



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Wärme speichern mit Salz und Kalk – Faszination der Hochtemperatur-Speicherung

Berliner Energietage 2013 | 16.05.2013

Doerte Laing, Antje Wörner

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Ziele Hochtemperaturspeicherung

Übergeordnete Ziele

Entwicklung fortschrittlicher Wärmespeicher für industrielle Prozesswärme (100 kW-MW) und Kraftwerkstechnik (1-100 MW)

Beitrag zur breiten Markteinführung von Wärmespeichertechnologien

Kernziel heißt Kostensenkung

DLR Fokus der Entwicklungen

Materialien mit verbesserten thermophysikalischen Eigenschaften

Effiziente Lösungen für Wärmetransport und Wärmeein- und -Auskopplung

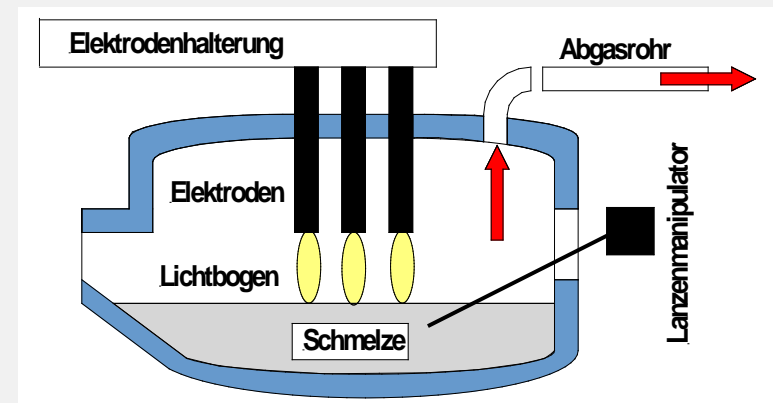
Kostengünstige Auslegungskonzepte

Optimierte Speicherintegration

Umsetzung von Lösungen mit deutlichem Potential zur Kostensenkung

Anwendung Stahlwerk: Verstromung von Abwärme

⇒ Flüssigsalzspeicher zur Glättung
diskontinuierlicher Abwärmeströme



Anwendung Prozessindustrie: Batchprozesse Baustoffherstellung

Dampfhärtung in Autoklaven

Produktion in Deutschland:

- Porenbeton ca. 3,5 mio m³/a
- Kalksandstein ca. 6 mio t/a

⇒ Speicherintegration in Autoklaven-Kreislauf:
Beladung mit Dampf aus Autoklaven
Entladung zur Vorwärmung des Speisewassers



Anwendung Heizkraftwerk: Besicherung Prozessdampfschiene

Grubengas-Heizkraftwerk Wellesweiler (STEAG)

1. EEG-geförderte Anlage im Saarland,
Betrieb seit 2002

KWK-Anlage:

Strom 39.500 MWh/a

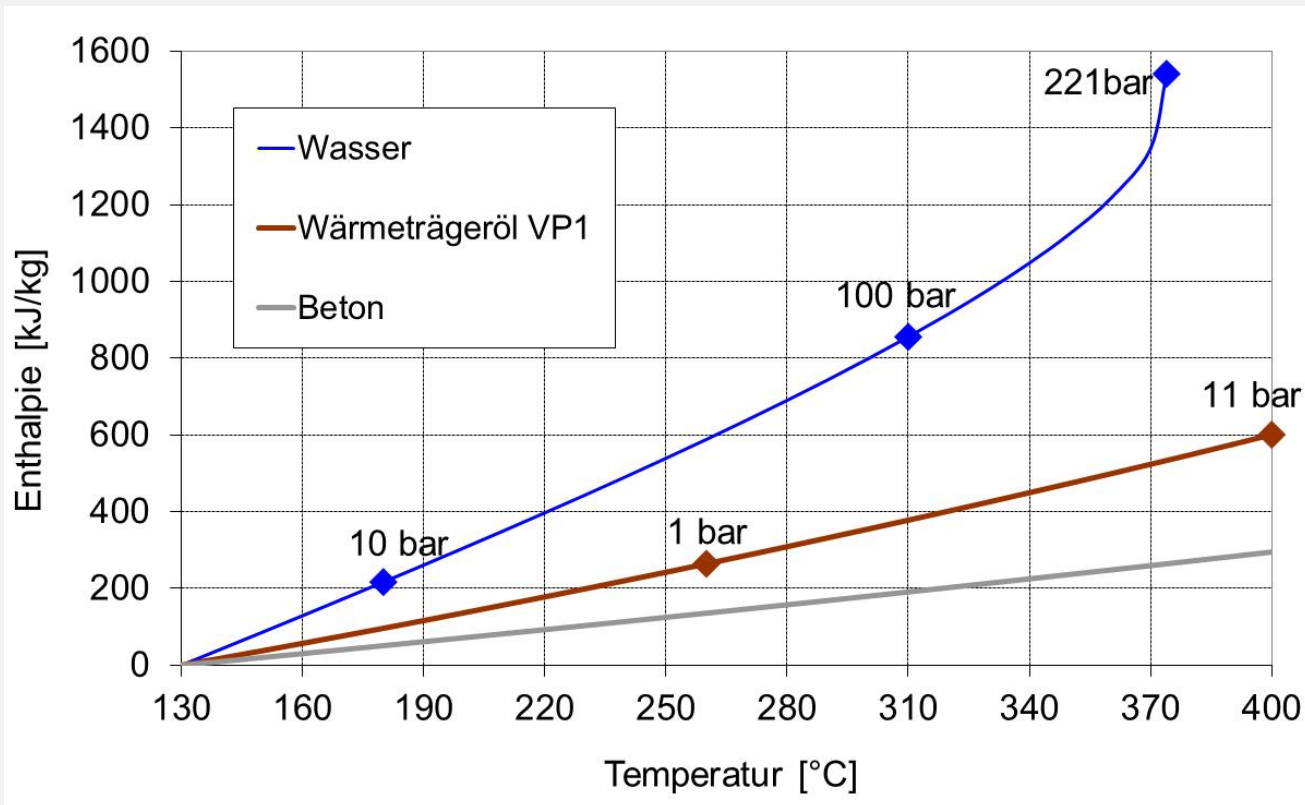
Wärme: 62.000 MWh/a

Strom und Wärme für Industrie- und
Gewerbebetriebe

⇒ Latentwärmespeicher zur Besicherung der
Dampfproduktion



Salze als Speichermaterialien



Wasser:

- Extremer Druck

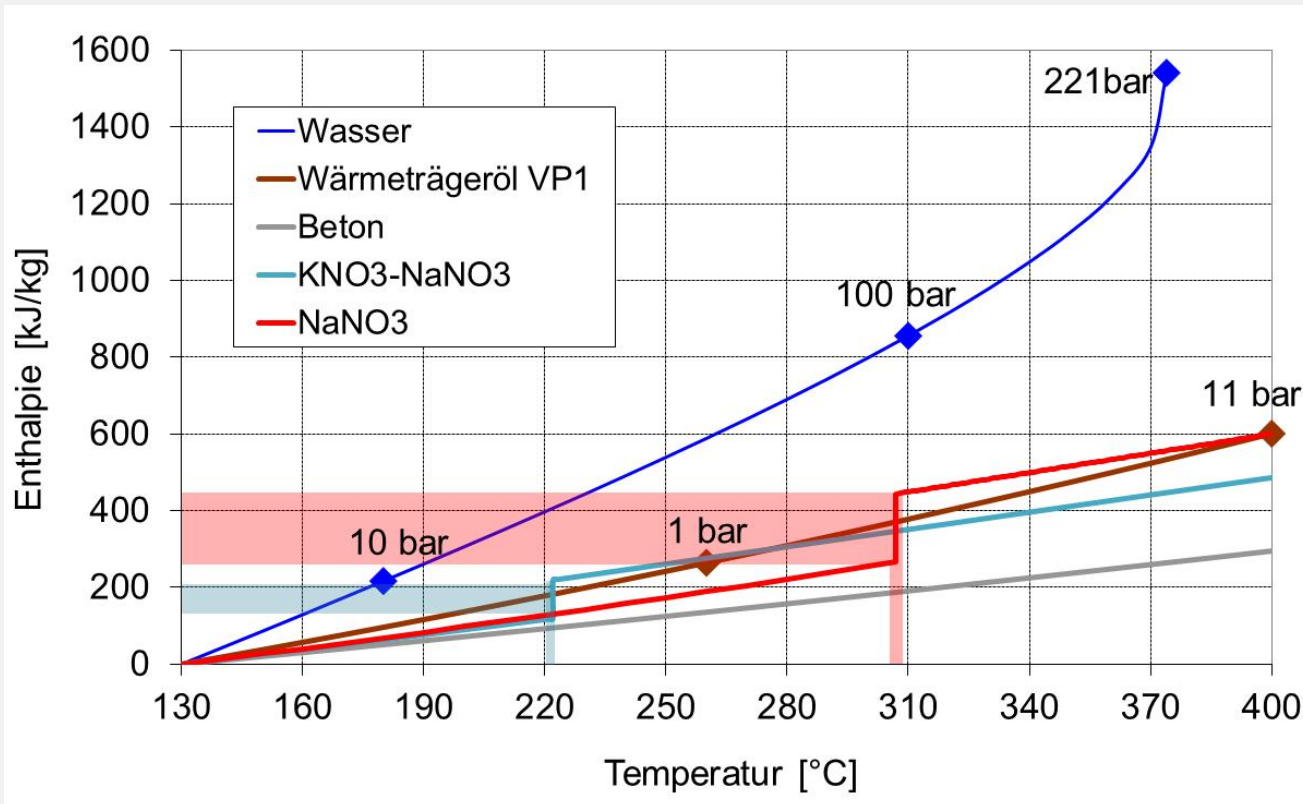
Öl:

- Druckbeaufschlagt
- Hohe Kosten

Beton:

- Kostengünstig
- Geringste Kapazität

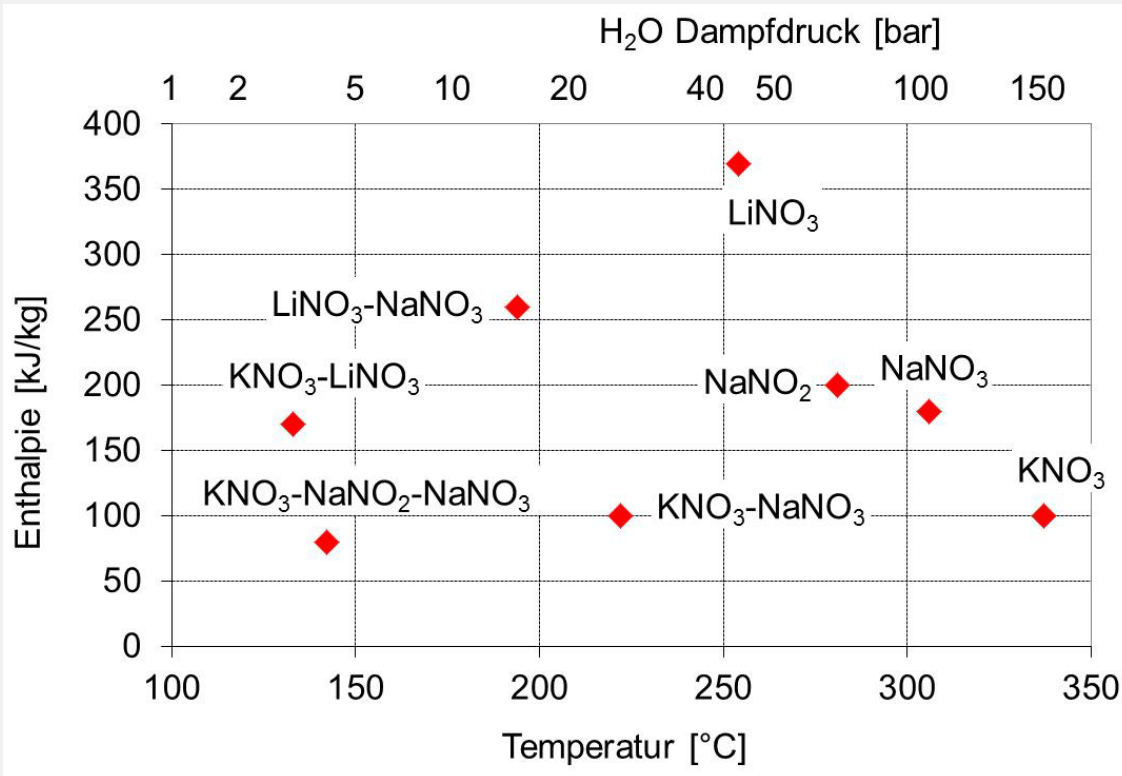
Salze als Speichermaterialien



Salze:

- Speicherkapazität vergleichbar mit Öl
- Kostengünstiger als Öl
- drucklos
- Sensibler Speicher => Flüssigsalz für hohen Temperaturbereich
- Latenter Speicher => Phasenwechsel

