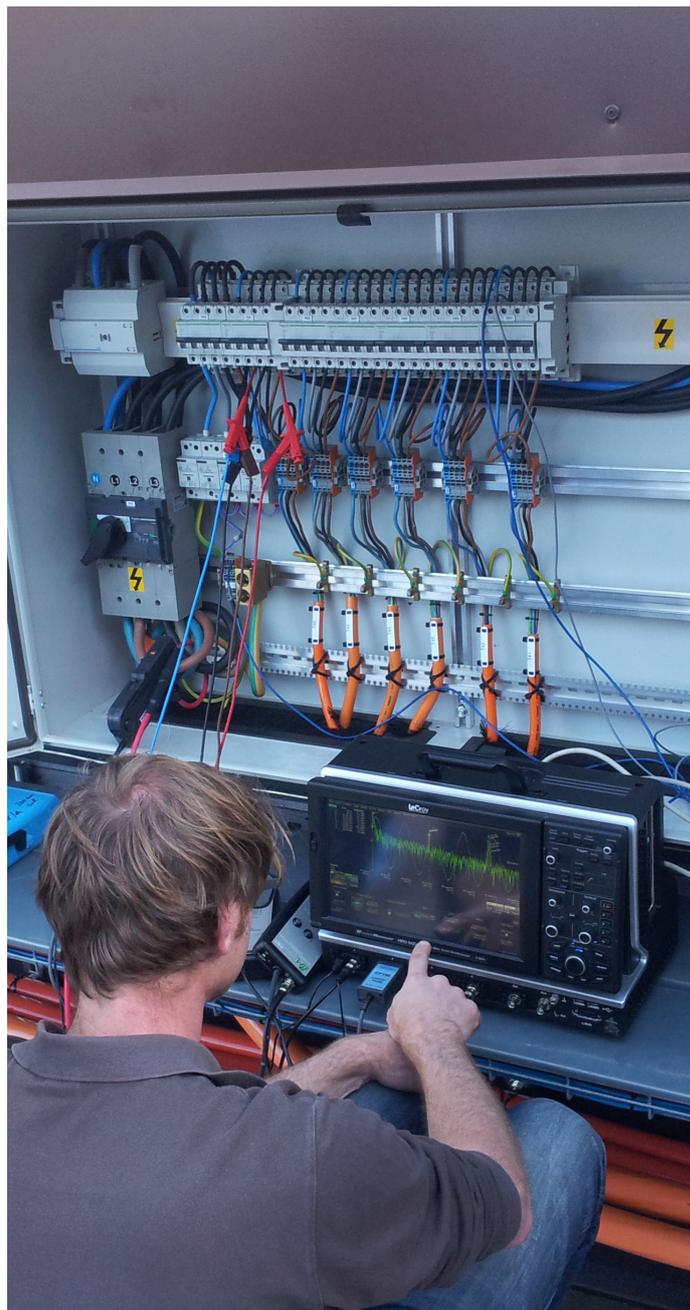


# SMART METER OHNE STÖRSIGNAL

Mit intelligenten Stromzählern («Smart Metern») verbindet sich die Hoffnung auf innovative Dienstleistungen und mehr Wettbewerbsgeist in der Stromversorgung. Damit Smart Meter einen Mehrwert bringen, müssen sie zuverlässig mit dem Verteilnetzbetreiber kommunizieren können. Der Transport der Smart Meter-Daten über das Stromnetz wäre praktisch und günstig, allerdings arbeitet dieser Kommunikationsweg heute noch nicht in jedem Fall zuverlässig. Wissenschaftler der Hochschule für Ingenieurwissenschaften in Sitten (VS) haben Grundlagen erarbeitet, um die Kommunikation robuster zu machen.

