


# Verbesserung der Spannungsqualität bei dezentraler Einspeisung durch gesteuerte Wechselrichter

Prof. Dr.-Ing. Rolf Witzmann, Peter Esslinger, Technische Universität München,  
 Fachgebiet Elektrische Energieversorgungsnetze, Deutschland, rolf.witzmann@tum.de  
 Prof. Dr.-Ing. Norbert Grass, Sebastian Girstl, Ohm-Hochschule Nürnberg,  
 Institut für Leistungselektronik, Deutschland,  
 Hermann Hampel, Markus Sebeck,  GmbH, Grosshabersdorf, Deutschland  
 Reinhold Keck, Anita Adelman, Siemens AG, Fürth, Deutschland

## Kurzfassung

Die rasante Zunahme von dezentralen regenerativen Energieerzeugungsanlagen wie z.B. Photovoltaik(PV)-Anlagen in Niederspannungs-Verteilnetzen führt wegen der Invertierung der Lastflussrichtung häufig zu unzulässigen Spannungsanhebungen. In der Konsequenz werden die Netze verstärkt, auch wenn diese erhöhten Spannungen insbesondere bei fluktuierenden Einspeiseanlagen nur temporär auftreten und die Betriebsmittel thermisch bei weitem nicht ausgelastet sind. Weiterhin wird mit zunehmendem Einsatz von Leistungselektronik in den Lasten die Spannungsqualität durch Blindleistungsbezug und harmonische Oberschwingungen beeinflusst.

Das hier beschriebene Konzept im Projekt NetzQ nutzt die Möglichkeit der verteilten Wechselrichter von Erzeugungsanlagen zur Blindleistungsbereitstellung um die Netzqualität zu verbessern.

Durch Blindleistungsbezug bei gleichzeitiger Wirkleistungseinspeisung kann die Netzspannung auf zulässige Werte begrenzt werden. Netzausbau lässt sich so in vielen Fällen vermeiden, in jedem Fall aber verzögern. Zusätzlich können Spannungsschwankungen aufgrund von fluktuierender Einspeiseleistung bedämpft, der Blindleistungsbezug optimiert, Netzverzerrungen durch harmonische Oberschwingungsströme reduziert und Spannungsunsymmetrien ausgeglichen werden. Die Ansteuerung der verteilten Wechselrichter in einem Netzgebiet erfordert für die Optimierung der verschiedenen zu übernehmenden Aufgaben eine verteilte Erfassung relevanter Netzdaten sowie eine zentrale Regelung. Netzdaten und Regelparameter werden über das Verteilnetz mittels DLC<sup>®</sup> (Distribution Line Carrier) Kommunikation übertragen. Das Prinzip wird in einem realen Netz mit einem hohen Anteil von PV-Anlagen exemplarisch erprobt.

Das Konzept ist nicht spezifisch für PV-Anlagen, es bietet vielmehr die Basis für den intelligenten Betrieb von Netzen der Zukunft mit verteilter Erzeugung und Speicherung und zukünftig regelbaren Lasten.

## Abstract

Increasing regenerative power sources such as e.g. photovoltaic (PV) generators installed in low voltage grids tend to cause overvoltage problems due to the reverse power flow direction. Consequently, regenerative sources need to be turned off temporarily or on the long term, the grid infrastructure would have to be extended by the utility company. Additionally, the increasing number of grid connected power electronic systems causes a high level of reactive power flow and harmonics in the grid affecting power quality.

The concept described in this paper uses reactive power which is generated in the solar power inverters to increase power capability and quality of the grid.

By means of additional reactive power consumption, the grid voltage can be decreased to acceptable values and stabilized. Grid extension in many cases can be avoided or, at least it can be delayed. Additionally, the inverters can be remotely controlled to compensate harmonic distortion and to improve phase voltage balance by feeding unsymmetrical currents into the three phases. For control of a distributed system of a number of solar inverters installed in a grid segment distributed data collection and central control is required. Data and control parameters are being transmitted over the power lines with inbuilt real time DLC<sup>®</sup> (distribution line carrier) communication. The principle will be tested in a rural distribution grid with a high penetration of PV generators.

The concept can be applied not to PV systems only; it is rather a basic technology which can be used in future grids with distributed generation and storage.

