

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 109 (2018)
Heft: 10

Artikel: Energiemanagement auf dem Prüfstand = Gestion de l'énergie sur un banc de tests
Autor: Wienands, Steffen / Moullet, Yoann
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-856999>

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: 02.04.2026

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



Energiemanagement auf dem Prüfstand

Optimierung der Energieflüsse von Prosumern | Die Berner Fachhochschule prüft in ihrem neuen Prosumer-Lab unter realistischen Bedingungen Systemkomponenten von intelligenten Stromnetzen. Die Erkenntnisse aus den Tests sollen dazu beitragen, erneuerbare Energien besser in den Strommarkt zu integrieren.

TEXT STEFFEN WIENANDS, YOANN MOULLET

Mit der wachsenden Anzahl von Photovoltaikanlagen und Batterien werden die Privathaushalte in Zukunft eine zunehmend aktive und wichtige Rolle im Stromnetz einnehmen. Insbesondere die Markteinführung von elektrischen Speichersystemen eröffnet neue Perspektiven für das Management der Energieflüsse in den Verteilnetzen. So ermöglichen Batterien den Betrieb intelligenter Netze, welche die neuen Energiequellen – etwa dezentrale Photovoltaikanlagen – optimal nutzen. Dabei ist entscheidend, den Stromverbrauch und die Stromproduktion bestmöglich miteinander in Einklang zu bringen.

Neue Systemkomponenten schaffen die Voraussetzungen, um erneuerbare Energien besser in den Strommarkt zu integrieren. Zu ihnen gehören Energiemanagementsysteme (EMS). Sie messen die Energieflüsse im Haushalt – zum Beispiel die Stromproduktion der PV-Anlage und die Einspeisung ins Netz. Danach schalten sie bestimmte Verbraucher wie die Wärmepumpe ein oder veranlassen die Speicherung überschüssiger Energie in einer Batte-

rie. Dabei sollte ein EMS möglichst wenig überschüssigen Strom aus der Eigenproduktion in das Verteilnetz einspeisen. Eine solche Optimierung des Eigenverbrauchs trägt zur bestmöglichen Integration des produzierenden Verbrauchers (Prosumer) ins Stromnetz bei.

Abbildung der Realität im Labor

Die Aufgabe des Prosumer-Labs besteht darin, die auf dem Markt verfügbaren EMS-Typen unter realistischen und gleichzeitig reproduzierbaren Bedingungen zu testen und zu vergleichen. Der Prüfstand bildet einen modernen Privathaushalt nach. Er wurde im Januar 2018 im BFH-Zentrum Energiespeicherung in Betrieb genommen. Die wissenschaftlichen Partner Centre Suisse d'Électronique et de Microtechnique SA (CSEM) sowie die Berner Fachhochschule (BFH) betreiben dieses gemeinsam. Das Prosumer-Lab wird vom Bundesamt für Energie (BFE) und der BKW Energie AG finanziert und soll energietechnische Fragen rund um Prosumer-Haushalte beleuchten.

Mit dem Pilot- und Demonstrationsprojekt lassen sich unterschiedliche Zustände oder Situationen eines Haushalts, die sonst nur schwer zu reproduzieren wären, mit zuvor erstellten Profilen (Verbrauch-, Wetter-, Temperaturprofile etc.) realitätsnah simulieren. Der Prüfstand funktioniert über eine Kombination aus Emulation und Simulation, um die elektrischen Energieflüsse eines Haushalts mit Photovoltaik, Wärmepumpe und Batteriespeicher bis zum Netzanschlusspunkt mit echten Spannungen und Strömen nachzubilden. Das ist nötig, um Systemkomponenten wie Energiemanagementsysteme, Wechselrichter oder Batteriespeicher unter kontrollierten Bedingungen zu entwickeln, zu vergleichen und zu testen. Dank ihrem modularen Aufbau eignet sich die Testplattform zur Erprobung aller Arten von Energiemanagementsystemen und Systemkomponenten für Privathaushalte wie Batterien, Wechselrichter etc. Die Entwicklung und der Vergleich von Systemen erfolgen dabei auf der Grundlage identischer Profile respektive Bedingungen über eine ganze Testreihe.

Umfassender Forschungsansatz

Das Projekt konzentriert sich auf drei Themenkreise: Das Energiemanagement in Gebäuden, die Verteilnetzintegration und -stabilisierung sowie die Modellierung sozioökonomischer Geschäftsmodelle. Im ersten steht die Frage im Zentrum, wie Energiemanagementsysteme zu gestalten sind, um einen optimalen Ausgleich zwischen Eigenverbrauch, Effizienzsteigerung und Stromnetzintegration zu erreichen. Dazu werden eigene Algorithmen und Komponenten für ein EMS entwickelt und Vergleichsstudien zu anderen auf dem Markt erhältlichen EMS durchgeführt.

Im Forschungsschwerpunkt Verteilnetzintegration und -stabilisierung werden die Einflüsse dezentraler, eigenverbrauchsoptimierter Stromeinspeisungen auf die Verteilnetzqualität unter die Lupe genommen. Dazu kommt die Entwicklung von Strategien zur Stabilisierung des Verteilnetzes.

Im Rahmen einer sozio-ökonomischen Systemanalyse werden schliesslich Einflussfaktoren auf vorhandene und zukünftige Geschäftsmodelle für die Eigenverbrauchsoptimierung untersucht. Die Eignung eines Geschäftsmodells wird über 30 Jahre simuliert und stützt sich auf verschiedene Entwicklungsszenarien von Tarifen, Photovoltaikmenge, Anzahl Elektroautos etc.