Smart Meter – also mit zusätzlichen Kontroll- und Steuerungsfunktionen ausgestattete Stromzähler – sind in aller Munde. Schweizweit haben Elektrizitätsversorgungsunternehmen in den vergangenen Jahren begonnen, Haushalte und Unternehmen mehr oder weniger flächendeckend mit Smart Metern auszurüsten. Die Services Industriels de Genève (SIG) – um ein Beispiel zu geben – führen im Genfer Verteilnetz verschiedene Pilotprojekte mit mehreren Hundert Smart Metern durch. Und das ist erst der Anfang: Vor kurzem hat der Bundesrat beschlossen, bis Ende 2027 seien 80% al-



Dominique Roggo, Professor an der HES-SO Valais-Wallis, während der Messung an einer Photovoltaikanlage. Foto: D. Roggo

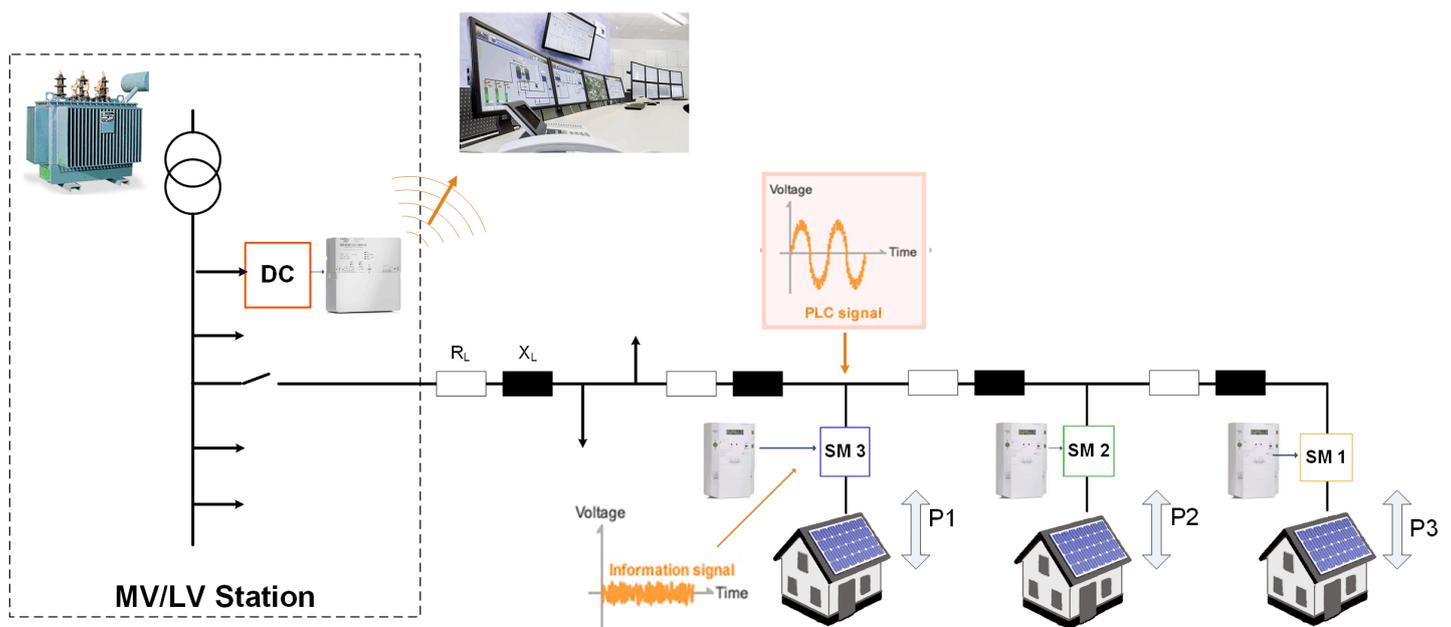
ler Messeinrichtungen in einem Netzgebiet auf Smart Meter umzurüsten. Welche Aufgaben die intelligenten Stromzähler in Zukunft übernehmen werden, lässt sich im Moment noch nicht zuverlässig sagen. Klar scheint, dass die neuartigen Geräte mindestens einmal im Monat den Zählerstand an das Elektrizitätswerk übermitteln, damit dieses die Stromrechnungen erstellen kann.

