

VERNETZUNG GELINGT AUCH MIT *LOW POWER*

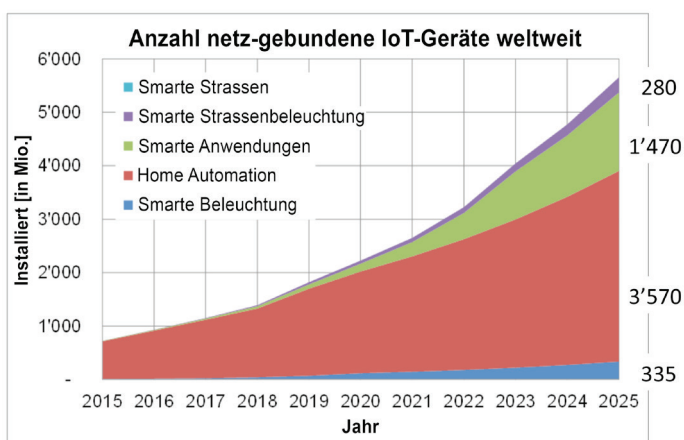
Internet-basierte Steuerungs- und Kontrollsysteme erobern den Alltag. Die unter dem Schlagwort «Internet of Things» (IoT) bekannten Technologien sorgen für Komfort – und tragen oft zum haushälterischen Umgang mit Energie bei. Diesen Vorzügen steht der Eigenverbrauch der IoT-Infrastruktur gegenüber. Forscher am iHomeLab der Hochschule Luzern haben in einer Studie den Standby-Strombedarf abgeschätzt und dabei den Bereich Home Automation als grössten Verbraucher identifiziert. Wer die heute verfügbaren Vernetzungstechnologien richtig einsetzt, leistet einen massgeblichen Beitrag zur Energieeffizienz.



Zum Internet of Things gehören zum Beispiel Sensoren, die die Belegung von Parkplätzen erfassen und die Information an das Parkleitsystem melden. Im Bild: Bohrarbeiten für die Verlegung der Sensoren in einen Pilotprojekt in Lenzburg. Die batteriebetriebenen Sensoren benötigen lediglich ein Bohrloch; eine weitere Verkabelung ist nicht nötig. Foto: Swisscom, André Portner

«Maschinen, Fahrzeuge, Fahrstühle, Öltanks und viele Dinge kommunizieren heute automatisch und sorgen für mehr Effizienz und Sicherheit. Damit nicht genug: In Zukunft werden auch alltägliche Gegenstände wie Fahrräder, Briefkästen, Wasser- oder Zeitungs-Dispenser, Abfalleimer, Schuhe u.v.m. ganz selbstverständlich *connected* sein.» Dieses Statement stammt vom Swisscom – es ist Zukunftsvision und Werbebotschaft zugleich. Das Telekomunternehmen verfolgt das Ziel, das «Internet der Dinge» (Internet of things/IoT) massentauglich zu machen. Hierfür braucht es massgeschneiderte Technologien. Für einmal geht es nicht darum, immer grössere Datenmengen immer schneller zu übertragen. Im Gegenteil: Das «Internet der Dinge» umfasst hauptsächlich Anwendungen, bei denen geringe Datenmengen bei wenig Energieverbrauch kostengünstig übertragen werden.

Vor diesem Hintergrund baut Swisscom zur Zeit in der Schweiz ein Low-Power-Network (LPN) auf. LPN arbeiten mit einer relativ bescheidenen Bandbreite von 300 bit/s bis 11 kbit/s. Sie sollen dem «Internet der Dinge» insbesondere in Smart-City-Anwendungen, Logistik (Asset-Tracking), Gebäudemanagement und Landwirtschaft zum Durchbruch verhelfen. Konkret kann das beispielsweise bedeuten, Abfallcontainer mit Füllstandssensoren auszustatten, damit die Müllfahrzeuge nur jene Container anfahren, die wirklich geleert werden müssen; ein System, an dem neben Swisscom auch die Genfer Firma OrbiWise arbeitet. Weitere Beispiele sind IoT-Lösungen, die die Belegung von Parkplätzen erfassen und die Daten in ein Verkehrsleitsystem einspeisen. Oder Heizungssteuerungen, die den Betrieb dank Berücksichtigung von Abwesenheiten und Wettereinfluss optimieren. «Diese Beispiele illustrieren, dass IoT einen wichtigen Beitrag zur



