

**Problem:** Die elektrischen Energieversorgungsnetze sind traditionell darauf ausgelegt, die von den zentralen Großkraftwerken generierte elektrische Energie zu den Endkunden zu transportieren. Monetäre Anreize durch das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) fördern den Ausbau der Energiewandlung aus Sonne und Wind. Daher kommt es auch im Bereich des Niederspannungsnetzes zu vermehrt dezentralen Einspeisungen. Doch zusätzlich werden neue Lasten, wie zum Beispiel Klimageräte oder Elektroautos, im Niederspannungsnetz integriert. Diese Veränderungen können eine Verletzung des zulässigen Spannungstoleranzbandes hervorrufen und fordern daher einen Ausbau dieser Netzebene. Nach Norm (DIN EN 50 160) wird zwischen Mittelumspannung und Hausanschluss eine Toleranz von  $\pm 10\% U_N$  (Nennspannung) gewährt. Dieses kann netzplanerisch vom Verteilnetzbetreiber beliebig auf die Mittel- und Niederspannungsebene aufgeteilt werden. Um Spannungsbandverletzungen zu vermeiden, haben Verteilnetzbetreiber verschiedene Möglichkeiten. Einerseits kann durch Netzverstärkungsmaßnahmen, wie das Verlegen größerer Kabelquerschnitte oder der Austausch von Transformatoren durch leistungsstärkere, die Kurzschlussleistung des Netzes erhöht und folglich die Netzrückwirkungen in Form von kritischen Spannungsänderungen reduziert werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Netzintegration eines regelbaren Transformators in die Ortsnetzstationen, der über einen Laststufenschalter die sekundärseitige Spannung (Niederspannung) unterbrechungsfrei einstellen kann und für die Einhaltung des zulässigen Spannungstoleranzbandes sorgt.

Für die Untersuchungen in zwei Ortsnetzen förderte die Avacon AG in den Gemeinden Weyhe und Stuhr insgesamt 30 Haushalte bei der Anschaffung von Photovoltaikanlagen, Klimageräten und dem Leasing von Elektrofahrzeugen. Auch entsprechende Investitionen in die Netzinfrastruktur (Messtechnik, Smart-Meter etc.) wurden getätigt, sowie die Ortsnetzstationen mit regelbaren Transformatoren (rONT) ausgestattet.

Das Projekt ist im Jahr 2013 um drei Jahre verlängert worden, und in diesem Rahmen wurden auch PV-Hausspeichersysteme als neue Technologie mit aufgenommen und im Rahmen des Projektes untersucht.

**Ziel:** Das Forschungsvorhaben zielt darauf ab, Planungsgrundsätze für die zukünftigen Anforderungen der Niederspannungsnetze zu erarbeiten. Für die notwendigen Untersuchungen stellt die Avacon AG zwei reale Versuchsnetze zur Verfügung.

Das Institut für Elektrische Energietechnik und Energiesysteme beschäftigt sich im Rahmen des e-home Energieprojektes in erster Linie mit der Auslegung und Netzintegration eines regelbaren Ortsnetztransformators zur Spannungsregelung im Niederspannungsnetz. In Kooperation mit den Projektpartnern wurden die notwendigen technischen Daten eines regelbaren Ortsnetztransformators mit zugehörigem Laststufenschalter bereits ermittelt. Ebenfalls werden ein geeigneter Regelalgorithmus für den Mono- und den Multisensorbetrieb und die entsprechende Reglerparametrierung herausgearbeitet, um zukünftig durch den Einsatz von regelbaren Ortsnetztrans-

---

formatoren die Einhaltung der Spannungstoleranzen zu gewährleisten und die Anschlusskapazität an das bestehende Niederspannungsnetz ohne weitere Netzausbaumaßnahmen zu erhöhen.

**Stand der Technik:** Regelbare Ortsnetztransformatoren sind mittlerweile am Markt verfügbar. Im Projekt werden die regelbaren Ortsnetztransformatoren der Maschinenfabrik Reinhausen eingesetzt, welche eine Stufenbreite von 2,5 % der Nennspannung ( $U_N$ ) und neun Stufen besitzen und folglich einen gesamten Regelbereich von 20 % der Nennspannung abdecken. Überwiegend werden die regelbaren Ortsnetztransformatoren im Monosensorbetrieb betrieben. Der Istwert des Reglers wird dabei direkt an der Niederspannungs-Sammelschiene des Transformators erfasst. Diese Spannung wird durch den Regler im definierten Reglertotband (z.B.  $\pm 2 \% U_N$ ) gehalten. Hierdurch ergeben sich zusätzliche netzplanerische Freiheiten für das Niederspannungsnetz in Bezug auf den Spannungshub bzw. –fall.

