

Bavarian Center for Applied Energy Research
- ZAE Bayern -

Überblick zu internationalen F&E Aktivitäten und Anwendungsfällen für kompakte thermische Energiespeicher

Andreas Hauer



© Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.
Alle Rechte vorbehalten, auch bezüglich jeder Verfügung, Vervielfältigung, Reproduktion, Bearbeitung und Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.



Technologien thermischer Energiespeicher

Thermische Energiespeicher

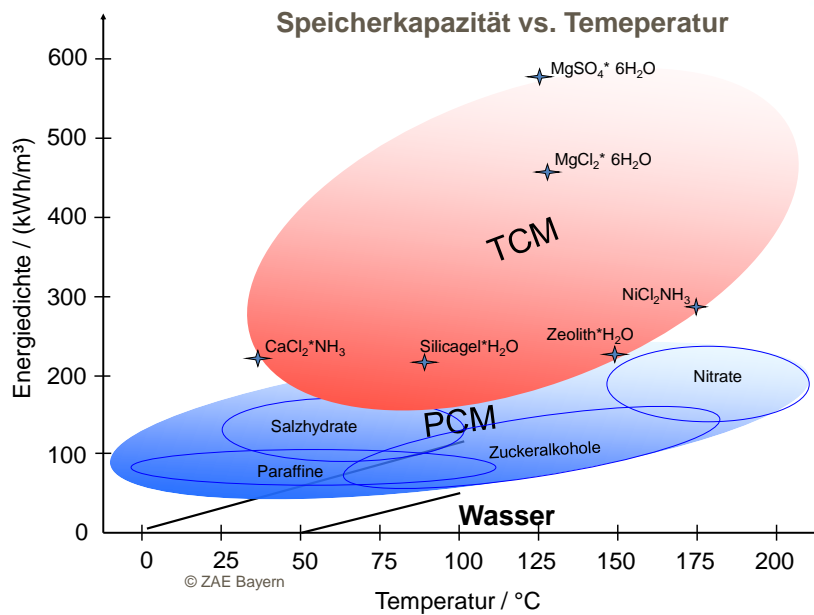


Thermische Energiespeicher-Technologien:

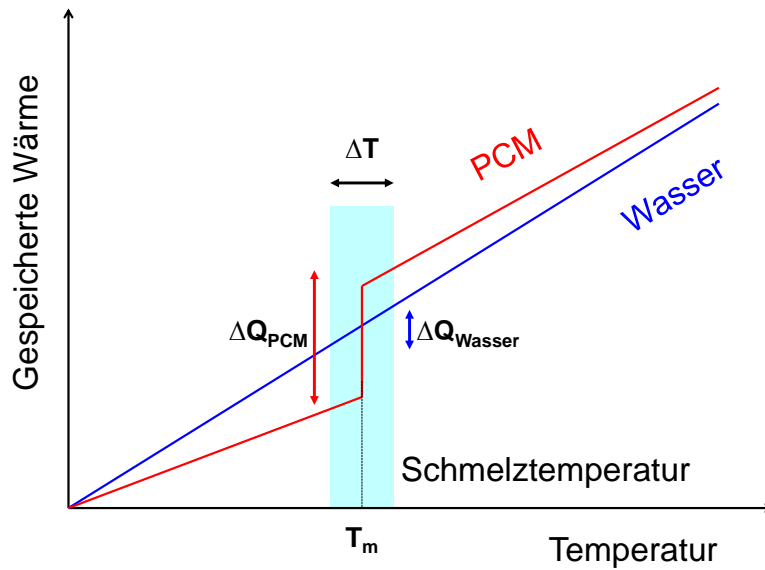
- Speicherung sensibler Wärme
- Speicherung latenter Wärme
- Thermochemische Speicherung



Thermische Energiespeicher



Sensible / Latente Speicher



© ZAE Bayern

5

Thermochemische Speicher



Chemische Reaktionen:

CHARGE



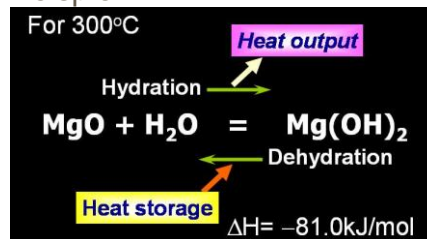
STORE



DISCHARGE



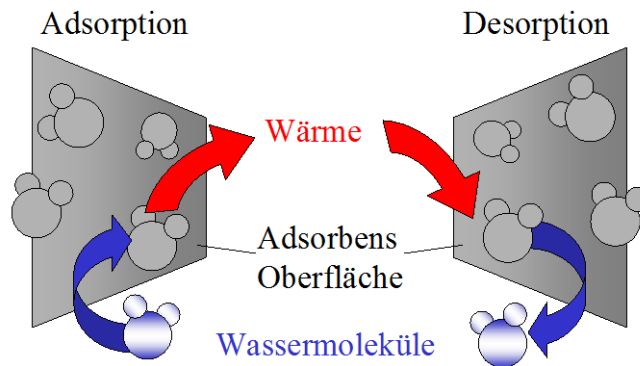
Beispiel:



Thermochemische Speicher



Zeolith/Wasser + Wärme \rightleftharpoons **Zeolith+Wasser**

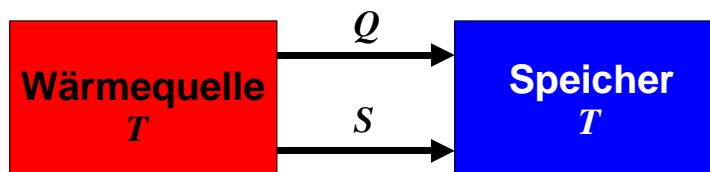


© ZAE Bayern

Direkte Wärmespeicherung



Sensible / Latente Speicher



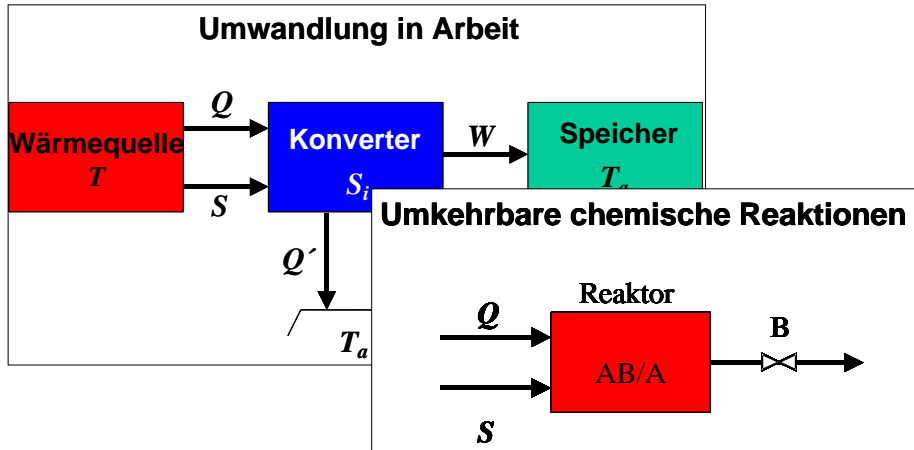
Erwärmen
Schmelzen
Verdampfen

Schwer zu Handhaben!

