

# Wärmespeicher – Rolle im Energiesystem der Zukunft



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

DLR  
Dr. Antje Wörner  
antje.woerner@dlr.de

GFZ  
Stefan Kranz  
stefan.kranz@gfz-potsdam.de

Fraunhofer IBP  
Patrick Schumacher  
patrick.schumacher@ibp.fraunhofer.de

Fraunhofer ISE  
Stefan Gschwander  
stefan.gschwander@ise.fraunhofer.de

Fraunhofer IWES  
Jan von Appen  
jan.vonappen@iwes.fraunhofer.de  
Diego Hidalgo  
diego.hidalgo@iwes.fraunhofer.de

IZES  
Dr. Bodo Groß  
gross@izes.de  
Katherina Grashof  
grashof@izes.de

## Motivation

Im Energiekonzept der Bundesregierung vom September 2011, in dem die „Energiewende“ skizziert ist, werden die folgenden Ziele formuliert:

- Treibhausgasemissionen bis 2050 um mindestens 80 % (bezogen auf 1990) reduzieren
- 60 % des Bruttoendenergieverbrauchs kommen bis 2050 aus erneuerbaren Energiequellen (und 80 % des Stromverbrauchs!)
- Primärenergiebedarf bis 2050 um 50 % (bezogen auf 2008) durch Steigerung der Energieeffizienz verringern

In der öffentlichen Diskussion wird momentan fast ausschließlich über die Integration erneuerbarer Elektrizität diskutiert. Die zweite Säule der Energiewende, die Steigerung der Energieeffizienz, und der Wärmemarkt stehen abseits. Das ist vor allem deshalb bedenklich, weil im Jahr 2012 von den knapp 9000 PJ Endenergieverbrauch in Deutschland rund 57 % für unseren Bedarf an Wärme und Kälte aufgebracht werden mussten. Thermische Energie ist also das, was wir vorrangig brauchen!

## Anwendungen für die Energiewende

Der Bundesverband Energiespeicher (BVES) hat versucht, eine Liste möglicher Anwendungen für Energiespeicher in einem zukünftigen Energiesystem aufzu-

stellen. In *Abbildung 1* sind diese Anwendungen aufgeführt und nach den zwei Säulen der Energiewende – Erneuerbare Energien und Energieeffizienz – sortiert. Rot umrandet sind Einsatzgebiete, die prinzipiell für thermische Energiespeicher in Frage kommen.

Bei der Integration erneuerbarer Energie kommen Wärmespeicher in erster Linie im Zusammenhang mit Solarthermie für Gebäude (Heizung und Warmwasserbereitung) und industrielle Prozesswärme in Betracht. Auch der Einsatz in solarthermischen Kraftwerken sollte beachtet werden.

Nicht zu vergessen sind auch die Möglichkeiten bei der Integration erneuerbarer Elektrizität (aus PV und Wind) durch die Umwandlung von Strom in Wärme („Power-to-Heat“) und der Einsatz thermischer Energiespeicher für die Verschiebung des Bedarfs an Wärme und Kälte („Demand Side Management“ oder „Demand Side Integration“).

Im Bereich der Energieeffizienzsteigerung können thermische Energiespeicher sowohl im Gebäude- als auch im Industriebereich eingesetzt werden.

Bei der Erzeugung elektrischer Energie können sie ebenfalls deren Gesamteffizienz steigern z. B. durch Speicherung der Abwärme eines BHKWs.

Selbst bei der Mobilität könne Wärme- und Kältespeicher z. B. bei der Klimatisierung von Elektrofahrzeugen ihren Beitrag leisten.

Abbildung 1  
Anwendungen von Energiespeichern:  
rot umrandet = Einsatzgebiete thermischer Speicher  
(Datenquelle: BVES)



Im Folgenden werden konkrete Forschungsprojekte vorgestellt aus den Bereichen

1. Gebäude
2. Industrie
3. Elektrizitätserzeugung

### 1. Gebäude (Heizen/Kühlen)

Im Gebäudebereich sind zur Bereitstellung von Warmwasser und zur Heizungsunterstützung schon heute unzählige Warmwasserspeicher im Einsatz. Hintergrund ist das vergleichsweise billige Speicher-material, mit dem hohe Entladeleistungen realisiert werden können, und der passende Temperaturbereich von ca. 5 °C bis 90 °C.

Aber auch in diesem Bereich gibt es F&E-Aktivitäten, die z. B. in Richtung Langzeit-Speicherung von Wärme und Kälte im Untergrund gehen. Beispiel dafür ist ein Projekt des GFZ, bei dem ein Aquifer als Speicher für die Wärmeversorgung des Universitätscampus Berlin Charlottenburg (Technischen Universität Berlin/Universität der Künste Berlin) genutzt werden soll. *Abbildung 2* zeigt das Schema dieses Speichersystems.

