

# STROMNETZ-MONITORING VIA DAS STROMNETZ

Gut überwachte Netze sind das Rückgrat einer zuverlässigen Stromversorgung. Moderne Monitoringsysteme helfen, allfällige Störungen schnell aufzudecken und zu beheben. Ein entsprechendes System ist im europäischen Übertragungsnetz seit Jahren Realität. Künftig dürften vergleichbare Monitoringsysteme auch im Verteilnetz zum Einsatz kommen. Um dies zu ermöglichen, arbeiten Wissenschaftler der Hochschule Luzern an einer kostengünstigen und zuverlässigen Datenkommunikation über das Stromnetz (PLC). Sie schaffen damit die Grundlage für leistungsfähige Monitoringsysteme auf der Grundlage von Phasor Measurement Units (PMU) und darauf basierenden Schutz- und Automationslösungen.



Prof. Ulrich Dersch auf dem Campus der Hochschule Luzern Technik & Architektur in Horw. Die Leitungsmasten im Hintergrund gehören zu dem erweiterten Laborversuch, mit dem die Luzerner Forscher die Latenzanforderungen an die Übertragung von PMU-Daten über das Mittelspannungsnetz untersucht haben. Foto: B. Vogel

Schon früh wurden die elektrisch leitenden Kabel von Stromnetzen genutzt, um neben Elektrizität auch Informationen zu übermitteln. Dazu gehörten Radioprogramme, Telefongespräche, Steuerungssignale für Elektrogeräte und in neuerer Zeit auch Computerdaten. Die Datenübertragung über das Stromnetz – gemeinhin als «Power Line Communication» oder kurz PLC bezeichnet – hat einen grossen Vorteil: Statt für die Datenübertragung ein eigenes Leitungs- oder Funknetz bauen zu müssen, können die bestehenden Kupferleitungen genutzt werden. Auf diesem Weg lassen sich Computer ohne die Verlegung neuer Kabel zu Netzwerken zusammenschliessen oder der Internetanschluss vom Router mit hoher Datenrate in einen benachbarten Raum verlängern.

Die Nutzung von PLC spart Kosten – und Gewicht. Diese Vorzüge machen Power Line Communication interessant für Anwendungen beispielsweise für die Datenkommunikation in Zügen oder Flugzeugen. In einem Airbus 380 liegen 500 km Datenkabel mit einem Gesamtgewicht von 5.7 Tonnen. «Mit PLC liessen sich in einem Grossraumflugzeug bis zu eine Tonne Gewicht sparen, und wenn man das Bordnetz von Zügen für die Datenübertragung nutzt, werden erhebliche Kosteneinsparungen möglich», sagt Prof. Ulrich Dersch von der Hochschule Luzern Technik & Architektur (HSLU) in Horw. Der promovierte Physiker hat bei Ascom zwei Jahrzehnte im Bereich PLC geforscht, bevor er 2008 als Dozent und Forscher an die HSLU wechselte.

### **Mittelspannungsnetze unter Kontrolle**

PLC für Flugzeuge und Züge sind aktuelle Forschungsgebiete, die Dersch mit einem rund 20-köpfigen Team im Kompetenzzentrum für Intelligente Sensoren und Netzwerke (CC ISN) der HSLU bearbeitet. Ein drittes Gebiet, in dem der Einsatz von PLC grosse Vorteile verspricht, ist das Stromnetz. Dieses besteht in der Schweiz aus dem von Swissgrid betriebenen, landesweiten Höchst- und Hochspannungsnetz sowie den Verteilnetzen auf Mittel- und Niederspannungsebene in der Hand von rund 600 Schweizer Verteilnetzbetreibern. Das europäische Übertragungsnetz ist schon seit Jahren mit einem modernen Monitoringsystem ausgerüstet, welches erlaubt, im Swissgrid-Kontrollzentrum in Aarau den Netzzustand in Echtzeit zu erkennen und ohne Zeitverzug zu reagieren. Grundlage des Monitoringsystems sind an weit auseinanderliegenden Netzknoten installierte Messgeräte («Phasor Measurement Units/PMU»), die Spannung und Strom 50 mal pro Sekunde ermitteln und die Messdaten zur Auswertung an die Swissgrid-Zentrale übermitteln. Alle Daten sind mit einem

