

WENN WÄRME

© Stempelkamp

Den Verbrauch an fossilen Brennstoffen massiv einzudämmen, ist ein wichtiges Klimaschutzziel der Bundesrepublik Deutschland. Um dieses ehrgeizige Vorhaben zu verwirklichen, müssen verstärkt neue Technologien für einen rationelleren Umgang mit Energie eingeführt und die Nutzung erneuerbarer Energien vorangetrieben werden. Besondere Bedeutung kommt hierbei der Querschnittstechnologie Energiespeicherung zu. Eine Forschungsgruppe im DLR-Institut für Technische Thermodynamik in Stuttgart befasst sich seit einigen Jahren mit thermischen Energiespeichern im Hochtemperaturbereich.

Energie-intensive Prozesse wie das Eisengießen können in hohem Maße von Wärmespeichern profitieren.

WEG WILL ...

... BEDARF ES INTELLIGENTER LÖSUNGEN, SIE ZU HALTEN
BETON UND SALZ KÖNNEN ENERGIE EFFEKTIV SPEICHERN

Von Rainer Tamme, Doerte Laing und Wolf-Dieter Steinmann

Überall wo Energie verbraucht oder bereitgestellt wird, stellt sich die Frage nach der Speicherung. Das natürliche Prinzip wendet der Mensch seit jeher ganz selbstverständlich an. Er baut fossile Rohstoffe wie Holz, Öl, Gas oder Kohle ab und lagert sie als Vorrat. Diese Materialien haben die Energie über einen langen Zeitraum gespeichert. Doch die Vorkommen an fossilen Rohstoffen sind begrenzt. Zudem ist deren Verbrauch über Verbrennungsvorgänge höchst schädlich für Natur und Umwelt.

Neue Technologien drängen hier auf den Markt, um beispielsweise die Abwärme von Heizungen oder Industrieprozessen wieder zu verwenden, die Kraft-Wärme-Kopplung auszubauen oder erneuerbare Energien nutzbar zu machen. Eines ist

allen Verfahren, die den Verbrauch fossiler Energie deutlich reduzieren oder gar ersetzen wollen, jedoch gemein: Nichts geht ohne Wärmespeicher. Diese müssen zukünftig auf technisch hohem Niveau und zu attraktiven Preisen zur Verfügung stehen. Ansonsten wird die breite Energieversorgung über die neuen Technologien kaum zu realisieren sein.

Dabei erfordert jede Anwendung ihre eigenen, hochspezifisch ausgelegten Speicher. Die Wissenschaftler im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt müssen dementsprechend mit einem breiten Spektrum an Technologien, Materialien und Methoden umgehen können. Fragen nach der Reduktion von Investitionskosten oder der Erhöhung von Effi-

zienz und Zuverlässigkeit müssen in die Forschungsarbeiten einbezogen werden. Die DLR-Forscher richten derzeit ihre Arbeiten gezielt auf Anwendungen im Mittel- und Hochtemperaturbereich für den Bereich Kraftwerkstechnik und industrielle Prozesswärme.

FESTSTOFFSPEICHER

Ein zukünftig wichtiges Einsatzgebiet für effiziente thermische Speicher sind solarthermische Kraftwerke. Durch die Kombination von Speicher und Kraftwerk lassen sich beispielsweise die Laufzeiten der Turbinen auf die Nachtstunden ausdehnen oder generell auf Zeiten geringerer Sonneneinstrahlung verlängern. Dadurch ließe sich der Erlös dieser

Auch die Effizienz solarthermischer Kraftwerke – hier eine Parabolrinne – lässt sich mit innovativen Energiespeichern steigern.

umweltfreundlichen Kraftwerke erheblich steigern. Auch die Integration des erzeugten Stroms in bestehende elektrische Versorgungsnetze würde so vereinfacht. Energiespeicher sind daher ein Schlüsselfaktor für den Erfolg der solaren Kraftwerkstechnologie.