➔ Autarke Speicher

Indirekte Wärmespeicherung

z.B. Thermochemische Speicher

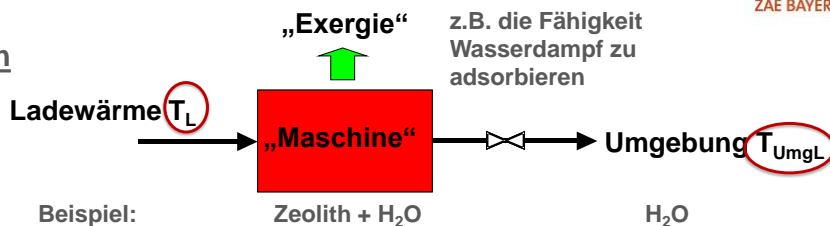


➔ Nicht-autarke Speicher

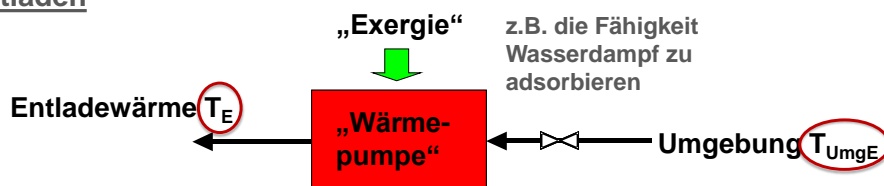
Thermodynamischer Prozess



Laden



Entladen



Thermodynamischer Prozess



Carnot Wirkungsgrad

Laden

$$\eta_L = 1 - T_{UmgL} / T_L$$

Entladen

$$\eta_E = 1 / (1 - T_{UmgE} / T_E)$$

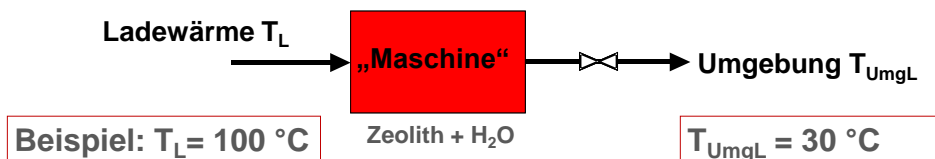
Speicherung

$$\eta_{Spei} = \eta_L \cdot \eta_E$$

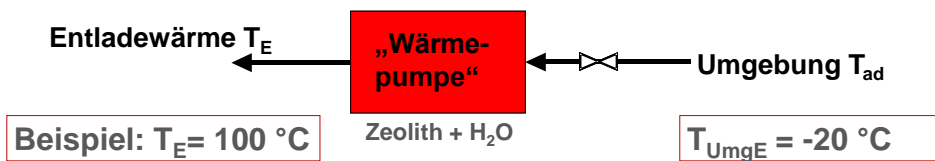
Thermodynamischer Prozess



Laden



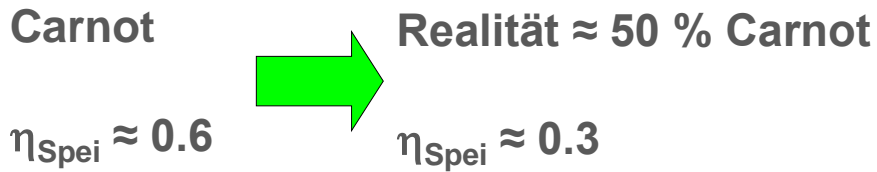
Entladen



Thermodynamischer Prozess



Beispiel: Saisonale Speicherung Solarer Wärme



**Sehr starke Abhängigkeit von den
Prozessparametern!**



**Anwendungsfälle für
thermische Energiespeicher**

Energiespeicher für die Energiewende

Integration Erneuerbarer Energien

Integration Erneuerbarer Elektrizität

- Netzstabilität
 - Frequenzregelung
 - Spannungshaltung
 - Leistungsausgleich/SRL
- Netzausgleich (Energie)
 - positive/negative Regelenergie
 - Peak Shaving
 - Eigenverbrauch, Inselbetrieb,...
- Demand Side Integration
 - Verschiebbare Last
 - Power to Gas
 - Power to Heat
- Sicherheit, Back-up...

Integration Solarer Wärme

- Solarthermische Kraftwerke
- Solare Prozesswärme
- Solarthermie für Heizung/
Warmwasser...