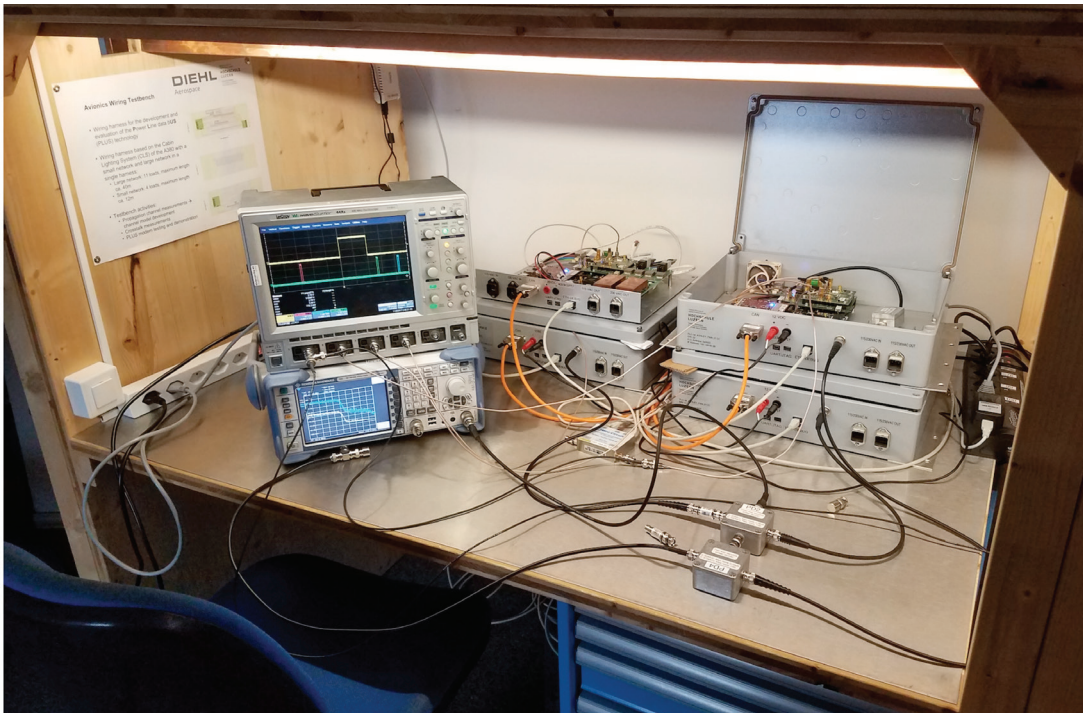
Zeitstempel versehen. So lässt sich der Zustand des Gesamtnetzes praktisch in Echtzeit überwachen.

Ein vergleichbares Monitoringsystem wäre auch für die Verteilnetze wünschbar. Die zunehmende dezentrale Einspeisung von Strom aus Sonne, Biomasse und Wind verlangt nämlich nach einer zuverlässigen Überwachung auch dieser Stromnetze. Allerdings lässt sich das europaweite Monitoringsystem mit PMU nicht 1 zu 1 auf die Verteilnetze übertragen, denn die Leitungslängen sind in den Verteilnetzen kürzer. Die PMU müssen daher zeitlich mit einer höheren Genauigkeit synchronisiert werden. Geeignete PMU für das Mittelspannungsnetz werden beispielsweise von Zaphiro Technologies

