

Energie- und Engpassmanagement im photovoltaisch geprägten elektrischen Verteilnetz mit dem ISET-BEMI+[®]

David Nestle, Jan Ringelstein

Institut für Solare Energieversorgungstechnik e.V., Verein an der Universität Kassel,
Königstor 59, 34119 Kassel,

Phone: +49 561 7294 208, Fax: +49 561 7294200, Mail: jringelstein@iset.uni-kassel.de

Kurzform

In Verteilnetzen mit steigendem Anteil von dezentralen Erzeugungsanlagen (DEA) gewinnen Engpassmanagement und Spannungshaltung zunehmend an Bedeutung. Im Niederspannungsnetz (NSN) sind Spannungsüberhöhungen durch Einspeisung aus Photovoltaik(PV)-Anlagen und anderen DEA möglich, die erstes Anzeichen für einen drohenden Netzengpass sind und unerwünschte Auswirkungen auf angeschlossene Lasten haben. Wegen der vorwiegend ohmschen Leitungsimpedanzen ist die Spannungssenkung im NSN durch Blindleistungseinspeisung kaum möglich. Neben dem Netzausbau ist eine mögliche Abhilfe die Wirkleistungs-drosselung, vorzugsweise von DEA, die speicherbare Primärenergieträger nutzen. Alternativ ist die Zuschaltung von Lasten möglich. Um eine hohe Kundenakzeptanz zu erreichen, sollten derartige Eingriffe aber durch geeignete Anreize, vor allem einem variablen Strompreis erreicht werden. Dieser Beitrag stellt dazu ein Verfahren vor, das auf Bidirektionalen Energiemanagement Interfaces (BEMIs) basiert und anhand einer Simulation untersucht wurde.

Abstract

In distribution grids with increasing share of distributed generation (DG), congestion management and voltage control become more and more important. In the low voltage grid DG using photovoltaics or other energy sources cause rising grid voltages, which are a first sign on a possible grid overload and have undesired effects on connected loads. Due to the mainly ohmic line impedances in the low voltage grid, voltage control by reactive power is hardly possible. Apart from grid reinforcements, dera-

tion of active power infeed - preferably of DG using storable fuels – or alternatively connection of additional loads are possible alternatives. For obtaining a high customer acceptance, such measures should be coupled with appropriate incentives, e.g. a variable tariff. The paper presents such a method based on bidirectional energy management interfaces (BEMIs), which was studied by means of a simulation.

1. Einführung

Neue Herausforderungen für den Netzbetrieb durch die Installation regenerativer dezentraler Erzeugungsanlagen (DEA) werden in Forschung und Praxis bereits seit langem diskutiert und gewinnen angesichts der zunehmenden Verbreitung von DEA in den Mittel- und Niederspannungsnetzen immer mehr an Bedeutung. Dies findet in aktuellen Neufassungen für regulatorische Vorschriften und technischen Anschlussrichtlinien mehr und mehr Ausdruck. So enthält das in 2008 verabschiedete, novellierte EEG die Vorschrift, dass DEA mit einer Nennleistung über 100 kW eine Fernüberwachung der Anlagenleistung mit der Möglichkeit zur Abregelung erlauben müssen, damit der Netzbetreiber im Falle eines Netzengpasses ein Einspeisemanagement durchführen kann. Die neue Richtlinie zum Anschluss von Eigenerzeugungsanlagen an das Mittelspannungsnetz enthält Bestimmungen zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen durch DEA. Im geplanten Pendant für die Niederspannung sind ähnliche Bestimmungen im Gespräch. Alle neuen Bestimmungen betreffen auch Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen).

