

Kraftwerkseigenschaften von Photovoltaik-Anlagen erhöhen die Stabilität der Stromnetze

Zusammenfassung

Photovoltaik-Anlagen liefern nicht nur regenerativen Strom, sie übernehmen zunehmend Kraftwerkseigenschaften, die für eine versorgungssichere Umsetzung der Energiewende benötigt werden. Wichtige Funktionen sind schon im Einsatz und durch technische Standards geregelt. Weitere Funktionen sind technisch bereits verfügbar, müssen aber erst durch entsprechende Rahmenbedingungen erschlossen werden.

Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen) helfen, Spannung und Netzfrequenz im Stromnetz konstant zu halten. Spannungs- und Frequenzstabilität sind maßgeblich, um den einwandfreien Betrieb der elektrischen Verbraucher in Haushalt und Industrie zu ermöglichen und den störungsfreien Betrieb des Stromnetzes selbst sicherzustellen. PV-Anlagen beteiligen sich an der Spannungshaltung im Netz, indem sie sogenannte Blindleistung einspeisen und tragen durch eine frequenzabhängige Wirkleistungsreduktion zur Frequenzhaltung des Europäischen Verbundnetzes bei.

PV-Anlagen im Mittelspannungsnetz können durch eine vollständige „dynamische Netzstützung“ mithelfen, kurzzeitige Spannungseinbrüche sicher zu durchfahren, die Netzstabilität zu stützen und Stromausfälle zu verhindern.

Große PV-Anlagen können Tag und Nacht über die Blindleistungseinspeisung auf Abruf Spannungsschwankungen kompensieren. Die Bereitstellung von Blindleistung ist heute von besonderer Bedeutung, da Strom teilweise über lange Distanzen transportiert werden muss, zum Beispiel zum internationalen Stromhandel oder um Windstrom von küstennahen oder Offshore-Windparks zu den Ballungsgebieten zu transportieren. Die erforderliche Blindleistung lässt sich jedoch nicht über beliebig große Strecken transportieren, so dass eine dezentrale **Einspeisung der Blindleistung durch PV-Anlagen** von hohem Nutzen ist und zur **Netzstabilität und Spannungsregelung** beiträgt. Im Verbund virtueller Kraftwerke (also der regelungstechnischen Zusammenschaltung vieler Stromerzeugungsanlagen zu einem großen Verbund) und bei Bedarf unter Einsatz von angepassten Speichern können sie mit Hilfe von (positiver wie negativer) **Regelleistung** große Beiträge zur **Frequenzhaltung** erbringen.

1. Frequenzabhängige Wirkleistungsreduktion und Spannungshaltung im Niederspannungsnetz

In der Anwendungsregel VDE-AR-N 4105 sind die aktuell geltenden technischen Anforderungen beschrieben, denen Photovoltaik-Anlagen bei Einspeisung in das **Niederspannungsnetz** genügen müssen. Insbesondere sind hier – gestaffelt nach verschiedenen Leistungsklassen – Vorgaben für den Netz- und Anlagenschutz, das Verhalten bei Überschreiten einer Netzfrequenz von 50,2 Hz (Sollwert: 50 Hz) und für die Blindleistungsbereitstellung getroffen.

Mit bindender Wirksamkeit der VDE-AR-N 4105 leisten alle neuen PV-Anlagen seit dem 1.1.2012 im Niederspannungsnetz einen großen Beitrag zur Netzstabilität, indem sie ihre Wirkleistung bei zu hoher Netzfrequenz

reduzieren. Das Ziel ist, zur **Frequenzstabilität** in den Wechselstromnetzen in Europa in engen Grenzen um 50 Hz wirksam beizutragen. Durch die frequenzabhängige Leistungsregelung der Wechselrichter wird ein schlagartiges Abschalten großer PV-Erzeugungsleistungen bei Erreichen einer Grenzfrequenz verhindert: PV-Anlagen dürfen sich im Frequenzbereich von 47,5 Hz bis 51,5 Hz nicht vom Netz trennen und ab 50,2 Hz ist die Wirkleistung gemäß einer Kennlinie zu reduzieren. Sinkt die Frequenz unter 50,2 Hz, darf eine Leistungssteigerung nur langsam mit 10 % der max. Wirkleistung / min erfolgen.

