



Energie

Strom speichern unter

Hochdruck

Mit Wärmespeichern werden neue adiabate Druckluftspeicher-
kraftwerke Schwankungen der Windstromproduktion ausgleichen

Ein erhöhter Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch ist erklärtes Ziel deutscher Umweltpolitik. Die entsprechend ausgestalteten Rahmenbedingungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) haben insbesondere der Windenergienutzung Auftrieb gegeben. Allerdings sind Anstrengungen nötig, den ungleichmäßig anfallenden Windstrom netzverträglich zu verwerten. Neu entwickelte Speicherkonzepte werden zukünftig helfen, den Stromverbrauch auf der Basis erneuerbarer Energien bedarfsgerecht zu decken. adiabate Druckluftspeicherkraftwerke sind dazu besonders geeignet. Das DLR-Institut für Technische Thermodynamik trägt zur Entwicklung dieser Technologie bei.

Von allen erneuerbaren Energien hat die Windenergie in Deutschland am stärksten Aufschwung genommen. Mehr als 18.000 Windenergieanlagen erzeugen hierzulande den Strom für 7,6 Millionen Haushalte und vermeiden so etwa 25 Millionen Tonnen Kohlendioxid in jedem Jahr. Das eigentliche Zukunftspotenzial dieser Technik wird allerdings auf dem Meer gesehen: Bis 2030 soll die heutige Windstrommenge durch den geplanten Offshore-Ausbau mindestens verfünffacht werden.

Windenergie: erfolgreich aber unstetig

Um diese Mengen an Windstrom aufnehmen zu können, müssen die anderen Teile des Versorgungssystems mitwachsen: Zum einen entsteht der Windstrom dann nicht mehr dort, wo er gebraucht wird, sondern muss von den Küsten in entfernte

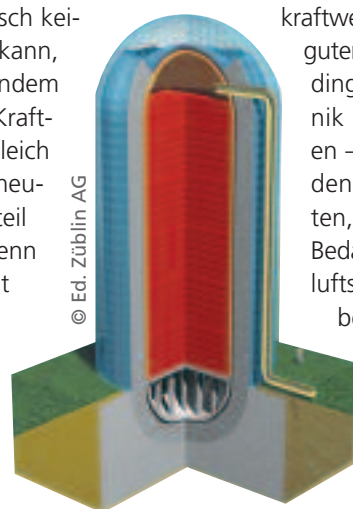
Verbrauchszonen transportiert werden. Dazu müssen nach einer Studie der Deutschen Energie-Agentur (dena) bis zum Jahr 2015 circa 850 Kilometer Stromtrassen neu gebaut und 400 Kilometer verstärkt werden. Dabei stellen die Genehmigungsfragen eine erhebliche Unsicherheit dar. Zum anderen passt das Windangebot nicht immer zum Verbrauch. Da das Netz selbst praktisch keinen Strom speichern kann, müssen bei ausbleibendem Wind konventionelle Kraftwerke für einen Ausgleich sorgen. Das ist beim heutigen Windenergieanteil auch kein Problem, denn auch bisher wurde mit solchen Maßnahmen der trägere Teil des Kraftwerksparkes an den schwankenden Verbrauch angepasst. Bei steigendem Offshore-Ausbau wird der Ausgleichsbedarf allerdings steigen – insbesondere in der Nähe künftiger Netzeinspeisung, also in den Küstenregionen. Auch zeitweilige Stromüberschüsse – bei Starkwind und/oder in Schwachlastzeiten – müssen ab 2020 zeitweilig in höherem Maße vom Stromnetz aufgefangen werden.

Für beide Probleme – Stromtransport und Netzausgleich – bietet der Betrieb von Speicherkraftwerken eine Lösung. Sie eröffnen die Möglichkeit, auch ohne fossile Energie, Strom bedarfsgerecht bereitzustellen. Der Ausgleich schwankender Windstromproduktion erlaubt darüber hinaus eine deutlich bessere Ausnutzung der bestehenden Übertragungsnetze.

