


Netzstützung in Niederspannungsverteilnetzen durch intelligente Wechselrichter bei dezentraler Einspeisung

Grid support by intelligent inverters in low voltage grids with a high proportion of distributed power plants

Prof. Dr.-Ing. Rolf Witzmann, Peter Esslinger, Technische Universität München,
 Fachgebiet Elektrische Energieversorgungsnetze, Deutschland, peter.esslinger@tum.de
 Prof. Dr.-Ing. Norbert Grass, Sebastian Girstl, Ohm-Hochschule Nürnberg,
 Institut für Leistungselektronik, Deutschland
 Reinhold Keck, Anita Adelman, Siemens AG, I IA CE SE R&D, Fürth, Deutschland
 Hermann Hampel, Markus Sebeck,  GmbH, Grosshabersdorf, Deutschland

Kurzfassung

Der Anteil regenerativer Energien an der Stromerzeugung ist in den vergangenen Jahren in Deutschland und Europa entsprechend den politischen Zielen stetig gestiegen. In der Niederspannungsebene handelt es sich dabei meistens um dezentrale regenerative Energieerzeugungsanlagen, wie z. B. Photovoltaik (PV)-Anlagen, die über Um- bzw. Wechselrichter an das Netz angeschlossen sind. Durch zeitweise Umkehr der Lastflussrichtung treten vermehrt unzulässige Spannungsanhebungen auf. Bisherige Überlegungen sehen eine Begrenzung der dezentralen Einspeisung vor, die politisch jedoch nicht gewünscht wird, oder den Ausbau der Netze, was im Allgemeinen hohe volkswirtschaftliche Kosten verursacht.

Im Rahmen des Projektes NetzQ wird die Möglichkeit genutzt, mithilfe der verteilten Wechselrichter von Erzeugungsanlagen Blindleistung bereitzustellen, um die Aufnahmefähigkeit der Netze sowie die Spannungsqualität zu verbessern. Netzausbau lässt sich so in vielen Fällen vermeiden, in jedem Fall aber verzögern. Zusätzlich können Spannungsschwankungen aufgrund fluktuierender Einspeiseleistung, etwa durch Wolkenzug, reduziert, der Blindleistungsbezug optimiert und Netzverzerrungen durch harmonische Oberschwingungsströme kompensiert werden. Die Ansteuerung der Wechselrichter in einem Netzgebiet erfordert für die Optimierung der verschiedenen zu übernehmenden Aufgaben eine verteilte Erfassung relevanter Netzdaten sowie eine zentrale Regelung. Das Prinzip wird in einem realen Netz mit hohem 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

The proportion of renewable energies in power generation has increased in recent years according to the political aims. In low-voltage grids, these are mostly decentralized renewable energy systems such as photovoltaics (PV) that are connected to the grid through the inverters. The temporary reversal of the power flow causes overvoltage problems. Consequently, regenerative sources need to be turned off temporarily or on the long term the grid infrastructure has to be extended by the utility company.

The concept described in this paper uses reactive power which is generated by the solar inverters to increase power capability and quality of the grid. Thus grid extension can be avoided in many cases or at least it can be delayed. Voltage fluctuations due to fluctuating power input, such as by passing clouds, can be reduced. 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. Distributed data collection and central control is required for control of a distributed system of a number of solar inverters installed in a grid segment.

The concept can be applied not only to PV systems; it is rather a basic technology which can be used in future grids with distributed generation and storage. Even the power consumption in the grid can be optimized accordingly to the generation if remotely controllable appliances will be installed in the future.

1 Einleitung

Dezentrale Erzeugungsanlagen werden meist über leistungselektronische Stellglieder an das Verteilnetz angeschlossen. 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 IuK-Technologie, Verteilnetze mit verteilten aktiven Systemen zu regeln und so die Netzaufnahmefähigkeit und die Spannungsqualität zu verbessern.