Steigerung der Energieeffizienz

Industrielle Prozesse

- Abwärmenutzung
- Rekuperation mechanischer Energie

Gebäude

- Heiz- und Kühlbedarf
 - Tag/Nacht-Ausgleich
 - Sommer/Winter-Ausgleich

Elektrizitätserzeugung

- Fossile Kraftwerke
- Kraft-Wärme-Kopplung
- ...

Mobilität

- Antrieb
- Heizung / Klimatisierung

1
5

Energiespeicher für die Energiewende

Integration Erneuerbarer Energien

Integration Erneuerbarer Elektrizität

- Netzstabilität
 - Frequenzregelung
 - Spannungshaltung
 - Leistungsausgleich/SRL
- Netzausgleich (Energie)
 - positive/negative Regelenergie
 - Peak Shaving
 - Eigenverbrauch, Inselbetrieb,...
- Demand Side Integration
 - Verschiebbare Last
 - Power to Gas
 - Power to Heat
- Sicherheit, Back-up...

Integration Solarer Wärme

- Solarthermische Kraftwerke
- Solare Prozesswärme
- Solarthermie für Heizung/
Warmwasser...

Steigerung der Energieeffizienz

Industrielle Prozesse

- Abwärmenutzung
- Rekuperation mechanischer Energie

Gebäude

- Heiz- und Kühlbedarf
 - Tag/Nacht-Ausgleich
 - Sommer/Winter-Ausgleich

Elektrizitätserzeugung

- Fossile Kraftwerke
- Kraft-Wärme-Kopplung
- ...

Mobilität

- Antrieb
- Heizung / Klimatisierung

EES – TES – EES/TES/CES

1
6

Thermische Speicher bei der Elektrizitätserzeugung



© DLR

Molten Salt Storage für Concentrated Solar Power



© Solar Millennium



Hoch-Temperatur Betonspeicher für die Elektrizitätserzeugung

Saisonale Speicherung solarer Wärme



Warmwasserspeicher am Ackermannbogen, München

© ZAE Bayern

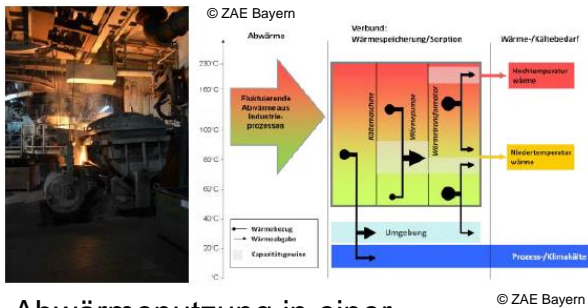


Solar Community & Borehole UTES at Drake Landing, Canada



© Solarthermalworld

Abwärmenutzung/ Prozesswärme



Abwärmenutzung in einer Eisengießerei durch einen kombinierten Thermalöl- und Gesteinsspeicher

