Geben und Nehmen

Lastflussmanagement für Prosumer-Haushalte im Labor nachgebildet

Um Systemkomponenten in modernen Privathaushalten wirklichkeitsgetreu und reproduzierbar testen zu können, setzt die Berner Fachhochschule (BFH) auf die Nachbildung eines kompletten Gebäudes mit einem HIL-Prüfstand. Dabei kommt die MicroLabBox zur Steuerung einzelner Systeme und zur Regelung der Emulationsumgebung zum Einsatz.

Moderne Haushalte entwickeln sich zunehmend zu komplex vernetzten Gebäuden. Photovoltaikanlage, Batteriespeicher, Wärmepumpe und Energiemanagementsystem (EMS) treten in Interaktion und erhöhen so den Eigenverbrauch der erzeugten Energie. Solche Haushalte, die nicht nur Energie konsumieren, sondern auch produzieren, werden Prosumer genannt. Energiemanagementsysteme, die die Stromflüsse im Haushalt intelligent steuern, sorgen in Zukunft für eine aktivere Teilnahme dieser Prosumer am Strommarkt. Sie steuern beispielsweise das Lade- und Entladeverhalten einer Batterie oder die Schaltung der Wärmepumpe. Dazu müssen sie unterschiedlichste Schnittstellen und Kommunikationsprotokolle ansteuern können. Mit einem EMS lässt sich allerdings nicht nur der Eigenverbrauch des Stromes optimieren, sondern auch die Spannungsqualität im Niederspannungsnetz stabilisieren. Das Charakterisieren und Erforschen von bewährten und neuartigen Komponenten moderner Haushalte unter kontrollierten Bedingungen erfordert daher Prüfstände, die die Einbindung und Vernetzung unterschiedlichster elektrischer Geräte ermöglichen. Dadurch kann das Zusammenspiel dieser Komponenten sowie deren Einflussmöglichkeiten auf das Niederspannungsnetz in einer realitätsnahen Umgebung untersucht und optimiert werden.

Der moderne Haushalt als HIL-Prüfstand

Das Prosumer-Lab der Berner Fachhochschule bildet einen modernen Haushalt im Labor nach. Der dafür verwendete Hardware-in-the-Loop (HIL)-Prüfstand ermöglicht das Testen, Vergleichen und Entwickeln von Systemkomponenten unter kontrollierten, reproduzierbaren Bedingungen. Möglich ist das durch eine Kombination von Software-Simulation und Hardware-Emulation mit auf dem Markt erhältlichen Systemkomponenten wie Batterien und Wechselrichtern. Dadurch können die elektrischen und thermischen Energieflüsse eines Haushalts mit Photovoltaik, Wärmepumpe, Batteriespeicher und Energiemanagementsystem bis zum Netzanschlusspunkt mit echten Spannungen und Strömen nachgebildet werden. Konkret geht es um folgende Fragestellungen: Wie können die Energieflüsse im Gebäude mittels Energiemanagementsystem intelligent gesteuert werden? Was bringen dezentrale Stromerzeugung und Speicher für die Stabilität der Netze? Und wie erreicht man eine markttaugliche Integration dezentraler Prosumenten in das Niederspannungsnetz?

Modularer Prüfstand mit hoher Flexibilität

Die Rechner des Prosumer-Labs emulieren die Verbraucher eines Hauses (Wärmepumpe, Boiler, Kochherd, ...) und bilden deren elektrisches Verhalten im Labornetz des Prosumer-Labs bis zu einer maximalen Leistung von 50 kVA reproduzierbar nach. Ein weiteres Emulationsgerät ermöglicht die Erzeugung eines eigenen Stromnetzes, wobei Spannungsqualitätsmerkmale wie harmonische Schwingungen oder Spannungseinbrüche beliebig eingestellt werden können. Acht Photovoltaik (PV)-Emulatoren bis jeweils 5 kW können PV-Anlagen unterschiedlicher Dachausrichtung nachbilden. Weitere Komponenten wie die Batterie, die PV-Wechselrichter oder das EMS sind aber real vor Ort eingebaut und können so unter echten Bedingungen getestet werden.