Solarthermische Kraftwerke wandeln konzentrierte Solarstrahlung in Hochtemperaturwärme um. Diese ersetzt den fossilen Brennstoff in den Dampf- und Gasturbinen des angeschlossenen Kraftwerks. Attraktiv wird der Einsatz von solarthermischen Kraftwerken in Gebieten mit intensiver Sonneneinstrahlung, beispielsweise im Mittelmeerraum oder im nördlichen Afrika. Für so genannte Parabolrinnen-Kraftwerke entwickelt das Institut für Technische Thermodynamik derzeit ein Feststoffspeicher-Konzept. Bei der Parabolrinnentechnik konzentrieren die Spiegel das Sonnenlicht auf ein Absorberrohr, in dem eine Flüssigkeit, in diesem Fall ein Thermoöl, die Wärme aufnimmt.

Zur Speicherung ist nun diese thermische Energie vom Wärmeträgeröl auf

einen gießfähigen Feststoff zu übertragen. Dabei haben die Forscher zwei Materialvarianten – Aluminiumoxid-Gießkeramik sowie temperaturfesten Beton – entwickelt und jeweils als 350 Kilowattstunden (kWh) Speichermodule erfolgreich getestet.

Der Arbeitsbereich des Speichers liegt zwischen 250 und 400 Grad Celsius (°C). Je nach Betriebsweise kann eine spezifische Speicherkapazität von 20-50 kWh pro Kubikmeter erreicht werden. Derartige Feststoffspeicher weisen im Vergleich zu kommerziell verfügbaren Flüssigsalzspeichern ein deutliches Potenzial zur Kostensenkung auf.

Die Wissenschaftler im Institut für Technische Thermodynamik haben ihre Feststoffspeicher-Technologie in einem national geförderten Projekt bereits auf der Testanlage der Plataforma Solar de Almería in Spanien erfolgreich demonstriert. Die Ergebnisse zeigen, dass hiermit eine technisch und wirtschaftlich attraktive Lösung mit Investitionskosten von etwa 20 Euro pro kWh thermische Speicherkapazität realisiert werden kann.

Eine detaillierte Analyse der beiden Materialvarianten ergab einen deutlichen Kostenvorteil für den Betonspeicher. 40 Prozent der Investitionskosten entfallen dabei auf den Speicherbeton und etwa 50 Prozent auf das Rohrsystem, das die Wärme überträgt.

Derzeit untersucht das Institut gemeinsam mit den Industrie-Partnern Ed. Züblin AG und Flagsol GmbH ein wärmetechnisch optimiertes Auslegungskonzept. Die Wissenschaftler

streben an, die erforderliche Fläche der Wärmeübertragung weiter zu reduzieren.

Diese Ergebnisse sollen dann in den Bau eines Pilotspeichers einfließen, der die Basis für den kommerziellen Einsatz im Kraftwerk darstellt. Zielgröße für ein solarthermisches Kraftwerk mit 50 Megawatt (MW) elektrischer Leistung ist ein Sechsstunden-Speicher mit einer thermischen Kapazität von 950 Megawattstunden (MWh).

PHASENWECHSELSPEICHER

Für alle Anwendungen und Prozesse, in denen eine Energiezufuhr auf gleich bleibendem Temperaturniveau benötigt wird, sind besonders effiziente Speicherkonzepte erforderlich. In diesem Fall versprechen sich die Wissenschaftler von so genannten Latentwärmespeichern großen Erfolg. Diese Art der Speicher nutzen eine Phasenumwandlung aus, zum Beispiel die vom festen zum flüssigen Zustand eines Phasenwechselmaterials (PCM – Phase Change Material). Dadurch können große Wärmemengen in einem schmalen Temperaturbereich gespeichert werden. Besonders für dampfbetriebene Prozesse, wie sie häufig in der Industrie benötigt werden, sind Latentwärmespeicher eine äußerst attraktive Option. Voraussetzung ist, dass die Phasenwechseltemperatur von Arbeits- und Speichermedium entsprechend angepasst wird.

