

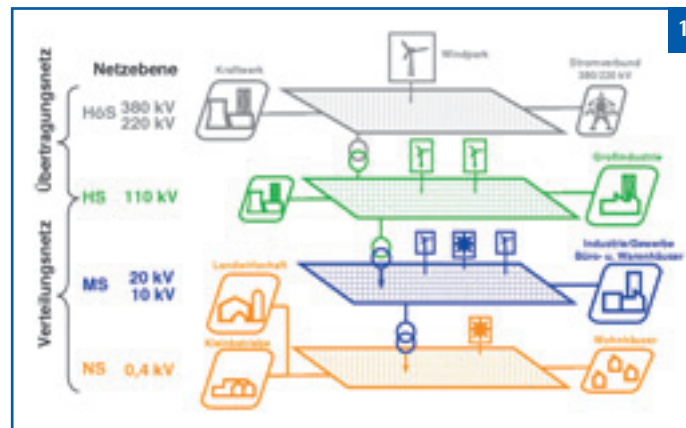
Stromnetze der Zukunft

HERAUSFORDERUNGEN UND LÖSUNGSANSÄTZE

An die Stromnetze der Zukunft werden hohe Ansprüche gestellt. Bereits im Jahr 2020 sollen 20 Prozent des Stromverbrauchs aus erneuerbaren Energien bestehen.

Doch regenerative und dezentrale Einspeisungen bringen nicht nur positive Veränderungen mit sich. Sie können sich auf unterschiedliche Weisen auch auf die Versorgungssicherheit, die Übertragungs- und die Verteilungsnetze auswirken.

Ein Wissenschaftler des Instituts für Energieversorgung und Hochspannungstechnik zeigt die Herausforderungen und beschreibt Lösungsansätze.



Aufbau und Struktur der Stromnetze

Stromnetze erfüllen entsprechend ihrer Spannungsebene unterschiedliche Aufgaben hinsichtlich der Übertragung und Verteilung elektrischer Energie (Bild 1). Man unterscheidet die Übertragungs- und die Verteilungsnetze. Die Übertragungsnetze sind stark vermascht. Sie dienen der großräumigen Energieübertragung und sichern eine gegenseitige Netzstützung in Störfällen im Rahmen des europäischen Stromverbundes. In diese Höchstspannungsebenen speisen die großen thermischen Kraftwerke sowie große On- und Offshore-Windparks ein. Netzanschlussnehmer sind wenige Großkunden zum Beispiel aus der Stahl-, Aluminium- oder Chemieindustrie.

Die unterlagerten Verteilungsnetze sind vermaschte Hochspannungsnetze (HS-

Netze). In diese Netze speisen kleinere thermische und Industriekraftwerke sowie Windparks ein. Typische Anschlussnehmer sind Kunden aus der Großindustrie.

Den HS-Netzen sind die Mittelspannungs- und die Niederspannungsnetze (MS- und NS-Netze) unterlagert. In die MS- und NS-Netze speisen kleinere dezentrale Energieerzeugungsanlagen – auf Basis von fossilen oder nachwachsenden Kraftstoffen wie Heizöl, Erdgas, Pflanzenöl, Biodiesel oder Biogas sowie Windenergieanlagen (WEA), Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) oder Blockheizkraftwerke (BHKW, Bild 3) ein. Die MS-Netze übernehmen die Versorgung von Industrie, Gewerbe sowie Büro- und Wohnhäusern, während die NS-Netze die Versorgung der Haushalte, Landwirtschaft und von Kleinbetrieben verantworten.

Rechtliche, politische und gesellschaftliche Rahmenbedingungen

Die rechtlichen, politischen und gesellschaftlichen Forderungen an die elektrische Energieversorgung sind im Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) festgelegt. Das EnWG fordert unter anderem die Vorhaltung und Planung von sicheren, zuverlässigen, preisgünstigen und umweltverträglichen Netzen. Es schreibt den diskriminierungsfreien Netzzugang für alle Netzkunden vor, um damit eine wesentliche Voraussetzung für die Intensivierung des deutschen und europäischen Strommarkts zu schaffen. Ferner legt das EnWG den Rahmen für die Anreizregulierung fest.