Phasenwechsellmaterialien für Prozesswärme und Kraftwerke

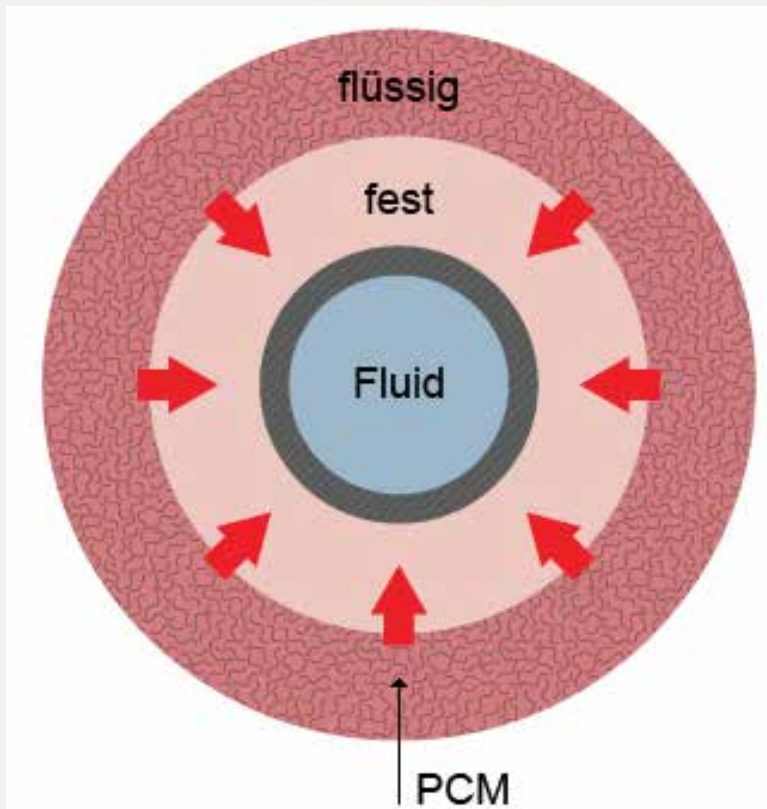


Nitratsalze und ihre Mischungen
gut geeignet für den
Temperaturbereich 120-600 °C

Vier PCM-Salz-Systeme
demonstriert:

- $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-NaNO}_2$ 142 °C
- $\text{LiNO}_3 - \text{NaNO}_3$ 194 °C
- $\text{NaNO}_3 - \text{KNO}_3$ 222 °C
- NaNO_3 305 °C

Latentwärmespeicher – Designkonzepte



Wärmedurchgangskoeffizient wird durch geringe Wärmeleitfähigkeit des festen PCM dominiert

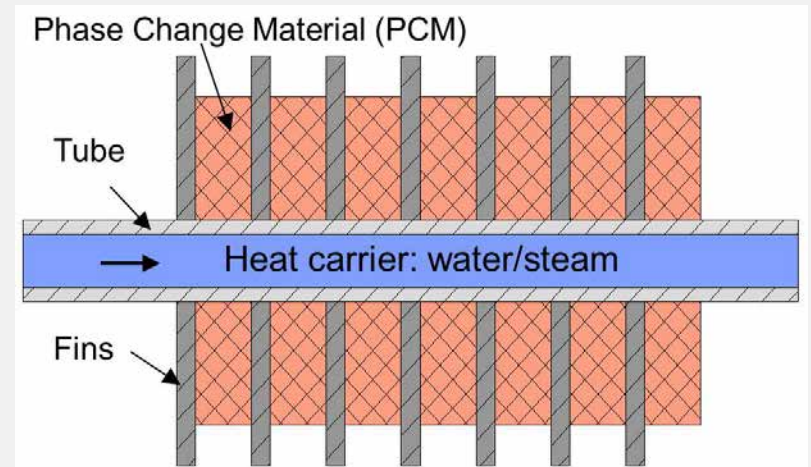
⇒ geringe Wärmeleitfähigkeit des PCM bildet den Flaschenhals für die Leistungscharakteristik

Latentwärmespeicher – Designkonzepte

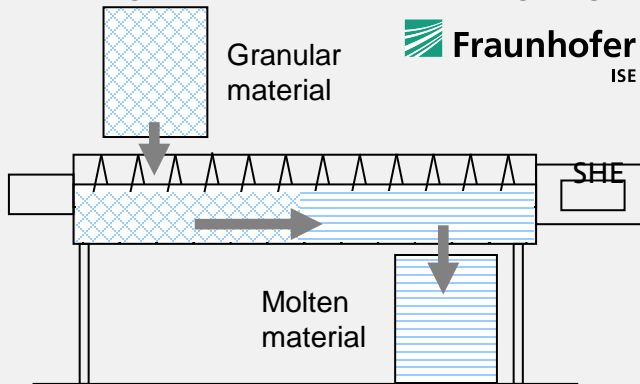
Verkapselung



Vergrößerte Wärmeübertragerstruktur



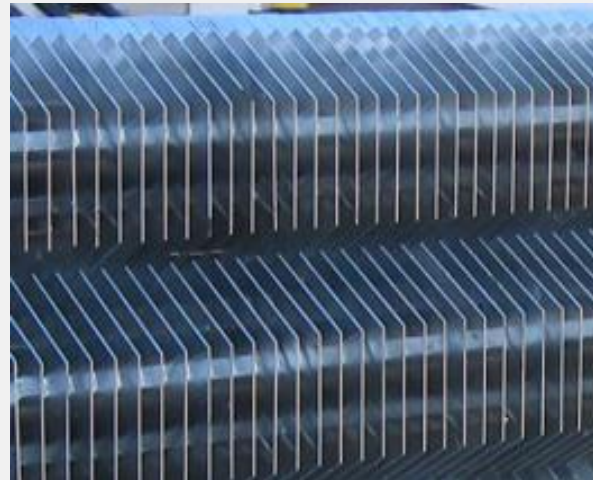
Trennung von Wärmeübertragung und Kapazität



Latentwärmespeicher – Designkonzepte



Graphitrippen radial
Horizontale Rohre
 $T < 250 \text{ °C}$



Aluminiumrippen radial
Vertikale Rohre
 $T < 350 \text{ °C}$



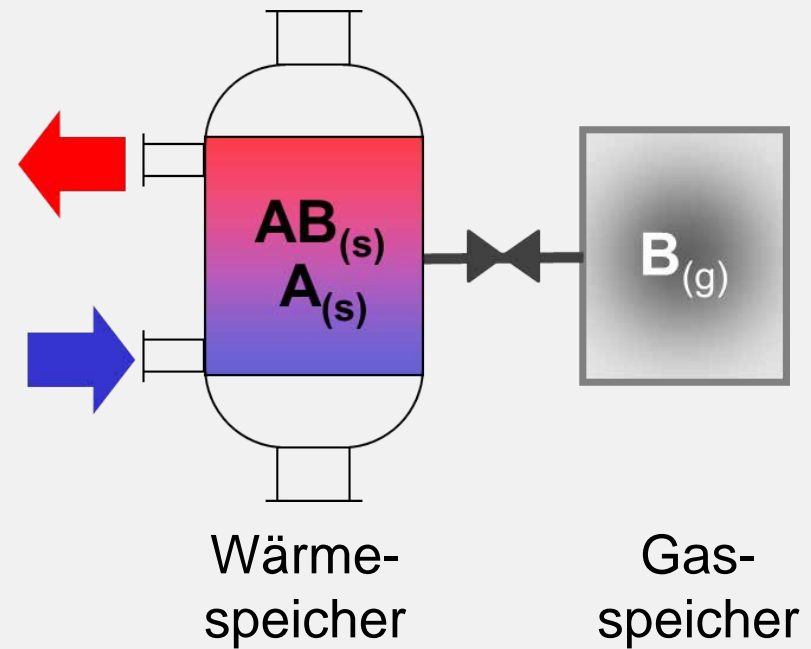
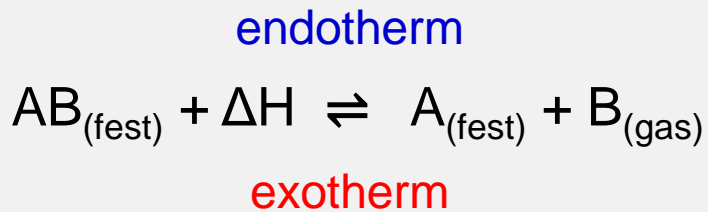
Aluminiumrippen längs
Vertikale Rohre
 $T < 350 \text{ °C}$

Latentwärmespeicher – Stand der Entwicklung

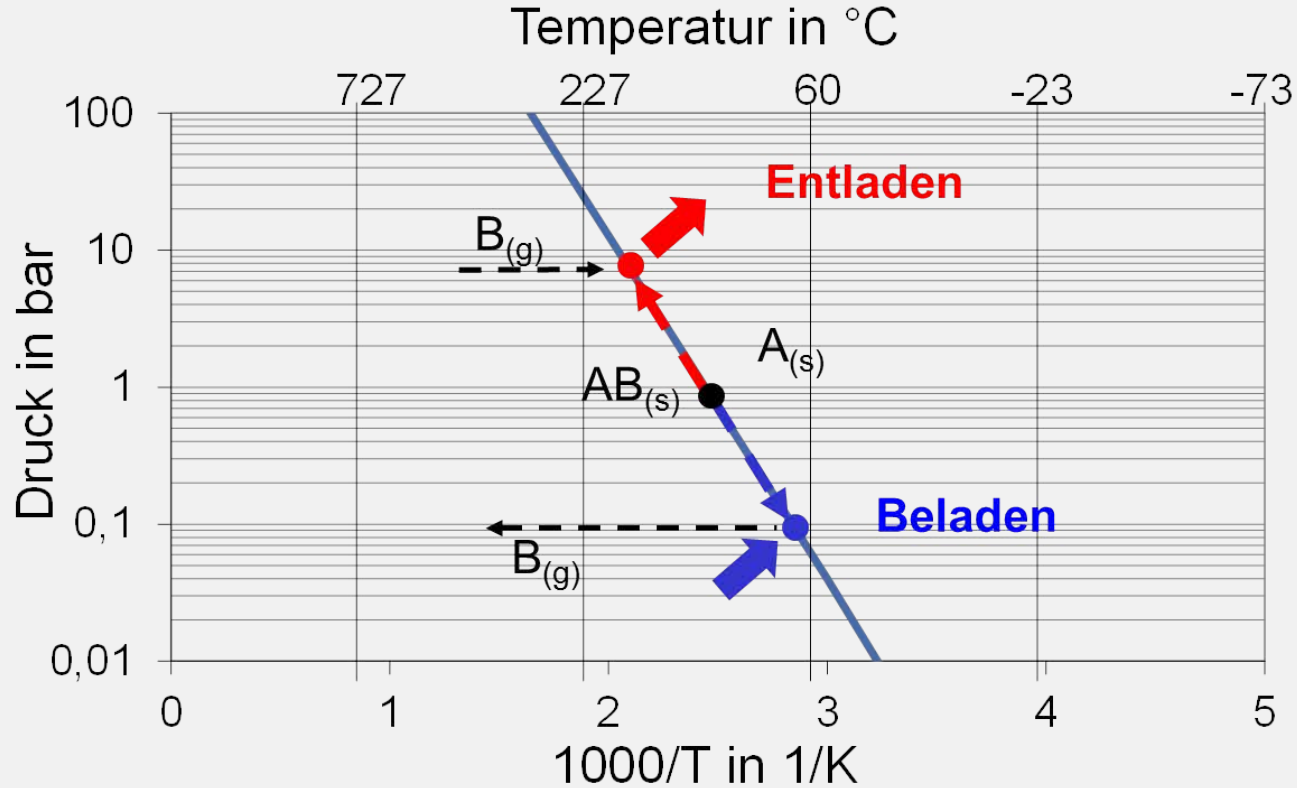
- Beripptes Rohrkonzept in 5 Testmodulen mit 140 – 2000 kg PCM demonstriert
- Weltweit größter Hochtemperatur-Latentwärmespeicher mit 14 Tonnen NaNO_3 (700 kWh) in 2010/2011 erfolgreich getestet (2949 h, 95 Zyklen)



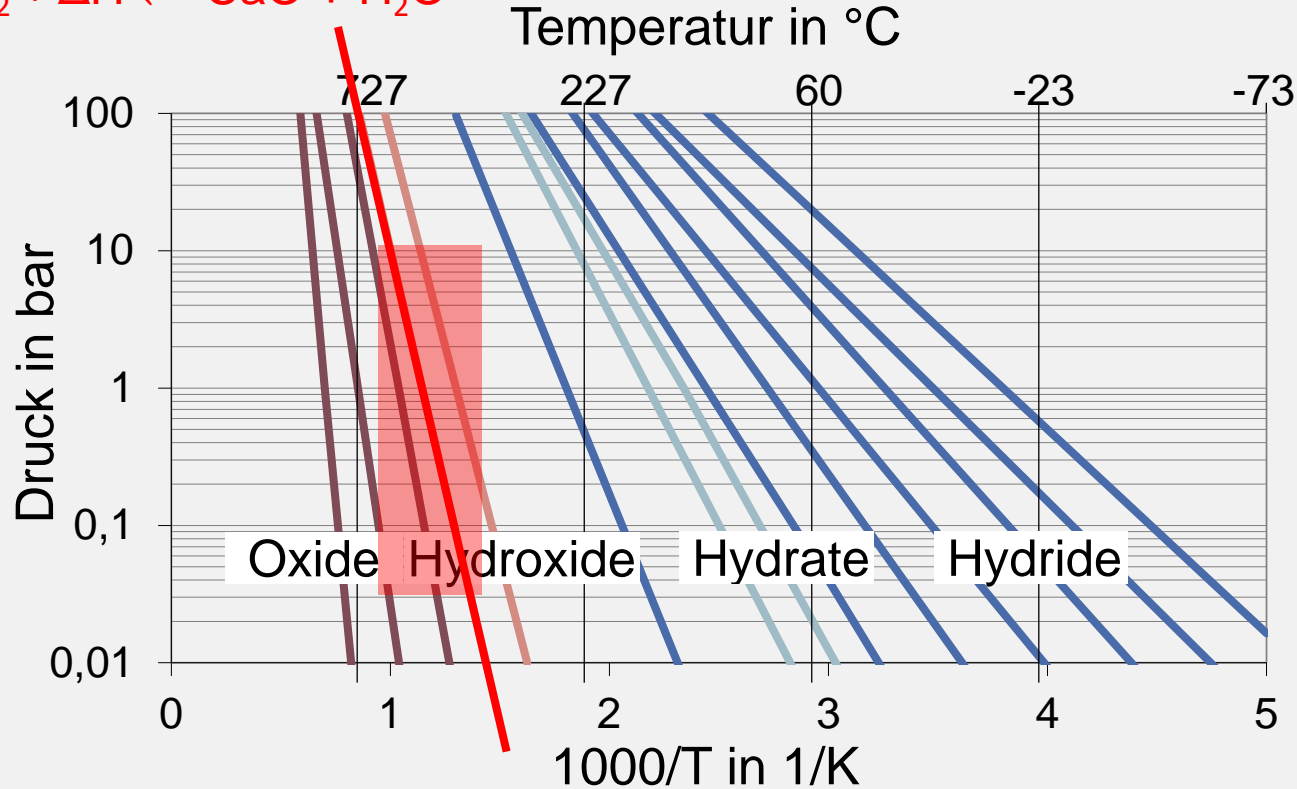
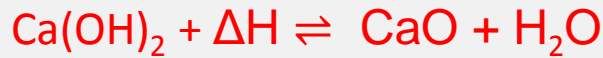
Reversible Gas-Feststoffreaktionen zur Wärmespeicherung



Der Druck als Stellgröße für die Temperatur



Reaktionssysteme in einem breiten Temperaturbereich



Kalk als Speichermaterial

- Bekanntes Reaktionssystem
- Reaktionspartner: Wasserdampf
- Kostengünstiges Ausgangsmaterial (Kalkstein / CaCO_3)
- Hohe Reaktionsenthalpie $\sim 100 \text{ kJ/mol}$
- Große Speicherkapazität kostengünstig realisierbar
- Erreichbare Speicherdichten:

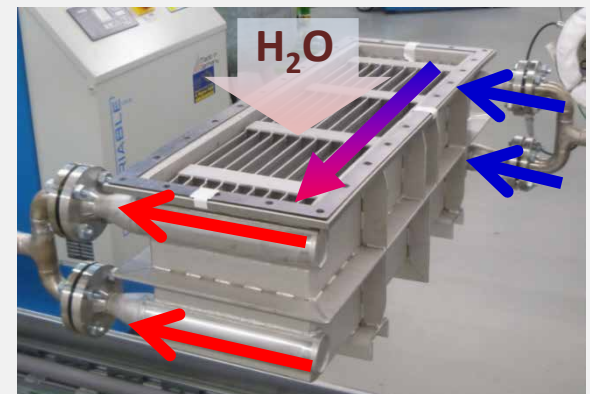
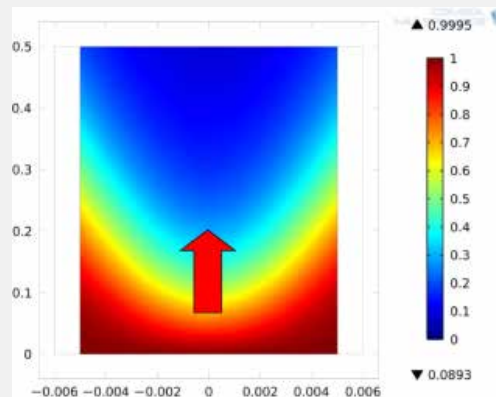
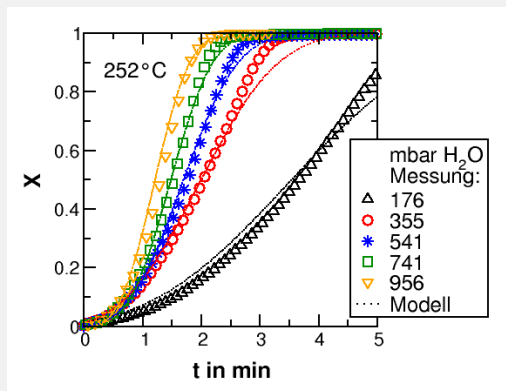


Kalksteinbruch Hahnstetten

$T_{\text{GGW}}[1 \text{ bar}]$	$\Delta H [1 \text{ bar}]$	Speicherdichte*		
		Nur Feststoff kWh/m^3	Feststoff + H_2O kWh/m^3	Gewichtsbezogen kWh/t
$^{\circ}\text{C}$	kJ/mol			
507	100	410	323	373

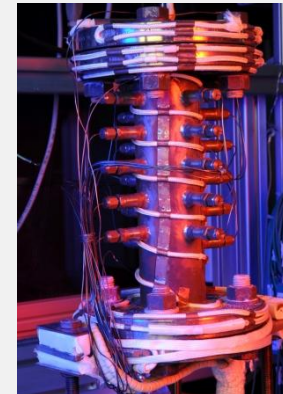
Entwicklungspfad basiert auf Kenntnis der Detailvorgänge

- Thermodynamik und Reaktionskinetik des Speichermaterials
 - Vollständiger Umsatz in 3 min
 - Also 8 MW/m₃ Leistung?
- Wärme- und Stofftransport im Reaktionsbett
- Simulationsmodelle zur Entwicklung von Reaktorkonzepten
- Einbindung in den Prozess (Wärmeträgerfluid, Gas-Handling, Reaktionsführung)



Thermochemische Speicher – Stand der Entwicklung

- Grundlegende Charakterisierung des Reaktionssystems Calciumoxid/Calciumhydroxid abgeschlossen
- Modellvalidierung im Labormaßstab erfolgt
- Indirekt beheiztes Reaktorkonzept im Technikumsmaßstab umgesetzt
 - Erreichte Leistung 10kW
 - 8 kWh in 22 kg Ca-Hydroxid chemisch gespeichert
 - Wärmefreisetzung bei 550°C



Zusammenfassung

- Hochtemperaturspeicher als zentrales Element für verbesserte Effizienz und effektives Wärmemanagement in der Prozessindustrie
- Wenige thermische Hochtemperatur-Speicher sind kommerziell verfügbar
=> noch zu teuer für breite Anwendung
- Latentwärmespeicher und thermochemische Speicher bieten großes Potential zur Realisierung hoher Speicherdichte und Wärmefreisetzung auf nahezu konstantem Temperaturniveau
- Verstärkte Anstrengungen zur Entwicklung eines breiten Portfolios an Speichertechnologien und Speichermaterialien erforderlich



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Doerte.Laing@dlr.de

Antje.Woerner@dlr.de

Weitere Informationen zu diesem Thema vom BINE Informationsdienst

Neues BINE Fachbuch Wärmespeicher (erscheint in Kürze)

<http://www.bine.info/publikationen/bestellen/buch-publikationen/waermespeicher/>

BINE NEWS 2010: Versuchsanlage "HOTREG"

<http://www.bine.info/newsuebersicht/news/versuchsanlage-hotreg/>

Projektinfo 2008: Latentwärmespeicher liefert Prozessdampf

<http://www.bine.info/publikationen/publikation/latentwaermespeicher-liefert-prozessdampf/>

Projektinfo 2008: Thermochemische Speicher

<http://www.bine.info/publikationen/publikation/thermochemische-speicher/>

BINE Informationsdienst (www.bine.info), ein Service von FIZ Karlsruhe, dokumentiert unter dem Schwerpunkt „Energieforschung für die Praxis“ erfolgreiche Forschungsprojekte des BMWi und des BMU für die Öffentlichkeit. Mit verständlichen und gleichzeitig fachlich präzisen Informationen unterstützt er den Wissenstransfer aus der Energieforschung in die Anwendung.

Ein Vortrag im Rahmen der

2013

Berliner

ENERGIETAGE

Energieeffizienz in Deutschland

Die Leitveranstaltung für **Energieeffizienz in Deutschland** fand in diesem Jahr vom 15. bis zum 17. Mai 2013 im Ludwig Erhard Haus in Berlin statt.

Weitere Informationen und alle Vortragsunterlagen zu über 200 Vorträgen aus 46 Veranstaltungen im Rahmen der Berliner Energietage 2013 finden Sie unter

www.berliner-energietage.de

Eine kommerzielle Weiterverbreitung darf nur nach schriftlicher Genehmigung der Rechteinhaberin erfolgen. © 2013 Referent(in) / ARGE Berliner ImpulsE

Diese Seite darf nicht entfernt werden. Für die in diesen Unterlagen bereit gestellten Informationen kann keine Haftung übernommen werden.