2 Grenzen der Netzaufnahmefähigkeit

Niederspannungsverteilstnetze sind für einen Lastfluss von der übergeordneten Netzebene über den Transformator zum Verbraucher dimensioniert. Die Betriebsmittel sind so bemessen, dass bei maximal zu erwartender Last unter Berücksichtigung der Schwankungen im überlagerten Netz das zulässige Spannungsband von $\pm 10\%$ eingehalten wird. 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 Spannungsschwankungen kommen. Bild 1 zeigt vereinfacht die mögliche Variation der Spannung an einem Netzstrang bei Last und fluktuierender dezentraler Erzeugung. Empfehlungen zur zulässigen Spannungserhöhung durch Erzeugungsanlagen in Niederspannungsnetzen auf $\leq 2\%$ [1] bzw. zukünftig $\leq 3\%$ [5] begrenzen die Aufnahmefähigkeit der Netze sehr stark [2]. Bei Ausnutzung des gesamten zulässigen Spannungsbandes von $\pm 10\%$ werden in den meisten Netzen auch die thermischen Belastungsgrenzen der Betriebsmittel erreicht.

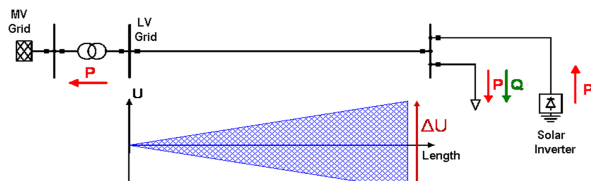


Bild 1: Netzbetrieb mit Last und Erzeugung und möglicher Spannungsschwankung am Leitungsende

Bei Verletzung der zulässigen Spannungsanhebung 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 für die Aufnahmefähigkeit von Verteilnetzen für dezentrale, meist regenerative Energieerzeugungsanlagen dar.

3 Verbesserung der Spannungsqualität und Netzaufnahmefähigkeit durch Blindleistung

Während die Netzaufnahmefähigkeit und Netzqualität bisher im Wesentlichen durch Netzausbau gewährleistet wur-

de, versucht dieses Projekt die in den Netzen verteilten Installationen effizient einzusetzen. Dies geschieht durch Nutzung von verteilter Messtechnik, intelligenter Ansteuerung von Leistungselektronik, neuer Informations- und Kommunikationstechnologie sowie den 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 Netzen mit steuerbaren Einspeiseanlagen und Lasten kann die Netzeffizienz durch verteilte Netzdienstleistungen gesteigert werden.

Das entwickelte Gesamtkonzept (Bild 2) besteht aus drei Regelblöcken:

- Regelung zur Spannungsbandeinhaltung
- Regelung zur Reduktion von Spannungsschwankungen aufgrund fluktuierender Einspeisung
- Regelung zur Vermeidung von Netzverlusten durch Optimierung des Blindleistungsbezugs

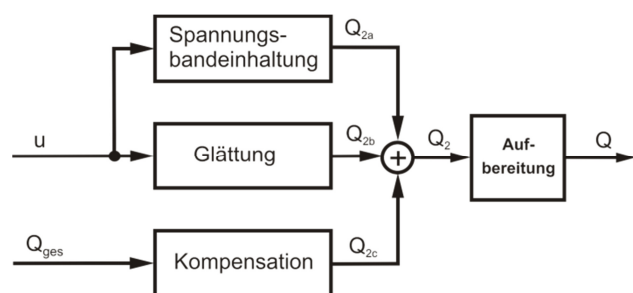


Bild 2: Überblick Regelkonzept

Zur Gewährleistung der Stabilität der Regelung wird die Stellgröße Blindleistung nach in einem abschließenden Regelblock aufbereitet.

3.1 Spannungsbegrenzung durch Blindleistungsbezug

Die Regelung zur Spannungsbandeinhaltung nutzt die Möglichkeit moderner 4-Quadranten-Wechselrichter Blindleistung zu beziehen oder abzugeben.

Bild 3 zeigt qualitativ den Spannungsfall an einer Übertragungsleitung. Während bei normalen Lastverhältnissen die Spannung U_2 am Leitungsende niedriger ist als die Spannung U_1 am Leitungsanfang bzw. am Ortsnetztransformator, so kehren sich die Verhältnisse bei Invertierung der Lastflussrichtung um.

