



Photovoltaik wird netzdienlich

PV-Hybrid-Kraftwerk mit integriertem Batteriespeicher und spezieller Steuerung ermöglicht Netzdienstleistung



Der Anteil erneuerbarer Energien im Stromnetz wächst weiter. Zukünftige Photovoltaik-Kraftwerke müssen deshalb zusätzlich zur Stromerzeugung auch verstärkt dazu beitragen, Schwankungen zwischen Angebot und Nachfrage auszugleichen: Sie müssen Funktionen zur Stabilisierung des Stromnetzes übernehmen, die bisher von konventionellen Kraftwerken erbracht werden. Wie eine zuverlässige Stromversorgung mit einem Hybridkraftwerk, das Photovoltaik und fossile Stromerzeugung optimal kombiniert, umgesetzt werden kann, untersuchten Forscher im Projekt Zukunftskraftwerk PV.

Als wichtigste technische Neuerung soll das Zukunftskraftwerk PV Aufgaben wie die Netzfürung in der Stromversorgung übernehmen und hierbei konventionelle Kraftwerke ersetzen können. Dafür ergänzten und veränderten die Forscher in einem von PV-Projektentwickler Belectric koordinierten Projekt die Technik und Steuerung der neuen PV-Kraftwerke: Diese erweiterten sie um Batteriespeicher, rüsteten die PV-Wechselrichter für den dualen Betrieb mit PV und Batterie auf, integrierten Dieselmotoren oder Blockheizkraftwerke und entwickelten neue Planungs- und Steuerungssoftware. Ziel war, mit diesen Anlagen sowohl Leistung für das Netz als auch verschiedene Netzdienstleistungen bereitstellen zu können. Außerdem wollen die Projektpartner die System- und Betriebskosten dieser Kraftwerke senken sowie deren Leistung und Langlebigkeit verbessern. In die Entwicklungen fließen die Erfahrungen aus dem Bau und Betrieb etlicher kleinerer Hybridkraftwerke in unterschiedlichen Ländern ein. Diese sind bisher auf externe Netzstellung und Regelreserve angewiesen, zum Beispiel mittels Dieselmotor oder Wasserkraftwerk. Nach den Wünschen von Netzbetreibern sollen

Dieses Forschungsprojekt wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

die neuen PV-Kraftwerke eine breite Aufgabenpalette bewältigen: Sie sollen konventionelle Stromerzeuger und deren Regelfunktionen zumindest zeitweise vollständig ersetzen, um den Verbrauch fossiler Energien zu reduzieren; darüber hinaus sollen sie die Netzfürung in lokalen Netzen und damit die alleinige Versorgung ganzer Landstriche komplett übernehmen können. Die Forscher entwickelten ein messdatenbasiertes System, mit dem sie die Bereitstellung von Systemdienstleistungen durch PV und Batterie sicherstellen können, ebenso den nahtlosen Wechsel der Teilkomponenten zwischen netzstellendem und netzfolgendem Betrieb.

PV-Hybrid-Kraftwerke für autonome Netze

Während PV-Kraftwerke in Europa derzeit noch in ein von konventionellen Kraftwerken geprägtes, starres Netz einspeisen, haben sie in schwachen Netzen und Inselanlagen bereits heute einen starken Einfluss auf die Systemstabilität. Durch den wachsenden Anteil erneuerbarer Energien im Netz sollen sie verstärkt netzstabilisierende und netzbildende Eigenschaften einbringen. Dafür bringen PV-Freiflächenkraftwerke gute Voraussetzungen mit. Sie sind groß genug, um in die Anlagensteuerungs- und Überwachungs-Systeme der Energieversorger integriert zu werden.