Die Zahl der IoT-Geräte in den Bereichen Haushalt und Mobilität wird sich bis 2025 versiebenfachen. Grafik: Schlussbericht Energieeffizienz IoT. Quellen: ON World, ABI Research, Machina Research, Schätzungen und Extrapolationen iHomeLab

Anwendungsgebiet	Anwendung	Endgerät	Stromquelle	Erwartete Verbreitung
Smart Home	Smart lighting	Smarte LED-Leuchten	Netz	stark
		Gateway	Netz	stark
	Home automation (Sicherheit, Komfort, Energie)	Netz-gebundene Sensoren (z.B. Lichtschalter)	Netz	stark
		Kamera	Netz	stark
		Gateway	Netz	stark
	Smarte Haushaltsgeräte (Komfort, Energie)	Waschmaschine, Geschirrspüler, Trockner, Kaffeemaschine, Backofen, Kühlschrank etc.	Netz	stark
			Gateway	Netz
Smarte Strassen		Gateway am Strassenrand	Netz	stark
Smart Mobility	Smarte Strassenbeleuchtung	Strassenleuchten	Netz	stark

Übersicht über die IoT-Anwendungen, die von den Forschern des iHomeLab der Hochschule Luzern in ihrem Bericht zur Energieeffizienz des «Internet der Dinge» mit einbezogen wurden. Tabelle: Schlussbericht Energieeffizienz IoT

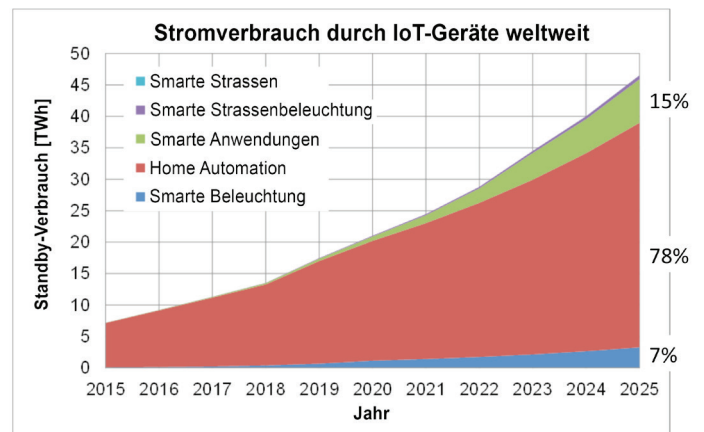
Förderung der Nachhaltigkeit leisten kann und leisten wird», sagt Res Witschi, Leiter Corporate Responsibility bei Swisscom.

Verbrauch durch IoT-Geräte wächst stark

Die drei Buchstaben IoT sind ein Zukunftsversprechen. Sie sind aber auch schon Realität. Bereits heute entfällt auf jeden Erdenbewohner mehr als ein Internet-verbundenes Gerät, schätzen Experten. Laut Prognosen könnte die Zahl der vernetzten Geräte in Zukunft auf 200 pro Person steigen. Ein Teil dieser Geräte wird helfen, Energie zu sparen. Doch jedes Gerät hat auch einen zwar geringen, aber kontinuierlichen Standby-Eigenverbrauch. Forscher des iHomeLab an der Hochschule Luzern (HSLU) haben im Rahmen eines «Technology Collaboration Programs» der Internationalen Energieagentur (vgl. Textbox S. 5) den Stromverbrauch von IoT-Geräten gemessen und deren möglichen Einfluss auf den weltweiten Energieverbrauch ermittelt. Sie konzentrierten sich bei ihrer Untersuchung auf Anwendungen in Haushalt und Mobilität. Der Beitrag von IoT-Endgeräten in Büros, Produktionsanlagen, Umweltmonitoring, Logistik, Landwirtschaft, Gesundheit und Einzelhandel ist also in den Zahlen nicht enthalten (vgl. Grafik oben).

