

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse

Herausgeber: Electrosuisse

Band: 113 (2022)

Heft: 5

Artikel: Lasten kunden- und netzdienlich steuern

Autor: Geidl, Martin / Efkarpidis, Nikolaos / Tarnowski, Thomas

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1037098>

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

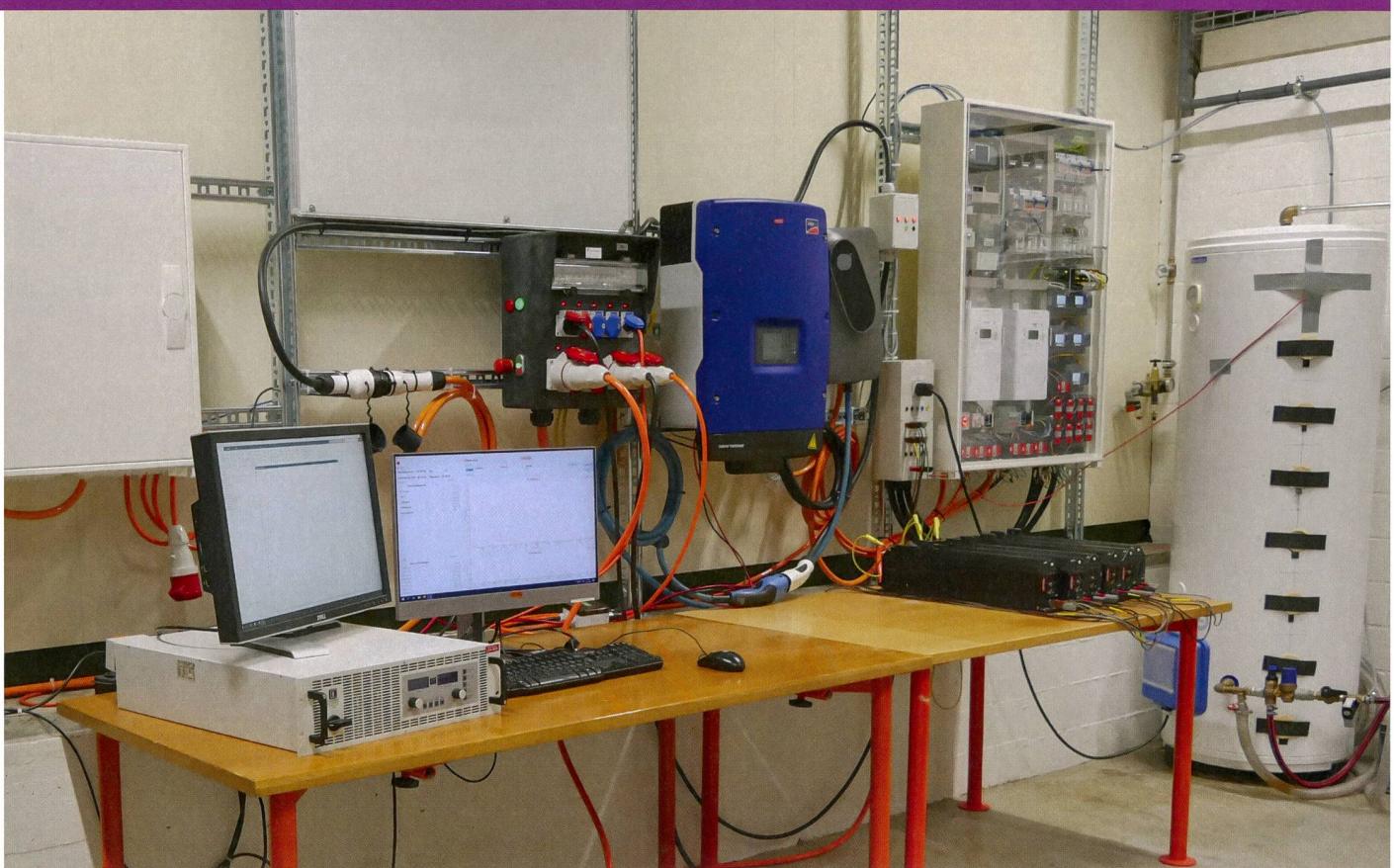
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées 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: 17.02.2026

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



Testumgebung im Labor an der FHNW.

