

EINBINDUNG VON PHOTOVOLTAIK-ANLAGEN IN INSELNETZE AUF VERTEILNETZEBENE ZUR UNTERSTÜTZUNG DER AUFRECHTERHALTUNG KRITISCHER INFRASTRUKTUREN WÄHREND EINES BLACKOUTS

**Giuseppe PULEO^{1*}, Maximilian MÜTHERIG²,
Markus ZDRALLEK³, Dirk ASCHENBRENNER⁴**

Kurzfassung

Der Ausfall Kritischer Infrastrukturen (KRITIS) hat schwerwiegende Folgen für die öffentliche Sicherheit moderner Gesellschaften in Industrienationen [1]. Im Falle eines großflächigen langandauernden Blackouts müssen diese also schnellstmöglich wieder mit elektrischer Energie versorgt werden. Damit die Versorgung nicht nur von den bisherigen zeitlich begrenzten lokalen Notstromversorgungskonzepten abhängig ist, sollte auf Verteilnetzebene möglichst schnell ein Inselnetz aufgebaut werden. Das Inselnetz wird dabei von einem dezentralen netzbildenden Kraftwerk, dem sogenannten Netzbildner, aus verschaltet, damit der Netzwiederaufbau unabhängig vom Transportnetz geschehen kann [2].

Als Netzbildner eignen sich schwarzstartfähige Synchrongeneratoren mit einer Drehzahl- und Spannungsregelung. Über ein ausreichendes Maß an Massenträgheit erlauben sie schrittweise Lastzuschaltungen im Inselnetz und können es über ihre Regelung in einen stabilen Netzzustand zurückführen [3]. Ein Synchrongenerator besitzt jedoch limitierte Scheinleistungskapazitäten, mit denen im äußersten Fall nicht jede KRITIS in einem definierten Netzabschnitt mit elektrischer Energie versorgt werden kann. Zu diesem Zweck ist es wichtig auch vorhandene Photovoltaik (PV)-Anlagen in das Inselnetz einzubinden. Diese erlauben es das Inselnetz im Falle von volatiler Einspeisung zeitweise zu vergrößern. Das bedeutet, dass das Inselnetz beim Wegfall der PV-Einspeisung auch wieder verkleinert werden muss. Die volatile Einspeisung von PV-Anlagen führt jedoch zu unregelmäßigen Leistungsflüssen im Inselnetz, welche der Netzbildner kontinuierlich ausregeln muss. Die Zu- und Abschaltung von Netzabschnitten muss sicher durchgeführt werden, ohne dass das aufgebaute Inselnetz aufgrund der zusätzlichen Dynamik wieder zusammenbricht. Dazu braucht es ein Konzept, welches die Zeitpunkte der Zu- und Abschaltungen mit dem Fokus auf die Inselnetzstabilität bestimmen kann.

Methodik

Da das tägliche Einspeiseprofil von PV-Anlagen je nach Sonnenstunden und Bewölkungsgrad sehr unterschiedlich ausfallen kann, werden zunächst verschiedene Einspeisepprofile anhand eines realen Beispiels analysiert. Dazu werden Tagesmessungen einer ausgewählten Anlage miteinander verglichen, um aus einer großen Menge an Einspeiseprofilen aussagekräftige Standardprofile herauszuarbeiten.

Als Nächstes wird das Modell erläutert, nach welchem das Inselnetz mit Berücksichtigung der PV-Einspeisung vergrößert und wieder verkleinert wird. Zentraler Bestandteil dieses Modells sind der momentane Arbeitspunkt des Netzbildners und die Reserve seiner Scheinleistungskapazitäten, über welche plötzlich aufkommende Volatilitäten der PV-Einspeisung abgefedert werden können. Hierzu

¹ Bergische Universität Wuppertal, Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal, +49 202 439 1939, +49 202 439 1977, puleo@uni-wuppertal.de, <https://www.evt.uni-wuppertal.de/de/>

² Bergische Universität Wuppertal, Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal, +49 202 439 1939, +49 202 439 1977, muetherig@uni-wuppertal.de, <https://www.evt.uni-wuppertal.de/de/>

³ Bergische Universität Wuppertal, Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal, +49 202 439 1976, +49 202 439 1977, zdrallek@uni-wuppertal.de, <https://www.evt.uni-wuppertal.de/de/>

⁴ WSW Netz GmbH, Schützenstr. 34, 42281 Wuppertal, +49 202 758 97305, +49 202 758 9738005, dirk.aschenbrenner@wsw-netz.de, www.wsw-netz.de

werden alle notwendigen mathematischen Größen präsentiert, welche für die Berechnung der Zu- und Abschaltzeitpunkte zusätzlicher Lasten notwendig sind. Außerdem wird der Vorteil der Abregelung von PV-Anlagen auf die Netzstabilität im Inselnetz erläutert. Auf diese Weise lassen sich die kurzzeitigen Spitzen bei sehr volatiler PV-Einspeisung eliminieren, wodurch ein konstanteres Einspeiseprofil erreicht wird. Abschließend wird erläutert, welche Anforderungen ein Inselnetz erfüllen muss, damit das Modell darauf anwendbar ist. Zuletzt wird das Modell simulativ auf die herausgearbeiteten Standardprofile angewandt. Dazu werden die verschiedenen Test-Szenarien und die Simulationsergebnisse vorgestellt. Die Anwendung der Abregelung wird innerhalb der Test-Szenarien ebenfalls untersucht.