## **WIE PMU DEN ZUSTAND EINES STROMNETZES BESTIMMEN**

Zur frühzeitigen Erkennung, Analyse und Behebung von Spannungs- und Frequenzabweichungen sowie von Schwingungsphänomenen werden in den Übertragungsnetzen seit einigen Jahren «Wide Area Monitoring & Control» (WAMC) -Systeme eingesetzt. Dabei messen im Netz verteilte «Phasor Measurement Units» (PMU) in der Regel 50 mal pro Sekunde die Amplituden von Spannung und Strom. Spannung und Strom sind harmonische, sinusförmige Schwingungen, deren Amplitude, Frequenz und Phasenwinkel man in Form eines Phasors darstellen kann. Die PMU sind untereinander sehr exakt auf eine gemeinsame Uhrzeit synchronisiert. Aus den Messwerten der PMU lassen sich beispielsweise Netzzustand und dynamische Phänomene wie Leistungspendelungen ablesen oder auch Fehler lokalisieren. Künftig können PMU auch einen wichtigen Beitrag zum Netzschutz liefern.

Damit die Phasor-Messwerte der verschiedenen PMU miteinander verglichen werden können, wird jede Messung mit einem sehr präzisen Zeitstempel (Genauigkeit in der Größenordnung von Mikro-/Nanosekunden) versehen; mit dem Zeitstempel wird der Phasor zum Synchrophasor. Dafür braucht man eine Bezugszeit. Die Bezugszeit kann z.B. mit einem GPS-Signal zur Verfügung gestellt werden, sofern ein solches zur Verfügung steht, oder mit einem Netzwerkprotokoll, einem Verfahren, das die am Netzwerk angeschlossenen Geräte synchronisiert. Die Messdaten müssen von den PMU sehr schnell (kurze Latenzzeit) an die zentrale Analyseinheit übermittelt werden, wo sie weiter verarbeitet werden. BV



Teile des Labor-Testaufbaus an der Hochschule Luzern Technik & Architektur. Foto: HSLU

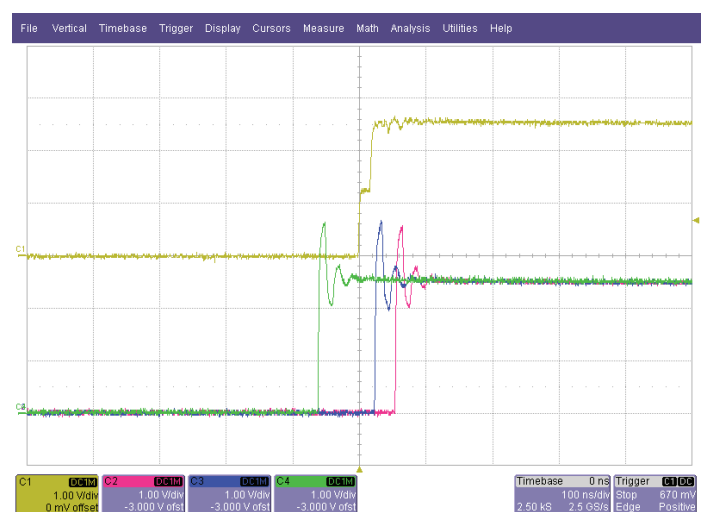
angeboten. Das Start-up der ETH Lausanne hatte diese Technologie unter anderem im Rahmen eines P+D-Projekts des Bundesamts für Energie entwickelt und im Verteilnetz der Stadt Lausanne erfolgreich erprobt. Ein zweites Problem besteht darin, die mit einem präzisen Zeitstempel versehenen PMU-Daten schnell (d. h. mit genügend kurzer Latenzzeit) und zuverlässig an die Zentrale zu übermitteln. Das Forscherteam um Ulrich Dersch will nun diese beiden Ziele – schnelle Datenübertragung und gleichzeitig präzise Zeitsynchronisation mit dem PLC-Signal – im Mittelspannungs-Verteilnetz erreichen, indem für die Datenübertragung das Stromnetz selber genutzt wird. Die Grundlagen dafür haben die Wissenschaftler von 2016 bis 2018 in zwei Forschungsprojekten mit Unterstützung des BFE erarbeitet.

