

ETG Task Force Öffentlichkeitsarbeit in Politik und Medien

Beitrag zum Thema

Regenerative Energie und Speicher

Werner Leonhard, Technische Universität Braunschweig

[AKE2003H01a Leonhard REundSpeicher.pdf](#)

Nachhaltigkeit auch in der Energieversorgung, d.h. die überwiegende Speisung aus sich erneuernden Quellen, ist ein langfristiges politisches Ziel; die Gründe sind

- Begrenzte fossile Ressourcen und
- Reduktion umweltschädlicher Emissionen.

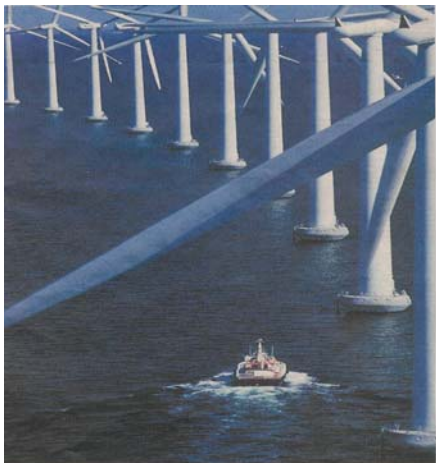
Von den verfügbaren sich erneuernden Energiequellen

Wasser, Sonne, Wind, Wellen, Biomasse, Gezeiten, Geothermik, Kernfusion

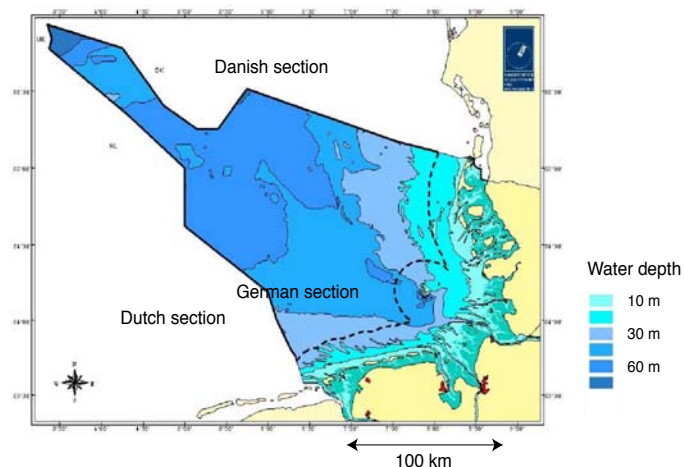
gilt Windenergie in Europa derzeit als am ehesten in der Lage, im Laufe der nächsten 20 Jahre einen nennenswerten Beitrag zur elektrischen Energieversorgung zu leisten; die vergleichsweise unkomplizierte Elektrizitätserzeugung aus Wind und ihre direkte Einspeisung in das elektrische Netz erleichtern ihre Nutzung.

Durch finanzielle Anreize und Subventionen wird die Gewinnung von Windenergie stark gefördert. Gegenwärtig sind in Europa etwa 20 GW an Erzeugerleistung installiert, davon 12 GW in Deutschland, was bei einer mittleren Betriebsdauer von 2 000 Vollaststunden/Jahr 24 TWh/a, d.h. fast 5 % der elektrischen Energieerzeugung bedeutet und etwa der aus Wasserkraft gewonnenen Energie entspricht.

Da geeignete Standorte rar werden und der Widerstand der Bevölkerung gegen weitere große Windfarmen wächst, richtet sich das Interesse gegenwärtig vor allem auf die See, wo der Wind stärker und stetiger weht und sog. off-shore Anlagen außer Sichtweite wären. Erste off-shore Windfarmen wurden in Schweden und Dänemark gebaut, allerdings noch in der Nähe der Küste und in flachem Wasser bis etwa 10 m Tiefe. Wegen der ungünstigen Zuordnung der internationalen Gewässer müßten für Deutschland küstenfernere Standorte gewählt



off-shore Windfarm in Dänemark



Internationale Gewässer in der Nordsee

werden, man diskutiert Wassertiefen bis zu 40 m. Große Versuchsanlagen werden z.Zt. mit Nachdruck entwickelt und an Land geprüft.



Vielpoliger Synchrongenerator
10 m Ø



4.5 MW Enercon E-112, Windrad für den off-shore Einsatz
Variable Drehzahl, getriebeles, Flügel individuell verstellbar, 112 m Rotor Durchmesser,
IGBT Spannungs-Zwischenkreis Umrichter, sinusförmiger Strom, geregelter Leistungsfaktor