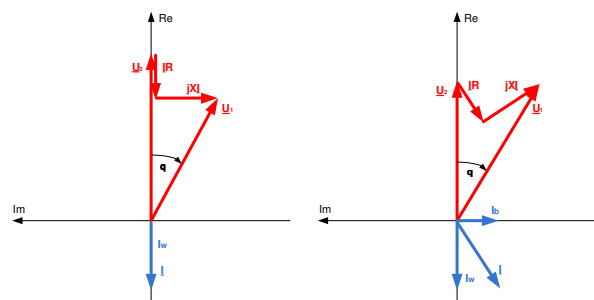


Bild 3: Spannungsfall an einer Leitung bei Wirkstromspeisung (links) und bei Wirkstromspeisung und Blindstrombezug (rechts)

Der linke Teil in Bild 3 zeigt, dass bei Wirkleistungs- bzw. Wirkstrom einspeisung am Leitungsende die Spannung U_2 größer ist als U_1 . Durch gleichzeitigen Blindleistungs- bzw. Blindstrombezug an der Einspeisestelle kann die Spannung U_2 abgesenkt und so auf zulässige Werte begrenzt werden (rechter Teil in Bild 3). Dies ist auch in Niederspannungsnetzen mit ungünstigeren R/X Verhältnissen möglich, wenn man den Ortsnetztransformator mit berücksichtigt.

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 [4]. Dieser Verschiebungswinkel bedeutet, dass der Wechselrichter bei konstanter Wirkleistungseinspeisung ca. 45 % Blindleistung beziehen oder bereitstellen kann. Der Wechselrichter muss dafür bei Bemessungsspannung in seiner Leistung bzw. seinem Strom um 10 % größer bemessen werden. Wird die Blindleistung nur bei erhöhter Netzspannung bezogen, so kann die Höherdimensionierung des Solar-Wechselrichters geringer ausfallen oder u.U. 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. Diese Optimierung des Blindleistungseinsatzes kann durch Kommunikation jedes Wechselrichters mit einem Zentralrechner im Netzgebiet sichergestellt werden.

Die Wechselrichter im Netz überwachen fortlaufend die Netzspannung. Sollte bei einem Wechselrichter ein vom Zentralrechner vorgegebener Grenzwert überschritten werden, so beginnt dieser selbständig Blindleistung zu beziehen, um die Spannung abzusenken. Stößt der betreffende Wechselrichter an seine Grenzen und kann er die Spannung nicht auf das gewünschte Niveau absenken, so teilt er dies einem Zentralrechner mit. Dieser veranlasst daraufhin das Eingreifen eines weiteren Wechselrichters zur Unterstützung des anderen.

Als Standorte regelbarer Wechselrichter bieten sich vor allem Neuinstallationen von PV-Anlagen an. Bei Bestandsanlagen wird sich der Zugriff eher schwierig gestalten. Um auch in solchen Fällen eine effektive Regelung gewährleisten zu können, müssen Bestandswechselrichter an kritischen Stellen im Netz, zum Beispiel am Ende langer Netzausläufer, mit Messstellen ausgestattet werden. Diese Messstellen können dann die Aktivierung des nächstgelegenen regelbaren Wechselrichters veranlassen. Somit wird auch am Ort des Bestandswechselrichters eine Spannungsabsenkung gewährleistet.

3.2 Glättung von Spannungsfuktuationen

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 glätten. Die Gefahr von Flickerbeeinflussung kann durch eine solche zusätzliche Regelung, die in die Wechselrichter lokal implementiert wird, reduziert werden.

3.3 Geregelt 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 von einem Zentralrechner ermittelt werden und auf die Solar-Wechselrichter verteilt werden. Die Netzdienstleistung Blindleistungskompensation erfordert somit Kommunikation.

4 Felderprobung

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

4.1 Überblick Testnetz

Bild 4 zeigt die Netzstruktur des Testnetzes. Das Netz wird über zwei Ortsnetztransformatoren gespeist und vermascht betrieben. Die installierte PV-Anlagenleistung beträgt in Summe etwa 400 kW_p und ist bereits jetzt größer 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, die oft an an langen Netzausläufern zu finden sind.

