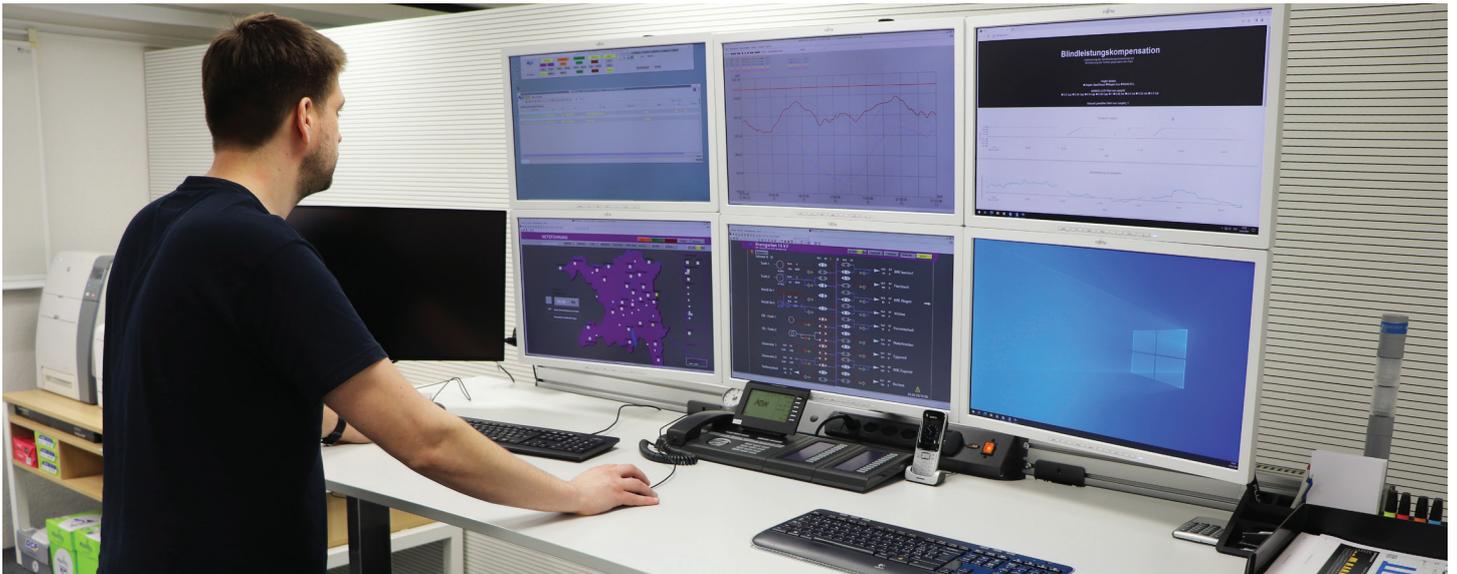


EINE PV-ANLAGE IM DIENST DES VERTEILNETZES

Photovoltaik-Anlagen liefern nicht nur erneuerbaren Strom, sie haben heute auch die Fähigkeit, über die sogenannte Blindleistungskompensation zur optimierten Auslastung des Stromnetzes beizutragen. Wie das gelingt, veranschaulicht ein Pilotprojekt der AEW Energie AG: Das Aargauer Stromversorgungsunternehmen nutzt einen Algorithmus der ETH Zürich zur optimalen Steuerung von Solarwechselrichtern. Die Pilotanwendung bestätigt die finanziellen Vorteile dieser Smart-Grid-Lösung und veranschaulicht ihr Potenzial zur lokalen Begrenzung des Netzausbaus.