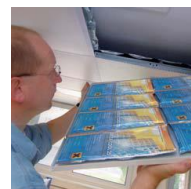
Gebäude: Air Conditioning & Kühlen



„Passive Cooling“

„Phase Change Slurries“

Offene „Desiccant“-Systeme



Gebäude: Heizen & Warmwasser



Warmwasserspeicher

Unterkühltes PCM



Chemische Reaktionen: z.B. Magnesium-Chlorid

Thermische Speicher und Kraft-Wärme-Kopplung



BHKW mit
Warmwasserspeicher



© ASUE e.V. / SenerTec Kraft-Wärme-Energiesysteme GmbH

© DLR & STEAG New Energies GmbH



Latentwärmespeicher für ein
KWK-Kraftwerk



...noch 2 Beispiele für geeignete Anwendungen thermochemischer Speicher

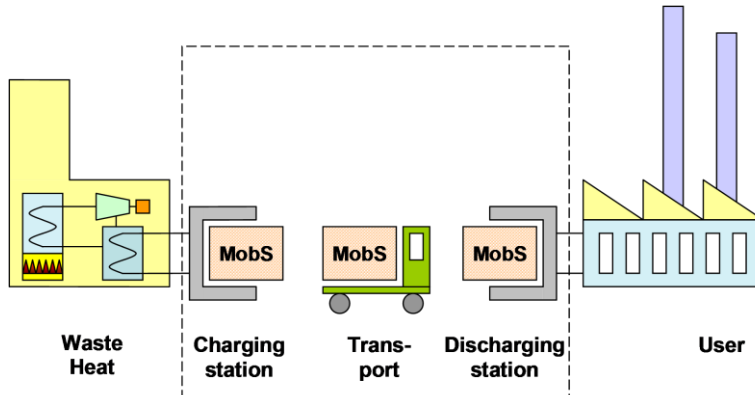


Mobiler Sorptionsspeicher

Warum ein „mobiler“ Sorptionsspeicher?



- Andere Zeit und anderer Ort!
- Flexibler Energietransport wo stationäre Systeme zu teuer
- Hohe Speicherkapazität und thermische Leistung durch Adsorption

