

**Zeitschrift:** Bulletin Electrosuisse  
**Herausgeber:** Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik  
**Band:** 110 (2019)  
**Heft:** 7-8

**Artikel:** Effizienz von Prosumern steigern = Augmenter l'efficacité des prosommateurs  
**Autor:** Hutter, Andreas / Koch, Nelson / Stauffer, Yves  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-855963>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 19.03.2025

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



# Effizienz von Prosumern steigern

**Untersuchung zur Eigenverbrauchsoptimierung** | Aus energetischer und ökonomischer Sicht ist die Steigerung des Eigenverbrauchs bei Prosumern erstrebenswert. Leider wird aber die Energie oft dann erzeugt, wenn sie im Haushalt nicht völlig genutzt werden kann. Lässt sich die Eigenverbrauchsrate mit Energiemanagern, die die Flexibilität von Wärmepumpen und Batterien ausschöpfen, signifikant erhöhen?

ANDREAS HUTTER, NELSON KOCH, YVES STAUFFER, TOMASZ GORECKI

**A**ls Prosumer bezeichnet man Endkunden, die neben dem normalen Strombezug auch selbst Energie produzieren. Bei Haushalten geschieht dies meist durch eine PV-Anlage. Die Stromproduktion und der Verbrauch erfolgen dabei selten gleichzeitig, weshalb die Eigenverbrauchsrate entsprechend gering ist. Der resultierende Stromüberschuss muss dann ins Netz eingespeist werden, wobei die Einspeisevergütung in der Schweiz schon vielerorts deutlich unter den Strombezugskosten liegt. Die Erhöhung der Eigenverbrauchsrate ist daher für Prosumer ökonomisch interessant. Energiemanager versuchen die Eigenverbrauchsrate auch durch Steuerung von Wärmepumpen und den Einsatz von Batterien zu erhöhen. Dabei werden vorhandene zeitliche Flexibilität und thermische und elektrische Spei-

cherkapazitäten ausgenutzt. Im Rahmen des vom BFE geförderten Projekts Prosumer-Lab (Referenz SI/501434-01) wurden drei kommerziell erhältliche Energiemanager für typische Einfamilienhäuser evaluiert und Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt.

## Wie gut sind Energiemanager?

Am Zentrum für Energiespeicherung Esrec (Energy Storage Research Center) in Biel wurde im Rahmen des Projekts eine Testumgebung aufgebaut, die es erlaubt, das Zusammenspiel diverser Hardware-Komponenten eines Prosumers in einer realitätsnahen Umgebung zu testen.[1] Damit verschiedene Geräte auf reproduzierbare Weise verglichen werden können, werden einzelne Komponenten emuliert (**Bild 1**). Im Prosumer-Lab-Kontext erlaubt dies zum Beispiel das Hinterlegen der von der

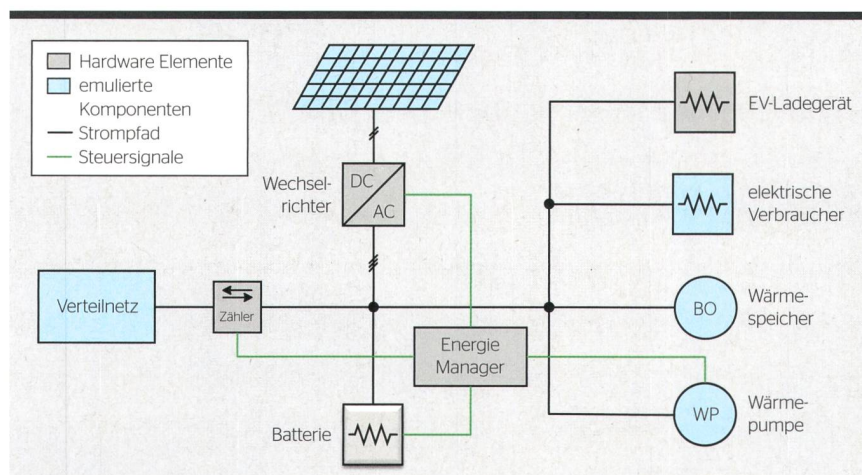
PV-Anlage produzierten Energie mit Wetterdaten für einen Referenzzeitraum. Die emulierte PV-Anlage wird dann bei jedem Durchlauf dasselbe Stromprofil generieren. Etwas komplizierter ist es bei der Wärmepumpe. Das gesamte thermische System des Haushalts wird im Prosumer-Lab mit der Polysun-Software modelliert, die es erlaubt, den thermischen Bedarf an Brauchwarmwasser und Heizenergie mittels Vorgaben zum Nutzerverhalten und Wetterdaten zu bestimmen. Die Wärmepumpe, die aus einer umfassenden Polysun-Bibliothek mit handelsüblichen Modellen ausgewählt werden kann, wird nun so gesteuert, dass das Zusammenspiel mit den vorhandenen Pufferspeichern für Brauchwarmwasser und das Heizsystem den nötigen Wärmebedarf abdeckt. Der Stromverbrauch der Wärmepumpe wird dann gemein-



sam mit dem Stromverbrauch der elektrischen Verbraucher, die mit dem Load Profile Generator ([www.loadprofilegenerator.de](http://www.loadprofilegenerator.de)) auf der Basis von Nutzercharakteristiken erstellt werden, mit einem Hardwareemulator abgebildet, damit auch hier reale Ströme fließen. Mit diesem Aufbau konnte das Schaltverhalten und das Zusammenspiel zwischen Energiemanager, Wärmepumpe und Batterie im Detail untersucht werden. So konnte zum Beispiel nachgewiesen werden, dass die Stromaufnahme der untersuchten Energiemanager im Bereich von 3 W bis 7 W liegt, was mehr oder weniger den Herstellerangaben und einem Jahreseigenverbrauch von rund 40 kWh entspricht.

Neben den Untersuchungen im Labor wurden auch Simulationen durchgeführt, um Aussagen über die Leistungsfähigkeit der Systeme im Jahresvergleich zu erhalten. Es wurden dabei gut (Energy Performance Value EPF von 35 kWh/m<sup>2</sup>), mittelmässig (70 kWh/m<sup>2</sup>) und schlecht isolierte Gebäudetypen (150 kWh/m<sup>2</sup>) untersucht, wobei vom Nutzerverhalten einer Familie mit zwei Erwachsenen und zwei Kindern ausgegangen wurde. Es wurden auf den Wärmebedarf angepasste Luft-Wasser-Wärmepumpen verwendet, und die PV-Anlage wurde so dimensioniert, dass die produzierte PV-Energie dem jährlichen elektrischen Energiebedarf entspricht. Man spricht hier von der sogenannten 1:1-Regel, wobei pro MWh Jahresverbrauch eine Solaranlage mit einer Nennleistung von 1 kW installiert wird. Für den durchschnittlichen Jahresverbrauch ohne Wärmepumpe wurde der Schweizer Mittelwert von ca. 5 MWh angenommen. Die aus diesen Annahmen resultierenden Eigenschaften der untersuchten Gebäude sind in **Tabelle 1** zusammengefasst.