Die PV-Anlage in Tägerig im aargauischen Bezirk Bremgarten. Die Anlage, die von der AEW als Contractorin betrieben wird, hat eine Spitzenleistung von 865 kW_p. Sie wird seit Ende 2022 zur Bereitstellung von (induktiver) Blindleistung herangezogen. Foto: AEW



Patrick Linggi leitet die AEW-Netzleitstelle in Aarau. Der Bildschirm rechts oben repräsentiert die aus der PV-Anlage in Tägerig (AG) bezogene Blindleistung. Foto: B. Vogel

Die AEW Energie AG versorgt 102'000 Kunden im Kanton Aargau direkt mit Strom. Die Leitstelle unweit des Bahnhofs Aarau sorgt dafür, dass im Verteilnetz alles rund läuft. Auf Monitoren lesen die verantwortlichen Dispatcher ab, ob alle Leitungen und Trafostationen korrekt arbeiten und die Spannungs- und Stromwerte im vorgesehenen Bereich liegen. Wenn Bauarbeiten anstehen, werden von hier aus die betroffenen Netzabschnitte vorübergehend abgeschaltet, im Störfall die Reparaturtrupps koordiniert. Hinzu kommen Aufgaben mit wirtschaftlichem Charakter: Um ein sicheres, leistungsfähiges und effizientes Netz zu betreiben, bezieht die AEW den Strom aus dem vorgelagerten überregionalen Verteilnetz der Axpo. Daraus ergeben sich Möglichkeiten, mit denen die AEW-Netzverantwortlichen den Strombezug für die AEW und ihre Kundschaft vorteilhaft steuern können.

Die AEW kann beispielsweise Kosten beeinflussen, indem sie darauf hinwirkt, hohe Leistungsbezüge aus dem Axpo Netz zu vermeiden. Ebenfalls finanziell relevant ist die Blindleistung, also jene Form von Leistung, die in jedem Wechselstromnetz vorhanden ist, aber für elektrische Anwendungen nicht nutzbar ist bzw. keine Arbeit verrichtet. Blindleistung entsteht durch Phasenverschiebungen von Strom und Spannung beispielsweise in Elektromotoren oder elektronischen Bauteilen. «Aufgrund der stetigen Verkabelung und der Zunahme von elektronischen Bauteilen in Anlagen resultiert eine Zunahme von kapazitiver Blindleistung im Stromnetz», sagt Patrick Linggi, Leiter der AEW-Netzleitstelle. «Den kapazitiven Anteil können wir kompensieren, indem wir induktive

Blindleistung ins Netz einspeisen.» Blindleistung darf ein bestimmtes Mass nicht überschreiten, damit das vorgegebene Spannungsband nicht verletzt wird (vgl. Textbox S. 4). Ist im AEW-Netz nicht-konforme Blindleistung vorhanden, 'belastet' diese auch das vorgelagerte Axpo-Netz. Der AEW wird dementsprechend nichtkonforme Blindenergie verrechnet. Konforme Blindenergie hingegen wird vergütet.

Solarwechselrichter kompensiert Blindleistung

Unter dem Strich bezahlt die AEW für die Einspeisung von Blindleistung ins AEW-Netz pro Jahr einen sechsstelligen Betrag. Diese Kosten will die AEW möglichst tief halten, um ihrer Kundschaft möglichst geringe Netznutzungstarife an-



Patrick Linggi (links), Leiter der AEW-Netzleitstelle, zusammen mit Alessandro Scozzafava, bei der AEW für Netzentwicklung und -instandhaltungplanung verantwortlich. Die Karte im Hintergrund zeigt das 16 kV-Verteilnetz der AEW, das von der Leitstelle in Aarau überwacht wird. Foto: B. Vogel