**Lösungsweg:** Durch den Einsatz regelbarer Transformatoren in den Ortsnetzstationen können die Spannungsfluktuationen durch dezentrale Erzeugereinheiten, wie auch durch zusätzliche Lasten, ausgeregelt werden. Folglich wird die Anschlusskapazität von dezentralen Erzeugereinheiten und zusätzlichen Lasten ohne weitere konventionelle Netzausbaumaßnahmen erhöht. Beim Monosensorbetrieb wird die Mittelspannungsfluktuation ausgeregelt, sodass das Niederspannungsnetz netzplanerisch vom Mittelspannungsnetz hinsichtlich des Spannungstoleranzbandes nach DIN EN 50 160 von  $\pm 10\% U_N$  entkoppelt ist und dieses abzüglich des Reglertotbandes voll im Niederspannungsnetz zur Verfügung steht.

Beim Multisensorbetrieb können zusätzliche im Netz eingesetzte Spannungsmessstellen berücksichtigt werden, um auch diese Knoten in das zulässige Spannungstoleranzband durch geeignete Stufungen des rONT zu regeln.

**Projektstand:** In den ersten beiden Projektjahren wurde die notwendige Konfiguration des regelbaren Ortsnetztransformators (rONT) ermittelt. Hierbei ergab sich nach Auswertung von Spannungsmesswerten aus Mittel- und Niederspannungsnetzen, sowie der Fortführung der Überlegung zur Abhängigkeit der Stufenbreite, der Stufenanzahl und der sich ergebenden Freiheiten für den netzplanerischen Spannungshub aus der Orientierungsstudie [1] ein notwendiger Gesamtregelbereich von 21,5%  $U_N$  bei elf Stufen und einer Stufenbreite von 2,15%  $U_N$ . Des Weiteren wurden verschiedene Regelalgorithmen des Monosensorbetriebes in der Netzrechnungssoftware DIgSILENT Power Factory implementiert und hinsichtlich Flickerstärke, Stufhäufigkeit und Spannungsextrema an den Netzknoten miteinander verglichen. Außerdem wurden die Wechselwirkungen mit der Q(U)-Regelung von Wechselrichtern untersucht, wobei sich keine negativen Rückkopplungen ergaben, sondern der rONT hinsichtlich des Stufverhaltens geringfügig entlastet wurde. [2]

Im dritten Projektjahr wurde die Thematik Multisensorbetrieb untersucht, mit dem Ziel einen geeigneten Regelalgorithmus zu entwickeln und zu erproben, sowie den durch diese Betriebsart zusätzlich vermiedenen konventionellen Netzausbau anhand von Beispielnetzstrukturen zu ermitteln. In den Niederspannungsnetzstrukturen des Projektpartners stellte sich diese Betriebsart jedoch als Einzelfallentscheidung heraus, da bei den durchschnittlichen Leitungslängen und Erhöhung der Durchdringung dezentraler Einspeisung nach einem rONT Einsatz im Monosensorbetrieb eine Leitungsverstärkung aufgrund der thermischen Belastungsgrenzen (Stromtragfähigkeit) durchgeführt werden musste. Der Multisensorbetrieb kann daher bei Niederspannungsnetzstrukturen mit langen Ausläuferleitungen und zeitlich unterschiedlicher Belastung (Last/Erzeugung) eingesetzt werden. [3], [4]

Aufgrund der Erkenntnisse aus dem dritten Projektjahr wurden im vierten Projektjahr weitere alternative Regelungskonzepte untersucht. Hierzu zählt auch der Monosensorbetrieb mit variabler Sollwertvorgabe in Abhängigkeit der gemessenen Solarstrahlung, da die dezentrale Einspeiseleistung durch PV-Anlagen und der damit verbundene Spannungshub im Netz mit der Solarstrahlung korreliert und somit mit im Vergleich zum Multisensorbetrieb wenig Zusatzaufwand das bestehende Netz hinsichtlich der Spannungstoleranzen besser ausgenutzt werden kann. Außerdem ergibt sich die Möglichkeit, die Spannung in lastgeprägten Zeiten an der Ortsnetzstation hochzusetzen, um somit bei überwiegend nichtlinearen Lasten die Netzverluste zu reduzieren. [5]

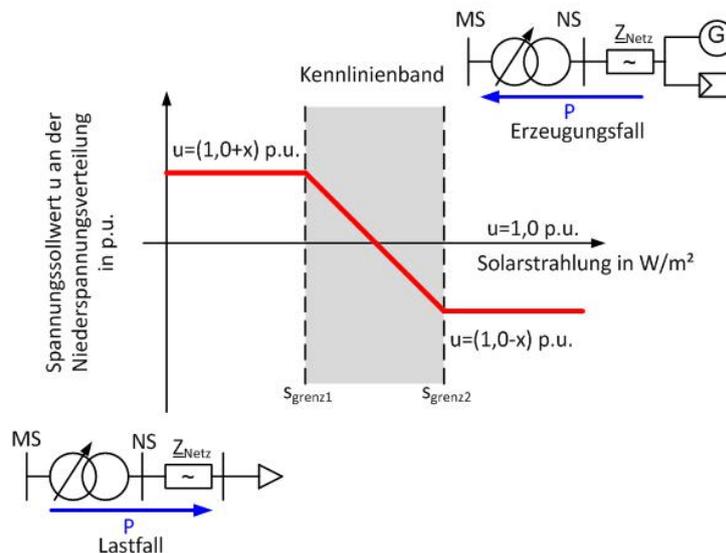


Abbildung 1: Kennlinie zur variablen Sollwertvorgabe in Abhängigkeit der (gemessenen) Solarstrahlung

Das fünfte Projektjahr beinhaltet aus diesem Grund die Untersuchung der zusätzlichen Verluste regelbarer Ortsnetztransformatoren und der Netzverluste in Kooperation mit dem Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen der Leibniz-Universität Hannover. Das Ziel ist, einen Vergleich der Verluste zu ermöglichen, um zukünftig durch eine geeignete Regelung des rONT die gesamten Verluste des Gesamtsystems (rONT und Niederspannungsnetz) zu reduzieren.

