

Speicherung latenter Wärme mit Trennung von Leistung und Kapazität: Experimentelle Demonstration des PCMflux-Konzepts

H. Pointner, W.D. Steinmann

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
Institut für Technische Thermodynamik
Stuttgart

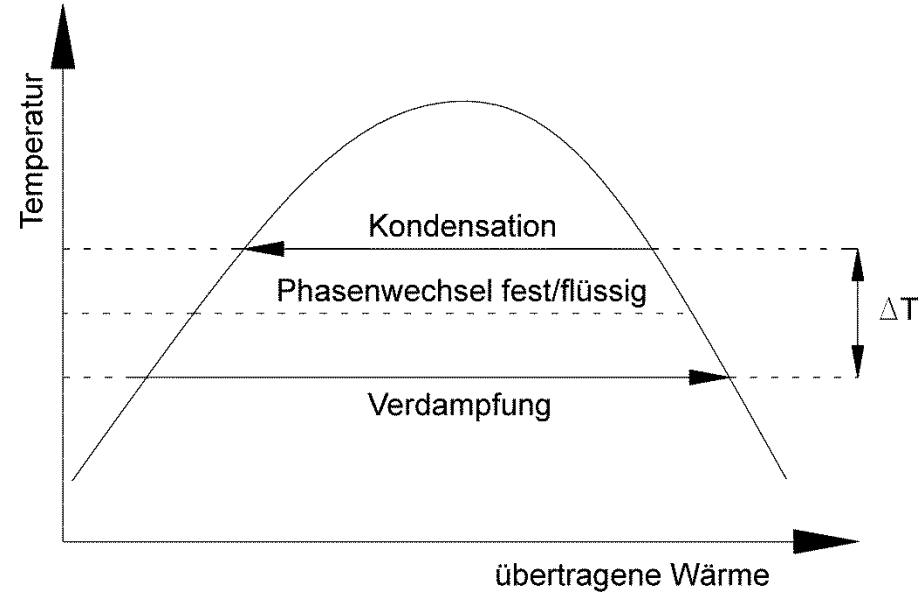


Knowledge for Tomorrow



Anwendungsbereiche für Latentwärmespeicher

im Bereich mittlerer und hoher Temperaturen (130 – 350 °C)

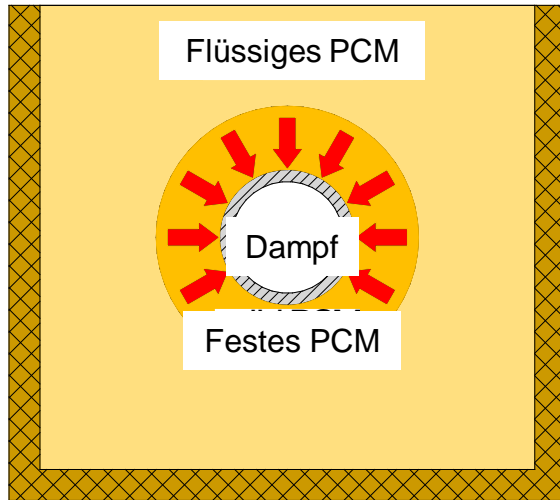


Systeme mit Dampf als Arbeitsmedium:
Minimierung der Temperaturdifferenz
zwischen Be- und Entladen
=> Minimierung Druckreduzierung
zwischen Beladedampf und Entladedampf



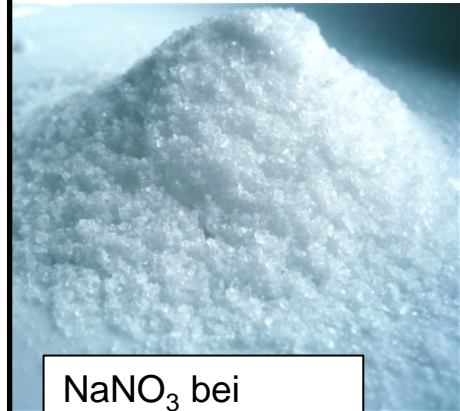
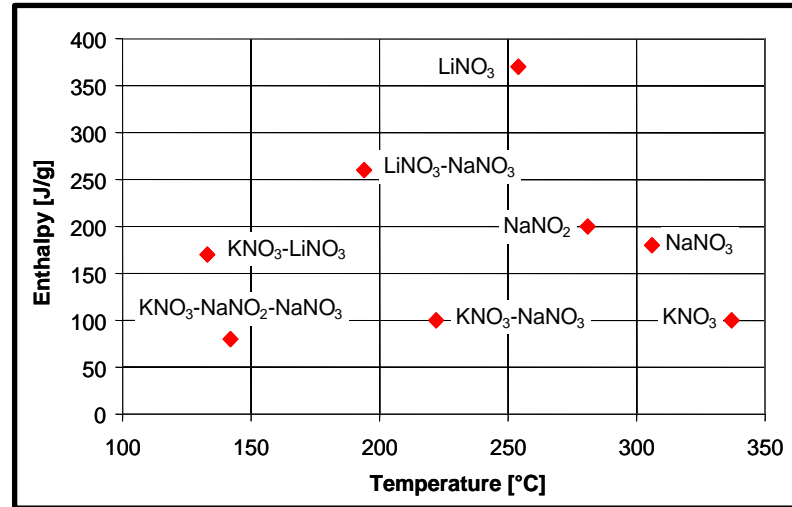
Entwicklung von Latentwärmespeichern

