



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

Als 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 Flexibilitäten 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) 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 Energiemanagern, 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/m²), mittelmässig (70 kWh/m²) und schlecht isolierte Gebäudetypen (150 kWh/m²) 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-

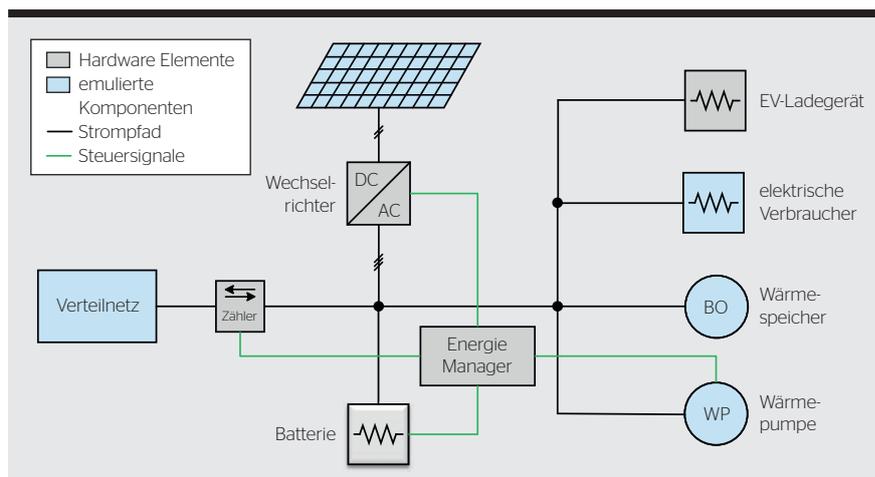


Bild 1 Prinzipschaltbild der Testumgebung des Prosumer-Labs.

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 Schwellwertsteuerung 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 Eggiwil 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 Eigenverbrauchsrate 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

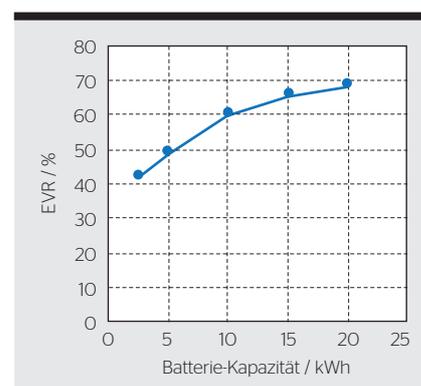


Bild 2 Steigerung der Eigenverbrauchsrate als Funktion der Batteriegrosse.

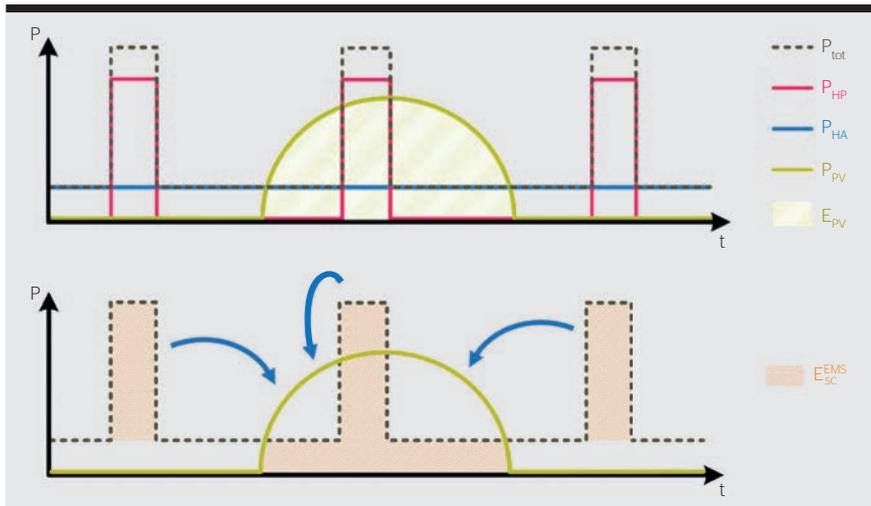


Bild 3 Eigenverbrauchsoptimierung durch Verschiebung der Wärmepumpenaktivierung, schematisiert. P_{HP} ist die Leistung der Wärmepumpe, P_{HA} die Grundlast, P_{PV} stellt die Produktion der PV-Anlage dar. E_{sc}^{EMS} stellt die theoretisch maximale Energie dar, die bei optimaler Wärmepumpensteuerung 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

