

Konzeptlose Nutzung wenig sinnvoll

## Sind wir bei der Nutzung erneuerbarer Energiequellen auf dem richtigen Weg?

Nachhaltigkeit der Energieversorgung durch Nutzung erneuerbarer Quellen ist ein langfristiges politisches Ziel [1], um die begrenzten fossilen Ressourcen zu schonen und schädliche Emissionen und Rückstände zu vermeiden. Von den jetzt oder künftig erschließbaren Energiequellen – Wasser, Sonne, Wind, Biomasse, Wellen, Gezeiten, Geothermie und Kernfusion – hält man in Europa derzeit Windenergie für am ehesten geeignet, im Laufe der nächsten Jahrzehnte einen nennenswerten Beitrag zur elektrischen Energieversorgung zu leisten; die Elektrizitätserzeugung aus Wind ist Stand der Technik und die Einspeisung der Windleistung in das elektrische Netz wird als lösbar angesehen. Der Verfasser diskutiert, ob das im Rahmen des EEG in Deutschland praktizierte Verfahren, subventionierte Wind- und Solarleistung prioritär in das elektrische Netz einzuspeisen, zielführend ist und langfristig die Aussicht bietet, von fossilen und nuklearen Energiequellen unabhängiger zu werden. Strategien zur chemischen Speicherung des aus natürlichen Quellen erzeugten Stroms wären dem technischen Stand eines Industrielandes eher angemessen und würden zu einer echten Entkopplung vom schwankenden Energieangebot und Netzbedarf führen.

**D**ie in ein elektrisches Drehstromnetz eingespeiste Leistung muss der durch Wirtschaftsabläufe und die Lebensgewohnheiten der Verbraucher bestimmten Last entsprechen, andernfalls ändern sich die Lastflüsse im Netz und die Frequenz. Die Steuerung der Erzeugerleistung geschieht dabei über die Kraftwerksgeneratoren anhand der zugeführten primären Energieträger.

Bei manchen natürlichen Energiequellen werden keine Vorräte gebildet, vielmehr wird elektrische Leistung aus dem momentanen, zeitlich schwankenden und nicht steuerbaren Angebot (Windgeschwindigkeit, solare Strahlungsintensität, Fluss-Wasserführung) gewonnen. Die elektrische Leistung ist dann nicht jederzeit verfügbar; bei ungenügendem Angebot wird der Bedarf nicht gedeckt, bei Überschuss bleibt Primärenergie ungenutzt.

Zum Ausgleich dieser natürlichen Fluktuationen ist Energiespeiche-

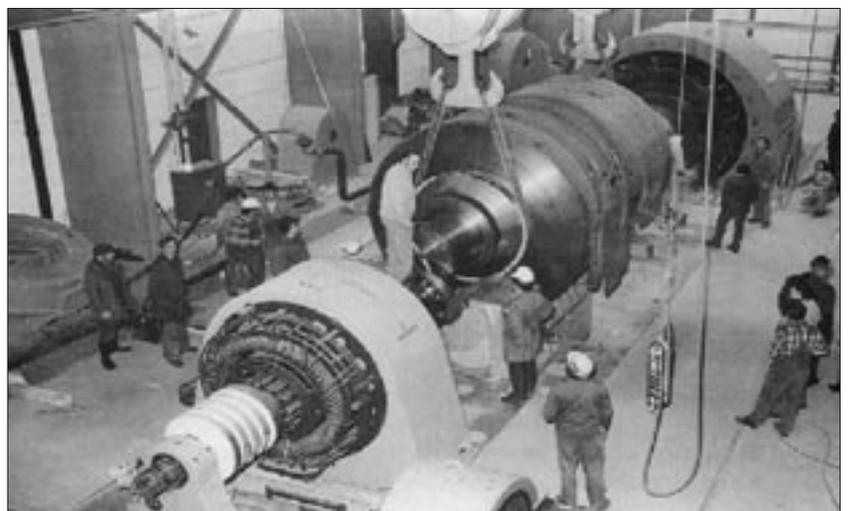
rung, meistens in Form der primären Energieträger, notwendig, um daraus bedarfsabhängig Regelleistung bereitzustellen; neben Pumpspeichern kommen auch andere physikalische Prinzipien in Frage:

- elektrostatisch mit Kondensatoren (SES),
- magnetisch mit supraleitenden Spulen (SMES),
- chemisch, z. B. mit Batterien oder Wasserstoff,
- mechanisch mit Schwungrad,
- Druckluft in unterirdischen Speicherkavernen (CAES).

Manche dieser Verfahren sind jedoch noch im Entwicklungsstadium oder eignen sich nicht für die in der Energieversorgung notwendigen großen Leistungen. Sie können aber als lokale Speicher bei pulsierenden Lasten dienen, etwa Stadtbahnen, Industrienetzen oder Forschungseinrichtungen. *Bild 1* zeigt als Beispiel einen rotierenden Speicher für eine Fusions-Großforschungsanlage.