Die Wechselrichter der PV-Anlage in Tägerig können (induktive) Blindleistung von bis zu 480 kvar bereitstellen. Das ergibt pro Jahr bei angenommenen 1000 Volllaststunden 480 Mvarh Blindenergie. Die AEW baut gegenwärtig einen grossen Netzbatteriespeicher. Dieser wird voraussichtlich im November 2023 in Betrieb genommen und hat das Potenzial, rund das Vierfache an Blindleistung bereitzustellen. Foto: AEW

bieten zu können. Diesem Zweck dient seit Dezember 2022 ein Pilotprojekt: Die AEW nutzt die induktive Blindleistung einer ihrer grossen Photovoltaik-Anlagen im aargauischen Bezirk Bremgarten zur Blindleistungskompensation. Eine von der ETH Zürich entwickelte Regelung sorgt dafür, dass die Wechselrichter der PV-Anlage möglichst viel induktive Blindleistung einspeisen, um dem kapazitiven Verhalten entgegenzuwirken. «Der Regelungsalgorithmus läuft seit der Inbetriebnahme autonom und einwandfrei. Wird diese Möglichkeit der Regelung im AEW-Netz grossflächig ausgerollt, kann im Idealfall die Entschädigung an die Axpo beachtlich reduziert werden», sagt Alessandro Scozzafava, Leiter Netzentwicklung & Instandhaltungsplanung bei der AEW.

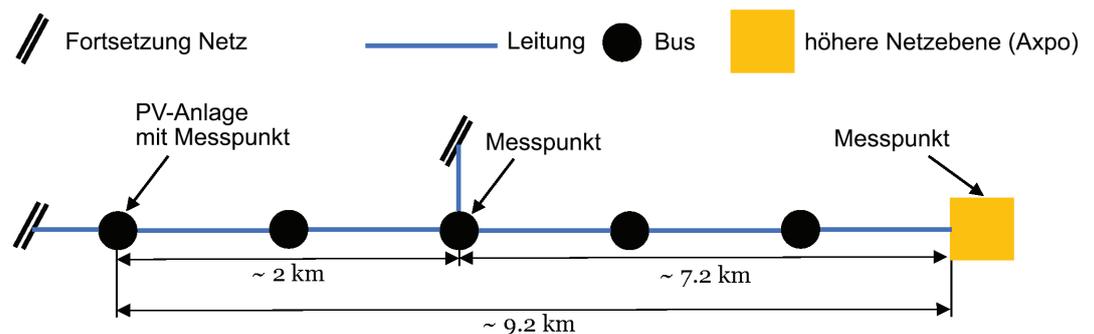
Die AEW prüft aktuell den finanziellen Nutzen, der entsteht, wenn sie zusätzliche Erzeuger von induktiver Blindleistung zur Blindleistungskompensation heranzieht. «Wir prüfen, welchen Einfluss eine grossflächig ausgerollte Blindleistungsregelung der PV-Anlagen auf das Stromnetz hat. Wir gehen davon aus, dass es günstige Auswirkungen auf das Netz gibt, wenn Wechselrichter leistungsstarker Solaranlagen oder grosse Batteriespeicher zu diesem Zweck genutzt

werden», sagt Scozzafava. Der AEW-Ingenieur ergänzt: «Die Blindleistungskompensation erlaubt uns, den Blindleistungsbezug und somit die Spannung lokal zu beeinflussen, um wiederum einen höheren Wirkleistungsfluss zu ermöglichen, ohne dabei die Spannungsgrenzen zu verletzen. Sie ist somit ein Schritt hin zu einem intelligenten Netz ('Smart Grid'). Sie dürfte uns mittelfristig helfen, den aufwendigen Ausbau des Verteilnetzes zu verringern oder zu optimieren.»