Aus den Untersuchungen geht hervor, dass bei der oben beschriebenen Konfiguration im Schnitt ca. 20% bis 30% der PV-Produktion direkt vor Ort verbraucht werden kann. Wie aus **Tabelle 2** ersichtlich, haben Konfigurationen mit kleineren PV-Anlagen – wie zum Beispiel beim Szenario S3, wo die PV-Produktion unter dem Jahresverbrauch liegt – logischerweise höhere Eigenverbrauchsrate. Durch die Einbeziehung einer einfachen Wärmepumpensteuerung durch den Energiemanager EMS 1 kann die Eigenverbrauchsrate im Schnitt um ca. 2% bis 4% erhöht wer-



**Bild 1** Prinzipschaltbild der Testumgebung des Prosumer-Labs.

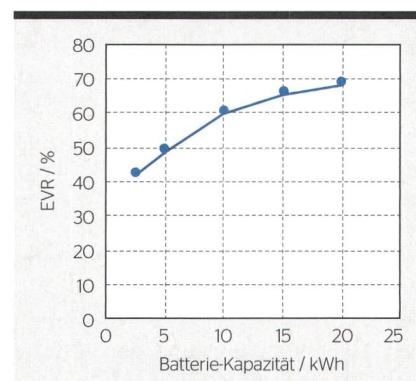
den. In den untersuchten Fällen bedeutet das, dass rund 300 kWh mehr direkt vor Ort verbraucht werden können. Die einfache Wärmepumpensteuerung beruht dabei auf dem Prinzip, dass die Wärmepumpe aufgefordert wird, zusätzliche Energie zu speichern, sobald die PV-Leistung die maximale Leistung der Wärmepumpe übersteigt. Diese einfache Schwellwertschaltung wird von den anderen beiden kommerziellen Lösungen noch durch weitere Optionen erweitert, die es erlauben, mehr Energie zu speichern. Dies wird bei EMS 2 durch eine Hysterese-Funktion und beim EMS 3 durch eine zusätzliche Messung der Wärmepumpenleistung erzielt. Diese Optionen erlauben es, die Eigenverbrauchsrate weiter um bis zu 1% zu erhöhen. Ganz allgemein kann festgestellt werden, dass sich die Systeme in ihrer Performance nur unwesentlich unterscheiden, wobei EMS 2 die ökonomisch attraktivste Lösung darstellt, weil sie ohne weitere Zähler oder Zusatzgeräte auskommt. Finanziell gesehen lohnt es sich allerdings nicht: Bei einem niedrigen Einspeisetarif von 4 Rp/kWh – wie er 2017 in Eggwil praktiziert wurde – würde man je nach Gebäude- und Gerätetyp gerade mal 30 bis 50 Fr. pro Jahr einsparen. Dies entspricht einer Amortisationszeit von mindestens 16 Jahren.

Anders sieht es da bei der zusätzlichen Verwendung einer Batterie aus. Die Eigenverbrauchsrate bei einer 10-kWh-Batterie werden hier mehr als verdoppelt und es können im Schnitt 3 MWh mehr direkt vor Ort verbraucht werden. Der Einfluss der Batteriekapazität auf die Eigenverbrauchsrate ist in

**Bild 2** für das Szenario S3 dargestellt. Es zeigt sich, dass bei Kapazitäten über 10 kWh die Eigenverbrauchszunahme rasch abflacht. Analog zu dem Dimensionierungskriterium für die PV-Anlage kann demnach folgendes Designkriterium aufgestellt werden: Für jede MWh Jahresverbrauch wird eine Batteriekapazität von maximal einer kWh installiert. Finanziell gesehen rechnet sich die Batterie allerdings auch noch nicht wirklich. Bei der 10-kWh-Batterie können finanzielle Einsparungen zwischen 300 und 400 Fr. pro Jahr erreicht werden, was bei einem aktuellen Kaufpreis von mindestens 5000 Fr. und einer zu erwartenden Lebensdauer von ca. 13 Jahren (5000 Vollzyklen) gerade zu einer Amortisierung während der Lebensdauer reicht.

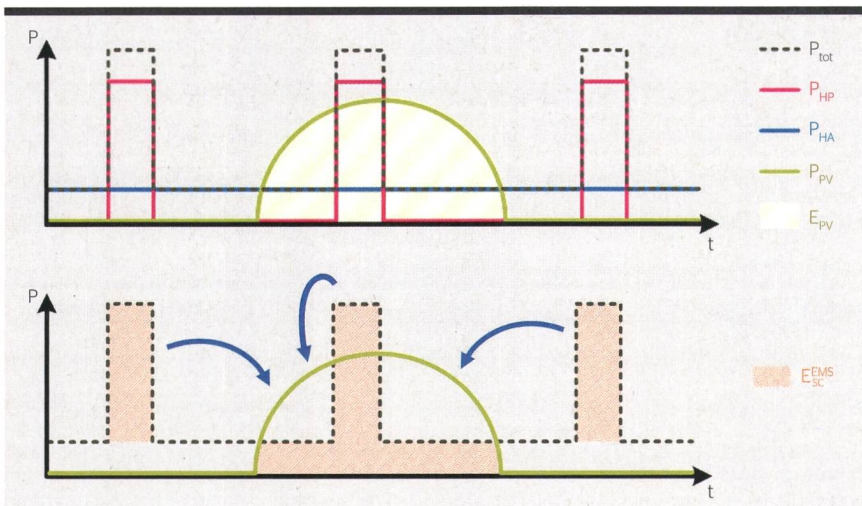
### Verbesserungspotenzial

Beim Einsatz von Batterien wird überschüssige PV-Energie zwischengespeichert und bei Bedarf später, zum Beispiel am Abend, verwendet. Bei der



**Bild 2** Steigerung der Eigenverbrauchsrate als Funktion der Batteriegrosse.





**Bild 3** Eigenverbrauchsoptimierung durch Verschiebung der Wärmepumpenaktivierung, schematisiert.  $P_{HP}$  ist die Leistung der Wärmepumpe,  $P_{HA}$  die Grundlast,  $P_{PV}$  stellt die Produktion der PV-Anlage dar.  $E_{Sc}^{EMS}$  stellt die theoretisch maximale Energie dar, die bei optimaler Wärmepumpensteuerung vor Ort verbraucht werden kann.