Lasten kunden- und netzdienlich steuern

Optimierungen mit Algorithmen | In einem Forschungsprojekt wurden Algorithmen zur Steuerung flexibler Endkundenlasten entwickelt und im Feld getestet. Die Algorithmen helfen einerseits, Spannungs- und Leistungsspitzen im Netz zu reduzieren, andererseits können Kunden ihren PV-Eigenverbrauch erhöhen und ihre Stromkosten senken.

MARTIN GEIDL, NIKOLAOS EFKARPIDIS, THOMAS TARNOWSKI, ADRIAN METTLER

Traditionellerweise steuern Verteilnetzbetreiber flexible Kundenanlagen wie Boiler oder Wärmepumpen mittels Rundsteuerung. Die in Cluster gruppierten Kundenanlagen werden pauschal blockiert oder freigegeben, ohne damit auf die individuelle Situation der Anlagen Rücksicht zu nehmen. Das von Evolution AG entwickelte Smartpower-System erlaubt eine differenzierte Steuerung flexibler Lasten. Herzstück dieses Systems ist das «Smart Manager» genannte Gateway, ein Steuer- und Kommunikationsgerät mit diversen Schnittstellen und Funktionen zur

Anbindung von Elektroboilern, Wärmepumpen, Elektro-Ladestationen, Batteriespeichern u. v. m. (Bild 1).

Neben der Ausgabe von Steuerfunktionen über Schnittstellen kann der Smart Manager auch Smart Meter diverser Hersteller auslesen. Somit kann das Smartpower-System Rundsteuerung und Zähler-Fernauslesung in einem ersetzen und stellt auch für künftige Anwendungen an jedem Netzaanschlusspunkt breitbandige Kommunikationstechnologie zur Verfügung. Repower steht am Anfang des Rollouts dieses Systems und hat es bereits produktiv im Verteilnetz in Betrieb.

Der Kunde hat die Wahl

Gemäss Stromversorgungsgesetz [1] entscheiden die Endkunden selbst über die Nutzung ihrer Flexibilität. Das Smartpower-System zielt spezifisch auf diese Kundenflexibilität und auf die dafür nötige Kundeninteraktion ab. Um den Kunden die Wahl zu geben, wofür sie ihre Flexibilität einsetzen wollen, wurden in einem Projekt mit dem Institut für Elektrische Energietechnik der Fachhochschule Nordwestschweiz vier Algorithmen entwickelt. Die Kunden entscheiden, ob sie ihre Flexibilität dem Netzbetreiber überlassen oder für eigene Zwecke nutzen