Physikalisch bedingt hebt die Einspeisung von Wirkleistung vor allem im Niederspannungsnetz die Spannung an, was unter Umständen zu einer Überschreitung des maximal zulässigen Spannungswertes (im 230-Volt-Netz maximal 253 V) führen kann. Durch das gleichzeitige Einspeisen von Blindleistung lässt sich dieses Problem vermeiden. Wechselrichter werden dazu mit einer Parametrierung entsprechend der Standard-Kennlinie $\cos \varphi$ (P) ausgeliefert. In Erweiterung der Vorgaben der VDE-AR-N 4105 hat das EEG 2012 festgelegt, dass auch Anlagen bis 30 kWp mit einer technischen Einrichtung auszustatten sind, mit der der Netzbetreiber jederzeit die Einspeiseleistung bei Netzüberlastung ferngesteuert reduzieren kann. Dies geschieht durch einen fernsteuerbaren Schalter, alternativ können PV-Anlagen beim **Einspeisemanagement** gemäß § 6 EEG 2012 wahlweise auch die sog. 70-Prozent-Regel erfüllen, d.h. ihre Wechselrichter werden auf die Abgabe von 70 % ihrer Wirkleistung begrenzt.

2. Dynamische Netzstützung durch PV-Anlagen im Mittelspannungsnetz

Die BDEW-Richtlinie für den Anschluss von Erzeugungsanlagen am **Mittelspannungsnetz** sieht für Photovoltaik-Anlagen am Mittelspannungsnetz vor, dass sie in Abhängigkeit von der Frequenz die Wirkleistung reduzieren können. Zusammen mit der Blindleistungsbereitstellung zählt diese Maßnahme zur sogenannten „**statischen Netzstützung**“. Die statische Netzstützung erfolgt im Normalbetrieb vom Netz und Erzeugungsanlagen.

Die „**dynamische Netzstützung**“ hingegen beschreibt Maßnahmen, die im spontanen Fehlerfall oder bei Abweichungen vom normalen Netzzustand der Netzstützung dienen. Dazu verfügen PV-Anlagen über die Möglichkeit, bei einem Kurzschluss **Blindstrom** bereitzustellen. Dieser Blindstrom wirkt dem starken Spannungsabfall entgegen, der in der Umgebung des Kurzschlusspunktes auftritt, und dient somit der dynamischen Netzstabilisierung. Durch die Einspeisung von Blindstrom werden also Netzausfälle verhindert, ohne dass sich die Erzeugungsanlagen vom Netz trennen müssen.

Ebenfalls zur dynamischen Netzstützung gehört die Fähigkeit zum „**Fault Ride Through**“ (FRT), d.h. dem Durchfahren eines Netzfehlers ohne Trennung vom Stromnetz. Dies ist ein weiterer wichtiger Baustein zur Aufrechterhaltung der Netzstabilität im Mittelspannungsnetz und zur Vermeidung des Durchschlagens von Netzproblemen auf die Netze der anderen Spannungsebenen. Nicht-FRT-fähige Stromerzeugungsanlagen hingegen würden sich zum Schutz der eigenen Technik im Fehlerfall vom Netz trennen, was durch den resultierenden Wegfall der Erzeugungsleistung die Stabilität des Netzes gefährden kann.

3. Spannungsregelung mit Photovoltaik-Großanlagen

Die Netzausbauszenarien für die Umsetzung der Energiewende gehen sowohl für die Transport- wie auch für die Verteilernetze von notwendigen Netzinvestitionen in Milliardenhöhe aus. Der bis zum Jahr 2022 geplante Wegfall der nuklearen Erzeugungskapazitäten wirft für das Stromnetz im Süden Deutschlands Probleme auf, da hier Blindleistung für den sicheren Transport von Offshore-Windstrom von Nord nach Süd bereitgestellt werden muss. **PV-Großanlagen sind in der Lage, diese Blindleistung zu liefern.**

Während die **Wirkleistung** für elektrische Verbraucher nutzbar ist, um Maschinen anzutreiben oder Licht zu erzeugen, kann **Blindleistung** nicht als Energie genutzt werden, wohl aber für andere Netzdienstleistungen. Im Optimalfall sind die Sinuswellen von Strom und Spannung im Stromnetz exakt phasengleich. In diesem Fall steht reine Wirkleistung (Strom x Spannung) zur Verfügung. Entsteht jedoch eine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung, tritt neben der Wirkleistung auch Blindleistung auf. Im Extremfall, wenn Strom- und Spannungs-Sinuswelle 90° Versatz aufweisen, wäre die Wirkleistung sogar gleich null und die komplette Leistung würde als Blindleistung anfallen. Ein Versatz zwischen Strom und Spannung kann zum Beispiel durch industrielle Verbraucher, große Kondensatoren oder Transformatoren entstehen - und ebenfalls durch lange Stromkabel. Elektrische Betriebsmittel müssen daher auf die gesamte elektrische Leistung, die Scheinleistung, ausgelegt werden. Diese Scheinleistung ist die Wurzel aus der Wirkleistung zum Quadrat und der Blindleistung zum Quadrat. Mit dem **gezielten Einspeisen** von entgegen gerichteter Blindleistung, z.B. durch Wechselrichter lässt sich dieser Versatz wieder rückgängig machen. Damit verringern sich einerseits die Transportverluste, andererseits wird das Netz nur noch mit der Wirkleistung belastet. Die frei werdenden Leitungsressourcen können damit für die Übertragung zusätzlicher Wirkleistung genutzt werden.