Die Idee des Latentwärmespeichers wenden wir in unserem Alltag bereits in vielfacher Art an, beispielsweise für Wärmekissen, Transport-

behälter oder auch in moderner Outdoor-Funktionskleidung. Das Schmelzen von Eis zur gezielten Kühlung von Räumen oder Nahrungsmitteln, also der Übergang von fest zu flüssig, ist gar schon aus der Antike überliefert. An diesem antiken Beispiel lässt sich übrigens die große Energiemenge zeigen, die durch den Phasenübergang gespeichert werden kann: Wenn Eis mit einer Temperatur von 0°C in Wasser mit einer Temperatur von 0°C schmilzt, wird in etwa ebenso viel Energie freigesetzt, wie benötigt wird, um Wasser von 0°C auf 80°C zu erhitzen. Beim Phasenübergang von flüssig zu gasförmig, also von Wasser zu Wasserdampf, ist der Effekt noch um ein Vielfaches höher.

Die laufenden Entwicklungen von Phasenwechselspeichern im Institut für Technische Thermodynamik zielen allerdings auf Anwendungen in einem Temperaturbereich von 100°C bis 300°C bei der industriellen Prozesswärme bis hin zu solarthermischen Parabolrinnen-Kraftwerken mit Direktverdampfung, wo ein Temperaturbereich von 300 bis 400°C erreicht werden muss. Das Hauptproblem bei der technischen Umsetzung der Latentwärmespeicherung im Hochtemperaturbereich liegt in der unzureichenden Wärmeleitfähigkeit der verfügbaren Speichermedien. Die Wärmeleitfähigkeit $W/(mK)$ hat hier einen Wert von 0,5 bis 1.

Will man Latentwärmespeicher mit einer ausreichend hohen Wärmestromdichte beziehungsweise Lade- und Entladeleistung erreichen, so benötigt man entweder sehr große und damit unwirtschaftliche Wärmeübertragungsflächen oder Speichermedien mit erheblich höherer

Wärmeleitfähigkeit. In gemeinsamen Projekten mit dem Industriepartner SGL Carbon AG haben die DLR-Wissenschaftler neuartige, hochleitfähige Salz/Graphit-Verbundmaterialien entwickelt. Dabei werden u. a. Lithium-, Kalium- und Natriumnitrat und deren binäre Mischungen eingesetzt, womit der Bereich zwischen 130-330°C abgedeckt werden kann.

Als Wärmeleitmatrix setzen die Entwickler expandierten Graphit ein. Die Wärmespeicherung profitiert von dessen hoher Wärmeleitfähigkeit. Die derzeit getesteten Salz/Graphit-Verbundmaterialien mit Massenanteilen von 15 Prozent Graphit werden durch Infiltrationstechnik oder durch Verpressen hergestellt.

Die hierfür ermittelte Wärmeleitfähigkeit liegt im Bereich von 4-15 $W/(mK)$, also um ein Vielfaches höher als die bislang verfügbaren Materialien. Damit stehen erstmalig Speichermedien zur Verfügung, mit denen wirtschaftliche Latentspeicher für höhere Temperaturen verwirklicht werden können.

Für die Auslegung von Latentwärmespeichern haben die Stuttgarter Wissenschaftler drei Grundkonzepte – angepasst an die jeweiligen praktischen Anforderungen – entwickelt. Im Rahmen der laufenden Projekte werden diese Konzepte im Leistungsbereich von 10 Kilowatt überprüft, weiter verbessert und anschließend für den Bereich bis 100 Kilowatt erprobt.