Nitratesalze als Speichermaterialien (phase change material, PCM)



Entladung PCM-Speicher über
dampfführendes Rohr

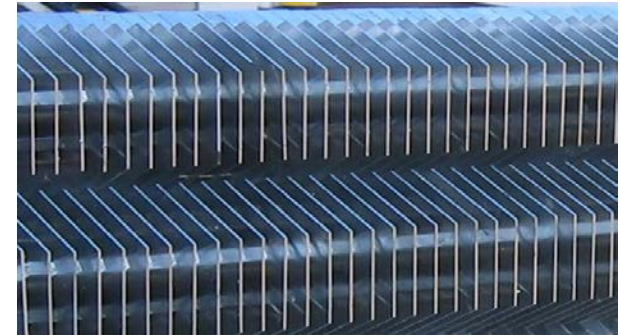
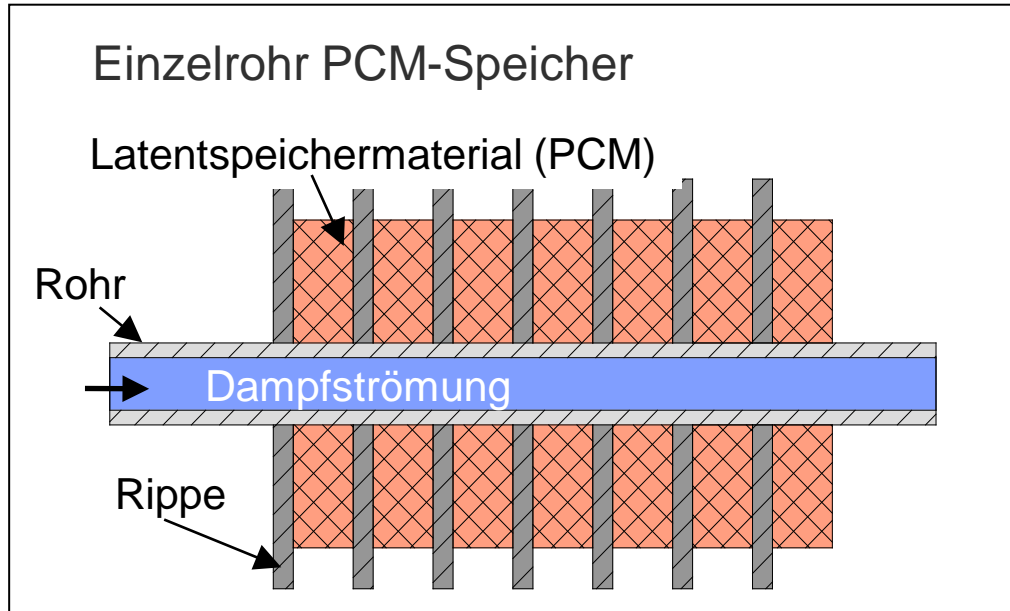
Wärmetransport wird bestimmt durch
niedrige Wärmeleitfähigkeit der Nitratesalze
($<1.0 \text{ W/mK}$)



NaNO_3 bei
Raumtemperatur

Wärmeübertragungskonzept für Latentwärmespeicher

Stand der Technik: Integrierter Rippenrohr-Wärmeübertrager



Rohre mit Radialrippen
(ohne PCM)

Wärmeübertragungskonzept für Latentwärmespeicher

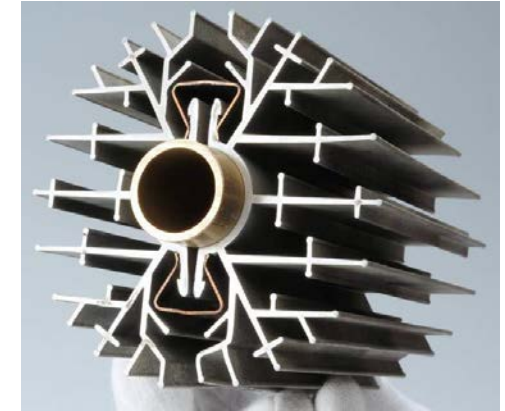
Stand der Technik: Integration von Rippenrohr-Wärmeübertragern in das Speichervolumen