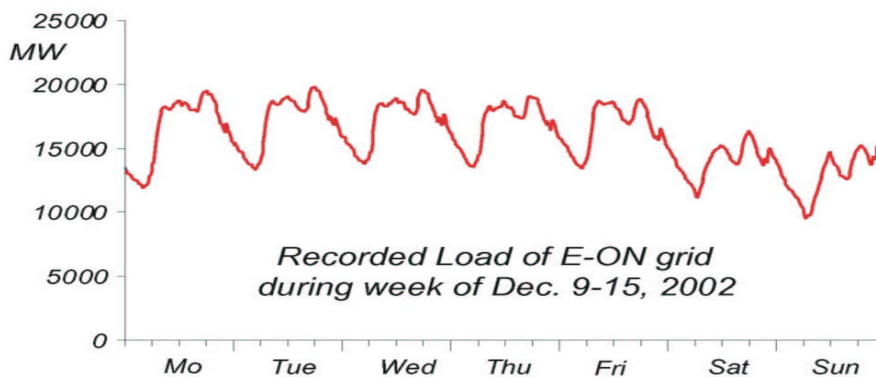
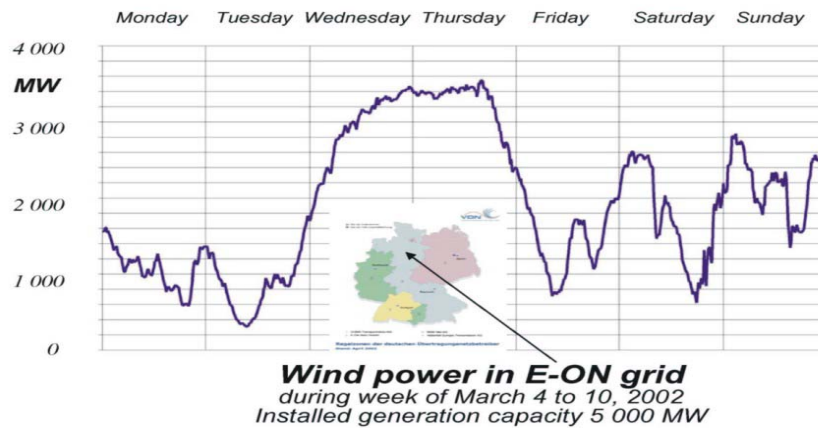
Sofern es technisch möglich ist, solch große mechanische Strukturen auf hoher See sicher zu errichten, und mit vertretbarem Aufwand dauerhaft in Betrieb zu halten, könnten sie in der Tat einen unerschöpflichen Beitrag zur Energieversorgung leisten, der außerdem wenig Anlaß zu Umweltkontroversen bietet. Es gibt Hoffnungen, wonach in 20 bis 30 Jahren bei entsprechender Förderung 25 GW an Erzeugungskapazität im deutschen Teil der Nord- und Ostsee errichtet werden könnten.

Nachdem man die Leistung mit Drehstrom- oder Gleichstromkabeln an Land gebracht hat, ist aber erst ein Teil des Problems gelöst, denn nun muß sie zu den Ballungszentren übertragen und an die Netzlast angepaßt werden. Dabei entsteht ein hoher Bedarf an sog. **Regelleistung**, da die elektrische Windleistung und die Netzlast zeitlich nicht übereinstimmen.

- Die erforderliche Regelleistung kann **positiv** sein, um in Schwachwindphasen fehlende Windleistung auszugleichen (Segelschiffer im 19. Jhdt. wußten, daß solche Flaute Tage und Wochen dauern können).
- Die Regelleistung kann aber auch **negativ** sein, d.h. man braucht Energiespeicher als Senken, um Energieverluste während Starkwindphasen und/oder bei Schwachlast im Netz zu vermeiden.

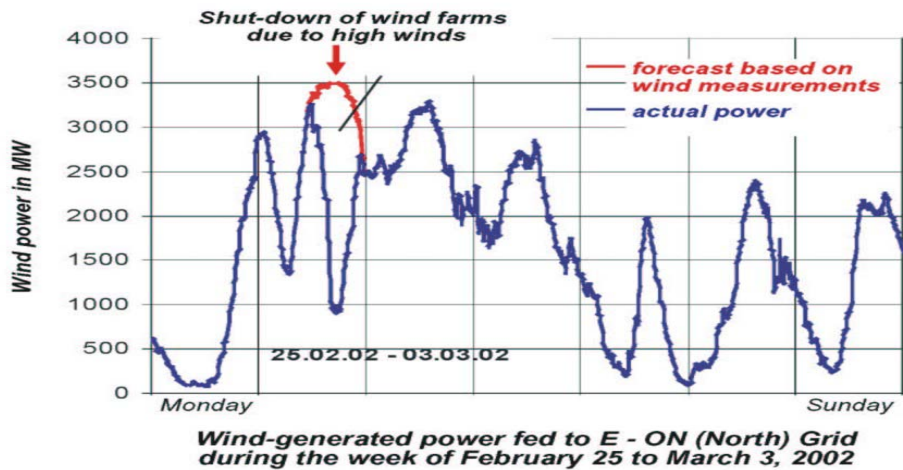
Die folgenden Abb. zeigen beispielhaft Aufzeichnungen aus der sich von Dänemark bis Österreich erstreckenden E-ON Regelzone; offensichtlich hat die in tausenden von Rotoren gewonnene Windleistung einen völlig anderen Verlauf hat als die von Verbrauchern dem Netz entnommene elektrische Leistung. Während die Windleistung einen Mittelwert über die nicht beeinflussbaren meteorologischen und atmosphärischen Bedingungen in der Region darstellt, ist die Netzlast das Ergebnis der nicht ohne schwerwiegende Eingriffe in die Wirtschaft veränderlichen industriellen Aktivität und der Lebensgewohnheiten bei Millionen von

Verbrauchern (Windabhängiger Fabrikbetrieb?). Wegen der bereits bestehenden Mittelung über zahllose räumlich verteilte Rotoren wird sich die Fehlanpassung an die Netzlast auch bei Erweiterung des Einzugsgebietes auf See nicht nennenswert verbessern.



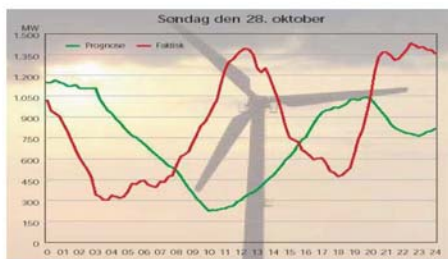
Wenn ein großer Teil der übrigen Erzeuger auf Wasserkraft basiert wie in Norwegen (99 %), können Wasserkraftwerke mit Speicher ohne oder mit Pumpbetrieb die erforderliche Regelleistung liefern; anders in Deutschland, wo die Erzeugung aus Wasserkraft nur etwa 4 % beträgt und die Regelleistung im E-ON Netz überwiegend aus thermischen, hauptsächlich fossilen Kraftwerken stammt. Deren Wirkungsgrad sinkt bei Teillast, sodaß, abgesehen von den Kosten, der Brennstoffverbrauch und die Emissionen je kWh bei der Einspeisung von Windenergie ansteigen; ein Teil der erhofften Umweltentlastung geht also verloren.

