



Jede wertvolle Wattstunde

Industrielle Prozesse sind oft sehr wärmeintensiv. Mit Wärmespeichern kann die eingesetzte Energie effektiver genutzt werden. DLR-Wissenschaftler arbeiten an neuen Speicherkonzepten.

Thermische Speicher für rationelle Energienutzung

Von Dr. Rainer Tamme, Doerte Laing und Dr. Stefan Zunft

Eine massive Reduktion des Verbrauchs von fossilen Brennstoffen ist einer der wichtigsten Kernpunkte der Bundesrepublik Deutschland beim Klimaschutz. Um dieses ehrgeizige Vorhaben zu erreichen, sind neue Technologien für einen rationelleren Umgang mit Energie notwendig und die erneuerbaren Energien müssen für eine effiziente Nutzung erschlossen werden. Dafür wiederum sind intelligente Methoden zur Energiespeicherung ein Schlüssel zum Erfolg. Auf dem Gebiet dieser Querschnittstechnologie befasst sich das DLR-Institut für Technische Thermodynamik seit einigen Jahren mit thermischen Energiespeichern im Hochtemperaturbereich.

Die sich derzeit stark ändernden Marktbedingungen für die Energiebereitstellung und -nutzung verlangen mehr Energieeffizienz und erzwingen auch ein Umdenken beim Energiemanagement. Eine Entwicklung, die sich – nicht zuletzt durch politische Vorgaben zum Klimaschutz und die damit verbundene zunehmende Integration erneuerbarer Energien – weiter fortsetzen wird. Eine innovative Speichertechnologie ist dabei der Schlüssel zu mehr Effizienz und Flexi-

bilität in den Energiesystemen. Für eine stärkere Nutzung erneuerbarer Energien, intensive Abwärmenutzung sowie den konsequenten Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung sind technisch und wirtschaftlich attraktive Wärmespeicher unabdingbar. Die DLR-Forscher richten derzeit ihre Arbeiten gezielt auf Speicherentwicklung im Mittel- und Hochtemperaturbereich für den Einsatz in Kraftwerkstechnik und für die Erzeugung industrieller Prozesswärme.

Besonders für dampfbetriebene Prozesse, wie sie häufig in der Industrie benötigt werden, sind Latentwärmespeicher eine äußerst attraktive Option. Diese Art der Speicher nutzt eine Phasenumwandlung im Speichermedium aus, zum Beispiel vom festen zum flüssigen Zustand. Dadurch können große Wärmemengen in einem schmalen Temperaturbereich gespeichert werden. Voraussetzung ist, dass die Phasenwechseltemperaturen von Arbeits- und Speichermedium entsprechend angepasst werden.

Die gegenwärtigen Entwicklungen von Latentwärmespeichern am Institut für Technische Thermodynamik zielen auf Anwendungen in einem Temperaturbereich von 100 bis 330 Grad Celsius (°C) im Bereich industri-



Latentwärmespeicher im DLR-Labor.



Latentwärmespeicher vor der Integration in die Parabolrinnen-Testanlage auf der Plataforma Solar de Almería.

eller Prozesswärme und für solarthermische Parabolrinnen-Kraftwerke mit Direktverdampfung.

Eine Frage der Wärmeleitfähigkeit

Das Hauptproblem bei der technischen Umsetzung der Latentwärmespeicherung im Hochtemperaturbereich liegt gegenwärtig noch in der unzureichenden Wärmeleitfähigkeit der verfügbaren Speichermedien. Diese liegen typischerweise bei 0,5 bis 1 W/(mK). Diese Einheit gibt an, welche Wärmeenergie (W) bei einer Temperaturdifferenz von einem Kelvin durch ein Bauteil pro Meter (m) fließt.

Will man, dass Latentwärmespeicher ausreichend hohen Lade- und Entladeleistungen erreichen, so benötigt man entweder sehr große und somit



Betonspeichermodul in der Testanlage in Stuttgart.

unwirtschaftliche Wärmeübertragungsflächen oder Speichermaterialien mit erheblich höherer Wärmeleitfähigkeit. In gemeinsamen Projekten mit Industrie-Partnern haben die DLR-Wissenschaftler ein Auslegungskonzept entwickelt, in dem Wärmeleitstrukturen aus hochleitfähigem Graphit oder Metall in das Phasenwechselmaterial integriert sind. Dabei werden unter anderem Kalium- und Natriumnitrat sowie deren binäre Mischungen eingesetzt, womit der Bereich zwischen 130 und 330 °C abgedeckt werden kann. Die hierbei erzielte Wärmeleitfähigkeit liegt im Bereich von 4 bis 15 W/(mK), also um ein Vielfaches höher als die bei bislang verfügbaren Materialien. Damit stehen erstmalig Speichermedien zur Verfügung, mit denen wirtschaftliche Latentwärmespeicher für höhere Temperaturen verwirklicht werden können.