Pilotspeicher:
 NaNO_3 als PCM,
Aluminiumrippen

T_{schmelz} 305°C
Latentwärme 175 kJ/kg

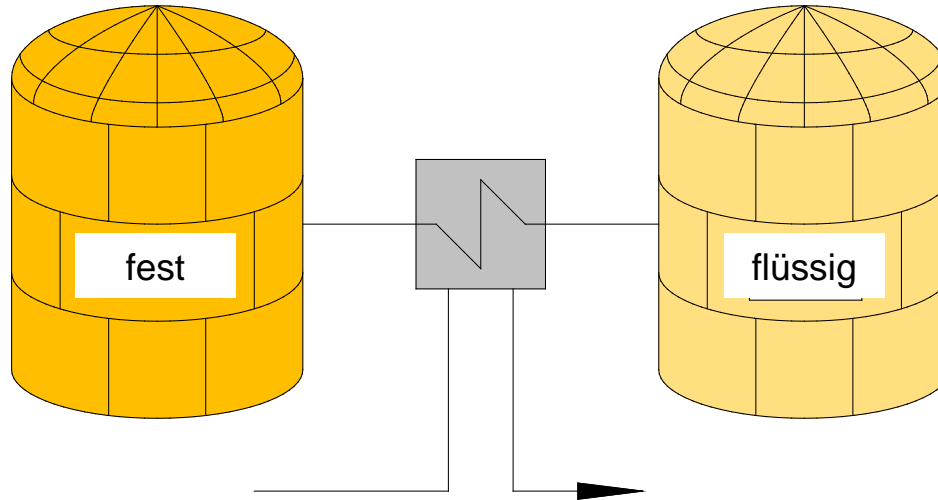
1.4m x 1m x 6m
PCM Masse: 14 t
Kapazität: ca. 700 kWh



axial finned tubes

- Erhöhung der Kapazität erfordert Vergrößerung Wärmeübertrager
- Leistung nicht konstant bei gleichbleibendem Dampfdruck
- Wärmeübertrager nicht zugänglich

Aktives Speicherkonzept für Latentwärme

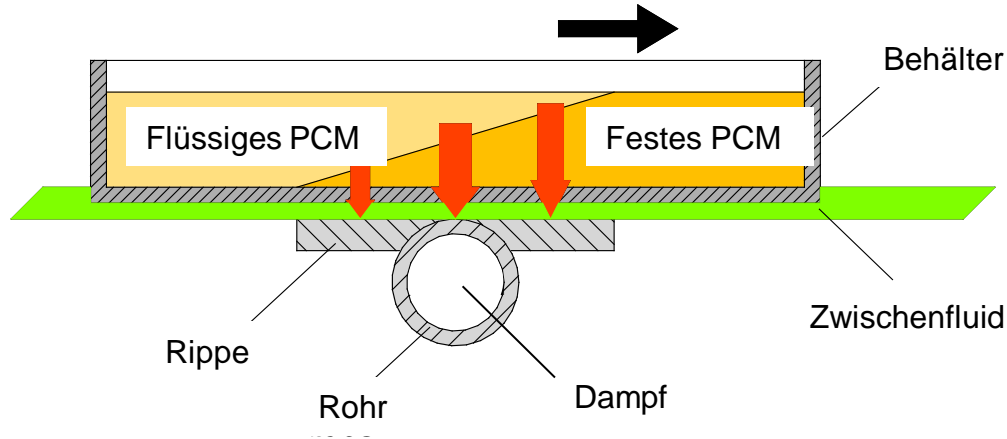


- Transport des Speichermaterials (feste + flüssige Phase)
- Wärmeübertragungsflächen und Speichermaterial sind mechanisch getrennt
- Konstante Leistung möglich
- Kapazität und Leistung sind unabhängig