Wenn die Windleistung zunimmt und die positive Regelleistung reduziert werden muß, geschieht dies mit einem begrenzten Lastgradienten gemäß der globalen Aerodynamik; dagegen kann, wie in der folgenden Abb. gezeigt, der Übergang zu positiver Soll-Regelleistung sehr schnell geschehen. Während eines Starkwindregimes im März 2002 erreichten viele Windrotoren etwa gleichzeitig ihre meist bei 25 m/s eingestellten Leistungsgrenzen, wo die Anlagen zum Schutz selbsttätig abgeschaltet werden. In der E-ON Regelzone führte dies zu



einem mehrstündigen Einbruch der Windleistung um bis zu 2 500 MW, was weiträumige Änderungen des Lastflusses auslöste und sich bis in Nachbarnetze auswirkte. Solche Vorgänge sind auch durch verbesserte Prognoseverfahren, an denen vielfach gearbeitet wird,

Prediction versus actual production



An example of predicted and actual production Source: Eltra

Lars Gertmar
ABB VattenfallTH Lund 2003-09-04

Panel Discussion

Round Table at EPE2003
© ABB & Lars Gertmar 2003, 2

nicht auszuschließen, wie ein anderes Beispiel aus dem dänischen Netz zeigt.

Die geplante Zunahme der Einspeisung um viele GW nicht steuerbarer Windenergie in das elektrische Netz (mit seinem momentanen Ausgleichsbedarf) setzt deshalb die Verfügbarkeit

großer Energiespeicher von vielen GWh voraus. Es gibt hierfür eine Anzahl technischer Möglichkeiten, die zwar teilweise mit heutiger Technologie verwirklichtbar sind, in jedem Fall aber umfangreiche Entwicklungsarbeiten und eine Änderung oder Ergänzung der gegenwärtigen Förderungspolitik notwendig machen; **daher muß es das Ziel sein, nicht nur die primäre Energie-Gewinnung aus Wind, sondern gleichrangig auch die Energie-Umformung und -Speicherung zu fördern.**



- Pump-Speicherkraftwerke

Dies ist eine seit über 100 Jahren praktizierte Form der Speicherung großer Energiemengen, wo potentielle Energie von Wasser genutzt wird; zum Einspeichern wird mit einer vom Generator angetriebenen Pumpe das Wasser nach oben gefördert, beim Rücklauf wird wieder elektrische Energie gewonnen; der Wirkungsgrad liegt bei 70 - 80 %. In Pump/Turbinen können beide Betriebsarten in einer einzigen hydraulischen Maschine vereinigt sein. Auf der Welt gibt es etwa 280 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 90 GW, entsprechend ca 3% der Kraftwerkskapazität; sie reichen bis zu mehreren tausend MW und Speicherinhalten von Stunden bis Monaten.

Große Pump-Speicherkraftwerke in den Alpen mit vielen hundert Metern Höhendifferenz dienen zur Sekundärregelung der deutschen Netzbetreiber, wobei die kurzen Reaktionszeiten von wenigen Minuten besonders wichtig sind; weitere Anlagen finden sich in den Mittelgebirgen. Ein Speicherkraftwerk mit 1 060 MW ist derzeit in Goldisthal im Thüringer



Wald in Bau, es soll 2004 fertiggestellt sein; um den Wirkungsgrad zu steigern, arbeiten dort zwei der vier Motor/Generatoren mit variabler Drehzahl.



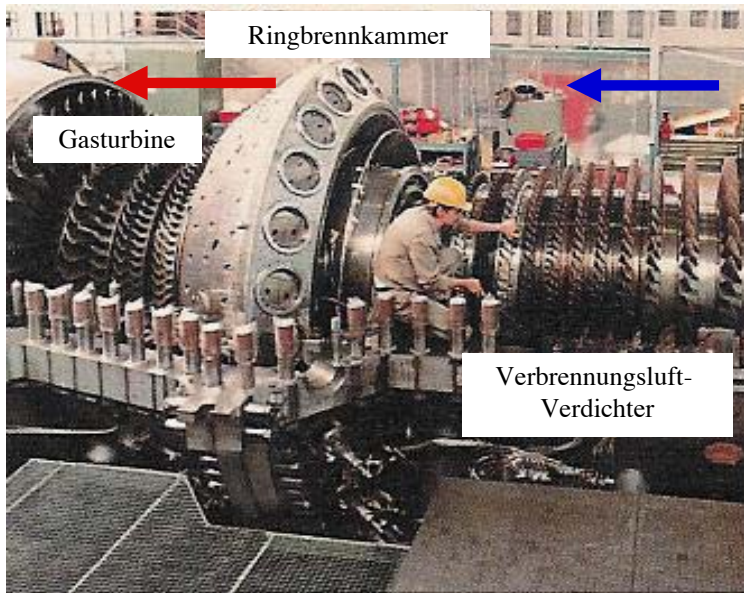
Pumpspeicherwerk Geesthacht, 120 MW, 600 MWh

Durch den Bau einer genügenden Zahl großer Pumpspeicherwerke wäre es im Prinzip durchaus möglich, die Regelleistungen von vielen GW für künftige off-shore Windfarmen bereitzustellen, doch würde dies auch die Erweiterung des Hochspannungsnetzes und den Bau neuer Hochspannungsleitungen erfordern; es wäre auch denkbar, die bei weit vor der Küste liegenden Windfarmen ohnehin nötigen Gleichstrom-Kabelverbindungen an Land mit hohen Spannungen (HGÜ) bis zu den Kraftwerken zu verlängern. Nachteilig wären bei Pump-Speicherkraftwerken die hohen Baukosten verbunden mit langer Bauzeit und die gravierenden Landschaftsveränderungen, was starke Widerstände erwarten ließe. Manchmal wird auch vorgeschlagen, das skandinavische Netz mit seinem großen Wasserkraftanteil zur Speicherung zu nutzen, was natürlich ebenfalls den Bau großer Übertragungsleitungen erfordern würde.