Bisher kommen dazu so genannte Pumpspeicherkraftwerke zum Einsatz, die zu Zeiten des Überschusses nicht benötigten Strom einspeichern. Dazu wird Flusswasser in ein höher gelegenes Becken gepumpt. Wird das Wasser später wieder abgelassen, so treibt es Turbinen an; Energie wird als Spitzenlaststrom zur Verfügung gestellt. Pumpspeicherkraftwerke arbeiten mit einem

guten Wirkungsgrad, allerdings lässt sich diese Technik praktisch nicht ausbauen – insbesondere nicht in den flachen Küstengebieten, wo künftig der größte Bedarf gesehen wird. Druckluftspeicherkraftwerke haben diesen Nachteil nicht und bieten deshalb für ganz Nordwest-Europa ein großes Potenzial.

Die Idee, Druckluft zur Stromspeicherung zu verwenden, ist nicht neu: Bereits 1978 wurde ein solches Kraftwerk in der Nähe von Oldenburg gebaut. Es ist bis heute mit einer Leistung von 290 Megawatt in Betrieb. In Zeiten eines Überangebotes von Strom wird Luft in elektrischen Kompressoren verdichtet und in unterirdische Salzkavernen geleitet. Diese künstlich erschaffenen Hohlräume sind zwischen 50 Meter und 80 Meter breit, bei einer Höhe von etwa 200 Metern. Bei Strombedarf wird die Druckluft aus der Kaverne entnommen und für den Turbinenantrieb verwendet. Allerdings ist der erreichte Wirkungsgrad unbefriedigend.



Druckbeaufschlagter Wärmespeicher für eine neue Kraftwerksgeneration

Untersuchte Einsatzfelder für adiabate Druckluftspeicherkraftwerke		
Zielanwendung	Betriebsstrategie	Typische Größe [Megawatt]
Zentrale Anwendung	Erlöse aus Spotmarkt-Preisdifferenzen und Systemdienstleistungen	300
Dezentrale Anwendung an Windparks	Große Windparks: Erhöhung der Volllaststunden, Systemdienstleistungen, Spitzenlastverkauf.	150
Autarker Inselbetrieb in abgelegenen Gebieten	Kombination aus Windpark und Druckluftspeicher: Einsparung von Netzanbindung oder Gasturbinensystem; Erhöhung der Volllaststunden des Windparks.	30

Grund dafür ist, dass bei der Beladung des Druckspeichers, ähnlich wie bei einer schnell betriebenen Fahrradpumpe, sehr viel Abwärme entsteht. Andererseits muss bei der Entladung über eine Erdgasfeuerung wieder sehr viel Wärme zugeführt werden, denn nur heiße Druckluft lässt sich in der Turbine nutzen.

Ohne Wärmeverlust

Als Weiterentwicklung mit einer besseren Anpassung an künftige Anforderungen zielt die adiabate – also ohne Wärmeaustausch mit der Umgebung arbeitende – Druckluftspeichertechnik darauf ab, diese Nach-

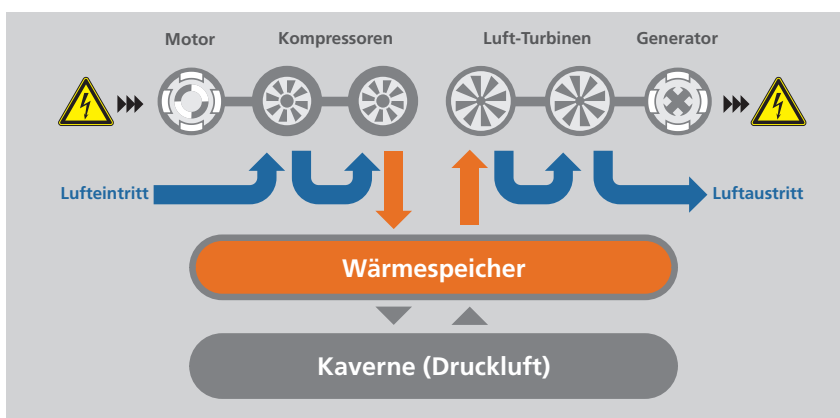
teile zu überwinden. Grundidee des Adiabate-Konzepts ist es, zusätzlich einen Wärmespeicher als zentrales Element des Aufbaus zu verwenden. Damit wird es möglich, die für den Expansionsprozess benötigte Wärme aus der Kompressionswärme des Beladungsprozesses bereitzustellen und so den bisher benötigten Gasbrenner zu vermeiden: Bei der Speicherbeladung wird hier die ansonsten verlorene Wärme bei hoher Temperatur gespeichert. Später, bei der Entladung, wird die gespeicherte Wärme dazu genutzt, die Druckluft vor der Nutzung in der Turbine wieder auf hohe Temperaturen aufzuheizen. Erst die Einbeziehung großer Wär-