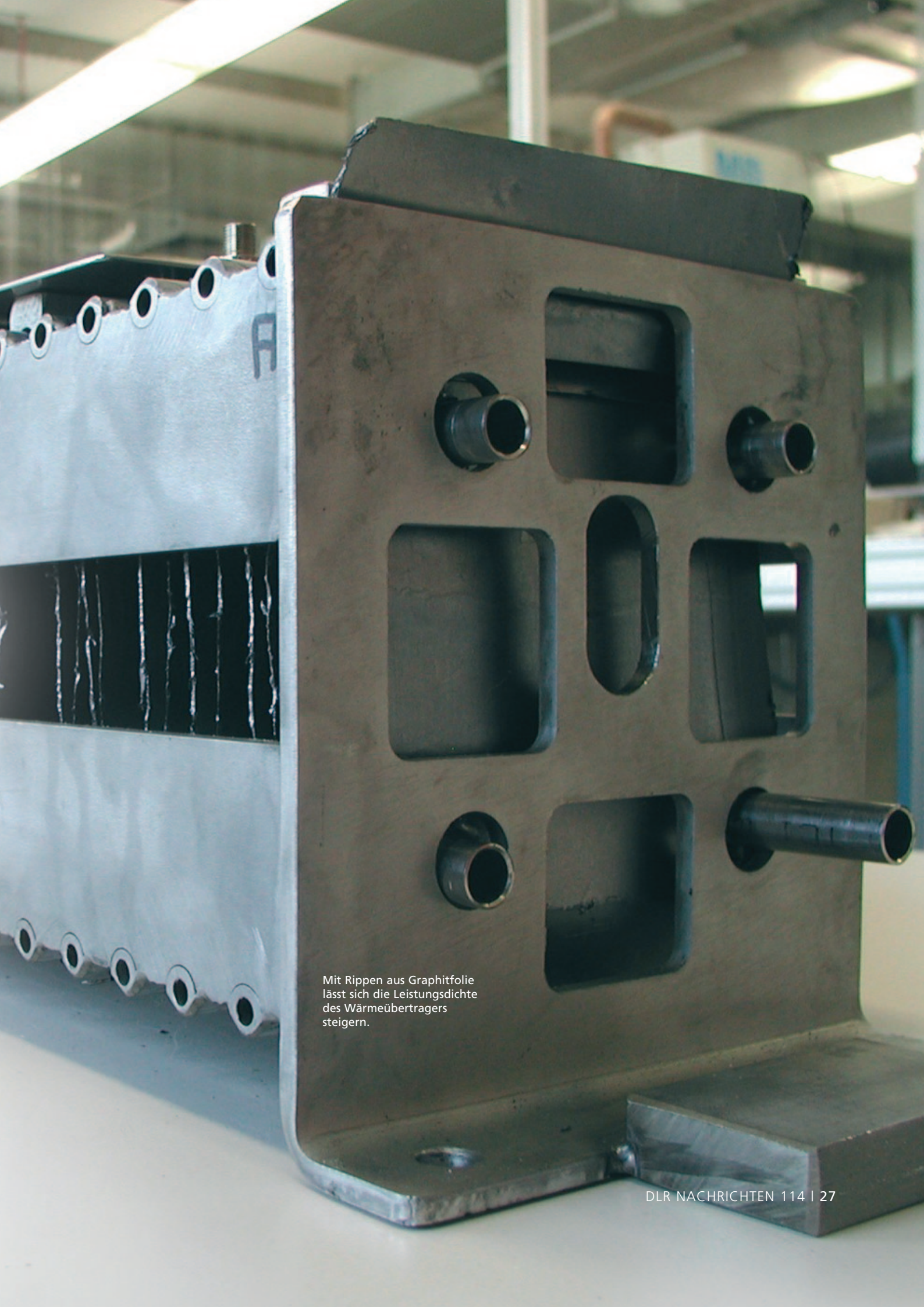
FAZIT

Die sich derzeit stark ändernden Marktbedingungen für die Energiebereitstellung und Energienutzung

sowie die politischen Vorgaben zum Klimaschutz stellen in vielen Bereichen erhöhte Anforderungen an die Energie-Effizienz und erzwingen so größere Anstrengungen beim besseren Energiemanagement von Strom und Wärme. Dieser Trend wird sich durch die steigende Bedeutung erneuerbarer Energien und den damit hervorgerufenen Herausforderungen ihrer Integration weiter fortsetzen. Effiziente und wirtschaftliche Speichertechnik ist dabei der Schlüssel zu mehr Flexibilität in den Energiesystemen und wird hier wesentliche Beiträge zu ihrer Zukunftsfähigkeit liefern.

Autoren:

Die Autoren sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Institut für Technische Thermodynamik des DLR in Stuttgart. Dr. Rainer Tamme leitet die Abteilung Thermische Prozesstechnik, Dipl.-Ing. Doerte Laing leitet das Fachgebiet Thermische Energiespeicher, Dr. Wolf-Dieter Steinmann ist Leiter des EU-Projekts DISTOR sowie des BMWi-Projekts PROSPER.



Mit Rippen aus Graphitfolie lässt sich die Leistungsdichte des Wärmeübertragers steigern.