

Aspects of power quality in terms of connecting decentralised power generation into the distribution grid

Dipl.-Ing. Rainer Bäsman, N-ERGIE Netz GmbH, Nuremberg, Germany

Aspekte der Spannungsqualität bei der Einbindung von dezentralen Erzeugungsanlagen ins Verteilungsnetz

Dipl.-Ing. Rainer Bäsman, N-ERGIE Netz GmbH, Nürnberg, Deutschland

Kurzfassung / Abstract

The current and future strong growth of decentralised power generation based on renewable sources of energy clearly calls for the adaptation of traditional grid planning activities. The characteristics of feeding in energy result in new requirements for grid expansion, which, in the case of regional grids, is mostly necessary to maintain voltage levels. Decentralised power plants based on renewables are guided by the offer of primary energy, not by the demands of the grid. Due to the privileges granted to renewable sources of energy it is now up to grid operators to mitigate these effects through measures in the distribution network and thus ensure that critical values are not exceeded. A perfect implementation of these measures both from a technical and business point of view requires a sound knowledge of what is actually happening in the grid. The fact that feeding in energy will become even more common in the future places new demands on grids and the connected power plants for the event of failures. If these requirements are not met, a deterioration of power quality will ensue. The success of political measures is based on all stakeholders cooperating to keep the costs for the national economy at a minimum.

Der aktuelle und zukünftig starke Anstieg der dezentralen Energieerzeugung auf regenerativer Basis macht die Anpassung klassischer Vorgehensweisen der Netzplanung notwendig. Die Charakteristik der Einspeisung ergibt neue Anforderungen in Hinblick auf den in regionalen Netzen primär für die Spannungshaltung notwendigen Netzausbau. Das Verhalten von dezentralen Energieerzeugungsanlagen auf regenerativer Basis orientiert sich am Angebot der Primärenergie, nicht am Bedarf des Netzes. Aufgrund der Privilegierung der erneuerbaren Energien ist es momentan alleinige Aufgabe der Netzbetreiber, die Auswirkungen durch Maßnahmen im Verteilungsnetz so zu verringern, dass keine Grenzwerte überschritten werden. Die technisch und wirtschaftlich optimale Ausführung der Maßnahmen setzt eine fundierte Kenntnis des tatsächlichen Netzgeschehens voraus. Die zukünftig noch weiter zunehmende Einspeisung bringt auch neue Anforderungen an Netze und die angeschlossenen Anlagen in Hinblick auf das Verhalten im Störfall mit sich. Werden diese Anforderungen nicht erfüllt, wird daraus eine Verschlechterung der Spannungsqualität resultieren. Die politischen Ziele können nur gemeinsam von allen Akteuren so erreicht werden, dass die Kosten für die Volkswirtschaft so gering wie möglich bleiben.

1 Einleitung

Bei der Planung der Verteilungsnetze ist die entscheidende Größe die Leistung (Bezug und Lieferung) der angeschlossenen Kundenanlagen. Auf Basis der dafür angenommenen Werte wird die Netzstruktur festgelegt und die Dimensionierung der Betriebsmittel vorgenommen. Ein Ziel der Auslegung ist es, eine Versorgungsqualität zur Verfügung zu stellen, wie sie vom Markt gefordert wird. Ein wesentlicher Aspekt ist die Einhaltung der Spannungsgrenzen gemäß DIN IEC 60038:2002-11. Die Einhaltung ist die Gewähr, dass praktisch alle Elektrogeräte wie erwartet funktionieren. Der Wandel in der Erzeugung der elektrischen Energie, der aktuell gesellschaftspolitisch motiviert durch einen sprunghaften Anstieg der dezentralen Erzeugung auf regenerativer Basis geprägt ist, stellt die Planer von Verteilungsnetzen vor eine Vielzahl neuartiger Herausforderungen. Galt bisher der Grundsatz, dass eine Erhöhung der

Anzahl von Kundenanlagen aufgrund des Gleichzeitigkeitsfaktors nicht zu einem direkt proportionalen Anstieg der Leistung führt, muss beim Anschluss von Dezentralen Energieerzeugungsanlagen (DEA) teilweise von einem Gleichzeitigkeitsfaktor nahe 1 ausgegangen werden. Dies führt zu deutlich stärker dimensionierten Netzen als bisher üblich. Da hier unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen, die durch die Anreizregulierung vorgegeben sind, die Investitionen auf das optimale Maß beschränkt werden sollten, ist dieser Gleichzeitigkeitsfaktor von DEA und die daraus resultierenden Konsequenzen eine genauere Betrachtung wert.