Die Entwickler untersuchten im ersten Schritt Prinzipien und Komponenten für kleine, teils autonome, Netze in Zukunftsmärkten. Die dafür ausgelegten neuen Hybridkraftwerke müssen jederzeit Leistung bereitstellen. Batteriespeicher ergänzen deshalb die Photovoltaik-Anlagen. Die ersten hatten eine Größenordnung um 1 MWh, aktuelle Lithium Ionen Energiespeicherkraftwerke haben einige Dutzend MWh. Darüber hinaus lassen sich klassische Erzeuger wie Diesel- und Gasaggregate für den Einsatz in einem Hybridkraftwerk anpassen. Außerdem lassen sie sich bei Spitzenlasten zur Leistungsunterstützung einsetzen.

Ein solches Hybridkraftwerk bauten die Ingenieure am Horn von Afrika auf (Abb. 1). Sie legten die Kombination von PV, Batterie und Dieselaggregat mit dem Ziel aus, Treibstoffverbrauch und Stromgestehungskosten möglichst niedrig zu halten. Im Tagesschnitt stammen etwa 80 % der gesamten Energie aus der erneuerbaren Quelle. Aufgrund der netzerhaltenden Betriebsweise der Batteriewechselrichter läuft das Dieselaggregat nur noch im Nachtbetrieb an. Es konnte dadurch kleiner ausgelegt werden, und seine Lebensdauer erhöht sich. Beides hilft, Kosten zu sparen.

Wechselrichter stellt Spannung und Frequenz im Netz

Die Forscher passten auch Wechselrichter und Wechselrichterregelung an die im künftigen europäischen Verbundnetz zusätzlich erforderlichen Aufgaben an, klassische Netzdienstleistungen bis hin zur Momentanreserve zu übernehmen. Denn der neue Wechselrichter soll schnell reagieren und Spannung und Frequenz in einem Netz stellen können, d. h. die Bereitstellung der Netzspannung bzw. Netzfrequenz unterstützen. Die Belectric-Ingenieure erarbeiteten dafür gemeinsam mit dem Projektpartner General Electric ein Lastenheft für einen Hybrid- und netzbildungsfähigen Wechselrichter auf Basis der aktuellen Hybridkraftwerkstechnologie. Forscher des Fraunhofer ISE entwickelten und erprobten für diesen Zweck eine neue, netzerhaltende Wechselrichterregelung. Ausgehend von einem neuen Zentralwechselrichter für klassische PV-Großkraftwerke

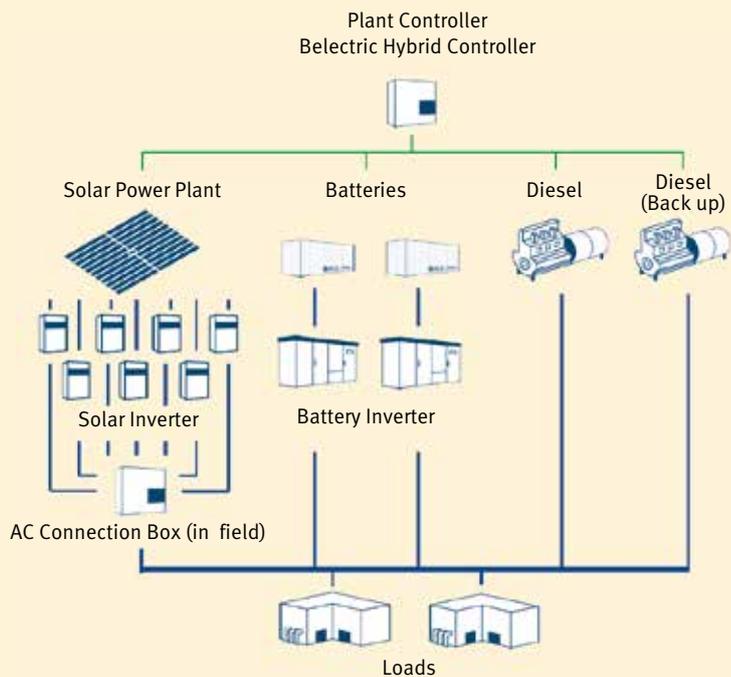


Abb. 1 Ein 2017 in Betrieb genommenes Hybridkraftwerk am Horn von Afrika: Es besteht aus einer 500 kW-Peak PV-Anlage in Ost-West-Ausrichtung, einem Blei-Batteriespeicher mit 1.000 kWh und Dieselgeneratoren mit 300 kVA.