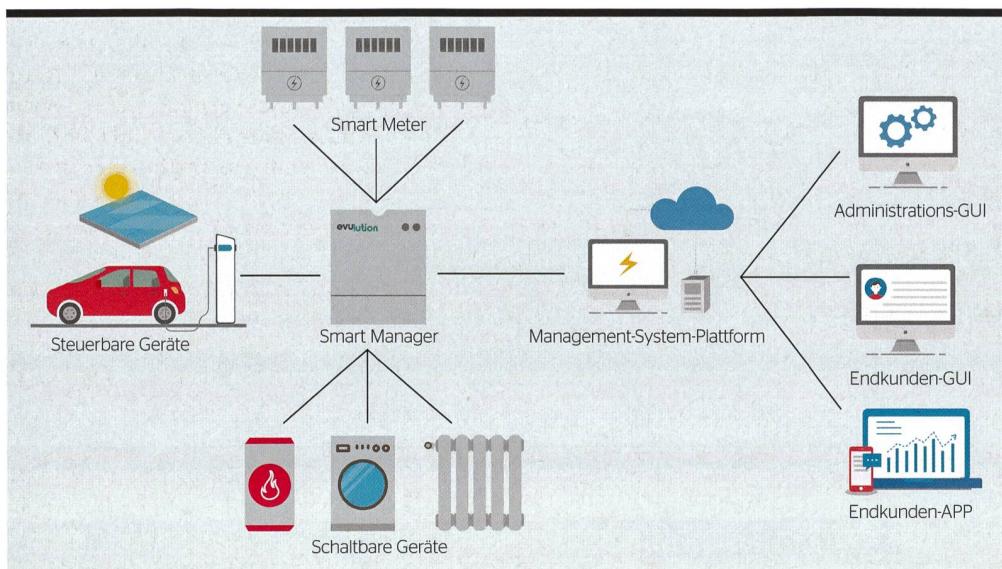


Bild 1 Das Smartpower-System mit dem lokal installierten Gateway «Smart Manager».

wollen. Für beide Fälle – netz- oder kundendienlicher Einsatz der Flexibilität – wurden jeweils zwei Algorithmen entwickelt. Diese sind auf dem Smart Manager implementiert und können je nach Kundenwunsch aktiviert werden.

Algorithmen

Mit der Steuerung flexibler Lasten können unterschiedliche Ziele verfolgt werden. Grundsätzlich wird unterschieden zwischen:

- netzdienlichen Algorithmen, welche vom Netzbetreiber eingesetzt werden, um die netzbetriebliche Situation zu verbessern, und
- kundendienlichen Algorithmen, welche Ziele im Sinne des Kunden verfolgen.

Netz- und kundendienliche Ziele können sich widersprechen, müssen aber nicht. Als Basis für die Entwicklung der netzdienlichen Algorithmen wurde zunächst eine Netzanalyse durchgeführt, um die Wirkung der flexiblen Lasten auf Ströme und Spannungen an den Netzelementen besser zu verstehen und zu quantifizieren. Mit den Erkenntnissen aus der Studie wurden Algorithmen zur Verbesserung der Spannungssituation und zur Reduktion von Leistungsspitzen im Netz entwickelt.

Die Erhöhung des PV-Eigenverbrauchs und die Optimierung der Stromkosten durch Ausnutzung des Tarifsystems wurden als zwei für Endkunden relevante Ziele identifiziert und implementiert. Die Optimierung des PV-Eigenverbrauchs geschieht

| Anteil lokal verbrauchter PV-Energie in % der PV-Produktion | | | |
|---|----------------|---------------|---------------------|
| | Ohne Steuerung | Mit Steuerung | theoretisch möglich |
| Januar | 68 % | 77 bis 82 % | 100 % |
| April | 39 % | 39 bis 46 % | 70 % |
| Juli | 38 % | 38 bis 45 % | 49 % |
| November | 92 % | 83 bis 92 % | 100 % |

Tabelle Ergebnisse für die Eigenverbrauchsoptimierung.

durch gezielte Verschiebung der flexiblen Lasten in Zeiten mit zu erwartender ausreichender PV-Produktion. Für die Reduktion der Stromkosten wird der Verbrauch von Hoch- in Niedrigtarifzeiten verschoben, wobei die Tarifstufen individuell parametriert werden können.

Solche Algorithmen sind wissenschaftlich gut untersucht, jedoch sind die publizierten Konzepte in der Praxis kaum anwendbar. Es gibt viele Gründe für diese Kluft zwischen Wissenschaft und Praxis – unter anderem Annahmen bezüglich Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit des Systems. Beide sind in der Realität äusserst beschränkt. Zudem sind viele vorgeschlagene Algorithmen mit hohem Rechen- und Kommunikationsaufwand verbunden und deshalb kaum für eine hohe Anzahl gesteuerter Geräte skalierbar. Außerdem gehen viele in der Literatur vorgeschlagene Algorithmen von ausreichend guten Prognosen des täglichen Lastbedarfs pro Netzschluss aus, was in der Praxis nicht gegeben ist.

