



Regelungstechnik in der Windenergienutzung

Peter Caselitz*, Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik/IWES, Kassel

* Korrespondenzautor: Peter.Caselitz@iwes.fraunhofer.de

Nach der Atomkatastrophe in Fukushima im März 2011 hat der Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland noch einmal spürbar an Bedeutung gewonnen. Im letzten Jahr wurden 22% der Nachfrage nach elektrischer Energie aus regenerativen Quellen bedient. Den größten Anteil hatte die Windenergie mit 7,4% gefolgt von der Biomasse mit 5,8%, der Photovoltaik mit 4,5% und der Wasserkraft mit 3,4%. Bis zum Jahr 2030 sollen nach den Plänen der Bundesregierung etwa 50% und bis 2050 etwa 80% der Nachfrage nach elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden. Es gibt eine ganze Reihe weiterer Szenarien, die bis zu einer 100% Versorgung aus regenerativen Energiequellen im Jahr 2050 reichen. In allen Szenarien spielt die Nutzung der Windenergie im Onshore- und Offshore-Bereich eine bedeutende Rolle.

In Deutschland liegen die Stundenmittelwerte der Spitzenlast und der Grundlast im elektrischen Verbundnetz in der Größenordnung von 80 GW bzw. 30 GW. Die Nennleistung der volatilen Energiequellen Photovoltaik und Wind betrug bereits Ende 2012 jeweils ungefähr 30 GW. Diese Durchdringung mit volatilen Energiequellen kann schon heute in manchen Situationen problematisch werden. Photovoltaik- und Windenergieanlagen spielen dabei im deutschen Verbundnetz eine sehr unterschiedliche Rolle. Die meisten PV-Anlagen sind Dachanlagen relativ geringer Leistung im Bereich von wenigen Kilowatt bis zu mehreren 10 KW und daher an die elektrischen Verteilungnetze angeschlossen. Dagegen übersteigt die Nennleistung großer Windkraftanlagen den Wert 5 MW schon seit einigen Jahren. Windparks mit bis zu 100 Anlagen erreichen Leistungen in der Größenordnung von 500 MW und werden deshalb wie konventionelle große Kraftwerke an das Hochspannungsnetz angeschlossen.

Vier Beiträge dieses Themenheftes befassen sich mit der Regelungstechnik einzelner Windenergieanlagen. Zwei weitere Artikel widmen sich dem Thema Netzintegration größerer Windparks.

Der erste Artikel des vorliegenden Themenheftes gibt einen Überblick über den Stand und die Perspektiven

der Regelungstechnik in modernen Windenergieanlagen. Die Nabenhöhe dieser Anlagen kann 140 Meter erreichen und die Länge der Blätter wird in den nächsten Jahren 70 Meter deutlich überschreiten. Solche Strukturen sind extrem schwingungsfreudig und stellen schon deshalb eine Herausforderung für die Regelungstechnik dar. Aktive Schwingungsdämpfung und die Kompensation von Nick- und Gier-Momenten der Maschinenträger über Einzelblattverstellung sind Themen, die in den letzten Jahren unter dem Begriff *individual pitch-control* intensiv behandelt wurden. Um weitere Kostenreduktionen zu erreichen wird es in Zukunft dabei parallel zur Reduktion von Ermüdungslasten auch um die Begrenzung von Extremlasten gehen. Der Beitrag weist auf ungelöste Probleme hin und stellt Lösungsansätze dar.

Die Drehzahlregelung einer Windenergieanlage ist ebenfalls eng mit dem Ziel der Lastreduktion verbunden. Prinzipiell ist dabei die Regelung im Teillastbereich von der Regelung im Volllastbereich zu unterscheiden. Im Teillastbereich geht es um die Maximierung der elektrischen Leistung, die im stationären Betrieb durch Anpassung der Drehzahl an die Windgeschwindigkeit erreicht wird. Die Stellgröße für die Drehzahl ist dabei das elektrische Moment des Generators, die Blätter werden nicht verstellt. Bei Volllast wird die elektrische Leistung einer Windenergieanlage auf die Nennleistung begrenzt. Im stationären Betrieb bleibt das Generatormoment konstant und das Antriebsmoment wird bei schwankender Windgeschwindigkeit über die Blattwinkel beeinflusst. Im Vergleich zum Generatormoment lässt sich das Antriebsmoment einer Windenergieanlage nur sehr langsam verstellen. Bei wechselnder Last durch zeitlich und räumlich schnell veränderliche Windfelder ist die Drehzahl trotzdem so weich zu regeln, dass Extrem- und Ermüdungslasten in nichtstationären Betriebsphasen so weit wie möglich reduziert werden.

Im Einzelnen hängt der Entwurf einer Triebstrangregelung stark von der Realisierung des Triebstranges ab. Die Triebstränge von Windenergieanlagen können sehr unterschiedlich gestaltet sein. Zum Beispiel ist die



Verwendung eines Getriebes ist nicht zwingend, wenn ein genügend hochpoliger elektrischer Generator eingesetzt werden kann. Für Windenergieanlagen mit Getriebe wurden im Laufe der Zeit sehr unterschiedliche Lösungen realisiert. Der zweite Beitrag beschreibt die Regelung eines Triebstrangs mit einem hydrodynamischen Überlagerungsgetriebe und einem Synchrongenerator, ein Aufbau, der zwar nicht zu den heute gängigen Lösungen gehört, der aber mit gewissen Vorteilen verbunden ist und in den letzten Jahren wieder stärker diskutiert wird.