Wärmepumpensteuerung wird versucht, denselben Effekt – diesmal allerdings auf der thermischen Seite – auszunutzen. Prinzipiell stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung: Man kann Überschussenergie direkt im Gebäude oder in den Bufferspeichern für Brauchwarm- und Heizungswasser zwischenspeichern. Die zur Verfügung stehende Speicherkapazität im Gebäude hängt dabei stark von den Gebäudematerialien ab. Für ein typisches Einfamilienhaus aus Beton wurde bei einer Überhitzung von 2°C eine thermische Speicherkapazität von bis zu 60 kWh ermittelt, was bei einer Arbeitszahl von 3 einem zusätzlichen elektrischen Ver-

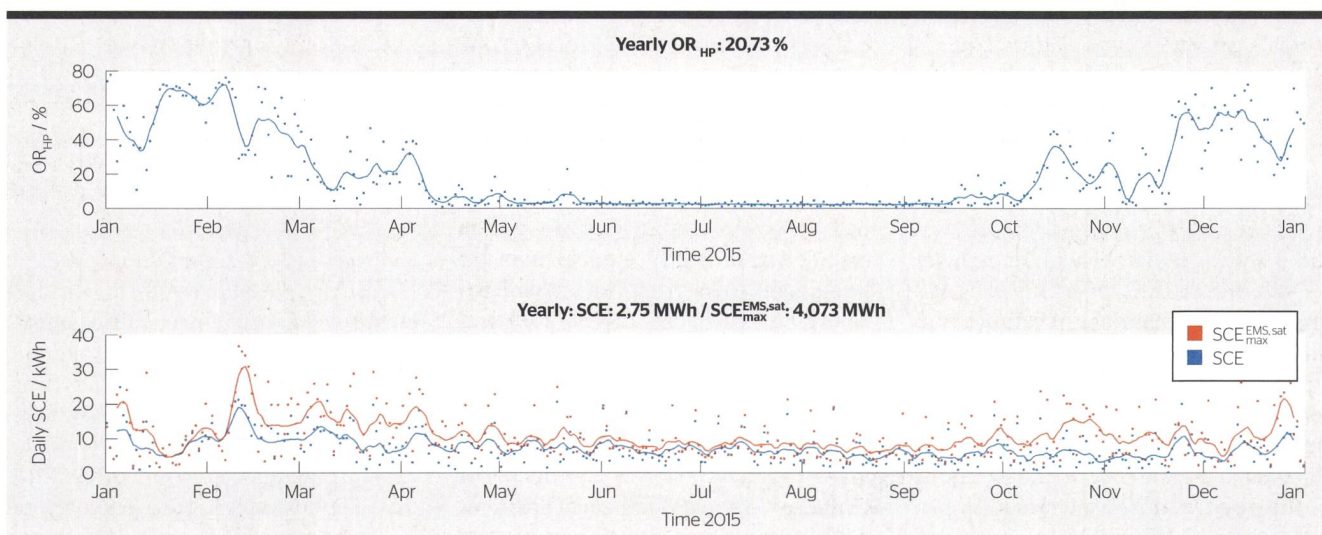
brauch der Wärmepumpen von 20 kWh entspricht. In der Praxis sind solche theoretischen Kapazitätswerte allerdings kaum zu nutzen, einerseits weil sich wegen der grossen Zeitkonstanten vorwiegend die Bodenflächen mit Fussbodenheizung gut zur Speicherung eignen und andererseits auch die Steuerung der einzelnen Räume notwendig ist. Wärmepumpen unterstützen daher die zweite Option, wobei die Temperatur der Bufferspeicher bei Sonnenschein erhöht wird. Dabei lassen sich allerdings nur deutlich geringere Mengen Energie speichern. Zum Beispiel lassen sich bei einer Überhitzung von 10°C in einem 500-l-Tank gerade mal 6 kWh spei-

chern. Damit kann eine Luft-Wasser-Wärmepumpe etwa 2 kWh zusätzliche Energie aufnehmen, was nur einem Bruchteil der meist zur Verfügung stehenden PV-Überschussenergie entspricht.

Wenn man davon ausgeht, dass man die Wärmepumpe immer dann betreiben kann, wenn Sonne vorhanden ist (**Bild 3**), dann kann man die theoretisch maximale Energie ermitteln, die direkt vor Ort verbraucht werden kann.[2] Es zeigt sich, dass vor allem am Anfang und am Ende der Heizperiode – wenn die Wärmepumpe weniger als 50% des Tages läuft – ein deutliches Optimierungspotenzial besteht. So könnte theoretisch für das Szenario S3 anstatt der aktuell 300 kWh bei optimaler Wärmesteuerung bis zu 1300 kWh – also mindestens viermal mehr – direkt vor Ort konsumiert werden.

### Optimierungsmöglichkeiten

Um dieses Potenzial auszunutzen, bieten sich verschiedene Möglichkeiten an. So kann zum Beispiel die Grösse der Pufferspeicher erhöht werden. Im Rahmen der Simulationen konnte gezeigt werden, dass sich bei 2,5 mal grösseren Tanks – es können nun also ca. 5 kWh pro Tag gespeichert werden – die jährliche Eigenverbrauchsrate um weitere ca. 2% erhöhen lässt – es werden nun 500 kWh anstatt 300 kWh direkt vor Ort verbraucht. Ein ähnlicher Effekt lässt sich durch die Erhöhung der Tanktemperaturen erreichen. Wärmepumpen sind da meist bei ca. 60°C limitiert und eine weitere Erhöhung kann



**Bild 4** Arbeitsgrad (oben) sowie aktuell und theoretisch maximal nutzbare Eigenverbrauchsenergie (Punkte zeigen die täglichen Werte auf, die Kurve zeigt den über 7 Tage generierten Mittelwert).



durch Heizstäbe erreicht werden. Die kürzlich von der Schweizer Firma Askoma auf den Markt gebrachte Lösung AskoConsole scheint diesbezüglich sehr interessant, weil sie es auf intelligente Weise schafft, die Tanktemperatur auf bis zu 85°C zu erhöhen.

Eine andere Methode besteht darin, die Leistung der Wärmepumpe kontinuierlich an die Überschussleistung anzupassen. Es konnte gezeigt werden, dass diese Lösung mit einer Erhöhung der Eigenverbrauchsrate von ca. 1,5% fast genau so effizient wie die grösseren Pufferspeicher ist, aber ohne zusätzliche Installationskosten auskommt. Moderne frequenzgeregelter Wärmepumpen unterstützen diese Leistungsanpassung prinzipiell, allerdings kann diese mit der heute zur Verfügung stehenden SG-Ready-Schnittstelle, welche meist zur Wärmepumpenkommunikation verwendet wird, nicht ausgenutzt werden. Aktuelle Bestrebungen versuchen deshalb, Wärmepumpen direkt zu steuern. Dabei können dann weitere Optimierungspotenziale ausgeschöpft werden. Es konnte zum Beispiel gezeigt werden, dass modellbasierte Algorithmen, welche die Entwicklung des thermischen Verbrauchs und der PV-Produktion vorhersagen, die Eigenverbrauchsrate weiter signifikant erhöhen können. Solche Lösungen eignen sich auch sehr gut zur effektiven Nutzung des thermischen Speicherpotenzials von grösseren Gebäuden.