Prüfstand mit grosser Flexibilität

Der Prüfstand des Prosumer-Labs lässt sich in drei Hauptbereiche unterteilen (Bild 1). Der Netz-Emulator erzeugt eine dreiphasige, sinusförmige Spannung mit variabler Frequenz und Amplitude bis 50 kVA Leistung. Er bildet das Stromnetz am Anschlusspunkt des emulierten Haushalts nach. Diesem Signal lassen sich Oberschwingungen hinzufügen und es können transiente Ereignisse wie zum Beispiel Überspannungen erzeugt werden. Ein Last-Emulator emuliert eine dreiphasige Last mit einem konfigurierbaren Leistungsfaktor. Es sind drei unterschiedliche Betriebsarten möglich: Konstante Wirkleistung (CP), konstante Impedanz (CZ) oder konstanter Strom (CI). Jede Phase wird einzeln gesteuert, wodurch asymmetrische Lasten generiert werden können. Acht Photovoltaik-Emulatoren mit je 5 kW Leistung ermöglichen, Anlagen mit unterschiedlicher Dachausrichtung

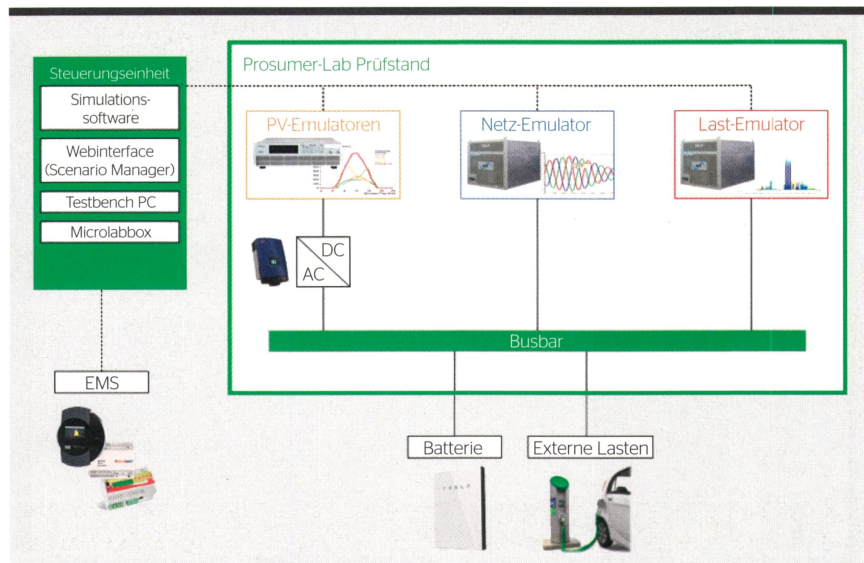


Bild 1 Schema des Prosumer-Lab-Prüfstands.

	Netz-Emulator	Last-Emulator	PV-Emulator
Leistung	50 kVA (AC, dreiphasig)	50 kVA (AC, dreiphasig)	5 kW (DC)
Strombereich	3 x 0-72 A	3 x 0-72 A	0-8,5 A
Spannungsbereich	3 x 0-280 V (L-N)	3 x 0-280 V (L-N)	0-600 V
Bereich der Grundfrequenz	48-62 Hz	48-62 Hz	N/A
Hersteller	Regatron	Regatron	Chroma
Anzahl	1	1	8

Tabelle 1 Leistungsdaten der Emulationsgeräte.

nachzubilden – zum Beispiel ein Solarkraftwerk auf zwei Dachschrägen und an Hauswänden.

Das Echtzeitsystem Microlabbox von D-Space gewährleistet die interne Steuerung der Hardware des Prüfstands. Es wird in Matlab/Simulink programmiert und verfügt über unterschiedliche Schnittstellen sowie eine hohe Flexibilität, um verschiedenste Geräte an den Prüfstand anzuschliessen. Die Interaktion mit dem Prüfstand ist über eine Webinterface möglich. Dabei lassen sich alle nötigen Einstellungen, Sollwerte und Profile auswählen, die während des Tests über die Microlabbox an die einzelnen Geräte des Teststands übermittelt werden sollen.

Tabelle 1 fasst die wichtigsten Eigenschaften der Hauptgeräte des Prüfstands zusammen.

Realistische Daten und Szenarien

Der Prüfstand setzt auf das Hardware-In-The-Loop-Prinzip (HIL). Dabei wird ein reales System, in welchem ein Gerät getestet werden soll, teilweise im Com-

puter und teilweise in realer Hardware nachgebildet. Mit den Simulationen lassen sich Komponenten abbilden, die im Prüfstand nur schwer real integrierbar wären, wie etwa eine Wärmepumpe oder verschiedene Haushaltsgeräte. Der Stromverbrauch wird rechnerisch ermittelt und der Stromfluss anschliessend über die Emulatoren nachgebildet. Durch die Kombination von Simulation und Emulation sind die Tests sehr realitätsnah und unter kontrollierten Bedingungen beliebig reproduzierbar.

Mit der Planungs- und Simulationssoftware Polysun für elektrische und thermische Systeme lassen sich Raumtemperaturen, Warmwasserbedarf oder auch Verluste in thermischen Speichern simulieren. Polysun ermittelt zudem die Last der Wärmepumpe auf der Grundlage eines detaillierten Gebäudemodells. Als Wetterinformationen verwendet die Testumgebung schliesslich real gemessene Werte von Meteoswiss für beliebige Standorte.

Die Simulation ist eingebunden in die physikalische Emulation des Systems über die Emulatoren. Der Betrieb der