Ein weit verbreitetes Triebstrangkonzzept ist der Aufbau mit Getriebe und doppelt speisenden Asynchrongeneratoren. Dieses Konzept wurde Anfang der 1980er Jahre schon in der ersten deutschen Forschungsanlage Growian realisiert. Das Prinzip ist in gewisser Weise eine elektrische Parallele zum Triebstrang mit Überlagerungsgetriebe. In beiden Fällen wird die Drehzahlvariabilität durch die elektrische oder mechanische Aufteilung des Energiestroms auf einen Haupt- und einen Regelzweig erreicht. Der dritte Beitrag beschreibt die Regelung von doppelt speisenden Asynchrongeneratoren mit einer besonders verlustarmen Aufteilung der Blindleistung auf den Haupt- und Regelzweig. Unabhängig von der Ausführung des Triebstrangs müssen moderne Windenergieanlagen weitgehend entkoppelt von der Wirkleistung induktive oder kapazitive Blindleistung liefern können.

Der vierte und letzte Artikel zum Thema Regelung einzelner Windenergieanlagen befasst sich mit den Möglichkeiten einer adaptiven Vorsteuerung, wenn wenigstens Teile des Windfeldes in gewissen Entfernungen vor dem Rotor erfasst werden können. Solche Messungen sind zum Beispiel mit LIDAR-Systemen auf der Gondel möglich. Neben den hohen Kosten haben diese Systeme zum Zweck der Vorsteuerung aber noch einige Nachteile. Zum Beispiel messen LIDAR-Systeme nur die Komponente der Windgeschwindigkeit in Strahlrichtung und nicht die Windgeschwindigkeit orthogonal zur Rotorfläche. Trotzdem ist es interessant, das Potenzial solcher Vorsteuerungen auszuloten und mehr Klarheit zu bekommen, unter welchen Umständen LIDAR-Systeme zu spürbaren Verbesserungen bei der Regelung von Windenergieanlagen führen können. Vorstellbar ist nach einer notwendigen Reduktion der Kosten, des Gewichts und Volumens auch eine Integration in die Blätter einer Windenergieanlage.

Windenergieanlagen werden in der Regel zu Windparks zusammengefasst. Die Leistung solcher Windparks beginnt im einstelligen MW-Bereich und kann mehrere 100 MW erreichen. In den Anfangszeiten der Windenergienutzung wurden Windenergieanlagen noch als „negative Verbraucher“ und nicht als „Erzeuger“ betrachtet. Der Unterschied betrifft in erster Linie die Netzanschlussbedingungen, die z. B. in Störfällen die Trennung eines Verbrauchers vom Netz fordern. Mit zunehmender Durchdringung der Netze wurden diese Netzanschlussbedingungen immer problematischer, da die Abschaltung hoher Leistungen im Fehlerfall durchaus

kontraproduktiv wirken kann. Aber auch im Normalbetrieb können sich leistungsstarke „Einspeiser“ nicht einfach wie passive Verbraucher verhalten, sondern müssen sich perspektivisch stärker an der Netzregelung beteiligen. Bereits 2001 begann daher die schrittweise Anpassung der Netzanschlussbedingungen an die Grid-Codes konventioneller Kraftwerke. An der Wirkleistungs- und Frequenzregelung müssen sich deutsche Windparks zur Zeit zwar nur sehr eingeschränkt beteiligen, es kann aber erwartet werden, dass diese Privilegierung der regenerativen Energieerzeuger bei der Netzintegration mehr und mehr verschwindet.

Bei der Blindleistungs- und Spannungsregelung verlangen die Netzbetreiber dagegen bereits heute ein bestimmtes stationäres und dynamisches Verhalten der Erzeuger im Normalbetrieb und im Fehlerfall. Die letzten beiden Artikel des Themenheftes befassen sich mit der Umsetzung dieser Forderungen im Falle großer Windparks, die für einen stabilen Netzbetrieb von hoher Bedeutung sind. Der erste Artikel beschreibt ein Konzept der Blindleistungsregelung, das unnötige Strukturschaltungen der Regler zwischen Normal- und Störbetrieb vermeidet und damit den Entwurf der Blindleistungsregelung deutlich vereinfacht. Der zweite Beitrag befasst sich mit der Entwicklung einer schnellen Spannungsregelung für Windparks, die unempfindlich ist gegen Windgeschwindigkeitsänderungen, veränderte Netzeigenschaften und variable Totzeiten der Regelstrecke, die durch die Übertragung von Sensor- und Aktuatordaten innerhalb eines ausgedehnten Windparks entstehen.

Der Gastherausgeber möchte an dieser Stelle allen Autoren und Gutachtern für ihre Beiträge zu diesem Themenheft ganz herzlich danken, verbunden mit der Hoffnung, dass der ein oder andere Leser Anregungen für eigene Arbeiten finden wird. Die Energiewende ist ein Thema, das uns nicht nur in Deutschland noch einige Jahrzehnte beschäftigen wird. Die Anforderungen an die Energiesystemtechnik und damit auch an die Regelungstechnik werden mit dem weiteren Ausbau der Erneuerbaren Energien die Akteure sicher noch vor einige Herausforderungen stellen.

Peter Caselitz



Peter Caselitz, Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik/IWES, Königstor 59, 34119 Kassel,
E-Mail: Peter.Caselitz@iwes.fraunhofer.de