Stand der elektrischen Nutzung erneuerbarer Energiequellen

Anhand des heutigen technischen Standes ist zunächst abzuschätzen, was ein langfristiges Entwicklungsziel sein könnte und ob eine nachhaltige elektrische Energieversorgung ohne fossile oder nukleare Brennstoffe denkbar ist. Die in Deutschland aus primärer Wasserkraft erzeugte elektrische Energie ist nicht mehr nennenswert ausbaubar, sie beträgt weniger als 20 TWh/a, entsprechend 4 % der in öffentliche Netze eingespeisten Energie.



*Bild 1. Schwungradspeicher für eine Fusions-Großforschungsanlage, 150 MW, 400 kWh*

Quelle: Siemens

Dagegen erlebt die Erzeugung elektrischer Energie aus Wind durch Förderungsanreize einen gewaltigen Aufschwung; gegenwärtig sind in Europa rd. 36 GW an Erzeugerleistung installiert, davon über 16 GW in Deutschland, was ebenfalls rd. 20 TWh/a ergibt [3]. Bild 2 zeigt als Beispiel die Netzlast und die während einer Woche ins deutsche Netz mit seiner Jahres-Höchstlast von rd. 80 GW eingespeiste Leistung aus Windenergieanlagen (WEA).

Die von meteorologischen und atmosphärischen Bedingungen abhängige und mit tausenden von Rotoren erzeugte elektrische Leistung hat offensichtlich einen völlig anderen Verlauf als die dem Netz von Millionen Verbrauchern entnommene elektrische Last. Während diese mit Lastmodellen gut prognostizierbar ist, zeigt der Wind statistische und nur durch die weiträumige Verteilung geglättete Schwankungen; beispielsweise betrug die mittlere Leistung in einer Flautewoche im Sommer 2003 bei einer installierten Leistung von 13,5 GW weniger als 1 GW (Bild 3) – und bei Sturmabschaltungen können plötzlich mehrere GW an Leistung aus WEA fehlen.

Auf einer derart unsicheren Energiequelle lässt sich nur mit Speichern eine verlässliche Energieversorgung aufbauen.

Da windreiche Standorte rar werden und bei der Bevölkerung der Widerstand gegen Windparks in der Nachbarschaft zunimmt, richtet sich jetzt das Interesse vor allem auf die See, wo die Anlagen außer Sichtweite wären und der Wind stetiger und stärker weht. Erste Offshore-Windparks wurden in Schweden und Dänemark gebaut, allerdings in Küstennähe und flachem Wasser.

In Deutschland sind wegen des Naturschutzes und der internationalen Seegrenzen nur küstenfernere Standorte mit Wassertiefen bis 40 m möglich – auch die Anordnung auf Pontons wird diskutiert [2]. Versuchsanlagen bis 5 MW sind an Land oder küstennahen Standorten mit Nachdruck in der Erprobung [4;5]. Falls solche Anlagen auch auf hoher See errichtet und bei Sturm und Wetter mit noch vertretbarem Aufwand dauerhaft in Betrieb gehalten werden können, versprechen sie in der Tat eine fast unerschöpfliche Energiequelle. Man hofft, in 30 Jahren bei entspre-

## Netzlast

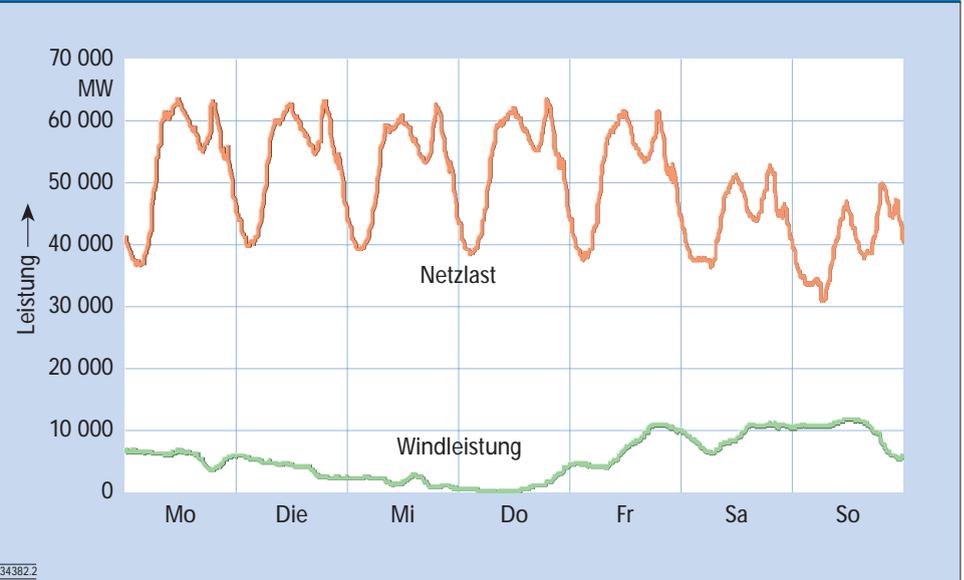


Bild 2. Netzlast und Leistung aus WEA im deutschen Verbundnetz während der Woche ab 15.3.2004

chender Förderung WEA mit einer Gesamtleistung bis 30 GW in der Nord- und Ostsee errichten zu können.