Andererseits ist bekannt, dass ein Energiemanagementsystem durch laststeuernde Maßnahmen oder eine zeitliche Verlagerung der Einspeisung aus Kraft-Wärme-Kopplungs (KWK)-Anlagen einer Netzüberlastung entgegenwirken kann. Das im Forschungsprojekt DINAR vom ISET entwickelte und erprobte Bidirektionale Energiemanagement Interface (BEMI) ermöglicht den Aufbau eines solchen Energiemanagementsystems, das speziell auf eine sehr hohe Zahl unabhängig betriebener Erzeuger und Lasten in Niederspannungsnetzen zugeschnitten ist und zudem eine Überwachung des Netzzustands erlaubt.

2 Strategie, Simulation und Umsetzung des ISET- BEMI+[®]

2.1 Strategie: Konzept der dezentralen Entscheidung



Abb. 1: BEMI-Demonstrationsaufbau

Die Strategie des BEMI basiert auf dem Prinzip der dezentralen Entscheidung auf Grund zentraler und dezentraler Information [1]. Hierbei optimiert das BEMI als Manager am Gebäudeanschlusspunkt (Zählerkasten) die Einsatzpläne von Lasten und DEA im Gebäude automatisch. Die Optimierung basiert auf variablen Tarifprofilen für Stromverbrauch und -Erzeugung, die das BEMI mindestens einmal täglich von übergeordneter Stelle, z.B. einem Energiedienstleister (EDL), erhält. Aufgrund dieser Tarife minimiert das BEMI die Verbrauchskosten bzw. maximiert die Einspeiseerlöse des Kunden, indem es den Betrieb der gemanageten Lasten bzw. DEA zeitlich verschiebt. Dabei werden abhängig vom jeweiligen Gerät Nebenbedingungen berücksichtigt, wie z.B. die Kühltemperatur eines Kühlgeräts oder die Speichertemperatur im Warmwasserspeicher einer KWK-Anlage. Der EDL hat seinerseits die Möglichkeit, mittels der Tarifvorgabe den Betrieb der Gesamtheit der angeschlossenen Geräte zu beeinflussen, ohne direkten Einfluss auf den Bereich des Kunden zu nehmen. Mittels Simulationsuntersuchungen wurde gezeigt, dass bei hoher Anzahl an BEMIs von 1000 und mehr eine zielgerichtete, verlässliche und vorhersagbare Beeinflussung des Gesamtlastverlaufs möglich ist. Neben dem Rechnerkern, der das automatische Energiemanagement durchführt, enthält das BEMI fernauslesbare Last- und Erzeugungsgangzähler, eine Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Interaktion mit dem Kunden sowie Messgeräte zur Erfassung und Fernauslesung von physikalischen Messwerten am Netzanschlusspunkt, wie z.B. Netzspannung oder -impedanz.

Das zum Patent angemeldete Konzept wurde praktisch umgesetzt und im DeMoTec-Labor des ISET anhand zweier Testhaushalte demonstriert (Abb. 1). Ein weiterer Feldtest der MVV Energie AG in Mannheim zeigte die Einsetzbarkeit des „Energiebutlers“, der die BEMI-Technologie nutzt, im realen Haushalt.

In einer Weiterentwicklung des Konzepts wurde ein dem BEMI übergeordneter Manager, das Pool-BEMI, eingeführt [1]. Dieses Pool-BEMI hat zusätzlich zur Tarifvorgabe die Aufgabe, die Kernfunktionen vieler BEMIs so zu bündeln, dass neue Anwendungen des Gesamtsystems erschlossen werden können, die der EDL gegenüber dem Verteilnetzbetreiber (VNB) als Dienstleistung anbieten kann (Abb. 2). Einige dieser Anwendungen erfordern eine - ggf. funkbasierte - Kommunikation, die auch bei Ausfall der Strom-

versorgung zur Verfügung steht, sowie eine Ausrüstung der BEMIs mit unterbrechungsfreien Stromversorgungen.