## 1 Einleitung

Dezentrale Erzeugungsanlagen werden meist über Leistungselektronische Stellglieder an das Verteilnetz ange-

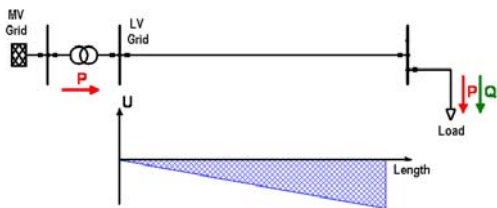
schlossen. Durch zusätzliche Funktionalitäten der verteilten Wechselrichter, die kontinuierlich mit dem Netz gekoppelt sind, lässt sich die Aufnahmefähigkeit der Netze insbesondere für regenerative Erzeugungsanlagen steigern und gleichzeitig die Spannungsqualität verbessern. Neue

Kommunikationstechnologien nutzen Energieversorgungsleitungen zur Echtzeit-Datenübertragung. Der große Vorteil dieser Technologie ist die Verfügbarkeit der Datenübertragung an jedem Punkt im Netz ohne zusätzliche Infrastruktur und Netzbetreiber.

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Möglichkeiten durch Kombination von beiden Technologien, Leistungselektronik und Informations- und Kommunikationstechnologie, Verteilnetze mit verteilten aktiven Systemen zu steuern und zu regeln und so die Netzaufnahmefähigkeit und die Spannungsqualität zu verbessern.

## 2 Grenzen der Netzaufnahmefähigkeit

Niederspannungs-Verteilnetze sind für einen Lastfluss von der übergeordneten Netzebene über den Transformator zum Verbraucher geplant und dimensioniert. Weiterhin geht man im Allgemeinen von passiven Lasten mit sinusförmigen Strömen für die Auslegung der Betriebsmittel aus. Bild 1 zeigt vereinfacht den Spannungsfall vom Transformator über Kabel/Leitung zur Last. Die Betriebsmittel sind so dimensioniert, dass bei maximal zu erwartender Last unter Berücksichtigung der Schwankungen im überlagerten Netz das zulässige Spannungsband von -10% eingehalten wird.



**Bild 1** Netzbetrieb mit passiven Lasten und maximalem Spannungsfall am Leitungsende

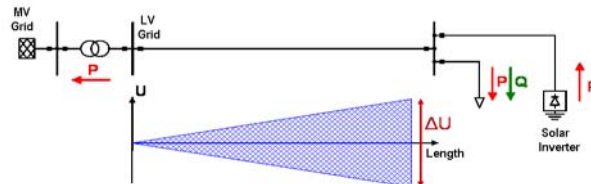
In den letzten Jahren hat sich die Betriebsweise der Verteilnetze wesentlich geändert:

Leistungselektronik im Eingang der Netzteile verdrängen die passiven Lasten und beziehen Ströme mit nicht betriebsfrequenten Anteilen. Dezentrale Erzeugungsanlagen wie PV-Anlagen, Windkraftanlagen, Mikroturbinen und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen werden zunehmend in den Niederspannungsnetzen angeschlossen, so dass insbesondere in ländlichen Gegenden die Erzeugungsleistung die Last z.T. deutlich übertrifft.

### 2.1 Einhaltung der zulässigen Spannungen

Bei hoher Durchdringung mit dezentralen Erzeugungsanlagen kommt es insbesondere in Zeiten geringer Last zu einer Invertierung des Lastflusses und einer Rückspeisung in das überlagerte Netz. Aufgrund der geänderten Lastflussrichtung befindet sich der Ort der maximalen Spannung nicht mehr am Transformator, sondern am Ende des Netzstranges. Wegen der häufig fluktuierenden Erzeugung z.B. durch PV-Anlagen kann es zu starken Spannungs-

schwankungen kommen. Bild 2 zeigt vereinfacht die mögliche Variation der Spannung an einem Netzstrang bei Last und zusätzlicher fluktuierender dezentraler Erzeugung. Empfehlungen zur zulässigen Spannungserhöhung durch Erzeugungsanlagen in Niederspannungs-Verteilnetzen auf  $\leq 2\%$  [9] begrenzen die Aufnahmefähigkeit der Netze sehr stark [3]. Bei Ausnutzung des gesamten zulässigen Spannungsbandes von  $\pm 10\%$  werden in den meisten Netzen auch die thermischen Belastungsgrenzen der Betriebsmittel erreicht.



**Bild 2:** Netzbetrieb mit Last und Erzeugung und möglicher Spannungsschwankung am Leitungsende

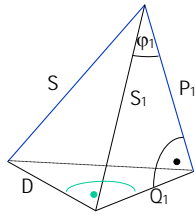
Bei Verletzung der zulässigen Spannungserhöhung werden heute Verteilnetze häufig durch kostenintensive Netzausbaumaßnahmen verstärkt und es kommt zu Verzögerungen beim Anschluss neuer Erzeugungsanlagen.