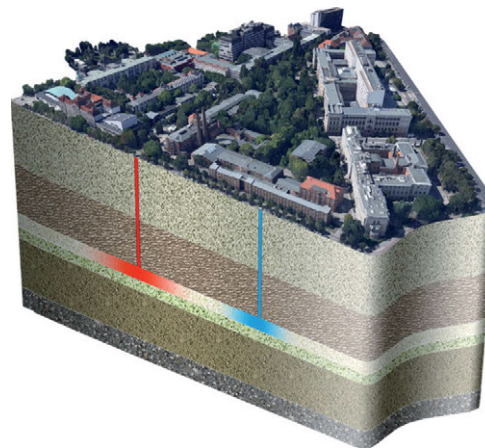


Abbildung 2

**Aquifer-Speicher**  
zur saisonalen  
Speicherung thermischer  
Energie  
(GFZ)

Im Projekt sollen untergrund- und anwendungsspezifische Speicherkonfigurationen sowie eine optimale Integration in Energieversorgungssysteme untersucht werden. Ziel ist ein sicherer und umweltfreundlicher Speicherbetrieb unter Berücksichtigung von Grundwasserschutz und geochemischen Wechselwirkungen und eine Energieversorgung von Stadtquartieren mit hoher Effizienz.

Neben der Heizung gewinnt die Kühlung von Gebäuden immer mehr an Bedeutung. Damit kann, durch die Umwandlung in Kälte und den Einsatz von Speichern bzw. die Nutzung der Gebäudemasse, der Ausgleich elektrischer Lasten für eine Optimierung des Energiesystems im dynamischen Betrieb realisiert werden (Power-to-Cold). Der Klimatisierungsbedarf besteht vorwiegend im Sektor Gewerbe/Handel/Dienstleistung sowie in der Industrie. Die Bereitstellung von Elektrizität aus PV und der Klimatisierungsbedarf korrelieren zwar prinzipiell gut miteinander, aber im Laufe des Tages heizen sich Gebäude auf und Bedarfsspitzen für die Klimatisierung treten zeitlich versetzt nach den Spitzen der PV-Einspeisung auf. Dies kann durch die Nutzung der Gebäudemasse als thermischer Speicher und die Erhöhung der Speicherfähigkeit durch PCM (Phasenwechselmaterialien) oder Eisspeicher abgefangen werden. Berechnungen des Fraunhofer IBP zeigen, dass so der Eigenverbrauch kostengünstig erhöht werden und die Lastspitze der Kälteerzeugung um 3 Stunden verschoben werden kann.

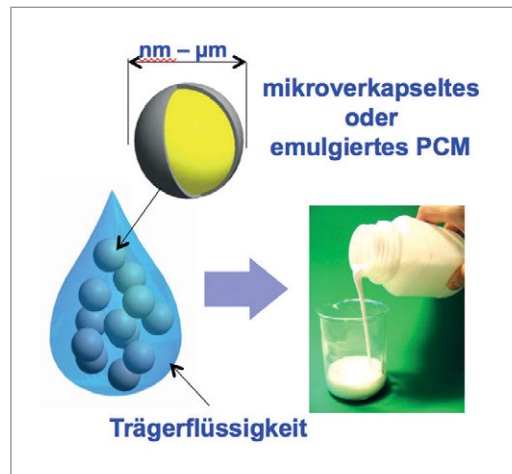


Abbildung 3

**Phase Change Slurry (PCS):**  
Trägerflüssigkeit mit  
mikroverkapseltem  
oder emulgiertem Phase  
Change Materials  
(PCM)  
(Fraunhofer ISE)

Am Fraunhofer ISE werden auch für diesen Einsatz sogenannte Phase Change Slurries (PCS) entwickelt. Damit kann die erzeugte Kälte mit der hohen Energiedichte eines Latentwärmespeichers aufgehoben und durch Pumpen z. B. innerhalb eines Gebäudes verteilt werden. *Abbildung 3* zeigt das Prinzip von PCS basierend auf der Mikroverkapselung von Latentwärmematerialien (engl. PCM = Phase Change Materials) oder dem Herstellen von PCM-Emulsionen.

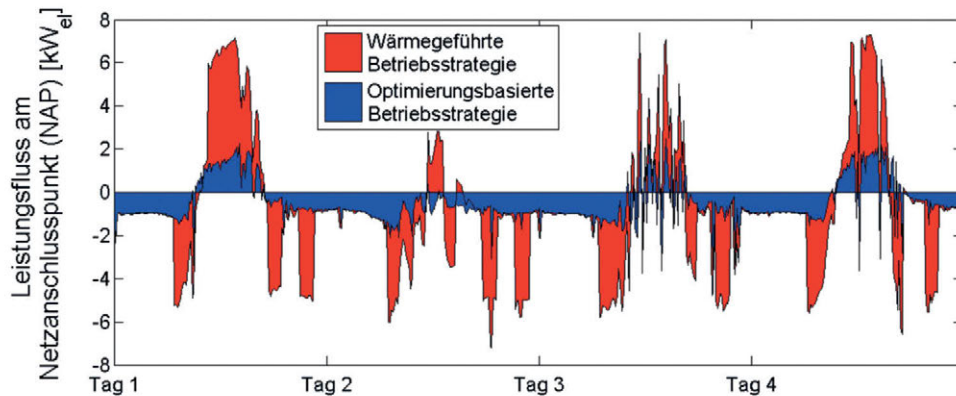
### 2. Industrielle Prozesse

Mehr als zwei Drittel der Endenergie der Industrie wird für Prozesswärme verbraucht. Das Potenzial der Abwärmenutzung im industriellen Bereich wurde vom IZES abgeschätzt. Unter Berücksichtigung der energieintensivsten Branchen steht damit insgesamt ein theoretisches Potenzial von etwa 255 TWh/a zur Verfügung. In der Studie wurde unterschieden zwischen einer weiteren Nutzung der Abwärme in Form von Wärme und der Erzeugung von Elektrizität bei hohen Abwärmertemperaturen. Für die reine