### PLC gewährleistet Auswertung von PMU-Daten

Die beiden Hauptergebnisse der Studien lassen sich jeweils in einer Zahl zusammenfassen: Mit ihrem ersten Projekt zeigten die Luzerner Forscher, dass die verschiedenen PMU im Mittelspannungsnetz auf 0,5 Mikrosekunden genau synchronisiert werden können, und dies ohne Rückgriff auf eine GPS-Lösung, die zwar hochgenau, allerdings relativ teuer und stör anfällig ist. Damit ist der für Hoch-/Höchstspannungsnetze geltende Maximalwert (3,1 Mikrosekunden) deutlich unterschritten. Ist diese Synchronisierung aber auch genau genug, damit das Monitoring eines Mittelspannungsnetzes mittels

PMU verlässlich funktioniert? «Diese Frage ist noch nicht abschliessend geklärt, dafür müssen wir weitere Untersuchungen in einem realen Mittelspannungsnetz machen», sagt Ulrich Dersch.

Im zweiten Projekt, das Ende 2018 abgeschlossen wurde, lieferten die Forscher im Labor und in einem anschliessenden erweiterten Laborversuch den Nachweis, dass die La-



Beispiel einer Synchronisation von drei PLC-Modems mithilfe eines Referenz-Signals (gelb). Die Unterteilung der x-Achse ist 100 Nanosekunden (ns). Man erkennt, dass die drei Modems innerhalb +/- 150 ns synchronisiert sind. Grafik: HSLU

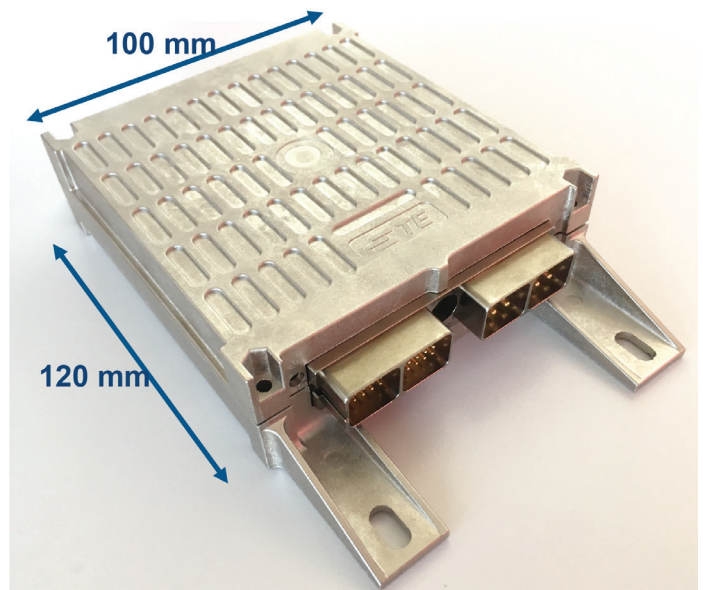
tenzanforderung von unter 20 Millisekunden für die Datenübertragung mit PLC im Mittelspannungsnetz von den PMU zur zentralen Analyseeinheit möglich ist. «Sollten sich diese beiden Resultate im Feld bestätigen, steht mit der entwickelten PLC-Technologie eine sehr kostengünstige Lösung für die Datenkommunikation und gleichzeitig Zeitsynchronisation für sehr leistungsfähige PMU-basierte Monitoring- und darauf basierende Schutz- und Automationslösungen im Mittelspannungsnetz zur Verfügung», sagt Dersch.

Offen bleibt vorerst die Frage, wie PLC im Vergleich zu alternativ möglichen Kommunikationstechnologien (wie Mobilfunk, Glasfaser) insbesondere bezüglich Kosten abschneidet. Diese Frage wollen Ulrich Dersch und sein Forscherteam gemeinsam mit dem Energiekonzern BKW und dem PMU-Technologieanbieter Zaphiro in einem vom BFE unterstützten Pilotprojekt klären.