Somit stellt die Einhaltung der zulässigen Spannungsgrenzen eine wesentliche Einflussgröße dar für die Aufnahmefähigkeit von Verteilnetzen für dezentrale, meist regenerative Energieerzeugungsanlagen.

### 2.2 Blindleistung und Harmonische

Viele elektrische Verbraucher benötigen im Betrieb Wirk- und Blindleistung. Elektrische Maschinen benötigen Blindleistung für den Aufbau der für die Erzeugung eines mechanischen Momentes an der Welle notwendigen Magnetfelder. Leistungselektronische Betriebsmittel wie z.B. getaktete Netzteile verwenden häufig Diodengleichrichter mit Glättungskondensatoren zur Erzeugung einer Gleichspannung. Die Netzströme solcher Betriebsmittel sind nicht sinusförmig und nicht in Phase mit der Netzspannung, deshalb benötigen sie Blindleistung und verursachen Ströme mit Oberschwingungsanteilen. Moderne Wechselrichtertechnologien können so ausgelegt werden, dass diese Probleme praktisch nicht auftreten. Aufgrund der geringfügig höheren Kosten sind solche Betriebsmittel jedoch noch nicht weit verbreitet. Daher nimmt die Netzbelastung durch Blindleistung und Oberschwingungen zu.

Blindleistungstransport und Harmonische verursachen zusätzliche Netzverluste und belasten Netzbetriebsmittel wie Transformatoren und Kabel thermisch [6]. Da bei hinreichend sinusförmiger Netzspannung durch harmonische Ströme keine Wirkleistung übertragen wird, lässt sich Leistung durch Harmonische als Oberschwingungsblindleistung definieren. Bild 3 zeigt die Zusammensetzung der Scheinleistung, die für den gesamten Stromfluss im Netz und somit für Übertragungsverluste maßgeblich ist. Es wird ersichtlich, dass durch Reduktion der Blindleistung durch Kompensation der Netzbetrieb optimiert und die Netzqualität verbessert werden kann.



**Bild 3:** Vektordiagramm von Schein-, Wirk- und Blindleistung

- S: Gesamte Scheinleistung
- S<sub>1</sub>: Grundschiwungsscheinleistung (50 Hz)
- P<sub>1</sub>: Wirkleistung
- Q<sub>1</sub>: Grundschiwungsblindleistung
- D: Oberschwingungsblindleistung

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$$

### 3 Verbesserung der Netzaufnahmefähigkeit und Netzqualität durch Blindleistung

Während die Netzaufnahmefähigkeit und Netzqualität bisher im Wesentlichen durch Netzausbau gewährleistet wurde, versucht dieses Projekt die in den Netzen verteilten Installationen effizient einzusetzen durch Nutzung von verteilter Messtechnik, intelligenter Ansteuerung von Leistungselektronik, neuer Informations- und Kommunikationstechnologie sowie der Möglichkeiten der Netzregelung. Das Konzept wird am Beispiel verteilter PV-Anlagen entwickelt und erprobt, die Nutzung ist jedoch nicht auf diese Anwendung beschränkt. In allen zukünftigen Smart Grids mit steuerbaren Einspeiseanlagen und Lasten kann die Netzeffizienz durch verteilte Netzdienstleistungen gesteigert werden.

#### 3.1 Blindleistungsbereitstellung und Netzdienstleistungen durch Wechselrichter

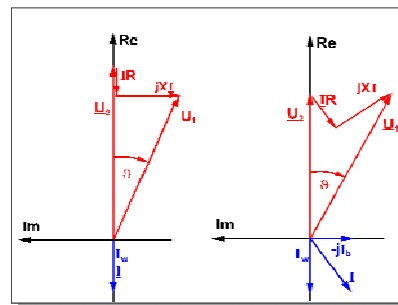
Moderne Solar-Wechselrichter mit IGBT-Technologie sind in der Lage im 4-Quadrantenbetrieb zu arbeiten. Sie können daher bei Wirkleistungsabgabe gleichzeitig Blindleistung an das Netz liefern (kapazitiv, übererregter Betrieb) oder von ihm beziehen (induktiv, untererregter Betrieb). Die Vorgabe des Leistungsfaktors über die DLC® Kommunikation kann über die Engineering Software erfolgen, welche auch die Realisierung kundenspezifischer Anwendungen über Programmierung nach IEC 61131-3 erlaubt. Durch MPP-Tracking (Maximum Power Point) und eine auf minimale Schaltverluste optimierte Flat-Top-Modulation lassen sich in allen Leistungsbereichen hohe Wirkungs- und Ausnutzungsgrade erzielen. Durch die dreiphasige Einspeisung tragen die Wechselrichter zu einer gleichmäßigen Stromaufteilung bei. Bild 4 zeigt den Wechselrichtertyp, der im Rahmen des Projektes NetzQ zur Aufnahme und Verarbeitung von Sollwerten zur Spannungsstabilisierung und weiteren Netzdienstleistungen erweitert wird.