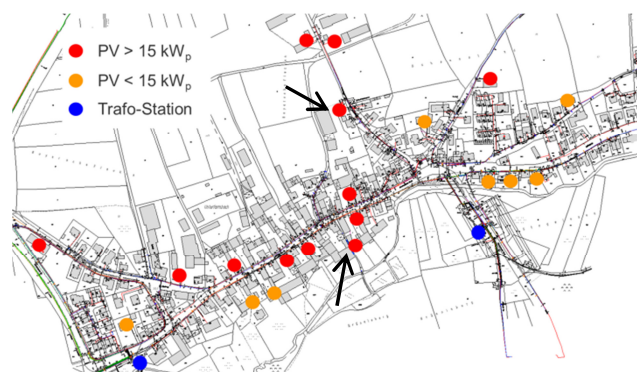


Bild 4: Struktur des Testnetzes

Die Spannungsverhältnisse und Betriebsmittelauslastungen im Netz wurden mithilfe einer kommerziellen Netzberech-

nungssoftware untersucht. Bild 5 zeigt die Spannungsverteilung im Netzgebiet als Folge der dezentralen Einspeiseanlagen. Entsprechend den VDEW-Empfehlungen erfolgt die Berechnung der Spannungen ohne Lastberücksichtigung und der Annahme der Wechselrichter-Bemessungsleistungen. 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.

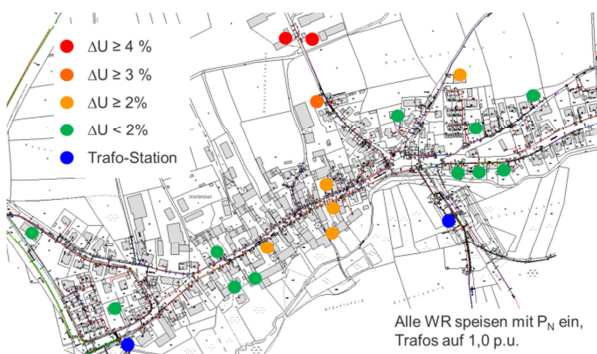


Bild 5: Spannungsanhebung durch verteilte Einspeiseanlagen

4.2 Aufnahmepotential des Testnetzes

Im Testnetz gibt es ca. 100 Haushalte und ca. 35 landwirtschaftliche Verbraucher. Ermittelt man nach [3] das theoretische Photovoltaik-Dachflächenpotential für das Testnetz, so ergeben sich folgende Werte (Tabelle 1).

Tabelle 1: Photovoltaikpotential im Testnetz

	PV Potential je Anschluss
Haushalte	10,1 kW
Landwirtschaften	42,7 kW
Sonderverbraucher	50,9 kW
Gesamt	2808 kW

Dieses theoretische Photovoltaik-Dachflächenpotential ist mit den aktuell im Netz vorhandenen Betriebsmitteln nicht zu erreichen. Betrachtet man nur die thermische Belastbarkeit der Transformatoren und Leitungen so wäre bei gleichmäßig über dem Netzgebiet verteiltem Zubau je nach Verteilung der PV-Anlagen im Mittel eine gesamte installierte Einspeiseleistung von 850 kW möglich. Würden alle PV-Anlagen mit $\cos \varphi = 0,9$ einspeisen, so würde sich diese Leistung nur unwesentlich um 6% verringern. Diese Abnahme resultiert aus der hier zusätzlich auftretenden Blindleistung. Das zulässige Spannungsband von $\pm 10\%$ wird ebenfalls in diesem Leistungsbereich überschritten.

Bereits jetzt wird das 2% Spannungsband [1] (bzw. zukünftig 3% Spannungsband [5]) deutlich verletzt (vgl. Bild 5). Würden alle im Netz vorhandenen Wechselrichter mit $\cos \varphi = 0,9$ einspeisen, so könnte das 2% Spannungsband im fast gesamten Netz eingehalten werden. Lediglich bei zwei PV-Anlagen an einem langen Netzausläufer würde es geringfügig überschritten werden.