Die Herausforderung bei der Entwicklung der Algorithmen in diesem Projekt bestand darin, unter Berück-

sichtigung aller praktischen Einschränkungen eine hohe Performance der Algorithmen zu erzielen. Zudem musste darauf geachtet werden, dass das Verfolgen einer spezifischen Zielfunktion nicht zur signifikanten Verschlechterung eines anderen Aspektes führt. Zum Beispiel soll der Eigenverbrauchsalgorithmus keine hohen Lastspitzen für den Netzbetreiber zur Folge haben.

Komfort, Sicherheit und Privatsphäre

Die implementierten Algorithmen steuern die flexiblen Lasten im Rahmen strenger Komfortgrenzen. Diese stellen sicher, dass die Kunden nichts von den Steuereingriffen des Smart Managers bemerken, dass also beispielsweise immer genügend Warmwasser verfügbar ist. Zudem verhindern gerätespezifische Steuerlimiten ungünstige Schaltungen, welche die Lebensdauer der Geräte beeinträchtigen könnten.

In einer an der Fachhochschule Nordwestschweiz durchgeföhrten Untersuchung bezüglich Akzeptanz von «smarten» Systemen bei Endkunden wurde festgestellt, dass Endkun-

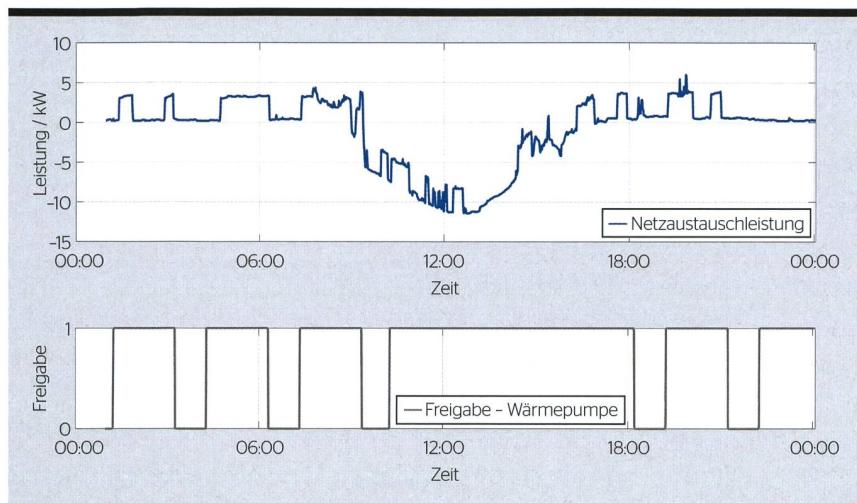


Bild 2 Tageslastgang eines Prosumers.

den vor allem zwei Aspekten gegenüber kritisch eingestellt sind [2]:

- Die Kunden wollen nicht, dass detaillierte Daten zum Stromverbrauch im Haushalt an eine externe Stelle geschickt und dort verarbeitet werden.
- Die Kunden wollen nicht, dass ihre Geräte direkt durch externe Steuerbefehle geschaltet werden.

Beide Aspekte wurden bei der Konzeption der Lösung berücksichtigt. Die kundendienlichen Algorithmen laufen autonom im vor Ort installierten Smart Manager. Somit müssen die für den Algorithmus lokal gemessenen Daten nicht an eine externe Stelle gesendet werden. Für die netzdienlichen Algorithmen nutzen die Smart Manager ein lokal gemessenes (Spannung) oder vom Netzbetreiber übermitteltes, allgemeines Anreizsignal (Netzbelastung). Die

Ableitung von Steuerbefehlen aus diesen Signalen geschieht am Smart Manager individuell für die jeweilige Kundenanlage, wobei die komfort- und gerätespezifischen Einschränkungen stets berücksichtigt werden. Es werden also keine externen Steuerbefehle empfangen und direkt umgesetzt. Da die Entscheide lokal getroffen werden, ist der Ansatz sehr kommunikationsarm und ohne besondere Bandbreitenanforderungen realisierbar. Dank der hohen Autonomie und Dezentralisierung wird das Risiko eines «Single Point of Failure» reduziert.

