

Thermische Energiespeicher für Elektrizitätserzeugung und industrielle Anwendungen



ZAE
Dr. Andreas Hauer
andreas.hauer@zae-bayern.de

DLR
Dr. Dan Philipp Bauer
dan.bauer@dlr.de

KIT
Prof. Dr. Thomas Wetzel
thomas.wetzel@kit.edu

Thermische Energiespeicher – Motivation

Energiespeicher erfüllen die Funktion, einen zeitlichen Versatz zwischen Energieangebot und dem tatsächlichen Energiebedarf zu überbrücken. Diese Aufgabe gewinnt in einem Energiesystem, das immer mehr fluktuierende erneuerbare Energiequellen integrieren und gleichzeitig die Energieeffizienz steigern muss, zunehmend an Bedeutung.

In der bisherigen öffentlichen Diskussion werden Energiespeicher oft mit elektrischen Speichern gleichgesetzt. Auch die Energiewende wurde bisher meist verkürzt als „Elektrizitätswende“ verstanden. Betrachtet man jedoch unseren Endenergiebedarf, stellt man fest, dass Wärme und Kälte im Gebäude- und Industriebereich mit ca. 60% den größten Anteil darstellen.

Auch wenn man die CO₂-Emissionen auf die unterschiedlichen Sektoren (Elektrizität, Mobilität und Wärme) verteilt, sieht man, dass der Wärmesektor für über 50% der Emissionen verantwortlich ist, die Sektoren Mobilität und Strom hingegen nur für jeweils 25%. Das spricht deutlich dafür, jetzt verstärkt die „Wärmewende“ in den Fokus zu nehmen. In diesem Zusammenhang werden thermische Energiespeicher zukünftig stark an Relevanz gewinnen.

Thermische Energiespeicher – Technologien

Thermische Energiespeicher können einen weiten Temperaturbereich abdecken:

- Kältespeicher für Temperaturen zwischen -40°C und 6°C
- Wärmespeicher für Heizung und Warmwasser zwischen 30°C und 90°C
- Speicher für Prozesswärme werden in der Regel über 100°C betrieben,
- Hochtemperaturspeicher mit Betriebstemperatur oberhalb von 350°C

Dafür stehen auch verschiedene Methoden der Speicherung von Kälte und Wärme zur Verfügung (mit steigender Speicherkapazität):

- Bei der sensiblen Speicherung thermischer Energie wird ein Speichermaterial erwärmt oder abgekühlt.

- Bei der latenten Speicherung thermischer Energie findet beim Erwärmen oder Abkühlen auch ein Phasenwechsel des Speichermaterials statt.
- Bei der thermochemischen Speicherung thermischer Energie werden chemische Reaktionen oder Sorptionsprozesse genutzt.

Im vorliegenden Artikel liegt der Fokus auf den Hochtemperaturanwendungen. Mit dieser Art thermischer Speicher lässt sich z.B. effizient Elektrizität erzeugen. Gleichzeitig können Hochtemperaturspeicher auch in industriellen Prozessen mit hoher Temperatur eingesetzt werden.

Hochtemperatur-Wärmespeicher – Anwendungsbeispiele

Energiespeicher, die eine bestimmte Energieform aufnehmen, z.B. Strom oder Wärme, geben in der Regel auch diese wieder ab. Allerdings ist es auch möglich, dass ein Hochtemperatur-Wärmespeicher seine Wärme an eine Turbine abgibt und damit Elektrizität erzeugt. Er stellt also letzten Endes Strom zur Verfügung. Genauso kann ein thermischer Speicher auch Strom aufnehmen, in dem dieser z.B. in einer Wärmepumpe, in Wärme verwandelt wird.

Es gibt also mehrere Pfade von der Energiequelle zum Verbraucher, auf denen thermische Energiespeicher (TES) eine Rolle spielen:

Quelle		Speicher		Nutzer
Wärme	→	TES	→	Wärme
Wärme	→	TES	→	Strom
Strom	→	TES	→	Wärme
Strom	→	TES	→	Strom

- Der klassische Wärmespeicher nimmt z.B. Abwärme auf und stellt zu einem späteren Zeitpunkt Prozesswärme bereit.
- Es gibt auch die Möglichkeit, Wärme aufzunehmen und später damit Strom zu erzeugen, wie es z.B. in solarthermischen Kraftwerken geschieht, wenn nachts Strom produziert wird.
- Unter dem Schlagwort der „Sektorkopplung“ oder