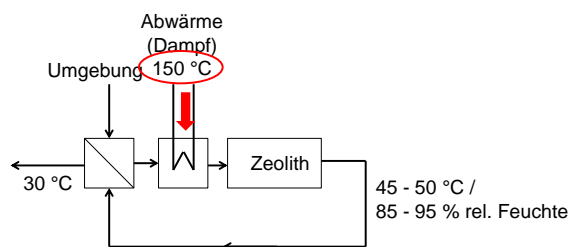


© ZAE Bayern

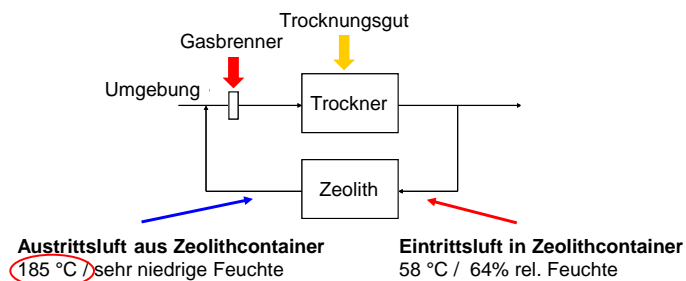
Sorptionsprozess



Laden



Entladen



© ZAE Bayern

Mobiler Sorptionsspeicher



Demonstrationsanlage

Müllverbrennung Hamm/NRW

Bis zu 4 MWh, ca. 750 kW thermische Leistung

$T_L = 135\text{ °C}$, $T_E = 160\text{ °C}$



© ZAE Bayern

27



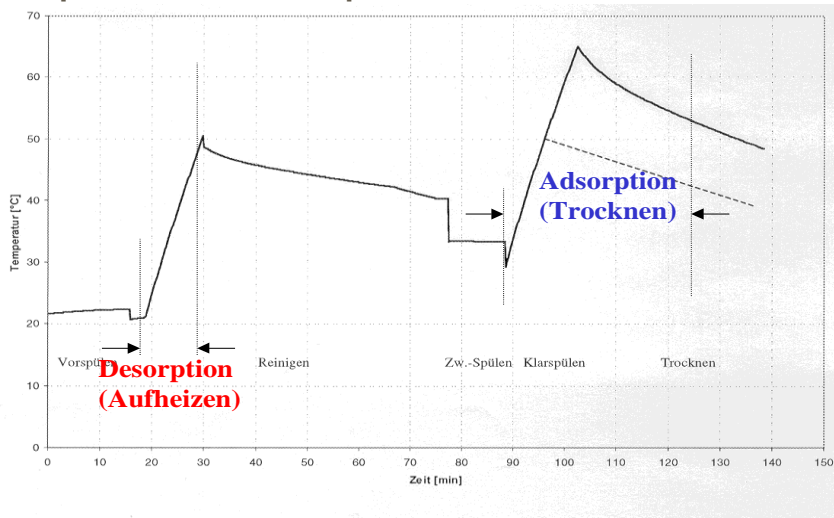
Sorptiver Geschirrspüler

© ZAE Bayern

Sorptiver Geschirrspüler



Temperaturverlauf im Spüler



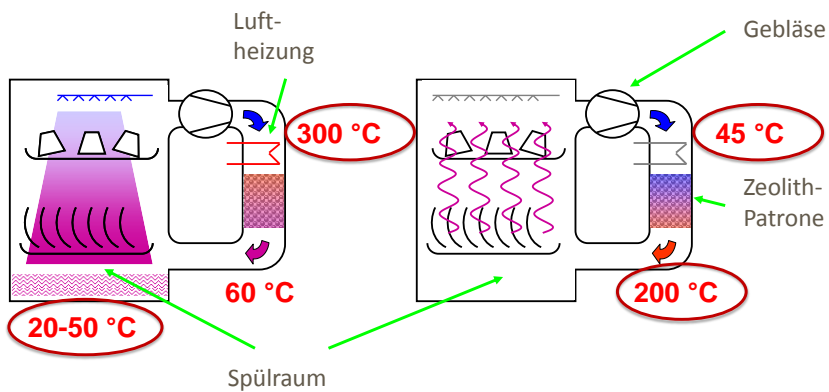
© ZAE Bayern

Sorptiver Geschirrspüler



Spülen

Trocknen

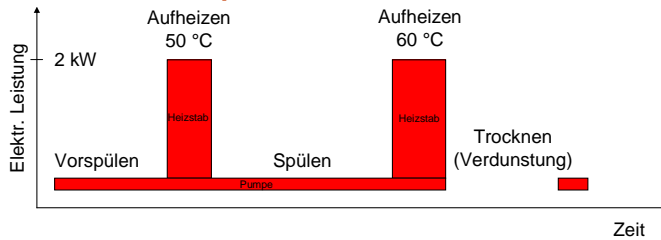


© ZAE Bayern

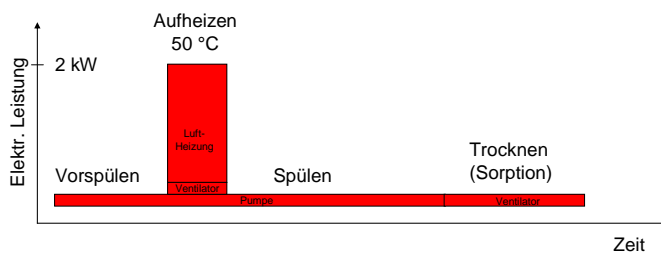


Sorptiver Geschirrspüler

Konventioneller Spüler



Spüler mit Sorptionstrocknung



© ZAE Bayern

Sorptiver Geschirrspüler



Energieverbrauch

Konventioneller Geschirrspüler	1.05 kWh
Geschirrspüler mit Zeolith	0.80 kWh
Energieeinsparung (ca. 25 %)	0.25 kWh

Randbedingungen

Spülvorgänge pro Jahr	250
Lebensdauer	10 Jahre
Geschirrspülerproduktion pro Jahr	1.8 Mio.
1kWh = 0,5kg CO ₂ (EU-Energiemix)	



Energieeinsparung pro Jahr	112.5 GWh
Energieeinsparung über 10 Jahre	1.125 TWh
Reduktion CO₂-Emissionen	562,500 t

© ZAE Bayern



Zusammenfassung

Zusammenfassung



- ➡ **Thermische Speichertechnologien haben durchaus unterschiedliche Eigenschaften und Abhängigkeiten**
- ➡ **Die Abhängigkeiten für einen optimalen Speicherbetrieb müssen berücksichtigt werden**
- ➡ **Es gibt eine große Zahl verschiedener Anwendungsbereiche für thermische Energiespeicher**
- ➡ **Thermische Energiespeicher werden sich technisch und wirtschaftlich da durchsetzen, wo Technologie und Anwendung zueinander passen**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



© Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.
Alle Rechte vorbehalten, auch bezüglich jeder Verfügung, Vervielfältigung, Reproduktion, Bearbeitung und Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.