Möglich ist z.B. die Überwachung des Netzzustands nach Vorgaben des VNB über Grenzwerte für lokale

Normalbetrieb	Gefährdeter Betrieb	Störbetrieb	
Abfahren Lastgangvorgabe			
Spitzenlastreduktion			
Bereitstellung Regelleistung			
automatische Netzüberwachung, Überwachung Versorgungszustand der Kunden		Fehlereingrenzung	
Netzengpassüberwachung und -management		DEA-Sicherheitsabschaltung	
		Störungsmeldung an VNB	Inselnetzmodus
		Netzwiederaufbau	
Lokale Spannungshaltung und Verbesserung der Power Quality			
Kundeninformation über Systemzustand			

Abb. 2: Mögliche Anwendungen des BEMI im Verteilnetz © ISET

physikalische Parameter. Diese Funktion ist allein mittels automatischer Auswertung von Messwerten durch BEMIs und Kommunikation im System realisierbar. Andere Funktionen, wie z.B. ein automatisiertes Netzengpassmanagement, erfordern allerdings eine Interaktion zwischen Energiemanagement, verteilten Messungen und Tarifvorgaben (vgl. 3.2).

2.2 Simulation von BEMI und Pool-BEMI im elektrischen Verteilnetz

Viele Anwendungen des BEMI im elektrischen Verteilnetz können aus Gründen der Versorgungssicherheit nicht direkt im Feld entwickelt und getestet werden. Daher ist ein Werkzeug notwendig, mit dem sich das Verhalten einer Vielzahl von BEMI im Verteilnetz simulieren lässt. Dafür wurde am ISET die modular aufgebaute Simulationssoftware „BEMISim“ entwickelt. Das Modul für die BEMI-Simulation nutzt die originalen Algorithmen des BEMI-Energiemanagements und umfasst Modelle für verschiedene Gerätetypen, das Kundenverhalten und DEA (Tab. 1). Ein zweites Simulationsmodul implementiert die untersuchten Funktionen des Pool-BEMI sowie eine Bedienoberfläche zur Konfiguration und Auswertung. Mittels eines dritten Moduls wird ein Interface zu einer professionellen Netzsimulationssoftware hergestellt. Hierzu wird aktuell das Produkt „PowerFactory“ der Firma DlgSILENT eingesetzt. Diese Architektur erlaubt die volle Nutzung der Möglichkeiten der Netzsimulationssoftware, wobei in den bislang durchgeführten Untersuchungen lediglich die Lastflussrechnung eingesetzt wurde. Die modulare Struktur von BEMISim erlaubt die Verteilung auf mehrere Rechner, die Einbeziehung realer BEMI als auch die Einbindung von Netzberechnungssoftware anderer Hersteller.

Gerätekategorie	Gerätetyp	Anmerkungen
State-of-charge (SOC)	Kühlgerät	Incl. Simulation von Kundeneingriffen
	Gefriergerät	
Fixed program schedule (FPS)	Waschmaschine	Simulation von einzelnen Kundeneingriffen mit aggregiertem Verhalten nach bekannten Lastprofilen für die Gerätetypen
	Trockner	
	Spülmaschine	
Nicht-gemanagete Lasten	z.B. Unterhaltungselektronik, Kochen,...	Simulation von Einzelhaushaltsprofilen mit aggregiertem Verhalten nach Standardlastprofil H0 (abzüglich gemanageter Lasten)
DEA	KWK-Anlage mit Pufferspeicher	Simulation des gemessenen An- und Abfahrverhaltens
	Photovoltaikanlage	Nutzung von in Kassel gemessenen Einstrahlungsdaten, Auflösung von 1 Minute

Tabelle 1: derzeit von BEMISim unterstützte Gerätetypen

Abb. 3 zeigt ein beispielhaftes Simulationsergebnis von einer Simulation von 1000 BEMIs mit SOC- und FPS- Lasten sowie KWK-Anlagen in der aktuellen Bedienoberfläche. Dargestellt ist die Wirkleistung der Lasten (rechts unten) bzw. Erzeuger (rechts oben) am aktuellen Tag (durchgezogene Kurve) und am Vortag (blasse Kurve). Die Simulationsschrittweite betrug in diesem Beispiel 15 Minuten. Am aktuellen Tag wurden die unten links angezeigten Tarife verwendet, bei denen um 19:00 der Verbrauchstarif (rot) am niedrigsten und der Erzeugungstarif (grün) am höchsten ist.