PCMflux Konzept

Grundkonzept

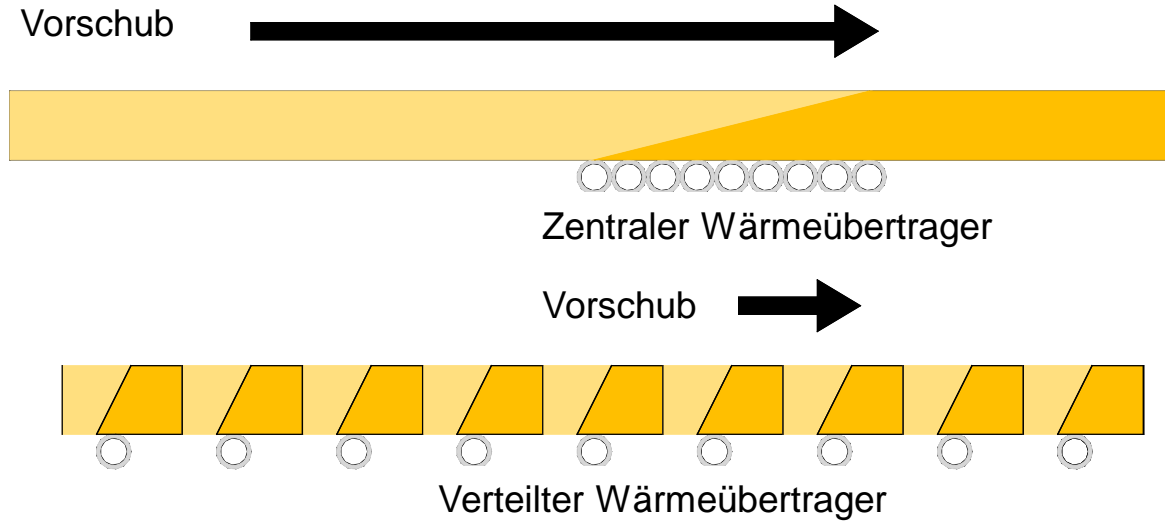


- Trennung PCM und Wärmeübertrager durch Zwischenfluid
- Wärmeleitung durch Zwischenfluid
- Transport des PCM in dünnwandigen Behältern



PCMflux Konzept

Grundkonzept



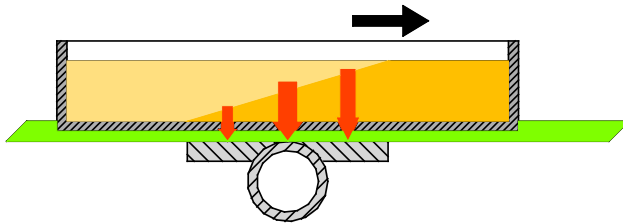
Typische Vorschubgeschwindigkeit: 50-100 mm/h



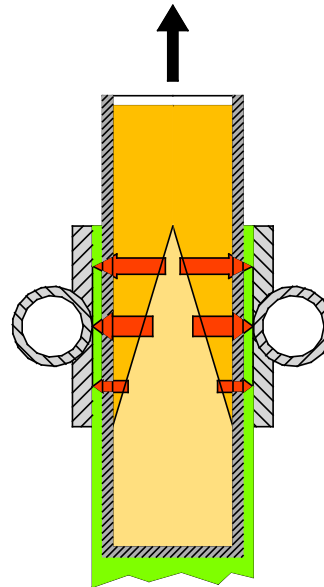
PCMflux Konzept

Grundkonzept

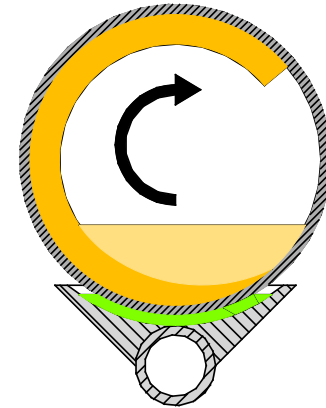
horizontal



vertikal

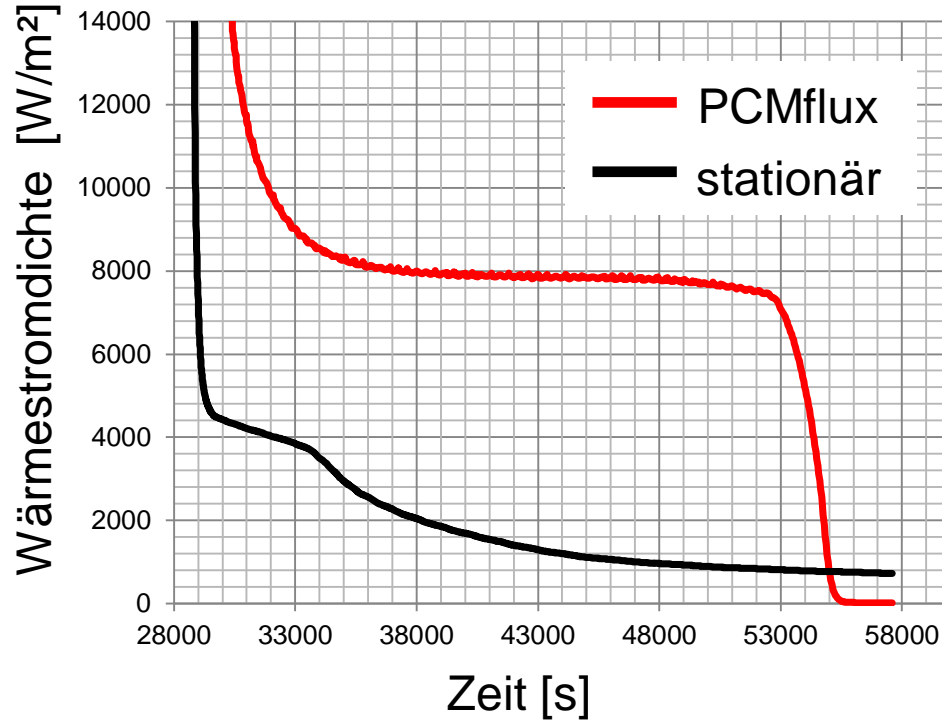


rotierend



Theoretische Analyse

Vergleich PCMflux mit Stand der Technik (stationär)