### Günstige Lösungen für Verteilnetzmonitoring

Dr. Michael Moser, im Bundesamt für Energie für das Forschungsprogramm Netze zuständig, ist überzeugt, dass eine entsprechende Lösung im Markt auf eine Nachfrage stossen wird: «Mit dem Ausbau der Photovoltaik und anderer dezentraler Stromeinspeisung werden Verteilnetzbetreiber kostengünstige Lösungen für die Überwachung und Automatisierung ihrer Mittel- und Niederspannungsnetze brauchen», sagt Moser.

Er verweist auf innovative Lösungen, die in den letzten Jah-



Aktueller Prototyp des PLC-Modems der Hochschule Luzern Technik & Architektur. Foto: HSLU

ren bereits unter den Namen Gridbox, GridEye und GridSense entwickelt wurden (vgl. BFE-Fachartikel «Augen im Stromnetz», abrufbar unter [www.bfe.admin.ch/CT/strom](http://www.bfe.admin.ch/CT/strom)). Diese und vergleichbare Systeme bedürfen einer möglichst genauen Zeitbasis und müssen vor allem auch ihre Daten kommunizieren. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass die Zeitsynchronisierung über GPS-Antennen relativ teuer sowie sabotageanfällig sind., wie Michael Moser ausführt: «Die Er-

## NACH SPANISCHEM VORBILD

Die Datenübertragung über das Niederspannungsnetz wird heute schon weltweit millionenfach für die Zählerfernauslesung erfolgreich eingesetzt. Weniger verbreitet ist PLC bisher in Mittelspannungsnetzen. Als Vorbild für die Nutzung des Mittelspannungsnetzes zur Datenübermittlung verweist Ulrich Dersch auf den spanischen Energiekonzern Iberdrola SA. Das Unternehmen hat seit 2008 rund elf Millionen Kunden mit Smart Metern ausgestattet, wobei die Daten über das Niederspannungsnetz mit PLC an Datenkonzentratoren in den Ortstrafostationen übertragen werden. Den Weg von den Trafostationen zur Zentrale des Energiekonzerns legen die Daten teilweise über die Mittelspannungsleitungen per PLC zurück. Dafür werden Zellen von 10 bis 15 Trafostationen gebildet, die untereinander kommunizieren und die Daten schliesslich zu einem Punkt bringen, von wo sie über einen Anschluss an das öffentliche Netz (DSL, Mobilfunk) in die Zentrale gelangen.

Auch wenn Iberdrola PLC bisher nicht für Netzmonitoring nutzt, zeigen die nun bald 10-jährigen Erfahrungen, dass PLC auch auf der Mittelspannungsebene zuverlässig und kostengünstig arbeitet. Die gemessene mittlere Verfügbarkeit der PLC-Installationen ist mit 99.95% deutlich höher als für die Mobilkommunikations-Installationen mit 99.6%. Wie gross der Unterschied ist, wird deutlich, wenn man die jährlichen Ausfallzeiten in absoluten Werten vergleicht: 35 Stunden gegenüber 4.5 Stunden. BV

kenntnisse der Luzerner Forscher zur Datenübertragung per Stromnetz können dabei helfen, den Monitoringsystemen auf Ebene der Verteilnetze zum Durchbruch zu verhelfen.»

- Die **Schlussberichte** zu den beiden HSLU-Projekten «Precise Time Synchronization of Phasor Measurement Units with Broadband Power Line Communications» und «Mission- & Time Critical Medium Voltage Broadband Power Line Communications für Synchrophasor-Applikationen im Verteilnetz» finden Sie unter:  
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=38158>  
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40191>
- **Auskünfte** zu dem Projekt erteilt Prof. Dr. Ulrich Dersch ([ulrich.dersch@hslu.ch](mailto:ulrich.dersch@hslu.ch)), Leiter Kompetenzzentrum Intelligent Sensors and Networks an der Hochschule Luzern Technik & Architektur.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Netze finden Sie unter [www.bfe.admin.ch/ec-strom](http://www.bfe.admin.ch/ec-strom).