Steuerung auf der Grundlage von Messwerten

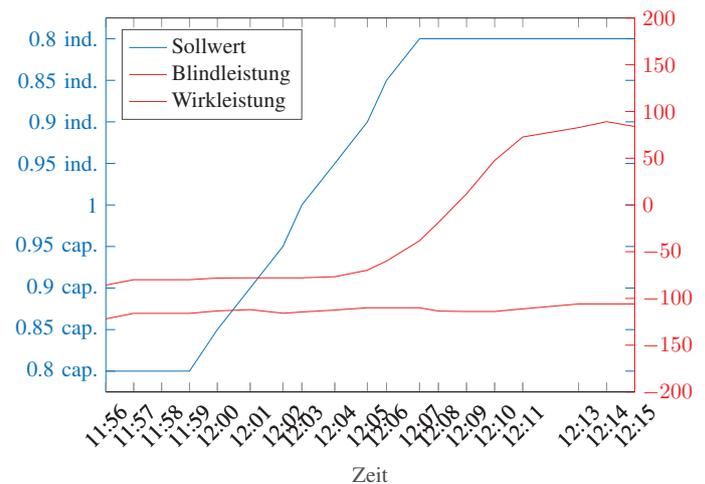
Das Pilotprojekt bei der AEW Energie AG ist die erste realitätsnahe Anwendung einer Software-Lösung, die zuvor an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ) entwickelt worden war. Grundlage bildet eine mathematische Methode zur Lösung von Optimierungsproblemen ganz allgemein, die am Automatic Control Laboratory der ETHZ entstand. Diese Methode wurde später im Rahmen des Forschungsprojektes UNICORN auf Anwendungen im Stromnetz zugeschnitten. Daraus ging der Algorithmus hervor, der im AEW-Pilotprojekt die Produktion von Blindleistung in Echtzeit regelt, und zwar so, dass die Solaranlage möglichst viel Blindleistung bereitstellt, dabei aber die Netzspannung die gefor-

Der von der ETHZ entwickelte Regelungsalgorithmus beruht auf Messungen, die an verschiedenen Punkten im AEW-Stromnetz vorgenommen und in Echtzeit verarbeitet werden. Grafik: <https://arxiv.org/pdf/2305.06702.pdf>



dernten Spannungsgrenzen einhält. Grundlage der Regelung bilden Echtzeit-Messwerte von Spannung und Blindleistung an verschiedenen AEW-Netzpunkten. Aus den Messwerten leitet der Algorithmus in einem iterativen Verfahren kontinuierlich den optimalen Betriebspunkt für den Solarwechselrichter ab. Die Methode war zunächst in Dänemark in einer Laborumgebung getestet worden, bevor sie nun bei AEW in einem realen Stromverteilnetz zum Einsatz kommt.

Das Forschungsprojekt UNICORN lief von 2019 bis 2021 und wurde vom BFE finanziell unterstützt. Am Projekt war auch RTE (für: Réseau de Transport de l'Électricité) beteiligt, die Betreiberin des französischen Stromübertragungsnetzes. RTE verfügt über eine grosse Forschungsabteilung, die unter anderen nach Lösungen für innovatives Netzmanagement sucht. Sie brachte ihre Expertise ins UNICORN-Projekt ein und stellte Daten aus dem französischen Übertragungsnetz zur Verfügung. Fazit des UNICORN-Schlussprojekts: «Das Projekt hat gezeigt, dass die Rückkopplungsoptimierung für den Entwurf automatischer Regler für den Echtzeitbetrieb des Netzes verwendet werden kann, und zwar insbesondere für die Blindleistungskompensation, die Wirkleistungsbegrenzung, die Spannungsregelung, die Stufenschalterregelung, die Verlustminimierung, die Kontrolle von Leitungsempässen und den wirtschaftlichen Redispatch.» Redispatch bedeutet, dass andere Kraftwerke als geplant die angemeldete Leistung einspeisen, was technische wie wirtschaftliche Gründe haben kann.