Im Frühjahr 2006 wurde ein derartiges Speichersystem bei 145 °C im Bereich

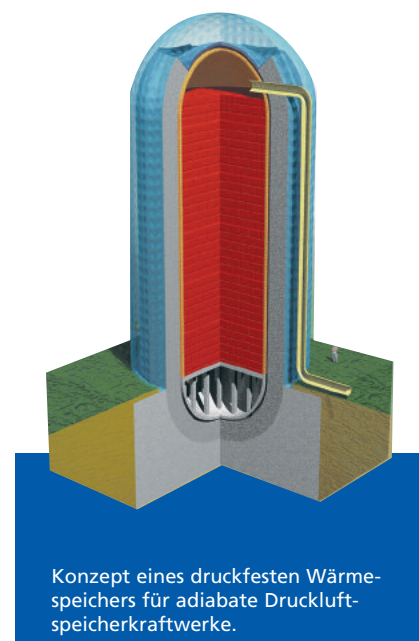
von 20 Kilowatt (kW) erfolgreich demonstriert. Eine Weiterentwicklung und die Erprobung im 100-kW-Maßstab bei 225 °C konnte erstmalig 2007 mit solar erzeugtem Dampf gezeigt werden. In einem laufenden Vorhaben wird ein 1-MW-System bei 306 °C für den Einsatz mit Dampf bei 100 bar entwickelt und Anfang 2009 in einem Kraftwerk getestet.

Neue Lösungen für lichtarme Stunden

Energiespeicher sind ein wesentlicher Faktor für den Erfolg der solaren Kraftwerkstechnologie. Denn nur so können die Laufzeiten der Turbinen auf die Nachtstunden ausgedehnt oder generell auf Zeiten geringerer Sonneneinstrahlung verlängert werden. Dadurch lässt sich die Wirtschaftlichkeit dieser umweltfreundlichen Kraftwerke erheblich verbessern und der erzeugte Strom einfacher in bestehende elektrische Versorgungsnetze integrieren.

Kommerziell verfügbare thermische Speicher für Parabolrinnen-Kraftwerke sind Flüssigsalzspeicher, die wegen hoher Investitionskosten und aufwändiger Sicherheitstechnik deutlich verbessert oder durch alternative Konzepte ersetzt werden sollten.

Als ein technisch und wirtschaftlich hoch attraktives Konzept wurde beim DLR gemeinsam mit dem Industriepartner Ed. Züblin AG ein Feststoffspeicher mit temperaturfestem Beton entwickelt und in einem 400-kWh-Speichermodul erfolgreich getestet. Der Arbeitsbereich des Speichers liegt zwischen 250 und 400 °C. Je nach Betriebsweise kann eine spezifische Speicherkapazität von 20 bis 50 kWh pro Kubikmeter erreicht werden. Derzeit wird ein wärmetechnisch optimiertes Auslegungskonzept untersucht, um die erforderliche Fläche der Wärmeübertragung weiter zu reduzieren. Diese Ergebnisse sollen dann in den Bau eines Pilotspeichers einfließen, der die Basis für den kom-



Konzept eines druckfesten Wärmespeichers für adiabate Druckluftspeicherkraftwerke.

merziellen Einsatz im Kraftwerk darstellt. Zielgröße für ein solarthermisches Kraftwerk mit 50 Megawatt elektrischer Leistung ist ein Sechsstunden-Speicher mit einer thermischen Kapazität von 950 Megawattstunden.

Die Integration großer Mengen Windstrom in die Netze erfordert Anpassungen an das deutsche Netz- und Kraftwerkssystem. Insbesondere die Küstenregionen als zukünftige Einspeisepunkte der Offshore-Windenergie stehen vor der Herausforderung, den ungleichmäßig anfallenden Windstrom auszugleichen. Hier versprechen sich die Experten durch eine neue Technologie auf Basis adiabatischer, also ohne Wärmeaustausch mit der Umgebung arbeitender, Druckluftspeicherkraftwerke eine Lösung.