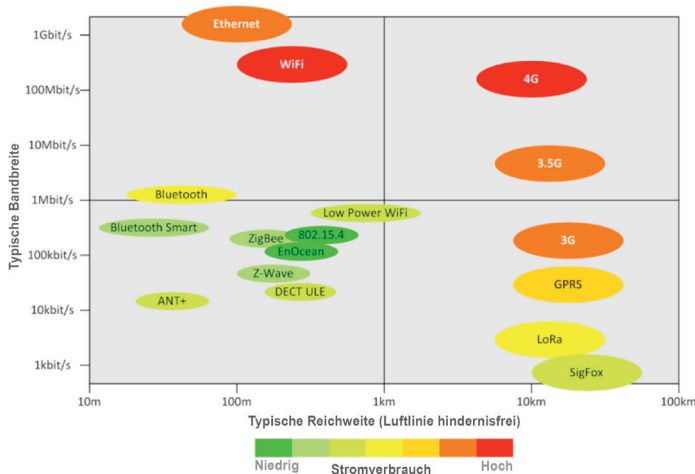
Gemäss Marktvorhersagen wird sich die Zahl der IoT-Geräte in Haushalt und Mobilität bis 2025 weltweit von heute 700 Millionen auf rund 5.6 Mrd. Geräte vervielfachen (vgl. Grafik links). Der von den Luzerner Forschern auf Grund von Messungen, Herstellerdaten und Schätzungen ermittelte

zugehörige Standby-Stromverbrauch wird 46 TWh im Jahr 2025 erreichen. Das entspricht gut drei Viertel des aktuellen Jahresstromverbrauchs in der Schweiz (vgl. Grafik rechts). «Diese Berechnungen zeigen: Der Stromverbrauch der IoT-Endgeräte wird alles andere als vernachlässigbar sein», sagt iHomeLab-Leiter Prof. Alexander Klapproth. «Allerdings relativiert sich diese Zahl, wenn man sie zum weltweiten Elektrizitätsverbrauch in Relation setzt. Effizienzmassnahmen bei IoT-Geräten sind zwar wichtig, doch stellen sie nur eine von vielen nötigen Massnahmen dar, um dem zunehmenden Stromverbrauch entgegenzuwirken. Zudem können IoT-Geräte einen wesentlichen Beitrag zur Effizienzsteigerung leisten, der in diesen Zahlen nicht abgebildet ist.» Die Forscher des iHomeLab konzentrierten sich in ihrer Untersuchung auf neuartige vernetzte Endgeräte, die ihre Energie aus dem Stromnetz beziehen (nicht aus Batterien oder Akkus). Nicht unter diese Definition fallen Mobilgeräte (wie Smartphones, Tablets), Computer (wie PC, Laptops) und Home-Entertainment-Geräte (wie Set-Top-Boxen, Smart-TV). Auch Kompo-



Der Bereich Home Automation hat am Standby-Energieverbrauch der untersuchten IoT-Geräte den grössten Anteil. Grafik: Schlussbericht Energieeffizienz IoT

ponenten der Netzwerkinfrastruktur (wie Router) und die für die Datenverarbeitung notwendigen Rechenzentren waren nicht Gegenstand der Studie.



Überblick über die heute verfügbaren Technologien zur drahtlosen Kommunikation: Rechts die Mobilfunkstandards von GPRS bis hinauf zu 4G, die Reichweiten von 10 km und mehr erreichen. Neuere Technologien wie LoRa und SigFox haben die gleiche oder eine sogar noch grössere Reichweite, brauchen aber – bei geringerer Bandbreite – weniger Energie. Auf der linken Seite die Technologien mit kurzer Reichweite: In der breiten Öffentlichkeit wohl am bekanntesten sind Wi-Fi und Ethernet (hier aufgeführt, obwohl keine Drahtlos-Technologie; bekannt etwa vom Ethernet-Kabel, das das TV-Signal vom Router zur Set-Top-Box überträgt, bevor es zum Fernseher gelangt). Ebenfalls beim Endkonsumenten bekannt sind Bluetooth und seine energieeffiziente Version Bluetooth Smart. Dazu kommen die Home Automation-Technologien ZigBee, 802.15.4, EnOcean, Z-Wave und DECT ULE, ebenso die Energiesparversionen von Wi-Fi (Low Power WiFi) und der Schnurlostelefon-Technologie DECT (DECT ULE). ANT+ sorgt z.B. in Pulsuhren für die Datenübertragung vom Sensor zur «Datenzentrale» der Uhr. Grafik: Schlussbericht Energieeffizienz IoT