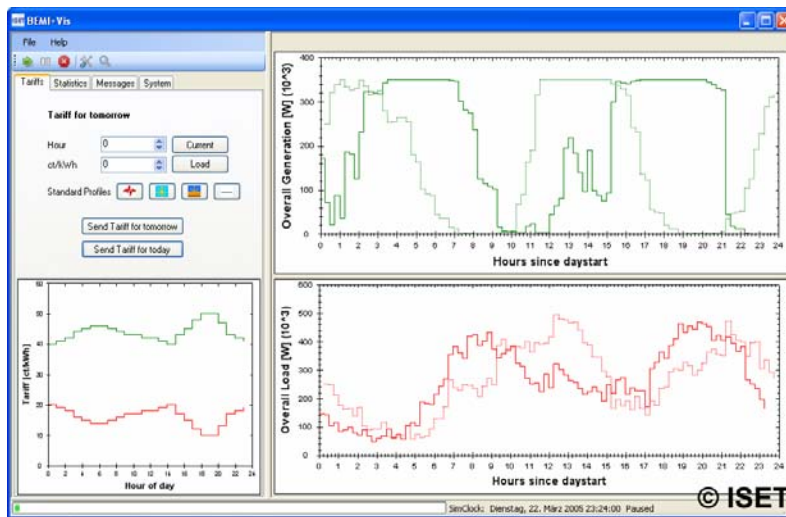


Abb. 3: Bedienoberfläche der Simulation

Am Vortag wurden Tarifprofile verwendet, die diese Eigenschaft um 12:00 aufwiesen. Deutlich ist die Reaktion der BEMIs in Form einer Verlagerung von Lasten von Mittags auf die Morgen- bzw. Abendstunden zu erkennen. Der Erzeugereinsatz wurde ebenfalls entsprechend verschoben.

3 Engpassmanagement im Niederspannungsnetz bei hohem Anteil PV mittels dezentraler Entscheidung

3.1 Problematik

Die Spannungshaltung in Netzen mit hohem Anteil von DEA ist eine äußerst aktuelle Problematik. Sowohl im Mittel- als auch im Niederspannungsnetz, dessen Leitungsimpedanzen hauptsächlich ohm'schen Anteil haben, kann durch dezentrale Einspeisung die Spannung deutlich ansteigen. Dies ist sowohl aus Sicht der systemverantwortlichen Netzbetreiber als auch der Privatkunden äußerst problematisch. So kann z.B. bereits eine Spannungsanhebung von 4 bis 5 V über der Nennspannung bei

konventionellen Leuchtmitteln zu erhöhter Energieaufnahme und thermischer Zerstörung führen. Um drohenden unzulässigen Netzspannungen entgegenzuwirken, schreibt die neue Richtlinie für Anschluss von Eigenerzeugungsanlagen an das Mittelspannungsnetz vor, dass DEA über Einrichtungen zur statischen und dynamischen Spannungshaltung verfügen müssen. Für Notfälle ist auch eine gestufte Abregelung der Wirkleistungseinspeisung vorgesehen.