Als ultimative Form unerschöpflicher elektrischer Energiequellen gelten photovoltaische Wandler, um Elektrizität ohne Umweg über die Mechanik unmittelbar aus Solarenergie zu gewinnen (Bild 4). Allerdings ist wegen des niedrigen Wirkungsgrades und der in unseren Breiten ungenügenden Sonneneinstrahlung die Ausbeute gering. Die Kosten sind hoch, und auch für die Herstellung der Solarzellen wird viel Energie verbraucht, doch gibt es dank einer lukrativen Förderung (bis 0,5 €/kWh) nennenswerte Zuwachsraten. Die installierte Leis-

tung in Deutschland beträgt gegenwärtig rd. 0,3 GW.

Wegen der Abhängigkeit von der solaren Einstrahlung ist die Leistung von der Tageszeit und Witterung abhängig, und Wolken verursachen schnellere Schwankungen als bei Wind, was durch lokale elektrische Speicher ausgeglichen werden muss. Die ins Netz eingespeiste Leistung liegt heute noch in der »Strichstärke« der Leistung aus WEA.

Die Gewinnung elektrischer Leistung aus Biomasse ist sehr vielfältig, sowohl hinsichtlich der eingesetzten Primärstoffe, z. B. Abfallholz, Energiepflanzen, Haushalts- und Industrieabfälle, Klär- und Deponiegas, als auch nach ihrer Ver-

## Einspeisung

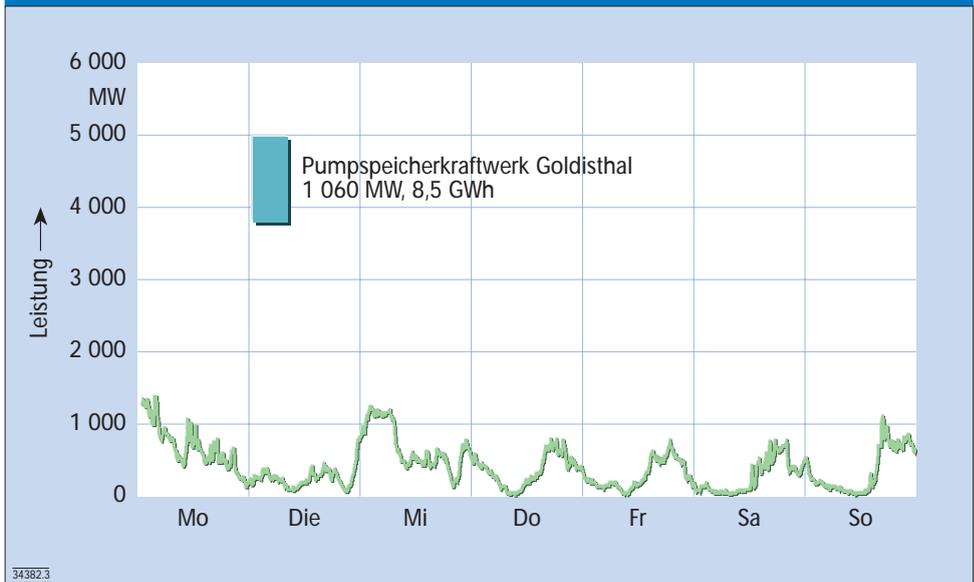


Bild 3. Während einer windstillen Woche (ab 28.7.2003) in das deutsche Netz eingespeiste Leistung aus WEA, bei installierter WEA-Leistung von rd. 13 500 MW

Quelle: Iset

wertung, z. B. Verbrennung, chemische Umwandlung, Gärung, bakterielle Zersetzung. Und es gibt Alternativen der energetischen Nutzung, etwa für Biodiesel oder Alkohol zur Treibstoffbeimischung; in den meist kleineren Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird außer Strom i. d. R. auch Wärme erzeugt, was eine hohe Ausnutzung ermöglicht.

Ein wichtiger Unterschied zur Wind- und Solarenergie ist, dass bei Biomasse durch Vorratbildung eine gewisse Freizügigkeit der Steuerung im täglichen Rhythmus besteht, so dass die elektrische Leistung zur variablen Grunderzeugung beitragen könnte. Der Biomasse-Anteil liegt gegenwärtig nur bei 1%, doch steigt er schnell. Gemäß einem Bericht der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe [13] könnte das Potenzial der gesamten in Deutschland anfallenden Biomasse bei ausschließlich elektrischer Nutzung in der Zukunft bis 220 TWh/a betragen.

Die Gewinnung elektrischer Energie aus Erdwärme ist eine Option, deren Entwicklung sich in Deutschland in den Anfängen befindet und die wegen der hohen Kosten und des Risikos bei Tiefbohrungen auf absehbare Zeit keinen nennenswerten Beitrag zur Stromversorgung erwarten lässt. Selbst in geologisch aktiven Zonen wie auf der schwäbischen Alb war eine Bohrung erst bei 4 100 m fündig, eine zweite Bohrung wurde aus technischen Gründen bei 2 700 m abgebrochen und bei der Forschungszwecken dienenden kontinentalen

Tiefbohrung in der Oberpfalz wurde erst bei 9 000 m ein Temperaturniveau von 300 °C erreicht. Das einzige in Deutschland arbeitende Geothermie-Kraftwerk liefert 100 °C heißes Wasser aus 2 450 m Tiefe und erzeugt 210 kW. Die manchmal vertretene Ansicht, eines Tages könne ein Großteil der benötigten Energie wie in Island aus Erdwärme gewonnen werden, wird wohl eine Illusion bleiben.

Ob die Kernfusion zu den nachhaltigen Technologien gezählt werden kann, muss sich noch erweisen. Abgesehen von den bestehenden Unsicherheiten (die Zielperspektive von 50 Jahren ist seit langem unverändert) und den viel größeren technologischen Schwierigkeiten als bei der Kernspaltung ist zu bedenken, dass auch bei einem Fusionsreaktor radioaktiver Abfall entsteht. Die Abfallmengen sind allerdings viel geringere und weniger langlebig, doch könnten sich die Vorbehalte gegen die Kerntechnik eines Tages auch gegen Fusionskraftwerke wenden.

Als Hoffnungsträger für eine künftige nachhaltige Energieversorgung verbleiben somit, abgesehen von der stets möglichen Energieeinsparung, auf absehbare Zeit nur das Windenergiepotenzial auf See, Biomasse und primäre Wasserkraft.

#### Regelleistung

Bei einer Nutzung der Windenergie auf See kommen zum nicht mit dem Bedarf korrelierten Verlauf der Windleistung die Probleme der Netzeinspeisung [6 bis 11]. Ist die

Leistung nach Zusammenführung aus benachbarten Windfarmen schließlich mit Drehstrom- oder Gleichstromkabeln an Land gebracht, ist die Aufgabe ja erst teilweise gelöst. Da die Übertragungsnetze in küstennahen Gebieten sich nicht für die Einspeisung großer und schwankender Leistungsblöcke eignen, müssen diese mit neu zu errichtenden Drehstrom- oder Gleichstromverbindungen zu entfernten Ballungszentren übertragen werden, was technisch zwar möglich ist, aber lange Verzögerungen bei der Genehmigung erwarten lässt.

Um das Netz stets in einem ausgeglichenen Zustand stabil zu betreiben, ist Regelleistung  $P_{\text{Reg}}$  erforderlich, die, wie in *Bild 5* anhand einer Frequenzregelung angedeutet, aus der Leistungsbilanz zu ermitteln ist. Eingangsgrößen sind die Netzlast  $P_L$ , die aus einer Lastprognose bestimmte und überwiegend von thermischen Kraftwerken gelieferte Grunderzeugung  $P_G$  und die Leistung aus Wind- bzw. Solaranlagen  $P_W$  mit einem noch zu bestimmenden Maßstabsfaktor  $a > 1$ .

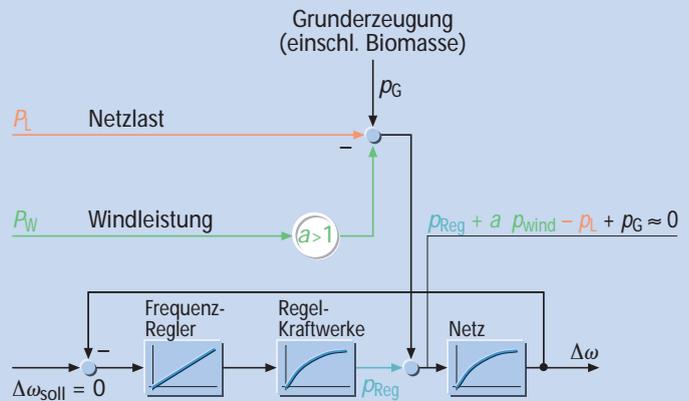
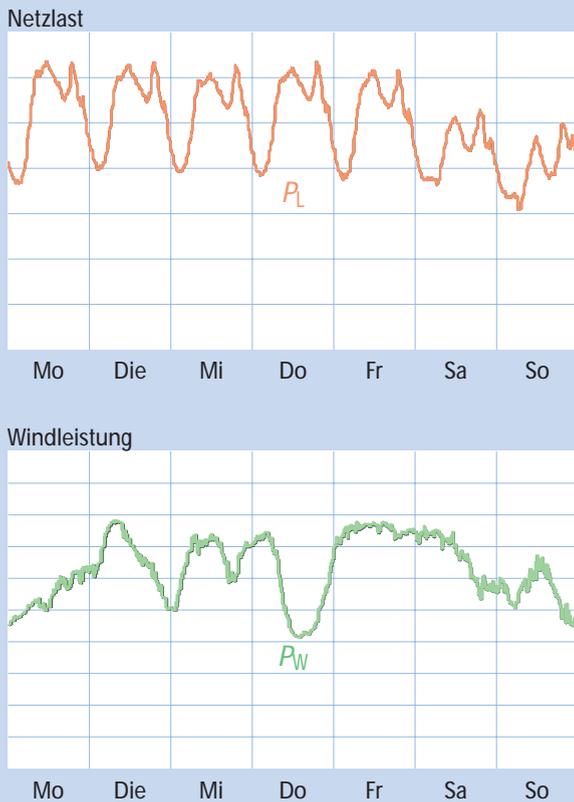
Die als Störgrößen wirkende Abweichung der Grunderzeugung von der tatsächlichen Netzlast und die nur ungenau prognostizierbare Leistung aus Wind- bzw. Solaranlagen  $P_W$  müssen mit der Regelleistung als Stellgröße ausgeglichen werden. Hierzu dienen schnell reagierende Kraftwerke, vorzugsweise Wasser- oder Gas-Kraftwerke. Aber auch Kohle- und Kernkraftwerke, die eigentlich Grundlast erzeugen sollten, werden zur Regelung eingesetzt.

Liegt die momentane Leistung aus WEA unterhalb des prognostizierten Wertes, ist die Einspeisung durch die Regelkraftwerke zu erhöhen und bei vollständiger Windstille müssen die Grundlast- und Regelkraftwerke die gesamte Netzlast decken; wie die Erfahrung des Sommers 2003 lehrt, können solche Flauten Tage und Wochen dauern.

Ist der Wind stärker oder die Netzlast niedriger als vorhergesagt, müssen Regelkraftwerke, die nur positive Leistung liefern können, wegen der vom EEG dem Wind eingeräumten Priorität gedrosselt oder abgeschaltet werden; bei Teillast reduziert sich ihr Wirkungsgrad, was bei thermischen Kraftwerken den spezifischen Brennstoffverbrauch und die Emissionen erhöht und ei-



Bild 4. Solargenerator München 1 MW, 1 000 MWh/a – die Kurve zeigt den Leistungsverlauf am Tag der Sonnenfinsternis 11.8.1999



34382.5

Bild 5. Schema einer Netzregelung zur Bestimmung der Regelleistung,  $\Delta\omega = 0$

nen Teil des erhofften Umweltvorteils zunichte macht [9].

Sind jedoch speicherfähige Regelkraftwerke, die auch Leistung aufnehmen können, verfügbar, so lässt sich überschüssige Leistung aus WEA konservieren, um sie, abzüglich unvermeidlicher Verluste, später dem Netz wieder zuzuführen. Dies kann mit Pumpspeicher- oder Druckspeicherkraftwerken geschehen, doch sind deren Leistungen und Speicherkapazitäten für einen Ausgleich der schon heute verfügbaren Leistung aus WEA viel zu klein.

Im Folgenden wird grob geschätzt, ob es überhaupt sinnvoll ist, im Lauf der nächsten Jahrzehnte das Ziel einer nachhaltigen Energieversorgung ohne fossile Brennstoffe und Kernenergie anzustreben [10].

Die gesamte den öffentlichen Netzen entnommene elektrische Energie von rd. 520 TWh/a wird dabei als unverändert angenommen. Nach Abzug des Biomaspotenzials (220 TWh/a) und der primären Wasserkraft (20 TWh/a) verbleiben rd. 280 TWh/a, die durch Leistung aus WEA vorwiegend aus Offshore-Anlagen zu decken wären, entsprechend rd. dem ( $a = 14$ )-fachen der heutigen Leistung aus WEA. Die erforderliche Regelleistung wäre aus-

schließlich von Pumpspeicherkraftwerken zu liefern, die aus ihren Speicherbecken das Netz bei Flaute speisen. Praktisch ist dies aber ausgeschlossen, da die vom deutschen Netz während einer ein-

zigen windstillen Woche benötigte mittlere Energie von  $280/52 \text{ TWh} = 5,4 \text{ TWh}$  der über 600-fachen Kapazität des im Jahr 2003 in Betrieb genommenen Pumpspeicherkraftwerks Goldisthal entspricht (Bild 6).



Bild 6. Pumpspeicherkraftwerk Goldisthal, 1 060 MW, 8,5 GWh

Wegen der fehlenden Topographie, der Umweltzerstörung, der nötigen Hochspannungsleitungen und der Kosten muss dieser Gedanke eine Utopie bleiben. Wärmekraftwerke sind deshalb auch in Zukunft notwendig, seien sie fossil oder nuklear, und es geht nur um die Frage, wie damit die Regelleistung in umweltverträglicher Weise bereitgestellt werden kann. Gas- und Dampf-Kraftwerke (GuD) mit ihrem hohen Wirkungsgrad [14] gelten als Favoriten, wenngleich sie die Importabhängigkeit und die Gefahr von Lieferengpässen und steigenden Kosten erhöhen.