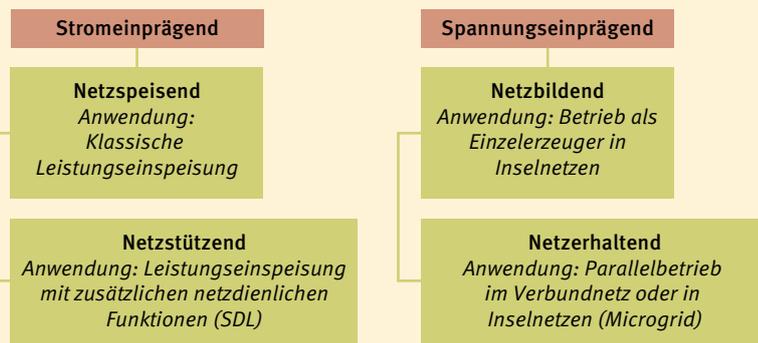
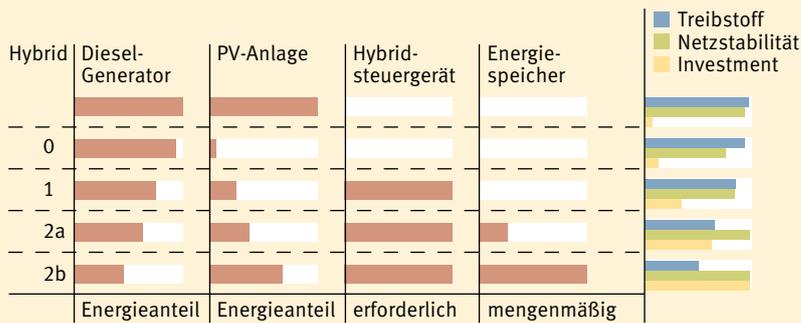


Abb. 2 Möglichkeiten der Regelung und Netzstabilisierung durch Wechselrichter

fürten sie Laboruntersuchungen und Feldtests durch. Der Wechselrichter kann inzwischen die Funktion eines konventionellen Generators gut ersetzen, lediglich die Überlastfähigkeit ist auf ca. 20–30 % begrenzt. Darüber hinaus erweiterten die Forscher das Funktionsspektrum von Wechselrichter und Batteriespeicher, sodass nun auch die Schwarzstartfähigkeit, das vom Stromnetz unabhängige Anfahren des Kraftwerkes und anderer angeschlossener klassischer Erzeuger, gewährleistet ist. Die Forscher entwickelten ein System mit einem gemeinsamen Umrichter für Batterie und PV. Dieses Konzept reduziert die Maximalleistung, denn es erfordert, dass die Spannungen bei beiden Komponenten gleich sind, dadurch arbeitet die PV-Anlage nicht mehr in ihrem optimalen Leistungspunkt. Damit ist das sogenannte „Maximum Power Point Tracking“ (MPPT) also nur noch beschränkt möglich. Die Erprobung in einem Testfeld belegte die Wirtschaftlichkeit; die Ergebnisse flossen in die Planung einer Anlage in Australien ein.