Die Phasenverschiebung durch das Einspeisen von Blindleistung hat aber noch einen weiteren Effekt: **Sie erhöht oder vermindert die Spannung im Netz, kann also somit zur Spannungsregelung beitragen.** So wird beispielsweise in PV-Großkraftwerken die Energie schon mit einer Phasenverschiebung erzeugt, um den spannungssenkenden Einfluss der Freileitungen und Transformatoren auszugleichen. Für die Netzregelung ist die Kontrolle der Phasenverschiebung oder Blindleistung daher außerordentlich wichtig - das gilt nicht nur für Großkraftwerke, sondern auch für PV-Anlagen im Mittel- oder Niederspannungsnetz. Durch die Regeltechnik kann sogar die Spannung nur in einer bestimmten Stelle im Netz heruntergeregelt werden, um so zu vermeiden, dass es sonst zu Spannungsausfällen im Netz kommt.

PV-Großanlagen können heute schon **Kraftwerkseigenschaften** rund um die Uhr bereitstellen und dadurch den Wegfall von konventioneller und nuklearer Kraftwerksleistung als stabilisierendes Element im Stromnetz wesentlich kompensieren. Die technischen Mittel sind am Markt verfügbar, allerdings fehlen bislang der wirtschaftliche Anreiz und der Rechtsrahmen zur Nutzung der Kraftwerkseigenschaften mit einem entsprechenden Geschäftsmodell.

Ab einer Leistung von 5 MWp ist davon auszugehen, dass Stromerzeugungsanlagen in das Hochspannungsnetz (110 kV) einspeisen. PV-Großanlagen dieser Größenordnung und darüber tragen dazu bei, die

Spannung auch im Transportnetz (Hochspannung) über die Bereitstellung und Aufnahme von Blindleistung am Tag und in der Nacht stabil zu halten und sind damit auch nachts in der Lage, Spannungsschwankungen zu kompensieren. Ein großer Teil des Netzausbaus wird hierdurch obsolet. Sie bieten zudem perspektivisch die Möglichkeit, über die Spannungsregelung hinausgehende Dienstleistungen anzubieten.

4. Kraftwerkseigenschaften von PV-Großanlagen können transportierbare Strommenge erhöhen

Eine optimale Spannungsregelung in den Stromnetzen kann dazu führen, dass die transportierbare Strommenge um 10 bis 20 Prozent ansteigt, wodurch wiederum ein Netzausbau zum Teil vermeidbar wird. Spannungsregelung geschieht durch die Aufnahme bzw. Abgabe von Blindleistung.

PV-Großanlagen wie beispielsweise das Solarkraftwerk Düllstadt (6,1 MWp) in Bayern sind durch moderne Wechselrichtertechnik in der Lage, nicht nur tagsüber während der Sonnenstunden, sondern auch nachts Blindleistung zur Spannungsregelung bereitzustellen, die sonst von separaten Anlagen bereitgestellt werden müsste. Diese innovative, am Technologiestandort Deutschland entwickelte Technik ist zurzeit einzigartig und stellt damit ein Aushängeschild für technologische Leistungsfähigkeit im weltweiten Wettbewerb dar.

Hier ist die Politik im Zusammenspiel mit der Bundesnetzagentur gefordert, die entsprechenden Rahmenbedingungen zu schaffen, damit diese technische Option genutzt werden kann mit dem Ziel

- der kostengünstigen **Systemstabilisierung** im Stromtransportnetz,
- der **Vermeidung von Netzausbau** zur Erhöhung der Stromtransportkapazitäten,
- der **Wahrung der Stromversorgungssicherheit** bei zunehmendem Anteil volatiler Erzeugung an der Gesamtstromversorgung.