Smart Meter haben aber ein viel grösseres Potenzial. Sie eröffnen neue Ansätze bei der Energieberatung, im Stromhandel und beim Netzbetrieb (fast) in Echtzeit. Zu den neuen Möglichkeiten gehören «Demand Response» bzw. «Demand Side Management»: Dank Smart Metern können elektrische Verbraucher (z.B. Wärmepumpen) in einem Haushalt oder einem Unternehmen intelligent gesteuert werden. Sie können beispielsweise bei tiefen Strompreisen ein- und bei hohen Strompreisen ausgeschaltet werden; so liessen sich in einem Markt mit dynamischen Tarifen die Stromkosten optimieren. Um derartige Anwendungen möglich zu machen, müssen die Smart Meter rege mit dem Verteilnetzbetreiber kommunizieren. Die Daten eines Haushalts bzw. eines Gewerbe- oder Industriebetriebs werden dann stündlich oder sogar noch deutlich häufiger an den Stromversorger übermittelt. Und je nach Anwendung fließen regelmässig Informationen in die Gegenrichtung, also vom Stromversorger zum Konsumenten.

### Robuster Datenaustausch mittels PLC

Damit solche Anwendungen in Zukunft möglich werden, bedarf es zwischen Smart Metern und Stromversorger einer zuverlässigen Datenkommunikation. Eine solche lässt sich über das Mobilfunknetz, das Internet oder ein Glasfasernetz – sofern ein solches vorhanden ist – herstellen. Die wohl günstigste Möglichkeit ist aber die Power Line Communication (PLC), also die Übertragung der Daten direkt über die Stromleitung. Dieser Weg wird von vielen Energieversorgern – so auch von den SIG in Genf – bevorzugt, weil sie zur Datenübertragung ihr eigenes Stromnetz benutzen können. In der Praxis läuft die Datenübertragung vom Stromkonsumenten bis zur nächsten Trafostation dann über PLC. Dort werden die Daten in einem «Datenkonzentrator» gebündelt. Die Datenübertragung zwischen Trafostation und der Zentrale erfolgt dann über Internet oder Mobilfunk. Die gleichen Übertragungswege werden in die Gegenrichtung eingesetzt.

«Leider ist ein schneller und robuster Datenverkehr zwischen Konsument und Trafo-Station mittels PLC heute noch nicht immer gewährleistet», sagt Dominique Roggo, Professor an der Hochschule für Ingenieurwissenschaften der Fachhochschule Westschweiz (HES-SO) Valais-Wallis in Sitten. In einem zweijährigen Pilotprojekt mit dem Namen REMIGATE, das Ende März 2018 zu Ende ging, suchte der an der ETH Zürich



Mehr und mehr Haushalte werden mit Smart Metern ausgerüstet. Deren Daten werden an das Elektrizitätswerk bzw. den Netzbetreiber übermittelt. Für die Datenübertragung zwischen Smart Meter und Trafo-Station (MV/LV Station) wird oft das Stromnetz (Power-Line-Communication/PLC) verwendet. Die Qualität dieser Datenübertragung kann im ungünstigen Fall durch Umrichter und andere Leistungselektronik-Komponenten beeinträchtigt werden. Illustration: D. Roggo

ausgebildete Elektroingenieur mit seinem Forscherteam nach einer Methode, um die Robustheit von PLC auf der Netzseite zu verbessern. Beteiligt waren die Services Industriels de Genève und der Gerätehersteller Landis&Gyr. Das Bundesamt für Energie hat die Untersuchung im Rahmen seines Pilot- und Demonstrationsprogramms unterstützt, finanzielle Hilfe gewährten zudem die EOS Holding und die HES-SO im Rahmen des Energieforschungsverbunds SCCER Furies. «Unser Projekt kann noch nicht mit einer abschliessenden Lösung aufwarten. Unsere Ergebnisse bieten den Verteilnetzbetreibern aber Hilfestellungen, mit dem sie die in ihren Netzen auftretenden Störungen ermitteln und beheben können», so Roggo.