Im NSN ist eine Überspannung das erste Anzeichen für eine drohende Betriebsmittelüberlastung [2]. Daher werden DEA – wie z.B. PV-Anlagen - zur Zeit bei Überschreiten vorgeschriebener Spannungsgrenzen am Netzanschlusspunkt abgeschaltet [3]. Während sich jedoch im Mittelspannungsnetz die Spannung mittels Blindleistungseinspeisung durch DEA beeinflussen lässt, ist dies im ohmsch geprägten NSN typischerweise nur in wesentlich geringerem Maße möglich. Für eine merkliche Spannungssenkung in einem NSN mit hohem Anteil PV müsste stattdessen die Wirkleistung der Anlagen gedrosselt werden. Dies wäre aber weder wirtschaftlich noch energetisch effizient, da einerseits die Anlagenbetreiber eine Ausfallvergütung erhalten müssten, andererseits der Anteil regenerativ erzeugten Stroms sinken würde. Die Problematik einer unzulässigen Spannungsanhebung kann das Potenzial zum Ausbau von PV-Anlagen insbesondere in ländlichen Netzen mit längeren Netzausläufern begrenzen [4] bzw. macht einen Netzausbau nötig, dessen bedarfsgerechte Durchführung in Deutschland durch das EEG vorgeschrieben ist. Im Extremfall kann die Problematik aber auch dazu führen, dass PV-Anlagen bis zu einem fälligen Netzausbau in beträchtlichem Ausmaß abgeregelt werden müssen, wie ein Beispiel aus Japan zeigt [5].

3.2 Verfahren für ein anreizbasiertes Engpassmanagement

Zur Spannungssenkung wäre anstelle einer Wirkleistungs-drosselung von PV-Anlagen auch die Drosselung anderer DEA oder alternativ die Zuschaltung von Lasten möglich. Gegenüber einem Netzausbau führen diese Maßnahmen auch zu einer verbesserten lokalen Nutzung regenerativ erzeugten Stroms, was im Sinne einer allgemeinen Energieeffizienzerhöhung liegt. Nötig ist dazu einerseits eine Erkennung

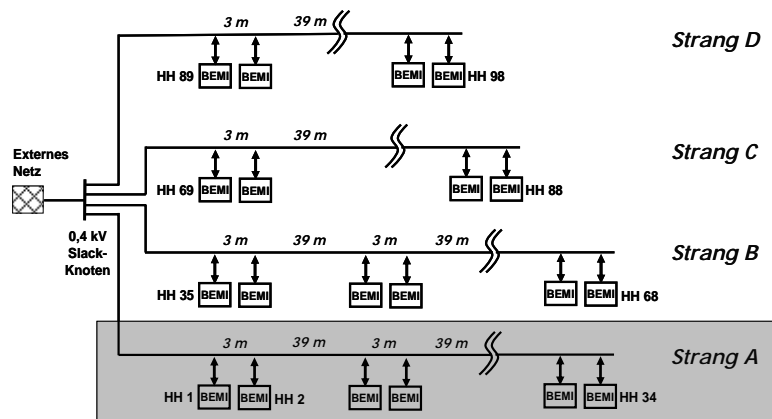
der Spannungsüberhöhung an den Einspeisepunkten und andererseits eine Möglichkeit zur gezielten Beeinflussung der momentanen Gerätewirkleistung unter gleichzeitiger Einführung eines entsprechenden Anreizes für die Betreiber. Mit dem System aus BEMIs und Pool-BEMi lassen sich diese Anforderungen erfüllen. Mit dem in Abschnitt 2.2 vorgestellten Simulationssystem konnte gezeigt werden, dass die Spannungsbeeinflussung im Netz durch Tarifvorgabe gezielt möglich ist. Allerdings muss die notwendige Tarifänderung durch das Pool-BEMi auch ermittelt werden. Am ISET wurde dazu ein entsprechendes Verfahren entwickelt, das folgende Schritte umfasst:

1. Das Pool-BEMi übermittelt Spannungsalarmgrenzen an jedes BEMi. Die Alarmgrenzen werden vorher zwischen EDL und VNB vereinbart und können von BEMi zu BEMi unterschiedlich sein, um eine Anpassung an unterschiedliche Netztopologien zu gewährleisten.
2. Jedes BEMi überwacht fortlaufend die Alarmgrenzen und alarmiert bei Überschreitung das Pool-BEMi.
3. Wenn Alarmmeldungen von einer kritischen Anzahl von BEMIs empfangen wurden, ist es das Ziel, die Spannung durch Lastzuschaltung oder Erzeugerabschaltung mittels Änderung des aktuellen Verbrauchs- bzw. Erzeugungstarifes zu senken. Daher sendet das Pool-BEMi eine Anfrage nach Tarifänderungsvorschlägen an alle BEMIs im betroffenen Netzabschnitt. Die Anfrage enthält einen Zeitraum, in dem die Tarifänderung gelten soll.
4. Jedes BEMi erstellt individuelle Tarifänderungsvorschläge, etwa für eine Senkung des Verbrauchstarifs auf einen konstanten Wert. Dabei werden die aktuellen Betriebszustände der lokalen Geräte berücksichtigt. Für jeden Vorschlag wird auch berechnet, welche Leistungsänderung zu erwarten ist. Da der tatsächliche Verbrauch aber auch vom Nutzerverhalten abhängt, ist hier allerdings nur eine Abschätzung möglich. Die Vorschläge werden an das Pool-BEMi gesendet.
5. Das Pool-BEMi wertet die eingegangenen Vorschläge aus und legt geänderte Verbrauchs- bzw. Einspeisetarife fest, die an die BEMIs im betreffenden Netzabschnitt versendet werden.

6. Die geänderten Tarife führen zu einer Lastzuschaltung oder Erzeugerabschaltung durch BEMIs. Dies trägt zur unmittelbaren Spannungssenkung bei.

Mit demselben Verfahren ist analog auch eine Lastabschaltung/Erzeugerzuschaltung möglich.

3.3. Simulation des Verfahrens



Das in 2.2 vorgestellte Simulationssystem wurde verwendet, um das Verfahren zu testen. Die Verfahrensschritte werden dabei vollautomatisch durchgeführt. Das zur Simulation verwendete Beispielnetz ist in Abb. 4 gezeigt. Es beinhaltet

Abb. 4: Beispielnetz für Verfahrenstest © ISET

insgesamt 98 Haushalte, die mit je einer PV-Anlage von 5 kW_p ausgestattet sind. Etwa die Hälfte des Energieverbrauchs jedes Haushaltes entfällt auf steuerbare Lasten. Weitere Erzeuger werden zunächst nicht betrachtet. Verwendet wurde ein Standardkabeltyp für die Niederspannung (NAYY 4x150 SE). Wegen der hohen Leitungslängen beträgt die Netzimpedanz am Anschlusspunkt des Haushaltes 34 (Abb.4: HH 34, Strang A) knapp 200 mΩ. Ohne weitere Maßnahmen kommt es dort um die Mittagszeit zu einem erheblichen Spannungsanstieg durch PV-Einspeisung (Abb. 5, obere Kurve). Ein Beispiel für einen Spannungsverlauf mit Anwendung des Verfahrens ist ebenfalls gezeigt (untere Kurve). Dabei wurde die eingezeichnete Alarmgrenze von 6% über Nennspannung verwendet. Es ist zu erkennen, dass die Alarmierung durch BEMl und die Tarifsenkung durch Pool-BEMl zwischen etwa 10:15 Uhr und 12:30 Uhr zu einer deutlichen Spannungssenkung durch Lastzuschaltung geführt hat. Im betrachteten Fall kann allerdings wegen des begrenzten Potenzials der Lasten die Lastzuschaltung nicht darüber hinaus aufrechterhalten werden. Allerdings wurde die Zeit, in der die Spannung im betrachteten Fall über der Alarmgrenze

liegt, durch das Verfahren von 226 auf 151 Minuten reduziert, wodurch die Notwendigkeit einer Abregelung vermindert wird. Eine vergleichende Untersuchung hat ergeben, dass durch das Verfahren der Verlust aufgrund von Abregelung unter den getroffenen Annahmen um 30% reduziert werden kann. Das ist allein mittels Zuschaltung von Lasten möglich.