5. Dezentralität ermöglicht den verlustarmen Stromtransport in die regionalen Verbrauchszentren

PV-Großanlagen auf Freiflächen wurden bislang insbesondere entlang Verkehrsstraßen und auf sogenannten Konversionsflächen errichtet und weisen häufig eine Leistung von über 10 MWp auf. In Abhängigkeit vom Flächenangebot ist so eine stark dezentrale Struktur der PV-Großanlagen entstanden. Auch in dünn besiedelten Regionen speisen sie überwiegend in vorhandene Hoch- und Mittelspannungsnetze ein. Durch ihre Dezentralität ist ein verlustarmer Stromtransport in Verbrauchszentren in näherer Entfernung durchweg gegeben.

Insbesondere im Vergleich zur Windenergieerzeugung auf See ergibt sich aufgrund des eingesparten Netzausbaus auch hier ein klar **volkswirtschaftlicher** Kostenvorteil der verbrauchsnahen PV-Großkraftwerke. Gleichzeitig kann sich die dezentrale Einspeisung unter Einbeziehung der Kraftwerkeigenschaften systemstabilisierend und netzstützend gerade in den weniger vermaschten Stromnetzbereichen abseits der Verbrauchszentren auswirken.

Positive Effekte für das Stromnetz ergeben sich bei PV-Großanlagen zukünftig auch dadurch, dass die Investoren zunehmend eine Ost-/West -

Ausrichtung Ihrer Dachanlagen vornehmen, um so eine gleichmäßigere Stromproduktion über den Tag zu erreichen. Sozusagen als Nebeneffekt ergeben sich dadurch weniger Lastspitzen in den Stromnetzen.

Zusätzliche Ausgleichseffekte für die Stromnetze entstehen dadurch, dass sich Wind- und Solarenergie optimal über die Jahreszeiten ergänzen. Die gerade in Ostdeutschland häufig anzutreffende Nähe von Windparks und PV-Großanlagen stellt daher eine wünschenswerte Kombination von anti-zyklischen Stromerzeugern und Systemstabilisatoren dar. Sie ergänzen sich in ihrer zeitlich versetzten Einspeisung und Blindleistungsbereitstellung.

6. Ausblick: Netzdienstleistungen über Spannungsregelung hinaus

Über die Spannungsregelung hinausgehende Netzdienstleistungen wie die Bereitstellung von **Regelenergie** sind der zweite Schritt, mit dem PV-Großanlagen die Eigenschaften bisheriger konventioneller Großkraftwerke substituieren können. Durch die Bereitstellung von **Wirkleistung** in einem definierten Zeitraum (Primär-, Sekundär- und Minutenreserve) können PV-Großanlagen z.B. in virtuelle Kraftwerke eingebunden werden und liefern bei Bedarf unter Einsatz von angepassten Speichern erweiterte Beiträge zur **Frequenzhaltung über die Erbringung von Regelleistung**. Im Verbund mit geeigneten Speichern können so alle Eigenschaften konventioneller Kraftwerke nachgebildet werden. Zudem sind PV-Kraftwerke im Gegensatz zu konventionellen Kraftwerken frequenztolerant. Daher wird die Wahrscheinlichkeit von Blackouts mit einer zunehmenden Dichte von PV-Anlagen geringer.

Perspektivisch können die positiven netzdienlichen Effekte von PV-Großkraftwerken durch den Einsatz **zentraler Kurz- und Langzeitspeicher** noch verstärkt werden.

Durch das Zusammenspiel mit Speichern werden Solarparks künftig in höherem Maße in der Lage sein, **lastgeführt** zu arbeiten. Hierzu müssen erneuerbare Energiequellen, Kurzzeit und Langzeitspeicher sowie Regeleinrichtungen aufeinander abgestimmt werden. Hier sind durchaus Geschäftsmodelle denkbar, die vollkommen ohne Förderung auskommen können.

Zudem kann der durch die Solaranlagen erzeugte Überschussstrom zu Wasserstoff oder zu regenerativ erzeugten Erdgas umgewandelt und bei Lastspitzen zu einem späteren Zeitpunkt z.B. in einem Blockheizkraftwerk rückverstromt werden.

Auch hier gilt, dass die entsprechenden rechtlichen Rahmenbedingungen seitens der Politik geschaffen werden müssen, um dieses Potenzial nutzbar zu machen. Unter anderem verhindern bisher die aktuellen Präqualifikationsvorschriften die verstärkte Nutzung von PV-Großanlagen für die Bereitstellung von Regelenergie. Diese sollten entsprechend angepasst werden.

Kontakt:

Bundesverband Solarwirtschaft e.V.
Jörg Mayer, Geschäftsführer
mayer@bsw-solar.de