Die im Prüfstand verwendeten Simulationen werden insbesondere zur Berechnung thermischer Profile und der Abbildung thermischer Komponenten eingesetzt, da sich diese im Prüfstand nur schwer real und reproduzierbar integrieren ließen. So werden über eine thermische Gebäudesimulation beispielsweise Profile für Raumtemperaturen, Warmwasserbedarf, Wärmepumpen oder Verluste in thermischen Speichern ermittelt. Abbil- >>

Batterien, Emulatoren, Schalt- und Regelungstechnik für das Lastflussmanagement.

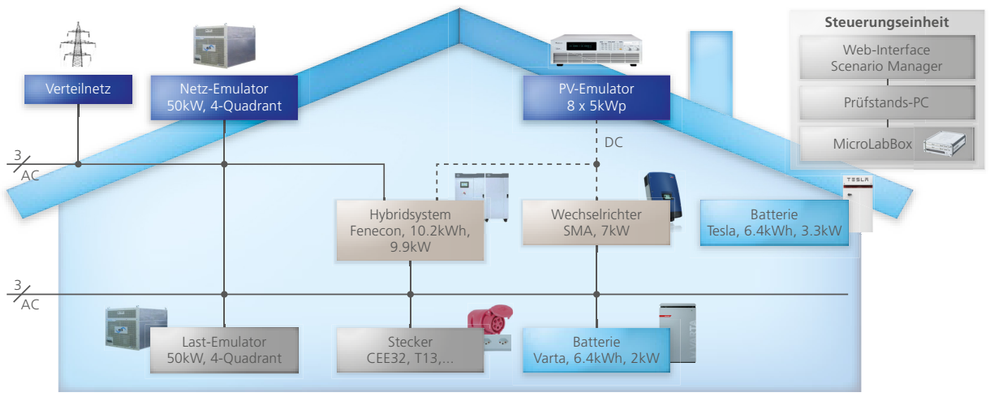
> „Dank der vielfältigen analogen und digitalen Schnittstellen, den unterschiedlichen Kommunikationsprotokollen sowie Bussystemen wie Ethernet bietet die MicroLabBox enorme Flexibilität für die häufig und schnell wechselnden Anforderungen in der Forschung."
>
> *Steffen Wienands, Fachhochschule Bern*

dung 1 zeigt den bewusst modular und flexibel gestalteten Aufbau der Testumgebung, um die Komponenten einfach zu- und abzuschalten. So können Haushalte mit unterschiedlichen Systemkomponenten im Prosumer-Lab nachgebildet werden. Dabei verfügen die Emulationsgeräte und real vorhandenen Systemkomponenten über unterschiedlichste Schnittstellen und Kommunikationsprotokolle. Eine besondere Herausforderung besteht daher in der Vernetzung der Prüfstandsgeräte. Zudem soll für einzelne Emulationsgeräte eine übergeordnete Regelung programmiert werden. Für die Aufprägung von Strom- und Spannungsphänomenen muss diese echtzeitfähig sein und mit einer Auflösung von 10 kHz arbeiten können.

Zentrale Steuerung der Prüfstandshardware

Mit der MicroLabBox ist eine hohe Flexibilität auf dem Prüfstand gewährleistet, vor allem dank ihrer vielen Schnittstellen für Ethernet, RS485 sowie analoge und digitale I/O. Die Vielzahl der unterschiedlichen Schnittstellen, über die die MicroLabBox die Geräte des Prüfstands steuert, wird in Abbildung 2 dargestellt. Die auf den Geräten umzusetzenden Werte werden dabei insbesondere vom Scenario Manager oder der Simulationssoftware berechnet und anschließend über die MicroLabBox auf dem Prüfstand umgesetzt. Der Regelungsalgorithmus für den Lastemulator ließ sich nach einer ausführlichen Systemanalyse leicht in MATLAB®/Simulink® implementieren. Die Regelung erhöht die Genauigkeit der Sollwertvorgabe auf den Emulatoren und erweitert deren Funktionen um die Möglichkeit, Strom- und Spannungsphänomene aufzuprägen. Die dafür gewünschte Auflösung von 10 kHz konnte bereits ohne FPGA-Programmierung erreicht werden. Die MicroLabBox dient somit als zentrale Steuerungseinheit aller Prüfstandsgeräte – sie übergibt Sollwerte und liest momentane Istwerte der Geräte aus. Um die Daten komfortabel zur Verfügung zu stellen, wurde eine Web-Applikation realisiert, die eine Server-Client-Struktur einrichtet. Die MicroLabBox ist hier per ASAM XIL API angebunden. Über den ASAM XIL MAPort (Model Access Port) kann das Programm während des laufenden Betriebs auf Applikationswerte zugreifen, diese aufbereiten und direkt anzeigen oder zu weiteren Auswertungen exportieren.