Anlagen-Optimierung: Kosten senken, Performance steigern

Die Ingenieure entwickelten ein Softwaretool zur Planung und Auslegung von Hybridkraftwerken. Sie konnten damit bereits in der Planungsphase alle Teilkomponenten wie Module, Montage, Verkabelung, Wechselrichter



Typ	Diesel Betrieb	PV-Einspeisung	Speicher regelt	Controller	Diesel-einsparung
0	24/7	ungeregelt	N/A	N/A	+
1	24/7	abregelbar	N/A	PV (abregelbar)	++
2a	24/7	abregelbar	klein	PV und Speicher (ramp-rate-control)	+++
2b	24/7	abregelbar	mittel	PV und Speicher (Peak Shaving)	++++
3	Nur nach Bedarf	abregelbar	groß, netzbildend	PV, Speicher und Diesel	+++++

Abb. 3 Vergleich verschiedener Kombinationsmöglichkeiten von Diesel, PV, Hybrid-Wechselrichter und Batterie sowie Einfluss der jeweiligen Variante auf Treibstoffverbrauch, Netzstabilität und Investitionskosten

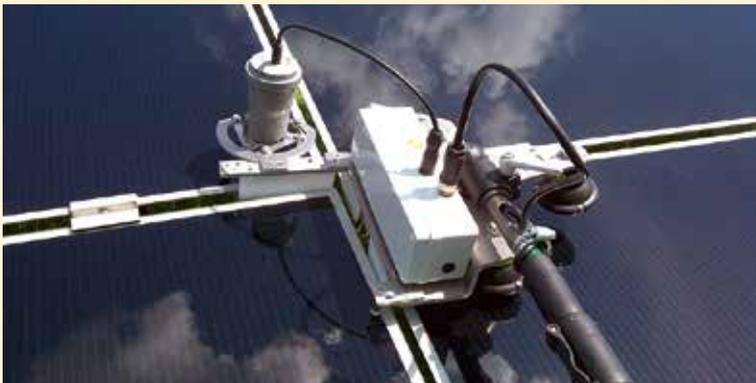


Abb. 4 Berührungslose Spannungsmessung im Einsatz auf der Freilandanlage

optimal kombinieren. So erreichen sie möglichst niedrige Anlagenkosten und damit niedrige Stromgestehungskosten.

Für die Anlagenerstellung erarbeiteten sie neue Techniken zur automatisierten Auslegung des Unterbaus. Sie verbesserten auch die Führung und Verbindung der DC Kabel. Ebenso entwickelten sie Prognoseverfahren, Steuer- und Regeltechnik zur Optimierung des Jahresertrages und der Kraftwerksverfügbarkeit. Dafür nutzen sie auch Wetterprognosen und Daten einer Wolkenzugkamera.

Um die Alterung der Komponenten zu minimieren, werteten sie Daten zu PV und Batterie aus. Das ermöglichte es, eine bewährte Float Controller Technik weiterzuentwickeln, die TCO Korrosion (Transparent Conductive Oxide) und PID (Potential Induced Degradation) von PV-Modulen reduziert.

Das neue SCADA-System (Supervisory Control and Data Acquisition) als Tool zur Überwachung und Steuerung der Kraftwerksanlage erlaubt es, den Betrieb aller Komponenten zu überwachen und deren Leistung, Funktionsbereitschaft und Daten zu erfassen und darzustellen.

Mit einem neuen Tool lassen sich Wartungskosten reduzieren. Es dient dazu, defekte Module zu ermitteln, die ausgetauscht werden müssen (Abb. 4). Mit ihm können Techniker die Spannungen jedes Moduls im Strang direkt im Betrieb berührungslos messen, um den Alterungszustand

Stromnetze stabilisieren mit PV

Im Gegensatz zur Leistungsbereitstellung durch Generatoren in klassischen Kraftwerken müssen PV Kraftwerke bisher nicht dazu beitragen, die Netzeigenschaft, insbesondere die Netzfrequenz, aufrechtzuerhalten. Diese erforderlichen Netzdienstleistungen können sie nicht erbringen, da keine Reserven vorgehalten werden und ihre Wechselrichter darauf ausgelegt sind, einen größtmöglichen Strom ins Netz einzuspeisen. Der steigende Anteil erneuerbarer Energien im Netz erfordert nun Veränderung. Bereits 2017 machten sie 33 % der Bruttostromerzeugung in Deutschland aus, je nach Wetterlage sogar über 50 %.

