Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 102 (2011)
Heft: (12)

Artikel: Lokales Lastmanagement für den Haushalt
Autor: Sattler, Michael / Strittmatter, Tobias / Weber, Andreas
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856889

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Lokales Lastmanagement für den Haushalt

Elektrische Verbraucher intelligent schalten

Der Zubau von neuen erneuerbaren Energien wird massiv zunehmen. Die Einspeiseleistung von Strom aus Fotovoltaikanlagen und Windkraftwerken kann heute 1–2 Tage im Voraus relativ gut geplant werden. Nun braucht es Technologien, die eine intelligente Verwendung der Energie ermöglichen. Die direkte Nutzung ohne Zwischenspeicherung ist ein zentrales Ziel des lokalen Lastmanagements. Zusätzlich werden Spannung und Frequenz im Stromnetz stabilisiert.

Michael Sattler, Tobias Strittmatter, Andreas Weber

Die Energieversorgung der Zukunft wird sich auf verschiedene Technologien zur elektrischen Energieproduktion abstützen. Von den neuen erneuerbaren Energien sind Fotovoltaik und Windkraft für die Schweiz die klaren Favoriten. Studien beurteilen die notwendige neue Produktionsmenge unterschiedlich. Das Bundesamt für Energie wie auch der Energie Trialog Schweiz kommen zum Schluss, dass die installierte Peak-Leistung aus Fotovoltaik und Wind im Jahre 2050 in der Schweiz ca. 13 GW betragen wird [1, 2]. Hinzu kommt die Leistung der heute bereits bestehenden Laufwasserkraftwerke von rund 4 GW und der Speicherkraftwerke von 10 GW. Bei einem aktuellen Spitzenverbrauch von 8–10 GW zeigt sich, dass in Zukunft zu gewissen Zeiten deutlich mehr Strom produziert als verbraucht wird, während an anderen Tagen zu wenig Energie aus erneuerbaren Quellen zur Verfügung steht. Ein ähnliches Verhältnis von installierter Leistung aus Wind und Fotovoltaik zum Spitzenverbrauch wird in Deutschland bereits 2020 erwartet [3]. Bei knappem Stromangebot im Netz müssen Verbraucher möglichst ausgeschaltet werden, während überschüssige Energie im Idealfall mittels Lastmanagement ohne Speicherverluste direkt verbraucht wird. Lokales Lastmanagement ist somit auch eine Frage der effizienten Nutzung von fluktuierenden Energien.

In der Praxis bedeutet dies, dass künftig Waschmaschine, Tumbler, Geschirrspüler, Ladestation Elektroauto und Wärmepumpenboiler dann laufen werden, wenn die Sonne scheint oder der Wind weht. Dieselben Verbraucher werden bei fehlender Sonnenstrahlung oder Windflaute ohne Komfortverlust möglichst vom Netz getrennt.

Neben der effizienten direkten Nutzung von Strom aus erneuerbaren Quellen ist auch die Netzstabilität ein Thema für das lokale Lastmanagement. Heute werden bei einer Grossstörung im Stromnetz ganze Versorgungsregionen inklusive dezentraler Einspeisung durch den automatischen frequenzabhängigen Lastabwurf vom Stromnetz getrennt. In Zukunft könnten bei Unterfrequenz selektiv nur solche Verbraucher abgeschaltet werden, die trotz kurzer Unterbrechung der Stromversorgung keine unmittelbaren Auswirkungen auf das tägliche Leben haben (Bild 1). Bei Überfrequenz können Verbraucher forciert werden.

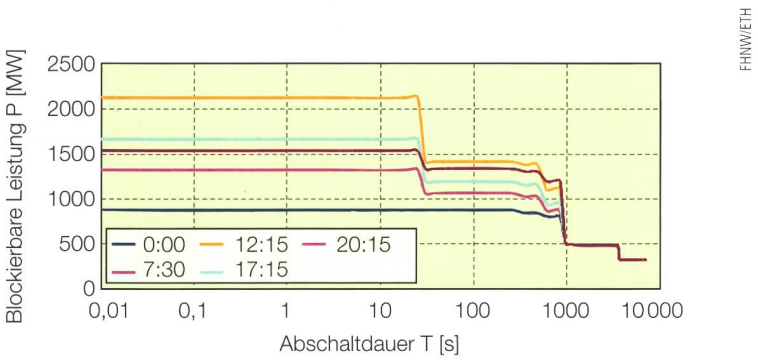


Bild 1 Lokales Lastmanagement zur Stabilisierung des Stromnetzes. Die Grafik zeigt, dass mit Geräten im Haushalt, in Abhängigkeit der möglichen Abschaltdauer ohne Komfortverlust, zu verschiedenen Tageszeiten bis über 2 GW Leistung blockiert werden kann.