Weiterhin ist geplant, die Regelung des rONT, mit dem ursprünglich am IEE für das Mittelspannungsnetz entwickelten Knotenlastbeobachter (KLB), zu erweitern, um auch nicht messtechnisch erfasste Netzknoten im Regelalgorithmus berücksichtigen zu können.

- Publikationen:**
- [1] Werther, B.; Becker, A.; Wehrmann, E.-A.; zum Hingst, J.; Beck, H.-P.; Orientierungsstudie regelbare Ortsnetztransformatoren; Band 6 der EFZN Schriftenreihe, Cuvillier-Verlag Göttingen
  - [2] Schnieder, R.; Wehrmann, E.-A.; Beck, H.-P.; Untersuchung verschiedener Regelungskonzepte für regelbare Ortsnetztransformatoren zur Spannungshaltung in Niederspannungsverteilsnetzen; Konferenz für Nachhaltige Energieversorgung und Integration von Speichern (NEIS), Hamburg, (12.-13. September 2013)
  - [3] Becker, A.; Lühn, T.; Mohrmann, M.; Schlömer, G.; Schmidtman,

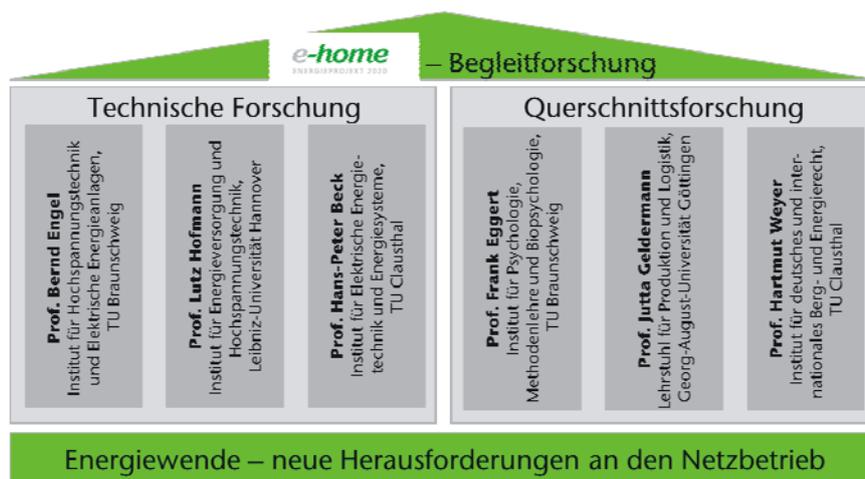
**Projekt:** e-Home Energieprojekt 2020

G.; Schneider, D.; Schnieder, R. unter Beteiligung von Hofmann, L.; Beck, H.-P.; Geldermann, J.; Weyer, H.;  
 Netzausbauvarianten in Niederspannungsverteilnetzen – Regelbare Ortsnetztransformatoren in Konkurrenz zu konventionellen Netzausbaumaßnahmen; Schriftenreihe des Energie-Forschungszentrum Niedersachsen, Cuvillier Verlag Göttingen, ISBN 978-3-95404-757-4, 2014

- [4] Schnieder, R.; Wehrmann, E.-A.; Beck, H.-P.; Spannungsregelung in Niederspannungsverteilnetzen durch regelbare Ortsnetztransformatoren im Mono- und Multisensorbetrieb  
 Konferenz für Nachhaltige Energieversorgung und Integration von Speichern (NEIS), Hamburg, (18.-19. September 2014)
- [5] Schnieder, R.; Wehrmann, E.-A.; Beck, H.-P.; Einsatzmöglichkeiten regelbarer Ortsnetztransformatoren zur Spannungshaltung und Netzverlustreduzierung in Niederspannungsverteilnetzen  
 Konferenz für Nachhaltige Energieversorgung und Integration von Speichern (NEIS), Hamburg, (10.-11. September 2015)

**Projektpartner am EFZN:**

**Transdisziplinärer Forschungsansatz des Energieforschungszentrum Niedersachsen (EFZN):**



Darstellung: B. Becker

in freundlicher Zusammenarbeit mit der Avacon AG, Helmstedt.

**Projekthomepage:** [www.ehomeprojekt.de](http://www.ehomeprojekt.de)

**Projektlaufzeit:** 01.11.2010 - 30.06.2016

**Gefördert durch:**



**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Raimund Schnieder (Tel: 72-3597)  
raimund.schnieder@tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann (Tel: 72-2595)  
wehrmann@iee.tu-clausthal.de