Implementierung, Test und Feldversuch

Die Algorithmen wurden in einem mehrstufigen Prozess entwickelt und getestet. Zunächst wurden die Funktionen in einer Computersimulation

implementiert. Nach erfolgreicher Simulation wurden die Steuerbefehle auf die Ziel-Hardware im Labor geschickt und verifiziert. Erst nach Abschluss dieser Phase wurde die Software auf dem Smart Manager implementiert und nochmals getestet. Anschliessend wurde die Software für jene Kunden freigeschaltet, die das Flexibilitätsmanagement durch Repower bewilligt haben.

Für die Tests wurde im Smart-Energy-Labor der FHNW eine Anlage entwickelt, mit der vordefinierte Tageslastgänge automatisch abgefahren werden können (**Einstiegsbild**). Die Testanlage beinhaltet verschiedene steuerbare und nicht steuerbare Geräte (Elektroboiler, Wärmepumpe, Elektroladestation, Batteriespeicher) sowie ein typisches «Grundrauschen» eines Haushaltsverbrauchs. Zudem ist eine gesteuerte Quelle über einen PV-Wechselrichter integriert, mit der die Produktion einer PV-Anlage simuliert wird. Im Projekt wurden anhand von gemessenen Daten repräsentative Beispiel-Lastgänge getestet (je ein Mittwoch und ein Sonntag in den verschiedenen Jahreszeiten). Um die Effizienz der Labortests zu erhöhen, kann das Testprogramm wahlweise in zehnfacher Geschwindigkeit laufen, d. h. ein Tageslastgang wird im Zeitraffer innerhalb von 2,4 h abgefahren.

Nach den Labortests erfolgte der Roll-out auf die Smart Manager bei den Testkunden im Verteilnetz von Repower. Diese Kunden hatten sich im Vorfeld bereit erklärt, ihre Anlagen für den Test der Algorithmen zur Verfügung zu stellen.

RÉSUMÉ

Gérer les charges pour le bien du réseau et des clients

Optimisations à l'aide d'algorithmes

Dans le cadre d'un projet de recherche, des algorithmes dédiés à la gestion des charges flexibles des clients finaux ont été développés et testés sur le terrain. Ces algorithmes aident, d'une part, à réduire les pics de tension et de puissance dans le réseau, et permettent, d'autre part, aux clients d'augmenter leur autoconsommation photovoltaïque (PV) et de réduire leurs frais d'électricité.

Les tests en laboratoire et sur le terrain ont montré que les algorithmes implémentés fonctionnaient de manière robuste et donnaient de bons résultats malgré la simplicité des conditions initiales. Les algorithmes développés n'utili-

lisent pas de prévisions de la production PV ou de la demande de charge, mais uniquement des mesures de la puissance des échanges dans le réseau. Selon la saison, les résultats obtenus contribuent de manière plus ou moins significative à l'augmentation de la consommation propre.

Les auteurs partent du principe qu'une prise en compte des prévisions PV et de la demande de charge permettra d'améliorer encore les performances des algorithmes. En outre, des analyses de données historiques pourront à l'avenir contribuer à déterminer les paramètres de gestion optimaux pour un ménage.

NO

Ergebnisse und Erfahrungen

Zunächst wurden im Labor und im Feldtest vor allem die kundendienlichen Algorithmen intensiv getestet, wobei der Fokus auf dem Eigenverbrauchsalgorithmus lag. Die Labor- und Feldtests für die netzdienlichen Algorithmen sind noch nicht abgeschlossen.

Als Benchmark für die Performance des Algorithmus wurden die Ergebnisse einer Optimierung herangezogen, mit welcher unter perfekten Modellbedingungen das theoretische Optimum bestimmt wurde.