Deshalb müssen auch die erneuerbaren Energien künftig verstärkt mit Netzdienstleistungen zur Stabilität der Stromnetze und sicheren Versorgung beitragen. Durch die Anbindung eines Batteriespeichers wird zusätzlich abrufbare Leistung vorgehalten, die bei Bedarf praktisch sofort im Netz verfügbar ist. Dadurch können solche Anlagen plötzlich auftretende Fehler im Netz kompensieren, die beispielsweise entstehen, wenn ein großes Kraftwerk vom Verbundnetz abfällt. Derzeit übernehmen klassische Kraftwerke diese Aufgabe: Hier fungieren die rotierenden Schwungmassen der Generatoren als sogenannte Momentanreserve. Durch ihre Massenträgheit stützen sie kurzzeitig Netzfrequenz und Netzspannung und tolerieren erhebliche Stromüberhöhungen. Mit einer netzerhaltenden Regelung ausgestattete Batteriewechselrichter können zukünftig diese Eigenschaften übernehmen.

festzustellen. Denn ein einzelnes schlechtes Modul reduziert nicht nur die Spannung im eigenen Strang und damit den Ertrag – auch die Spannung aller parallelen Stränge liegt dann nicht mehr im optimalen Arbeitspunkt. Bisher war es viel aufwendiger, den Zustand eines einzelnen Moduls genau zu ermitteln. Dafür musste der gesamte Strang vom Netz genommen werden, und alle Module waren aufwendig zu vermessen.

Regenerative ersetzt fossile Energie

In Entwicklungs- und Schwellenländern können PV-Kraftwerke entweder zentrale Versorger ersetzen, die mit importierten fossilen Energieträgern betrieben werden oder dezentrale Versorgungseinheiten in abgelegenen Regionen. Hier kann die Photovoltaik mit niedrigen Erzeugerkosten, dezentraler Installation und der nicht benötigten Versorgungslogistik punkten. Für einen breiteren Einsatz als „Fuel Saver“ müssen neue Auslegungsmodelle und -software entwickelt werden; ebenso eine neue Steuertechnik für den gemeinsamen Betrieb mit vorhandenen fossilen Erzeugern. Ein solcher Betrieb von PV-Kraftwerken ist für Netze, die mit Dieselgeneratoren oder Gasturbinen versorgt werden, oft schon heute rentabel.

Neben der Ausweitung des Leistungsspektrums ist die Senkung von Anlagen- und Betriebskosten eine zentrale Aufgabe bei der Forschung und Entwicklung der erneuerbaren Energien. Über Skalierungseffekte bei Produktion und Anlagenbau hinaus tragen hierzu Innovationen bei Konzeption, Funktionsprinzip und Ausführungsart von systemtechnischen Komponenten und Gesamtsystem bei.



Neue PV-Diesel-Kraftwerke für Inselfsysteme

Weltweit sind mehr als eine Milliarde Menschen noch ganz ohne Stromversorgung, insbesondere in Regionen des globalen Sonnengürtels. Hier bietet sich eine Kombination aus Photovoltaik- und konventionellen Kraftwerken als wirtschaftliche und nachhaltige Lösung an.

Photovoltaik-Anlagen lassen sich gut für eine netzautarke Stromversorgung einsetzen. Die Leistung solcher Insel- beziehungsweise Off-Grid-Systeme reicht von einigen hundert kW bis hin zu großen Inselfsystemen und Minigrids im Multi-MW-Bereich. Derzeit sind hier vor allem noch Dieselgeneratoren in Betrieb. Solarenergie könnte einen großen Anteil der bisher von Dieselgeneratoren erzeugten elektrischen Energie ersetzen. Das würde fossile Energieträger sowie Emissionen und Kosten einsparen.