2 Gleichzeitigkeit von Last und Einspeisung

Die wesentlichen Unterschiede der Gleichzeitigkeitsfaktoren von Lasten und DEA auf Basis verschiedener Primärenergieträger wird im Folgenden näher erläutert.

2.1 Gleichzeitigkeit von Lasten

Für die Bestimmung des Gleichzeitigkeitsfaktors von Haushaltskunden gibt es Formeln, die letztlich in einer Kurve gemäß **Bild 1** münden. Die Ursache für den degressiven Verlauf liegt zum einen in der individuellen Gestaltung des Tagesablaufes der Kunden, zum anderen an den kurzen Einschaltzeiten der lastbestimmenden Geräte wie Backofen, Herd, Warmwassergeräten etc. Für Gewerbe- und Industriekunden ist mit einem deutlich höheren individuellen Gleichzeitigkeitsfaktor zu rechnen.

Sieht man von Haushalten mit allelektrischer Versorgung ab, stellt Gl. [1] eine gute Näherung für die Praxis dar [1/

$$g_{HH}(n) = 0,1 + 0,9 / \sqrt{n} \quad [1]$$

Der sich aus dieser Formel ergebende Verlauf ist in **Bild 1** dargestellt.

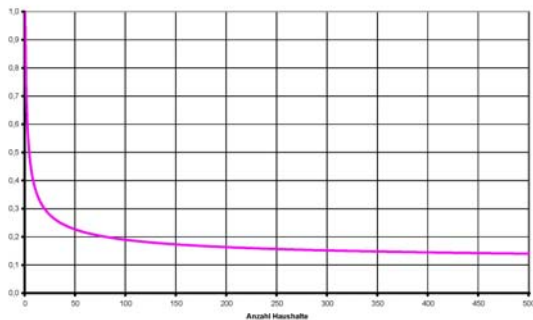


Bild 1 Gleichzeitigkeitsfaktor für Haushaltskunden

2.2 Gleichzeitigkeit von Einspeisung

Im Gegensatz zu der individuellen Nutzung von Geräten durch Kunden ist die Erzeugung von Energie durch DEA auf regenerativer Basis überwiegend vom Angebot der Primärenergie abhängig und orientiert sich nicht am Bedarf des Netzes. Wenn dieses Angebot dann noch über die betrachtete Fläche nahezu zeit- und intensitätsgleich vorhanden ist wie die Solareinstrahlung bei wolkenlosem Himmel, steigt der Gleichzeitigkeitsfaktor auf den Wert 1. Beispielsweise seien hier die Einspeiseverläufe in **Bild 2** aufgeführt, wobei die zugrunde gelegten Photovoltaikanlagen bis zu 100 km auseinander liegen.

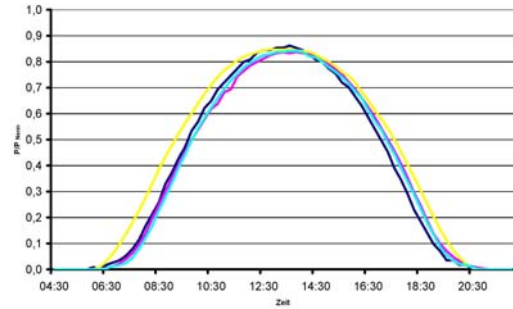


Bild 2 Einspeiseverläufe von Photovoltaikanlagen

Somit kann festgestellt werden, dass selbst großflächig verteilte Photovoltaikanlagen praktisch identische Einspeisecharakteristika aufweisen. Aufgrund der Tatsache, dass im Gegensatz zu allen anderen regenerativen Energieträgern der Bau von Photovoltaikanlagen an nahezu jedem Standort in einem Leistungsbereich von wenigen kW bis zu mehreren MW (z.B. in Waldpolenz bei Leipzig 40 MWp) durchführbar ist, entsteht hierdurch für die Planung und den Betrieb von Verteilungsnetzen eine komplett neue Aufgabenstellung. Es ist davon auszugehen, dass es allein durch den weiteren Bau von Photovoltaikanlagen in ländlichen Gebieten flächendeckend dazu kommen wird, dass die erzeugte Energie den Bedarf bei weitem übersteigt und bis in die 110-kV-Netzebene übertragen werden muss.