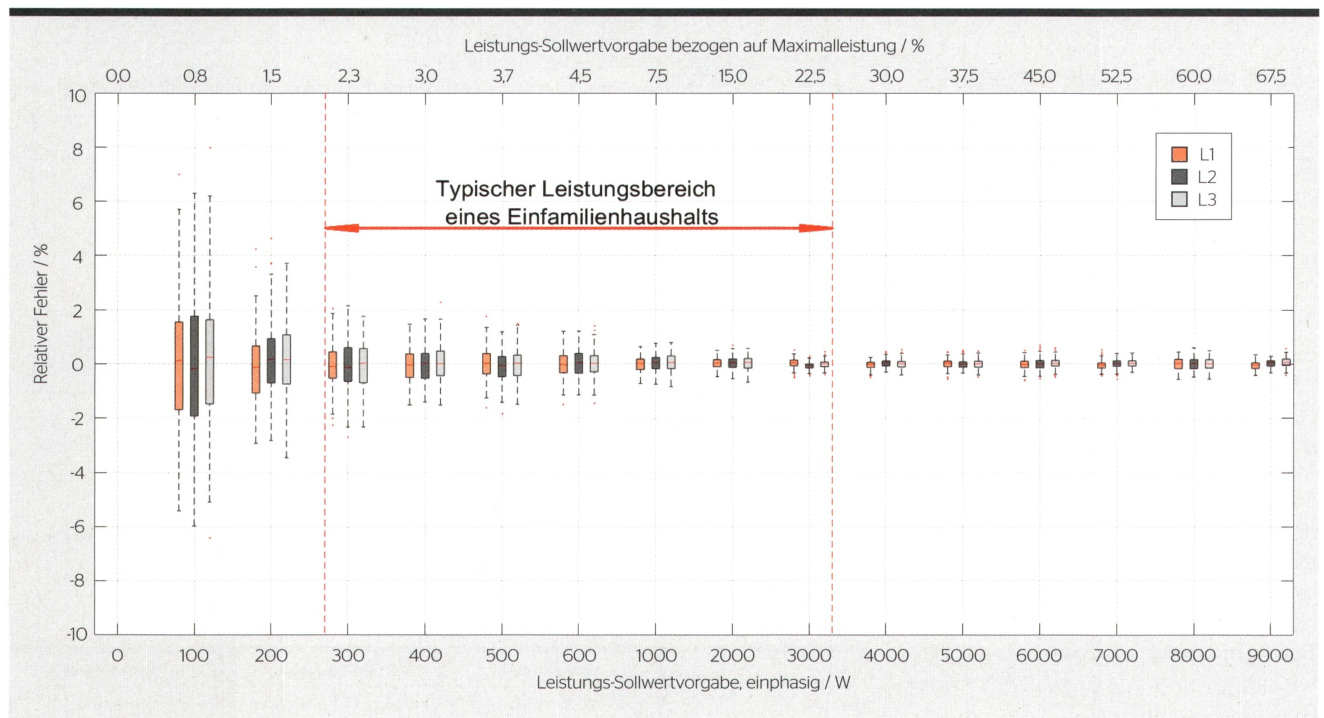


Bild 2 Relativer Fehler der Last-Emulation im Vergleich zum einphasigen Leistungssollwert, dargestellt als Box-Whisker-Plot.

Emulatoren, die den Verbrauch und die Erzeugung von Strom in einem Gebäude nachbilden, erfordert zu jedem Zeitpunkt realistische Sollwerte. Der tägliche Strombedarf eines mit dem Last-Emulator betriebenen Haushalts wird aus dem Loadprofilegenerator ermittelt. Zudem lassen sich Daten aus einer CSV-Datei einbinden. Die Berechnung der Sollwerte für die PV-Emulatoren stützt sich auf die Messdaten von Meteoswiss.

Die für einen Test benötigten Profile, Berechnungs- und Sollwerte werden in Szenarien vordefiniert. Ein Szenario legt alle Last- und Produktionsprofile fest und dauert beispielsweise 24 Stunden für einen typischen Testtag. Diese Informationen stammen direkt aus Simulationen, Messwerten und Berechnungen, um realistische Testbedingungen zu erhalten. Für das Forschungsprojekt wurden vier Hauptszenarien erstellt, von denen jedes einem repräsentativen Tag einer der vier Jahreszeiten entspricht. Verwaltet und gestartet werden die Szenarien über das Webinterface des Scenario Managers. Dieses erlaubt eine vereinfachte Nutzung des Prüfstands, koordiniert die Simulationen und Emulationen und zeichnet alle relevanten Messinformationen wie Spannungen, Ströme und Leistungen sekundlich auf.

Technische Herausforderungen gemeistert

Aufgrund der Komplexität des Systems waren bei der Inbetriebnahme viele Herausforderungen zu lösen. Die gewünschte Flexibilität bei der Auslegung setzt voraus, dass der Prüfstand mit den verschiedenen Schnittstellen von Simulationssoftware, Emulatoren und allen für den Betrieb notwendigen Geräten interagieren kann.

Das auffälligste Beispiel für diese Entwicklungsproblematik ist die unterschiedliche Arbeitsfrequenz der Komponenten. Der Teststand aktualisiert die Anweisungen aus dem Scenario Manager jede Sekunde. Der Netz- und der Last-Emulator werden allerdings durch digitale Signale gesteuert, die mit 10 kHz abgetastet werden. Deshalb galt sicherzustellen, dass übergeordnete Regelungen und Schaltungen schnell genug ausgeführt werden, um die nötige Taktfrequenz aller Geräte zu gewährleisten.

Die Wahl der Kommunikationsprotokolle hat auch Einfluss auf die Arbeitgeschwindigkeit des Prüfstands. Bei den ersten Tests während der Inbetriebnahme des Systems liessen sich nicht alle Leistungsmessungen einmal pro Sekunde aktualisieren. Das RS485-Kommunikationsprotokoll zur Übertragung der Messwerte der Energiezähler machte die Arbeitsfrequenz von 1 Hz

unmöglich. Aus diesem Grund wurden alle wichtigen Messgeräte durch höherwertigere Energiezähler mit Ethernet-Schnittstelle ersetzt. Neben der schnelleren Datenübertragung ermöglichen diese neuen Geräte die Quantifizierung von Strom- und Spannungsüberschwingungen. Dies ebnet den Weg für zukünftige Entwicklungen und Analysen im Bereich der Spannungsqualität (zum Beispiel THD).

In der ersten Testphase wurden auch einige Fehlfunktionen in der Steuerung des Last-Emulators behoben. Die Programmierfehler hatten einen direkten Einfluss auf die Genauigkeit des emulierten elektrischen Energieverbrauchs. Eine eingehende Systemanalyse ermöglichte, die Zeit- und Frequenzeigenschaften des mit der Microlabbox gesteuerten Last-Emulators zu ermitteln. Dadurch liessen sich der Regelalgorithmus deutlich optimieren und die allgemeine Leistungsfähigkeit des Prüfstands signifikant verbessern.

Die Inbetriebnahme wurde schliesslich mit einer Analyse der Leistungsfähigkeit des Prosumer-Labs mit Messgeräten ausserhalb des Prüfstands abgeschlossen. Die Prüfungen der Sicherheitsfunktionen und Messgeräte bescheinigte den korrekten Betrieb der Anlage mit einem relativen Fehler in der Grössenordnung von wenigen Prozent.

Der relative Fehler zwischen dem Leistungswert und der Messung nimmt mit steigendem Arbeitspunkt allmählich ab (Bild 2). Bei einer einphasigen Last reduziert sich der Fehler von maximal 6% (bei 100 W) auf unter 1% (ab 1 kW). Bild 2 zeigt, dass unterhalb von 1 kW der maximale absolute Fehler nicht mehr als 10 W beträgt. Über den gesamten Leistungsbereich weist der Last-Emulator eine hohe Genauigkeit bei der Sollwertumsetzung auf – insbesondere im Leistungsbereich eines Einfamilienhaushalts, dem typischen Einsatzbereich.