### Störungen verursacht durch Umrichter

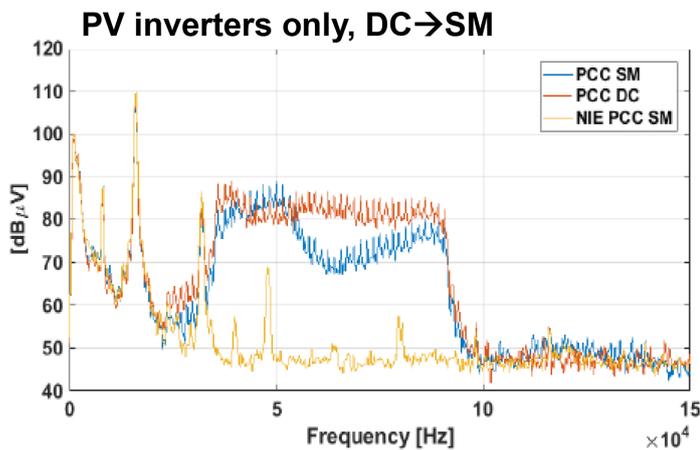
Warum aber gelingt bisher eine schnelle und robuste Datenkommunikation über PLC nicht in der gewünschten Qualität? Ein Grund ist die stark zunehmende Durchdringung des Stromnetzes mit Leistungselektronik. Dazu gehören Umrichter, die eingesetzt werden, um Wechselstrom in Gleichstrom (oder umgekehrt) umzuformen. Ein Beispiel sind die Wechselrichter von Photovoltaik-Anlagen, die den solar erzeugten Gleichstrom so umformen, dass er ins 50-Hertz-Wechselstrom-Netz eingespeist werden kann. Auch in vielen ande-



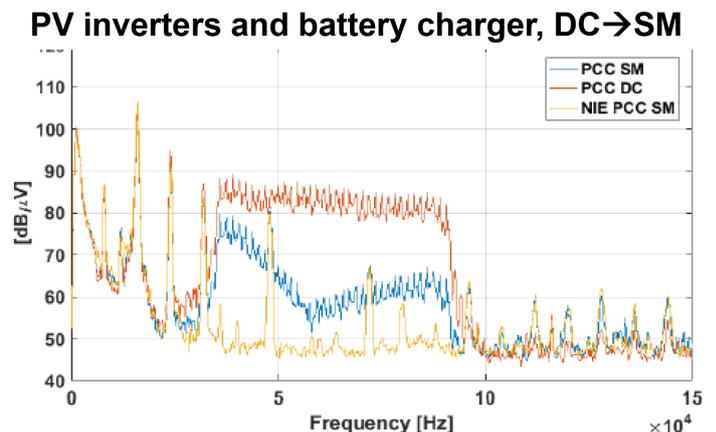
Feldmessung im Niederspannungsnetz von Avusy, einer ländlichen Gemeinde im Südwesten des Kantons Genf. Die Energieeinspeisung von zwei photovoltaischen Anlagen wird von eigenen Smart Metern gemessen. Das dritte Smart Meter misst den Energieverbrauch im Haus. Foto: D. Roggo

ren Elektrogeräten kommen Netzteile mit Störpotenzial zum Einsatz, vom Handyladegerät über die LED-Lampe bis zur Ladestation für Elektroautos.

Das Problem: Umrichter und andere Leistungselektronik-Komponenten arbeiten mit einer Taktfrequenz, die nahe



**G3-PLC : 100%**



**G3-PLC : 0%**

Die Grafiken zeigen die Stärke eines Kommunikationssignals, das der Verteilnetzbetreiber an ein Smart Meter bei einem seiner Stromkunden übermittelt: Die rote Linie zeigt die Stärke des Signals, wenn es den Datenkonzentrator (DC) in der Trafostation verlässt. Die blaue Linie zeigt die Stärke des Signals, wenn es dann beim Smart Meter (SM) eintrifft. In beiden Grafiken wird das Kommunikationssignal geschwächt, wobei diese Schwächung je nach Frequenz stärker oder schwächer ausfällt. In der Grafik links wird die Schwächung des Signals allein durch den Wechselrichter einer PV-Anlage verursacht. In der Grafik rechts ist neben der PV-Anlage auch noch ein Batterieladegerät mit Gleichrichter am Netz: die EMV-Filter der beiden Geräte führen zu einer stärkeren Dämpfung des Kommunikationssignals. Die gelbe Linie zeigt die Oberschwingungen (unerwünschte Emissionen/NIE), d.h. die Störungen, die durch den Wechselrichter der PV-Anlage (links) bzw. durch die Umrichter von PV-Anlage und Batterieladegerät (rechts) verursacht werden. Man erkennt, dass die Oberschwingungen nur bestimmte Frequenzen betreffen. Die Signaldämpfung durch die EMV-Filter betrifft den ganzen Frequenzbereich. Grafik: L. Capponi