Eine die Landschaft weniger als Pumpspeicher beeinträchtigende Form der Energiespeicherung im GWh-Maßstab sind Gasturbinen-Kraftwerke mit Druckluft-Speicher (compressed air energy storage, CAES), die aber heute ebenfalls noch fossile Zusatzenergie erfordern [15]. Gasturbinen-Kraftwerke haben einen Verbrennungsluftverdichter, der bis zu zwei Drittel der Turbinenleistung aufnimmt, während die restliche Leistung zum Generator fließt. Wird der Verdichter von der Turbinenwelle getrennt und mit von WEA gespeisten Motoren angetrieben, so lässt sich die komprimierte Verbrennungsluft in großen unterirdischen Kavernen speichern.

Bei Bedarf kann dann die verdichterlose Gasturbine den Generator mit voller Leistung antreiben. Speicherkavernen können durch Aussohlung in unterirdischen Salzstöcken, Aquifer-Strukturen oder in stillgelegten und abgedichteten Bergwerken geschaffen werden. Geeignete geologische Formationen sind in Norddeutschland und unter der Nordsee vorhanden und dienen der saisonalen Öl- und Gasspeicherung.

Vorbild aller CAES-Projekte ist das 290-MW-Speicherkraftwerk Huntorf bei Oldenburg, das seit den 1980er Jahren als schnell steuerbares Spitzenlastkraftwerk dient. Verdichter und Turbine können dort mit Kupplungen von der Generatorwelle getrennt werden. Dabei wirkt der Generator entweder als Verdichterantrieb wie bei einem Pumpspeicher, oder er dient mit der aus Erdgas und der (gespeicherter) Druckluft gespeisten Gasturbine zur Spitzenlastdeckung im Netz. Die Daten des

Kraftwerks Huntorf sind: 12 h Generatorbetrieb mit 290 MW und 8 h Kompressorbetrieb mit 60 MW bei einem Speichervolumen zweier Kavernen von 0,3 Mio. m<sup>3</sup>; der Speicherdruck beträgt 40 bis 80 bar, eine dritte Kaverne dient als Erdgasspeicher.

Kavernen in Salzdomen sind bei diesen Drücken dicht, doch muss die Temperatur im Interesse der Festigkeit auf rd. 40 °C begrenzt werden. Die komprimierte Luft ist also vor der Einspeicherung zu kühlen und vor der Einleitung in die Brennkammer zu erwärmen, was zusätzliche Energieverluste bedeutet.

Bei einem für den Ausgleich schwankender Leistung aus Offshore-WEA weiterentwickelten CAES-Speicherkonzept würde der Verdichter von der Generatorwelle konstruktiv getrennt und mit Leistung aus WEA-gespeisten Stromrichter-motoren angetrieben. Ein- und Ausspeicherung wären dann unabhängig und gleichzeitig möglich: Die Windenergie-Nutzung hinge nicht mehr von der Netzlast ab, und auch bei Windstille könnte Leistung ins Netz geliefert werden. Das Kraftwerk wäre also reversibel, außerdem, solange der Druck im Speicher ausreichend ist, schwarzstartfähig und schnell belastbar. Von der EU geförderte Forschungsarbeiten sind im Gange, um den Wirkungsgrad durch Rückgewinnung der Kompressionswärme zu verbessern und womöglich ganz auf Erdgas verzichten zu können [19].

Die volumenbezogene Energiedichte eines CAES-Speichers ist deutlich größer als die eines Pumpspeichers im Mittelgebirge. Wegen des separaten Verdichters und der Kaverne sind aber auch die Kosten höher als bei herkömmlichen Gasturbinenkraftwerken, sie dürften eher mit denen von Pumpspeicherkraftwerken vergleichbar sein.

CAES-Speicherkraftwerke könnten auf dem Festland oder im Meer in der Nähe von Windfarmen und Salzstöcken auf Plattformen errichtet werden. Ein schrittweiser Ausbau der Verdichter-, Turbogenerator-, und Speicherkapazität sowie der die Energie abführenden Leitungen wäre möglich, auch bliebe ein großer Teil der Anlage dem Betreiber verborgen.

Die Dena-Studie [18] behandelt die Fragen, welcher Windkraftausbau technisch, sowie umwelt- und

kostenmäßig praktikabel ist und welche Auswirkungen dies für die Erweiterung des deutschen Hochspannungsnetzes hat. Aus der angekündigten Fortsetzung wird man dann auch die möglichen Einsparungen an fossilem Brennstoff und Emissionen kennen und wissen, welche zusätzlichen Kosten bei den verschiedenen Energieszenarien mit und ohne Kernkraft zu erwarten sind. In die Bewertung sollte auch eingehen, ob in absehbarer Zeit mit Fortschritten in der CO<sub>2</sub>-Abscheidung bei Kohlekraftwerken zu rechnen ist und was dies an Kosten und zusätzlichem Brennstoffverbrauch bedeutet.

Im März 2005 hat der VDE eine von Fachvertretern aus der Industrie, Versorgungsunternehmen und der Forschung erarbeitete Denkschrift veröffentlicht [16], in der einige Optionen zur künftigen Energieversorgung bis zum Jahr 2020 vorgestellt werden, einschließlich der zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Kosten. Dabei handelt es sich um alternative Szenarien, die auf fachlicher wie politischer Ebene zu diskutieren sind; sie liefern fundierte Zahlen, wenn man bei fast gleichen Emissionen auf die nukleare Energietechnik um jeden Preis verzichten will oder die Kyoto-Ziele verschärft werden.