Smart Building im Smart Grid

Gebäude gehören heute neben Verkehr und Industrie zu den grossen Verbrauchergruppen in der Schweiz. Dieser Energieverbrauch muss drastisch reduziert werden. Die notwendige Verbrauchsreduktion geht einher mit einer verstärkten Automatisierung der Gebäude: In Zukunft werden die Bereiche Gebäudeautomation und lokales Lastmanagement zunehmend verschmelzen. Intelligente Systeme steuern das Gebäude in den Bereichen Komfort und Energie.

Eine zentrale Anforderung an ein solches «Smart Building» ist die geschickte Einbindung in die bestehenden Energienetze. So steuert das lokale Lastmanagement den elektrischen Verbrauch des Gebäudes, um Bezugsspitzen aus dem Stromnetz zu vermeiden. Dadurch werden Zubringerleitungen und Transformatorstationen zu Spitzenzeiten entlastet. Gleichzeitig sorgt das lokale Lastmanagement dafür, dass z.B. Strom aus der eigenen Fotovoltaikanlage vorrangig im Gebäude verbraucht wird. Dies hat für die Netzbetreiber den Vorteil, dass auch in Zukunft nur ein moderater Ausbau der unteren Netzebenen für die Abführung von Solarstrom notwendig sein wird und dass die Leitungs- und Transformationsverluste kleiner ausfallen.

Die Voraussetzungen für die Umsetzung eines Smart Buildings sind bei je-

Oekozentrum Langenbruck

Bild 2 Das Elektroauto wird in Zukunft eine der grössten schaltbaren Lasten im Gebäude sein. Eine genaue Abstimmung mit dem Nutzer des Elektroautos ist zwingend, um das Lastmanagement-Potenzial zu erschliessen.

dem Gebäude unterschiedlich. Die intelligenten Schaltalgorithmen müssen zur Erfüllung der verschiedenen Anforderungen bilanzgruppenspezifisch zwischen Gebäudebesitzer, Netzbetreiber und Energieversorger abgestimmt werden.

Energie-Monitoring als positiver Zusatzeffekt

Die Einbindung des lokalen Lastmanagements in die Gebäudeautomation bietet neben dem optimierten Energie-Management auch den Vorteil eines detaillierten Energie-Monitorings, das die Überwachung der diversen Geräte im Gebäude auf ihre Funktion und Effizienz ermöglicht. So werden beispielsweise eine defekte Wärmepumpe oder Energieverluste schnell erkannt. Diese permanente Gerätezustandsüberwachung erschliesst eines der grössten Einsparpotenziale im Gebäudebereich.

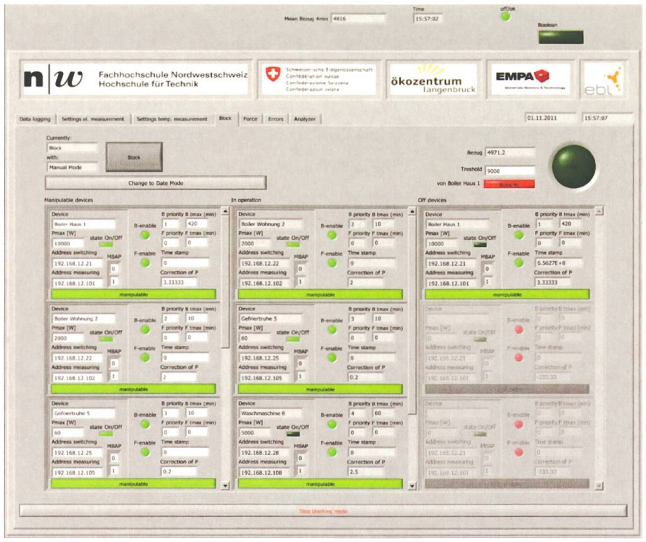
Lokales Lastmanagement: automatisiert und integriert