oder direkt im Frequenzbereich liegt, der für die PLC-Datenübertragung benutzt wird (ca. 35 bis 91 kHz). Die Arbeitsfrequenz der Umrichter bzw. deren Oberschwingungen können sich mit den Wellen der Smart Meter-Signale überlagern. Diese Überlagerungen (Interferenzen) können die Signalübertragung beeinträchtigen. «Wenn ein Smart Meter einmal im Monat einen Messwert übermittelt, stellen solche Interferenzen kein Problem dar. Wollen Verteilnetzbetreiber aber intelligente Netze aufbauen, in denen Smart Meter rege Daten austauschen, stellen die Störungen ein ernsthaftes Problem dar», sagt Dominique Roggo.

### Feldmessungen in Avusy

Die störenden Einflüsse von Umrichtern auf die Datenübertragung sind schon lange bekannt. Jetzt aber sollen die Niederspannungsnetze, an die PV-Anlagen mitunter in grosser Zahl angeschlossen sind, für eine intensive Datenkommunikation von Smart Metern genutzt werden. Das geht nur, wenn die störenden Einflüsse der Umrichter unter Kontrolle gebracht werden. Die Forscher aus Sitten gingen das Problem in zwei Schritten an: Zunächst begaben sie sich nach Avusy, eine ländliche Gemeinde im Südwesten des Stadtkantons Genf. Hier untersuchten sie einen Abschnitt im Niederspannungsnetz der Services Industriels de Genève (SIG), der 60 mit Smart Metern ausgerüstete Häuser und acht Photovoltaik-Anlagen umfasst. Mit Messungen bestimmten die Wissenschaftler die Übertragungsqualität, indem sie die Datenqualität einerseits beim Smart Meter und andererseits beim Datenkonzentrator in der Trafostation massen und die Ergebnisse dann miteinander verglichen. Waren die PV-Anlagen und die zugehörigen Wechselrichter in Betrieb, verschlechterte sich die Übertragungsqualität. Wie stark die Qualitätseinbusse war, hing auch vom Typ des benutzten Wechselrichters ab.

Um die störenden Einflüsse von Umrichtern einzudämmen, sind diese heute standardmässig mit sogenannten EMV-Filtern (EMV für: elektromagnetische Verträglichkeit) ausgerüstet, die Oberschwingungen zwar nicht vollständig, aber doch wirksam dämpfen. Allerdings haben EMV-Filter einen unliebsamen Nebeneffekt: die Resonanzfrequenz der Filter kann den Wechselstromwiderstand des Stromnetzes (frequenzabhängige Netzimpedanz) ungünstig beeinflussen, wenn die Resonanz nahe bei der Frequenz liegt, die vom PLC-System benutzt wird. In dem Fall werden die Smart-Meter-Signale gedämpft. Anders ausgedrückt: Ausgerechnet jene Filter, die die Datenübertragung mit PLC (durch Unterdrückung der Oberschwingungen) sicherstellen sollen, können die