### Nicht-elektrische Energiespeicherung

Während alle bisher beschriebenen Verfahren zur Speicherung großer Energiemengen netzgekoppelt arbeiten und heute verfügbare Technik nutzen, sind langfristig auch andere Speicherverfahren denkbar. Dies sind Verfahren, wo aus fluktuierenden Quellen (Offshore-Wind oder Solar) lager- und transportfähige Sekundärenergieträger in Form von Wasserstoff gewonnen werden, um später daraus mit ortsfesten oder mobilen Brennstoffzellen bedarfsgerecht Elektrizität und Wärme zu erzeugen [17]. Die primäre Energiegewinnung aus natürlichen Quellen würde dadurch vom schwankenden Bedarf des Netzes abgekoppelt und ein wichtiges Hindernis für die Nutzung regenerativer Energiequellen beseitigt. Dies wäre eine zukunftsweisende Neuorientierung der Energietechnik, statt mit großem Aufwand einen Weg zu beschreiten, der sich energiepolitisch als Sackgasse erweisen

könnte. Gleichzeitig wäre dies dem wissenschaftlich-technischen Stand Deutschlands eher angemessener als ein Umbau des Übertragungsnetzes zur unbegrenzten speicherlosen Stromeinspeisung aus WEA.

Natürlich ist auch ein solcher Weg mit Kosten und Energieverlusten verbunden, doch ist die Elektrolýse-technik industriell erprobt, und es gibt Anlagen mit gutem Wirkungsgrad (>0,8), die leistungsmäßig weiterentwickelt werden könnten. Gemessen am verbreiteten Optimismus hinsichtlich der komplizierteren Brennstoffzellen sollte eine mit dem allmählichen Ausbau der primären Offshore-Elektrizitätserzeugung schritthaltende Entwicklung der Gewinnungs-, Lagerungs- und Transport-Technologie für Wasserstoff praktikabel sein.

Auf der kleinen norwegischen Insel Utsira hat Norsk Hydro im Jahr 2004 nach diesem Modell eine autonome Energieversorgung durch Wind mit Wasserstoffspeicherung als Pilotanlage in Betrieb genommen [21].

## Zusammenfassung

Beim heutigen Stand der Technik wäre eine nachhaltige elektrische Energieversorgung mit Offshore-WEA, Biomasse- und Pumpspeicherkraftwerken nur bei indiskutablen Ausbauebenen der Pumpspeicherleistungen und der zugehörigen Übertragungsleitungen möglich, und einem imaginären Ziel nachzujagen, koste es was es wolle, erscheint wenig sinnvoll.

Im Netz verteilte thermische Kraftwerke sind auch künftig unentbehrlich, darunter solche mit Energiespeicherung. Durch Verlängerung der Betriebszeit heutiger Kernkraftwerke, wie das auch in anderen Ländern diskutiert wird, und ihre Weiterentwicklung könnte möglicherweise die Zeit bis zur Verfügbarkeit der Fusionsenergie überbrücken.

Sofern das zweifellos vorhandene Potenzial an nicht steuerbarer Offshore-Windenergie tatsächlich im erhofften Umfang erschließbar ist, sollte man die schwankende Leistung aus WEA nicht ins Netz einspeisen, sondern in speicher- und transportfähige Sekundärenergieträger für Brennstoffzellen umwandeln [17]. Hierfür wird es bei ortsfesten wie mobilen Anwendungen