Auch unterschiedliche Energieträger verringern den Gleichzeitigkeitsfaktor nicht unbedingt. In **Bild 3** sind die Einspeiseverläufe anhand der relativen Leistung von drei Windkraftanlagen und vier Photovoltaikanlagen im Zeitraum von 10:00 Uhr bis 16:00 Uhr dargestellt.

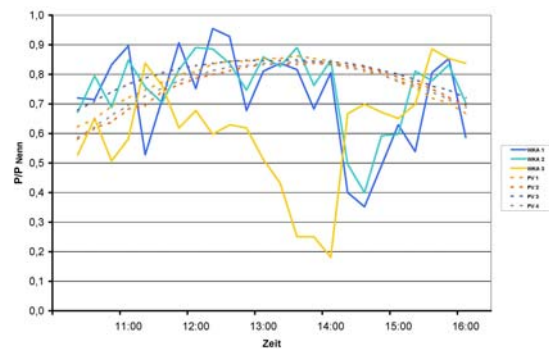


Bild 3 Zeitgleiche Einspeiseverläufe von PV- und Windkraftanlagen

Die Darstellung zeigt, dass Photovoltaikanlagen und Windkraftanlagen durchaus nahezu gleichzeitig mit der maximalen Leistung einspeisen können. Wasserkraftanlagen, Biogas- und Biomasseanlagen sind in diesen Betrachtungszeiträumen ebenfalls als konstante Einspeisung mit Nennleistung anzusetzen.

Durch die Privilegierung der Energieerzeugung auf regenerativer Basis hat der Netzbetreiber die Pflicht, das Verteilungsnetz so auszubauen, dass die Auswirkungen dieser Einspeisecharakteristik auf die Spannungshaltung in den zulässigen Grenzen bleiben.

Daraus ergeben sich mehrere Konsequenzen. Zum einen müssen bei der Planung die Netze so ausgelegt werden, dass die zeitgleiche Leistung so in die nächsthöhere Spannungsebene transportiert werden kann, dass die Spannungsgrenzen gemäß DIN IEC 60038:2002-11 unter Berücksichtigung der DIN EN 50160:2008-04 eingehalten werden. Zum anderen muss im Netzbetrieb berücksichtigt werden, dass eine erhebliche dezentrale Einspeiseleistung ohne weitere Vorgaben bei Netzstörungen ein identisches Verhalten aufweist, was zu kritischen Netzzuständen führen kann und sich stark auf die Spannungsqualität auswirkt.

3 Netzauslegung

Die dezentrale Erzeugung von Energie auf regenerativer Basis wird sich zukünftig weiter entwickeln. Aufgrund geographischer Eigenheiten ergibt sich eine Konzentration von verschiedenen Erzeugungsformen auf bestimmte Gebiete. Windkraftanlagen profitieren von den deutlich höheren Windgeschwindigkeiten an Küsten und auf See, Photovoltaikanlagen werden verstärkt in Gebieten mit höherer Globalstrahlung errichtet. Neben den südlichen Bundesländern sind bemerkenswerterweise auch die Küstenstreifen und Inseln relevant, da durch den stetigen Wind die Module besser gekühlt werden. Somit ergeben sich in diesen Gebieten spezifische Aufgaben für den Netzbetreiber.

3.1 Spannungsanhebung

Wird der Gleichzeitigkeitsfaktor auf eine ausreichend große Zahl von Kundenanlagen, z.B. Haushaltskunden, angewandt, ergibt sich aus Formel [1], dass ca. 10 bis 20 % der installierten Geräteleistung pro Haushalt zeitgleich über alle Haushalte in Betrieb ist. Im ländlichen Bereich des Netzes der N-ERGIE Netz GmbH wird bei einer Gesamtbetrachtung von einer Last von ca. 0,15 kW je Haushalt ausgegangen. Die Erfahrung zeigt, dass an Sonn- oder Feiertag die minimale Summe der Last aller direkt versorgten Kunden auftritt.