Für die Erhöhung des Eigenverbrauchs durch Batterien sind einfache Steuerungen, wie sie heute angeboten werden, durchaus ausreichend. Falls aber die Lebenszeit von Batterien

Szenario	EPV	therm. Verbr.	el. Verbr.	PV-Produktion	P <sub>HP</sub> (th./el.)	PV-Grösse
S1	35 kWh/m <sup>2</sup>	7667 kWh	7352 kWh	8531 kWh	4,8/2,3 kW	7,4 kW
S3	70 kWh/m <sup>2</sup>	11208 kWh	8756 kWh	8208 kWh	6,4/2,5 kW	7,2 kW
S5	150 kWh/m <sup>2</sup>	21318 kWh	11962 kWh	12806 kWh	10,9/5,5 kW	11,1 kW

**Tabelle 1** Übersicht der thermischen und elektischen Charakteristiken der untersuchten Gebäudetypen (EPV: Energy Performance Value, P<sub>HP</sub>: Wärmepumpenleistung).

Szenario	Referenz	EMS 1	EMS 2	EMS 3	max. EMS	Batterie
S1	22,2 %	26,1 %	26,9 %	26,7 %	29,9 %	56,4 %
S3	29,2 %	33,1 %	33,8 %	33,5 %	38,4 %	60,6 %
S5	21,2 %	23,0 %	24,1 %	24,1 %	31,8 %	44,2 %

**Tabelle 2** Eigenverbrauchsrate der Referenzszenarien für die drei untersuchten Energiemanager, die theoretische maximale Eigenverbrauchsrate (optimale Wärmepumpensteuerung) sowie die Eigenverbrauchsrate mit einer zusätzlichen 10-kWh-Batterie.

erhöht werden soll, wie dies von der Schweizer Firma Aurora's Grid ([www.aurorasgrid.com](http://www.aurorasgrid.com)) angeboten wird, oder aber netzdienliche Dienste implementiert werden sollen, sind neue Steuerungsalgorithmen nötig.

### Fazit

Der Einsatz von Energiemanagern zur Erhöhung der Eigenverbrauchsrate ist für Einfamilienhäuser aus rein ökonomischer Sicht nicht unbedingt sinnvoll. Bestehende Verbesserungspotenziale können durch die richtige Planung und Dimensionierung der Systemkomponenten oder die Implementierung von effizienten Algorithmen zur Wärmepumpensteuerung erreicht werden. Die Integration von Batterien ist aus technischer Sicht in jedem Fall sinnvoll, aber nicht aus ökonomischer Sicht. Für grössere Nutzbauten und beim Zusammen-

schluss zum Eigenverbrauch (ZEV) kann davon ausgegangen werden, dass sich die ökonomische Tragfähigkeit sehr viel schneller einstellen wird.

### Referenzen

- [1] Prosumer-Lab Test Bench - The smart home in the lab, [www.esrec.swiss](http://www.esrec.swiss).
- [2] Y. Stauffer, N. Koch, A. Hutter, N. D. Pflugradt, «Quantifying the potential of smart heat-pump control to increase the self-consumption of photovoltaic electricity in buildings», 12<sup>th</sup> International conference on solar energy for buildings and industry (EuroSun 2018), Rapperswil, Switzerland, 2018.

### Autoren

Dr. **Andreas Hutter** ist Gruppenleiter am CSEM.  
→ [CSEM.SA](mailto:CSEM.SA), 2002 Neuchâtel  
→ [andreas.hutter@csem.ch](mailto:andreas.hutter@csem.ch)

**Nelson Koch** ist R&D Engineer am CSEM.  
→ [nelson.koch@csem.ch](mailto:nelson.koch@csem.ch)

Dr. **Yves Stauffer** ist Projekt Manager am CSEM.  
→ [yves.stauffer@csem.ch](mailto:yves.stauffer@csem.ch)

Dr. **Tomasz Gorecki** ist R&D Engineer am CSEM.  
→ [tomasz.gorecki@csem.ch](mailto:tomasz.gorecki@csem.ch)

Leserbrief zu Dossierartikel «Smart Energy»

## «Kluge Nachhaltigkeit», Bulletin SEV/VSE 6/2019, S. 10

Im Bulletin Nr. 6/2019 widmet sich der «Dossier»-Artikel der «Klugen Nachhaltigkeit». Kompliment. Eine gute Thematisierung der Problemstellungen.

Mir ist vor allem ein kleiner Nebensatz aufgefallen, «... das Laden von Warmwasserboilern tagsüber bei Überschüssen ...». Statt die solarelektrische Mittagsspitze mit Weichenheizungen etc. zu vernichten, wäre es doch viel sinnvoller, damit die Warmwasserboiler und künftig ev. auch Kühlaggregate zu

laden. Mit einigen Hunderttausend intelligent vernetzten Elektroboilern könnte ein erheblicher Beitrag zur Netzstabilität im Verteilbereich bzw. im Niederspannungsnetz geleistet werden. Was energietechnisch sehr sinnvoll erscheint, ist leider energiepolitisch nicht mehr korrekt. Dabei wäre es doch viel einfacher, mittels Rundsteuerung über die Mittagszeit die bestehenden Boiler zu laden, statt in zusätzliche teure Speicherkapazitäten mittels Batterien,

Hydrolyse und Pumpen zu investieren. Natürlich sind alle Technologien dort einzusetzen, wo sie nachhaltig genutzt werden könnten. Zuerst sollten aber die «tiefhängenden Früchte» gepflückt werden. Das bedeutet, dass die Einsatzmöglichkeiten elektrischer Boiler oder in Zukunft auch Cooler innerhalb der Ziele der Energiestrategie 2050 grundlegend zu überdenken sind. Vor allem sollten jegliche Verbote von Elektroboilern verboten werden. **ANTON BUCHER, OFTRINGEN**



Electrosuisse Lohnradar

Wissen, wo man steht.

www.electrosuisse.ch/lohnradar

electro  
suisse



NS-Schaltergerätekombination  
mit Bauartnachweisen nach  
IEC EN 61439-1 / -6,  
mit CDE- und S+ Zeichen



## LANZ protected®

### Funktionserhalt E90 brand- geschützte Stromschienen

sorgen im Brandfall für Funktionserhalt  
vom Trafo zu Haupt-, Neben- und  
Etagenverteilern und den wichtigsten  
Hochstrom-Leitungen in Gebäuden.