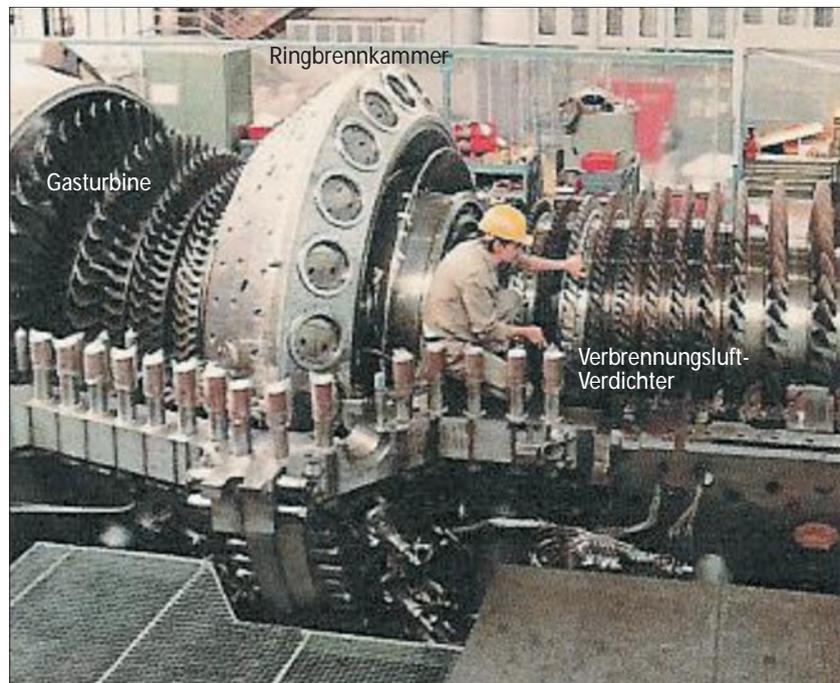


Bild 7. Gasturbine mit Ringbrennkammer

künftig weltweiten Bedarf geben. Die Entwicklung der Umwandlungs-, Transport- und Speichertechnologie gleichrangig mit der primären Offshore-Energiegewinnung voranzutreiben, wäre eine dem wissenschaftlichen Stand unseres Landes angemessenere Herausforderung, statt das elektrische Verbundsystem durch die Einspeisung immer größerer Mengen fluktuierender Leistung aus WEA zu gefährden.

Schließlich sei noch daran erinnert, dass der Bau von Kraftwerken und Übertragungsleitungen viel Zeit erfordert. Falls ein »Atomausstieg« stattfindet, ohne dass ausreichend Ersatzkapazität und verlässliche Primärenergie bereitsteht, würden wir von Stromimporten abhängig und die Versorgung wäre nicht mehr gesichert, wie das Beispiel Italiens im Jahr 2003 gezeigt hat.

## SCHRIFTTUM

- [1] European Communities: Towards a European strategy for the security of energy supply. Green Paper, 2001 ISBN 92-894-0319-5.
- [2] Durstewitz, M.; Hahn, B.; Hoppe-Kilpper, M.; Czisch, G.; Ensslin, C.; Rohrig, K.; Nath, C.; Köhne, V.: Offshore-Windenergienutzung in der AWZ – Potenziale, Netzintegration, Stromgestehungskosten. Windenergie Report Deutschland 2002.
- [3] Böhmer, T.: Nutzung erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung im Jahr 2002. ew Jg. 103 (2004), H. 10, S. 18 – 25.
- [4] Windblatt. Enercon Magazin 05, 2002.
- [5] www.repower5M.com.
- [6] Schwarz, J.; Staschus, K.: Systemverantwortung – Voraussetzung für eine sichere Stromversorgung. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 2003, H. 3, S. 446 – 450.
- [7] Luther, M.; Winter, W.: Erweiterte Anforderungen an Windenergieanlagen zur Aufrechterhaltung der Systemstabilität. Husum, Wind 2003.

- [8] Leonhard, W.: Netzeinspeisung aus regenerativen Quellen. ew Jg. 101 (2002), H. 4, S. 36 – 41.
- [9] Leonhard, W.; Müller, K.: Ausgleich von Windenergieschwankungen mit fossil befeuerten Kraftwerken – wo sind die Grenzen? ew Jg. 101 (2002), H. 21-22, S. 30 – 37.
- [10] Leonhard, W.; Grobe, M.: Nachhaltige elektrische Energieversorgung mit Windenergie, Biomasse und Pumpspeicher – realistisches Langzeitkonzept oder Utopie? ew Jg. 103 (2004), H. 5, S. 26 – 31.
- [11] Bouillon, H.: Auswirkungen des fluktuierenden Energieangebotes auf den Systembetrieb. VGB-Konferenz »Erneuerbare Energien/Dezentrale Erzeugung«, 2002, Salzburg.
- [12] Electricity Storage Association: Large scale electricity storage technologies. <http://www.electricitystorage.org/>.
- [13] Kaltschmitt, M.: Bioenergie, Technologien und Potenziale. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. <http://www.nachwachsende-rohstoffe.de>.
- [14] Siemens Power Journal: Gasturbinen, Kraftwerke mit Gasturbinen, April 1999.
- [15] Crotagino, F.: Druckluftspeicher-Gasturbinen-Kraftwerke: Ausgleich fluktuierender Stromproduktion. etz 2003, H. 5, S. 12 – 18.
- [16] Elektrische Energieversorgung im Jahr 2020 – Perspektiven und Handlungsbedarf. VDE Denkschrift, März 2005.
- [17] Höhle, B.: Wasserstoff und Brennstoffzellensysteme – Optionen für eine zukünftige Energiewirtschaft. ew Jg. 104 (2004), H. 10, S. 57 – 62.
- [18] Dena-Studie, Bericht Februar 2005.
- [19] Bullock, C. et al.: Advances adiabatic compressed air energy storage for the integration of wind energy. Proceedings of the European Wind Energy Conference, Ewec 2004, London.
- [20] Bullock, C.: AA-CAES, Integration of wind energy. Alstom 2002.
- [21] [http://www.h2foresight.info/NordicR+DActivities/NordicActivities\\_demonstrations\\_Norway\\_utsira.htm](http://www.h2foresight.info/NordicR+DActivities/NordicActivities_demonstrations_Norway_utsira.htm).

(34382)

w.leonhard@tu-bs.de

www.tu-braunschweig.de