4.3 Vorabmessungen im Testnetz

Um den Ist-Zustand des Testnetzes erfassen und besser beurteilen zu können werden vorab einige Messungen durchgeführt. Erfasst werden alle NS-seitigen Abgänge der beiden Ortsnetzstationen, Abgänge an ausgewählten Kabelverteilern im Netz und einzelne PV-Anlagen. Gemessen werden Spannungen, Ströme, Wirk-, Blind- und Scheinleistungen jeweils in möglichst kleiner zeitlicher Auflösung. Damit soll sichergestellt werden, dass der Lastfluss im Netz so genau wie nötig nachvollzogen werden kann.

Zur Auswertung standen vorab zwei Messstellen zur Verfügung (in Bild 4 mit Pfeilen markiert). Einer befindet sich bei einer PV-Einspeisung an einem kritischen Netzausläufer und der andere bei einer PV-Einspeisung, die zwischen beiden Netzstationen liegt.

Bild 6 zeigt im oberen Diagramm den Verlauf der PV-Einspeisung in p.u. bezogen auf die Anlagennennleistung am 04.06.2010, einem sonnigen Sommertag. Die Anlagennennleistung wird wegen der starken Erwärmung der PV-Module nicht erreicht. Ebenfalls in Bild 6 dargestellt sind im unteren Diagramm die zugehörigen Spannungen an beiden Messstellen (grün: Messpunkt am kritischen Netzausläufer, rot: Messpunkt zwischen beiden Transformatoren). Die Nullwerte von Spannung und Leistung sind keine Einbrüche, sondern resultieren aus kurzzeitigen Übertragungsfehlern bei der Messung. Der Spannungsverlauf folgt sehr gut dem Verlauf der PV-Einspeisung.

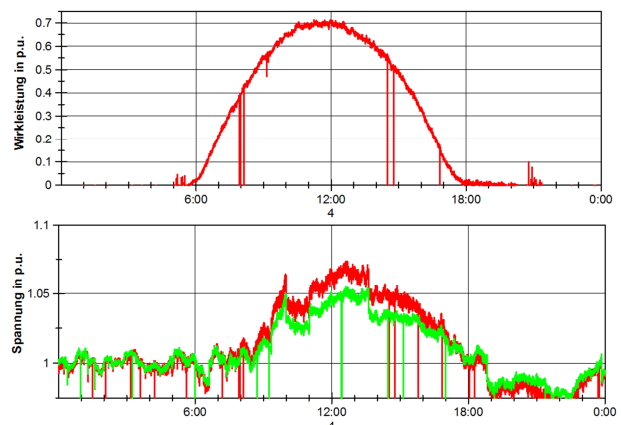


Bild 6: Verlauf von PV-Einspeisung und Spannung am 04.06.2010

Die im Vergleich zu den in Bild 5 genannten Werten sehr hohe Spannungsanhebung von bis zu 7% kommt daher, dass an diesem Tage eine der beiden Netzstationen (linke in Bild 5) wegen Wartungsarbeiten außer Betrieb war. Diese Werte decken sich auch gut mit den Ergebnissen der Netzberechnung.

Ein Ausschnitt des Verlaufs von Einspeiseleistung und Spannung an einem wechselhaften Tag (07.06.2010) ist in Bild 7 dargestellt. Wiederum sind zwei Messstellen aufgetragen (grün: Messpunkt am kritischen Netzausläufer, rot: Messpunkt zwischen beiden Transformatoren). Es ist deutlich zu erkennen, dass die Spannung auch hier dem Verlauf der Einspeisung folgt. An diesem Tag war ebenfalls eine der beiden Netzstationen außer Betrieb. Außerdem ist erkenntlich, dass bei den Spannungen zumeist kleinere

Gradienten auftreten als bei der Einspeiseleistung. Ursache hierfür ist die örtliche Verteilung der PV-Anlagen. Der Leistungseinbruch durch Wolkenzug erfolgt somit zeitlich versetzt. Die zeitlich versetzten Leistungsänderungen haben auch zeitlich versetzte Spannungsänderungen zur Folge. Dies ist in Bild 7 unten links im Bereich von 11:45 Uhr bis 11:55 Uhr gut zu erkennen. Im Bereich von 12:00 Uhr bis 12:15 Uhr sind die Spannungsänderungen hingegen nahezu synchron. Dies ist verursacht durch unterschiedliche Geschwindigkeiten des Wolkenzugs und verschiedene Größen der Wolken.

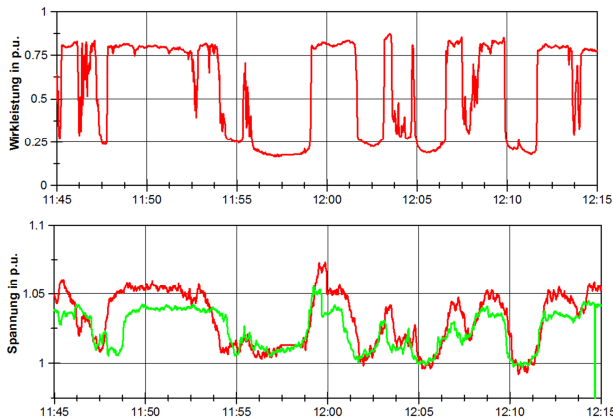


Bild 7: Ausschnitt des Verlaufs der Einspeiseleistung und der Spannung an einem wechselhaften Tag

Die größten bisher gemessenen Leistungsgradienten liegen bei 0,07 p.u./s bezogen auf die Anlagenbemessungsleistung. Die größten bisher gemessenen Spannungsgradienten liegen bei 0,002 p.u./s bezogen auf die Bemessungsspannung.

4.4 Simulation des Regelkonzeptes

Mithilfe der aus den Vorabmessungen gewonnenen Erkenntnisse wurde das entwickelte Regelkonzept mit einer kommerziellen Netzberechnungs-Software simuliert und weiter optimiert. Hierzu wurden mit gemessenen Verläufen der eingespeisten Wirkleistung verschiedene Simulationen durchgeführt. In Bild 8 ist exemplarisch der simulierte Verlauf der Netzspannung (rot) am Ende des kritischen Netzausläufers am 19.07.2010 unter Vernachlässigung der Last dargestellt. Außerdem ist der Verlauf der Netzspannung bei aktivierter Regelung zur Spannungsbandeinhaltung (blau) aufgezeigt. Als Regelziel wurde hier eine maximal zulässige Spannungserhöhung von 2 % bezogen auf die Bemessungsspannung gewählt. Um das Regelziel zu erreichen müssen sich maximal acht regelbare Wechselrichter an geeigneten Standorten im Netz an der Regelung beteiligen. Eine Begrenzung der Spannungserhöhung auf höchstens 3 % wäre bereits möglich, wenn sich nur zwei Wechselrichter an der Regelung beteiligen würden. Die Netzverluste steigen bei aktivierter Regelung zur Spannungsbandeinhaltung nur geringfügig um 5,5 % an.

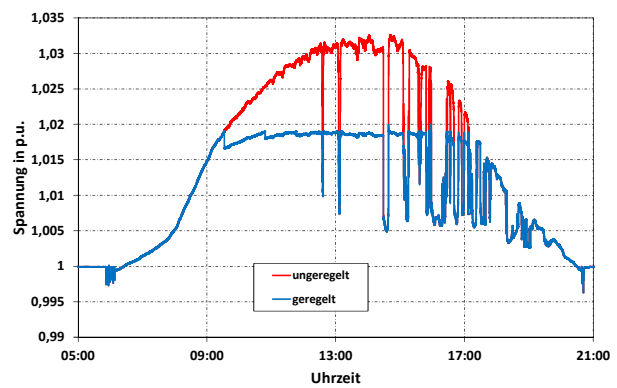


Bild 8: Verlauf der Netzspannung am 19.07.2010 (rot) und simulierter (blau) Verlauf der Netzspannung mit Regelung zur Spannungsbandeinhaltung

Außerdem wurde der Einfluss der Regelung zur Spannungsglättung untersucht. In Bild 9 ist ein Ausschnitt des Verlaufs der Netzspannung von Bild 8 dargestellt. Zusätzlich ist hier der Verlauf der Spannung bei aktivierter Regelung zur Spannungsbandeinhaltung und gleichzeitig aktivierter Regelung zur Spannungsglättung (grün) aufgetragen. Deutlich ist der geglättete Verlauf der Spannung zu erkennen.

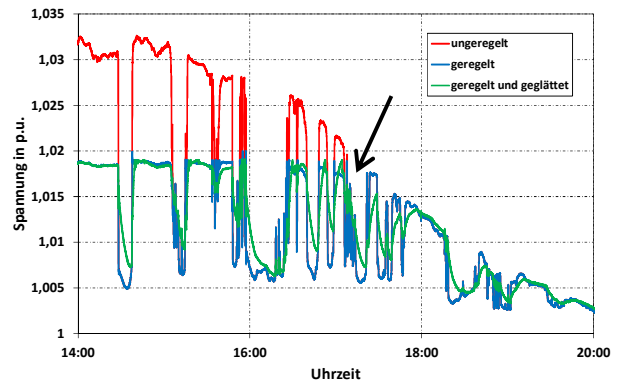


Bild 9: Einfluss der Spannungsglättung

Bild 10 zeigt den Verlauf von unregelter, geregelter und geregelter und geglätteter Spannung in einem kleinen Zeitfenster (in Bild 9 mit Pfeil markiert). Kurzzeitige Spannungsfuktuationen werden merklich geglättet.

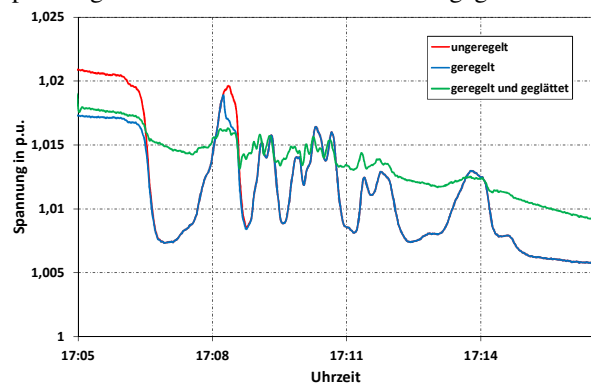


Bild 10: Geglätteter Spannungsverlauf im Detail

Regelziel der Spannungsbandeinhaltung ist hier wieder eine maximale Spannungserhöhung von 2 % bezogen auf

die Bemessungsspannung. Zum Erreichen des Regelziels müssen sich nur fünf geeignet im Netz plazierte Wechselrichter beteiligen, da die Spannungsglättung unterstützend zur Regelung zur Spannungsbandeinhaltung wirkt. Kurze Spannungsspitzen können allein durch die Spannungsglättung begrenzt werden. Die Netzverluste erhöhen sich wiederum nur geringfügig um 6 % verglichen mit dem unregulierten Fall.

4.5 Messungen bei aktivierter Regelung zur Spannungsglättung

In Bild 11 sind Messergebnisse bei aktivierter Regelung zur Spannungsglättung am 22.06.2010 aufgezeigt. Dargestellt sind der Verlauf der eingespeisten Wirkleistung, der vom Wechselrichter bereitgestellten Blindleistung zur Spannungsglättung und der Netzspannung am Messpunkt zwischen beiden Ortsnetzstationen. Auch hier war wegen Wartungsarbeiten eine der beiden Netzstationen außer Betrieb (linke in Bild 5). Deutlich ist zu erkennen, dass bei Spannungseinbrüchen Blindleistung vom Wechselrichter abgegeben und bei Spannungsspitzen Blindleistung vom Wechselrichter bezogen wird (Bild 11 oben). Der Verlauf der Netzspannung am Messpunkt (Bild 11 unten) wird dadurch deutlich geglättet. Der Vergleich mit der Messung bei deaktivierter Spannungsglättung (Bild 7 unten) zeigt dies erkennbar auf.