mespeicher erlaubt es, solche Anlagen ohne externe Feuerung und mit hohen Wirkungsgraden von etwa 70 Prozent zu realisieren. Zur Aufnahme der Druckluft dienen auch hier unterirdische Kavernen.

Die Techniken für die einzelnen Systemkomponenten sind zwar im Prinzip vorhanden, an die konkreten Entwürfe von Kompressor, Turbine und Wärmespeicher sind jedoch hohe, teils von Industriestandards stark abweichende Anforderungen gestellt. Ebenso anspruchsvoll ist die Optimierung der freien Parameter des Gesamtsystems nach Kosten- und Effektivitätsgesichtspunkten. Im Rahmen eines europäischen Projekts bearbeitet das DLR-Institut für Technische Thermodynamik mit den Industrie- und Forschungspartnern (Alstom Schweiz, Alstom UK, MAN TURBO, E.ON, RWE Power, Züblin, Universität Stuttgart u. a.) dieses Konzept für eine effiziente und lokal emissionsfreie Stromspeicherung. Es werden die Machbarkeit und Leistungsfähigkeit der Technologie untersucht und Konzepte für die aussichtsreichsten Anlagenkonfigurationen und Komponentenentwürfe entwickelt. Marktstudien begleiten die Arbeiten. Für den Wärmespeicher, ein zentrales Element des Aufbaus, gibt es bei den benötigten Betriebsbedingungen kaum vergleichbare Vorbilder, was grundsätzliche Überlegungen zur Wahl der Speichertechnik nötig macht.

Effiziente Speicher

Es wird eine thermische Speicherkapazität von bis zu 2,4 Millionen Kilowattstunden benötigt, um bei Luftaustrittsbedingungen von 650 Grad



Prinzipische Skizze eines adiabaten Druckluftspeicherkraftwerks: Links ist der zum Laden, rechts der zum Entladen vorgesehene Teil

Celsius und einem Druck von 100 bar einen achtstündigen Turbinenbetrieb zu gewährleisten. Um den geforderten hohen Gesamtwirkungsgrad von 70 Prozent zu erreichen, muss die Wärmeübertragung im Speicher besonders effizient gestaltet sein. Alle am Temperaturhub beteiligten Materialien müssen einen 25-jährigen Betrieb mit Tageszyklen bei häufigen Anfahrvorgängen gewährleisten.

Auf dem Weg zur Umsetzung

In Designstudien des Projekts wurden inzwischen Feststoffspeicher und Flüssigspeicher als die beiden aussichtsreichsten Varianten identifiziert. Als Ergebnis weiterführender Untersuchungen zeigt sich, dass ein direkt beheizter Feststoffspeicher aus Keramik oder Naturstein eine besonders günstige Option darstellt. Zwar sind bei Innendrücken zwischen 60 bar und 100 bar besondere Anforderungen an die Behältertechnologie gestellt, insgesamt ergeben sich dennoch bei den gegebenen Betriebsbedingungen gegenüber einem Flüssigspeicherkonzept deutliche Vorteile bei Leistungsfähigkeit, Betriebsverhalten und Investitionskosten. Im Rahmen der Projektentwicklung für ein adiabates Druckluftspeicherkraftwerk wurde unter Mitarbeit des DLR ein Leitkonzept für einen solchen Wärmespeicher realisiert, der die geforderten Effizienz- und Kostenziele erreicht. Damit konnte ein wichtiger Meilenstein zur Entwicklung eines 300-Megawatt-Kraftwerks gesetzt werden.

Autoren:

Dr. Stefan Zunft leitet im Institut für Technische Thermodynamik des DLR in Stuttgart das Fachgebiet Thermische Kraftwerkskomponenten, Dr. Rainer Tamme ist Leiter der Abteilung Thermische Prozesstechnik.

