



REGELLEISTUNG DURCH WINDENERGIEANLAGEN

Malte Jansen, Dominik Jost

Einleitung

Im Zuge der Energiewende wird in Deutschland inzwischen mehr als 25 % der verbrauchten Elektrizität aus Erneuerbaren Energie (EE) bereitgestellt. Diese Energie stammt zum Großteil aus Windenergie- und Photovoltaikanlagen. Daher wird es zunehmend notwendig, dass sich auch EE an der Bereitstellung von Systemdienstleistung beteiligen. Die Reform des EEG bietet Erneuerbaren seit Anfang 2012 die Möglichkeit am Markt teilzunehmen. Dies beinhaltet explizit auch die Teilnahme an den Märkten zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen. In diesem Kontext wird Regelleistung bereits von Biogasanlagen und Wasserkraftanlagen erfolgreich bereitgestellt, insgesamt über 1 GW Regelleistung. WEA haben bisher allerdings keine Regelleistung bereitgestellt. Dies liegt hauptsächlich daran, dass die Regularien für den Regelleistungsmarkt eine Teilnahme nicht ermöglichen.

Seit 2014 stellen die EE zusammen mehr Energie bereit als jede andere Erzeugungstechnologie [1]. Die EE sind damit die größte Säule der deutschen Energieversorgung. Die daraus resultierende Verantwortung für einen sicheren Betrieb des Energieversorgungssystems kann aufgrund des Ausschlusses der fluktuierenden EE nur begrenzt wahrgenommen werden. Trotz dieser Umstände ist die Branche sich der Aufgabe bewusst und sucht proaktiv nach Lösungen. So hat das europäische Energieversorgungsunternehmen Trianel sich 2014 dazu bekannt, diese Aufgabe noch 2015 anzugehen. Dabei werden die Erkenntnisse aus dem am IWES geleiteten Forschungsprojekt final in die Praxis umgesetzt.

Herausforderung Strommarktdesign

Derzeit sind kleinere Anpassungen der aktuell gültigen Marktbedingungen in der Diskussion, um die Teilnahme fluktuierend einspeisender EE zu ermöglichen. Dies ist nicht zuletzt auf den Grünbuch / Weißbuch-Prozess des BMWi zurückzuführen. Bei der Anpassung der Marktregeln muss den Bedürfnissen volatiler Erzeuger ausreichend Sorge getragen werden ohne gleichzeitig die Chancen der bereits vorhandenen Marktteilnehmer einzuschränken.

Eine gleichberechtigte Regelleistungsbereitstellung aller Regelleistungsarten durch fluktuierend einspeisende EE wäre in Europa einmalig. Bisher gibt es wenige Regelungen in Europa, welche den fluktuierend einspeisenden EE den Zugang zu einzelnen Systemdienstleistungsmärkten eröffnet. In Dänemark stellen WEA bereits Regelernergie bereit, der Zugang zum Reserveleistungsmarkt bleibt aber verwehrt. In Irland stellen WEA bereits Primärregelleistung unter der Inkaufnahme von Energieverlusten bereit. Eine Umstellung der Marktbedingungen zugunsten fairer Wettbewerbsbedingungen aller Teilnehmer stellt für Betreiber, Hersteller von WEA und Virtuellen Kraftwerken sowie Direktvermarkter eine neue Herausforderung dar. Viele technische Innovationen sind im Zuge dessen schon entstanden oder sind noch zu erwarten. Eine derartige Einbindung der Erneuerbaren wird nicht nur Deutschlands Vorreiterrolle gerecht, sondern stärkt substantiell auch die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen im internationalen Kontext.

Nicht zuletzt geht es darum, die Energiewende als solche weiterzuführen. Dazu gehören auch die sukzessive Flexibilisierung der Anlagen und die Reduzierung von „Must-Run“-Kraftwerken. Durch eine weitestgehende Bereitstellung der Regelleistung aus EE, kann die Sockelleistung, welche nur am Netz ist, um Systemdienstleistungen zu erbringen, signifikant reduziert werden. Die Auswertungen von [2] kommen zu dem Ergebnis, dass diese Sockelleistung thermischer Kraftwerke für die Regelleistungsbereitstellung bis zu 13,5 GW beträgt. Laut eines anderen Gutachtens [3] beträgt diese Sockelleistung zwischen 8 GW und 25 GW. Eine Leistung im Energiesystem, welche nicht konstant durch EE bedient werden kann, ist daher ein Grund zur Abregelung von EE-Anlagen, insbesondere bei hoher Einspeisung aus fluktuierend einspeisenden Erneuerbaren. Vorrangig für die Bereitstellung von Regelleistung aus EE ist der Umstand, dass bei hoher Einspeisung ein großer Regelenergiebedarf besteht, welcher zusätzlich die Sockellast erhöhen könnte.