Solarstrom für die Wärmepumpe

Zum Vergleich des Potenzials der unterschiedlichen Energiemanagementsysteme wurde mit allen EMS das gleiche Testszenario mit Daten eines typischen Jahrestags durchgeführt. Dabei wurde für jede Jahreszeit ein repräsentativer Tag ausgewählt, um die klaren saisonalen Unterschiede herauszustellen – zum Beispiel der 20. Oktober 2015 mit den entsprechenden Leistungsflüssen, also der Produktion der Photovoltaikanlage und dem Verbrauch des Haushalts (Bild 3). Dieses Szenario lässt sich beliebig oft verwenden, um verschiedene EMS zu testen. Als Referenz wird das Szenario einmal ohne ein angeschlossenes EMS durchgespielt. Anschließend kann die Steuerung der in Polysun simulierten Wärmepumpe oder einer Batterie durch ein EMS untersucht werden. Dabei interessiert vor allem, wie sich dieses Schaltverhalten auf den Eigenverbrauch des Haushalts auswirkt.

Bild 4 zeigt den Leistungsverbrauch der Wärmepumpe bei unterschiedlichem Betriebsverhalten. Verglichen wird der Betrieb der Wärmepumpe ohne Steuerung und mit Steuerung durch zwei verschiedene EMS. Hauptinflussparameter auf das Schaltverhalten der Wärmepumpe sind die Innentemperatur des Wasserspeichers und der Leistungsüberschuss des Haushalts.

Die Energiemanagementsysteme erhöhen die Nutzung der tagsüber durch Photovoltaik produzierten Leistungsüberschüsse zum Betrieb der Wärmepumpe. Da die Temperatur des Warmwasserspeichers nur langsam abkühlt, erübrigt sich ein weiteres Einschalten der Wärmepumpe in der Nacht (Bild 4). Dadurch wird der

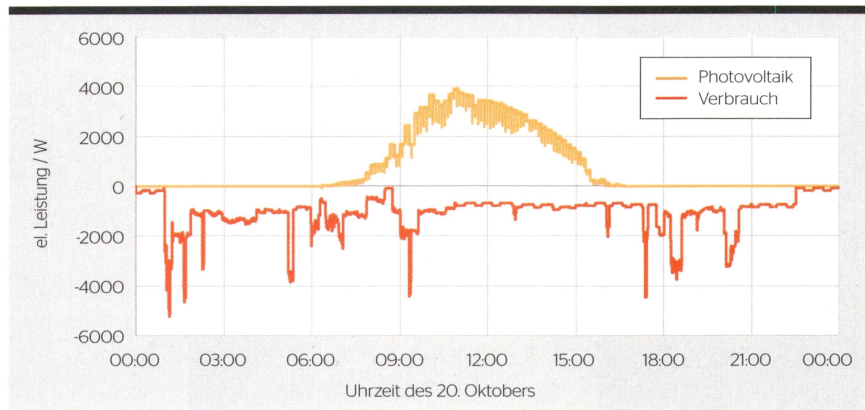


Bild 3 Leistungsflüsse eines repräsentativen Vier-Personen-Haushalts in der Schweiz am 20. Oktober 2015, aufgeteilt in Produktion durch Photovoltaik und akkumulierten Verbrauch.

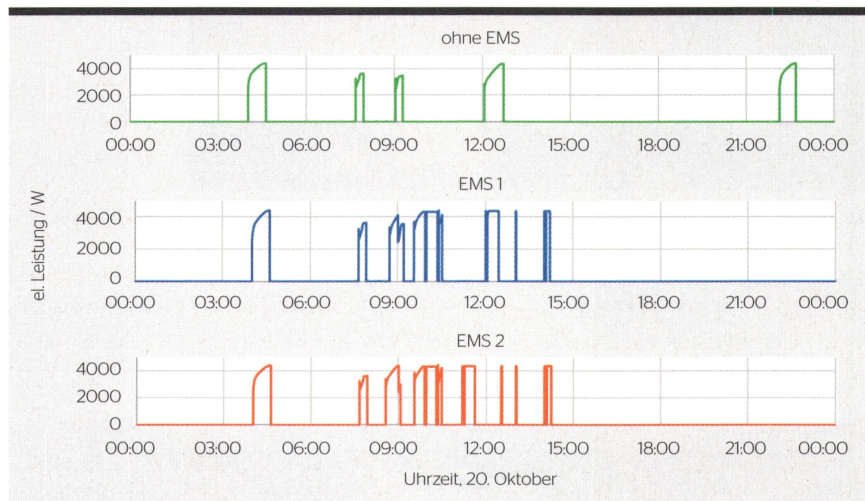


Bild 4 Leistungsverbrauch der Wärmepumpe bei Betrieb ohne Steuerung und bei Steuerung durch zwei unterschiedliche EMS.

Strom-Eigenverbrauch erhöht. Diese Optimierung ermöglicht das Energiemanagementsystem durch die Schaltung der Wärmepumpe über das Smart-Grid-ready-Signal. Die Solltemperatur im Wasserspeicher wird zudem vorübergehend angehoben. Die beiden untersuchten EMS können über unterschiedliche Konfigurationsparameter eingestellt werden und weisen ein ähnliches Schaltverhalten der Wärmepumpe auf. Das Beispiel zeigt die Wichtigkeit einer systematischen Untersuchung der EMS zum Verständnis der Funktionsweisen. Die finalen Ergebnisse dieses Forschungsprojekts werden Mitte 2019 im Abschlussbericht veröffentlicht.

Offen für gemeinsame Projekte

Der Prüfstand des Prosumer-Labs bietet ab sofort die Möglichkeit, Energiemanagementsysteme, Batterien,

Wechselrichter oder auch Ladestationen für Elektromobile mit realistischen Profilen in Interaktion mit anderen Geräten eines Haushalts zu testen und zu analysieren. Dies geschieht in gemeinsamen Projekten des BFH-Zentrums Energiespeicherung der Berner Fachhochschule und interessierter industrieller Partner.