Die Tabelle zeigt die Testergebnisse der Eigenverbrauchsoptimierung. An den Testtagen im Januar, im April und im Juli konnte der Eigenverbrauch je nach gesteuerten Geräten zum Teil signifikant erhöht werden. Im Juli kam der Algorithmus sogar nahe an das theoretische Optimum heran. Für den getesteten Novembertag fallen die Ergebnisse aufgrund der geringen PV-Produktion bescheiden aus, im schlechtesten Fall kann es sogar zu einer leichten Reduktion des Eigenverbrauchs kommen. Allerdings muss die prozentuelle Betrachtung für diesen Tag relativiert werden, weil die absolut erzeugte PV-Energie sehr klein ist und eine mögliche Reduktion des Eigenverbrauchs beitragen.

verbrauchsgrads in der aufgetretenen Größenordnung für die Kunden praktisch irrelevant ist.

Bild 2 zeigt als Beispiel die Netzaustauschleistung eines Endkunden mit PV-Anlage und den Status des Relais, welches die Wärmepumpe steuert.

In Zeiten ohne PV-Produktion (0 bis 9 Uhr und nach 18 Uhr) wird die Wärmepumpe regelmäßig blockiert, damit ein Teil des Heizbedarfs in Zeiten mit hoher PV-Produktion verschoben wird. Von 10 bis kurz nach 18 Uhr ist die Wärmepumpe dann durchgehend frei gegeben und kann das durch die Unterbrechung künstlich erzeugte Wärmedefizit aufholen und dafür lokal erzeugte PV-Energie nutzen.

Ausblick

Die Tests im Labor und im Feld haben gezeigt, dass die implementierten Algorithmen robust funktionieren und trotz einfachen Voraussetzungen gute Ergebnisse liefern. Die entwickelten Algorithmen nutzen keine Vorhersagen der PV-Erzeugung und des Lastbedarfs, sondern ausschliesslich Messungen der Netzaustauschleistung. Dabei werden Ergebnisse erzielt, die je nach Jahreszeit mehr oder weniger signifikant zur Erhöhung des Eigenverbrauchs beitragen.

Die Autoren gehen davon aus, dass ein Miteinbezug von PV- und Lastprognosen die Performance der Algorithmen noch weiter steigern kann. Daraüber hinaus können künftig Analysen von historischen Daten dazu beitragen, optimale Steuer-Parameter für einen Haushalt zu bestimmen.

Referenzen

- [1] Bundesgesetz über die Stromversorgung (StromVG) vom 23. März 2007 (Stand 1. Juni 2019), Art. 17b.
- [2] M. Soland, S. Loosli, J. Koch, et al., «Acceptance among residential electricity consumers regarding scenarios of a transformed energy system in Switzerland—a focus group study», *Energy Efficiency* 11, 2018, S. 1673-1688.

Autoren

Martin Geidl ist Leiter des Instituts für Elektrische Energietechnik.
→ FHNW, 5210 Windisch
→ martin.geidl@fhnw.ch

Nikolaos Efkaridis ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Elektrische Energietechnik.
→ nikolaos.efkaridis@fhnw.ch

Thomas Tarnowski ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Elektrische Energietechnik.
→ thomas.tarnowski@fhnw.ch

Adrian Mettler ist Verantwortlicher Smart Grid und leitet den Smart-Meter-Rollout bei Repower.
→ Repower AG, 7302 Landquart
→ adrian.mettler@repower.com

Am Projekt waren zudem folgende weitere Personen beteiligt: Prof. Ishan Pendharkar, FHNW, sowie Roger Caviezel, EVULution AG.

Weniger Sorgen für Selbstständige. Moins de tracas pour les indépendants.