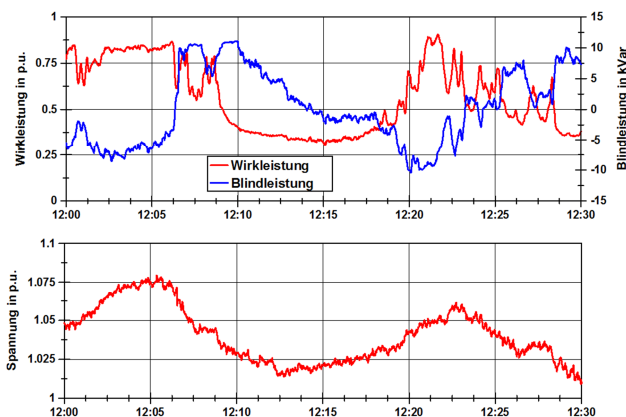


Bild 11: Verlauf von Wirk-, Blindleistung und Spannung bei aktivierter Spannungsglättung

5 Fazit und Ausblick

Das vorgestellte Konzept soll eine höhere Zuverlässigkeit und verbesserte Spannungsqualität in den Verteilnetzen bewirken bei gleichzeitig verbesserter Aufnahmefähigkeit für dezentrale regenerative Energieerzeugungsanlagen. Bisher wurden Vorabmessungen im Testnetz durchgeführt und ausgewertet. Die Regelung zur Reduktion von Spannungsschwankungen wurde erfolgreich im Modellversuch erprobt. Im nächsten Schritt soll die Regelung zur Spannungsbandeinhaltung getestet und optimiert werden. Erste Versuche an einer Testanlage wurden hierzu bereits durchgeführt. Bild 12 zeigt exemplarisch die gemessene Spannung und Blindleistung bei aktivierter Regelung zur Spannungsbandeinhaltung und Spannungsglättung. Regelziel war hier eine maximale Spannung von 228 V

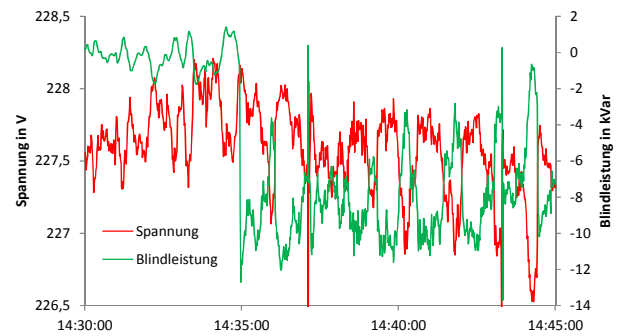


Bild 12: Regelung zur Spannungsbandeinhaltung

6 Projektpartner/ Förderung

Das Projekt NetzQ wird vom Bayerischen Wirtschaftsministerium gefördert aus Mitteln des Clusterprojektfonds des bayerischen Förderprogramms „Informations- und Kommunikationstechnik“.

Projektpartner und ihre Aufgaben:

Technische Universität München (TUM) Fachgebiet Elektrische Energieversorgungsnetze	Netzanalyse, Netzsimulation, Entwicklung, Simulation und Optimierung der Regelungsstrategien
Georg-Simon-Ohm Hochschule Nürnberg Institut für Leistungselektronik (ELSYS)	Stromrichterregelung, Power Quality
Siemens AG I IA CE SE R&D 90766 Fürth	Messtechnik, Datenerfassung, Solar-Wechselrichter
iAd GmbH 90613 Großhabersdorf	Messtechnik, Datenerfassung, Smart Metering, DLC

7 Literatur

- [1] Richtlinie zum Anschluss und Parallelbetrieb von Eigenenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz; VWEW Energieverlag, Frankfurt am Main; 2001
- [2] Kerber, G.; Witzmann, R.: Aufnahmefähigkeit der Verteilnetze für Strom aus Photovoltaik EW Jg. 106 (2007), pp.50-54, VWEW-Verlag
- [3] Lödl, M.; Kerber, G.; Witzmann, R.; Hoffmann, C.; Metzger, M.: Abschätzung des Photovoltaik-Potentials auf Dachflächen in Deutschland, 11. Symposium Energieinnovation „Alte Ziele – Neue Wege“ (Session C1 Solarenergie), 10.-12.2.2010, Graz/Austria
- [4] 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
- [5] Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz; Entwurf, Stand Juli 2010