Links

→ bfh.ch/energy
 → loadprofilegenerator.ch
 → bfh.ch/fileadmin/docs/forschung/bfh_zentren/CSEM/FactSheet_Prosumer-Lab_DE.pdf

Autoren

Steffen Wienands ist stellvertretender Projektleiter des Prosumer-Labs am BFH-Zentrum Energiespeicherung der Berner Fachhochschule (BFH).
 → bfh.ch
 → steffen.wienands@bfh.ch

Yoann Moullet ist wissenschaftlicher Assistent am BFH-Zentrum Energiespeicherung der Berner Fachhochschule (BFH).
 → yoann.moullet@bfh.ch



20. NOVEMBER 2018
IM BERGWERK, HERZNACH

22. NOVEMBER 2018
IM BERGWERK GONZEN,
SARGANS

DATENSICHERHEIT ODER DATENSCHUTZ?

Wir schaffen am Fachanlass Klarheit!

Melden Sie sich für den kostenlosen Fachanlass bis am 9. November 2018 direkt unter www.swibi.ch/fachanlass an.



SWiBi AG, Bahnhofstrasse 51, CH-7302 Landquart, +41 58 458 60 00, info@swibi.ch, www.swibi.ch



Fachtagung für Elektroplaner und Gebäude-Elektroingenieure

Die Anforderungen an die Planungsfachleute steigen. Praxistaugliche Lösungen und ein vorausschauendes Denken sind gefragt! Ein attraktives Tagungsprogramm mit kompetenten Referenten bringt Ihnen viel zusätzliches Wissen zum aktuellen Stand der Technik. Parallel zur Veranstaltung lernen Sie in der Begleitausstellung neue Produkte und Anwendungen kennen.

Datum & Ort

– 29. Januar 2019 Campus, Windisch

www.electrosuisse.ch/elektroplanertag





Gestion de l'énergie sur un banc de tests

Optimisation des flux d'énergie | Avec son nouveau Prosumer-Lab, la Haute école spécialisée bernoise (BFH) examine sous conditions réelles les systèmes qui composent un réseau électrique intelligent. Les résultats de ces tests devraient contribuer à une meilleure intégration des énergies renouvelables dans le marché de l'électricité.

TEXTE YOANN MOULLET, STEFFEN WIENANDS

Avec le nombre croissant de systèmes photovoltaïques et de batteries, les ménages joueront un rôle de plus en plus actif et important dans le réseau électrique à l'avenir. En particulier, l'introduction sur le marché des systèmes de stockage électrique ouvre de nouvelles perspectives pour la gestion des flux d'énergie dans la distribution basse tension. Les batteries permettent la mise en place de réseaux intelligents qui utilisent de manière optimale les nouvelles sources d'énergie, telles que les systèmes photovoltaïques décentralisés.

De nouveaux dispositifs créent des conditions préalables à une meilleure intégration des énergies renouvelables sur le marché de l'électricité. Les systèmes de gestion de l'énergie (EMS) en sont un parfait exemple. Par divers relevés des flux énergétiques, comme par exemple la production d'électricité de la centrale PV et la puissance échangée avec le réseau, ces dispositifs enclenchent certains consommateurs, tels qu'une pompe à chaleur, ou provoquent le stockage de l'énergie excédentaire dans une batterie. Par cette action, un EMS dimi-

nue l'injection d'énergie dans le réseau de distribution lors d'une période de surproduction. Une telle optimisation de l'autoconsommation contribue à une meilleure intégration du consommateur-producteur (prosumer) dans le réseau électrique.

La réalité simulée en laboratoire

Le Prosumer-Lab a pour but de tester et de comparer les types d'EMS disponibles sur le marché dans des conditions réalistes et reproductibles. Le banc d'essais recrée une maison individuelle moderne. Sa mise en service a débuté en janvier 2018 et il est actuellement exploité par le Centre suisse d'électronique et de microtechnique SA (CSEM) conjointement avec la Haute école spécialisée bernoise (BFH). Le Prosumer-Lab, financé par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et BKW Energie AG, a pour objectif de faire la lumière sur les questions liées à l'énergie autour des producteurs-consommateurs.

Avec ce projet pilote et de démonstration, différents états ou situations difficilement reproductibles d'un ménage peuvent

être simulés au plus proche de la réalité à l'aide de profils (consommation, météo, température, etc.) préalablement établis. Le banc d'essais fonctionne sur une combinaison d'émulation et de simulation pour recréer les flux d'énergie électrique d'un ménage disposant d'une production photovoltaïque, d'une pompe à chaleur et d'une batterie. Tous les courants et tensions sont réellement reproduits jusqu'au point d'alimentation de l'installation émulée. Cela est nécessaire pour le développement, la comparaison et le test de divers appareils tels que les systèmes de gestion de l'énergie, les onduleurs ou les batteries dans des conditions contrôlées. Grâce à sa structure modulaire, la plateforme de tests est compatible avec tous types de systèmes énergétiques résidentiels (EMS, batteries, onduleurs, etc.). Le développement et la comparaison de ces dispositifs sont évalués sur la base de profils identiques respectivement à des conditions sur une série de tests.

Stratégie de recherche

Le projet s'articule autour de trois thèmes: la gestion de l'énergie dans les bâtiments, l'intégration et la stabilisa-

tion des réseaux de distribution et la modélisation des modèles socio-économiques. Le premier concerne la question de la conception de systèmes de gestion d'énergie afin de parvenir à un équilibre optimal entre l'autoconsommation, une efficacité accrue et l'intégration au sein du réseau. Pour y parvenir, des algorithmes et des composants propres à un EMS sont développés et des études comparatives sont effectuées avec d'autres systèmes de management d'énergie disponibles sur le marché.

Les recherches axées sur l'intégration et la stabilisation des réseaux de distribution examinent les effets de l'autoconsommation optimisée et des productions décentralisées sur la qualité des réseaux de distribution. À cela s'ajoute l'élaboration de stratégies pour stabiliser ces derniers.

Enfin, dans le cadre d'une analyse du système socio-économique, les facteurs d'influence sur les modèles commerciaux existants et futurs pour l'optimisation de l'autoconsommation sont examinés. L'adéquation d'un business model est simulée sur 30 ans et repose sur différents scénarios de développement des tarifs, de la quantité d'installations photovoltaïques, du nombre de voitures électriques, etc.

Un banc de tests d'une grande flexibilité

Le banc d'essais du Prosumer-Lab peut être divisé en trois parties principales (figure 1). L'émulateur de réseau, d'une puissance maximale de 50 kVA, génère une tension sinusoïdale triphasée avec une fréquence et une amplitude variables. Il simule le réseau électrique au point de connexion du ménage émulé. Des harmoniques peuvent être ajoutés à ce signal et des événements transitoires tels que des surtensions peuvent être générés. Un émulateur de charge émule une charge triphasée avec un facteur de puissance configurable. Trois modes de fonctionnement différents sont possibles: puissance active constante (CP), impédance constante (CZ) ou courant constant (CI). Chaque phase est contrôlée individuellement, ce qui permet de générer des charges asymétriques. Finalement, huit émulateurs photovoltaïques de 5 kW permettent de reproduire des installations PV avec différentes orientations de toiture comme par exemple une centrale solaire sur les deux pans inclinés et sur les murs d'une maison.