Daneben wird durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) ein Ausbau der erneuerbaren Energien (EE) und der Kraft-Wärme-Kopplung weiter vorangetrieben. Die festgeschriebene Vorrangregelung für EEG-Einspeisungen soll – unter anderem – bewirken, dass der Anteil der EE am Stromverbrauch von etwa 14 Prozent in 2007 auf 20 Prozent bis zum Jahr 2020 gesteigert wird. Dazu, wie auch zum Ausstieg aus der Kernenergie, hat sich die Bundesregierung verpflichtet.

Deutsches Höchstspannungsnetz 2008



Bild 1
Der Weg vom Kraftwerk in die Steckdose: Übertragung und Verteilung von elektrischer Energie.
Quelle: E.ON

Bild 2
Die großräumige Energieübertragung wird in Deutschland von einem stark vermaschten Höchstspannungsnetz übernommen.
Quelle: bdew, Berlin



Bild 3
Blockheizkraftwerke und andere dezentrale Energieerzeugungsanlagen speisen auf Basis von fossilen und nachwachsenden Brennstoffen in MS- und NS-Netze ein.
Quelle: COMUNA-metall

Entwicklungen und Prognosen

Für die nachhaltige Entwicklung der Stromnetze sind Annahmen bezüglich Verbrauchsentwicklung, Zusammensetzung und Größenordnung der Erzeugungskapazität

und Nutzung der Stromnetze unerlässlich.

- Verbrauch
Die Leitstudie 2007 des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorschutz (BMU) [1] erwartete aufgrund der Ener-

gieinspar- und Effizienzbestrebungen ab etwa 2006 einen Rückgang des Verbrauchs an elektrischer Energie. Tatsächlich gab es im Zeitraum 2006 bis 2008 einen jährlichen Anstieg des Stromverbrauchs um 0,5 bis 1 Prozent. Der Bun-

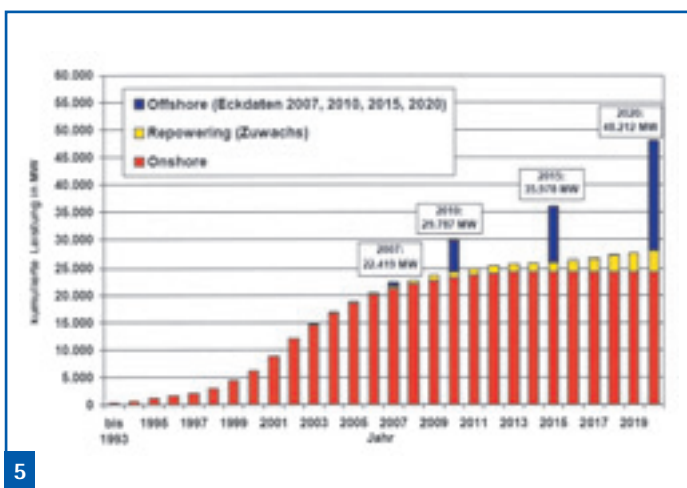
desverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) rechnet deswegen auch weiterhin mittelfristig mit einem jährlichen Anstieg des elektrischen Energieverbrauchs um circa 0,5 Prozent [2].

Deutschland von circa 140 Gigawatt [3] (Bild 4). Dabei erfolgt dieser Ersatzneu- und Zubau aufgrund der günstigen Primärenergie-trägerversorgung in regionalen Schwerpunkten.

mehr als 80 Jahre – zu einer Einschränkung des Investitionsverhaltens der Netzbetreiber führt. Die Kürzung der Erneuerungs- und Investitionsbudgets könnte mittel- bis langfristig die Versorgungsqualität und -sicherheit verschlechtern. Mit Ablauf der ersten Regulierungsperiode sollte die Wirkungsweise der Anreizregulierung für die Netzbetreiber berechenbarer werden, und es sollte auch deutlich werden, ob ausreichend Anreize für Investitionen in die Stromnetze gegeben werden.