Abbildung 1: Elektrische Stromflüsse und modulares Konzept des Prosumer-Lab-Prüfstands.



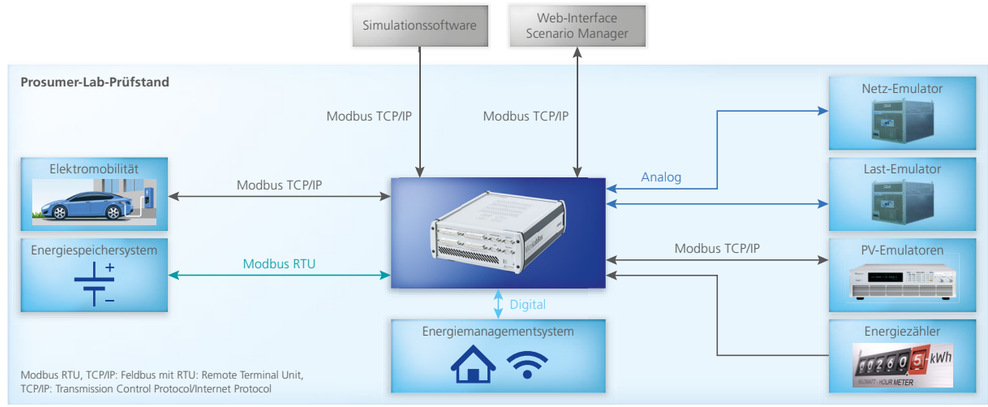


Abbildung 2: Externer Zugriff auf das Echtzeitsystem.

Inbetriebnahme abgeschlossen

Die Inbetriebnahme des Prüfstands wurde mit einer Leistungsanalyse abgeschlossen. Hierbei wurde insbesondere die implementierte Regelung des Lastemulators mit 10 kHz durch die MicroLabBox mit externen Mess- und Analysegeräten überprüft. Die Resultate zeigen, dass durch die Steuerung des Lastemulators über die MicroLabBox eine signifikante Verbesserung der Leistungsumsetzung erreicht wurde. Die Lastemulator-Regelung zeichnet sich in der Betriebsart durch große Flexibilität und eine hohe Genauigkeit über den gesamten Leistungsbereich aus.

Zusammenfassung und Ausblick

Durch das Echtzeitsystem konnten unterschiedlichste Prüfstandsgeräte miteinander vernetzt und eine zentrale Steuerungseinheit erstellt werden. Über den ASAM-XIL-Standard ist der Zugriff auf die MicroLabBox jederzeit möglich. Mit diesem HIL-Prüfstand können Systemkomponenten bereits frühzeitig in verschiedenen Entwicklungsstufen oder im fertigen, marktreifen Zustand getestet werden – über die Schnittstellen, die Kommunikationsprotokolle und die Steuerungsalgorithmen bis hin zum realitätsnahen Zusammenspiel der Komponenten im Prosumer-Haushalt. Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme des Prüfstands konnten erste Tests von Energiemanagementsystemen auf dem Prosumer-Lab-Prüfstand durchgeführt werden. Weitere, detailliertere Tests und die Entwicklung eines neuen EMS-Algorithmus stehen auf der Agenda. Zukünftige Projekte mit interessierten Partnern aus Industrie und Forschung werden zum Beispiel in den Bereichen Energiemanagementsysteme, Ladestationen für Elektromobilität oder Batteriespeichern lanciert. ■

Steffen Wienands, Andrea Vezzini, Berner Fachhochschule

Steffen Wienands, Berner Fachhochschule
Steffen Wienands ist stellvertretender Projektleiter des Prosumer-Labs am BFH-Zentrum Energiespeicherung.

Andrea Vezzini, Berner Fachhochschule
Andrea Vezzini ist Professor für Industrieelektronik an der Berner Fachhochschule und leitet das BFH-Zentrum Energiespeicherung.