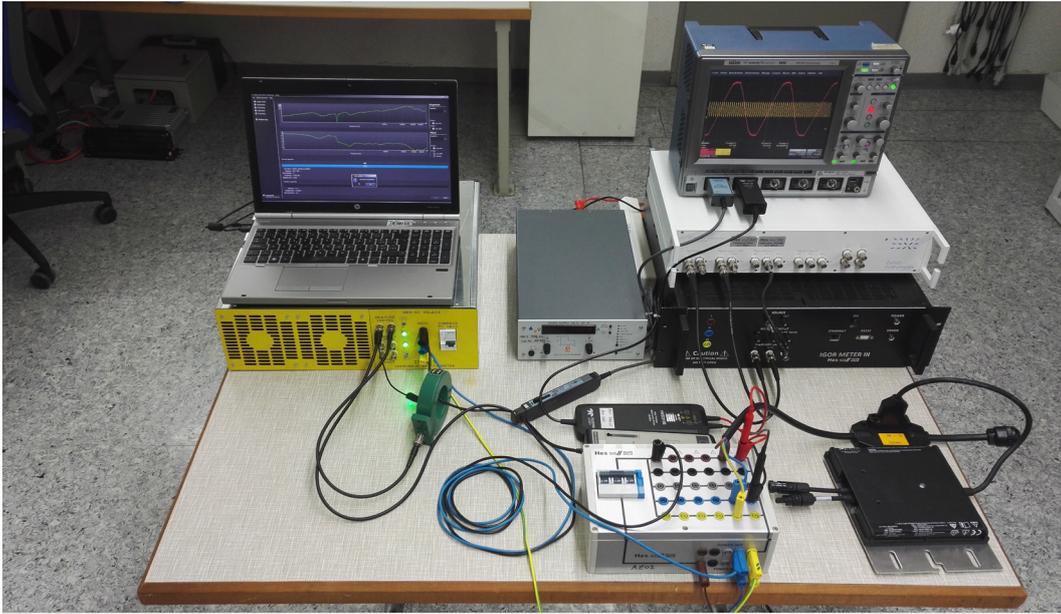
Datenübertragung durch Beeinflussung der Netzimpedanz gefährden. «Unsere Messungen in Avusy haben bestätigt, dass Wechselrichter von PV-Anlagen die Kommunikation der Smart Meter beeinträchtigen. In Niederspannungsnetzen mit mehreren PV-Anlagen kann sich dies zu einem ernsthaften Problem auswachsen», sagt Roggo.

### Fernziel Simulation

Die Erkenntnisse aus den Messungen im Feld verfeinerten die Walliser Forscher anschliessend im Labor. Dazu bauten sie das Verteilnetz von Avusy im Keller der Hochschule in Sitten vereinfacht nach. Eine zentrale Rolle für die Messungen im Feld und im Labor spielte ein selbst entwickelter Netzanalysator («IGOR»), mit dem die Wissenschaftler die Impedanz des Netzes im Frequenzbereich der PLC-Kommunikation bestimmen können. Ein schöner Nebeneffekt des Projektes war, dass die Forscher die Messqualität dieses Geräts verbessern und dessen Stromverbrauch auf einen Fünftel senken konnten. Letzteres ist insofern von Bedeutung, als diese Geräte immer

## INPUT FÜR DIE NORMIERUNGSBEHÖRDEN

Dominique Roggo ist Mitglied des Technischen Komitees 77A («Elektromagnetische Verträglichkeit – Niederfrequente Phänomene») der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC), der massgeblichen internationalen Normierungsbehörde. Daneben ist er Mitglied des Sonderkomitees SC205 «Mains Communicating Systems» des Europäischen Komitees für elektrotechnische Normung (CENELEC). Die Normierungsbehörden müssten der Signaldämpfung durch EMV-Filter vermehrt Beachtung schenken, sagt Roggo. Diese hätten sich nämlich bisher vorwiegend um die Störungen durch Oberschwingungen gekümmert und von der Industrie den Bau von Filtern verlangt, die Oberschwingungen wirksam unterdrücken. Die Normierungsbehörden müssten hier zu einer ganzheitlichen Sicht gelangen, die auch den Preis, die Signaldämpfung durch Netzimpedanz und den Energieverbrauch der Filter mit einbeziehen, fordert Roggo: «EMV-Filter reduzieren die energetische Effizienz der Umrichter um rund 0.5%. Eine sehr starke Dämpfung der Oberschwingungen verursacht sogar Verluste von bis zu 1%. Hier lauert ein Zielkonflikt, denn wir drohen einen wesentlichen Teil der Energieeinsparung, die wir mit Smart Metern zu erzielen hoffen, zu verlieren durch den Einbau von Filtern, die den Einsatz der Smart Meter überhaupt erst möglich machen.» BV



Die aktuelle (links in Gelb) und eine ältere Version (rechts) des Netzanalysators IGOR: Die Walliser Wissenschaftler konnten die Messqualität des Geräts stetig verbessern und dessen Stromverbrauch auf einen Fünftel senken. Foto: A. Ganchino

netzunabhängig betrieben werden, um sicherzustellen, dass sie das Messergebnis nicht selber verfälschen.