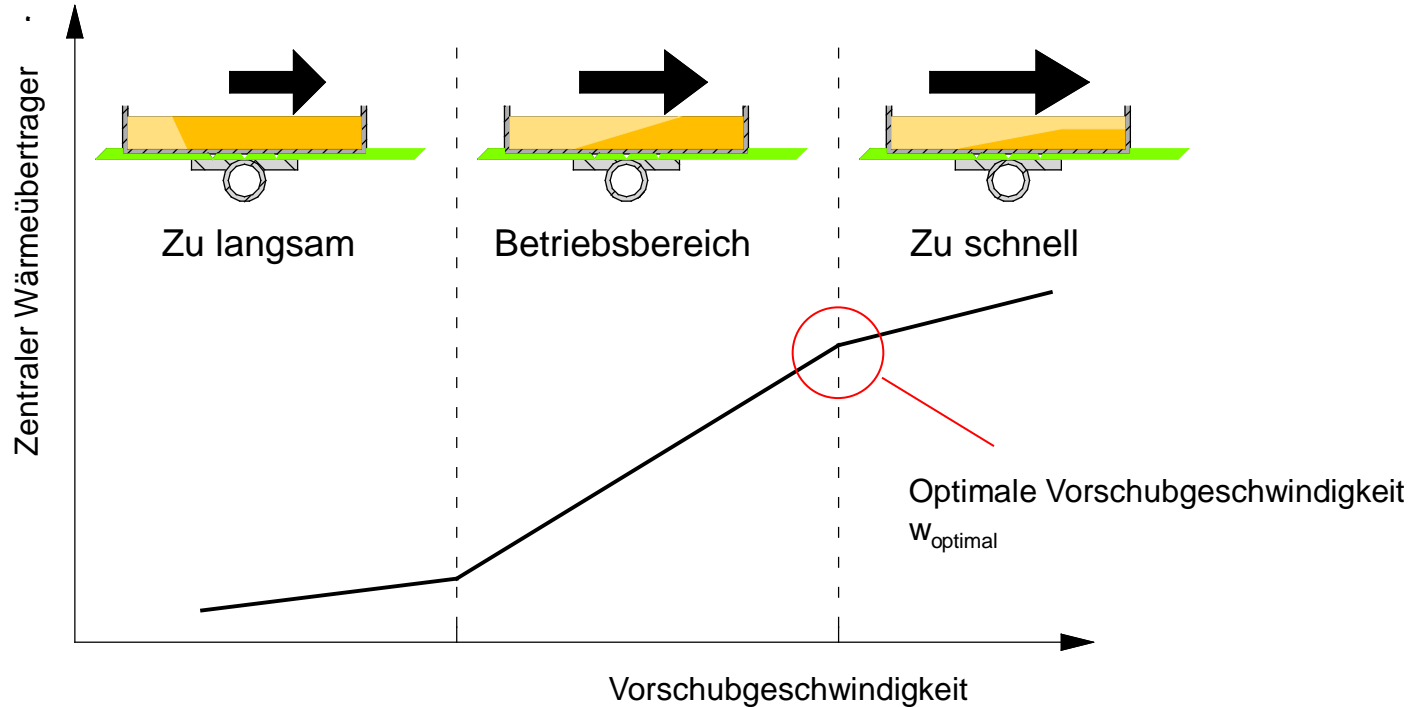


- PCMflux liefert konstante Leistung
- Masse Wärmeübertrager bei PCMflux geringer



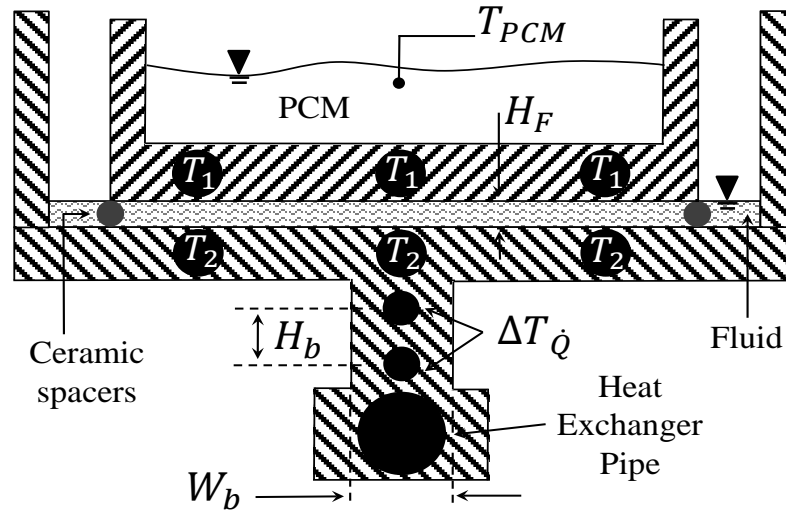
Theoretische Analyse

Zusammenhang Leistung/Vorschubgeschwindigkeit



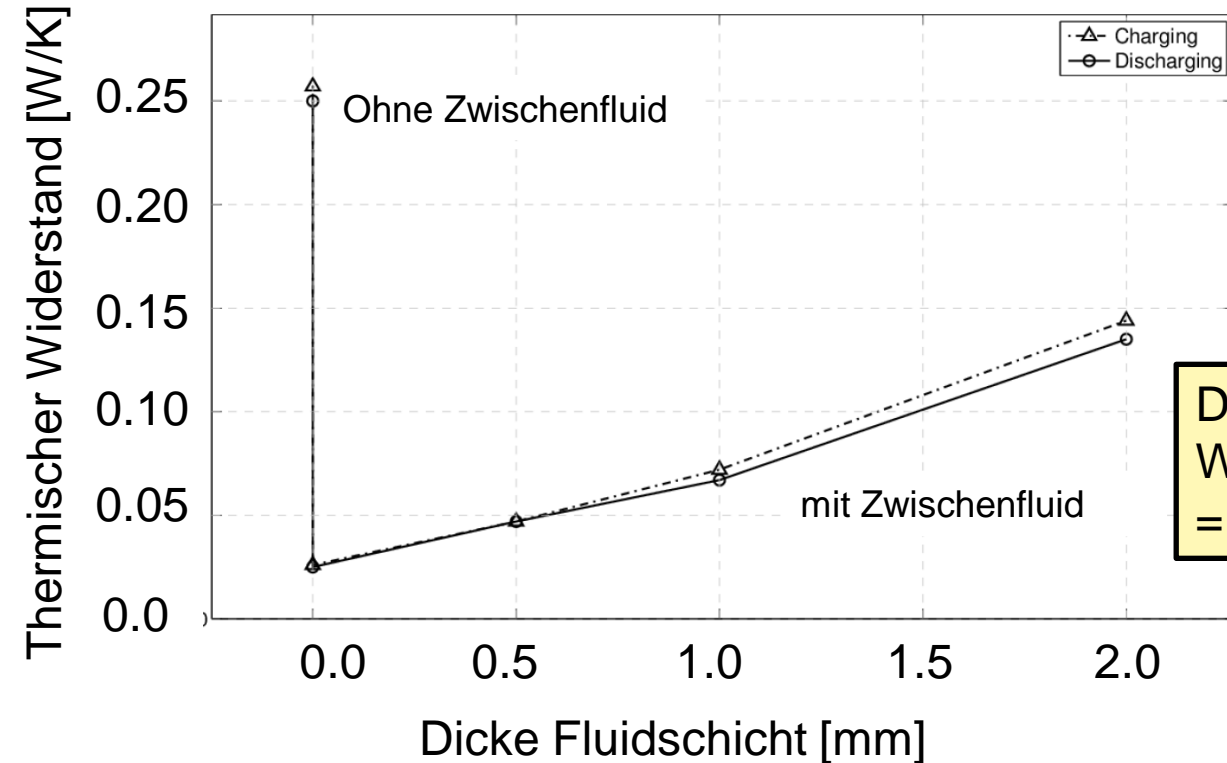
Thermischer Widerstand Zwischenfluid

Laborexperiment



Thermischer Widerstand Zwischenfluid

Experimentelle Ergebnisse: Hitec als Zwischenmedium



Thermischer Widerstand

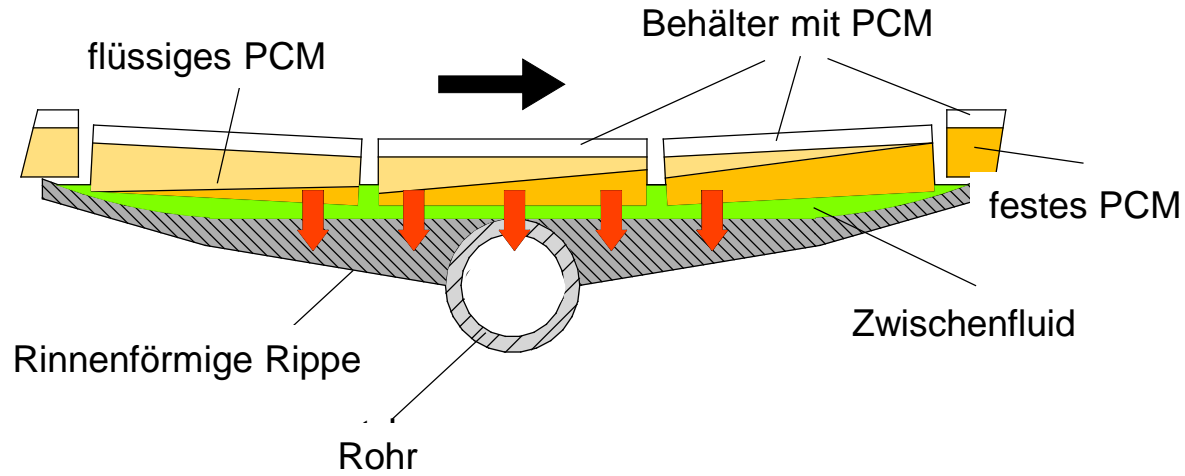
$$R_{th} = \frac{\Delta T_F}{\dot{Q}}$$

Direktkontakt:
Widerstand ohne Zwischenfluid
= 10 × Widerstand mit Fluid

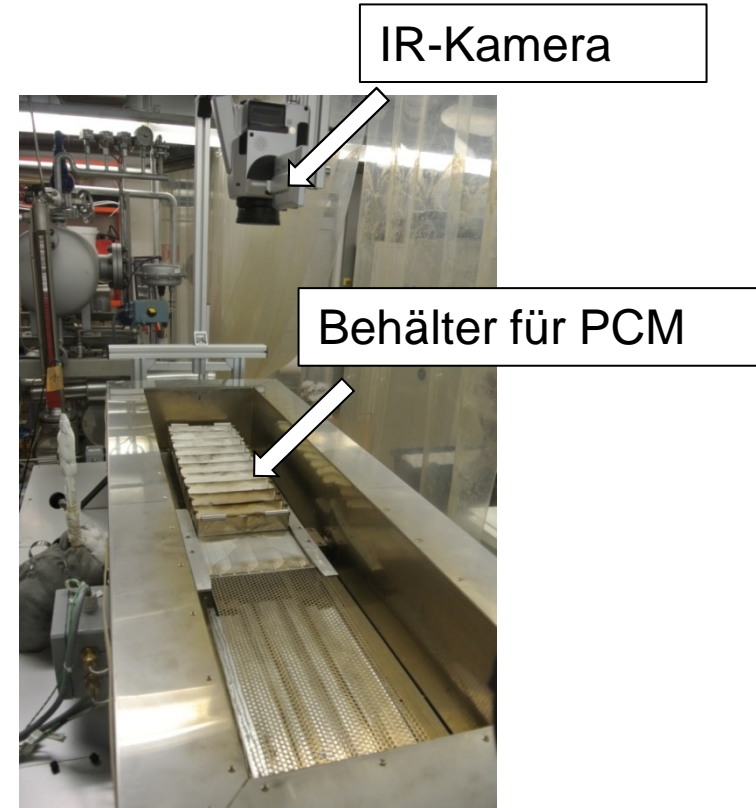
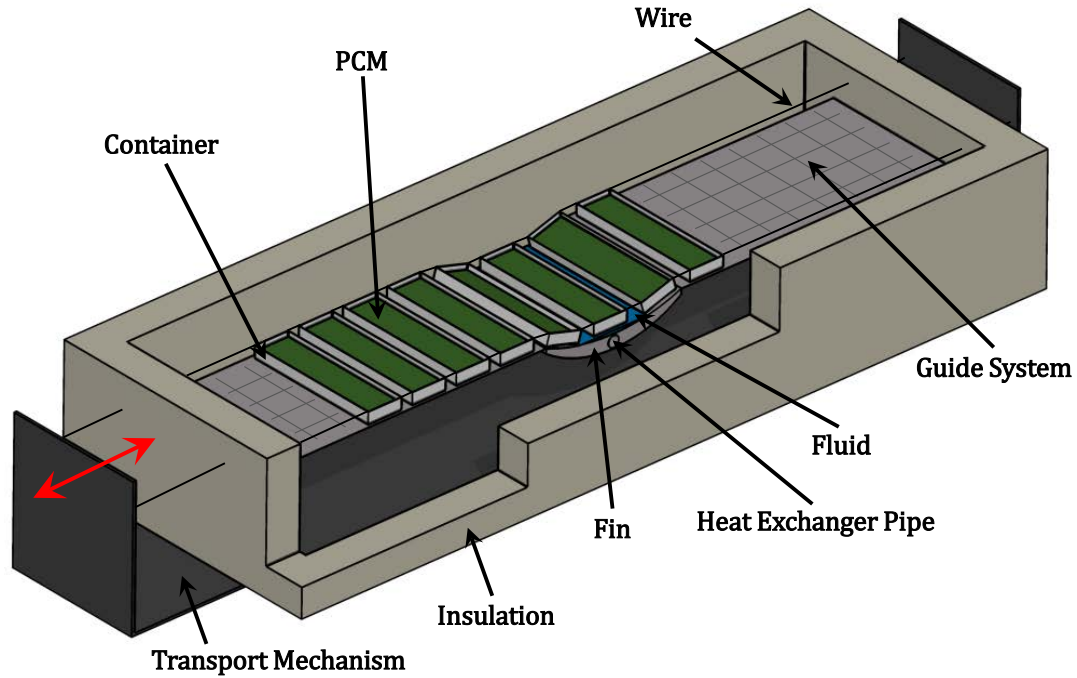