Diesem Lastfluss zum Kunden muss nun die Einspeisung durch z.B. Photovoltaikanlagen gegenübergestellt werden. Das aufgrund der nutzbaren Dachflächen mögliche Ausbaupotenzial von Photovoltaikanlagen liegt in diesem ländlichen Bereich bei durchschnittlich 10 kW je Hausanschluss [2]. Unter der Annahme, dass zukünftig nur 50 % der Hausbesitzer eine Photovoltaikanlage installieren, ergibt sich eine Einspeiseleistung von 5 kW je Hausanschluss. Geht man von 1,5 Haushalten je Hausanschluss aus, was in einer ländlichen Struktur eher zu hoch gegrif-

fen ist, ergibt sich damit pro Haushalt eine durchschnittliche Einspeiseleistung von 3,33 kW. Diese Leistung wird zeitgleich eingespeist und entspricht dem 20-fachen der Bezugsleistung. Die Netzauslegung von Ortsnetzen wird sich damit zukünftig an der dezentralen Einspeisung und an größeren singulären Lasten orientieren.

Dem Bezug und der Einspeisung in der Niederspannungsebene sind der Bezug und die Einspeisung auf der Mittelspannungsebene zu überlagern. Durch den hohen Anteil an kommunalen Netzbetreibern, die häufig durch eine in unmittelbarer Nähe errichtete Umspannanlage versorgt werden, beschränkt sich im ländlichen Bereich des Netzes der N-ERGIE Netz GmbH der Bezug auf der Mittelspannungsebene auf wenige singuläre Kunden. Die Einspeisung auf der Mittelspannungsebene wird von einzelnen Windkraftanlagen und vermehrt durch Freiflächen-Photovoltaikanlagen mit einer Leistung im MW-Bereich geprägt. Im Gegensatz zur relativ geringen kurzfristigen Auswirkung eines Lastanstieges (aufgrund des geringen Gleichzeitigkeitsfaktors) macht sich die Wirkung von neu angeschlossenen DEA mit der Gleichzeitigkeitsfaktor 1 sofort bemerkbar.

Damit müsste bei einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Netze die Planung von Netzausbaumaßnahmen den innerhalb des Planungszeitraumes erwarteten Zubau von DEA berücksichtigen und die Maßnahmen entsprechend ausgeführt werden. Eine derartige nachhaltige Bewirtschaftung ist jedoch unter dem aktuellen Aspekt der Vorgaben der Anreizregulierung nur sehr schwer durchzuführen. Damit wirft sich die Frage auf, wie die Anschlusskapazität der aktuellen bzw. in absehbarer Zeit bestehenden Netzinfrastruktur so exakt wie möglich ermittelt wird. Eine weitere wesentliche Aufgabe in diesem Zusammenhang ist die möglichst realitätsnahe Abschätzung der zu erwartenden Einspeiseleistung.

Die maximale Anschlusskapazität des Netzes ist dann erreicht, wenn während der üblichen Lastschwankungen und bei regulärem Netzzustand die Spannungsgrenzen an allen Punkten im Netz gerade noch eingehalten werden. Als übliche Lastschwankung wird bei der N-ERGIE Netz GmbH der Lastbereich zwischen dem Höchstlastfall ohne Einspeisung durch DEA und dem Schwachlastfall bei maximaler Einspeisung durch DEA angesetzt. Untersuchungen zur Aufteilung des verfügbaren Spannungsbandes von $\pm 10\%$ U_N an Hausanschluss auf die Netzebenen haben gezeigt, dass die klassische Vorgehensweise, die Spannung in der Umspannanlage auf einen konstanten Wert zu regeln, in absehbarer Zeit nicht mehr ausreichend ist. Ein Problem dabei ist, dass es in einem Versorgungsbereich Netzzeige gibt, in denen die Spannung durch eine überwiegende Einspeisung stark angehoben wird, in anderen Netzzeigen wird durch singuläre Lasten die Spannung stark abgesenkt. Damit ist auch die Nutzung einer Stromkompoundierung nicht mehr möglich, da der Strom über den 110-/20-kV-Transformator kein verlässliches Indiz