Bekanntere Technologien in der Low Power-Version

Solche Verbrauchsprognosen sind naturgemäss mit Unsicherheiten behaftet und können nur Anhaltspunkte geben. Mindestens so wichtig ist deshalb eine zweite Hauptaussage der Luzerner Forscher in ihrem Bericht zur «Energieeffizienz im Internet der Dinge»: Der Stromverbrauch von IoT-Anwendungen hängt stark von der eingesetzten Technologie und deren Betrieb ab. Anders ausgedrückt: Durch Wahl geeigneter Technologien und deren effizientem Betrieb lässt sich Energie sparen, da weniger leistungsfähige Technologien weniger Energie konsumieren (vgl. Grafik links). «Geeignet» ist jene Technologie, die genau soviel Reichweite und Bandbreite unter Beachtung der gewünschten Ansprechzeit (Latenz) und Ansprechhäufigkeit (Frequenz) zur Verfügung stellt, wie für die jeweilige Anwendung tatsächlich benötigt wird. Das führt Swisscom mit ihrem Low-Power-Netzwerk vor Augen: Dieses basiert auf der LoRa-Technologie, die deutlich weniger Bandbreite bietet als moderne Mobilfunk-Netze, aber für die meisten IoT-Anwendungen ausreicht und damit eine effiziente Energienutzung ermöglicht.

Auch bei kurzen Reichweiten stehen leistungsärmere und damit stromsparende Technologien als das verbreitete Wi-Fi zur Verfügung. Bald wird eine Low-Power-Variante von Wi-Fi verfügbar sein, die sich zwar nicht für die Übertragung von TV-Signalen oder Computer-Downloads eignet, aber im Home Automation-Bereich gute Dienste leisten kann, etwa zur Steuerung von LED-Leuchten oder für das ferngesteuert-

Die Hauptkenntnisse der Studie tabellarisch dargestellt: Die verfügbaren Technologien (oben) sind für die Anwendungen (links) mehr oder weniger geeignet. Die Farbfelder zeigen, ob eine Technologie sehr gut geeignet (dunkelgrün) oder zumindest akzeptabel (hellgrün) ist. Die mit hellrot markierten Feldern bezeichneten Anwendungen bestimmter Technologien werden dagegen aus Sicht Energieverbrauch nicht empfohlen. Tabelle: Schlussbericht Energieeffizienz IoT

Anwendungsgebiet	Anwendung	Endgerät	Technologien																
			ANT+	Bluetooth	Bluetooth Smart	DECT ULE	Z-Wave	ZigBee	802.15.4-2011-based	EnOcean	WiFi	Low Power WiFi	Ethernet	GPRS	3G (UMTS)	3.5G (HSPA)	4G (LTE)	LoRa	Sigfox
Smart Home	Smart Lighting	Smarte LED-Leuchten	y	n	b	y	y	y	y	y	n	y	x	x	x	x	x	x	x
		Gateway	x	x	x	x	x	x	x	x	y	b	y	y	n	n	n	x	x
	Home Automation	Sensoren	y	n	y	y	y	y	b	b	n	y	n	x	x	x	x	x	x
		Aktoren	y	n	y	y	y	y	b	b	n	y	n	x	x	x	x	x	x
		Kameras	x	x	x	x	x	x	x	x	y	x	b	x	y	y	y	x	x
		Gateway	x	x	x	x	x	x	x	x	y	x	b	x	y	y	y	x	x
	Smarte Haushaltsgeräte	Smarte Geräte	y	n	b	y	y	y	b	b	n	y	n	x	x	x	x	x	x
		Gateway	x	x	x	x	x	x	x	x	y	b	y	y	n	n	n	x	x
	Smart Mobility	Smarte Strassen	Gateway am Strassenrand	x	x	x	x	x	x	x	x	b	x	x	x	x	x	x	x
		Smarte Str-Beleuchtung	Strassenleuchten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	y	n	n	n	b

y Mögliche Technologie
x Technologie nicht vorhanden
y Beste verfügbare Technologie
n Nicht empfohlene Technologie

te Betätigen einer Jalousie. Low-Power-Wi-Fi steht damit in Konkurrenz zu bereits in diesem Bereich etablierten Technologien wie ZigBee, 802.15.4, EnOcean oder Z-Wave. Auch Bluetooth, das z.B. die Verbindung zwischen Smartphone und Headset sicherstellt, hat mit Bluetooth Smart unterdessen einen energieeffizienteren Sprössling bekommen. Dieser sorgt bei Pulsuhren, Fitnessarmbändern und anderen tragbaren elektronischen Geräten («wearables») für die Datenübertragung auf das Handy. Ebenfalls die vom Schnurlos-Telefon

bekannte DECT-Technologie liegt heute in einer Ultra Low Energy-Version (ULE) vor. Sie überträgt zum Beispiel Daten von Türöffnungs-Sensoren an die Alarmanlage.