- Druckluft-Speicherkraftwerke

Ein anderes, möglicherweise weniger kontroverses Speicherungsverfahren, das ebenfalls bereits heute verfügbare Technik verwendet, wären Gaskraftwerke mit Druckluftspeichern in unter-

irdischen Salzstöcken, wie sie auf dem Festland, aber auch unter dem Meeresboden vorkommen; da man in Salzstöcken durch Auslaugung mit Meerwasser große Kavernen bilden kann, ohne Bergbau und ohne die Umwelt zu belasten, wäre es naheliegend, solche Kraftwerke möglichst in der Nähe von Windfarmen auf See zu bauen. Dabei würde zwar weiterhin Erdgas verbrannt, aber in stark reduzierten Mengen; die Abgase der Turbine könnten für die Verbrennungsluft-Vorwärmung genutzt werden, um den Wirkungsgrad zu steigern, vielleicht wäre auch ein Dampfkreislauf nach Art eines GuD- Prozesses möglich. Druckluft-Speicherkraftwerke (compressed air energy storage, CAES) wären damit ein erster Schritt zu einer nachhaltigen Lösung des Energieproblems.



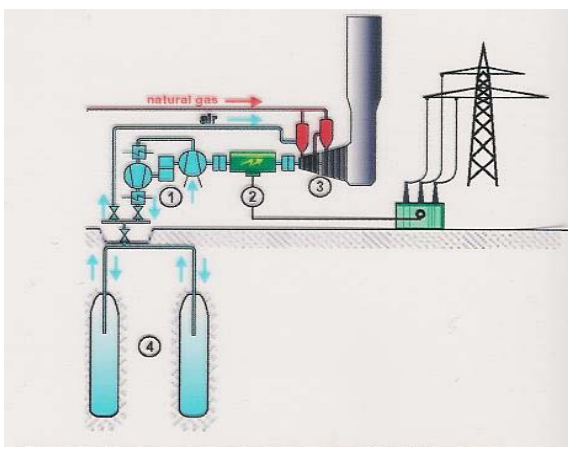
Gasturbine mit Ringbrennkammer

Das Prinzip eines CAES-Kraftwerks, von denen es weltweit bisher zwei Anlagen gibt, ist folgendes: Der Verdichter für die Verbrennungsluft einer Gasturbine benötigt etwa $\frac{2}{3}$ der Turbinenleistung, während der Rest dem Generator zugeführt wird. Trennt man nun den Verdichter mechanisch vom Turbogenerator und treibt ihn separat z.B. mit einem aus Windenergie gespeisten drehzahlvariablen Mo-

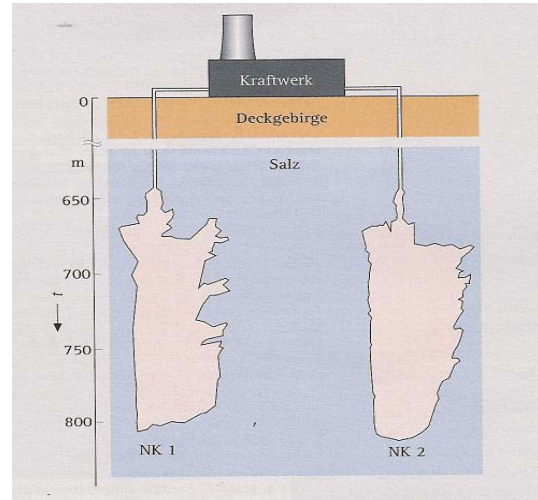
tor an, so läßt sich die komprimierte Verbrennungsluft in der Salzstock-Kaverne speichern und bei Bedarf der verdichterlosen Gasturbine für den Generator zuführen; die Energie des Verdichters (abzüglich Verlusten) wird also durch Windenergie geliefert. Bei ausreichend großer Kraftwerks- und Speicherkapazität werden die elektrische Erzeugung und die Windleistung zeitlich entkoppelt.

Dieses Verfahren wurde vor 20 Jahren erstmals bei dem 290 MW Kraftwerk Huntorf der E.ON verwirklicht und wird seither erfolgreich eingesetzt. Dem damaligen Stand der Technik entsprechend wird der wahlweise als Motor dienende Generator dabei entweder mit der Turbine oder mit dem Verdichter gekuppelt, die Verdichterdrehzahl ist also konstant gleich der Synchrondrehzahl; im normalem Gasturbinenbetrieb, also bei gleichzeitigem Betrieb von Gasturbine und Verdichter, wird der Speicher nicht verwendet.