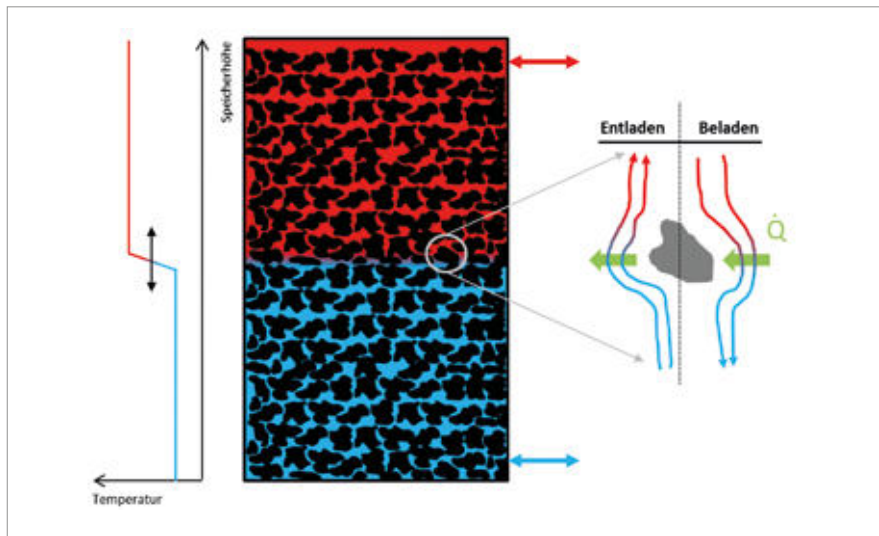


Abbildung 1
Zwei-Stoff-Speicher
in der Gießerei
Heunisch
(schematische
Darstellung)
[ZAE Bayern]

„Power-to-Heat“ kann auch aktuell nicht nutzbarer Strom in thermischen Speichern auf seine Nutzung als Wärme warten.

- Und zu guter Letzt kann man Strom in Wärme umwandeln, speichern und bei Bedarf wieder in Strom zurückwandeln.

Wärmerückgewinnung durch Zwei-Stoff-Wärmespeicher

Die Gießerei Heunisch in Bad Windsheim betreibt sogenannte Kupolöfen, in denen Metalle für den Eisenguss geschmolzen werden. Das ZAE Bayern baut dort einen thermischen Speicher zur Nutzung der Abwärme des Ofens auf. Die Abwärme soll in der Zeit, in der der Ofen nicht betrieben wird (10 Stunden pro Tag), Wärme bereitstellen, die für Trocknungsprozesse benötigt wird, bzw. über eine Absorptionskältemaschine Kälte produzieren.

Das Speichermedium ist eine Gesteinsschüttung, die von Thermalöl umspült wird. Das Thermalöl dient als Wärmeträgerfluid, um die Wärme in und aus dem Speicher zu transportieren.

Die Abwärme steht bei knapp über 200 °C zur Verfügung. In der geplanten Anlage sollen ca. 12 MWh Wärme gespeichert werden. Die Anlage besteht aus drei zylindrischen Modulen mit jeweils 12 m Höhe und einem Durchmesser von fast 3 m. Darin befinden sich 75 t Gestein. Die Anlage wird Anfang 2020 aufgebaut und in Betrieb genommen.

Eintank-Flüssigsalz-Wärmespeicher

Ein sehr ähnlicher Ansatz, allerdings für deutlich höhere Temperaturen, wird vom DLR verfolgt. Der weltweit größte thermische Speicher der Thermocline-Flüssigsalz-Technologie hat eine Speicherkapazität

von 4 MWh und wird bei 290/560 °C betrieben. Diese Technologie basiert auch auf zwei Speichermedien: Flüssigem Salz und Gestein. Auch hier dient die flüssige Komponente dem Wärmetransport. Das Gestein dient der Kostenreduktion, indem es das teurere Flüssigsalz zu einem großen Teil ersetzt. In neun thermischen Zyklen mit Temperaturwechselschicht unter typischen Betriebsrandbedingungen konnte ein stabiler Betrieb erfolgreich demonstriert werden.