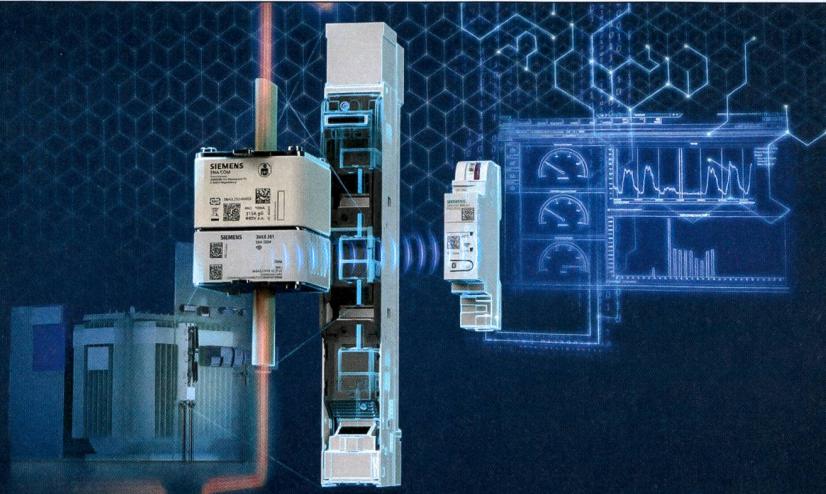
Die Unternehmersversicherung der Suva bietet Selbstständigerwerbenden einzigartigen finanziellen Schutz bei Unfällen in Beruf und Freizeit sowie bei Berufskrankheiten. Übrigens: Auch mitarbeitende Familienmitglieder, die keinen AHV-pflichtigen Lohn beziehen, können sich versichern lassen. Weitere Informationen erhalten Sie unter www.suva.ch/fuv.

L'assurance des chefs d'entreprise de la Suva offre une protection financière unique en son genre aux personnes exerçant une activité lucrative indépendante en cas de maladies professionnelles et d'accidents du travail ou durant les loisirs. Les membres de la famille travaillant dans l'entreprise sans percevoir de salaire soumis à l'AVS peuvent également en bénéficier. Infos complémentaires: www.suva.ch/afc.

SUVA

Jetzt Offerte
bestellen unter:
Demandez
une offre:
0848 820 820





SENTRON NH-Sicherungseinsatz 3NA COM

Bestehende Anlagen einfach in digitale Strukturen integrieren

Mit dem SENTRON NH-Sicherungseinsatz 3NA COM können kritische Knotenpunkte der Energieverteilung unkompliziert in digitale Strukturen eingegliedert werden. Die kommunikations- und messfähige Sicherung besitzt dieselben Abmessungen wie eine Standard-NH-Sicherung und kommuniziert Messdaten drahtlos. Über den Datentransceiver SENTRON 7KN Powercenter 1000, als zentrale Schnittstelle in der Schaltanlage ergänzt, können Betreiber die Messdaten auf mobilen Endgeräten abrufen oder in übergeordnete Management-Systeme und cloudbasierte Applikationen integrieren.

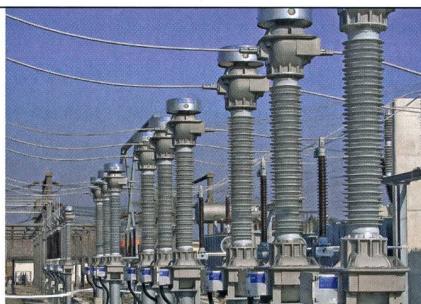
siemens.ch/smartinfrastructure

SIEMENS

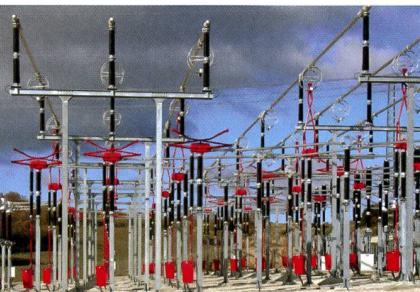


PFIFFNER
MOSER GLASER
ALPHA-ET
HAEFELY
HAVECO











Besuchen Sie uns
an den Powertagen
in der Messe Zürich!
17. – 19. Mai 2022
Halle 5, Stand E10

www.pfiffner-group.com