**Bild 4:** PV-Wechselrichter mit erweiterten Funktionalitäten

#### 3.2 Spannungsbegrenzung durch Blindleistungsbezug

Bild 5 zeigt qualitativ den Spannungsfall an einer Übertragungsleitung. Während bei normalen Lastverhältnissen die Spannung U<sub>2</sub> am Leitungsende niedriger ist als am Leitungsanfang U<sub>1</sub> bzw. am Ortsnetztransformator, so kehren sich die Verhältnisse bei Invertierung der Lastflussrichtung um. Der linke Teil in Bild 5 zeigt, dass bei Wirkleistungsbzw. Wirkstromeinspeisung am Leitungsende die Spannung U<sub>2</sub> größer ist als U<sub>1</sub>. Durch gleichzeitigen Blindleistungs- bzw. Blindstrombezug an der Einspeisestelle kann die Spannung U<sub>2</sub> abgesenkt und so auf zulässige Werte begrenzt werden (rechter Teil in Bild 5). Dies ist auch in Niederspannungsnetzen mit ungünstigeren R/X Verhältnissen möglich, wenn man den Ortsnetztransformator mit berücksichtigt.



**Bild 5:** Spannungsfall an einer Leitung bei Wirkstromeinspeisung (links) und Wirkstromeinspeisung und Blindstrombezug (rechts)

Die Blindleistungsbereitstellung durch die PV-Anlagen erfordert zusätzliche Wechselrichterleistung. Untersuchungen zum Blindleistungsbedarf haben gezeigt, dass ein minimaler Leistungsfaktor von  $\cos \varphi = 0.9$  in typischen Netzen ausreichend ist, um die Spannung innerhalb der zulässigen Grenzen zu halten [8]. Dieser Verschiebungswinkel bedeutet, dass der Wechselrichter bei konstanter Wirkleistungseinspeisung ca. 45% Blindleistung beziehen oder bereitstellen kann. Der Wechselrichter muss dafür bei Nennspannung in seiner Leistung bzw. seinem Strom um 10% größer bemessen werden. Wird die Blindleistung nur bei erhöhter Netzspannung bezogen, so kann die Höherdi-

mensionierung des Solar-Wechselrichters geringer ausfallen oder unter Umständen nicht notwendig sein. Der Blindleistungsbezug durch die verteilten Solar-Wechselrichter muss vom Netz bereitgestellt und durch das Netz transportiert werden. Dies verursacht zusätzliche Netzverluste und hat eine erhöhte Betriebsmittelbelastung zur Folge. Es ist daher sinnvoll, die Blindleistungsbereitstellung nicht durch eine statische Kennlinie in den Wechselrichtern zu gewährleisten, sondern den Blindleistungsbezug zu minimieren durch individuelles sequentielles Ansprechen derjenigen Wechselrichter, die den größten Einfluss auf die Spannung haben [8]. Diese Optimierung des Blindleistungseinsatzes kann durch Kommunikation jedes Wechselrichters mit einem Zentralrechner im Netzgebiet über DLC® erreicht werden.

### 3.3 Weitere Verbesserung der Netzqualität

#### 3.3.1 Dämpfung von Spannungsschwankungen durch fluktuierende Einspeiseleistung

Durch fluktuierende Einspeiseleistung bei PV-Anlagen aufgrund von Wolkenzug oder durch stark wechselnde Lasten kommt es im Niederspannungsnetz zu Spannungsschwankungen. Durch Blindleistungsbereitstellung (kapazitiv) bei negativen Spannungsfanken und Blindleistungsbezug (induktiv) bei positiven Spannungsänderungen durch die verteilten Solar-Wechselrichter lassen sich Spannungsschwankungen im Netz bedämpfen. Die Gefahr von Flickerbeeinflussung kann durch eine solche zusätzliche Regelung, die in die Wechselrichter lokal implementiert wird, reduziert werden.