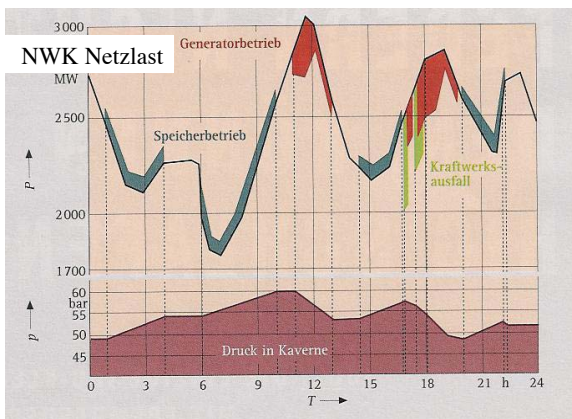
Da die Luft sich bei adiabatischer Verdichtung auf 60 bar stark erwärmt (wie im Zylinder eines Dieselmotors), muß sie mit Rücksicht auf die Salzkaverne zwischen den Verdichterstufen gekühlt werden; umgekehrt ist die Luft vor der Einleitung in die Brennkammer der Turbine mit Erdgas zu erhitzen; dies führt zwar zu Energieverlusten, doch muß die Lufttemperatur im Salzstock auf etwa 40°C begrenzt werden.



Druckluftspeicher-Kraftwerk Huntorf [20]



Die zwei druckdichten Kavernen des Kraftwerks mit einem Volumen von ca. 300 000 m³ befinden sich zwischen 650 und 800 m in einem 4000 m tiefen unterirdischen Salzstock, sie werden bei einem Druck zwischen 50 und 70 bar betrieben und erlauben dabei einen 3-stündigen Vollastbetrieb mit 290 MW, wofür eine Kompressorleistung von 60 MW während 12 Stunden nötig ist.

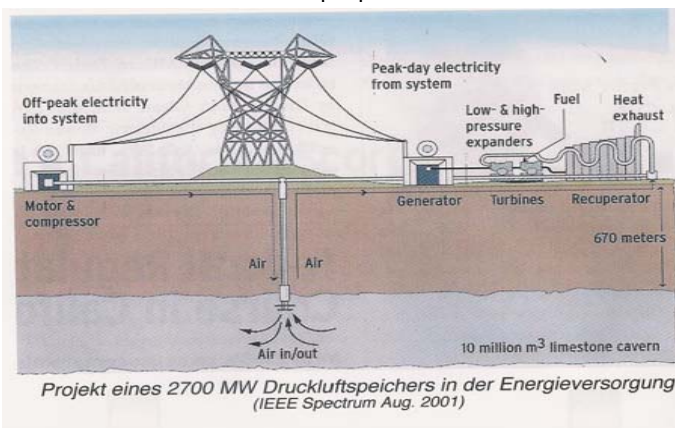


Betriebsweise des Druckluftspeicher-Kraftwerks Huntorf [20]

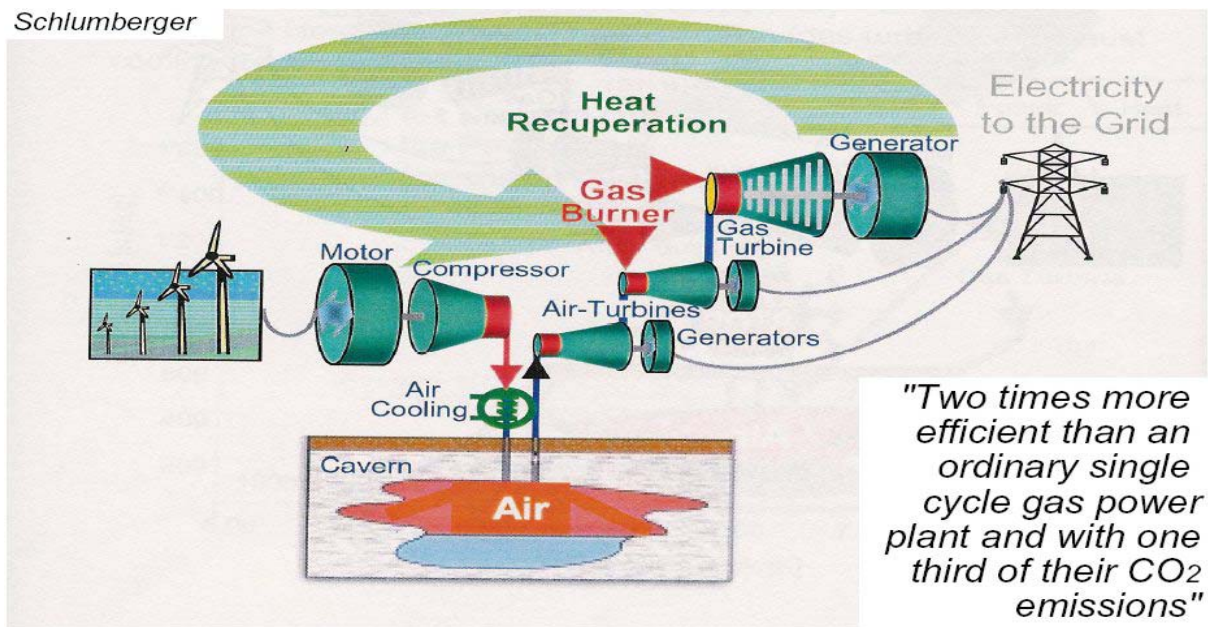
Die Anlage wurde als Spitzenkraftwerk geplant und dient heute ferngesteuert ohne Personal als wichtige Reserve, mit einer Reaktionszeit von wenigen Minuten auf Vollast. Der Brennstoffverbrauch des Speicherkraftwerks liegt 30-40% unter dem eines entsprechenden Gasturbinenkraftwerks; mit der heutigen Technik wären weitere Verbesserungen, etwa durch Vorwärmung der Verbrennungsluft, möglich. 1990 entstand eine zweite ähnliche Anlage in McIntosh,

Alabama, mit einer Leistung von 110 MW, aber einem größeren Speicher, die ebenfalls als Reserve eingesetzt wird.