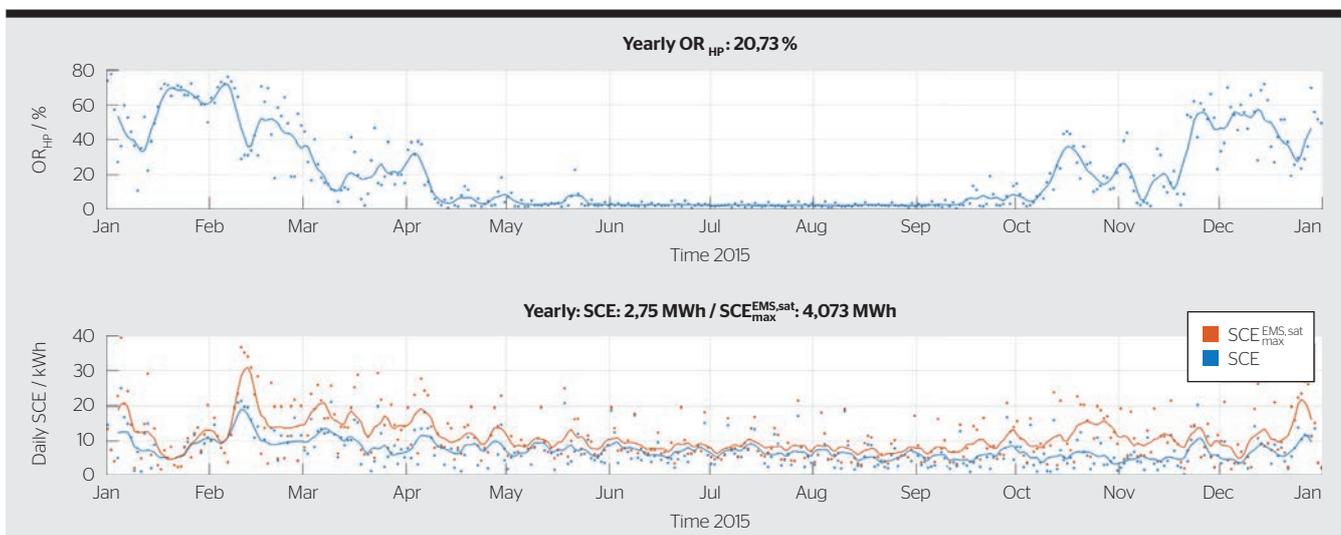


Bild 4 Arbeitsgrad (oben) sowie aktuell und theoretisch maximal nutzbare Eigenverbrauchsenergie (Punkte zeigen die täglichen Werte auf, die Kurve zeigt den über 7 Tage generierten Mittelwert).

durch Heizstäbe erreicht werden. Die kürzlich von der Schweizer Firma Askoma auf den Markt gebrachte Lösung AskConsole 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 frequenzgeregelte 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 _{HP} (th./el.)	PV-Grösse
S1	35 kWh/m ²	7667 kWh	7352 kWh	8531 kWh	4,8/2,3 kW	7,4 kW
S3	70 kWh/m ²	11 208 kWh	8756 kWh	8208 kWh	6,4/2,5 kW	7,2 kW
S5	150 kWh/m ²	21 318 kWh	11 962 kWh	12 806 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_{HP}: 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.aurasgrid.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.
- [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», 12th International conference on solar energy for buildings and industry (EuroSun 2018), Rapperswil, Switzerland, 2018.

Autoren

Dr. **Andreas Hutter** ist Gruppenleiter am CSEM.
→ CSEM.SA, 2002 Neuchâtel
→ andreas.hutter@csem.ch

Nelson Koch ist R&D Engineer am CSEM.
→ nelson.koch@csem.ch

Dr. **Yves Stauffer** ist Projekt Manager am CSEM.
→ yves.stauffer@csem.ch

Dr. **Tomasz Gorecki** ist R&D Engineer am CSEM.
→ 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



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



LANZ protected®

Funktionserhalt E90 brand- geschützte Stromschiene

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 Stromschiene mit
435 A – 3680 A Bemessungsstrom.

Verlangen Sie unser Angebot 062 388 21 21



ST54_2
**stromschiene
lanz oensingen ag**

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

LANZ ist BIM Ready! BIM-fähige Revit-Familien für LANZ Stromschiene
stehen auf 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 info@usv.ch