FuE-Projekt Regellenergie durch Windkraftanlagen

Um die Integration der fluktuierenden EE in das Energieversorgungssystem zu ermöglichen, hat das Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) das Projekt „Regelleistung durch Windkraftanlagen“ durchgeführt. Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit dem WEA-Hersteller Enercon, dem Windparkbetreiber Energiequelle sowie den Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB) Amprion und TenneT durchgeführt. Ziel des Projektes war ein Konzept zu entwickeln um zu testen, mit dem WEA wirtschaftlich Regelleistung bereitstellen können. Das Projekt wurde in 2014 abgeschlossen [4].

Das in diesem Projekt entwickelte Verfahren zeigt die Freiheiten und Begrenzungen an, mit denen WEA am Regelleistungsmarkt teilnehmen können. Dabei wurde der Fokus auf die Angebotserstellung und die Erprobung einer neuen Nachweismethode der Regelleistungserbringung gelegt. Die technische Umsetzbarkeit des neuentwickelten Nachweisverfahrens wurde abschließend in einem Feldtest gezeigt.

Die Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist mit WEA am Tag zuvor zuverlässig Regelleistung anzubieten. Die technische Umsetzung der Nachweismethode bedarf weiterer Forschung. Der Feldtest im Rahmen des Projekts „Regelleistung durch Windkraftanlagen“ zeigte, dass sowohl IKT-Umgebung wie auch die Anlagen selber dazu grundsätzlich in der Lage sind. Die Hemmnisse bei der Anlagenanbindung und Ansteuerung konnten im Projekt gelöst werden. Es ist zu erwarten, dass sich dieser Prozess mit der Kommerzialisierung effizienter gestalten lässt.

Probabilistische Prognose schaffen Zuverlässigkeit

Die Teilnahme von Windenergie am Regelleistungsmarkt erfordert, dass WEA mit derselben Zuverlässigkeit Regelleistung anbieten wie vorhandene Anbieter. Von Teilnehmern am Regelleistungsmarkt wird in Deutschland eine Zuverlässigkeit von 100 % gefordert. Diese Forderung kann allerdings von keinem technischen System erfüllt werden. Aufbauend auf Erfahrungswerten der ÜNB lässt sich eine Zuverlässigkeit der Erbringung von Regelleistung von mindestens 99,99 % ableiten.

Die Berechnung einer Zuverlässigkeit hat zum Ziel, dass die Unsicherheit des Angebots quantifiziert werden kann und somit garantiert wird, dass die tatsächlich vorgehaltene Regelleistung nur in 0,01 % der Fälle unterhalb der angebotenen Menge liegt. Probabilistische Prognosen sind ein mögliches Werkzeug, um die Zuverlässigkeit des Angebots von Windparks und auch von steuerbaren Anlagen zu ermitteln. Diese Prognosen liefern die Leistung eines Windparks oder eines Windparkpools, die mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erreicht oder übertroffen wird.

In Abbildung 1 wird das Ergebnis einer probabilistischen Prognose für verschiedene Horizonte dargestellt. Die Zuverlässigkeit beträgt 99,994 % für den gesamten deutschen Windparkpool. Die Nennleistung ist auf 1 normiert. Die orangene Linie zeigt das Ergebnis der probabilistischen Prognose für die Vortagsprognose an, welches als Regelleistung geboten werden könnte. Die blaue Linie für die 1h-Untertagsprognose. Die rote Linie ist die tatsächliche Einspeisung. Angebotsverletzungen der Regelleistungsangebote durch die Vortagsprognose wären in jedem Fall durch eine Untertagsprognose erkannt worden. Damit erhöht sich Prognosezuverlässigkeit noch weiter.

Für Direktvermarkter und Prognoseanbieter ergeben sich durch die Nutzung probabilistischer Prognose neue Geschäftsbereiche. Dabei ist die Regelleistungsbereitstellung nur ein Aspekt. Es wird zu erwarten sein, dass die gewonnenen Daten sich auch für Aspekte der Portfoliobewertung nutzen lassen und somit die Systemintegration von EE weiter voranschreitet.

Nachweisverfahren

Ein wichtiger Aspekt bei Bereitstellung von Regelleistung ist der Mechanismus zum Nachweis der Erbringung von Regelleistung im Abruffalle. Das derzeitige Verfahren, welches bei Kraftwerken, Biogasanlagen und anderen Regelleistungsanbietern zum Einsatz kommt, ist nur bedingt für WEA anwendbar. Im Nachfolgenden wird die Problematik anhand des Abrufs von negativen Minutenreserveleistung erläutert.

Bei den steuerbaren Anlagen wird die Fahrplananmeldung zum Nachweis der Erbringung von Regelleistung angewandt. Es wird angenommen, dass der Fahrplan zuverlässig erreicht wird. Der Abruf von Regelleistung wird nachgewiesen, indem die tatsächliche Einspeisung mit der geplanten Einspeisung aus dem Fahrplan verglichen wird. Entspricht der Unterschied der angeforderten Regelleistung, ist der Nachweis erbracht. Für WEA ergibt sich daraus die Problematik der Fahrplaneinhaltung. Obwohl seit der Einführung der Direktvermarktung WEA ihren Bilanzausgleichsfehler systematisch reduziert haben, kann nicht davon ausgegangen werden, dass einzelne Windparks einen konstanten Wert innerhalb der Viertelstunde halten. Insbesondere zu Zeiten mit starken Windgradienten ist dies als problematisch anzusehen.

Damit WEA einen Fahrplan zuverlässig einhalten können, müssen sie angedrosselt werden. Der Grad an Androsselung bestimmt dabei die Zuverlässigkeit des Fahrplanwertes. Das Prinzip des Nachweises über den Fahrplan wird in Abbildung 2 dargestellt. In dunkelgrün wird die Prognose dargestellt, die normalerweise zur Vermarktung genutzt wird. In der ersten Viertelstunde hält der Windpark jedoch Regelenergie bereit und wird deswegen auf den zuverlässigen Fahrplanwert der probabilistischen Prognose (in blau) abgeregelt. Die Energieminderungen werden als Opportunitätskosten in die Gebote für den Regelleistungsmarkt eingepreist. Dies kann eine Regelleistungsbereitstellung schnell unwirtschaftlich machen. Darüber hinaus muss die abgeregelte Energie durch fossile Kraftwerke ersetzt werden. Im Falle der Abregelung wird die Anlagenleistung auf einen Wert reduziert, welche um die angebotene Leistung unterhalb des bereits abgeregelten Fahrplanwertes liegt. Die Höhe der abgeregelten Energie bei der Vorhaltung hängt stark von der Prognosegüte ab.

Eine alternative Methode zum Nachweis der Regelleistungsbereitstellung erlaubt eine Abregelung zu vermeiden. Während der Vorhaltung wird dabei der Windpark wie in der normalen Direktvermarktung betrieben. Während des Abrufs wird der Windpark mit einer Differenzleistung zur maximal möglichen Einspeisung betrieben. Die maximal mögliche Einspeisung ist

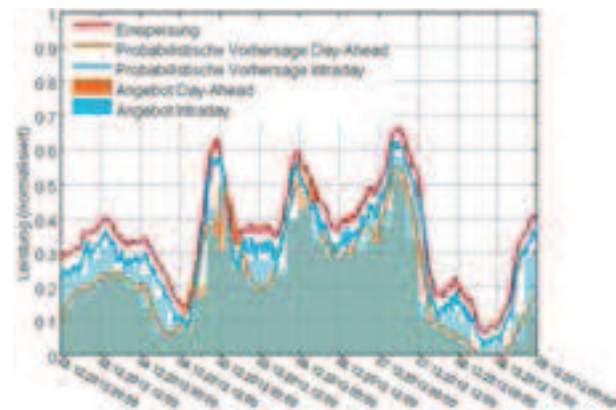


Abbildung 1: Probabilistische 1 h-Prognose für den 30 GW Windparkpool im Jahr 2012