Wählen Sie Sicherheit. Verwenden  
Sie die „LANZ fire protected®“  
Funktionserhalt Stromschienen mit  
435 A – 3680 A Bemessungsstrom.

Verlangen Sie unser Angebot 062 388 21 21



ST54\_2  
**stromschienen**  
**lanz oensingen ag**

CH-4702 Oensingen  
Südringstrasse 2  
www.lanz-oens.com  
info@lanz-oens.com  
Tel. ++41/062 388 21 21  
Fax ++41/062 388 24 24

LANZ ist BIM Ready! BIM-fähige Revit-Familien für LANZ Stromschienen  
stehen auf [www.lanz-oens.com](http://www.lanz-oens.com) zum Download zur Verfügung.



für Ihre  
Sicherheit.

Unterbrechungsfreie  
Stromversorgung USV.

Produkte, Know-how, Service:  
Bei CTA stimmt alles!

Bern · Zug

CTA Energy Systems AG  
Hunzikenstrasse 2  
3110 Münsingen  
Telefon 031 720 15 50  
[www.usv.ch](http://www.usv.ch) [info@usv.ch](mailto:info@usv.ch)

usv.ch

CTA  
Energy Systems





# Augmenter l'efficacité des prosummateurs

**Étude en vue de l'optimisation de la consommation propre** | Une augmentation de la consommation propre des prosummateurs est souhaitable autant d'un point de vue énergétique que d'un point de vue économique. Malheureusement, l'énergie est souvent produite lorsqu'elle ne peut pas être entièrement utilisée dans le ménage. Le taux d'auto-consommation peut-il être augmenté de façon significative avec des systèmes de gestion de l'énergie exploitant la flexibilité des pompes à chaleur et des batteries ?

ANDREAS HUTTER, NELSON KOCH, YVES STAUFFER, TOMASZ GORECKI

**L**es prosummateurs sont des clients finaux qui, non seulement consomment de l'électricité, mais en produisent également eux-mêmes. Dans les ménages, cette énergie est généralement produite avec un système photovoltaïque. La production et la consommation d'électricité ont rarement lieu en même temps, ce qui a pour conséquence un faible taux de consommation propre. L'électricité excédentaire doit donc être injectée dans le réseau bien que la rétribution soit, dans de nombreux endroits en Suisse, déjà bien inférieure aux coûts d'approvisionnement en électricité. L'augmentation du taux de consommation propre est donc économiquement intéressante pour les prosummateurs. Les systèmes

de gestion de l'énergie tentent de faire croître ce taux en contrôlant les pompes à chaleur et en utilisant des batteries. Pour ce faire, les flexibilités temporelles existantes ainsi que les capacités de stockage thermique et électrique sont exploitées. Dans le cadre du projet Prosumer-Lab (référence SI/501434-01) financé par l'OFEN, trois systèmes de gestion de l'énergie disponibles sur le marché ont été évalués pour des maisons individuelles types, et des améliorations potentielles ont été identifiées.

## Performances des systèmes de gestion de l'énergie

Dans le cadre de ce projet, un banc de test a été mis en place au Centre de recherche sur le stockage de l'énergie Esrec (Energy Storage Research Center), à Bienne, dans le but de tester

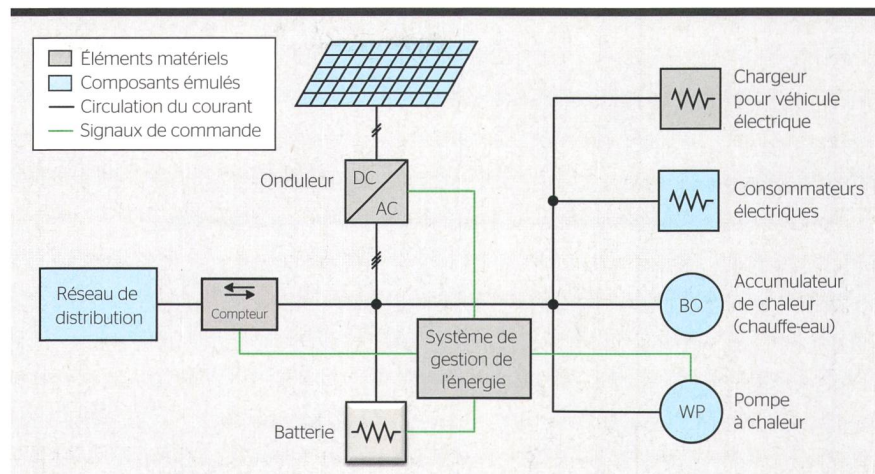
l'interaction des différents composants matériels d'un prosummateurs dans un environnement réaliste. [1] Afin que les différents appareils puissent être comparés de façon reproductible, certains composants sont simulés (figure 1). Dans le contexte du projet Prosumer-Lab, cela permet par exemple de mémoriser la courbe de l'énergie produite par le système PV avec les données météorologiques correspondantes pour une période de référence. Le système PV émulé générera donc le même profil de courant pour chaque test. C'est un peu plus compliqué avec la pompe à chaleur. L'ensemble du système thermique du ménage est modélisé à l'aide du logiciel Polysun, qui permet de déterminer la demande thermique en eau chaude sanitaire et en énergie de chauffage en se basant sur le comportement des uti-



lisateurs et les données météorologiques. La pompe à chaleur, qui peut être sélectionnée dans la vaste bibliothèque Polysun de modèles disponibles dans le commerce, est contrôlée de telle sorte que l'interaction avec les réservoirs tampons existants pour l'eau chaude sanitaire et le système de chauffage couvre les besoins thermiques. La consommation électrique de la pompe à chaleur est ensuite reproduite, tout comme celle des consommateurs électriques créés par le générateur de profil de charge ([www.loadprofilegenerator.de](http://www.loadprofilegenerator.de)) sur la base de caractéristiques d'utilisateurs, à l'aide d'un émulateur de charge afin de créer une vraie consommation électrique. Cette structure a permis d'examiner en détail le comportement de commutation ainsi que l'interaction des systèmes de gestion de l'énergie avec la pompe à chaleur et la batterie. Par exemple, il a été possible de prouver que la consommation des systèmes de gestion d'énergie examinés s'étend de 3 W à 7 W, ce qui correspond plus ou moins aux données des fabricants et à une consommation annuelle d'environ 40 kWh.

En plus des études en laboratoire, des simulations ont également été effectuées afin d'obtenir des informations sur les performances des systèmes sur une année entière. Des bâtiments bien (valeur de performance énergétique VPE de 35 kWh/m<sup>2</sup>), moyennement (70 kWh/m<sup>2</sup>) et mal isolés (150 kWh/m<sup>2</sup>) ont été étudiés en tenant compte du comportement d'utilisation d'une famille composée de deux adultes et de deux enfants. Des pompes à chaleur air/eau adaptées aux besoins thermiques ont été utilisées et le système PV a été dimensionné pour que l'énergie PV produite corresponde à la consommation annuelle d'électricité. C'est ce qu'on appelle la règle 1:1, selon laquelle une installation solaire d'une puissance nominale de 1 kW est installée par MWh de consommation annuelle. Pour la consommation annuelle moyenne sans pompe à chaleur, la valeur moyenne suisse d'environ 5 MWh a été retenue. Les propriétés des bâtiments examinés résultant de ces hypothèses sont résumées dans le **tableau 1**.

Les études montrent qu'avec la configuration décrite ci-dessus, en moyenne environ 20 à 30 % de la production photovoltaïque peut être consommée directement sur place. Comme le

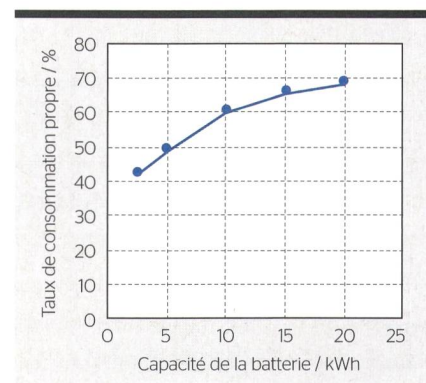


**Figure 1** Schéma de principe de l'environnement de test du Prosumer Lab.

montre le **tableau 2**, les configurations avec des systèmes PV plus petits, comme dans le scénario S3 où la production PV est inférieure à la consommation annuelle, ont logiquement des taux de consommation propre plus élevés. En incorporant un simple contrôle de la pompe à chaleur par le biais du système de gestion d'énergie EMS 1, le taux de consommation propre peut être augmenté en moyenne d'environ 2 à 4%. Dans les cas étudiés, cela signifie qu'environ 300 kWh supplémentaires peuvent être consommés directement sur place. Le système simple de commande de la pompe à chaleur est basé sur le principe suivant : la pompe à chaleur est enclenchée pour stocker de l'énergie supplémentaire dès que la puissance PV dépasse la puissance maximale de la pompe à chaleur. Les deux autres solutions commerciales étendent cette simple commutation de seuil avec d'autres options qui permettent de stocker plus d'énergie. Ceci est obtenu dans le cas du système EMS 2 par une fonction d'hystérèse, et dans celui du système EMS 3, par une mesure additionnelle de la puissance de la pompe à chaleur. Ces options permettent d'augmenter encore le taux de consommation propre jusqu'à 1% supplémentaire. De manière générale, on peut constater que les performances des systèmes ne diffèrent que de façon insignifiante, EMS 2 étant la solution la plus économique car elle ne nécessite pas de compteur ou d'appareils supplémentaires. D'un point de vue financier, ces EMS ne sont pas rentables : avec un tarif bas de rétribution de 4 cts/kWh, tel que pratiqué à Eggiwil en 2017, il ne

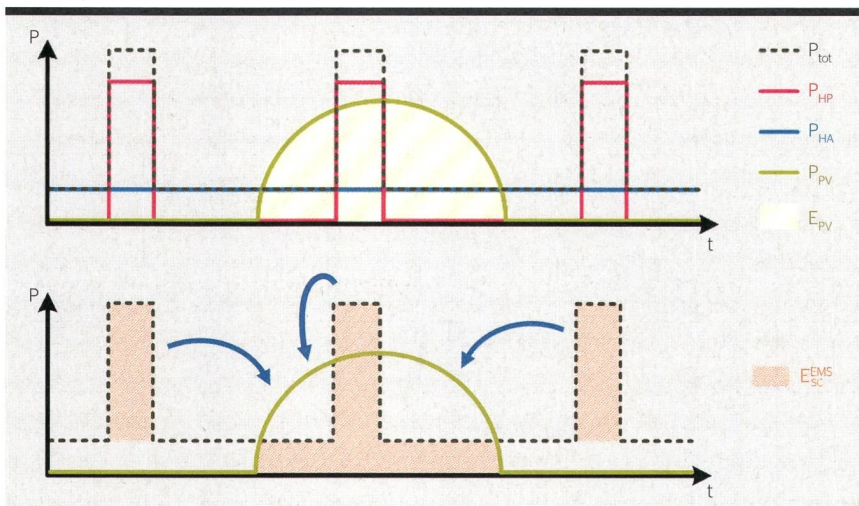
serait possible d'économiser que 30 à 50 francs par an, selon le type de bâtiments et d'appareils. Cela correspond à une période d'amortissement d'au moins 16 ans.

La situation est différente avec l'utilisation supplémentaire d'une batterie. Les taux de consommation propre obtenus en utilisant une batterie de 10 kWh sont plus que doublés et, en moyenne, 3 MWh de plus peuvent être consommés directement sur place. L'influence de la capacité de la batterie sur le taux de consommation propre est illustrée dans la **figure 2** pour le scénario S3. On constate qu'avec des capacités supérieures à 10 kWh, la courbe d'augmentation de la consommation propre s'aplatit rapidement. Par analogie avec le critère de dimensionnement pour l'installation PV, le critère de dimensionnement suivant peut donc être établi : une capacité de batterie d'au maximum 1 kWh est installée pour chaque MWh de consommation annuelle. D'un



**Figure 2** Augmentation du taux de consommation propre en fonction de la capacité de la batterie.





**Figure 3** Optimisation de la consommation propre en décalant l'activation de la pompe à chaleur.  $P_{HP}$  est la puissance de la pompe à chaleur,  $P_{HA}$  la charge de base, et  $P_{PV}$  la production de l'installation PV.  $E_{PV}$  représente l'énergie maximale théorique qui peut être consommée sur place avec un contrôle optimal de la pompe à chaleur.

point de vue financier, cependant, la batterie est également peu rentable. En effet, avec une batterie de 10 kWh, il est possible d'économiser entre 300 et 400 francs par an, ce qui, avec un prix d'achat actuel d'au moins 5000 francs et une durée de vie prévue d'environ 13 ans (5000 cycles complets), est juste suffisant pour un amortissement sur l'ensemble de sa durée de vie.

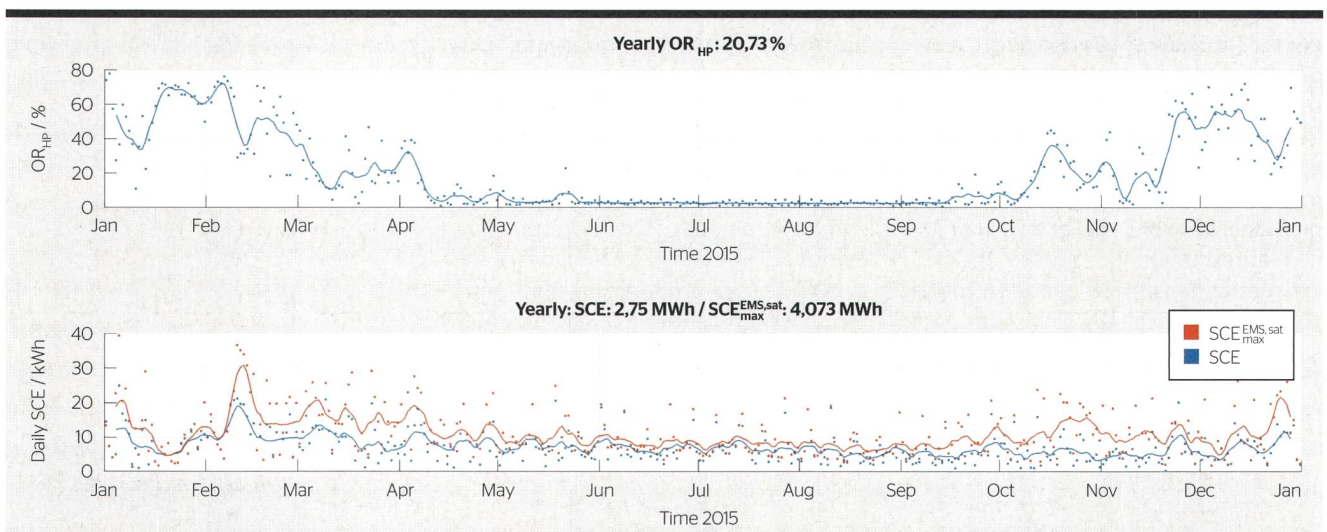
### Potentiel d'amélioration

En cas d'utilisation de batteries, l'énergie PV excédentaire est stockée temporairement et utilisée plus tard si nécessaire, par exemple le soir. Dans le cas de la commande de la pompe à chaleur, on

tente d'exploiter le même effet, cette fois-ci sur le plan thermique. En principe, il existe deux possibilités: l'énergie excédentaire peut être stockée directement dans le bâtiment, ou alors dans les réservoirs pour l'eau chaude sanitaire et l'eau de chauffage. La capacité de stockage disponible dans le bâtiment dépend donc fortement des matériaux de construction. Pour une maison individuelle en béton, une capacité de stockage thermique allant jusqu'à 60 kWh a été déterminée en cas de surchauffe de 2°C, ce qui, avec un coefficient de performance de 3, correspond à une consommation électrique supplémentaire des pompes à chaleur de

20 kWh. Dans la pratique, de telles valeurs théoriques de capacité ne peuvent toutefois guère être utilisées car, d'une part, du fait des grandes constantes de temps, ce sont principalement les surfaces dotées de chauffage au sol qui se prêtent bien au stockage d'énergie et, d'autre part, la commande individuelle des pièces du bâtiment est également nécessaire. Les pompes à chaleur utilisent donc la seconde option, qui consiste à augmenter la température des réservoirs en cas d'ensoleillement. Cependant, seules de petites quantités d'énergie peuvent être stockées ainsi. Par exemple, avec une surchauffe de 10°C du contenu d'un réservoir de 500 l, on ne peut stocker que 6 kWh. Cela signifie qu'une pompe à chaleur air-eau peut absorber environ 2 kWh d'énergie supplémentaire, ce qui ne représente qu'une fraction de l'énergie PV excédentaire habituellement disponible.

Si l'on part du principe que l'on peut toujours utiliser la pompe à chaleur quand il y a du soleil (figure 3), on peut déterminer l'énergie maximale théorique pouvant être directement consommée sur place. [2] La figure 3 montre qu'il existe un potentiel d'optimisation évident, surtout au début et à la fin de la période de chauffage, lorsque la pompe à chaleur fonctionne moins de 50% de la journée. Théoriquement, pour le scénario S3, au lieu des 300 kWh d'autoconsommation avec une régulation optimale de la chaleur, jusqu'à 1300 kWh, c'est-à-dire au moins quatre fois plus d'énergie, pourraient ainsi être consommés directement sur place.



**Figure 4** Taux de fonctionnement de la pompe à chaleur ( $OR_{HP}$ , en haut) ainsi qu'énergie autoconsommée utilisable (SCE, en bas) actuelle et maximal théorique (les points indiquent les valeurs quotidiennes, la courbe indique la valeur moyenne sur 7 jours).



## Possibilité d'optimisation

Il existe plusieurs façons d'exploiter ce potentiel. Par exemple, la taille des réservoirs peut être augmentée. Les simulations ont montré que des réservoirs 2,5 fois plus grands permettraient de stocker environ 5 kWh par jour. Le taux de consommation annuelle propre serait ainsi encore augmenté d'environ 2 %, et 500 kWh (au lieu de 300 kWh) pourraient alors être consommés directement sur place. Un effet similaire peut être obtenu en augmentant la température du réservoir. Les pompes à chaleur sont généralement limitées à environ 60 °C, mais une augmentation supplémentaire peut être obtenue avec des corps de chauffe. La solution AskoConsole récemment lancée par la société suisse Askoma semble très intéressante à cet égard, car elle parvient de manière intelligente à augmenter la température du réservoir jusqu'à 85 °C.

Une autre méthode consiste à ajuster en continu la puissance de la pompe à chaleur à la puissance excédentaire. Il a été démontré qu'avec une augmentation de la consommation propre d'environ 1,5 %, cette solution est presque aussi efficace que d'utiliser de plus grands réservoirs, mais sans frais d'installation supplémentaires. Les pompes à chaleur à régulation de fréquence modernes prennent en principe en charge cet ajustement de puissance, mais ce dernier ne peut pas être exploité avec l'interface SG-Ready mise aujourd'hui à disposition, qui est généralement utilisée pour la communication avec les pompes à chaleur. C'est pourquoi les efforts actuels se concentrent sur le contrôle direct des pompes à chaleur. Ceci permet d'exploiter d'autres potentiels d'optimisation. Il a été démontré, par exemple, que les algorithmes basés sur des modèles qui prédisent l'évolution de la consommation thermique et de la production photovoltaïque peuvent encore

Scénario	VPE	Cons. therm.	Cons. él.	Production PV	P <sub>HP</sub> (th./él.)	Puissance PV
S1	35 kWh/m <sup>2</sup>	7667 kWh	7352 kWh	8531 kWh	4,8/2,3 kW	7,4 kW
S3	70 kWh/m <sup>2</sup>	11208 kWh	8756 kWh	8208 kWh	6,4/2,5 kW	7,2 kW
S5	150 kWh/m <sup>2</sup>	21318 kWh	11962 kWh	12806 kWh	10,9/5,5 kW	11,1 kW

**Tableau 1** Aperçu des caractéristiques thermiques et électriques des types de bâtiments étudiés (VPE : valeur de performance énergétique, P<sub>HP</sub> : puissance de la pompe à chaleur).

