellung eines Zeitplans für den Energiebedarf (Verwendung einer bestimmten Energiemenge in einem bestimmten Zeitraum) reichen. Im letzteren Fall steuert das Gerät unter Einhaltung der Randbedingungen seinen Prozess selbst. Ein Protokoll kann beide Varianten von Steuerbefehlen unterstützen.

Ein Protokoll für „Energy-aware“-Geräte muss verschiedene Arten von Geräten, verschiedene Szenarien oder verschiedene Implementierungen eines Dienstes berücksichtigen. Daher ist noch zu klären, ob ein Protokoll für alle Geräte und alle Szenarien, oder Varianten des Protokolls für bestimmte Geräte respektive Szenarien geeigneter sind.

Ein Ziel, das verfolgt werden sollte, ist die Standardisierung des Protokolls, um sicherzustellen, dass alle „Energy-aware“-Geräte untereinander kompatibel sind. Es gibt bereits Bestrebungen in diese Richtung. So existiert mit EEBUS ein standardisiertes Interface, um zwischen Geräten im Haushalt und Dienst- und Energieanbietern Daten auszutauschen. Als weiteres Beispiel sei das Label „Smart Grid Ready“ genannt. Geräte mit diesem Label sind in der Lage, Steuerinformationen entgegenzunehmen und sich bezogen auf den Energieverbrauch entsprechend zu verhalten. ■



**Andreas Rumsch**

Andreas Rumsch studierte Elektrotechnik an der ETH Zürich (1990) sowie Wirtschaftsingenieur an der Kaderschule SG (1995). Sein Knowhow setzte er in den Bereichen Messtechnik, Elektromotoren und Röntgendiagnostik ein. In seiner eigenen Firma bot er Dienstleistungen in der Softwareentwicklung an. Später oblag ihm die Entwicklungsleitung von ERP-Softwaresystemen. Parallel dazu unterrichtet er seit 1997 an der HSLU das Fach Betriebswirtschaftslehre. Seit 2011 arbeitet er als Projektleiter im iHomeLab der HSLU, seit 2016 als Forschungsgruppenleiter.

### Kontakt

Dipl. EI-Ing. ETH & Wirtschafts Ing. STV  
Andreas Rumsch  
iHomeLab, Institut für Elektrotechnik, Hochschule Luzern  
Technik & Architektur  
Forschungsgruppenleiter  
Smart Energy Management

Technikumstrasse 21,  
CH-6048 Horw  
andreas.rumsch@hslu.ch  
Tel.: +41 41 349 3599  
www.ihomelab.ch  
www.hslu.ch



Literaturangaben finden Sie unter folgendem Link:  
<http://bit.ly/33aaTfc>

### Kurz und bündig

Aus physikalischen Gründen muss im Stromnetz der Verbrauch stets gleich hoch sein wie die Erzeugung. Die Netzbetreiber erreichen das bisher, indem sie die Erzeugung mit dem Verbrauch synchronisierten. Da Sonnen- und Windenergie jedoch nur eingeschränkt steuerbar sind, muss auch beim Verbrauch angesetzt werden. Per Lastmanagement wird beispielsweise der Boiler dann eingeschaltet, wenn die Sonne scheint und genügend Energie zur Verfügung steht. Ansonsten wird die Warmwasseraufbereitung aufgeschoben, allerdings nur solange die Komfortansprüche gewährleistet bleiben und niemand kalt duschen muss.