Stromkosten und Treibstoffverbrauch reduzieren

PV-Kraftwerke könnten einen Großteil der von Diesel- und Gaskraftwerken erzeugten elektrischen Energie ganz oder teilweise bereitstellen. Von diesen sind weltweit Anlagen mit einer Leistung von etwa 350 GW in Betrieb; zum Vergleich: Das große Braunkohlekraftwerk Neurath erzeugt 4,2 GW an elektrischer Leistung (und verbraucht pro Jahr über 30 Millionen Tonnen Braunkohle).

Hersteller und Forschungseinrichtungen untersuchen im Projekt PV Diesel insbesondere große Inselnetz-Systeme im Multimegawatt-Bereich, die meist aus mehreren Dieselgeneratoren und PV-Anlagen mit und ohne Energiespeicher bestehen. Diese Kraftwerke wollen sie durch verbesserte Steuerungs- und Regelungsverfahren und andere Anpassungsmaßnahmen optimieren. Dabei zielen sie darauf, die Systemintegration und Betriebsweise zu verbessern. Außerdem entwickeln sie standardisierte Komponenten für eine zuverlässige und kostengünstige Energieversorgung. Ziel ist eine attraktive Kombination von Photovoltaik und Dieselgeneratoren in einem gemeinsamen System.

Impressum

Projektorganisation
Bundesministerium
für Wirtschaft und Energie (BMWi)
11019 Berlin

Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Philipp Wedding
52425 Jülich

Förderkennzeichen
0325768A-H, 0325752A-E

ISSN
0937-8367

Herausgeber
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut
für Informationsinfrastruktur GmbH
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autor
Gerhard Hirn

Urheberrecht
Titelbild, Abb. 1, 3 und 4: Belectric GmbH
Abb. 2: Fraunhofer ISE

Eine Verwendung von Text und
Abbildungen aus dieser Publikation
ist nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion
gestattet. Sprechen Sie uns an.

Projektbeteiligte

- » **Projektleitung, Hybridkraftwerkssteuerung:**
Belectric GmbH – Zweigstelle Dresden, Dresden, Tim Müller, info@belectric.com
- » **Simulationstool für Hybridkraftwerke:**
Brandenburgische Technische Universität, Cottbus | www.b-tu.de
- » **Zentralwechselrichter mit erweiterter Funktionalität:**
GE Energy Power Conversion GmbH, Berlin | www.ge.com
- » **Dynamische Regelung von Wechselrichtern und Mircogrid-Tests:**
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg | www.ise.fraunhofer.de
- » **DC-Komponenten:**
Jurchen Technology GmbH, Kitzingen | www.jurchen-technology.com
- » **Simulationsmodelle für Dieselaggregate:**
MTU Friedrichshafen GmbH, Friedrichshafen | www.mtu-online.com
- » **Regelung, Steuerung und Überwachung von Hybridkraftwerken:**
Padcon GmbH, Kitzingen | www.padcon.com

Links

- » [Fraunhofer ISE Energy Charts](http://www.fraunhofer-ise.de/energy-charts) – Interaktive Grafiken zu Stromproduktion und Börsenstrompreisen
www.energy-charts.de/index_de.htm

Mehr vom BINE Informationsdienst

- » [Modularer Batteriespeicher liefert Regelenergie. BINE-Projektinfo 12/2017](#)
- » [Flexible Turbomaschinen stabilisieren das Stromnetz. BINE-Projektinfo 07/2017](#)
- » [Dieses Projektinfo gibt es auch online unter \[www.bine.info/Projektinfo_13_2018\]\(http://www.bine.info/Projektinfo_13_2018\).](#)

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter www.bine.info/abo

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44
kontakt@bine.info

BINE Informationsdienst
Energieforschung für die Praxis
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185–197
53113 Bonn
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages