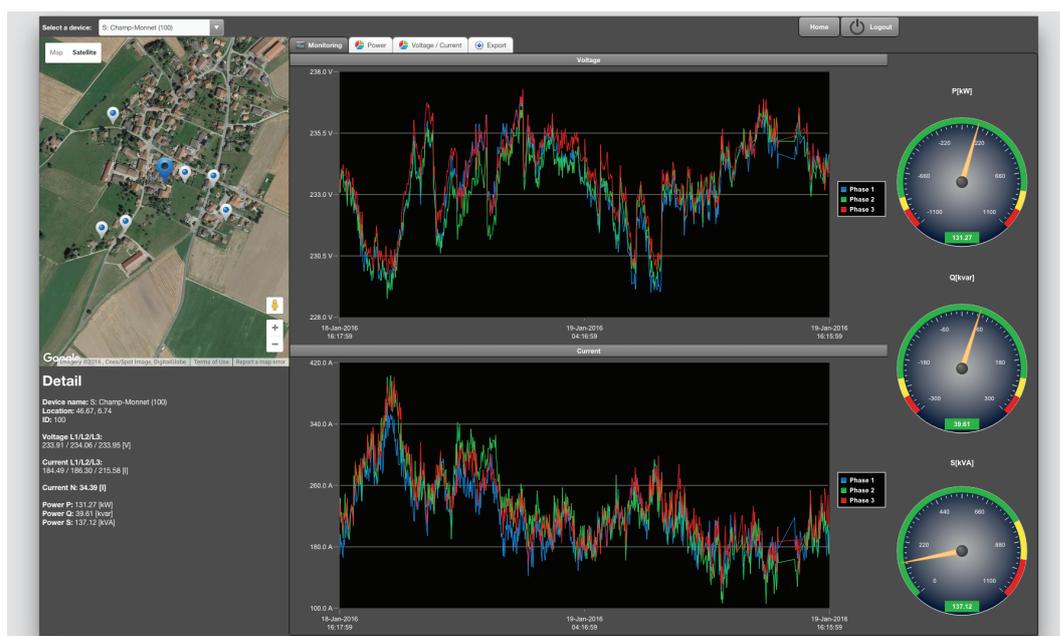


Augen im Stromnetz

Verschiedene Schweizer Forscherteams arbeiten zur Zeit an Technologien für Monitoring und Steuerung von Stromverteilnetzen in Echtzeit. Die Systeme sollen künftig unter anderem in Stromnetzen mit dezentralen Produktionsanlagen und Batteriespeichern eingesetzt werden, um deren normgemässen Betrieb sicherzustellen. Die GridEye-Technologie der Westschweizer Firma DEPSys versucht die Vorteile verschiedener Forschungsansätze in einem markttauglichen System zu vereinen.



Die Abbildung zeigt, wie die Messdaten eines ausgewählten GridEye-Moduls (Standort im Foto links oben blau hervorgehoben) in der Netzleitstelle aufbereitet werden. Die beiden Grafiken zeigen die Daten für Spannung (oben) und Strom (unten) während eines 24-Stunden-Zeitraums. Foto: DEPSys

Dr. Benedikt Vogel, im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE)

Die dezentrale Produktion von erneuerbarem Strom mit Photovoltaikmodulen, Windturbinen oder Biogasanlagen ist eine Herausforderung für die Betreiber von Stromnetzen. Beim Bau wurden die Netze nämlich für Grosskraftwerke angelegt, also als ein hierarchisches System, bei dem der Strom von oben nach unten fliesst: Der Strom aus Grosskraftwerken und Import wird in Höchst- und Hoch-

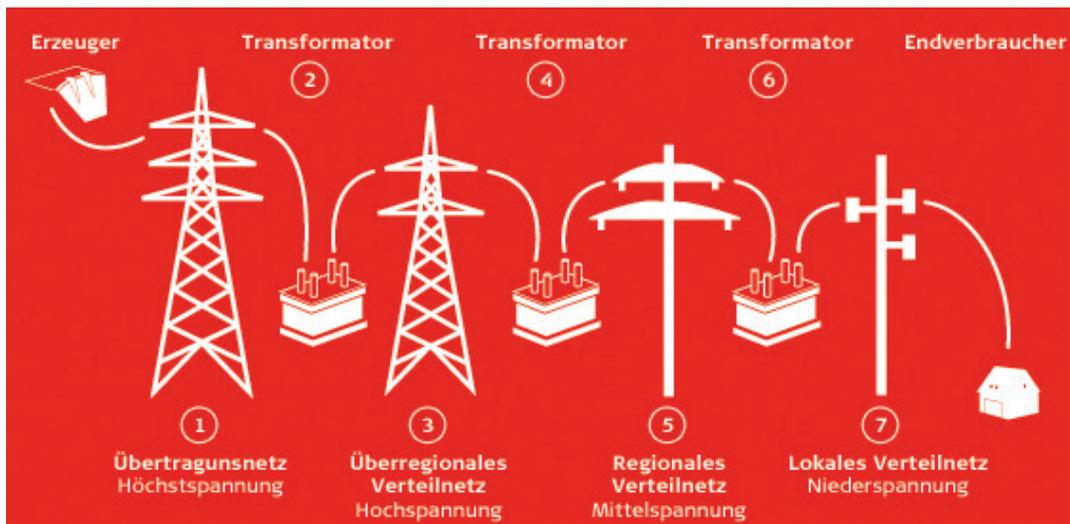
spannung übertragen (Netzebene 1 und 3), dann auf Mittel- und Niederspannung transformiert und zu den Stromkonsumenten gebracht (Netzebene 5 und 7). So entstand ein Stromnetz, dessen Zweige sich immer stärker verästeln. Heute fliesst die Energie allerdings nicht mehr nur 'top-down': Mehr und mehr entstehen dezentrale Kraftwerke in der Netzebene 7, zunehmend auch leistungsfähige Batteriespeicher, um z.B. Solarstrom zwischenspeichern, bis er von den Konsumenten abgerufen wird. Das bringt für die Netze An-

Fachbeitrag zu den Erkenntnissen aus mehreren Forschungsprojekten im Bereich Netze, die vom Bundesamt für Energie finanziell unterstützt werden bzw. wurden. Der Beitrag wurde unter anderem im Fachmagazin Bulletin SEV/VSE (Ausgabe Mai 2016) publiziert.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE



Die nationale Netzgesellschaft Swissgrid weiss dank einer ausgebauten Messinfrastruktur gut Bescheid über den Zustand des Höchst- und Hochspannungsnetzes (Netzebene 1 und 3). Ein solches Monitoring ist für die Verteilnetze (Netzebene 5 und 7) heute in den meisten Fällen noch nicht möglich. Grafik: Swissgrid

forderungen mit sich, für die sie ursprünglich nicht ausgelegt worden sind.

Eine einzelne PV-Anlage bringt das Netz noch nicht aus dem Gleichgewicht. Bei einem massiven Ausbau der Solarstromgewinnung, wie er beispielsweise in Süddeutschland zu beobachten ist, stossen bestehende Leitungen allerdings an ihre Grenzen. Die Folge sind im Extremfall Überlasten und normwidrige Spannungsspitzen und -schwankungen. Ein konventioneller Ansatz, dieses Problem zu beheben, wäre ein Ausbau der Verteilnetze – doch das ist teuer. Viele Akteure sehen den Königsweg daher in der Ausstattung der Verteilnetze mit Monitoring- und Steuerungssystemen. Dank solcher Messinfrastrukturen erhalten die Netzbetreiber Echtzeit-Informationen über die Leistungsflüsse in ihren Verteilnetzen. Mit diesem Wissen – so die Grundidee – können die Netzbetreiber dezentrale Kraftwerke, Speicher und grosse wie kleine Lasten so steuern, dass ein Netzausbau unnötig ist oder zumindest verzögert wird. Daneben haben Monitoring- und Steuerungssysteme eine Reihe weiterer Vorteile: Sie versetzen die Netzbetreiber beispielsweise in die Lage, den Kontrollbehörden (wie Elcom) die Einhaltung von Normen für den Netzbetrieb (wie EN 50160) nachweisen zu können. Oder sie

sorgen dafür, dass nicht überdimensionierte und damit unnötig teure Transformatoren eingebaut werden.

Zentral versus dezentral

Stromnetze, die eine möglichst kostengünstige und zuverlässige Integration der erneuerbaren Energien erlauben, werden gern als 'Smart Grid' bezeichnet. Blieb lange Zeit vage, wie ein Smart Grid konkret aussieht, bekommt der Begriff zunehmend Kontur. In der Schweiz arbeiten gegenwärtig mehrere Projektteams an Systemen, die für ihre Konzepte den Namen Smart Grid beanspruchen können. Ausgangspunkt ist jeweils die Idee, das Verteilnetz an verschiedenen Knotenpunkten – Trafostationen, Verteilkästen, Haushalten – mit Messgeräten auszurüsten und die dort gewonnenen Messdaten zu verarbeiten. Die Messdaten können an einen zentralen Server übermittelt werden, lokal bleiben, oder beide Optionen erlauben. In der zentralisierten Variante werden die Daten an einen Server übermittelt, dort verarbeitet und die Ergebnisse dafür verwendet, dezentrale Produktionsanlagen, Speicher und Verbraucher so zu steuern, dass im Verteilnetz möglichst viele Anlagen ohne Komforteinbussen und möglichst wenig Netzausbau betrieben werden können. Genau das leistet

das Gridbox-System, das BKW und ewz zur Zeit bei zwei Pilotversuchen im Berner Oberland und in Zürich-Affoltern austesten (vgl. „Stromverteilnetze mit Durchblick“ unter www.bfe.admin.ch/CT/strom).

Dasselbe Ziel verfolgt das von der Alpiq In-Tec Gruppe industrialisierte System GridSense, allerdings mit einer anderen Technologie (vgl. „Schwarmintelligenz für das Stromnetz“ unter www.bfe.admin.ch/CT/strom). Die von der Fachhochschule der Südschweiz (SUPSI) entwickelte Technologie besteht aus selbständig arbeitenden Mess- und Steuerungsgeräten, die bei allen Haushalten eingebaut werden. Im Gegensatz zum Gridbox-System werden hier also die Messdaten nicht in einem zentralen Server aufbereitet. Vielmehr arbeitet jedes GridSense-Gerät autonom und setzt die gemessenen Spannungswerte selbständig über einen Algorithmus in Steuerungsbefehle um. „Das GridSense-System braucht keinen zentralen Server und keine Datenverbindung zwischen einem Server und den im Netz verteilten Mess- und Steuerungsmodulen. Führt beim Gridbox-System der Ausfall des zentralen Servers oder der Datenkommunikation zu einem Systemausfall, funktioniert das GridSense-Konzept weiter, auch wenn ein einzelnes Modul ausfällt“, sagt Dr. Michael Moser, verantwortlich für das BFE-Forschungsprogramm Netze, aus

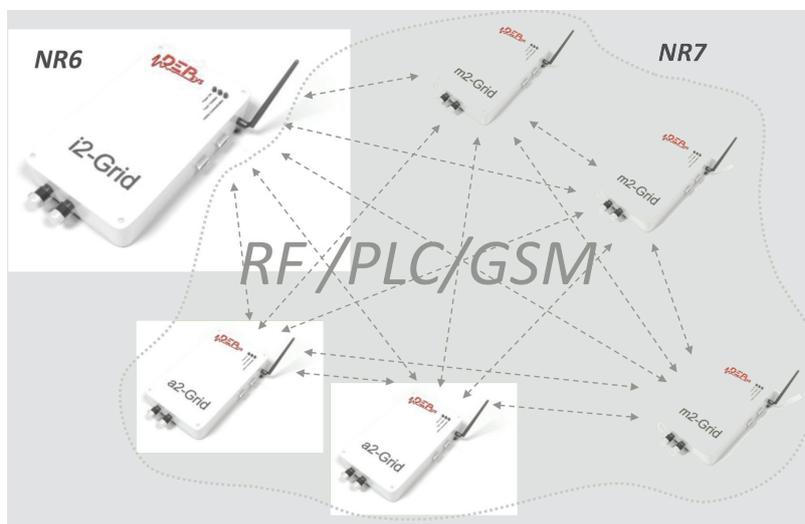


Verteilkasten mit einem GridEye-Modul.
Foto: DEPsys

dem beide Projekte gefördert wurden. „Das Gridbox-System erfasst demgegenüber nicht nur mehr Messparameter, sondern auch häufiger. Das erlaubt eine Beschreibung des Netzzustands in bestmöglicher Qualität, und es ermöglicht eine Optimierung des Gesamtnetzes, während die Optimierung beim GridSense-System sich auf eine lokale Umgebung bezieht.“

Selbständige Module im Austausch

Ideal wäre ein System, das die Vorteile beider Ansätze kombiniert. Genau das hat die Firma DEPsys mit dem System GridEye entwickelt. DEPsys ging 2012 als Start-up aus der Fachhochschule Yverdon (HEIG-VD) hervor. Unterdessen zählt das Unternehmen mit Sitz im Technologiepark Y-Parc (Yverdon) acht Mitarbeiter. Wie bei Gridbox und GridSen-



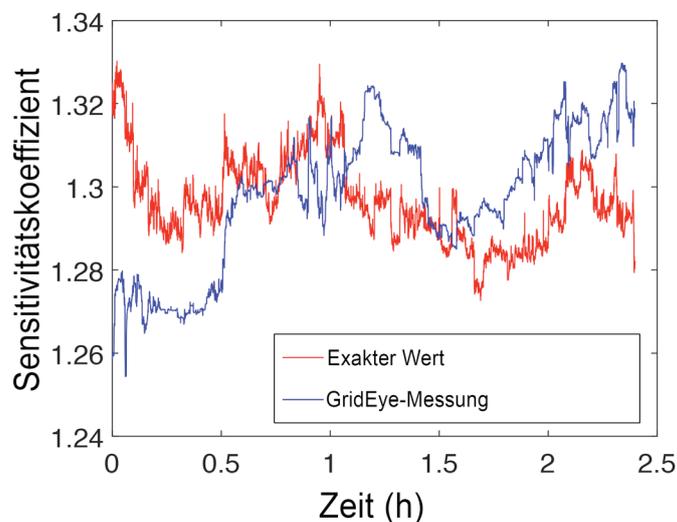
Die GridEye-Module im Verteilnetz (NR7) kommunizieren entweder über Radiofrequenz (RF), Stromleitung (Powerline Communication/PLC) oder Mobilfunk (GSM). Das Gerät i2-Grid sendet die Daten an die Leitstelle, führt aber keine Analysen durch.
Illustration: DEPsys

se werden auch bei GridEye Messboxen im Stromnetz eingebaut. Diese messen die Spannung an den jeweiligen Netzpunkten. Die Informationen lassen sich für das Netzmonitoring nutzen: Die Industriellen Werke Yverdon haben seit 2014 insgesamt ca. 10 GridEye-Module angeschafft und überwachen mit ihnen ein Netzgebiet mit ca. 1'000 Stromkonsumenten. Seit 2014 haben ferner ca. 10 GridEye-Module während 15 Monaten einen Test mit dem Westschweizer Elektrizitätsversorger Romande Energie erfolgreich bestanden.

Im Rahmen des BFE-finanzierten Projekts SMILE (2014 bis 2016) geht DEPsys nun einen Schritt weiter: Die Forscher haben gemeinsam mit der ETH Lausanne (EPFL) und der Fachhochschule Yverdon einen neuartigen Algorithmus entwickelt. Dieses Software-Up-

Kombinierte Vorteile

Das GridEye-System unterscheidet sich vom Gridbox-System in einem wichtigen Punkt: Die GridEye-Module tauschen untereinander Daten aus, müssen diese aber nicht zur Verarbeitung an einen zentralen Server übermitteln. Das GridEye-System arbeitet dezentral, das heisst, jedes seiner Module verarbeitet die Messdaten lokal in dem Netzknoten, an dem es installiert ist. Die Kerninnovation ist ein Algorithmus, mit dem in Zeitintervallen von 60 Sekunden der sogenannte Sensitivitäts-Koeffizient berechnet wird (vgl. Textbox) – ein Kennwert, an dem sich ablesen lässt, welche Spannungsänderungen Ein- und Ausspeisungen von im Netz verteilten Kraftwerken und Speichern an einem bestimmten Netzknoten zur Folge haben. Für die Datenkommunikation zwischen den GridEye-Modulen können drei Technologien (PLC, Radiofrequenz oder



Die Grafik zeigt für einen mit einem GridEye-Modul ausgerüsteten Netzknotenpunkt den gemessenen (blau) und tatsächlichen (rot) Sensitivitätskoeffizienten (über einen Zeitraum von 2,5 Stunden). Auf der Grundlage der Sensitivitätskoeffizienten erstellt das GridEye-System eine Aussage über den aktuellen Zustand des Verteilnetzes. Grafik: DEPsys

date versetzt die GridEye-Module in die Lage, dezentrale Kraftwerke, Batteriespeicher oder Lasten in einem Niederspannungsnetz so zu steuern, dass Störungen (Überlasten, normwidrige Spannungsschwankungen und -spitzen) vermieden werden können. Von 2017 bis 2020 will der Westschweizer Elektrizitätsversorger Romande Energie das neuartige Netzmonitoring- und Steuerungssystem in einem grossen Feldversuch in Rolle zwischen Lausanne und Genf testen.

GSM) genutzt werden. Die jeweiligen Anforderungen und besten Lösungen für diese drei Technologien untersucht zur Zeit ein Projekt der KTI (Kommission für Technologie und Innovation des Bundes) in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Yverdon.

„GridEye ist ein Mittelding zwischen einem zentralen und einem dezentralen System, und das macht seinen Charme aus“, sagt BFE-Netzexperte Michael Moser. Bei Bedarf kann

GridEye seine dezentral aufbereiteten Daten auch an ein zentrales Netzleitsystem übermitteln und erlaubt damit eine Netzoptimierung über das Gesamtnetz hinweg, wie das auch das Gridbox-System leistet. Für das Gridbox-System ist eine funktionierende Datenübermittlung an den zentralen Server vital, nicht so für das GridEye-System: Während bei einer gestörten Übertragung der Daten an das Netzleitsystem mit GridBox keine Gesamtoptimierung des Netzes mehr möglich ist, kann mit den im Netz verteilten GridEye-Modulen weiterhin ein Quasi-Optimum erreicht werden. In diesem Punkt ist das GridEye-System mit dem GridSense-System vergleichbar, hat gegenüber diesem aber den Vorteil, dass seine Module nicht ganz auf sich alleine gestellt sind, sondern Daten der Nachbarmodule mit einbeziehen, womit das GridEye-System über die Netzumgebung besser informiert ist. Michael Mosers Fazit: „Im ungünstigsten Fall – bei Ausfall der Datenverbindung – arbeitet GridEye ähnlich wie GridSense. Im Normalzustand – bei funktionierender Datenverbindung – hat es zusätzlich einen Teil der Funktionalität des Gridbox-Systems.“

Auf Industriestandards ausgerichtet

Für das Mittel- und das Niederspannungsnetz dürften bald mehrere Systeme für Monitoring und Steuerung zur Verfügung stehen. Welches von ihnen die Bedürfnisse der über 600 Schweizer Verteilnetzbetreiber am besten abdeckt, werden die nächsten Jahre zeigen. Wichtige Entscheidungskriterien sind neben der Funktionalität auch die Kosten. Ein finanzieller Vorteil könnte Netzbetreibern daraus erwachsen, wenn ein Netzmonitoring- und Steuerungssystem erlaubt, die heute in den Netzen verwendeten Schutzsysteme (z.B. für Kurzschlusserkennung) zu ersetzen. Genau dies könnte eine neue Technologie ermöglichen, welche die ETH Lausanne gemeinsam mit den Industriellen Werken von Lausanne (SIL) entwickelt. Die Netzüberwachung und -steuerung funktioniert hier ähnlich wie beim Gridbox-System, allerdings unter Einsatz von geeichten, nach internationalen Normen arbeitenden Messmodulen (sogenannte Phasor



Die Geschäftsleitung der Firma DEPsys (Yverdon): Joël Jaton, Michael De Vivo und Guillaume Besson (v.l.n.r.). Foto: DEPsys

Measurement Units/PMU). Mit der Einhaltung der Industriestandards erfüllt das Lausanner System eine wichtige Voraussetzung, um im Markt Fuss fassen zu können.

Auch DEPsys-Mitgründer und -CEO Michael De Vivo hat für sein GridEye-System die Zielmärkte schon fest im Blick. Die Technologie des Yverdoner Unternehmens könnte für Verteilnetzbetreiber in China, Indien oder Afrika interessant sein, weil sie das GridEye-System auch einsetzen können, wenn sie die Parameter ihrer Netze (Topologie) nur ungenügend kennen. De Vivos grösste Hoffnung ruht aber auf potenziellen Kunden in Deutschland und in den nordischen Staaten. Dort gibt es – wie in der Schweiz – eine Vielzahl von Verteilnetzbetreibern, und der Ausbau dezentraler Kraftwerke schreitet zügig voran. Ideale Voraussetzungen also, wie Unternehmer De Vivo meint, um als Firma ein Bein in die neue Welt der transparenten Verteilnetze zu setzen.