4



5

Bild 4 Kraftwerkskapazität und Stromerzeugung der gesamten Elektrizitätswirtschaft in 2008
Quelle: bdew, Berlin, 2008

Bild 5 In der Zukunft wird ein stetiges Wachstum von Onshore- und Offshore-Windenergieanlagen in Deutschland erwartet.
Quelle: dena, Szenario, 2005

- **Erzeugung aus EEG- und KWK-Anlagen**
Die gesetzliche Förderung durch das EEG und das KWKG treibt den Ausbau von regenerativen und dezentralen Energieerzeugungseinheiten weiter voran. Hierbei ist ein starker Zubau von Offshore-WEA sowie ein Repowering von vorhandenen Onshore-WEA, insbesondere in den windstarken Küstenregionen zu erwarten (Bild 5). Daneben werden aber auch vermehrt PV-Anlagen und Biomassekraftwerke gebaut werden (Bild 6).
- **Strommarkt und Stromhandel**
Die Auslastung der Übertragungsnetze wird mittlerweile massiv durch den europäischen Strommarkt und der durch den Stromhandel bedingten, sich stündlich ändernden Energietransporte quer durch Europa (Transite), beeinflusst. Dieser Handel soll mit dem politischen Ziel eines einheitlichen europäischen Strommarkts weiter intensiviert werden. (Bild 7)

2. In den Übertragungsnetzen werden sich verstärkt volatile Lastflüsse in Abhängigkeit von den großen Windstromeinspeisungen in Norddeutschland und den Nachbarregionen (DK, NL, PL, etc.) und vom Preisgeschehen im europäischen Strommarkt zeigen. Durch die Verlagerung der Erzeugungsschwerpunkte, insbesondere in den Norden Deutschlands, werden großräumige Leistungstransporte in die Lastschwerpunkte im Süden – mit entsprechend hohen Übertragungsverlusten – notwendig. Für beide beschriebenen Effekte sind die Netze nicht ausgelegt, so dass mit der vermehrten Entstehung von Netzengpässen im Übertragungsnetz zu rechnen ist.

Auswirkungen auf die Stromnetze

Die beschriebenen Entwicklungstendenzen haben folgende Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit und die Übertragungs- und die Verteilungsnetze:

1. Die Anreizregulierung bewirkt einen hohen Kostendruck, der verbunden mit den beschriebenen unsicheren Entwicklungstendenzen und den langen Nutzungsdauern der Betriebsmittel – zum Beispiel Freileitungen
3. In den Verteilungsnetzen wird es aufgrund der Variabilität der regenerativen Einspeisungen aus Wind und Sonne ebenfalls zu volatilen Lastflüssen kommen. Insbesondere in windstarken Netzgebieten wird die Windenergie zeitweise den lokalen Verbrauch vollständig decken. Es kommt dann vermehrt zu Rückspeisungen aus den MS- in die HS-Netze, die so groß werden, dass sie die Leitungen in umgekehrter Richtung zur normalen Versorgungsrichtung

tung vollständig auslasten. Es entstehen Netzengpässe, die zur Wahrung der Netzsicherheit beispielsweise durch ein Abregeln der WEA behoben werden müssen (Erzeugungsmanagement [4]).

Die NS- und MS-Netze sind für die zunehmenden Einspeisungen aus EEG- und KWK-Anlagen nicht ausgelegt. Die Spannungen an den Einspeiseknoten steigen an und verletzen insbesondere in ausgedehnten ländlichen Netzen die zulässigen Spannungsbänder. Darüber hinaus entstehen durch die wechselnden Lastflussrichtungen Spannungsschwankungen, die durch die Transformatoren nicht ausgeglichen werden können. Die Spannungsqualität wird beeinträchtigt.

Lösungsansätze

Die Lösungsansätze zur Beherrschung der beschriebenen Herausforderungen umfassen erweiterte Anforderungen an die Betriebsführung und an den Aufbau und die Planung der Stromnetze.

1. Bei den Übertragungsnetzen steht an erster Stelle der Netzausbau zur Behebung der vorhandenen und zu erwartenden Netzengpässe, insbesondere auf den Haupttransportkanälen. Hier kann der Aufbau eines Overlay-Netzes zur direkten Verknüpfung von Erzeugungs- und Lastschwerpunkten eine interessante Alternative bieten. Ein solches Netz kann zum einen auf Basis der bewährten Freileitungs-Drehstromtechnik oder aber auf Basis der Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) ausgeführt werden (Bild 8). Letztere benötigt zusätzliche Konverterstationen, die die vorhandenen Drehstrom- in Gleichstromsysteme umformen. Alternativ stünden auch Gasisolierte

Leitungen (GIL) zur Verfügung, die bei geringen Verlusten große Leistungen über große Entfernungen transportieren können.

Auch die Energieübertragung mit hochtemperatursupraleitenden (HTS-) Kabeln verzeichnet Fortschritte. Neben zahlreichen Mittelspannungsprojekten gibt es jetzt auch erste Erfahrungen auf der Hochspannungsebene. Daneben wird zur Vermeidung von Netzengpässen der vermehrte Einsatz von Betriebsmitteln notwendig, die den Leistungsfluss aktiv steuern können.

Durch die Verdrängung der thermischen Kraftwerke durch EEG- und KWK-Anlagen entfallen Kraftwerke, die in der Lage sind Systemdienstleistungen zu erbringen [5]. Um die Systemsicherheit auch zukünftig gewährleisten zu können, müssen die systemnotwendigen Eigenschaften von EEG- und KWK-Anlagen eingefordert werden.

Die Netzführung der Übertragungsnetze wird auf eine stärkere Ausnutzung von betrieblichen Reserven angewiesen sein und verstärkt Verfahren zum Engpassmanagement einsetzen. Diese Eingriffe in den internationalen Stromhandel erfolgen durch Auktionierung der verfügbaren Übertragungskapazitäten oder durch kurative Eingriffe in den Kraftwerkspark (Redispatch [5]) und die Handelsgeschäfte (Countertrading [5]).

2. In den Verteilungsnetzen wird der Einsatz dezentraler Energiemanagementsysteme (DEMS) zukünftig eine große Bedeutung erlangen. Sie koordinieren den Energieeinsatz der dezentralen Erzeugungsanlagen mit dem Energieverbrauch der Verbraucher und steuern deren Energieeinspeisung beziehungsweise -abnahme. Dabei wird auch der Wärmebedarf der Verbraucher

berücksichtigt, um den Einsatz der dezentralen BHKW hinsichtlich ihres Wirkungsgrads zu optimieren.

Auch der Einsatz von Energiespeichern zum Ausgleich von Abnahme- und Erzeugungsspitzen und der Variabilität der regenerativen Einspeisungen wird immer stärker in den Fokus treten, wobei insbesondere die Elektro-Mobilität und die damit verfügbare Batteriespeicherkapazität interessante Ansätze bieten wird.

Die Umsetzung eines DEMS erfordert eine Regelung zur Überwachung des Netzzustands und der Leistungsbilanz. Ferner müssen Maßnahmen zur Koordinierung der Speicher und des Energieeinsatzes der Erzeuger mit dem Wärme- und Strombedarf der Verbraucher getroffen wer-

Anreizregulierung

Seit Januar 2009 regelt die **Anreizregulierung** die Netzentgelte für Strom und Gas. Sie soll zu mehr Wettbewerb und zu sinkenden Netzentgelten für Verbraucher führen.

Die Netzbetreiber werden mit dem jeweils effizientesten Netzbetreiber verglichen. Hierdurch werden Obergrenzen für ihre Netzentgelte festgelegt und damit Anreize für kosten-senkende Maßnahmen gegeben, die langfristig zur Beseitigung der Ineffizienz und zu kostenoptimalen Netzen führen sollen.



den. Hierzu ist neben dem Strom- ein Kommunikationsnetz erforderlich, das den Informationsaustausch zwischen den Erzeugern, Verbrauchern und Speichern ermöglicht. In Kombination mit dem smart metering (Einsatz intelligenter, elektrischer Stromzähler), das bereits in verschiedenen Pilotprojekten erprobt wird, zu sogenannten smart grids (intelligente Stromnetze, die über bidirektionale Datenkommunikation ein Lastmanagement ermöglichen), kann auch die Verknüpfung der Verbraucher mit dem Strommarkt weitere

Bild 6
Prognose der installierten Bruttoleistung regenerativer Energien bis ins Jahr 2020, exklusive Windenergie
Quelle: dena, Szenario »Naturschutz Plus 1« in: DLR/IFEU/WI, 2004



Prof. Dr.-Ing. habil. Lutz Hofmann

Jahrgang 1968, vertritt seit Oktober 2007 das Fachgebiet Elektrische Energieversorgung und ist geschäftsführender Direktor des Instituts für Energieversorgung und Hochspannungstechnik an der Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungsschwerpunkte bewegen sich in den Bereichen Betriebsmittelmodellierung und Computersimulation des stationären und nichtstationären Verhaltens von Energiesystemen; Netzintegration dezentraler und regenerativer Erzeugungsanlagen, insbesondere von Offshore-Windparks; Energiemanagementsysteme, Spannungsqualität. Kontakt: hofmann@iee.uni-hannover.de

interessante Optionen ermöglichen.

Zusammenfassung

Die Stromnetze besitzen eine Schlüsselfunktion für die Sicherung unserer zukünftigen elektrischen Energieversorgung, den weiteren Ausbau der EE und die Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung. Deshalb ist der koordinierte Ausbau von EEG- und KWK-Anlagen und der Stromnetze unumgänglich. Im Hinblick auf das immer komplexer werdende Elektrosystem (EES) ist das

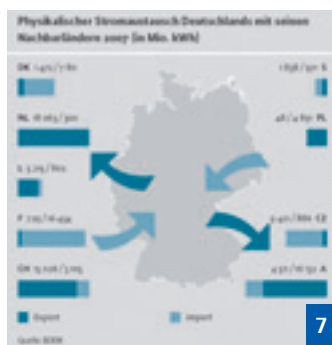


Bild 7
Stromverbrauch und Stromaus-tausch der Länder in 2007 im europäischen Stromverbund
Quelle, bdew, Berlin, 2007

Bild 8a
Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungssystem HVDC-Plus auf Basis selbstgeführter Voltage-Sourced-Converter-Technik (VSC).
Quelle: Siemens



Bild 8b
Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ, engl. HDVC): Prinzipschaltbild selbstgeführte HGÜ (oben) und Konverter klassische HGÜ, 3100 Megawatt
Quelle: Siemens

Systemdienstleistungen

Dienstleistungen, die Netzbetreiber für die Kunden zusätzlich zur Übertragung und Verteilung elektrischer Energie erbringen und damit die Qualität der Stromversorgung bestimmen [5]:

- Frequenzhaltung
- Spannungshaltung
- Versorgungswiederaufbau
- Betriebsführung

Redispatch und Countertrading

Unter **Redispatch** versteht man die präventive oder kurative Beeinflussung von Erzeugerleistung durch den Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB), mit dem Ziel, kurzfristig auftretende Engpässe zu vermeiden oder zu beseitigen.

Unter **Countertrading** versteht man präventive oder kurative, vom ÜNB veranlasste gegenläufige Handelsgeschäfte, mit dem Ziel, kurzfristig auftretende Engpässe zu vermeiden oder zu beseitigen.

Verständnis der Abläufe im EES und seines Systemverhaltens eine Voraussetzung für die Bewältigung der auf die Stromnetze zukommenden Herausforderungen.

Die universitäre Forschung kann helfen, vorrangige Fragestellungen zu beantworten und wichtige Unterstützung bei der Erarbeitung von Grundlagenwissen sowie der Entwicklung von neuen Planungswerkzeugen, Methoden und Verfahren geben.

Literatur

- [1] Nitsch, J.: Leitstudie 2007 Ausbaustrategie Erneuerbare Energien. BMU, 2007.
- [2] BDEW: Pressemitteilung vom 5.12.2008.
- [3] BDEW: Pressemitteilung vom 19.2.2008.
- [4] Verband der Netzbetreiber VDN e.V. beim VDEW: Erzeugungsmanagement zur Umsetzung des § 4 Abs. 3 EEG. Berlin, Februar 2006.
- [5] Verband der Netzbetreiber VDN e.V. beim VDEW: TransmissionCode 2007. Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber. Berlin, 2007.