Die blaue Linie steht für den Sollwert für Blindleistung im AEW-Netz. Die Grafik zeigt, wie der Regelalgorithmus der ETHZ die Produktion von (induktiver) Blindleistung im Solarwechselrichter anhebt, um diesen Sollwert so weit wie möglich zu erreichen. Grafik: <https://arxiv.org/pdf/2305.06702.pdf>

Störungsfreier Dauerbetrieb

Lukas Ortmann hat das UNICORN-Projekt im Rahmen seiner Doktorarbeit an der ETH Zürich betreut und die Steuerung bei der AEW eingerichtet. Nach seiner Einschätzung ist der Wissenstransfer von der ETH zur Energieversorgerin AEW gelungen: «Das Pilotprojekt hat den Proof of Concept für unser Regelungskonzept im realen Netz erbracht: Die technische Infrastruktur funktioniert im Dauerbetrieb störungsfrei, ebenso die Kommunikation zwischen Leitstelle und einzelnen Geräten.» Für die Blindleistungskompensation können nicht

BLINDLEISTUNGSKOMPENSATION

Im Stromnetz der AEW Energie AG gibt es – wie in anderen Verteilnetzen – vermehrt kapazitive Blindleistung. Diese Form von Blindleistung führt dazu, dass es im Netz lokal zu erhöhten Spannungen kommt, im Gegensatz zur induktiven Blindleistung, welche eher spannungssenkend wirkt. Kapazitive Blindleistung kann «vernichtet» (kompensiert) werden, indem das Netz mit induktiver Blindleistung versorgt wird.

Induktive Blindleistung lässt sich beispielsweise mit Wechselrichtern von Solaranlagen erzeugen (in Zeiten, in denen die Solaranlage Strom produziert). Wechselrichter haben die Hauptfunktion, den Gleichstrom aus der Solaranlage in Wechselstrom umzuwandeln, damit dieser ins allgemeine Stromnetz eingespeist werden kann. Erzeugen Wechselrichter zusätzlich Blindleistung, wird die Einspeiseleistung der Solaranlage geschmälert (um wenige Prozent, sofern der Wechselrichter gross genug dimensioniert ist, andernfalls sind die Verluste höher). Die Masseinheit für Blindleistung ist var (von frz. Volt-Ampère réactif).

Blindleistung ist auch ein wirtschaftliches Gut. So braucht Swissgrid, die Betreiberin des Schweizer Hochspannungsnetzes, Blindleistung, um ihr Netz zu stabilisieren. Weil Swissgrid kaum Möglichkeiten hat, selbst Blindleistung zu erzeugen, kauft sie diese bei Kraftwerk- und Verteilnetzbetreibern ein. Im Jahr 2022 betrug der Beschaffungsaufwand gut 10 Mio. Fr.

nur PV-Anlagen genutzt werden, sondern auch Windkraftanlagen, Ladestationen für E-Mobile oder Wärmepumpen. «Alle diese Anlagen arbeiten mit einem Wechselrichter und können in unseren Algorithmus eingebunden werden», so Ortman.

Dr. Saverio Bolognani, Seniorwissenschaftler am Automatic Control Laboratory der ETHZ, stellt das AEW Projekt in einen grösseren Zusammenhang. «Wir brauchen solche Smart-Grid-Lösungen zur Stabilisierung der Stromnetze, denn die Integration einer beträchtlichen Menge fluktuierender erneuerbarer Energieerzeugung wird künftig zu häufigen Spannungsschwankungen und Engpässen im Netz führen.» Neue Regelungslösungen wie die von der ETHZ entwickelte können hier gute Dienste leisten. Sie nutzen den Umstand, dass moderne Stromnetze mehr und mehr über Echtzeitdaten und bessere Kommunikationstechnologien verfügen, die die Zustandsschätzung und Datennutzung zuverlässiger, erschwinglicher und praktischer machen.

- **UNICORN-Projektwebseite:**
<https://unicorn.control.ee.ethz.ch/>
- Der **Schlussbericht** zum Forschungsprojekt 'UNICORN – A Unified Control Framework for Real-Time Power System Operation' ist abrufbar unter:
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=41112>.
- **Auskünfte** zum Projekt erteilt Michael Moser (michael.moser@bfe.admin.ch), Leiter des BFE-Forschungsprogramms 'Netze'.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Elektrizität finden Sie unter www.bfe.admin.ch/ec-strom.