Abbildung 4  
 Mobiler Sorptionspeicher mit Zeolith zur Nutzung industrieller Abwärme einer Müllverbrennungsanlage (ZAE Bayern)



Abbildung 5  
 Wärmespeicher steigern Netzdienstlichkeit von PV-Wärmepumpensystemen:  
 Blau = Betriebsweise mit Speicher  
 Rot = Betriebsweise ohne Speicher (Fraunhofer IWES)



Nutzwärmeerzeugung beträgt das Potenzial etwa 203 TWh/a und eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von ca. 55 Mio. t CO<sub>2</sub>äq/a. Die theoretisch erzeugbare maximale Strommenge beträgt etwa 33 TWh/a und die CO<sub>2</sub>-Einsparung liegt bei ca. 20 Mio. t CO<sub>2</sub>äq/a.

Um industrielle Abwärme nutzbar machen zu können, ist es oft sinnvoll eine zeitliche und räumliche Verschiebung durch Speicherung zu ermöglichen. Damit kann Abwärme gespeichert und zu einem potenziellen Verbraucher transportiert werden. Das ZAE Bayern hat dazu einen mobilen Sorptionsspeicher entwickelt. *Abbildung 4* zeigt den Speicher mit Zeolith gefüllt auf der Straße. Der Speicher holt Abwärme aus einer Müllverbrennungsanlage und transportiert sie zu einem industriellen Trocknungsprozess in ca. 7 km Entfernung.

### 3. Elektrizitätserzeugung und -bereitstellung

Durch die Verbindung der beiden Sektoren Strom und Wärme lassen sich Vorteile bei der Integration und Nutzung erneuerbarer Energien erschließen. So kann beispielsweise ein PV-Wärmepumpensystem allein kaum den Eigenverbrauch steigern oder sich netzdienlich verhalten. In Verbindung mit einem

Wärmespeicher kann allerdings eine optimierungsbasierte Betriebsstrategie gefahren werden.

*Abbildung 5* zeigt, wie Einspeise- und Lastspitzen deutlich reduziert werden können. Die Betriebsweise mit thermischem Speicher (in der Abbildung blau) zeigt deutlich reduzierte Leistungsspeaks. Ebenso kann die PV-Netzintegration bei erhöhtem PV-Eigenverbrauch ohne Komfortverlust umgesetzt werden.

Bei der Elektrizitätserzeugung in solarthermischen Kraftwerken können thermische Energiespeicher einen kontinuierlichen Betrieb gewährleisten. Schon kommerziell im Einsatz sind heute Flüssigsalzspeicher, die bei Temperaturen zwischen 290 °C und 550 °C betrieben werden. Am DLR werden auch Latentwärmespeicher im Pilotmaßstab getestet. Diese Systeme sind aufgrund ihrer konstanten Temperatur ideal für die Direktverdampfung im Kraftwerksprozess.

Als Zukunftsoption wird am DLR auch an thermochemischen Speichern geforscht. Zum Beispiel wird im Projekt BERTI die chemische Wärmespeicherung mit Kalk als kostengünstigem Speichermedium erprobt. Die Laboranlage verfügt als Besonderheit über ein „wanderndes Reaktionsbett“. Dadurch können die

Wärmekapazität des Speichers und seine Wärmeleistung unabhängig voneinander ausgelegt werden (siehe *Abbildung 6*). Ein Demonstrationsreaktor im 10 kW-Maßstab soll 2016 in Betrieb gehen.



Abbildung 6  
**Thermochemischer Speicher**  
für den Einsatz in solarthermischen Kraftwerken im Labor (DLR)

## Zusammenfassung

Für die Umsetzung der Energiewende in Deutschland können thermische Energiespeicher in einer Vielzahl von Anwendungen ihren Beitrag leisten. Sowohl bei der Integration erneuerbarer Energiequellen, als auch bei der Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebereich und in der Industrie können Wärme- und Kältespeicher große Potenziale ausschöpfen. Dafür stehen vielfältige Speichertechnologien zur Verfügung.

In Deutschland laufen momentan zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, die die Möglichkeiten thermischer Energiespeicherung breit abdecken. Dabei können innovative Ansätze wie Power-to-Cold, Abwärmenutzung in der Industrie durch mobile Wärmespeicher oder Hochtemperaturspeicher bei der Stromerzeugung die Einsatzpotenziale noch erweitern.