Die Ergebnisse zeigen, dass das

Verfahren den gewünschten Effekt bezüglich der Netzspannung aufweist und zu einem Engpassmanagement im Niederspannungsnetz beitragen kann. Deutlich wird aber auch, dass die Wirkung des Verfahrens stark von den Parametern der eingesetzten Lasten abhängig ist. Im gezeigten Fall ist eine länger andauernde Spannungssenkung durch Lastzuschaltung wegen des begrenzten Verschiebungspotenzials nicht möglich. Der Grund ist, dass die von den BEMI gemanageten Kühlgeräte nicht länger betrieben werden können, wenn sie ihren maximalen Speicherfüllstand erreichen. Für vom Kunden vorbereitete Geräte, wie Waschmaschinen oder Spülmaschinen, wird ferner angenommen, dass sie nach Ablauf ihres Programms nicht unmittelbar von den Kunden erneut vorbereitet werden. Eine frühzeitige Information der Kunden, z.B. basierend auf einer Solarleistungsprognose, könnte hier zusätzliche Potenziale erschließen. Bemerkenswert ist, dass diese Begrenzung durch die physikalischen Parameter der gesteuerten Geräte natürlich auch bei einem zentralen Regelungsansatz gilt, wie z.B. einem zentral gesteuerten virtuellen Kraftwerk. Das dezentrale Energiemanagement mit BEMI hat hier also dieselben Eigenschaften wie ein zentrales Energiemanagement, lässt sich aber bei hoher Anzahl von Geräten technisch wesentlich einfacher umsetzen.

Eine starke Abhängigkeit besteht auch von dem zu Grunde gelegten Tarifprofil, das am Tagesanfang gilt. In obiger Simulation wurde als „Best-case“ ein Tarifprofil ange-

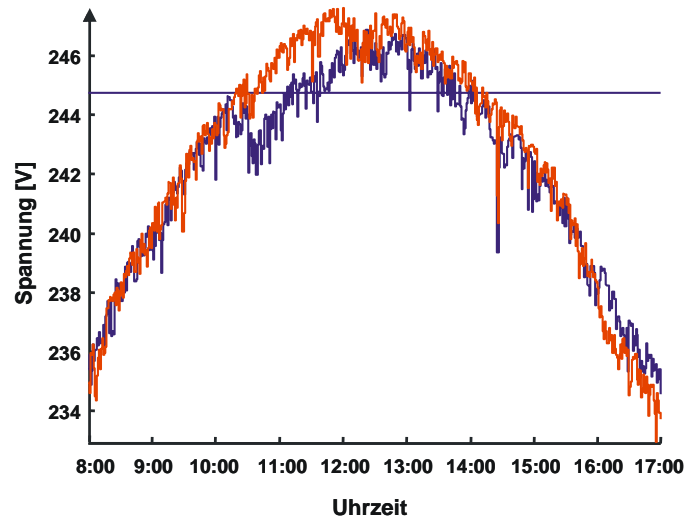


Abb. 5: Verlauf der Spannung an HH 34 (Mittel über L1,L2,L3. Rot / Blau: ohne / mit Verfahrensanwendung) © ISET