Für jede Anwendung die passende Technologie

Eine Hauptkenntnis der Luzerner Forscher: Die meisten IoT-Anwendungen im heimischen Bereich stellen keine hohen Anforderungen an die Datenübertragung und könnten darum mit stromsparenden Kommunikationstechnologien

EIGENVERBRAUCH NICHT VERNACHLÄSSIGEN

Ein Teil der Technologien, die heute unter dem Begriff «Internet der Dinge» diskutiert werden, sind der «Gebäudeautomation» zuzurechnen. Ein typisches Beispiel sind «intelligente» Technologien zur Überwachung und (Fern-) Steuerung von Heizungs-, Lüftungs- und Klima-Anlagen (HLK), Storen, elektrischen Haushaltsgeräten oder von dezentralen Photovoltaikanlagen. Aus der Gebäudeautomation ist bekannt, dass der Eigenverbrauch der Geräte unbedingt berücksichtigt werden muss. Diese Erkenntnis wurde Anfang 2016 durch den Bericht «Eigenenergieverbrauch der Gebäudeautomation» im Auftrag des BFE bestätigt: «Bei durchschnittlich energieeffizienten Gebäuden beläuft sich der jährliche Stromverbrauch der Gebäudeautomation (Raumautomation und primärseitige Gebäudeautomation) auf ein- bis zweistellige Prozentzahlen des jährlichen Endenergiebedarfs der Haustechnik (HLK und Beleuchtung).»

«Die Marktakteure der Gebäudeautomation müssen angesichts der rasanten Technologieentwicklung konsequent auf Qualität und Energieeffizienz der verwendeten Lösungen setzen. Wir brauchen eine Konsolidierung der Standards und Transparenz bezüglich Stromverbrauch», sagt Olaf Zanger, Leiter einer neuen Innovationsgruppe, die sich unter dem Dach der Wissenstransfer-Institution energie-cluster.ch mit der Förderung der sicheren Heimautomation (IG sHA) befasst. Im Bereich der Heimautomation richtet die IG sHA den Blick auf die Gebäudeinfrastruktur (Jalousien, Wechselrichter, Weisse Ware), nicht aber auf Konsumgüter. Die Innovationsgruppe versammelt zwei bis drei Dutzend Industrievertreter mit dem Ziel, den Energieverbrauch und die Stromnetz-Verträglichkeit von Gebäuden durch den Einsatz von Home Automation-Systemen weiter zu verbessern. Die angesprochenen Stakeholder sind Mieter, Eigentümer, Versorger und Immo-Manager. BV

umgesetzt werden. Eine Ausnahme bildet etwa eine Überwachungskamera, die für die Übertragung der Videodaten an ein Mobiltelefon eine grosse Bandbreite braucht. Die Wissenschaftler des iHomeLab haben ihre Erkenntnisse in einer Matrix zusammengefasst, die für verschiedene Anwendungen in Haushalt und Mobilität die unter dem Gesichtspunkt des Standby-Energieverbrauchs geeigneten und weniger geeigneten Technologien ausweist (vgl. Grafik S. 4 oben).