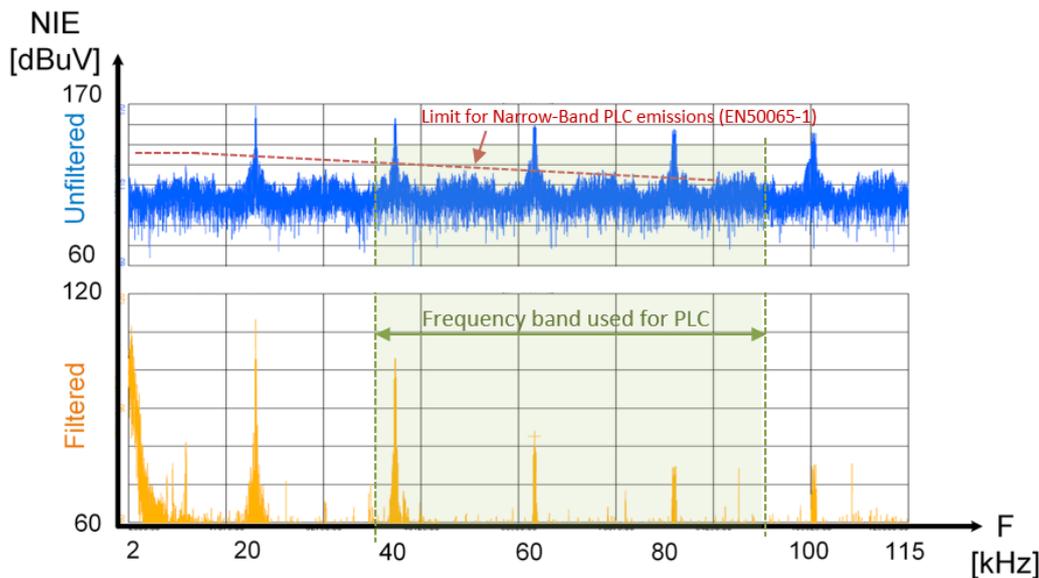
Das Projekt hat zu einem besseren Verständnis von EMV-Filtern in Verteilnetzen und deren Einfluss auf PLC-Kommunikation beigetragen. Die Ergebnisse leisten damit einen Input für die regulatorischen Vorgaben für Oberschwingungen (Non Intentional Emission/NIE), verursacht von netzverbundenen Geräten (vgl. Textbox S.4).

Idealerweise wäre aus dem Pilotprojekt eine Software hervorgegangen, mit der Verteilnetzbetreiber ihre Netze simulieren und die Störwirkung von Umrichtern und zugehörigen Filtern auf den Datenverkehr von Smart Metern nachbilden können. «Dieses Ziel haben wir bisher nur teilweise erreicht. Verteilnetze sind extrem komplexe Gebilde, und entsprechend anspruchsvoll ist es, alle Komponenten mit den zugehörigen Einflussgrößen in einer Simulation abzubilden», sagt Roggo. Nach seiner Aussage bleibt es ein Wunsch, eine Simulation

## WEITERES BFE-PROJEKT FOKUSSIERT AUF DIE SPANNUNGSQUALITÄT

Die Fragestellungen des Walliser Pilotprojekts werden – neben anderen Aspekten zum Thema Spannungsqualität – in dem neuen Projekt «Optimierung von Planung und Betrieb der Verteilnetze unter Berücksichtigung der Spannungsqualität» (OptiQ) weitervertieft. Das Forschungsprojekt wird von Prof. Michael Höckel von der Berner Fachhochschule geleitet, durch die Fachhochschule Westschweiz (HES-SO Valais-Wallis) unterstützt und von sieben Verteilnetzbetreibern – der AEW Energie AG, der BKW Energie AG, dem Energie Service Biel/Bienne, der Energie Thun AG, dem EWZ, der Bündner Repower AG und dem Westschweizer Service Industriels de Genève – getragen. Der Industriepartner Schaffner International AG stellt Filterlösungen zur Verfügung. Das BFE unterstützt die Arbeiten finanziell.