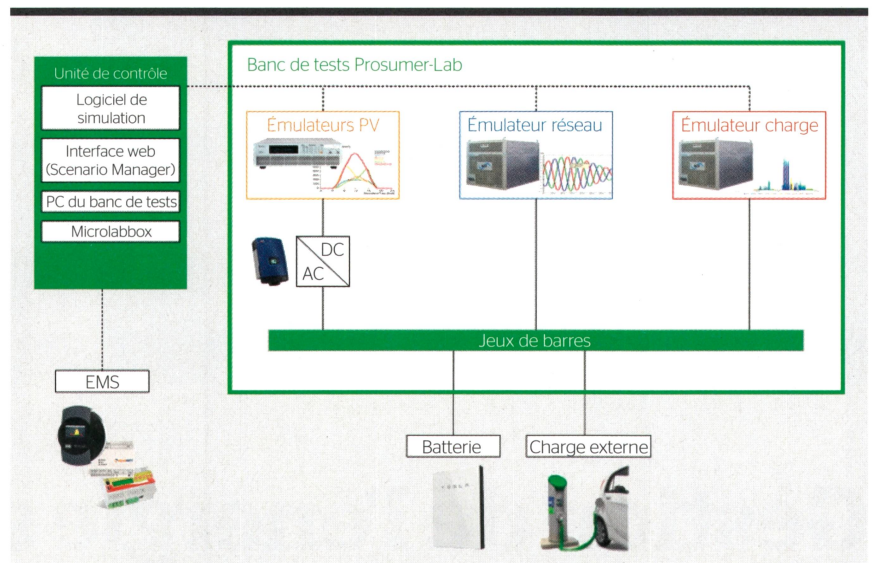


Figure 1 Schéma de principe du banc de tests Prosumer-Lab.

	Émulateur de réseau	Émulateur de charge	Émulateur PV
Puissance de sortie	50 kVA (AC, triphasé)	50 kVA (AC, triphasé)	5 kW (DC)
Plage de courant	3 x 0-72 A	3 x 0-72 A	0-8,5 A
Plage de tension	3 x 0-280 V (L-N)	3 x 0-280 V (L-N)	0-600 V
Gamme de fréquence	48-62 Hz (fondamentale)	48-62 Hz (fondamentale)	N/A
Fabricant	Regatron	Regatron	Chroma
Nombre d'appareils	1	1	8

Tableau 1 Résumé des différentes caractéristiques du banc de tests.

Le système en temps réel D-Space Microlabbox assure le contrôle interne du banc de tests. Il est programmé dans Matlab/Simulink et possède différentes interfaces permettant ainsi une grande flexibilité pour connecter différents appareils à la plateforme d'essais. L'interaction avec cette dernière est possible via une interface Web. Tous les paramètres, consignes et profils nécessaires peuvent y être sélectionnés. Ils sont transmis aux différents appareils du banc de tests via la Microlabbox pendant l'expérience. Le tableau 1 résume les principales caractéristiques des émulateurs du banc de tests.

Données et scénarios réels

Le banc de tests s'appuie sur le principe hardware-in-the-loop (HIL). Dans ce cas, une vraie installation, dans laquelle un appareil doit être testé, est partiellement reproduite par l'ordinateur et partiellement émulée à l'aide des composants du banc de tests. Les simulations peuvent être utilisées pour cartographier des composants difficiles à intégrer dans le banc d'essais, tels qu'une

pompe à chaleur ou divers appareils électroménagers. La consommation électrique est déterminée par calcul et le flux de courant est ensuite recréé via les émulateurs. Cette combinaison de la simulation et de l'émulation rend les tests très réalistes et reproductibles dans des conditions contrôlées.

Le logiciel de planification et de simulation Polysun pour systèmes électriques et thermiques permet de simuler les températures ambiantes, les besoins en eau chaude ou encore les pertes dans les réservoirs thermiques d'un bâtiment. Polysun détermine également la consommation de la pompe à chaleur sur la base d'un modèle de construction détaillé. Enfin, concernant les informations météorologiques, l'environnement de test utilise des mesures réelles de Meteoswiss pour n'importe quel endroit.

La simulation est intégrée dans l'émulation physique du système via les émulateurs. Le fonctionnement de ces derniers nécessite des points de consigne réalistes en temps réel. La consommation électrique quotidienne d'un foyer recréée par l'émulateur de charge est