Ein neues Projekt mit einer Leistung von insgesamt 2700 MW über eine Woche ist in Norton, Ohio, in einem früheren Bergwerk geplant; dabei soll die Verdichtung ohne Kühlung der gespeicherten Druckluft erfolgen.



Drehzahlvariabler Kompressorantrieb (Stromrichterantrieb), z.B über Kabel aus off-shore Windenergie gespeist



Compressed Air Energy Storage (CAES), an option for balancing fluctuating wind power

Weiterentwicklung eines CAES Kraftwerks

CAES Kraftwerke können positive und negative Regelleistung liefern, wobei der Druckluftspeicher zur Entkopplung dient. Wenn die großen Speichervolumina durch Auslaugen von unter dem Meereboden liegenden Salzstöcken erzeugt werden, könnte bei Wahl geeigneter Standorte die gesamte Anlage einschließlich Kompressor und Kraftwerk außer Sichtweite in der Nähe der off-shore Windfarmen errichtet werden, ein weiterer Untertagespeicher könnte zur Aufnahme von Erdgas dienen.

Man kann CAES Kraftwerke als ersten Schritt zu einer nachhaltigen Energieversorgung auffassen, sie wären mit heute verfügbarer Technik zu verwirklichen.

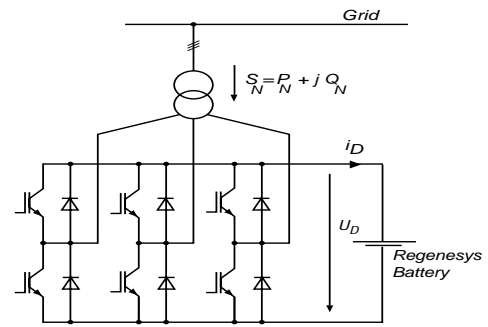
Es gibt verschiedene andere Speichertechnologien, die für die Bereitstellung von Regelenergie für Windanlagen in Frage kommen, bisher aber noch nicht in großem Maßstab erprobt sind und eine längere Entwicklungszeit erfordern, bevor sie im EVU-Maßstab eingesetzt werden könnten.

- Chemische Energiespeicherung in elektrischen Groß-Batterien

Ein Beispiel für verschiedene Verfahren ist die in England entwickelte **Regenesys -Anlage**, die man als reversible Brennstoffzelle oder als Kombination einer Batterie mit einer Brennstoffzelle bezeichnen kann. Die Nennleistung beträgt 15 MW, die (von der Größe des Speichers abhängige) Kapazität 120 MWh, die Kopplung mit dem Netz erfolgt über einen Umrichter. Die Anlage eignet sich vor allem zur Spitzenlastdeckung und zur Netzstützung.



Regenesys Batterie in Little Barford, England
15 MW, 120 MWh

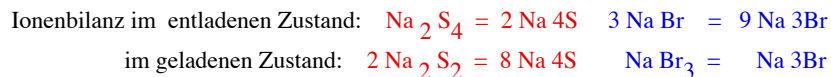
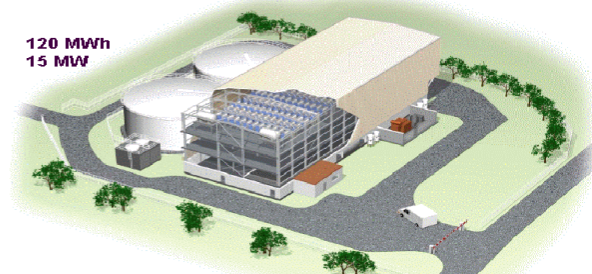
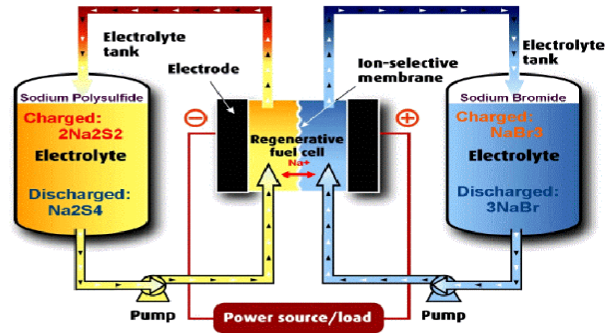


Netzseitiger Umrichter

Regenesys Flow Battery:

This regenerative fuel cell technology provides a reversible electrochemical reaction between two salt solution electrolytes (sodium bromide and sodium polysulfide). Like other flow batteries, the power and energy ratings of Regenesys are independent of each other. Regenesys electrolytes are brought close together in the battery cells where they are separated by a polymer membrane that only allows positive sodium ions to go through, producing about 1.5 volts across the membrane. Cells are electrically connected in series and parallel to obtain the desired voltage and current levels. The net efficiency of this battery which works at room temperature is about 75%. It has been verified in the laboratory and demonstrated at multi-kW scale in the UK.

Deployment Status: Regenesys Technologies is building a 120 MWh, 15 MW energy storage plant at Innogy's Little Barford Power Station in the UK. It is expected to be in operation in 2003. Tennessee Valley Authority (TVA) is also planning to build a 12 MW, 120 MWh unit in Mississippi (USA) to be operational in late 2003.



Regenesys: Reversibler elektrochemischer Energiespeicher


Außer Regenesys hat man in Japan und USA noch andere chemische Speicherbatterien (Flow Batteries) im MW Bereich entwickelt, die zT. bereits in Betrieb sind. Wegen der verwendeten Chemikalien kann es allerdings auch hierbei Umweltprobleme geben.

- Erzeugung von Wasserstoff als speicherbarer Sekundär-Energieträger

Dem angestrebten Ziel einer nachhaltigen Energieversorgung aus regenerativen Quellen käme man einen entscheidenden Schritt näher, wenn es gelänge, die schwankende Leistung aus off-shore Windfarmen als Einstieg in eine weiträumige Nutzung speicherbarer chemischer Energie in Form von Wasserstoff oder anderer umweltverträglicher Sekundär-Energieträger zu verwenden, die mit einem Rohrleitungsnetz verteilt und in ortsfesten oder mobilen Brennstoffzellen in Elektrizität umgewandelt werden können. **Die zufallsbedingte Stromerzeugung aus Wind und der bedarfsgesteuerte Verbrauch elektrischer Energie würden völlig entkoppelt und die Schwierigkeiten einer Netzeinspeisung in Echtzeit vermieden.**

Die Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse ist ein mit industriellen Modulen erprobter Prozess mit Wirkungsgraden über 80%, doch müßte er natürlich für die notwendigen hohen Leistungen weiterentwickelt werden. Die in den Windfarm-Inselnetzen durch Gleichrichtung der Generatorspannungen erzeugten Gleichspannungen im Bereich von 5 bis 10 kV sind möglicherweise für einen verlustarmen Energietransport zur Küste zu niedrig, weshalb es vorteilhaft sein kann, den in Elektrolyse-Modulen entstehenden gasförmigen Wasserstoff an Ort und Stelle zu verflüssigen und mit Schiffen zum Festland zu transportieren, wo er, wieder in Gasform, in ein Rohrleitungsnetz eingespeist werden kann. Es gibt hierfür bereits konkrete Überlegungen mit Wirkungsgrad- und Kostenabschätzungen.

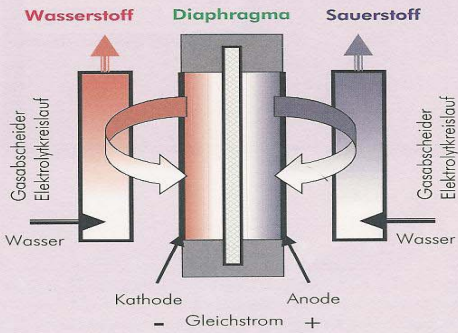
Brennstoffzellen als "virtuelle Kraftwerke" mit hohem Wirkungsgrad zur dezentralen Netzeinspeisung und Wärmeerzeugung werden auf der ganzen Welt mit großem Aufwand entwickelt, und man erwartet, daß in einigen Jahren serienreife Anlagen verfügbar sind. Allerdings wird der als Brennstoff dienende Wasserstoff dabei noch aus fossilen Energieträgern gewonnen. Sofern sich bis zu einer Serienproduktion von Brennstoffzellen Ansätze für eine nachhaltige



Herstellung von Wasserstoff

Die einfachste und zugleich wirkungsvollste Methode der Wasserstoffherstellung ist die Elektrolyse: Wasser wird mithilfe von elektrischem Strom in die Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Dabei werden in einer Elektrolysezelle bei einer Gleichspannung von mindestens 1,5 Volt an der Kathode Wasserstoff und an der Anode Sauerstoff gebildet. Ein Diaphragma lässt den Ionentransport in der Zelle zu und verhindert gleichzeitig die Vermischung der beiden Produktgase.

Elektrolysewasserstoff wird heute nur dort erzeugt, wo Wasserkraftwerke verfügbar und niedrige Stromgestehungskosten gegeben sind. Großtechnische Elektrolyseanlagen mit Anschlussleistungen bis 150 MW_e erreichen Produktionsmengen von über 33 000 m³ Wasserstoff pro Stunde.