Lastmanagement lässt sich von den Bewohnern ohne spezielle technische Einrichtung bewerkstelligen. Wer eine eigene Fotovoltaikanlage besitzt und immer nur dann den Geschirrspüler einschaltet, wenn die Sonne scheint, betreibt Lastmanagement und nutzt den Strom effizient. Wichtig ist dabei, dass dafür ein finanzieller Anreiz besteht. Aktuelle Studien [4] gehen davon aus, dass auch mit finanziellen Anreizen im Rahmen der Differenz zwischen Hoch- und Niedertarif kaum Einsparungen über 10 % des Stromverbrauchs eines Haushalts möglich sind. Die Bereitschaft der Konsumenten, aktiv auf Preissignale zu reagieren, ist nur in geringem Mass vorhanden. Daher muss das lokale Lastmanagement vollautomatisch und mit geringsten Einschränkungen für den Kunden funktionieren.

Elektroautos mit ihrer Batterie sind interessante Verbraucher in einem Smart Building. Sie müssen aber immer in abgestimmter Interaktion mit dem Benutzer mit Ladestrom versorgt werden (Bild 2). Wird ein Elektroauto nicht in der gewünschten Zeit «betankt» und steht es für eine geplante Fahrt nicht bereit, sinkt die Akzeptanz von lokalen Lastmanagementsystemen stark.

Praxisversuche am Ökozentrum Langenbruck

Im Institutsgebäude des Ökozentrums Langenbruck wurde im Rahmen eines vom Bundesamt für Energie finanzierten Projektes ein lokales Lastmanagementsystem aufgebaut. In enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Aerosol- und Sensortechnik der Fachhochschule Nordwestschweiz, der Abteilung Building Technologies der Empa und dem baselländischen Energiedienstleistungsunternehmen EBL wurden Algorithmen für eine intelligente Lastmanagementstrategie erprobt. Dabei werden Verbraucher, die sich ohne Komfortverlust zu- und abschalten lassen, von einem zentralen Computer, dem «Lastmanager Haus», gesteuert. Die Verbraucher umfassen zwei Solarboiler mit Elektroheizstab, eine Waschmaschine, eine Elektroauto-Ladestation und einen Gefrierschrank. Weitere Verbraucher wie Kühlgeräte wurden in die Datenerfassung integriert, aber nicht aktiv geschaltet, da die Wirkung der schaltbaren Last eines modernen, effizienten Kühlgerätes im Vergleich zum Stromverbrauch des Gebäudes unbedeutend ist. Neben den Verbrauchern wurde auch die Stromproduktion der Fotovoltaikanlage (Peak-Leistung 9 kW) auf dem Institutsgebäude erfasst wie auch die Verbrauchs- bzw. Einspeiseleistung am Hausanschluss. Mit diesen Messstellen kann ein wesentlicher Teil der Stromflüsse im Institutsgebäude im zeitlichen Verlauf verfolgt werden (Bild 3).



Oekozentrum Langenbruck

Bild 3 Benutzeroberfläche des «Lastmanager Haus». Über diese Schaltflächen können im Forschungsprojekt die für das lokale Lastmanagement relevanten Parameter definiert werden. Die Steuerbefehle für die verschiedenen Geräte werden dann autonom ausgeführt.

Jedes der angesteuerten Geräte besitzt zusätzlich eine eigene Intelligenz, den «Lastmanager Gerät». So werden beim Ausbleiben von Steuersignalen im Falle eines Kommunikationsunterbruchs die Boiler durch lokale Temperaturregler weiterbetrieben. Auch die maximale Zeit, während der ein Gerät blockiert werden kann, ist durch einen lokalen Timer begrenzt. Mit diesen Vorkehrungen konnte während der gesamten Versuchsdauer ein Ausfall der angesteuerten Geräte vermieden werden.

Strategien zur Verhinderung von Bezugsspitzen

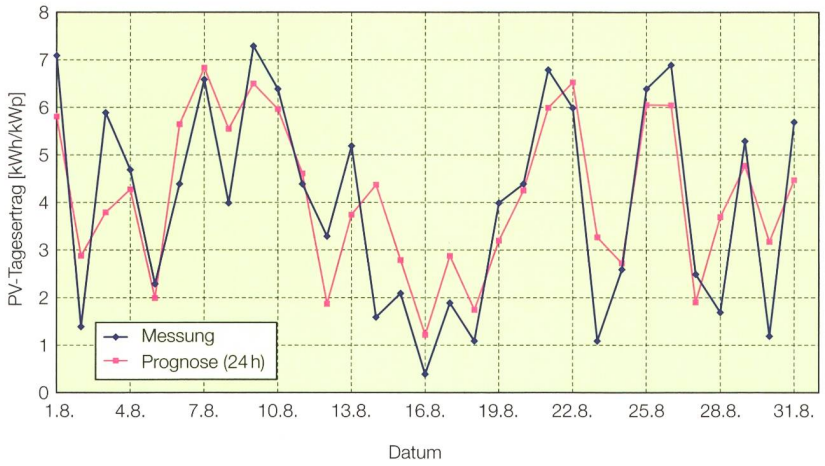
Basierend auf Messungen während einer 1-Jahres-Periode wurde eine maximale erwünschte Bezugsleistung für das Gebäude festgelegt. Sobald dieser Schwellenwert von 9 kW überschritten wird, greift das lokale Lastmanagement ein und versucht, durch sukzessives Abschalten der zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung stehenden schaltbaren Geräte die Bezugsleistung auf unter 9 kW zu reduzieren. Nach der Unterschreitung des Schwellenwertes von 9 kW und einer Wartezeit werden die Verbraucher wieder schrittweise zugeschaltet. Das erneute Abschalten erfolgt in Abhängigkeit des Verbrauchertyps erst nach einer «Erholungsphase». So wird der Tiefkühlschrank erst nach einem vollständigen Kühlzyklus erneut blockiert. Ebenso muss das Elektroauto zuerst den aktuellen Ladezyklus vollenden, bevor die Stromzufuhr erneut blockiert werden darf. Die Elektroboiler hingegen wurden als flinke Lasten im 15-Sekunden-Takt geschaltet.

Einen Spezialfall stellt die Waschmaschine dar. Diese darf nur dann blockiert werden, wenn das Wasser in der Waschtrommel noch nicht aufgeheizt ist. Wird die Waschmaschine eingeschaltet, erkennt der lokale Lastmanager dies aufgrund des Energieverbrauchs der Wasserpumpen. In diesem Moment wird geprüft, ob die Zuschaltung des Heizstabes zu einer Überschreitung des Schwellenwertes führen würde. Ist dies der Fall, wird die Maschine blockiert. Andernfalls wird der Waschgang gestartet und nicht mehr unterbrochen.

Eigenverbrauch von Solarstrom

Die Fotovoltaikanlage auf dem Gebäude verändert das elektrische Bezugsprofil des Gebäudes grundsätzlich. Der Solarstrom reicht in der Mittagszeit der Sommermonate oftmals aus, um den gesamten Bedarf des Gebäudes mit 20 Büroplätzen, Mitarbeiterküche und 2 Familienwohnungen zu decken. Die klassische Bezugsspitze zur Mittagszeit ist fast vollständig verschwunden. Um die Einspeisespitzen zu reduzieren und den Eigenverbrauch von Solarstrom zu erhöhen, wird der überschüssige Solarstrom in der «Wasserbatterie», dem Warmwasserboiler, gespeichert. Dieser wird an sonnigen Tagen bis auf 80 °C aufgeheizt.

Sicher ist es zum heutigen Zeitpunkt unsinnig, Solarstrom in Form von Warmwasser zu speichern. Zur Untersuchung der Algorithmen im Lastmanager Haus und in den Sicherheitssystemen im Lastmanager Gerät war dies aus Sicht der Forschung interessant.



Oekozentrum Langenbruck

Bild 4 Der spezifische Ertrag von Fotovoltaikanlagen kann basierend auf Meteodaten innerhalb von 24 h gut prognostiziert werden. Der Elektrizitätsversorger einer Region kann damit die Regelstrategie von lokalen Lastmanagement-Systemen anpassen.

Einsatz von Wetterprognosen

Die Vorhersage der Fotovoltaikleistung funktioniert basierend auf Vergleichen der 3-Stunden-Mittelwerte für Sonnenstrahlung und den anschliessend gemessenen Leistungen der Fotovoltaikanlage erstaunlich gut (Bild 4). Somit steht für die Energiequelle mit dem grössten Potenzial ein gutes Instrument der prospektiven Steuerung zur Verfügung. Ihr Nutzen ist für das lokale Lastmanagement eines einzelnen Gebäudes hingegen nur beschränkt gegeben. Bei schönem Wetter liefert die Fotovoltaikanlage bereits 2–3 h nach Sonnenaufgang genügend Strom, um alle Verbraucher des Gebäudes zu versorgen. Ein Abschalten von Verbrauchern wird dann unnötig. Im Schlechtwetterfall kann die Leistung nur dann reduziert werden, wenn genügend gespeicherte Energie zur Verfügung steht, was mindestens eine Tagesspeicherung voraussetzt. Bei wechselhaftem Wetter sind die Prognosen für einen einzelnen Standort zu wenig detailliert in der Zeitauflösung.

Für das lokale Lastmanagement eines einzelnen Gebäudes ist die Wetterprognose erst dann interessant, wenn Energie über mehr als 12 h gespeichert werden kann. Für den Lastausgleich im Versorgungsnetz einer Region ist eine Wetterprognose in hoher Zeitauflösung hingegen sehr wirkungsvoll. Durch die Mittelungseffekte kann damit besser geplant werden, als dies für ein einzelnes Gebäude möglich ist.

Einfache Theorie und herausfordernde Praxis

Die beschriebenen Regelstrategien haben im erwähnten Forschungsprojekt gut funktioniert. Die konzipierten Algorithmen konnten erfolgreich getestet werden. So liessen sich die Bezugsspitzen über 9 kW deutlich reduzieren. Hingegen brachte eine Analyse der Effizienz eine teilweise ernüchternde Bilanz. Das Aufheizen des Warmwasserboilers mit entsprechend höherer Speichertemperatur hat auch erhöhte Verluste zur Folge. Diese betragen teilweise deutlich über 25 % der eingesetzten Energie. Auch die Effizienz der Energiespeicherung in einer Kühltruhe muss kritisch beleuchtet werden. Tiefere Temperaturen mit entsprechenden thermischen Verlusten und ungünstigen Arbeitspunkten des Kältekompressors resultieren auch bei diesem System in einem Energieverlust von über 10 %.

Diese Beispiele zeigen die Grenzen des lokalen Lastmanagements. Eine

Speicherung der elektrischen Energie in Form von Wärme oder Kälte ist nur dann sinnvoll, wenn die daraus entstehenden Zusatzverluste diejenigen Verluste einer anderen möglichen Speicherart, z.B. der Pumpspeicherung, nicht überschreiten.

Hohe Verfügbarkeit der Kommunikation

Es ist heute noch offen, mit welcher Technologie die Smart Meter (oder allgemeiner: Gateways) in Zukunft zwischen Gebäude und Energieversorger kommunizieren werden. Auch steht noch nicht fest, welche Daten ausgetauscht werden sollen. Eine heute bereits verfügbare Kommunikationstechnologie stellt die Rundsteuerung dar. Sie ist bewährt und äusserst robust, kann aber nur kleine Datenmengen vom Energieversorger zum Verbraucher senden. Für ein einfaches Preissignal mit grober zeitlicher Auflösung würde diese Kommunikation noch ausreichen. Dieses Signal könnte gebäudeintern entsprechende Massnahmen auslösen und so Lasten indirekt schalten und damit die Netzstabilität erhöhen.

Bei allen Formen von bidirektionaler Kommunikation zwischen Gebäude und Energieversorger muss diese sehr hohe Verfügbarkeit und Sicherheit aufweisen sowie Datenschutz gewährleisten. Das heutige Internet zum Beispiel ist für die Ansprüche einer Energieversorgung umstritten. Entsprechend muss ein Smart Grid, das auf eine permanente bidirektionale Kommunikation mit den Verbrauchern angewiesen ist, kritisch evaluiert werden.

Lokales Lastmanagement

Der Zubau von erneuerbaren Energien mit fluktuierender Produktion, ob zentral oder dezentral, verlangt ein verstärktes Übertragungsnetz, mehr Speicherkapazität sowie neue Regelstrategien im Stromnetz mit dynamischem Einbezug der Last: ein Smart Grid. Wieweit die Lasten und dezentralen Quellen aus dem intelligenten Netz gesteuert werden sollen, sei es direkt oder über einen dynamischen Tarif, ist offen. Der dezentrale Ansatz mit dem lokalen Lastmanagement und lokalen Optimierungsalgorithmen hat aber den Vorteil, dass man sofort mit dem Ausbau beginnen kann und der Effekt auf lokaler Ebene in wenigen Jahren spürbar sein wird. Der Zeithorizont für die Vollendung eines europaweiten intelligenten Stromverbundnetzes dürfte deutlich grösser sein.

Résumé

Gestion locale de la charge pour les ménages

Commutation intelligente des consommateurs d'électricité

Les nouvelles sources d'énergie renouvelables vont faire l'objet d'un renforcement considérable au cours des prochaines décennies. À l'heure actuelle, il est possible de prévoir de façon relativement efficace, avec 1 ou 2 jours d'avance, la puissance d'injection pour l'électricité produite à partir d'installations photovoltaïques et de centrales éoliennes. Il est désormais nécessaire de recourir à des technologies qui permettent d'utiliser intelligemment l'énergie générée. L'utilisation directe, sans accumulation intermédiaire pour l'énergie produite par la lesfilières photovoltaïque et éolienne, constitue un objectif central en matière de gestion de la charge. Une gestion locale de la charge rend également de précieux services du point de vue de la stabilisation de la tension et de la fréquence du réseau électrique. Cette technologie a été soumise à des essais pratiques réalisés conjointement par le Centre écologique de Langenbruck et des partenaires de recherche dans le cadre d'un projet soutenu par l'Office fédéral de l'énergie. La gestion locale de la charge peut être mise en œuvre rapidement et ainsi soulager le réseau de distribution électrique, notamment pendant les pics de consommation. Ce dispositif présente toutefois certaines limites. À titre d'exemple, une accumulation de l'énergie électrique sous forme de chaleur ou de froid ne se révèle pas toujours très pertinente en raison des pertes enregistrées d'un point de vue énergétique. No

Referenzen

[1] Energieszenarien für die Schweiz bis 2050 – Zwischenbericht II – Elektrizitätsangebot; Bundesamt für Energie/Prognos AG; 2011.
[2] Energie-Strategie 2050 – Impulse für die schweizerische Energiepolitik; Energie Trialog Schweiz.
[3] Wegweiser Solarwirtschaft: PV-Roadmap 2020 – Wettbewerbsfähig, klimafreundlich, dezentral – Die Solarwirtschaft als eine bedeutende Säule einer nachhaltigen Energieversorgung; Roland Berger Strategy Consultants, 2010.
[4] Smart Metering für die Schweiz – Potenziale, Erfolgsfaktoren und Massnahmen für die Steigerung der Energieeffizienz; BFE/econcept AG; 2009.

Angaben zu den Autoren

Michael Sattler ist Projektleiter am Ökozentrum Langenbruck. Als Umweltingenieur NDS/FH arbeitet er seit 6 Jahren im Bereich der dezentralen Energiegewinnung aus erneuerbaren Energien. Ein Schwerpunkt liegt im Bereich «Lokales Lastmanagement», wo er ein vom Bundesamt für Energie finanziertes Forschungsprojekt leitet.
Ökozentrum Langenbruck, 4438 Langenbruck
michael.sattler@oekozentrum.ch

Tobias Strittmatter, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Aerosol- und Sensortechnik.
Fachhochschule Nordwestschweiz, 5210 Windisch
tobias.strittmatter@fhnw.ch

Andreas Weber, wissenschaftlicher Mitarbeiter der Empa, Abteilung Bautechnologien.
Viktor Dorer, Stv. Leiter Abteilung Bautechnologien.
Empa, 8600 Dübendorf, viktor.dorer@empa.ch

Anzeige

aqua metro

Let's talk about

smart metering

Verbraucher-Transparenz
dank zeitnah, smart erfasster Zähler!

Think smart. Solutions for your future.

Aquametro AG
Ringstrasse 75
4106 Therwil
Tel. 061 725 11 22
Fax 061 725 15 95
info@aquametro.com
www.aquametro.com