nommen, das um die Mittagszeit die höchsten Preise aufweist. Ein Test mit einem Tarifprofil, das zur Mittagszeit die niedrigsten Verbrauchspreise aufwies, ergab nahezu kein Potenzial zur Lastzuschaltung. Das ist plausibel, da die BEMIs in diesem Fall ohnehin fast sämtliche Lasten zugeschaltet haben. Es kann also durchaus zweckmäßig sein, den BEMIs in einem kritischen Netzabschnitt unterschiedliche Tarifprofile zuzuweisen, damit jederzeit ein Potenzial zur kurzfristigen Leistungsänderung gegeben ist und zugleich Lawineneffekte im Verbundnetz durch gleichzeitiges Schalten von einer großen Anzahl von Geräten vermieden werden. Dies wiederum stellt eine wichtige Anforderung an die Tarifgestaltung dar. Damit wird deutlich, dass Tarifgestaltung und Verhalten im Netz nicht voneinander getrennt betrachtet werden können. Dies wiederum spricht dafür, dass Tarifierstellung und Verteilnetz-Dienstleistungen in der Hand eines Marktteilnehmers – im angenommenen Marktmodell dem EDL – liegen sollten.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass das beschriebene Verfahren eine Absenkung der Netzspannung erreicht und der Verlust an photovoltaisch erzeugter Energie durch Abregelung im betrachteten Fall um ca. 30% reduziert werden kann. Deutlich wird aber auch, dass die Wirkung des Verfahrens stark von den Parametern der eingesetzten Lasten abhängig ist. Im gezeigten Fall ist eine länger andauernde Spannungssenkung durch Lastzuschaltung wegen des begrenzten Verschiebungspotenzials nicht möglich. Hier besteht noch weiterer Forschungsbedarf bezüglich der optimalen Nutzung vorhandener Verschiebekapazitäten sowie der Einbeziehung von DEA und Lasten mit erhöhter Speicherkapazität, wie z.B. Plug-in Hybridfahrzeugen. Ferner ist bei der Umsetzung der ersten BEMI-Prototypen ist deutlich geworden, dass der Reduktion des Eigenverbrauchs bei Einsatz in Privathaushalten eine wichtige Bedeutung zukommt, um nicht die Vorteile des Energiemanagements durch einen erhöhten Energieverbrauch zunichte zu machen. Die möglichst energieeffiziente Auslegung aller Komponenten ist bereits in einer frühen Designphase wesentlich. Dies betrifft nicht allein die im Zählerschrank angeordneten Komponenten, wie z.B.

Rechnerkern und Messeinrichtungen, sondern auch die zur automatischen Schaltung der Geräte verwendeten Schaltboxen sowie die für die MMI eingesetzten Anzeige- und Bedienelemente, die im gesamten Gebäude verteilt sind. Daher werden neben der simulationsbasierten Untersuchung neuer BEMI-Anwendungen zur Zeit die BEMI-Komponenten unter Energieeffizienzaspekten weiterentwickelt sowie verschiedene Funkstandards zur Inhouse-Kommunikation getestet. Dies wird insbesondere im Hinblick auf den Einsatz in neuen Projekten vorgenommen. So ist das ISET aktuell an den vom BMU geförderten Projekten „Regenerative Modellregion Harz“ und „Modellstadt Mannheim“ im Rahmen der E-Energy-Forschungsinitiative beteiligt. Auch im EU-Projekt „Smart House/Smart Grid“ wird das BEMI eingesetzt.

6 Literatur

- [1] C. Bendel, D. Nestle, J. Ringelstein: Wirtschaftliche und technische Integration verteilter Erzeugung in der Praxis - Feldtest im Projekt DINAR -, 22. Symposium Photovoltaik, Staffelstein 03/2007
- [2] R. Witzmann, G. Kerber: Aufnahmefähigkeit der Verteilnetze für Strom aus Photovoltaik, Elektrizitätswirtschaft, 2007, Heft 4, S. 50-54
- [3] Norm-Entwurf DIN VDE 0126-1-1: Selbsttätige Freischaltstelle zwischen einer netzparallelen Eigenerzeugungsanlage und dem öffentlichen Niederspannungsnetz, Ausgabe:2005-05
- [4] J. Scheffler: Bestimmung der maximalen Netzanschlussleistung photovoltaischer Energiewandlungsanlagen in Wohnsiedlungsgebieten, Dissertation, Universität Chemnitz, 06/2002
- [5] Y. Ueda: Analysis result of voltage rise and network behaviour simulations with large scale DER deployment, 3rd Int. Conf. on integration of renewable and distributed resources, Nizza, 12/2008