Die Ergebnisse lassen sich am Bereich Smart Lighting exemplarisch erläutern: Die internetbasierte Steuerung von LED-Leuchten erfolgt über kurze Distanz (geringe Reichweite), braucht für die Ein/Aus-Befehle wenig Daten (geringe Bandbreite), erfolgt sporadisch und braucht nicht eine extrem kurze Ansprechzeit (Latenz). Optimal geeignet für diese Anwendung ist nach Auskunft der Luzerner Forscher Bluetooth Smart, da diese Technologie einen geringen Standby-Verbrauch aufweist und keinen extra Gateway benötigt (weil Bluetooth Smart in Smartphones schon standardmässig enthalten ist). Vertretbar für diese Anwendung wären auch Z-Wave, ZigBee, DECT ULE und Low Power WiFi, die ebenfalls einen tiefen Standby-Verbrauch aufweisen, allerdings den Nachteil haben, dass das Smartphone für die Ansprache des Endgeräts einen zusätzlichen Gateway braucht, was einen höheren Stromverbrauch und höhere Kosten nach sich zieht. Unter dem Gesichtspunkt Standby-Energie ungeeignet (und trotzdem in einigen Produkten verwendet) ist in diesem Fall Wi-Fi (überdimensionierte Bandbreite, für kontinuierliche Übertragung ausgelegt, hoher Verbrauch). Werden die energieeffizienten Technologien konsequent ausgeschöpft, werde das eine spürbare Verbrauchsreduktion nach sich ziehen, sagt Wissenschaftler Klapproth. Durch konsequente Verwendung der besten Technologie liesse sich von dem bis 2025 prognostizierten Mehrverbrauch im Bereich Smart Lighting rund 45% einsparen, so eine Abschätzung der iHomeLab-Forscher.

Technisches Potenzial ausschöpfen

Die Chancen für ein energieeffizientes «Internet der Dinge» stehen also günstig. Da Smartphones und andere Endgeräte im «Internet of Things» batterie-betrieben sind, ist die Energieeffizienz ein starker Technologietreiber. Davon profitieren heute die stromnetz-gebundenen IoT-Anwendungen. «Angesichts des erwarteten riesigen IoT-Wachstums muss das Effizienzpotenzial aber auch tatsächlich ausgeschöpft werden», sagt Mihaela Grigorie vom BFE. Dazu müssen die jeweils geeignetsten Technologien eingesetzt, diese aber auch durch die verschiedenen Hersteller so in ihre Produkte implementiert werden, dass das Potenzial zur Verbrauchsminde- rung realisiert werden kann.

HANDLUNGSOPTIONEN

Programme mit anerkannten Expertengruppen im Rahmen der Internationalen Energieagentur (IEA) sind ein wichtiges Instrument, mit dem die Schweiz den internationalen Austausch im Bereich Energietechnologien pflegt. Die IEA hat aktuell 39 Programme («Technology Collaboration Programs»/TCP), die sich jeweils einem bestimmten Energiebereich widmen. An 20 dieser Programme ist die Schweiz beteiligt. Eines der Programme fokussiert auf die Energieeffizienz von Endgeräten (Energie Efficient End-Use Equipment, abgekürzt 4E). In diesem 4E-Programm tauschen Fachleute aus zwölf Ländern einschliesslich der Schweiz Informationen und Erfahrungen aus und entwickeln Vorschläge für einen effizienten Umgang mit Energie. Die Führung sowie die inhaltliche Festlegung der zu bearbeitenden Themen erfolgt durch das «Executive Committee», in welchem alle beteiligten Länder vertreten sind.

EDNA (Electronic Devices and Network Annex) ist eines von drei Unterprogrammen (sogenannten «Annexes») des 4E-Programms. Im Auftrag und im Rahmen von EDNA ist zwischen November 2014 und Juli 2016 die Studie «Energy Efficiency of the Internet of Things» entstanden. In einem Zusatzbericht widmen sich die Forscher auch den Übertragungstechnologien, die dazu dienen, gestreamte Musik drahtlos an Lautsprecher zu übertragen (z.B. Sonos). Verantwortlich für die beiden Untersuchungen zeichnet ein Team des iHomeLab der «Hochschule Luzern – Technik & Architektur» unter der Leitung von Prof. Alexander Klapproth. In der Hauptstudie haben die Wissenschaftler auch konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet. Diese Empfehlungen werden im «Executive Committee» des 4E-Programms diskutiert und dienen den politischen Instanzen in der Schweiz und den anderen beteiligten Staaten als Anregung für regulatorische oder anderweitige umsetzungswirksame Schritte.

- Bericht «**Energy Efficiency of the Internet of Things**»: edna.iea-4e.org/news/energy-efficiency-of-iot; weitere Informationen: edna.iea-4e.org/
- **Auskünfte** zu dem Projekt erteilt Roland Brüniger ([roland.brueeniger\[at\]r-brueeniger-ag.ch](mailto:roland.brueeniger[at]r-brueeniger-ag.ch)), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Elektrizitätstechnologien.
- Weitere **Fachartikel** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Elektrizitätstechnologien unter: www.bfe.admin.ch/CT/strom