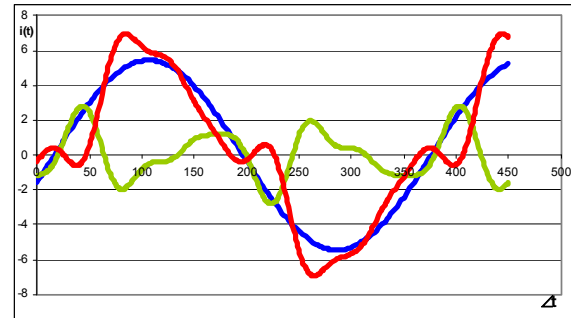
#### 3.3.2 Geregelte Blindleistungskompensation

Die in den Niederspannungsnetzen durch die verteilten Wechselrichter inhärent vorhandenen Blindleistungsreserven können genutzt werden, um z.B. dem überlagerten Netz Blindleistung zu liefern oder um den Blindleistungsbezug des eigenen Netzgebietes zur Reduktion der Netzverluste zu minimieren. Die für das jeweilige Regelziel notwendige Blindleistung muss vom Zentralrechner ermittelt werden und auf die Solar-Wechselrichter verteilt werden. Die Netzdienstleistung Blindleistungskompensation erfordert somit Kommunikation.

#### 3.3.3 Dämpfung von Oberschwingungen

Durch erweiterte Raumzeigermodulation ist es möglich, durch die Wechselrichter Stromharmonische in beliebiger Phasenlage zu generieren [1]. Basierend auf einer verteilten Messung der Verzerrungsströme und -spannungen wird durch eine vom Zentralrechner koordinierte Nutzung der Solar-Wechselrichter versucht, den Oberschwingungspegel im Netzgebiet zu reduzieren. Der Fokus liegt hierbei auf den niedrigen ungeraden Harmonischen bis zu einer Ordnungszahl 13. Bild 6 zeigt in einer Simulationsrechnung die Stromaufnahme einer B2 Schaltung (rot) und den erforderlichen Kompensationsstrom (grün), so dass sich im

Netz ein sinusförmiger, Oberschwingungsfreier Strom ergibt (blau).



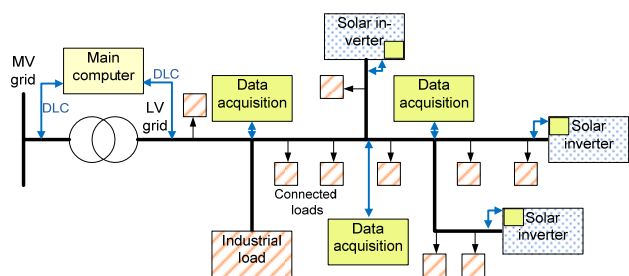
**Bild 6:** Beispiel zur Oberschwingungskompensation: B2 Schaltung, Kompensation der 3., 5. und 7. OS

#### 3.3.4 Symmetrierung der Phasenspannungen

Durch unsymmetrische Lasten und durch unsymmetrischen Zubau von einphasigen Erzeugungsanlagen kommt es in Verteilnetzen zu Unsymmetrien der drei Netzphasenspannungen. Im Teillastbetrieb der dreiphasigen Solar-Wechselrichter wird durch entsprechende Aufteilung der Leistung auf die drei Leiter die Netzunsymmetrie kompensiert..

## 4 Kommunikationsstruktur

Die Ansteuerung der verteilten Wechselrichter in einem Netzgebiet erfordert für die Optimierung der Netzqualität eine verteilte Erfassung relevanter Netzdaten sowie eine zentrale Regelung. Eine präzise Taktsynchronisation der einzelnen Teilnehmer ist dabei entscheidend. Bild 7 zeigt die Kommunikationsstruktur mit den erforderlichen Komponenten zur Datenerfassung. Relevante Netzdaten wie Spannungen, Ströme, Leistungen, Harmonische werden an mehreren wichtigen Punkten im Netz erfasst und mittels DLC® Kommunikation an den Zentralrechner übertragen.