Ergebnisse

Die nachfolgenden Abbildungen stellen die Ergebnisse eines Simulationstests mit einem Synchrongenerator als Netzbildner dar. Dieser ist zu 80% ausgelastet und soll mit einer weiteren Last von einem Megawatt belastet werden ohne dabei seinen derzeitigen Auslastungsgrad zu überschreiten. Um das zu erreichen, wird ein PV-Park mit einer Höchstleistung von 10 Megawatt in das Inselnetz integriert. Abbildung 1 stellt das Einspeiseprofil des PV-Parks dar. In Abbildung 2 ist zu erkennen, dass das tatsächliche Einspeiseprofil des PV-Parks zu Schwankungen der elektrischen Frequenz des Inselnetzes außerhalb der vorgeschriebenen Grenzen für öffentliche Elektrizitätsversorgungsnetze zwischen 47 und 52 Hertz führt [4]. Dies folgt aus den ständigen Regelungsantworten des Netzbildners auf die volatile Einspeisung des PV-Parks. Um diesem Problem entgegenzuwirken, wird die Höchstleistung des PV-Parks in diesem Szenario auf ca. 20% abgeregelt. Dadurch lassen sich die kurzzeitigen Spitzen aus dem Einspeiseprofil eliminieren und eine konstantere Wirkleistungseinspeisung von ca. zwei Megawatt erreichen (siehe Abbildung 1). Daraus folgt eine geringere Anzahl an Schwankungen und ein geringerer Ausschlag der elektrischen Frequenz des Inselnetzes (siehe Abbildung 2). Demzufolge kann der Netzbildner in einem stabileren Arbeitspunkt betrieben werden. Die zusätzliche Last wird in der Simulation mit Hilfe der PV-Einspeisung für ca. neun Stunden versorgt. Zu- und Abschaltzeitpunkt werden so gewählt, dass nur die erzeugte Wirkleistung des PV-Parks genutzt wird (siehe Abbildung 1) und der Netzbildner nicht weiter belastet werden muss.

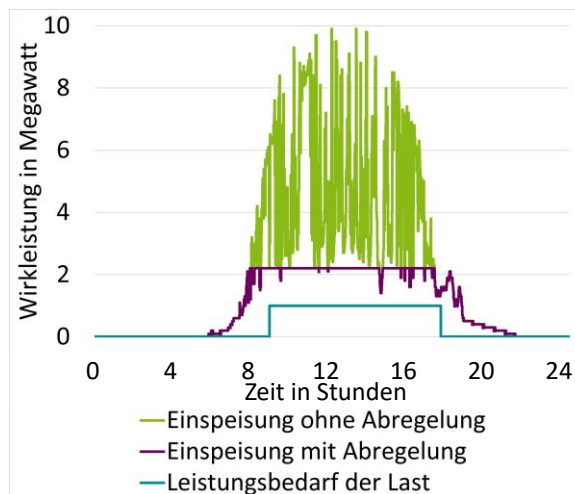


Abbildung 1: Einfluss der PV-Abregelung auf das Einspeiseprofil

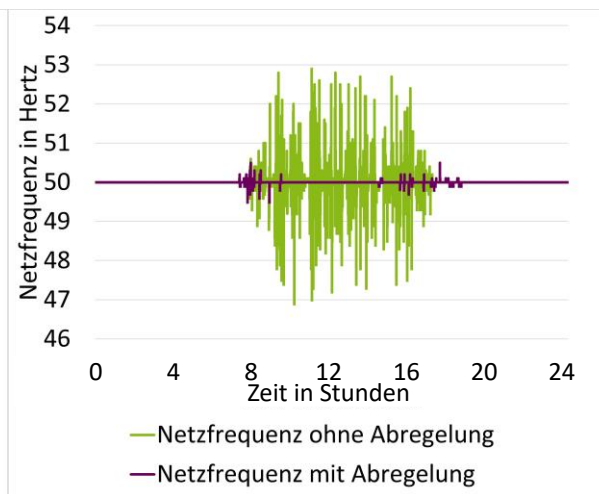


Abbildung 2: Einfluss der PV-Abregelung auf die elektrische Frequenz im Inselnetz

Referenzen

- [1] Bundesministerium des Innern und für Heimat, "Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie)," Juni 2009.
- [2] G. Puleo, M. Mütterig, M. Zdrallek, D. Aschenbrenner, "Islanding algorithm for the resupply of critical infrastructures during a prolonged blackout," ETG Kongress 2023, Kassel, 25.-26. Mai 2023.
- [3] C. Steinhart, "Lokale Inselnetz-Notversorgung auf Basis dezentraler Erzeugungsanlagen mit Fokus auf die Frequenzstabilität," München: Verlag Dr. Hut, 2020.
- [4] DIN EN 50160:2011-02, Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen; Deutsche Fassung EN 40160:2010 + Cor.:2010, Berlin: Beuth Verlag, 2011.