Hochtemperatur-Flüssigmetall-Festbettwärmespeicher

Am KIT wurde ebenfalls ein Thermocline-Speicher untersucht. Allerdings wurde hier flüssiges Metall eingesetzt. Mit der Versuchsanlage THEADES am Karlsruher Flüssigmetalllabor KALLA wird zur experi-

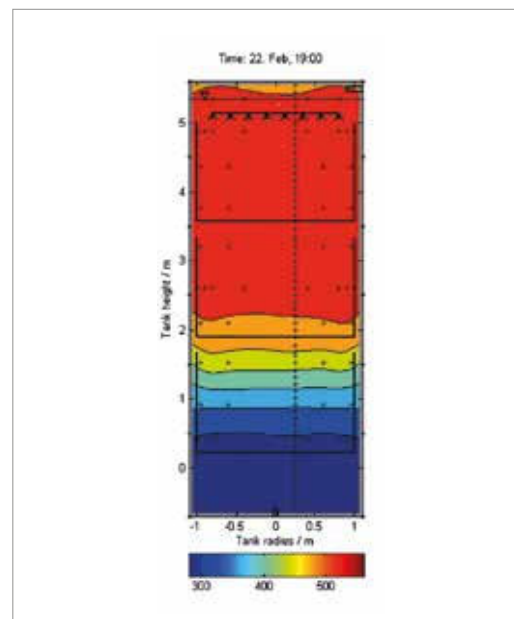
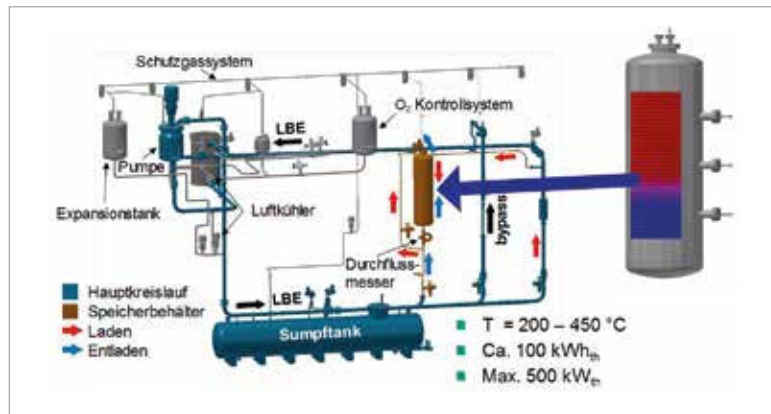


Abbildung 2
Eintank-Flüssigsalzspeicher
mit stabiler
Temperaturschichtung
[DLR]

Abbildung 3
Hochtemperatur-Flüssigmetall-Festbett-Wärmespeicher
 in der Versuchsanlage THEADES
 [KIT]



mentellen Validierung eine Kreislaufanlage mit eutektischer Blei-Wismut-Legierung bei Temperaturen zwischen 200°C und 450°C betrieben. Hier wird ein Speicher mit einer Kapazität von 100kWh und einer thermischen Leistungen von 500kW integriert.

Geplant ist, weiter mit Flüssigmetall zu arbeiten und dabei Temperaturen > 650 °C zu erreichen. Als mögliche Anwendungen können solarthermische Kraftwerke oder industrielle Hochtemperaturprozesse in Frage kommen.

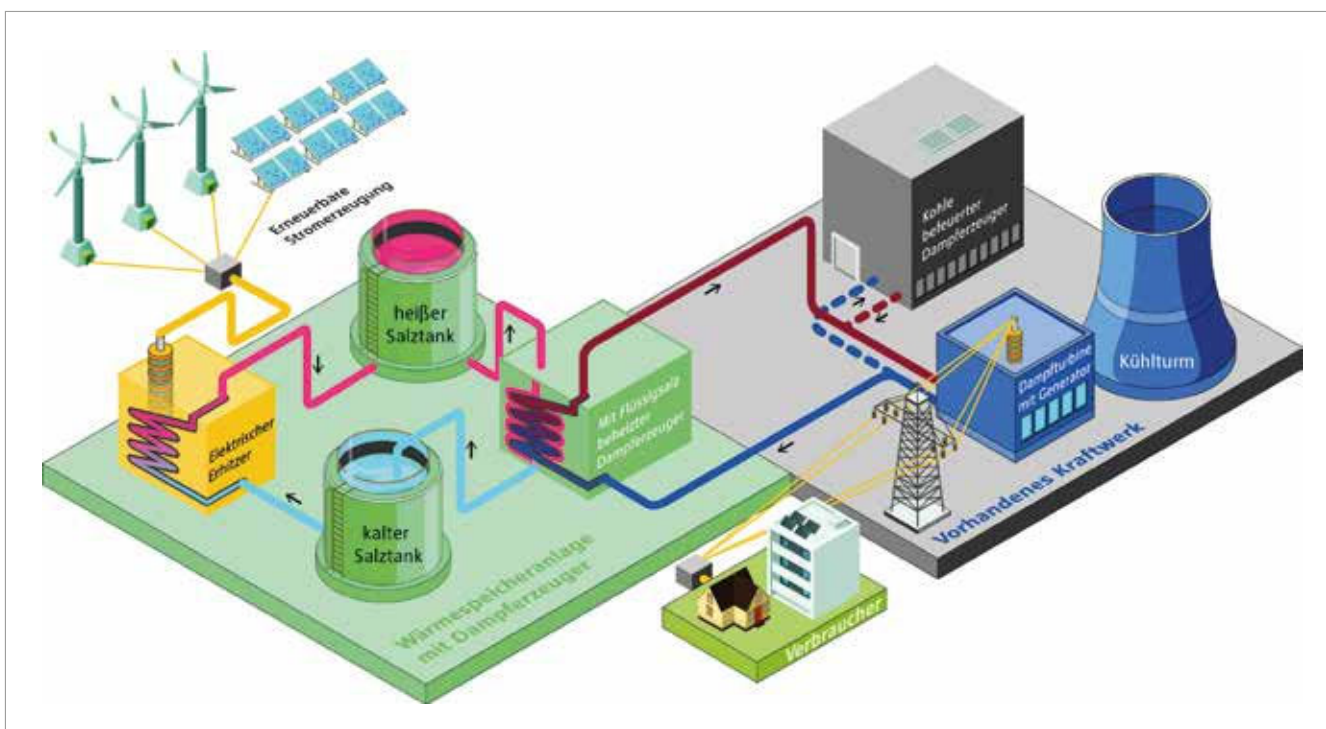
Flüssige Metalle sind bis weit über 600°C stabil und haben eine hohe Wärmeleitfähigkeit, was zu hoher Prozesseffizienz und kleinen Wärmeübertragern führen kann. Gleichzeitig beeinträchtigt diese allerdings auch, wie in den vorherigen Beispielen, die Temperaturschichtung, weswegen auch hier ein Festbett mit niedriger Wärmeleitfähigkeit eingesetzt wird (Thermocline-Prinzip).

Wärmespeicherkraftwerk – StoreToPower

Dieses Projekt des DLR soll ein Wärmespeichermodul auf Basis von Flüssigsalz oder Feststoff in einem großen Braunkohlekraftwerksblock zur Erzeugung von Frischdampf integrieren. Zunächst soll der Nachweis der technischen Machbarkeit des Anlagenkonzepts und Demonstration des Zusammenspiels mit einem Bestandskraftwerk und der Eignung des untersuchten Konzepts unter realen kommerziellen Einsatzbedingungen erbracht werden. Darüber hinaus sollen die Wirtschaftlichkeit abgeschätzt und regulatorischen Hürden identifiziert werden.

Schrittweise soll ein bestehendes Kraftwerk mit Braunkohle als Brennstoff zu einer Pilotanlage zum Nachweis der Machbarkeit von Wärmespeicherkraftwerken umgebaut werden.

Abbildung 4
Wärmespeicherkraftwerk StoreToPower
 (schematische Darstellung)
 [RWE]



Im Nachkohlzeitalter könnte dann das Kraftwerk in kommerzieller Größe im reinen Speicherbetrieb mit Nutzung von erneuerbaren Energien betrieben werden.

Forschungsinfrastruktur NADINE

Zur weiteren Untersuchung von Wärmespeichern soll eine Forschungsinfrastruktur (NADINE) in Stuttgart und Karlsruhe aufgebaut werden. Der permanente experimentelle Aufbau wird von KIT, DLR und Uni Stuttgart gemeinsam geplant und soll auch für andere Institute und die Industrie nutzbar sein. Untersuchungen können vom Material über Komponenten bis zu Systemen im MW- und MWh-Maßstab durchgeführt werden.

Für die unterschiedlichen Temperaturbereiche sind verschiedene Institute verantwortlich.



Zusammenfassung

Energiespeicher im Allgemeinen und thermische Energiespeicher im Besonderen werden eine wichtige Rolle im Energiesystem der Zukunft spielen. Speicherung ist unabdingbar für die erfolgreiche Integration erneuerbarer Energie sowie für die notwendige Steigerung der Energieeffizienz.

Zahlreiche Hochtemperatur-Speichertechnologien stehen für viele verschiedene Anwendungen zur Elektrizitätserzeugung und im industriellen Bereich zur Verfügung. Dabei ist es entscheidend, für jede Anwendung die passende Speichertechnologie zu identifizieren.

Viele Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten laufen derzeit auf dem Gebiet der Hochtemperatur-Wärmespeicherung. In nächster Zeit ist mit zukunftsweisenden Pilot- und Demonstrationsanlagen zu rechnen.