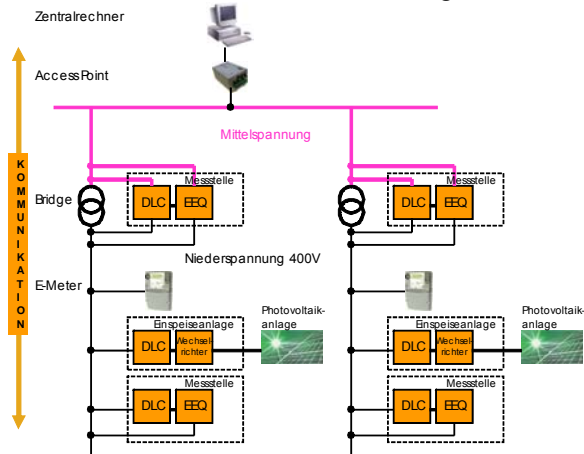


**Bild 7:** Datenerfassung und Kommunikationsstruktur

Die in den Solar-Wechselrichtern integrierten Messeinrichtungen komplettieren die Erfassung des gesamten Netzstatus. Die für die verschiedenen Netzdienstleistungen erforderlichen Ansteuersignale und Regelsignale werden im Zentralrechner gebildet und über DLC® an die aktiven Elemente im Netz übertragen. Die Kommunikation des Netzgebietes mit dem überlagerten Netz erfolgt durch den Zentralrechner. Somit entstehen intelligente Netzgebiete,

die im übergeordneten Netz zu einem Smart Grid zusammengeführt werden können.

Das hier verwendete DLC®-System ist das einzige existierende Powerline-System, das in der Lage ist, die Anforderungen in Bezug auf garantierte Echtzeiteigenschaften zu erfüllen und zwar mittels Funktechnologie, die typisch für Ad-hoc Networking ist. Durch SFN<sup>1</sup>-Technologie mit einem Flooding-Verfahren [11] sowie die automatische Verwendung von redundanten Netzwerken [12] unterstützt durch eine präzise Taktsynchronisation [13] behalten die Knoten daher auch bei plötzlichen Änderungen der Netzcharakteristiken ihre Kommunikationsfähigkeit.



**Bild 8:** Kommunikationsinfrastruktur

Bild 8 zeigt die Kommunikationsinfrastruktur, die durch ein offenes Systemkonzept auch die Möglichkeit zu Erweiterungen für andere Anwendungen (z.B. Zählerfernablesung) bietet. Im Projekt NETZQ werden die nötigen Erweiterungen und Anpassungen des bestehenden Systems und die Erprobungen an leistungselektronischen Geräten durchgeführt.

## 5 Felderprobung

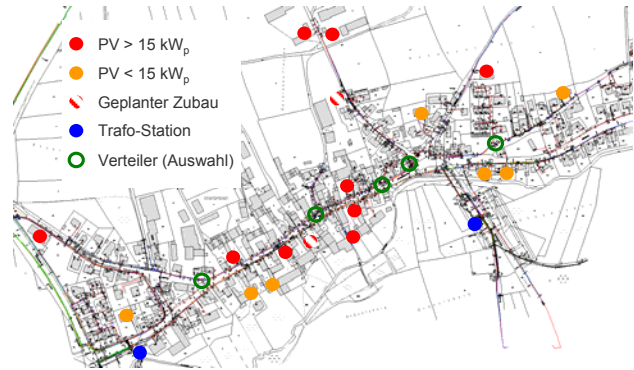
Die Felderprobung erfolgt in einem realen Niederspannungs-Verteilnetz mit einem hohen Durchdringungsgrad von PV-Einspeiseanlagen.

### 5.1 Testnetz

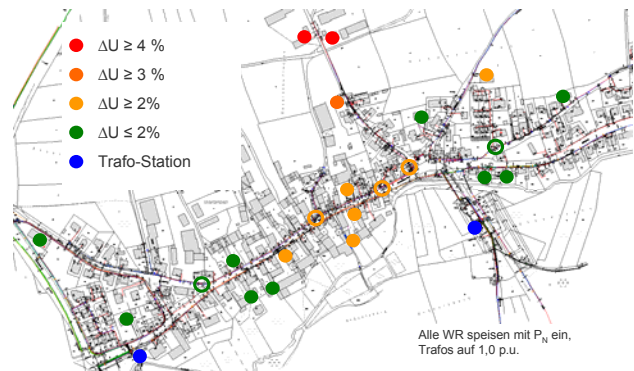
Bild 9 zeigt die Netzstruktur des Testnetzes. Das Netz wird über zwei Ortsnetztransformatoren gespeist. Die installierte PV-Anlagenleistung ist bereits aktuell höher als die mittlere Netzlast. An sonnenreichen Tagen wird regelmäßig in das überlagerte Mittelspannungsnetz zurückgespeist. In dem Netz sind zahlreiche, wegen der bei Landwirtschaften großen Dachflächen relativ große PV-Anlagen installiert, auch an kritischen Netzausläufern. Die Verteilung der PV-Anlagen ist in Bild 9 dargestellt.

Bild 10 zeigt die Spannungsverteilung im Netzgebiet als Folge der dezentralen Einspeiseanlagen. Entsprechend den VDEW-Empfehlungen erfolgt die Berechnung der Span-

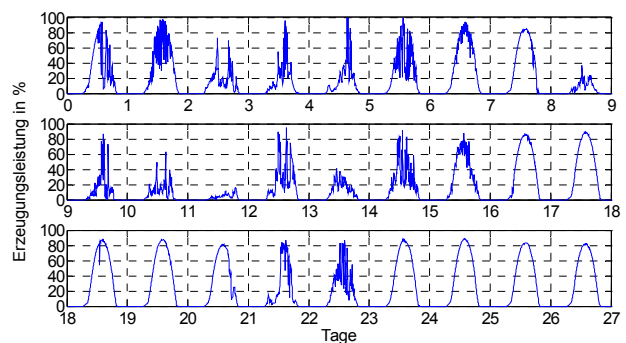
nungen ohne Lastberücksichtigung und der Annahme der Wechselrichter-Nennleistungen. Es ist ersichtlich, dass in diesem Netz eine Spannungserhöhung  $\leq 2\%$  nur in Transformatornähe eingehalten wird. Im Zentrum des Netzes liegen die Werte über 2%, am kritischen Netzausläufer über 3% bzw. über 4%. Trotz der Spannungsanhebung sind die Betriebsmittel im Netz unter 40% belastet.



**Bild 9:** Netzstruktur des Testnetzes mit installierten PV-Anlagen



**Bild 10:** Spannungsanhebung durch verteilte Einspeiseanlagen (Nennleistung der PV-Anlagen)



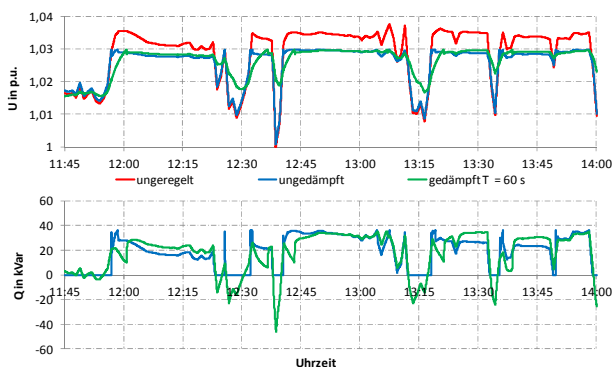
**Bild 11:** Typische Einspeiseleistung einer PV-Anlage an 27 aufeinander folgenden Tagen (Messung)  
Zieht man in Betracht, dass die Nennleistung der PV-Anlagen nur an Tagen mit niedrigen Außentemperaturen und bei stark fluktuierender Einspeisung und somit nur sehr kurzzeitig auftritt (siehe Bild 11), so würde ein Netzausbau zur Einhaltung der Spannungsgrenzwerte eine unverhältnismäßig hohe Investition bedeuten.

<sup>1</sup> SFN: Single Frequency Network, Gleichwelle

## 5.2 Netzsimulation

Das Testnetz wurde in einer kommerziellen Netz-Simulationssoftware nachgebildet unter vollständiger Berücksichtigung der installierten Betriebsmittel. Die PV-Anlagen wurden entsprechend ihrer Wechselrichterleistung berücksichtigt. Bild 12 zeigt die Simulation des Spannungsverlaufes und der Blindleistungsbereitstellung am kritischen Netzausläufer an einem wechselhaften Tag mit starkem Wolkenzug. Die zeitabhängige Einspeiseleistung der verteilten PV-Wechselrichter wurde aus der Messung an der PV-Anlage Messe München skaliert. Die Spannung auf der Mittelspannung wurde zu 1,0 pu angenommen.

Es ist deutlich zu erkennen, dass durch koordinierte Blindleistungsregelung die Spannungsanhebung auf einen Zielwert – hier entsprechend dem Entwurf der FNN Empfehlung [10] +3% - begrenzt werden kann. Hierbei sind lediglich 5 Solar-Wechselrichter aktiviert. Aus dem Blindleistungsverlauf (unterer Teil in Bild 12, blaue Kurve) ist die Optimierung des Blindleistungseinsatzes durch Kommunikation der Wechselrichter mit dem Zentralrechner zu erkennen: Blindleistung wird erst bezogen, wenn die Spannung den zulässigen Maximalwert zu überschreiten droht.