mehr für die Lastflüsse im 20-kV-Netz ist. Hier wird in einem ersten Netzbereich eine Schlechtpunktregelung betrieben, bei der die Spannung eines zuvor festgelegten Netzknotens, der die höchste Schwankungsbreite der Spannung aufweist, als Regelgröße für den Stufensteller des 110-/20-kV-Transformators herangezogen wird. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Regelzeiten des Spannungsregler um ein Vielfaches über den Leistungsgradienten der DEA liegt. Hier muss bei den betroffenen DEA eine starke Begrenzung der Leistungsgradienten für die zeitliche Anpassung der Regelvorgänge erfolgen.

Damit bei der Auslegung von Ortsnetzen nicht jedes Mal das vorgelagerte Mittelspannungsnetz berücksichtigt werden muss und umgekehrt bei Untersuchungen ganzer Versorgungsbereiche des Mittelspannungsnetzes nicht jedes versorgte Ortsnetz mit untersucht werden muss, wurden an dieser Schnittstelle Spannungsbereiche festgelegt, die als Grenzwerte eingehalten werden. Für die Struktur des regionalen Mittelspannungsnetzes der N-ERGIE Netz GmbH wurden Grenzen von $U_{\min} = 20,0 \text{ kV}$ und $U_{\max} = 21,5 \text{ kV}$ ermittelt. Dadurch ist es ausreichend, DEA in der Niederspannungsebene auf den Anschlusspunkt des Ortsnetztrafos zu verwerfen, um den vorhandenen Einfluss über die unterschiedlichen Spannungsebenen hinweg zu berücksichtigen.

Mit diesen grundlegenden Vorgaben lässt sich bereits bei der Planung von Netzverstärkungsmaßnahmen die zukünftige Aufnahmekapazität des Netzes ermitteln. Zukünftig müssen außerdem neue Vorgehensweisen entwickelt werden, wie auf die neuen Herausforderungen besser und zielorientierter reagiert werden kann. Erste Ansätze für eine preiswerte Lösung von lokalen Problemen im Niederspannungsnetz wie z.B. die Spannungsbeeinflussung über einen gezielten Blindlastfluss werden zurzeit im Dauerbetrieb getestet.

3.2 Spannungsqualität

Neben der Einhaltung der Spannungsgrenzen aus statischer Sicht ist die Einhaltung der Grenzwerte von Spannungsschwankungen aufgrund dynamischer Leistungsschwankungen und als Auswirkung von Störungen im Netz eine weitere wichtige Aufgabe.

3.2.1 Dynamische Leistungsschwankungen

Wie jedes angeschlossene Gerät verursachen auch DEA durch primärenergieabhängige Schwankungen der erzeugten Leistung Spannungsschwankungen im Netz. Liegen die DEA räumlich nahe beieinander, treten diese Schwankungen wiederum mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor von nahezu 1 auf. In Bild 3 ist dies bei den Lastganglinien der WKA 1 und 2 zu erkennen, die in einem Abstand von ca. 600 Metern stehen. Noch gravierender wirken sich dynamische Lastschwankungen von Photovoltaikanlagen in einem Ortsnetz aus. In **Bild 4** sind die Lastgänge von drei

PV-Anlagen in einer Ortschaft dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Einfluss durch Bewölkung sehr zeitnah feststellbar ist. Durch das zur Beurteilung der Spannungsqualität gem. DIN EN 50160:2008-04 verwendete Intervall von 10 Minuten kann von einem gleichzeitigen Auftreten ausgegangen werden. Aus genaueren Messungen geht hervor, dass bei Photovoltaikanlagen im Ortsnetz Leistungssprünge von 75 % der Anlagennennleistung innerhalb weniger Sekunden möglich sind.