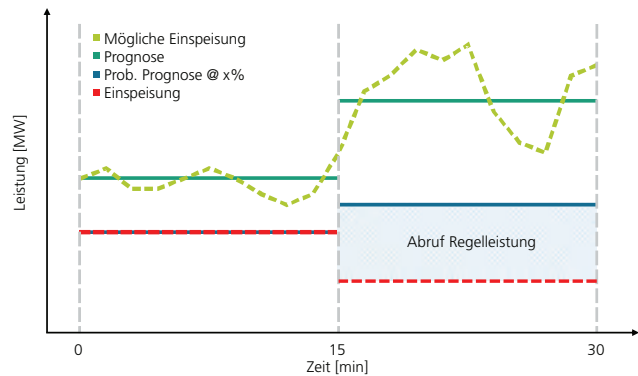


Abbildung 2: Nachweis der Erbringung von negativer Minutenreserveleistung mit Hilfe des Nachweisverfahrens „Fahrplan“

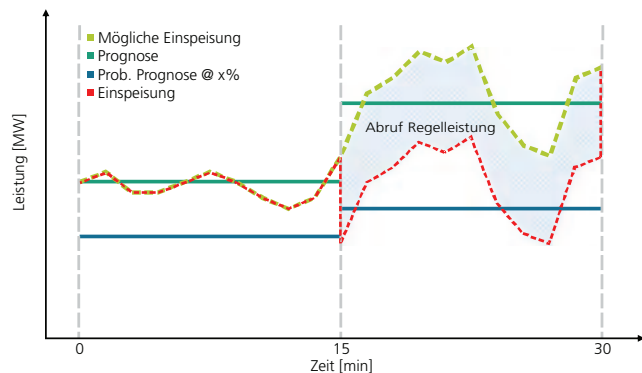


Abbildung 3: Nachweis der Erbringung von negativer Minutenreserveleistung mit Hilfe des Nachweisverfahrens „mögliche Einspeisung“

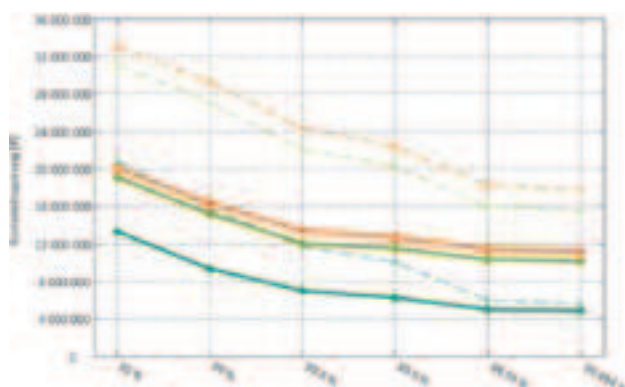


Abbildung 4: Einspareffekte und mögliche Zusatzerlöse für die Windparkbetreiber durch die Teilnahme des Deutschlandpools Wind am negativen Minutenreservemarkt entsprechend dem Verfahren „mögliche Einspeisung“ für verschiedene Produktlängen und Zuverlässigkeiten des Angebots für das Jahr 2010

die Leistung, die eingespeist worden wäre, wenn der Windpark nicht abgeregelt worden wäre. Mit diesem Nachweis würden die Anlagen nur Energie im Falle eines Abrufs regeln. Die Bestimmung der möglichen Einspeisung stellt derzeit allerdings noch eine technische Herausforderung dar, welche durch Forschung und Anlagenhersteller adressiert wird. In Abbildung 3 wird analog der Nachweismechanismus mit Hilfe der möglichen Einspeisung dargestellt.

Business-Case Regelleistungsbereitstellung

Werden die Rahmenbedingungen für die Teilnahme von WEA so angepasst, dass sich dadurch ein Geschäftsmodell für die WEA ergibt, könnten sich die Preise im Regelleistungsmarkt verändern. Dadurch werden die Regelleistungskosten im System gesenkt, ohne die Zuverlässigkeit zu beeinflussen. Die Reduzierung der Kosten für die Vorhaltung und den Abruf von Regelleistung entsteht durch die Teilnahme der Windparks am Regelleistungsmarkt. Teurere Anbieter werden aus der Merit-Order-Liste verdrängt.

Die wirtschaftlichen Auswirkungen einer Teilnahme wurden im Projekt „Regelleistung durch Windkraftanlagen“ mit Hilfe von Simulationen für einen 30 GW Windparkpool durchgeführt [4]. Die Höhe des Angebots der Windparks wird jeweils mit Hilfe von probabilistischen Prognosen bestimmt. Die Höhe der Einsparungen für das System und die möglichen Zusatzerlöse für die Anbieter hängt von den betrachteten Rahmenbedingungen ab, insbesondere von der Frage des Nachweismechanismus.

Abbildung 4 zeigt die Einspareffekte für die Teilnahme des Deutschlandpools Wind am Markt für negative Minutenreserve entsprechend des Verfahrens „mögliche Einspeisung“ für das Jahr 2012. Zu erwartenden Einspareffekte werden als durchgezogene Linie dargestellt. Mögliche Zusatzerlöse, als Summe der zu erwartenden Wohlfahrtsgewinne durch die Teilnahme von WEA im Regelleistungsmarkt, für die Windparkbetreiber als gestrichelte Linie. Vergleichend stellt sich das Nachweisverfahren „mögliche Einspeisung“ als volkswirtschaftlich bessere dar.

Für das Jahr 2012 hätten sich bei einer Zuverlässigkeit von 99,994 % und einer Produktlänge von 1 Stunde ein Einsparpotenzial von 13 Mio. € ergeben. Bei einer Produktlänge von 4 Stunden wären es 12 Mio. € und bei 24 Stunden 7 Mio. € Einsparung. Die möglichen Zusatzerlöse im Jahr 2012 betragen 22 Mio. € (1 Std.), 19 Mio. € (4 Std.) und 9 Mio. € (24 Std.). Damit betrug der für das Jahr 2012 bestimmte Wohlfahrtsgewinn als Summe der Einsparung und möglichen Zusatzerlöse 31 Mio. € bei einer realistischerweise anzunehmenden Regelleistungsbloklänge von 4 Stunden.

Zusammenfassung

Der wachsende Anteil an fluktuierenden EE im Energiesystem erhöht den Druck auf die Entscheidungsträger den EE mehr Systemverantwortung zu übertragen. Zuerst gehört dazu die Aufgabe der Ausregelung von sehr kurzfristigen Systemungleichgewichten. WEA konnten in dem Zusammenhang beweisen, dass sie in der Lage sind, sich systemstützend zu verhalten. Damit die fluktuierenden EE dazu auch operativ in der Lage sind, ist es wichtig die Weichen richtig zu stellen. Nicht zuletzt wird die Anpassung der Marktbedingungen durch den Grünbuchprozess des BMWi politisch aufgegriffen. Die Innovationskraft, die aus dieser Umstellung heraus entsteht, wird der deutschen Vorreiterrolle bei Energiesystemtransformation gerecht.

Quellen

- [1] AG Energiebilanzen (2014). Abgerufen am 20.01.2015 von: www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=20141216_brd_stromerzeugung1990-2014.pdf
- [2] Grünwald, R.; Ragwitz, M.; Sensfuß, F.; Winkler, J. (2012). Regenerative Energieträger zur Sicherung der Grundlast in der Stromversorgung – Endbericht zum Monitoring. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim deutschen Bundestag. Berlin
- [3] [Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft (FGH) e. V.; CONSENTEC; Institut für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft (IAEW) der RWTH Aachen (2012): Studie zur Ermittlung der technischen Mindestenergieerzeugung des konventionellen Kraftwerksparks zur Gewährleistung der Systemstabilität in den deutschen Übertragungsnetzen bei hoher Einspeisung aus erneuerbaren Energien. Mannheim/Aachen
- [4] Brauns, S.; Jansen, M.; Jost, D.; Siefert, M.; Speckmann, M.; Widdel, M. (2014). Abschlussbericht Regelleistung durch Windkraftanlagen. Kassel, <http://www.energiesystemtechnik.iwes.fraunhofer.de/de/presse-infothek/publikationen/uebersicht/2014/abschlussbericht-regelenergie-durch-windkraftanlagen.html>