

Vorstellung meiner Diplomarbeit

„Aufbau und Inbetriebnahme eines Teststandes mit bewegtem Reaktionsbett zur thermo- chemischen Wärmespeicherung“

Nico Ramm

06.11.2014



10.01.2014 • Nico Ramm • „Aufbau und Inbetriebnahme eines Teststandes mit bewegtem Reaktionsbett zur thermochemischen Wärmespeicherung“ • Folie 2

Gliederung

1. Warum brauchen wir Wärmespeicher?
2. Prinzip der thermochemischen Energiespeicherung
3. Ansatz des bewegten Reaktionsbettes
4. Reaktordesign & Pulverbewegung
5. Experimentelle Untersuchung
6. Die selbstentwickelte Austrageinheit
7. Ausblick

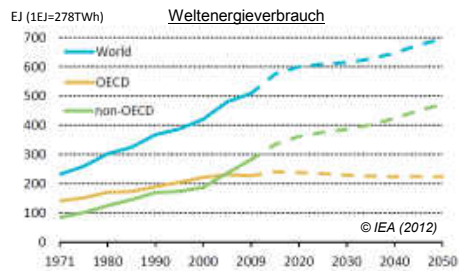


1+2+3+4+5+6+7



Motivation

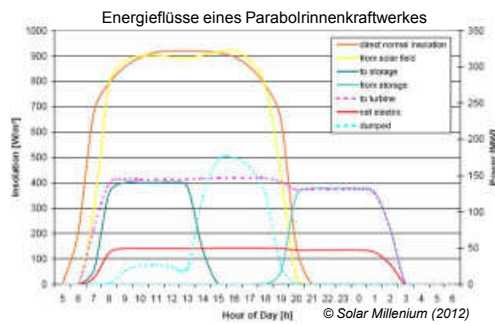
- steigender Energiebedarf
- schwindende fossile Energiequellen
- vermehrte Freisetzung von Treibhausgasen
- Verschärfung der Klimaerwärmung



1•2•3•4•5•6•7

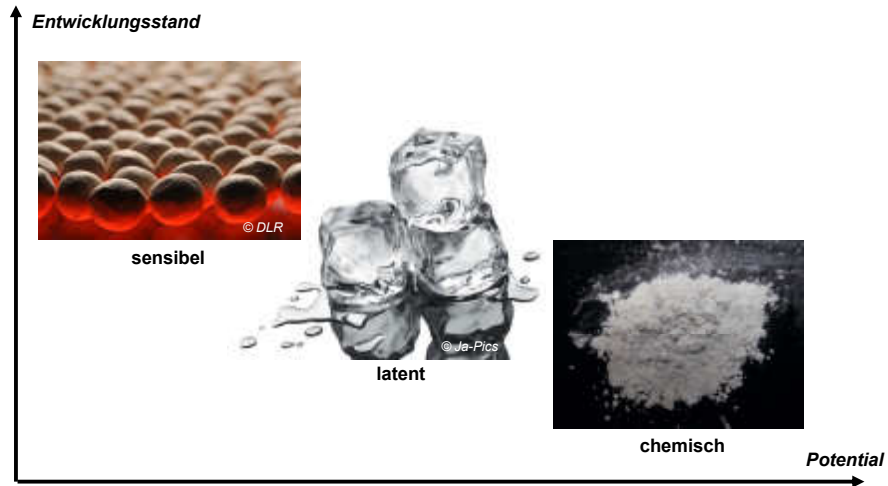
Wärmespeicher sind notwendig für...

- Bevorratung & Grundlastfähigkeit regenerativer Energie
- Nutzung von Prozessabwärme
- Effizienzsteigerung industrieller Prozesse



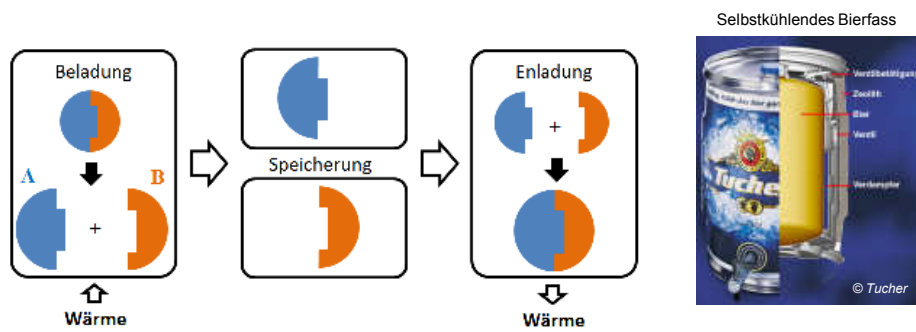
1•2•3•4•5•6•7

Physikalische Prinzipien der Wärmespeicherung



1•2•3•4•5•6•7

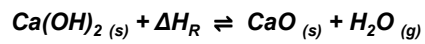
Chemische Wärmespeicherung



1•2•3•4•5•6•7

Chemische Wärmespeicherung

Untersuchtes Reaktionssystem:



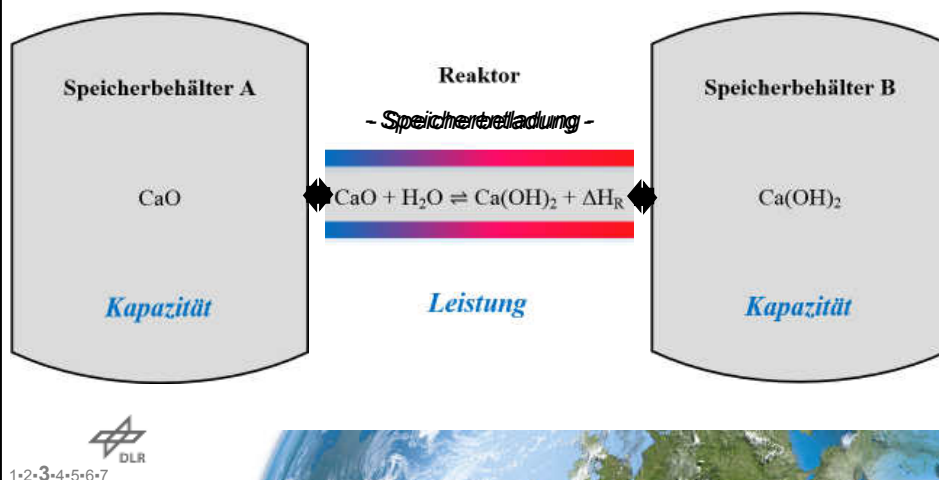
- ✓ optimaler Temperaturbereich
- ✓ zyklenstabil (keine Alterung)
- ✓ hohe Reaktionsenthalpie & -kinetik
- ✓ gefahrlos (Naturstoff)
- ✓ kostengünstig (Kalk aus Bauindustrie)
- ✓ Chemische Wärmepumpe



1•2•3•4•5•6•7

Entkopplung von Leistung und Kapazität

Laborreaktor mit bewegtem Reaktionsbett



1•2•3•4•5•6•7

Ziel der Arbeit

- wirtschaftlicher Reaktorentwurf
- Realisierung des bewegten Reaktionsbettes
- homogener Massenfluss

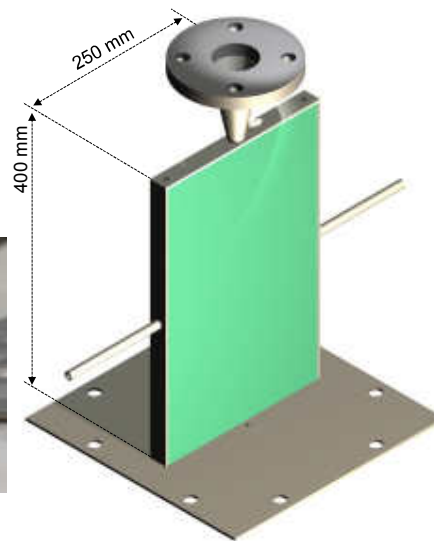
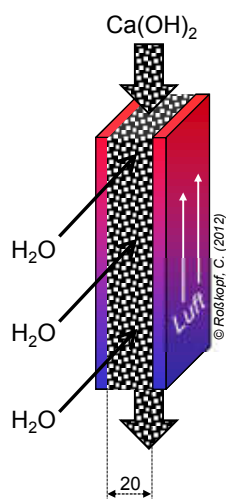
Herausforderungen des Schüttgutes

- kohäsives Pulver
- schlechte Fließfähigkeit
- geringe Wärmeleitfähigkeit



1•2•3•4•5•6•7

Reaktordesign



1•2•3•4•5•6•7

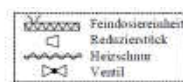
Förderung des Speichermaterials

- ✓ gleichmäßige Zu- und Abfuhr des Reaktionsmaterials
- ✓ Gasbarriere
- ✓ Vorwärmung



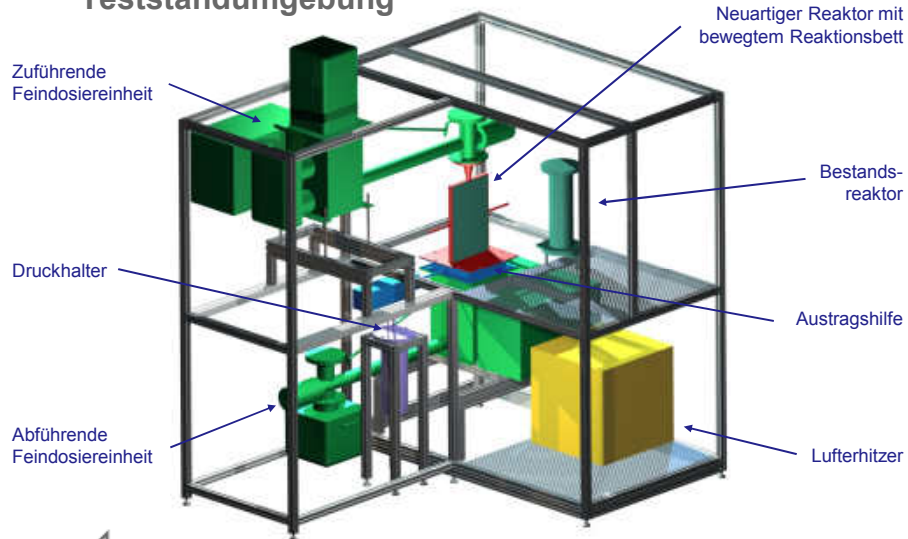
1•2•3•4•5•6•7

Teststandumgebung



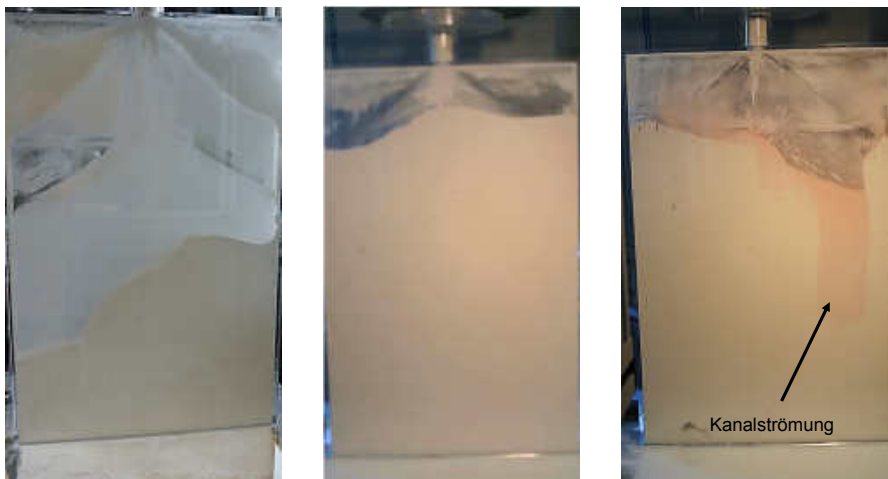
1•2•3•4•5•6•7

Teststandumgebung



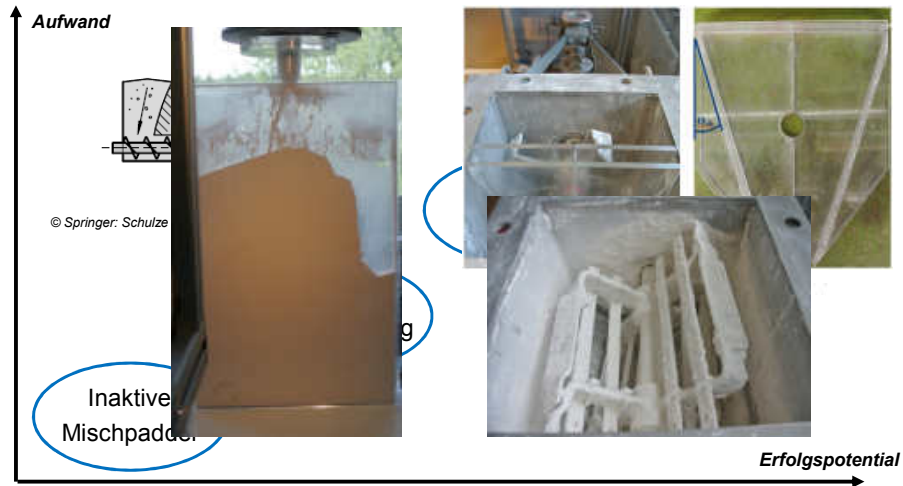
DLR
1•2•3•4•5•6•7

Betrieb der Förderschnecken



DLR
1•2•3•4•5•6•7

Optimierung der Fördereinheiten

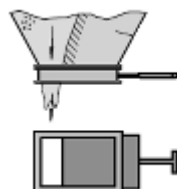


1•2•3•4•5•6•7

Gestaltung einer Austragshilfe

Identifizierte Möglichkeiten:

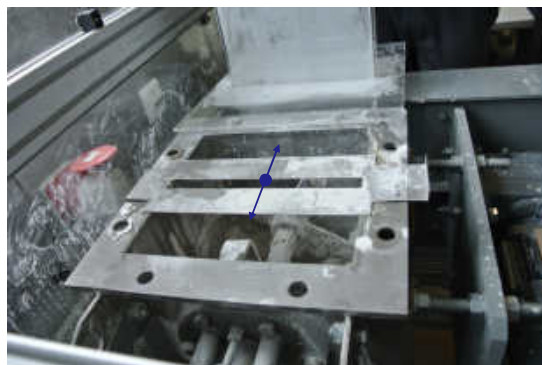
a) Schlitzschieber



© Springer: Schulze „Pulver und Schüttgüter“ (2009)



1•2•3•4•5•6•7

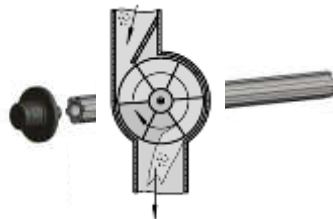


Gestaltung einer Austragshilfe



Herausforderungen

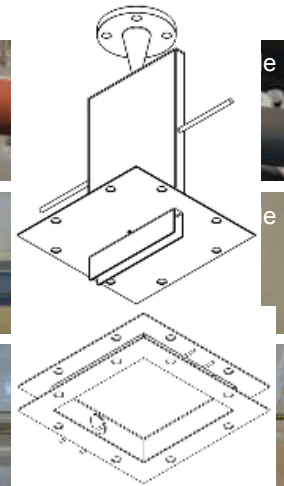
- Identifizierte Möglichkeiten:
- a) – Temperaturbeständigkeit
 - b) – Wasserdampf- und Gasdichtheit
 - Gasdichtheit



© Springer: Schulze „Pulver und Schüttgüter“ (2009)



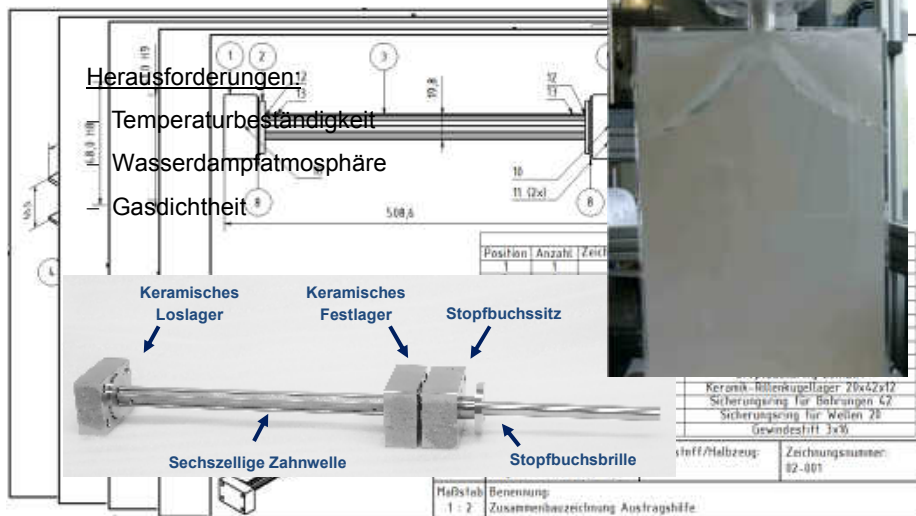
1•2•3•4•5•6•7



Gestaltung einer Austragshilfe

Herausforderungen

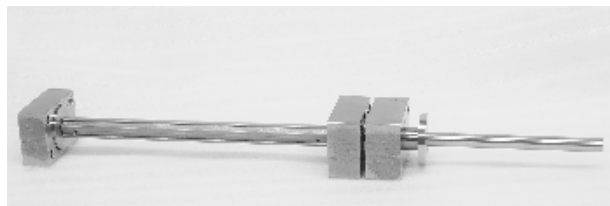
- Temperaturbeständigkeit
- Wasserdampf- und Gasdichtheit
- Gasdichtheit



1•2•3•4•5•6•7

Fazit

- ✓ Reaktorgeometrie endgültig festgelegt
- ✓ Teststand errichtet
- ✓ Feindosiereinheiten erprobt
- ✓ Austragshilfe konstruiert
- ✓ homogenen Massenfluss bei Umgebungstemperatur erzielt
- ✓ Vorbereitungen für Heißversuche abgeschlossen



1•2•3•4•5•6•7

**Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit!**



Backup



Wissen für Morgen

Notwendigkeit (thermischer) Energiespeicher



Wärmespeicher sind notwendig für

- Speicherung regenerativer Energie
- Nutzung von Prozessabwärme
- Effizienzsteigerung industrieller Prozesse



„Speicher-see“

„Energie-see“

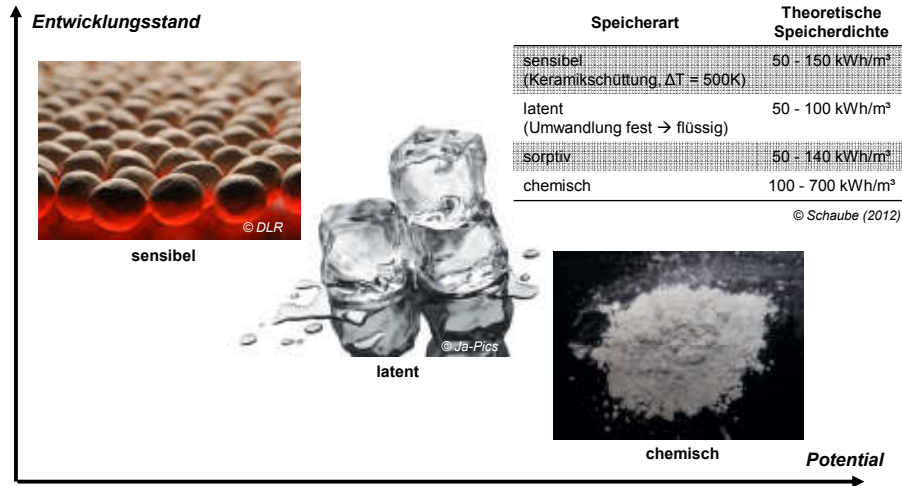
Netz-
frequenz

Erzeuger



1•2•3•4•5•6•7

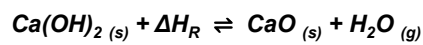
Physikalische Prinzipien der Wärmespeicherung



1•2•3•4•5•6•7

Chemische Wärmespeicherung

Untersuchtes Reaktionssystem:



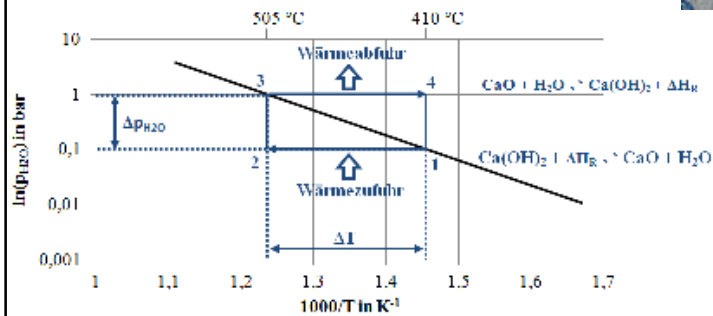
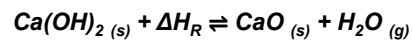
- ✓ optimaler Temperaturbereich für Dampfkreisläufe
- ✓ zyklenstabil (keine Alterung)
- ✓ hohe Reaktionsenthalpie & ausreichende Reaktionskinetik
- ✓ gefahrloser Umgang (Naturstoff)
- ✓ kostengünstige Ausgangsstoffe (Kalk aus Bauindustrie)
- ✓ Möglichkeit der Wärmetransformation



1•2•3•4•5•6•7

Chemische Wärmespeicherung

Untersuchtes Reaktionssystem:

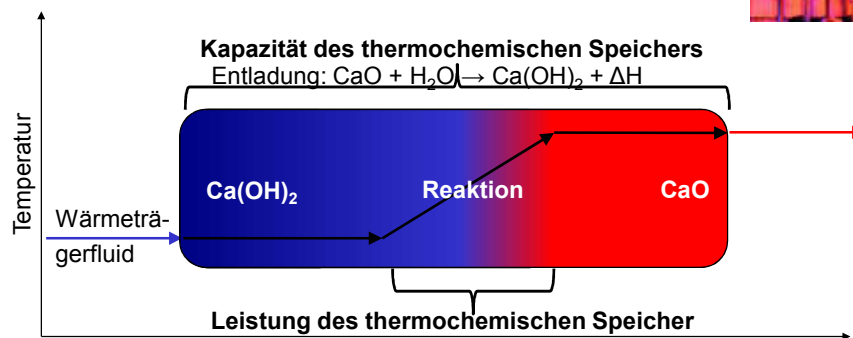
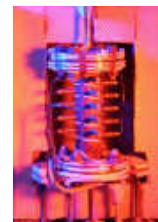


1•2•3•4•5•6•7

Entkopplung von Leistung und Kapazität

/Vom ruhenden zum bewegten Reaktionsbett

Laborreaktor mit **bewegtem Reaktionsbett**



→ Entkopplung von Kapazität und Leistung sinnvoll



Entkopplung von Leistung und Kapazität

Festbettreaktor

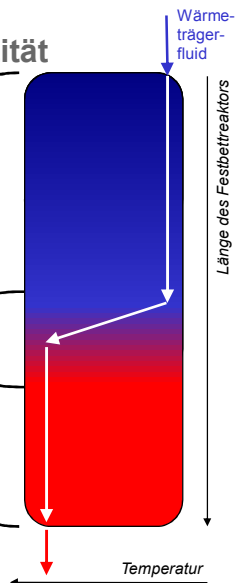


Kapazität des Speichers

Leistung des Speichers



Entkopplung von
Leistung und Kapazität
sinnvoll



1•2•3•4•5•6•7

Entkopplung von Leistung und Kapazität

/Vom ruhenden zum bewegten Reaktionsbett

Festbettreaktor mit bewegtem Reaktionsbett

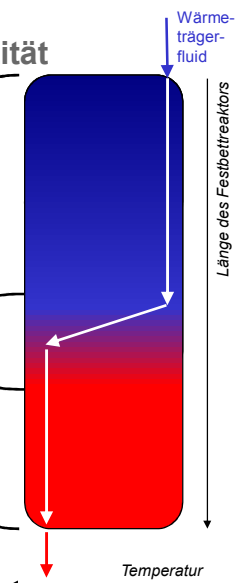


Kapazität des Speichers

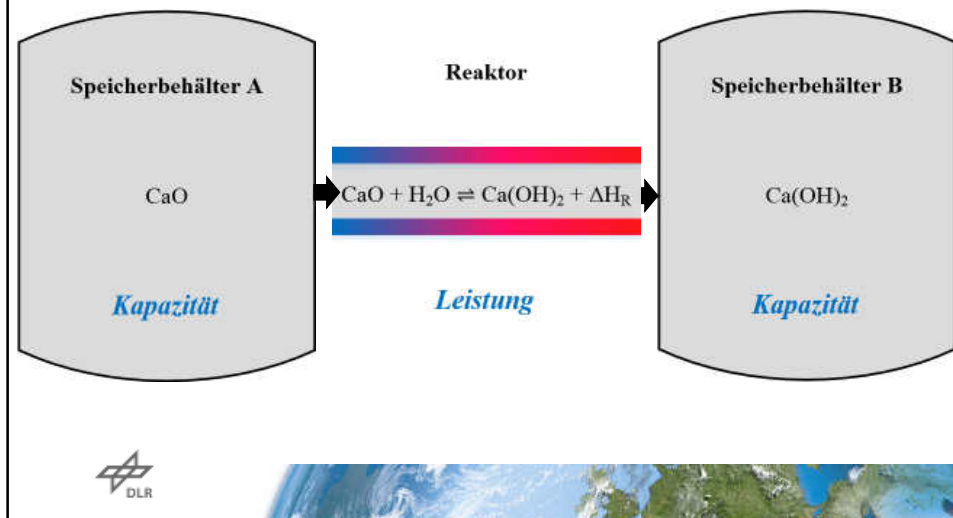
Leistung des Speichers



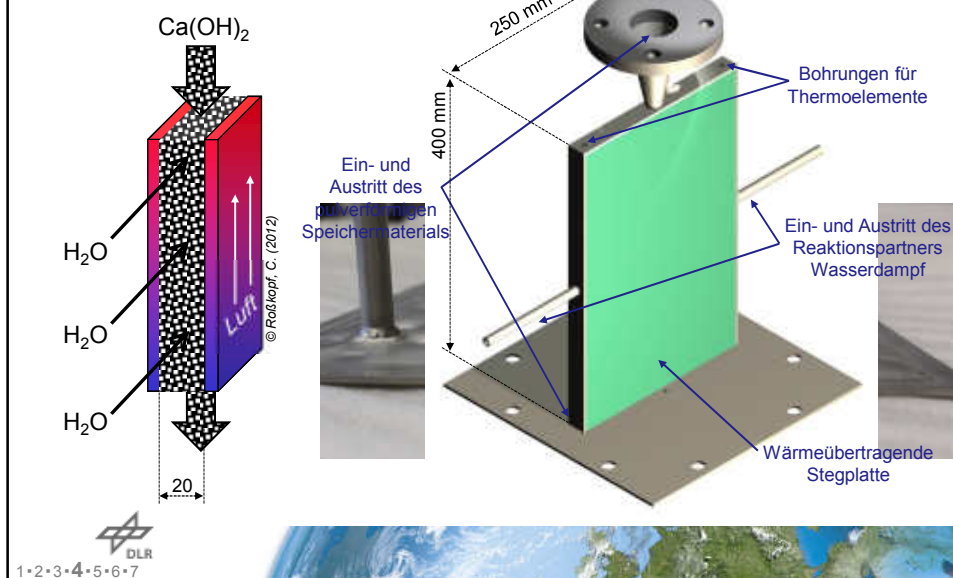
Entkoppelung von
Kapazität und Leistung
sinnvoll



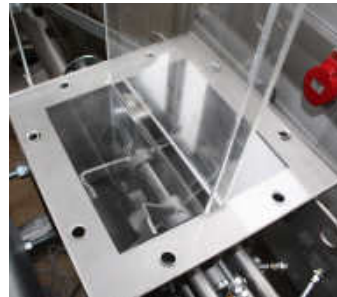
Zur vorhergehenden Folie



Reaktordesign

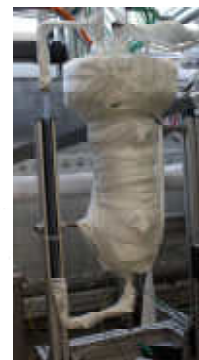
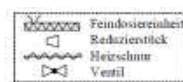


Förderung des Speichermaterials



1•2•3•4•5•6•7

Teststandumgebung

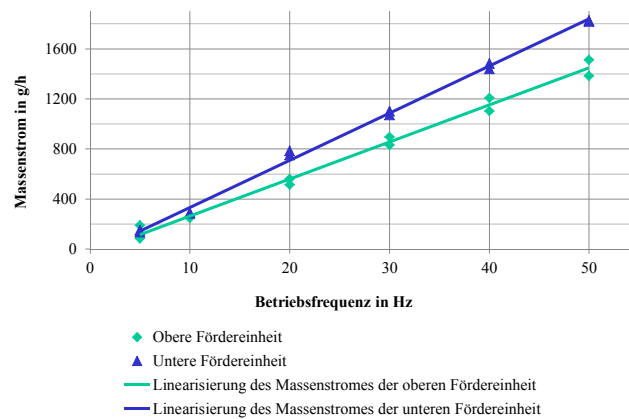


Teststandumgebung



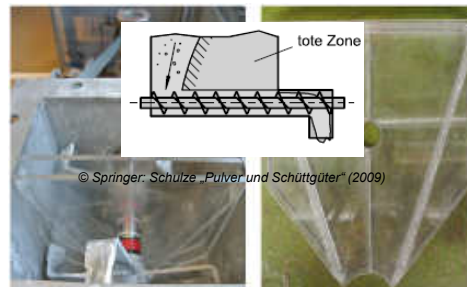
Betrieb der Fördereinheiten

Kalibriermessungen der Feindosiereinheiten



Optimierung der Fördereinheiten

- a) ~~Inaktive Mischpaddel~~
- b) Verjüngender Einbau im Schneckenentrog



1•2•3•4•5•6•7

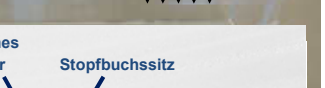
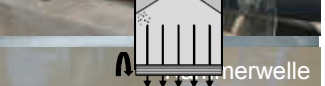
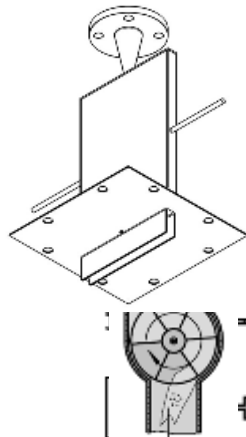
Optimierung der Fördereinheiten

- a) ~~Inaktive Mischpaddel~~
- b) ~~Verjüngender Einbau im Schneckenentrog~~
- c) ~~Dauerhafte Vibrationen~~
- d) Modifizierte Mischpaddel



1•2•3•4•5•6•7

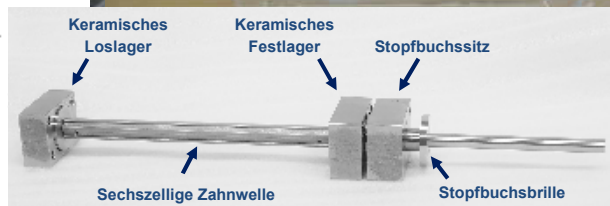
Gestaltung einer Austragshilfe



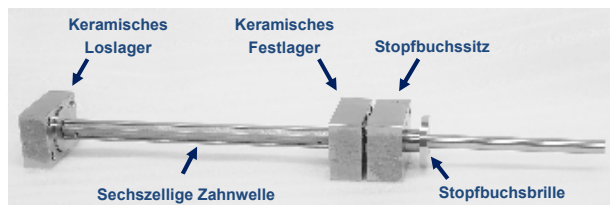
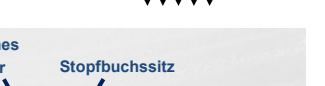
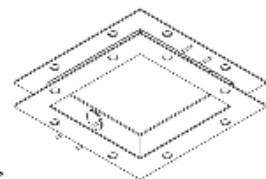
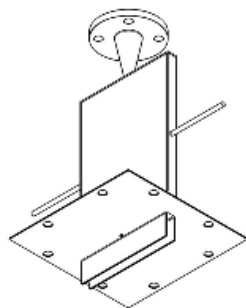
© Springer: Schulze „Pulver und Schüttgüter“ (2009)
© Springer: Schulze „Pulver und Schüttgüter“ (2009)



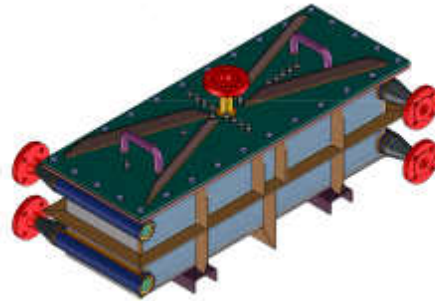
1•2•3•4•5•6•7



Gestaltung einer Austragshilfe



Teststände – Indirektes System – Ruhendes Bett



Technikumsreaktor in Köln-Porz

Masse $\text{Ca(OH)}_2 \sim 22 \text{ kg}$
 Leistung bis zu 10 kW
 Kapazität $\sim 8,2 \text{ kWh}$

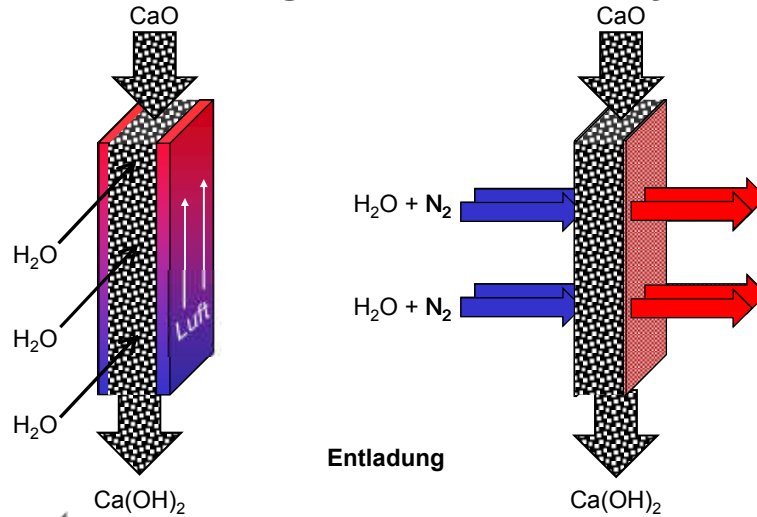


Bewegtes Reaktionsbett

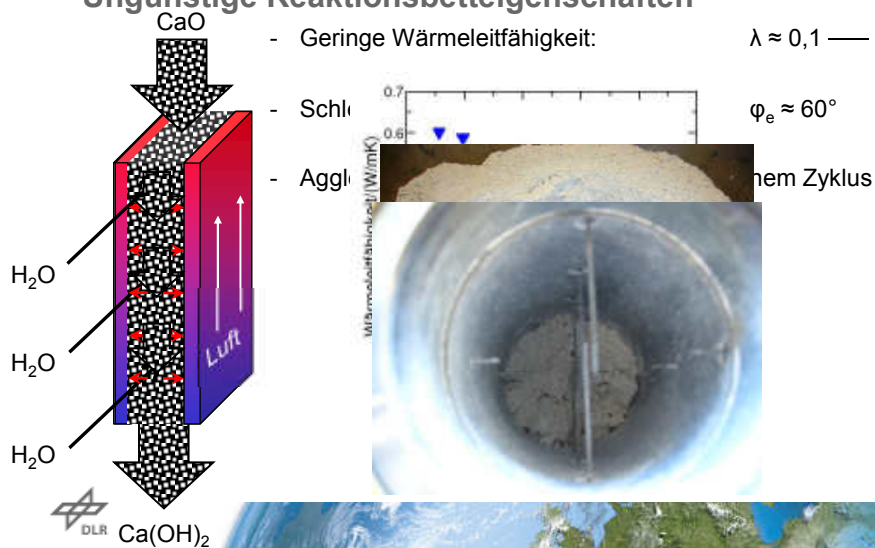
- Auslegung des Reaktor für benötigte Leistung → Geringere Anlagenkosten
- Kapazität abhängig von Vorratsbehältnis → Geringere Betriebskosten
- Regelung der Leistung über Durchsatz im Reaktor → Höhere Variabilität



Unterscheidung – Direktes/indirektes System



Problematik Ungünstige Reaktionsbetteigenschaften



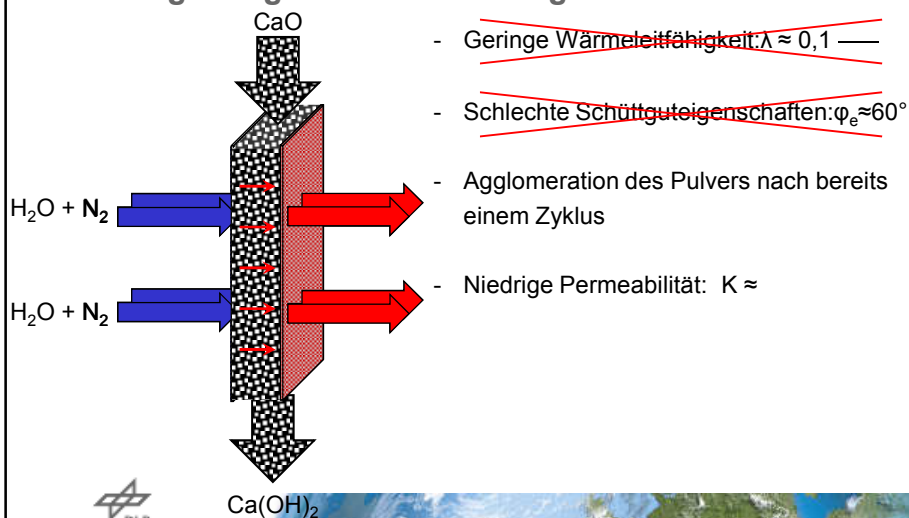
Conclusion & Outlook



- Thermochemical Heat storage based on Ca(OH)_2 demands a flow-through...
 - Improvement of Ca(OH)_2 flowability by adding nano particles at ambient conditions
 - Homogeneous flow through thermochemical reactor at room temperature achieved
 - Cycling stability is proven over 10 cycles in lab-scale reactor
- ⇒ Next step: Investigation of flowability at simultaneous reaction in moving bed for thermochemical heat storage

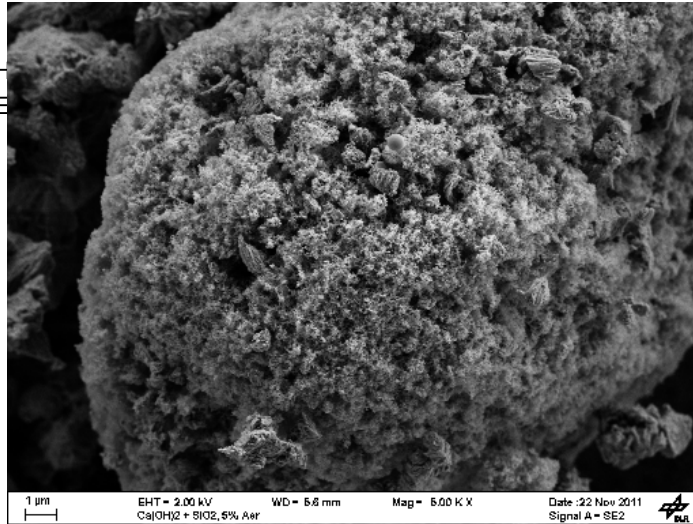


Problematik Ungünstige Reaktionsbetteigenschaften



Funktionsweise von Aerosil

- H
E

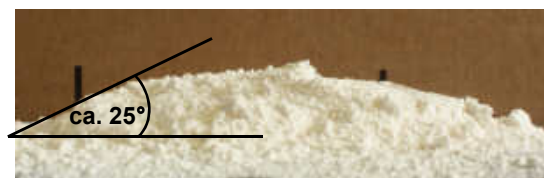


Verbesserung der Fließeigenschaften

Ca(OH)_2 pur

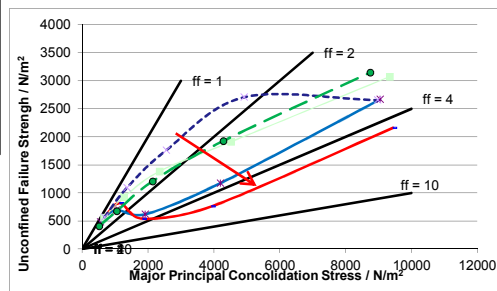
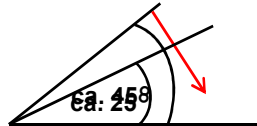
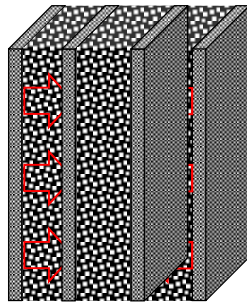


Ca(OH)_2 mit
10 w% Aerosil



Auswirkung auf Wanderbett

→ Fließindex und Schüttwinkel Hauptindikatoren für Fließfähigkeit!



XXX