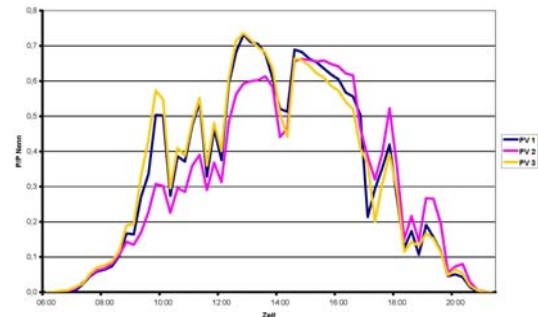


Bild 4 Zeitgleiche Einspeiseverläufe von Photovoltaikanlagen

In Ortsnetzen mit hoher Einspeiseleistung führt dies bereits jetzt zu Spannungsschwankungen. Die Erfahrung zeigt, dass durch die Überlagerung von Spannungsschwankungen aus der Mittelspannungsebene das Problem verschärft wird, aber zurzeit noch innerhalb der zulässigen Grenzen liegt. Abhilfe kann in diesen Fällen nur von den DEA selbst kommen. Wie es in der aktuellen Technischen Richtlinie für Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz /3/ und auch im Entwurf für die Niederspannungsebene vorgesehen ist, müssen auch DEA in der Lage sein, z.B. über den Leistungsfaktor der Anlagen einen Beitrag zur Spannungshaltung zu leisten. In den beschriebenen Fällen ist hier die Forderung an die Anlagenhersteller zu stellen, derartige Auswirkungen durch DEA-interne Maßnahmen zu verringern.

3.2.2 Verhalten bei Störungen im Netz

Waren die im vorigen Absatz beschriebenen Auswirkungen in einem Ortsnetz bzw. in einem lokal begrenzten Gebiet feststellbar, kann es durch Netzstörungen zu Wirkungen kommen, die großräumig festgestellt werden. Sowohl im Hoch- als auch im Mittelspannungsnetz der N-ERGIE Netz GmbH wird mit der sogenannten Kurzunterbrechung gearbeitet. Im Falle eines Fehlers wird ein- oder mehrpolig eine kurze Abschaltung durchgeführt. Dadurch soll in dieser spannungslosen Pause von ca. 0,4 s ein Lichtbogen erlöschen. Somit können viele Fehler (Blitzüberspannung, Heuflug usw.) ohne längere Versorgungsunterbrechung automatisch beseitigt werden. Die heute am Netz angeschlossenen DEA sind so konzipiert, dass sie in diesen Fällen vom Netz gehen. Somit fehlt nach der Kurzunterbre-

chung eine nennenswerte Erzeugungsleistung. In **Bild 5** ist der Spannungssprung in einem Netzbereich der N-ERGIE Netz GmbH dargestellt, in welchem aufgrund der bestehenden DEA Netzverstärkungsmaßnahmen durchgeführt werden. Diese Situation trat Mitte 2007 vor Umsetzung der Maßnahmen auf und führte zu Reklamationen von Kundenseite. Zukünftig wird dieses Defizit deutlich ansteigen, was ohne Gegenmaßnahmen früher oder später zu Problemen bei der Spannungshaltung führt. Derartige Probleme sind auf jeden Fall im gesamten Versorgungsbereich einer Umspannanlage feststellbar. Bei langen 110-kV-Ausläufern mit geringer Netzkurzschlussleistung ist auch eine Ausweitung über die 110-kV-Netzebene vorstellbar.

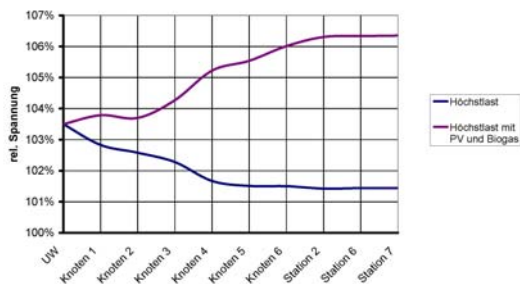


Bild 4 Spannungssprung im realen Netz nach einer Kurzunterbrechung

Die in der BDEW-Richtlinie /2/ im Kapitel 2.5.1.2 Dynamische Netzstützung zu diesem Themenkomplex aufgestellten Forderungen an das Verhalten der Anlagen sind daher für die Stabilität der Spannungshaltung zukünftig essentiell.