Das Mitte 2017 gestartete Projekt untersucht in den nächsten drei Jahren insbesondere die Spannungsqualität in Niederspannungsnetzen. Letztere wird gerade durch den vermehrten Einsatz von Leistungselektronik, wie zum Beispiel durch Wechselrichter von PV-Anlagen (vgl. Hauptartikel), welche die Netzimpedanz in ihrem Frequenzverlauf entscheidend verändern kann, stark beeinflusst. Über Messung und Simulation werden Grundlagen erarbeitet und gemeinsam mit den Verteilnetzbetreibern Empfehlungen erarbeitet. Darüber hinaus werden Hilfsmittel für die Zielnetzplanung entwickelt. BV



Für die Datenkommunikation von Smart Metern wird der Frequenzbereich zwischen 35 und 91 kHz verwendet. Das Europäische Komitee für elektrotechnische Normung (CENELEC) hat für PLC-Signale Maximalwerte von 120 dB bis 134 dB festgelegt (rote Linie). Die Maximalwerte stellen sicher, dass andere am Stromnetz angeschlossene Komponenten keinen Schaden durch die PLC-Signale nehmen. Nun erzeugen die Umrichter von Photovoltaik-Anlagen aber unerwünschte Oberwellen («non intentional emissions»/ NIE), die mit dem PLC-Signal interferieren und zu einer Überschreitung des CENELEC-Maximalwerts führen können (blau). Um diese Überschreitung zu vermeiden, werden die Oberwellen der Umrichter gefiltert: Dank Filterung werden die CENELEC-Maximalwerte eingehalten (orange). Grafik: D. Roggo

zu entwickeln, die Verteilnetzbetreiber in ihre bestehenden Netzmodelle integrieren könnten. «Das wäre eine faszinierende Aufgabe für ein Spin-off, das aus unseren bisherigen Erkenntnissen ein kommerzielles Produkt entwickelt.»

### Optimale Punkte für Smart Meter bestimmen

Verteilnetzbetreiber wie die SIG verfolgen die aktuellen Forschungsaktivitäten mit grossem Interesse. «Wir erwerben hier wichtiges Knowhow, das uns in Zukunft helfen wird, unseren Endkunden erprobte Lösungen anbieten zu können», sagt Fabrice Decorvet, der das Pilotprojekt für die SIG begleitet hat. «Aus den Untersuchungen werden Simulationswerkzeuge hervorgehen, mit denen wir die optimalen Einbaupunkte für die kommunikationsfähigen Stromzähler in unserem Verteilnetz bestimmen können. Auch werden wir Kommunikationsprobleme über PLC schnell erkennen und wirksam beheben können. Schliesslich stellt das Projekt die Grundlagen bereit, dass wir die Netze unseren Bedürfnissen entsprechend ausrüsten können.»

- Weitere **Auskünfte** zu dem Projekt 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](http://www.bfe.admin.ch/CT/strom).

## PILOT-, DEMONSTRATIONS- UND LEUCHTTURMPROJEKTE DES BFE

Das REMIGATE-Projekt der Fachhochschule Westschweiz (HES-SO) Valais-Wallis in Sitten (VS) zur Datenkommunikation zwischen Smart Metern gehört zu den Pilot- und Demonstrationsprojekten, mit denen das Bundesamt für Energie (BFE) die Entwicklung von sparsamen und rationellen Energietechnologien fördert und die Nutzung erneuerbarer Energien vorantreibt. Das BFE fördert Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte mit 40% der nichtamortisierbaren, anrechenbaren Kosten. Gesuche können jederzeit eingereicht werden.

- [www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration](http://www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration),  
[www.bfe.admin.ch/leuchtturmprogramm](http://www.bfe.admin.ch/leuchtturmprogramm)