Wasserstoff Diaphragma Sauerstoff

Kathode - Gleichstrom + Anode

Schema der alkalischen Wasserelektrolyse

Elektrolytische Herstellung von Wasserstoff aus Wasser

Norsk Hydro Electrolyse - Modul:
1 MW, ca. 220 m³ H₂ / h, $\eta > 0.85$


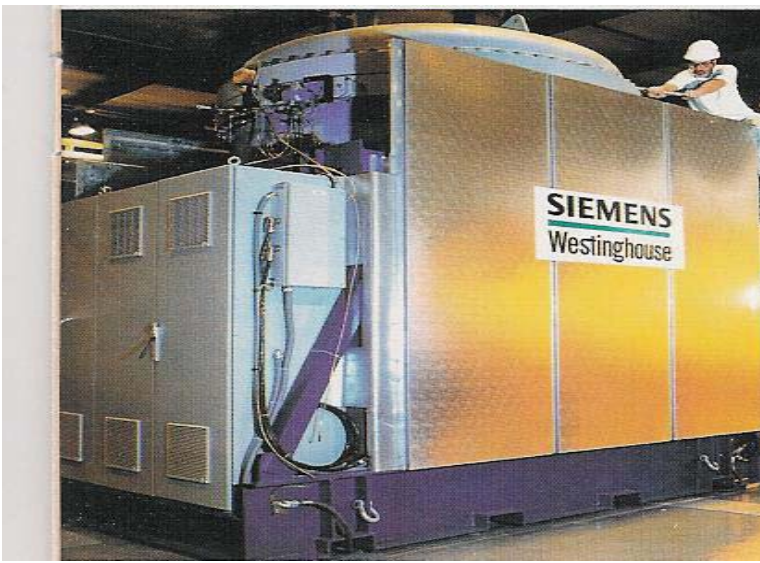


Foto: Norsk Hydro Electrolysens

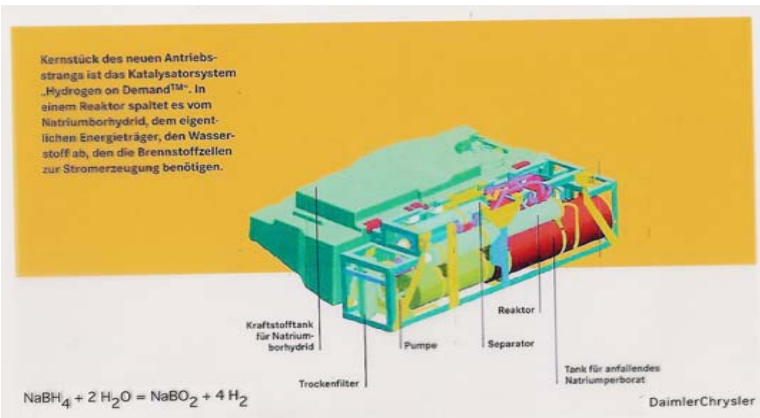
Technische Elektrolyseure bestehen aus vielen direkt hintereinander geschalteten Einzelzellen – dem bipolaren Zellblock – sowie Hilfeinrichtungen für den Elektrolytkreislauf, zur Gasabscheidung von Wasserstoff und Sauerstoff und zur Kühlung. Ein einzelner Zellblock kann über 200 m³ Wasserstoff je Stunde produzieren.

Bei Einsatz fortschrittlicher Elektrolyseure ist es heute möglich, auch in direkter Kopplung mit Solaranlagen und fluktuierendem Solarstrom mehr als 85 % der eingebrachten elektrischen Energie in Wasserstoff zu speichern.

Beispiel einer modularen Elektrolyse-Anlage



Erdgasbetriebenes Kleinkraftwerk, 190 kW, mit "Solid Oxide Fuel Cells" und Gas Turbine



"Hydrogen on demand" für mobile Brennstoffzellen

Wasserstoffversorgung zB. aus Windenergie entwickeln, könnte das heute noch utopisch scheinende Ziel einer künftigen "Wasserstoffwirtschaft" an Realität gewinnen. Alle diese Ziele setzen natürlich eine Weiterentwicklung der Leistungselektronik im EVU-Leistungsbereich voraus.

Eine Alternative zum Wasserstoff als Energieträger für mobile Anwendungen sind salzhaltige Substanzen, die bei Umgebungstemperatur mit Wasser und bei Anwesenheit eines Katalysators Wasserstoff liefern. Diese Möglichkeit wird unter der Bezeichnung "Hydrogen on demand" erforscht. Die als Ausgangsprodukt entstehende wässrige Borax-Lösung soll mit Energie (aus Wind) wieder regenerierbar sein.

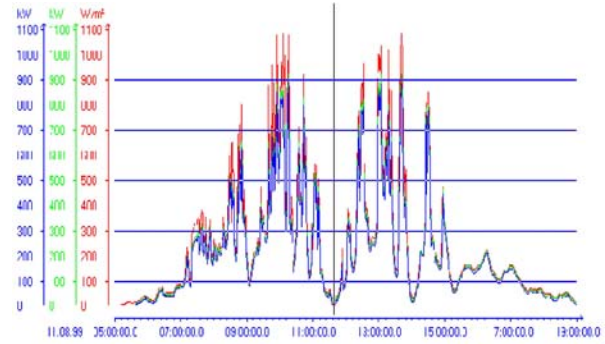
Weitere mögliche Energiespeicherverfahren,

- Kapazitive elektrische Speicher (Supercap)
- Supraleitende magnetische Speicher (SMES)
- Schwungradspeicher
- Lokale Druckluftspeicher (SAES), usw.

werden angesichts ihres noch frühen Entwicklungsstadiums hier nicht diskutiert oder sind für einen Einsatz als Großspeicher im EVU-Maßstab wegen vermuteter Leistungsgrenzen unwahrscheinlich. Sie können aber sehr wohl als lokale Energiespeicher Verwendung finden, etwa in Inselnetzen oder auf Bohrplattformen, in Windfarmen oder bei Fahrzeugen. Ein anderes Beispiel sind für Energiespeicher sind photovoltaische Solargeneratoren, bei denen wegen des durch Abschattungen stark zerklüfteten Leistungsverlaufs vor der Netzeinspeisung stets eine Glättung durch lokale Speicher notwendig sein dürfte.



SIEMENS Solar



Kurve	Variablr	Einheit	Wert	Datum/Zeit
Ausgleichung W/IL	1WYUULL/01	minute	0.1657°C	11.08.99 11:37:12.527
Leistung Generator	1WYUULL/02	minute	0.8229°C	11.08.99 11:37:12.527
Einschaltung	ICSND1CR304	minute	0.51591°C	11.08.99 11:37:12.527

Solargenerator München, 7800 m² Solarzellen, 1000 kW_p,
Netzleistung am Tag der Sonnenfinsternis, 11. August 1999

Zusammenfassung

Die aus Wind erzeugte und in das Netz eingespeiste elektrische Leistung stimmt nicht mit der Netzlast überein und muß zur Stabilisierung des Netzes durch Regelkraftwerke korrigiert werden. Bei der geplanten Vervielfachung der Windleistung auf See mit dem Ziel eines allmählichen Übergangs zu einer nachhaltigen Energieversorgung sind die bisherigen Wege der Regelung über vorwiegend thermische Kraftwerke nicht mehr gangbar; ein Ausgleich könnte durch große chemische Energiespeicher erfolgen, wo speicherbare Sekundär-Energieträger für die Netzeinspeisung oder mobile Anwendungen entstehen. Da noch einige Jahre vergehen werden, bis große Leistungen aus off-shore Windfarmen zu erwarten sind, sollte diese Zeit für die Entwicklung der nötigen Technologien genutzt werden, was eine Änderung und Ergänzung der gegenwärtigen Förderpolitik nötig machen würde.