3.2.3 Realitätsnahe Nachbildung von DEA

Um die Auswirkungen auf die Spannungsqualität in der Planungsphase möglichst exakt ermitteln zu können, sind von den vorhandenen und konkret geplanten DEA die relevanten Daten möglichst genau zu ermitteln. Auch das Verhalten unterschiedlicher Anlagentypen ist dabei von Bedeutung. Die Untersuchungen dieses Themenkomplexes bei der N-ERGIE Netz GmbH haben gezeigt, dass bei der Ermittlung der Spannungsanhebung im ungünstigsten Fall davon ausgegangen werden kann, dass alle vorhandenen DEA zeitgleich die maximal mögliche Leistung einspeisen können. Diese stellt dann ein wesentliches Kriterium für die Auslegung und damit den Investitionsbedarf dar.

Aufgrund der hohen Anzahl von am Netz angeschlossener Anlagen sind Verluste in der Anlage und z.B. Temperatureinflüsse auf die Leistungsabgabe in Summe über alle Anlagen relevant. Auch auf Netzseite ist die Bestimmung der tatsächlichen Belastbarkeit von Betriebsmitteln von wesentlicher Bedeutung. Die Abschätzung, welche Leistung tatsächlich am Verknüpfungspunkt eingespeist wird, ist

dabei ebenso wichtig wie die Nutzung der bereits aktuell vorhandenen Möglichkeiten zu Spannungshaltung durch den Leistungsfaktor. Als Anhaltswert ist es bei Berücksichtigung dieser Einflüsse möglich, abhängig von der Netztopologie bis zu 20 % mehr Leistung an eine vorhandene Netzstruktur anzuschließen.

4 Fazit

Durch das in der Regel identische Verhalten von DEA auf regenerativer Basis werden die Anforderungen an die Planung und den Betrieb von Netzen immer anspruchsvoller. Aufgrund der Privilegierung derartiger Anlagen ist die Erfüllung dieser Anforderungen zur Zeit noch fast ausschließlich durch den Netzbetreiber zu leisten. Dem stehen in Kürze die restriktiven Vorgaben der Anreizregulierung gegenüber. Um in diesem Spannungsfeld einerseits die notwendigen Investitionen zur richtigen Zeit an der richtigen Stelle im optimalen Umfang zu tätigen und andererseits die Anforderungen des Marktes an die Versorgungszuverlässigkeit zu erfüllen, muss die Auslegung der Netze an den zukünftig real erwarteten Rahmenbedingungen orientiert sein. Die Schaffung von üppigen Reserven im Netz ist volkswirtschaftlich nicht sinnvoll.

Um diese Herausforderungen zu meistern, ist zum einen die Kenntnis des realen Verhaltens der dezentralen Einspeisung auf Basis erneuerbarer Energien notwendig. Zum anderen müssen die Möglichkeiten der DEA selbst, so wie sie in der BDEW-Richtlinie /3/ beschrieben sind, eingefordert werden. Alle Beteiligten müssen ihre Möglichkeiten nutzen, um die vorhandene Spannungsqualität nicht wesentlich zu verschlechtern. Auch die politischen Ziele können nur gemeinsam von allen Akteuren erreicht und dabei die Kosten für die Volkswirtschaft so gering wie möglich gehalten werden.

5 Literatur

- /1/ Bochanky, L.: Planung öffentlicher Elektroenergieverteilungsnetze, 1. Auflage, Leipzig, Dt. Verlag für Grundstoffindustrie, 1985
- /2/ Kerber, Georg: Aufnahmefähigkeit vorhandener Verteilnetze für die dezentrale Energieerzeugung aus Photovoltaik-Anlagen, Zwischenbericht, Studie an der Technischen Universität München, 2007
- /3/ BDEW, Technische Richtlinie Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz, Ausgabe Juni 2008, online verfügbar unter [http://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE_7B6ERD_Netz_Codes_und_Richtlinien/\\$file/BDEW_RL_EA-am-MS-Netz_Juni_2008_end.pdf](http://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE_7B6ERD_Netz_Codes_und_Richtlinien/$file/BDEW_RL_EA-am-MS-Netz_Juni_2008_end.pdf)