**Bild 12:** Zeitlicher Verlauf der Spannung am kritischen Netzausläufer (Spannung an Mittelspannung 1,0 pu) und zugehöriger Blindleistungsbezug

Rot: ohne Blindleistungsbezug  
 Blau: Blindleistungsbezug zur Spannungsbegrenzung  
 Grün: zusätzliche Dämpfung von Spannungsschwankungen durch fluktuierende Einspeisung

Durch eine zusätzliche Dämpfungsregelung ist es möglich, die Spannungsschwankungen durch die wegen Wolkenzug stark fluktuierende Einspeiseleistung abzumildern (grüne Kurve in Bild 12). Der Verlauf der benötigten Blindleistung zeigt, dass die Wechselrichter beim Spannungseinbruch Blindleistung bereitstellen zur Netzstützung, während steile Anstiegsflanken durch Blindleistungsbezug abgeflacht werden.

## 6 Zusammenfassung

Die vorgestellte Technologie soll eine höhere Zuverlässigkeit und verbesserte Qualität in den Verteilnetzen bewirken bei gleichzeitig verbesserter Aufnahmefähigkeit für dezentrale regenerative Energieerzeugungsanlagen.

## 7 Förderung / Projekt Partner

Das Projekt NetzQ wird vom Bayerischen Wirtschaftsministerium gefördert aus Mitteln des Clusterprojektfonds des bayerischen Förderprogramms „*Informations- und Kommunikationstechnik*“. Folgende Tabelle zeigt die Projektpartner und ihre Aufgaben:

<b>iAd GmbH</b> 90613 Großhabersdorf	Messtechnik, Datenerfassung, Smart Metering, DLC
<b>Siemens AG</b> I IA SE DE	Messtechnik, Datenerfassung, Solar-Wechselrichter
<b>Technische Universität München (TUM)</b> Fachgebiet Elektrische Energieversorgungsnetze	Netzsimulation, Blindleistungsvorgaben, Regelkonzept
<b>Georg-Simon-Ohm Hochschule Nürnberg</b> Institut für Leistungselektronik (ELSYS)	Stromrichterregelung, Blindleistung, Oberschwingungen, Netzsymmetrierung

## 8 Literatur

- [1] R. BRÜNDLINGER; B. BLETTERIE; C. Mayr; PV-Wechselrichter als aktive Filter zur Verbesserung der Netzqualität - Was können moderne Geräte leisten?; 22. Symposium Photovoltaische Solarenergie, vom 7. bis 9. März 2007 in Kloster Banz, Bad Staffelstein
- [2] W. Hormann.; W. Just; J. Schlabbach; Netzurückwirkungen; VWEW, Energieverlag; 2005
- [3] Kerber, G.; Witzmann, R.; Aufnahmefähigkeit der Verteilnetze für Strom aus Photovoltaik, EW Jg. 106 (2007), pp.50-54, VWEW-Verlag
- [4] Schmitt, S.; Kremer, P.; Power Quality of grid connected power conditioner SINVERT solar operation results 2005 of the 5 MWp power plant Espenhain-Leipzig;
- [5] Scheffler, Jörg; Bestimmung der maximal zulässigen Netzanschlussleistung photovoltaischer Energiewandlungsanlagen in Wohnsiedlungsgebieten; Dissertation Technische Universität Chemnitz 2002
- [6] ZVEI, Energieeffizienz-Steigerung durch Blindleistungskompensation, Positionspapier zum Grünbuch über Energieeffizienz, Frankfurt, März 2006
- [7] Norbert Grass: "Fuzzy-Logic-Based Power Control System for Multifield Electrostatic Precipitators" IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 38, No 5, 2002
- [8] G. Kerber, R. Witzmann; Voltage Limitation by Autonomous Reactive Power Control of Grid Connected Photovoltaic Inverters, IEEE CPE 2009, 20 – 22 May 2009, Badajoz, Spain
- [9] Richtlinie zum Anschluss und Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz; VWEW Energieverlag, Frankfurt am Main; 2001 VDEW – Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V.
- [10] Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz; Entwurf, Stand 21.11.2008
- [11] G. Bumiller; OFDM-Based High-Speed Narrowband PLC Approved for Smart Metering and Smart Grids, Keynote-Speech, 13th ISPLC, Dresden, 2009
- [12] F. Pacheco, M. Lobashov, M. Pinho, G. Pratl; A powerline communication stack for metering, SCADA and largescale domotic applications, 9th ISPLC, Vancouver, Kanada 2005
- [13] G. Gaderer, T. Sauter, G. Bumiller; Clock Synchronization in Powerline Networks, 9th ISPLC, Vancouver, Kanada 2005

DLC ist ein eingetragenes Markenzeichen der iAd GmbH.