Wärme aus der Luftkompression

Ein herkömmliches Druckluftspeicherkraftwerk komprimiert Luft und speichert diese unter hohem Druck in unterirdischen Kavernen. Wird zu einem späteren Zeitpunkt mehr Ener-

gie benötigt, so wird die Luft wieder verwendet. Sie wird separat erhitzt und einer angepassten Turbine zur Stromerzeugung zugeführt. Das Neue des adiabaten Kraftwerksprozesses ist nun, dass die bei der Luftkompression entstehende Wärme in einem separaten Wärmespeicher zwischengespeichert wird. Wird die Luft später der Kaverne entzogen, so wird sie über den Wärmespeicher wieder für die Stromproduktion im Kraftwerk erhitzt, ohne externe Energie zuführen zu müssen. Erst die Einbeziehung von großen Wärmespeichern erlaubt es, solche Anlagen mit hohen Stromspeicherwirkungsgraden von etwa 70 Prozent zu realisieren.

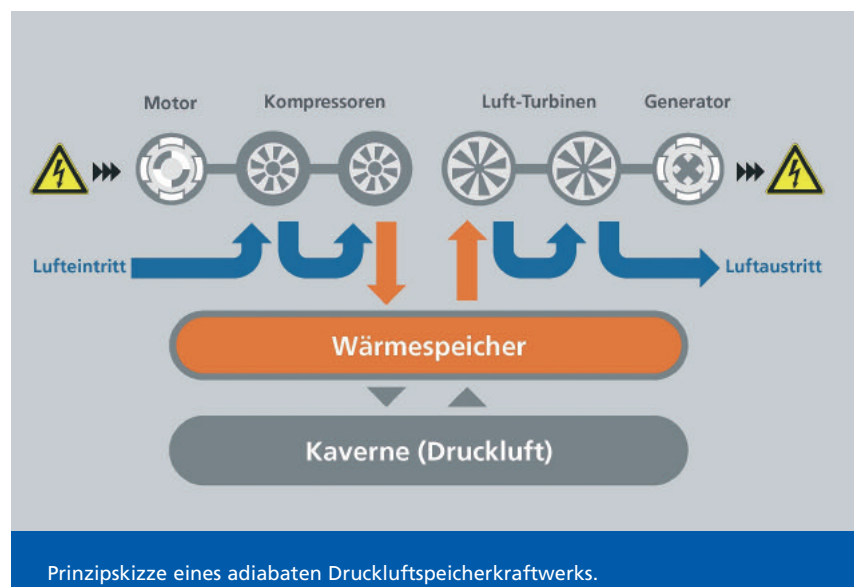
An die Wärmespeicher sind allerdings ambitionierte Forderungen gestellt. Es wird eine thermische Speicherkapazität von bis zu 2.400 MWh benötigt, um bei Luftaustrittsbedingungen von 650 °C und 100 bar einen achtstündigen Turbinenbetrieb zu gewährleisten. Um den geforderten hohen Gesamtwirkungsgrad zu erreichen, ist die Bandbreite, in der sich die Tem-

peraturschwankung beim Be- und Entladen bewegt (Temperaturgrädigkeit) besonders gering zu halten. Alle am Temperaturhub beteiligten Materialien müssen einen 25-jährigen Betrieb mit Tageszyklen gewährleisten.

Im Rahmen der Projektentwicklung für ein adiabates Druckluftspeicherkraftwerk haben die Wissenschaftler jetzt ein Leitkonzept für einen druckbeaufschlagten Wärmespeicher realisiert, der die geforderten Effizienz- und Kostenziele erreicht. Damit ist ein wichtiger Meilenstein zur Entwicklung eines 300-Megawatt-Kraftwerks erreicht worden.

Autoren:

Die Autoren sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Institut für Technische Thermodynamik des DLR in Stuttgart. Dr. Rainer Tamme ist Leiter der Abteilung Thermische Prozesstechnik, Dipl.-Ing. Doerte Laing leitet das Fachgebiet Thermische Energiespeicher und Dr. Stefan Zunft das Fachgebiet Thermische Kraftwerkskomponenten.



Prinzipische Skizze eines adiabaten Druckluftspeicherkraftwerks.