- » Weitere Auskünfte zu den Projekten erteilt Dr. Michael Moser (michael.moser[at]bfe.admin.ch), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Netze.
- » Weitere Fachbeiträge über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Netze finden Sie unter: www.bfe.admin.ch/CT/Strom

Ein wachsamer Blick auf das Stromnetz

'GridEye' nennt das Westschweizer Unternehmen DEPsys sein Netzmonitoring- und Steuerungssystem. Tatsächlich handelt es sich bei den GridEye-Modulen um eine Art Augen, die beobachten, was im Stromverteilnetz vor sich geht.

Um zu wissen, was in einem Netz passiert, werden schon lange Geräte zur Strom- und Spannungsmessung eingesetzt. Eine moderne Form der Messinfrastruktur sind Smart Meter, wie sie beispielsweise seit 2008 im Stromnetz von Arbon (TG) eingebaut sind und dort nicht nur die Fernauslesung der Stromzähler erlauben, sondern dem Netzbetreiber Vorteile beim Lastflussmanagement und bei der Behebung von Netzstörungen geben.

Noch einen Schritt weiter gehen Messgeräte, die zeitsynchron Amplitude von Strom und Spannung – und damit den dazwischen liegenden Phasenwinkel – sowie Power-Quality-Messgrößen wie Klirrfaktor und Oberwellen mit hoher Abtastrate erfassen. Sogenannte Phasor Measurement Units (PMU) wie die Gridbox sind zusätzlich mit einem GPS-Empfänger ausgerüstet, um jede Messung mit einem Zeitstempel zu versehen. Ihr grosser Vorzug: Die gemeinsame Auswertung der zeitsynchronen Daten unterschiedlicher PMU erlaubt die Bestimmung und Optimierung des Netzzustands in Echtzeit. Allerdings benötigt die Übermittlung der hochaufgelösten Daten eine sehr grosse Bandbreite. Das dezentral konzipierte GridEye-System, das ohne die präzise Zeitsynchronisation seiner Module auskommt, kann Abhilfe schaffen.

Die zentrale Innovation des GridEye-Systems besteht in dem Algorithmus, der jedes seiner Module in die Lage versetzt, aus den am jeweiligen Knotenpunkt gemessenen Spannungsdaten Änderungen im Gesamtnetz zu erkennen und zu analysieren. Der Algorithmus schätzt mit hoher Frequenz den Sensitivitätskoeffizienten. Technisch formuliert quantifiziert der Sensitivitätskoeffizient für einen bestimmten Netzknoten die Spannungsänderung, wie sie durch eine Veränderung der ein- oder ausgespeisten Wirk- und Blindleistung hervorgerufen wird. Aus dem Sensitivitätskoeffizienten kann man ableiten, wie der 'Sollwert' der dezentralen Kraftwerke und Speicher gesetzt werden muss, um die Spannungswerte an allen Punkten innerhalb der Toleranz zu halten. Die Sensitivitätskoeffizienten bilden die Grundlage, mit denen die GridEye-Module das Monitoring und die Steuerung des Verteilnetzes möglich machen.

Den Algorithmus zur Schätzung des Sensitivitätskoeffizienten hat das Unternehmen DEPsys zusammen mit der ETH Lausanne entwickelt. Zur Zeit wird die Technologie patentiert, insbesondere deren Fähigkeit, diese Schätzung ohne Kenntnis der Netztopologie durchzuführen.

GridEye ist eine Plattform, welche nicht nur misst, sondern auch zur Steuerung von Lasten, Batterien, Umrichtern und Transformatoren verwendet werden kann. Die Art, wie diese Steuerung erfolgt, ist offen – verschiedene Anwendungen oder Algorithmen können implementiert werden, z.B. Erhöhung der Netzwerksicherheit, Optimierung des Eigenverbrauchs oder Minimierung der Kosten. BV

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH- 3063 Ittigen, Postadresse: CH-3003 Bern
Telefon +41 (0)58 462 56 11, Fax +41 (0)58 463 25 00
cleantech@bfe.admin.ch, www.bfe.admin.ch