Scénario	Référence	EMS 1	EMS 2	EMS 3	EMS max.	Batterie
S1	22,2 %	26,1 %	26,9 %	26,7 %	29,9 %	56,4 %
S3	29,2 %	33,1 %	33,8 %	33,5 %	38,4 %	60,6 %
S5	21,2 %	23,0 %	24,1 %	24,1 %	31,8 %	44,2 %

**Tableau 2** Taux de consommation propre des scénarios de référence pour les trois systèmes de gestion d'énergie (EMS) étudiés, taux d'autoconsommation maximal théorique qui peut être atteint avec un contrôle optimal de la pompe à chaleur, et taux de consommation propre avec une batterie supplémentaire de 10 kWh.

augmenter considérablement le taux de consommation propre. De telles solutions sont également très bien adaptées à l'utilisation efficace du potentiel de stockage thermique des bâtiments de plus grande taille.

Des systèmes de contrôle simples tels que ceux proposés aujourd'hui sont tout à fait suffisants pour augmenter la consommation propre au moyen de batteries. Cependant, de nouveaux algorithmes de contrôle sont nécessaires si, comme le propose la société suisse Aurora's Grid ([www.aurorasgrid.com](http://www.aurorasgrid.com)), la durée de vie des batteries doit être étendue, ou si des services liés au réseau doivent être implémentés.

## Conclusions

D'un point de vue purement économique, le recours à des systèmes de gestion d'énergie pour augmenter le taux de consommation propre n'est pas forcément judicieux pour les maisons individuelles. Les potentiels d'amélioration existants peuvent être atteints par une planification et un dimensionnement corrects des composants du système ou

par l'implémentation d'algorithmes efficaces pour la commande des pompes à chaleur. L'intégration de batteries est toujours judicieuse d'un point de vue technique, mais pas encore d'un point de vue économique. On peut supposer que la viabilité économique sera atteinte beaucoup plus rapidement en présence de grands bâtiments et de communautés d'autoconsommation.

### Références

- [1] Prosumer-Lab Test Bench - The smart home in the lab, [www.esrec.swiss](http://www.esrec.swiss).
- [2] Y. Stauffer, N. Koch, A. Hutter, N. D. Pflugradt, «Quantifying the potential of smart heat-pump control to increase the self-consumption of photovoltaic electricity in buildings», 12<sup>th</sup> International conference on solar energy for buildings and industry (EuroSun 2018), Rapperswil, Switzerland, 2018.

### Auteurs

D<sup>r</sup> **Andreas Hutter** est chef de secteur au CSEM.  
→ [csem.sa](mailto:csem.sa), 2002 Neuchâtel  
→ [andreas.hutter@csem.ch](mailto:andreas.hutter@csem.ch)

**Nelson Koch** est ingénieur R&D au CSEM.  
→ [nelson.koch@csem.ch](mailto:nelson.koch@csem.ch)

D<sup>r</sup> **Yves Stauffer** est chef de projet au CSEM.  
→ [yves.stauffer@csem.ch](mailto:yves.stauffer@csem.ch)

D<sup>r</sup> **Tomasz Gorecki** est ingénieur R&D au CSEM.  
→ [tomasz.gorecki@csem.ch](mailto:tomasz.gorecki@csem.ch)

**amperio**

Stromschienen/Rail d'énergie



-Original = Sicherheit  
-Planen mit BIM  
-Zuverlässigkeit  
-Professionalität



In der Schweiz seit 2002

**amperio**

En Suisse depuis 2002

25-6300 A

Informieren Sie sich unter / informez-vous sous

[www.amperio.ch](http://www.amperio.ch)



-Original = Sécurité  
-Planification avec BIM  
-Fiabilité  
-Professionalisme

Amperio GmbH - Grande Ferme 24 - CH-3280 Murten - Tel. +41 (0)26 6723070 - +41 Fax (0)26 6723070 - [info@amperio.ch](mailto:info@amperio.ch)



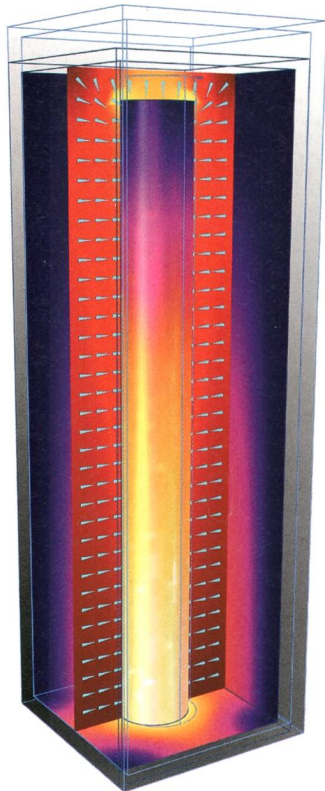


Abbildung der thermischen Ausdehnung sowie elektrischen Oberflächenströme in einem Hohlraumfilter für Mikrowellen.

## Hier wirken elektrische, thermische und mechanische Effekte in einem Design.

Mikrowellensender verwenden Filter, um eine gewünschte Frequenz aufrecht zu erhalten. Oberflächenverluste, Erhitzung und thermischer Ausdehnung können diese Filter verstimmen. Zur Designoptimierung müssen Ingenieure Mikrowellenfilter unter realen Bedingungen vorausberechnen. Multiphysikalische Modellierung hilft ihnen, elektrothermische und strukturelle Effekte gleichzeitig zu bewerten.

Die Software COMSOL Multiphysics® erlaubt Simulationen von Designs, Geräten und Prozessen in allen Bereichen des Maschinenbaus, der Fertigung und der wissenschaftlichen Forschung. Erfahren Sie, wie Sie mit COMSOL effizient Mikrowellen-Designs modellieren können.

[comsol.blog/microwave-filters](https://comsol.blog/microwave-filters)



# ROSAS SAFETY DAYS



SAFETY AND SECURITY



CERTIFICATION AND NORMS



ELECTRICAL ENGINEERING



MECHANICAL ENGINEERING



SOFTWARE ENGINEERING

## The Swiss Conference on Functional Safety & Cybersecurity

18 - 19.09 | Fribourg



<https://sdays.rosas.center>



@ROSASafetyDays



@ROSAS-Safety-Days



Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg  
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg