Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 103 (2012)
Heft: 9

Artikel: Ein «Smart Grid» von der Natur inspiriert
Autor: Ursin, Max
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857338

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: 08.07.2025

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

TECHNOLOGIE **SMART GRID**

Ein «Smart Grid» von der Natur inspiriert

Swiss2Grid steuert dezentrale Kleinspeicher ohne Kommunikation

Auch ohne fossile und nukleare Energieträger muss Strom in Zukunft stets verfügbar sein. Weil die erneuerbaren Energien aber stark wechselhaft und unzuverlässig produzieren, müssen «erneuerbare» Speicher die Differenzen zwischen Angebot und Nachfrage zu jedem Zeitpunkt ausgleichen. Dezentrale Kleinspeicher können von einer Zentrale aus «ferngesteuert» werden, oder – wie bei Swiss2Grid – die Netzspannung als dezentrale Steuergrösse verwenden und so sich selbst steuern.

Max Ursin

Fotovoltaikanlagen speisen typischerweise auf Niederspannungsebene ein (Bild 1). So auch Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK), denen eine grosse Zukunft vorhergesagt wird. Auf der Nachfrageseite taucht das Elektroauto als grosser neuer «Leistungsfresser» in den Niederspannungsnetzen auf. Bei grosser Verbreitung führen diese Technologien zu lokalen Produktions- und Nachfragespitzen. Die stark zunehmende lokale PV-Einspeisung in Deutschland bewirkt Kapazitätsengpässe und lokale Spannungshaltungsprobleme (Bild 2). Eine stark zunehmende Anzahl Elektroautos würde die ungünstige Lastverteilung akzentuieren. Diese Lastspitzen tauchen vor allem am Abend auf, wenn die Sonne am Untergehen ist (Bild 3).

Smart Grid «classic»

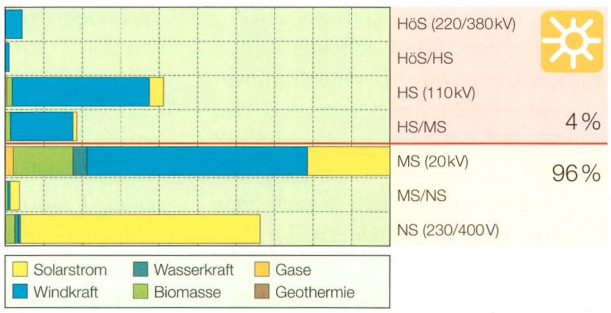
Das Smart Grid soll dazu beitragen, die Produktion und die Nachfrage über Speicher auszubalancieren. Alle drei Elemente sollen steuerbar werden. Heutige Smart-Grid-Konzepte gehen von einer aktiven Steuerung aus. Steuerungsgrössen wie zum Beispiel der «Markt» (Preise als Übersetzung der momentanen Bilanz zwischen Angebot und Nachfrage), Messungen (Aussentemperatur, Leistung, Ladezustand der Batterie etc.) sowie weitere Informationen seitens des Bedarfs (Kundenbedürfnisse) werden über eine aktive Kommunikation zentral oder dezentral intelligent verknüpft und schliesslich in Steuerbefehle übersetzt: Speicher laden oder entladen, Apparat anstellen oder abstellen, Umformer zurückregeln.

Damit eine solche Steuerung überhaupt Zugang bekommt zu den zahlreichen Apparaten und Speichern, müsste Smart Grid flächendeckend installiert werden. Diese gigantischen (Vor)investitionen stehen einem vermutlich geringen Nutzen gegenüber. ABB geht davon aus, dass bei flächendeckender Installation des Smart Grids nur etwa 10 % der Leistung überhaupt steuerbar sein werden (Bild 4). Mit zunehmender Effizienz der Anwendungen und dem Verdrängen grosser Leistungsfresser wie Elektroboiler und Elektroheizungen durch solare Systeme, WKK und Wärmepumpen, nimmt zudem die steuerbare Last, d.h. die für die Steuerung nützliche Last, ab.

Wirtschaftlich ist ein auf Informations- und Kommunikationstechnik (ICT) basierendes Smart Grid auf Niederspannungsebene heute nicht realisierbar. Einer Investition im einzelnen Haushalt von mehr als 1000 CHF für Mess-, Steuerungs- und Kommunikationstechnik steht ein jährlicher Nutzen von etwa 50 CHF gegenüber. Auch bei grösserer Preisdifferenzierung würde sich das Problem der zu langen Amortisationsdauer und die schwerwiegendere Herausforderung der Vorinvestitionen nicht lösen. Kostenbewusste EVUs wagen sich deshalb nur zögerlich an das Thema Smart Grid im Haushalt heran. Vernünftigerweise wird zuerst dort «smartness» eingebaut, wo es sich rechnet, nämlich wo grosse Leistungen und Energiemengen fliessen. Das findet auf den höheren Spannungsebenen statt oder an Orten mit hoher Nutzer- oder Benutzungsdichte. Dennoch ist eine Steuerungstechnik auf Niederspannungsebene notwendig, denn sonst werden Elektroautos am Abend gewaltige Spitzenlasten und dicht installierte PV-Anlagen ungeheure Mittagsspitzen produzieren.

Swiss2Grid: Fokus auf das Wesentliche

Eine Speichersteuerung, die ohne ICT auskommt, löst das Problem der Vorinvestitionen weitgehend. Wirtschaftlich attraktiv wird ein solches System, wenn es bei einem Bruchteil der Kosten ungefähr den gleichen Nutzen bringt. Der Verzicht auf ICT hat immense Vorteile: Eine grosse Vereinfachung, das Vermeiden einer notwendigen internationalen Standardisierung der Kommunikationsprotokolle und das wichtigste überhaupt: Sicherheit. Wenn Viren wie Stuxnet iranische Uranzentrifugen lahmlegen und Hacker über das Autoradio in den CAN-Bus eines Fahrzeuges eindringen können, dann ist eine mit dem Internet verbandelte Energieversorgung nichts anderes als ein riesiger Alptraum für die moderne Industriegesellschaft …



KWO

Bild 1 Solarenergie wird vor allem in das Niederspannungsnetz eingespeist (gelbe Balken).

TECHNOLOGIE **SMART GRID**

Die Natur als Vorbild für ein kostengünstiges Smart Grid

Sitzen, Denken, Gehen, Sprechen, Sein – das geht alles dank der Nahrungsaufnahme, dank einer Energiezufuhr, die Stoffwechselvorgänge im Gang hält, die Körpertemperatur steuert und dank der wir uns bewegen können.

Die Energie, die der Körper ständig und unmittelbar zur Verfügung hat, ist der Blutzucker (Glukose). Der Zucker wird mit dem Blut zu den verschiedenen Organen und Zellen transportiert und dort in Nutzenergie umgewandelt (Wärme, mechanische Energie, Stoffwechsel und gelegentlich auch gute Ideen). Genauso wie die Elektrizität, die von einem Niederspannungstrafo aus zu den verschiedenen Steckdosen fliesst. Der Blutzuckerspiegel schwankt im Laufe des Tages: Nach einer Mahlzeit steigt er an, bei Anstrengung sinkt er ab, weil der Zucker als Energielieferant benötigt wird. Der Blutzuckerspiegel wird konstant gehalten. Um Schwankungen (Ungleichgewicht zwischen Produktion und Bedarf) möglichst zu vermeiden, legt der Körper den nicht benötigten überschüssigen Zucker in einer Speicherform (Glykogen) ab. Die Leber ist ein zentraler Speicher für zentrale Systemfunktionen; die Muskelzellen und das Fettgewebe sind ein dezentraler und verteilter Speicher für dezentrale Funktionen. Aus diesen Glykogenspeichern kann bei Bedarf sehr schnell wieder Zucker gewonnen werden. Allerdings ist dieser «Speicherplatz» nicht sehr gross. Sinkt der Blutzuckerspiegel stark ab und ist der zentrale Energiespeicher Leber leer, dann kann das mit Bewusstseinsverlust enden. Blackout.

Grössere Energiereserven kann der Körper in Form von Fett anlegen, das bei längerem Nahrungsmangel wieder in Zucker umgewandelt wird. Das entspricht in der technischen Energiewelt dem Wochen-, Monats- und Saisonspeicher.

Bei der Steuerung dieser Prozesse spielt Insulin die Schlüsselrolle: Bei hohem Blutzuckerspiegel wird Insulin ausgeschüttet. Es regt zum einen die Aufnahme des Zuckers in das Muskel- und Fettgewebe an, zum anderen hemmt es die Glukosefreisetzung (Speicherentleerung) aus der Leber. Ausserdem begünstigt es die Bildung von Fett und unterdrückt gleichzeitig den Fettabbau. Bei niedrigem Blutzucker und damit niedrigem Insulinpegel wird ein anderes Hormon aktiv, das die Entleerung der Speicher bewerkstelligt. Dieser elegante Regelmechanismus füllt und leert den zentralen

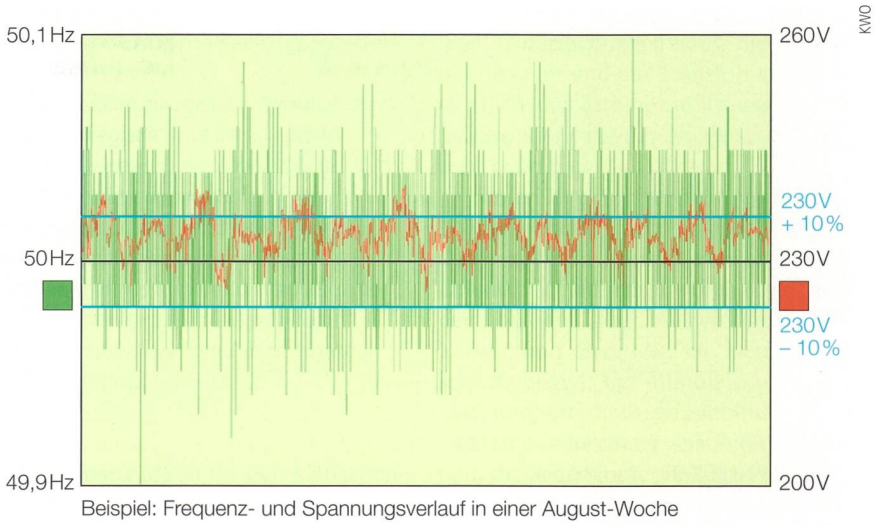


Bild 2 Frequenz und Spannungsverlauf in einem Niederspannungsnetz (August): PV-Einspeisung führt zu Überspannungen (blaue Linien = ±10 % der Standardspannung).

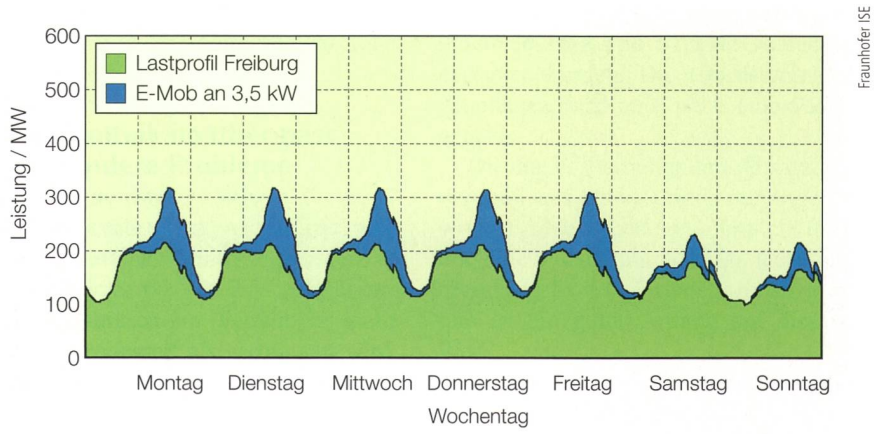


Bild 3 50 % höhere Leistungsspitzen in der Stadt Freiburg i.B. bei ungesteuertem Laden und 100 % Elektroautobestand. Simulation des Fraunhofer-Instituts für solare Energiesysteme (ISE).

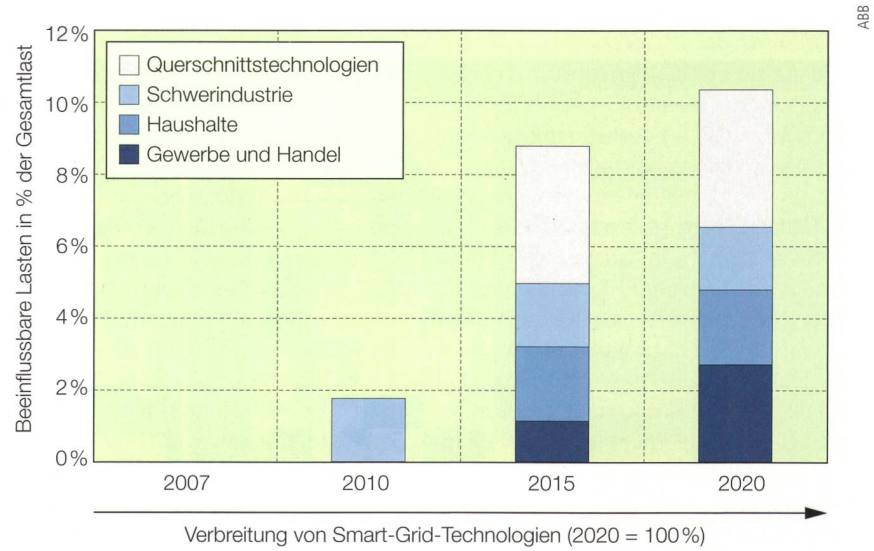


Bild 4 Bis 2020 erwartet ABB, dass nur etwa 10 % der Gesamtlast beinflussbar sein werden. Voraussetzung dafür ist ein flächendeckend installiertes Smart Grid.

TECHNOLOGIE **SMART GRID**

KWO

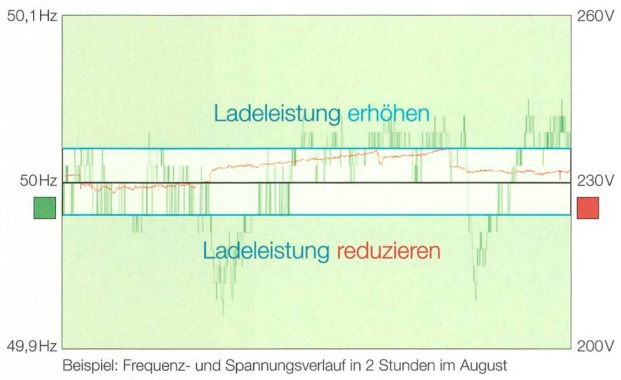


Bild 5 Überschreitet die Spannung einen gewissen Schwellenwert, wird die Ladeleistung erhöht. Damit reduziert sich die Spannung wieder. Bei grossem Spannungsabfall schalten die Speicherladegeräte ab und warten, bis sich bessere Lastverhältnisse einstellen.

KWO

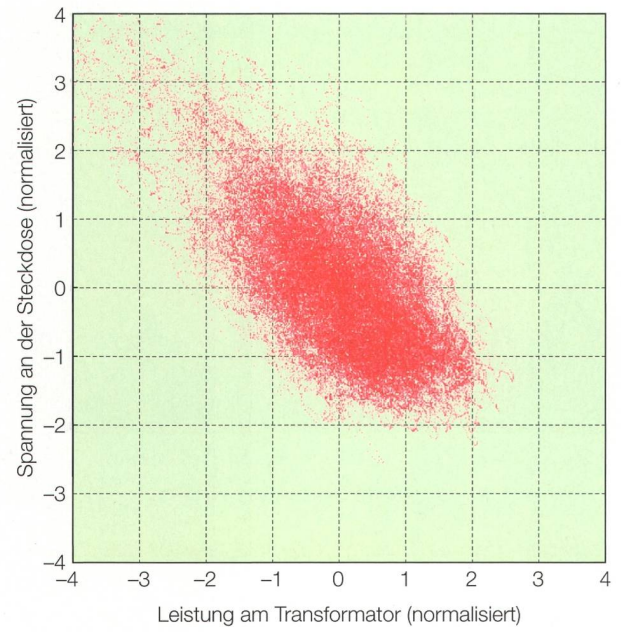


Bild 6 Je höher die Last am Niederspannungstrafo (x-Achse), desto niedriger die Spannung an einer Steckdose im Niederspannungsnetz (mit GPS-Zeitsignal synchron gemessene Leistungs- und Spannungswerte).

Résumé

Un smart grid inspiré par la nature

Swiss2Grid contrôle de petits accumulateurs décentralisés sans dispositif de communication

À long terme, les énergies renouvelables sont censées remplacer les sources d'énergie fossiles. Or, sans accumulateurs, la nature stochastique de ces nouvelles énergies ne les rend que partiellement utilisables puisque leur production doit, elle aussi, être harmonisée avec les besoins des consommateurs.

Pour ce faire, il est possible d'utiliser des accumulateurs « télécommandés » par des centres de contrôle, ce qui nécessite un effort considérable en matière de communication et d'investissement (préalable) ou, comme Swiss2Grid, la tension du réseau en tant que grandeur de commande décentralisée.

Les mesures et les simulations réalisées montrent que la tension fonctionne suffisamment bien en tant que grandeur de commande pour l'accumulation locale. La tension sur une prise est liée à la sollicitation du transformateur basse tension.

Cette corrélation est certes imprécise (la tension sur la prise ne permet pas de déterminer la sollicitation du transformateur avec précision), mais elle est suffisante pour commander la charge ou la décharge des accumulateurs dans les plages extrêmes importantes pour la commande (charge très importante, charge très faible). Plus le nombre d'accumulateurs commandés de cette façon est important, meilleure sera la réduction des pics de puissance et de tension, ce qui équilibrera la sollicitation des transformateurs et améliorera la tenue en tension.

La variabilité sur différentes prises de cette corrélation tension-puissance présente l'avantage suivant : chaque accumulateur réagira différemment. Par conséquent, une rétroaction entre un grand nombre de voitures électriques et le réseau basse tension, susceptible d'entraîner une augmentation de la charge et de la tension, est moins vraisemblable que lors d'un ordre de commande « strict » émis par la centrale qui repose sur les prix du marché ou sur les mesures de puissance. No

und die zahlreichen dezentralen Energiespeicher des Organismus, damit der Körper jederzeit alle Aufgaben erfüllen kann, auch wenn wir gerade nicht essen.

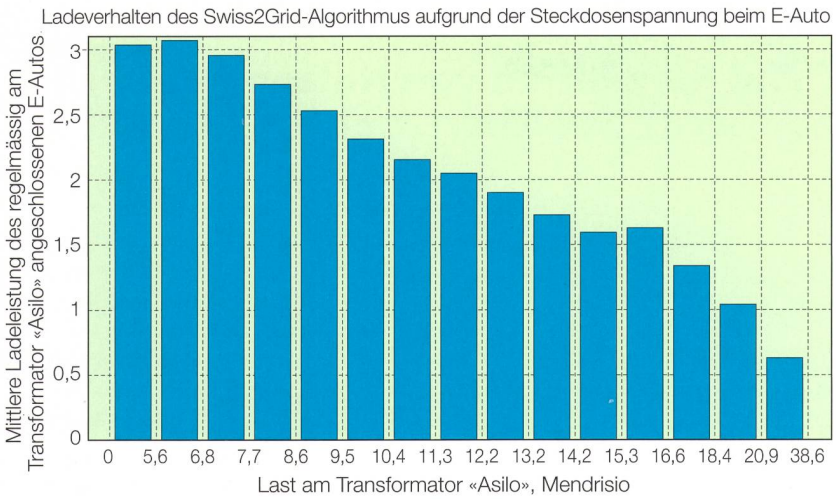
Umsetzung in Swiss2Grid

Swiss2Grid, ein Steueralgorithmus, steuert das Laden und Entladen dezentraler Kurzzeitspeicher (Batterien oder thermische Speicher) ganz ähnlich: Wird im lokalen Niederspannungsnetz vom Niederspannungstrafo viel Energie nachgefragt, sinkt die Spannung (wie das Insulin) an den Steckdosen ab. Der Algorithmus misst die Steckdosenspannung permanent und lernt, welches Spannungsniveau einer grossen Belastung des nächsten Niederspannungstrafos entspricht. Ist die Last gross, dann befiehlt Swiss2Grid dem einzelnen Speicher, das Laden zu unterbrechen oder auch Energie aus den Speichern wieder freizugeben. Steigt die Spannung im Niederspannungsnetz an, dann ist der Niederspannungstrafo entweder weniger belastet oder aber eine lokale Einspeisung von Energie erhöht die Spannung: Der Algorithmus befiehlt dann den Speichern, sich zu füllen. Elektroautos, Wasserboiler, Kühlschränke können so Zeiten niedriger Trafobelastung nutzen oder lokal erzeugte Energie gleich lokal einspeichern, indem sie die Ladeleistung erhöhen (Bild 5). Das Erhöhen der Ladeleistung hat zur Folge, dass die Spannung sinkt (rote Linie in Bild 5). Eine grosse Menge von Elektroautos könnte sogar Primärregelung betreiben, denn die Frequenz wird auch an jeder Steckdose gemessen und im Algorithmus verarbeitet.

Messungen und Simulationen zeigen, dass die Spannung als Steuerungsgrösse für die lokale Speicherung hinreichend gut funktioniert. Die Spannung an einer Steckdose korreliert nämlich mit der Belastung des Niederspannungstrafos (Bild 6).

Diese Korrelation ist weder gut, noch ist der einzelne Punkt rechnerisch mit vernünftigem Aufwand nachzuvollziehen. Das heisst, aus der Spannung an der Steckdose kann man die Belastung des Trafos nicht genau ermitteln. Es zeigt sich aber, dass in den für die Steuerung relevanten Extrembereichen (sehr hohe Last, sehr niedrige Last) für das Laden oder Entladen des Speichers eine hinreichend genaue Steuerung des Speichers möglich

TECHNOLOGIE **SMART GRID**



KWO

Bild 7 Der Algorithmus meidet Zeiten hoher Trafobelastung (x-Achse rechts): Nur wenig Energie wird dann nachgeladen.

ist. Je mehr so gesteuerte Speicher mitarbeiten, desto besser ist der Abbau von Leistungsspitzen und Spannungsspitzen, und die Trafobelastung wird ausgeglichener. Computersimulationen der BFH-TI Biel und der Supsi im Tessin zeigen genau dieses Verhalten (Bild 7): Zeiten hoher Trafobelastung werden mehrheitlich vermieden.

Die Ungenauigkeit an der einzelnen Steckdose und die Unterschiedlichkeit dieser Korrelation an verschiedenen Steckdosen hat auch Vorteile: Jeder Speicher wird anders reagieren. Somit ist eine positive Rückkopplung zwischen vielen Elektroautos und dem Niederspannungsnetz, die zu einem Aufschwingen der Last und der Spannung führen könnte, weniger wahrscheinlich wie bei einem zentral ausgesendeten «scharfen» Steuerungsbefehl, der auf Marktpreisen oder Leistungsmessungen basiert.

Diese ersten grundlegenden Erkenntnisse stammen aus einer ersten Phase der Forschungsarbeit «Swiss2Grid». In einer zweiten Phase des Projekts, das wiederum vom Bundesamt für Energie und Swisselectric Research finanziert wird, werden die obigen Hypothesen weiter erhärtet, getestet und in Simulationen nachvollzogen. Insbesondere wird das «Schwarmverhalten» der Algorithmen untersucht. Ausgewählte Resultate der ersten Phase sind im Artikel von Michael Höckel, Thomas Häni und Syril Eberhart dargestellt.

Referenzen

[1] Michael Höckel, Thomas Häni und Syril Eberhart: «Elektromobilität in Verteilnetzen», Bulletin 09/2012, S. 40.

[2] Cord-H. Dustmann, Max Ursin: «SwissV2G», Paper for EVS24 Stavanger, Norway, May 13–16, 2009.

Angaben zum Autor

Max Ursin ist Senior Consultant für Energie- und Innovationsprojekte bei der KWO.

Kraftwerke Oberhasli, 3862 Innertkirchen
max.ursin@kwo.ch

Anzeige

E+S ASW

IS-E

die starke Softwarelösung für Energieversorger

- Abrechnung aller Energiearten und Dienstleistungen
- Flexible Produktgestaltung
- Ein- / Zwei-Vertragsmodell
- Unbundling
- CRM / Marketing
- Vertragsmanagement
- Business Intelligence (BI) / Management-Informationssystem (MIS)
- Integration von EDM-Systemen, Fernablesesystemen, Ablesegeräten, Smart Metering

Über 400 Energieversorger mit mehr als 1,9 Mio. Messgeräten setzen auf das führende Informationssystem IS-E.

InnoSolv
www.innosolv.ch