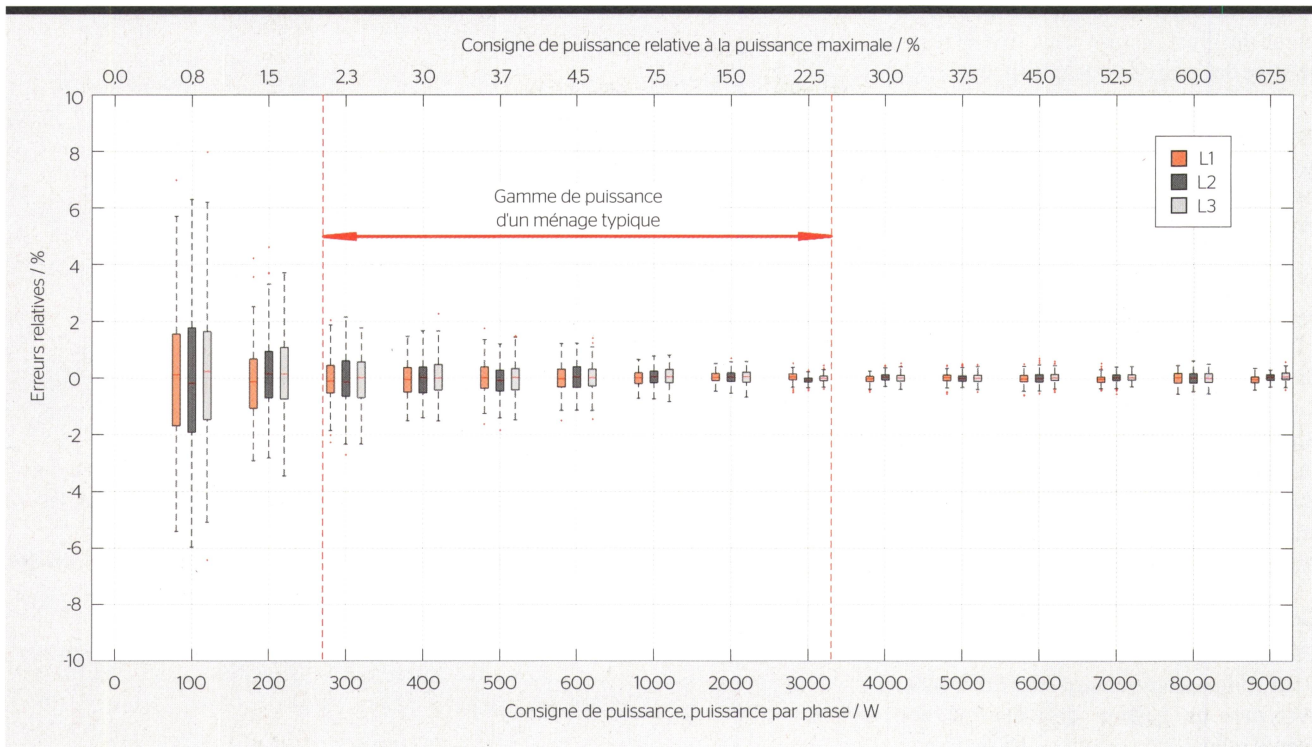


Figure 2 Erreur relative de l'émulation de charge par rapport à la consigne de puissance monophasée, représentée en Box-Whisker-Plot.

déterminée à partir du Loadprofilegenerator. De plus, les données d'un fichier « csv » peuvent être intégrées. Le calcul des valeurs de consigne pour les émulateurs photovoltaïques est basé sur les données de mesure de Meteoswiss.

Les profils, calculs et consignes nécessaires à un test sont prédéfinis dans les scénarios. Un scénario définit tous les profils de charge et de production et dure, par exemple, 24 heures pour une journée de test type. Ces informations proviennent directement de simulations, de mesures et de calculs pour obtenir des conditions de test réalistes. Quatre scénarios principaux ont été créés pour le projet de recherche, chacun correspondant à une journée représentative d'une des quatre saisons. Les scénarios sont gérés et démarrés via l'interface Web de Scenario Manager. Cela permet une utilisation simplifiée du banc de tests, coordonne les simulations et les émulations et enregistre toutes les informations de mesures pertinentes telles que les tensions, les courants et les puissances à chaque seconde.

Défis techniques maîtrisés

La complexité du système signifiait que de nombreux défis devaient être résolus lors de la mise en service. La flexibilité

souhaitée dès sa conception exige que le banc d'essais puisse interagir avec les différentes interfaces du logiciel de simulations, des émulateurs et de tous les dispositifs nécessaires à son bon fonctionnement.

L'exemple le plus frappant de ce problème de développement est la différence de fréquence de travail des composants. Le banc de tests met à jour les instructions du gestionnaire de scénarios toutes les secondes. Cependant, les émulateurs de réseau et de charges sont contrôlés par des signaux numériques échantillonnés à 10 kHz. Par conséquent, il était important de veiller à ce que les systèmes de contrôle et d'enclenchement de niveaux supérieurs soient exécutés suffisamment rapidement pour garantir la fréquence requise par chaque appareil.

Le choix des protocoles de communication influence également la vitesse de travail du banc d'essais. Lors de la mise en service initiale du système, les mesures n'ont pas toutes été mises à jour une fois par seconde. Le protocole de communication RS485 utilisé pour la transmission des valeurs mesurées par les compteurs d'énergie rend la fréquence de fonctionnement de 1 Hz impossible. Pour cette raison, tous les

instruments de mesure importants ont été remplacés par des compteurs d'énergie de meilleure qualité dotés d'une interface Ethernet. En plus d'une transmission de données plus rapide, ces nouveaux appareils permettent la quantification des harmoniques de courant et de tension. Cela ouvre la voie à de futurs développements et analyses dans le domaine de la qualité de la tension (par exemple THD).

Lors de la première phase de test, certains dysfonctionnements du contrôle de l'émulateur de charge ont également été corrigés. Des erreurs de programmation ont eu un impact direct sur la précision de la consommation d'énergie électrique émulée. Une analyse approfondie du système a permis de déterminer les caractéristiques temporelles et fréquentielles de l'émulateur de charge contrôlé par la Microlabbox. Par conséquent, l'algorithme de contrôle a pu être considérablement optimisé et les performances globales du banc de tests ont été améliorées de manière significative.

La mise en service s'est finalement terminée par une analyse des performances du Prosumer-Lab à l'aide d'appareils de mesure externes au banc d'essais. Les différents tests des dispositifs de sécurité et d'organes de mesure ont

permis de certifier le bon fonctionnement de l'installation avec une erreur relative de l'ordre de quelques pourcents.

L'erreur relative entre la consigne de puissance et la mesure diminue progressivement à mesure que le point de fonctionnement augmente (figure 2). Pour une charge monophasée, l'erreur passe d'un maximum de 6% (à 100 W) à moins de 1% (à partir de 1 kW). Les mesures montrent qu'en dessous de 1 kW, l'erreur absolue maximale n'est pas supérieure à 10 W. Sur toute sa plage de puissance, l'émulateur de charge a une grande précision dans la conversion du point de consigne; en particulier dans la plage de puissance d'un foyer traditionnel, le domaine d'application typique.

Courant solaire pour pompe à chaleur

Pour comparer le potentiel des différents systèmes de gestion de l'énergie, le même scénario de tests avec les données d'un jour typique a été réalisé avec plusieurs EMS. Une journée représentative a été choisie pour chaque saison afin de mettre en évidence les différences saisonnières évidentes, par exemple, le 20 octobre 2015, avec des flux d'énergie correspondants, à savoir la production du système photovoltaïque et la consommation du ménage (figure 3). Ce scénario peut être utilisé aussi souvent qu'on le désire pour tester différents systèmes EMS. À titre de référence, le scénario est exécuté une fois sans aucun EMS associé. Par la suite, le contrôle d'une batterie ou de la pompe à chaleur simulée dans Polysun peut être exécuté par un EMS. Il est notamment intéressant de voir comment ce changement de comportement affecte l'autoconsommation des ménages.

La figure 4 montre la demande en énergie de la pompe à chaleur sous différents modes d'utilisation. Une comparaison est faite entre le fonctionnement avec et sans contrôle des différents EMS. Les principaux paramètres influençant la commutation de la pompe à chaleur sont la température interne du chauffe-eau ainsi que le surplus d'énergie du ménage.

Lorsqu'un système de gestion d'énergie est connecté, le surplus de production PV est utilisé pour le fonctionnement de la pompe à chaleur. L'inertie thermique du boiler permet, par exemple, d'éviter l'enclenchement durant la nuit. À l'aide du signal smart

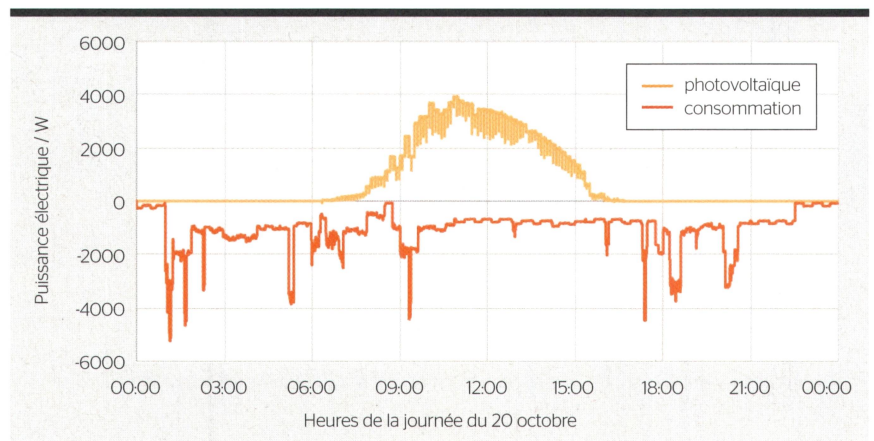


Figure 3 Flux d'énergie d'un ménage suisse représentatif de quatre personnes en date du 20 octobre 2015, divisé entre production photovoltaïque et consommation totale.

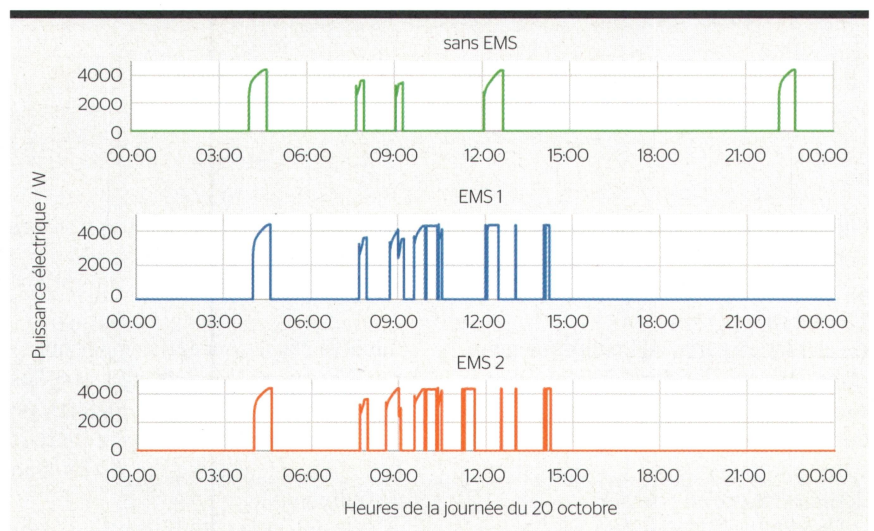


Figure 4 Consommation de la pompe à chaleur sans et avec le contrôle de deux différents EMS.

grid ready, le système de management d'énergie élève la consigne de température et optimise ainsi la demande en énergie. Les deux EMS étudiés peuvent être réglés via différents paramètres de configuration et présentent un comportement similaire lors de la commutation de la pompe à chaleur. L'exemple montre l'importance d'une étude systématique de l'EMS pour comprendre les fonctionnalités. Les résultats définitifs de ce projet de recherche seront publiés dans le rapport final à la moitié de l'année 2019.

Maintenant disponible pour les mesures

Le banc d'essais du Prosumer-Lab offre désormais la possibilité de tester et d'analyser des systèmes de gestion de l'énergie, des batteries, des onduleurs ou

des stations de recharge pour véhicules électriques à l'aide de profils réalistes interagissant avec d'autres appareils ménagers. Cela peut être réalisé dans le cadre de projets conjoints entre le centre de recherche de stockage d'énergie de la Haute école spécialisée bernoise et un partenaire industriel intéressé.

Liens

- bfh.ch/energy
- loadprofilegenerator.ch
- esrec.swiss/wp-content/uploads/2018/05/FactSheet_Prosumer-Lab_EN_NEW.pdf

Auteurs

- Yoann Moullet** est assistant de recherches à la Haute école spécialisée bernoise (BFH) au sein du centre BFH stockage d'énergie (ESReC).
- Haute école spécialisée bernoise
- 2501 Bienne
- yoann.moullet@bfh.ch

- Steffen Wienands** est chef de projet suppléant du Prosumer-Lab à la Haute école spécialisée bernoise (BFH) au sein du centre BFH stockage d'énergie (ESReC).
- steffen.wienands@bfh.ch



Die Stars für Ihren Schaltschrank

Clevere Schaltgeräte für jede Anwendung

Lassen Sie sich von technologisch führenden Produkten begeistern: Bei Phoenix Contact erhalten Sie alle Komponenten für Ihren Schaltschrank.

Von Relais- und Logikmodulen bis zu Hybrid-Motorstartern – nutzen Sie die cleveren Vorteile aus unserem breiten Schaltgeräteprogramm.

Mehr Informationen unter Telefon 052 354 55 55 oder phoenixcontact.ch



© PHOENIX CONTACT 2018

Verbandsweisheit Nr. 10

Wird Wissen im Kollektiv vermehrt,
entsteht viel Kraft, Innovation und Wert.

#bulletinCH #fachtagungen #expertservice50plus



Wärme nach Wunsch:

Star Unity AG Fabrik elektrischer Apparate Seestrasse 315 CH-8804 Au (ZH)
T 044 782 61 61 F 044 782 61 60 www.starunity.ch star@starunity.ch