Laborexperiment mit bewegtem PCM

Rinnenförmige Rippe befüllt mit Zwischenmedium

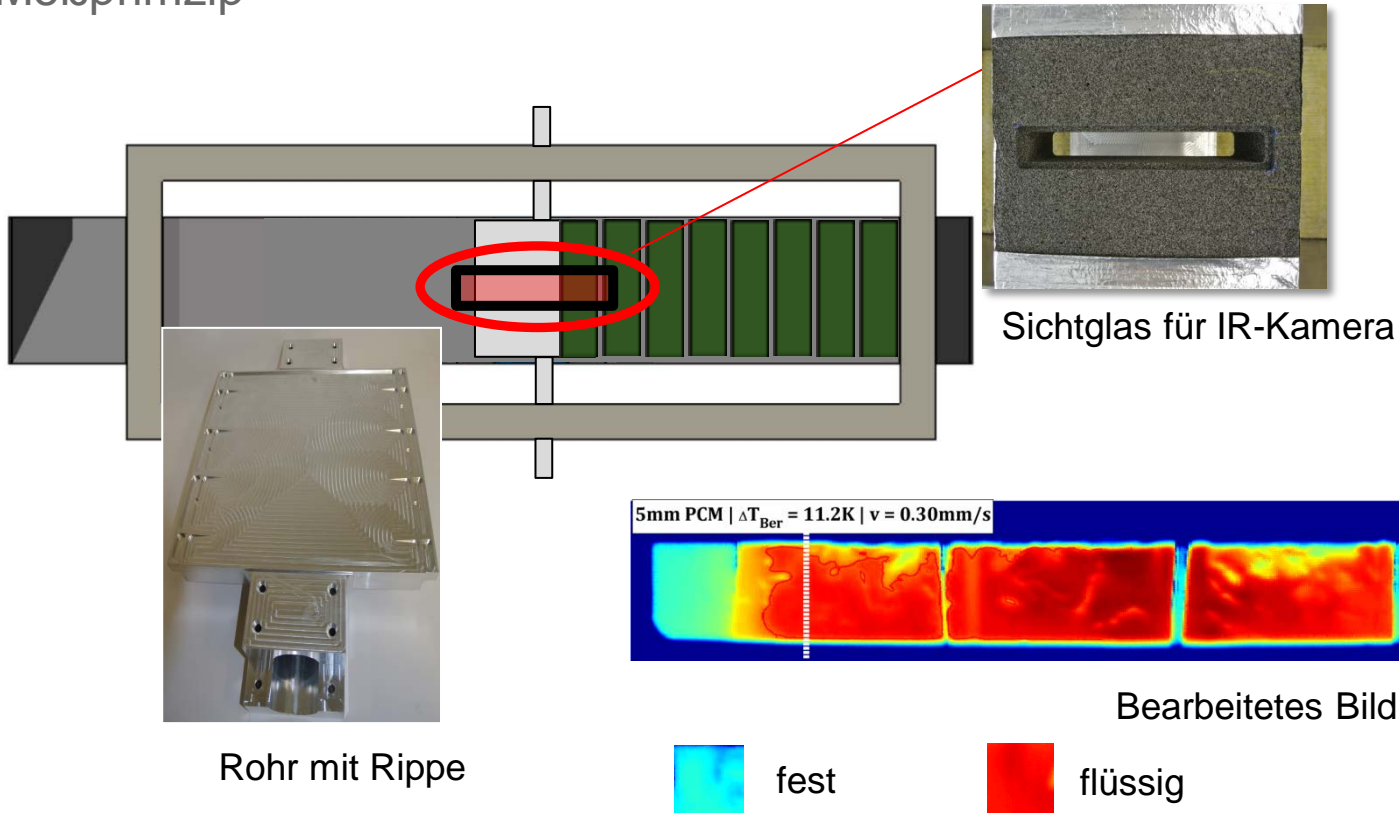


PCMflux im Labormaßstab



PCMflux im Labormaßstab

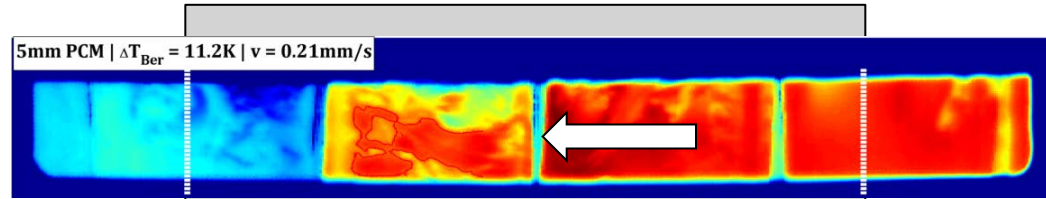
Meßprinzip



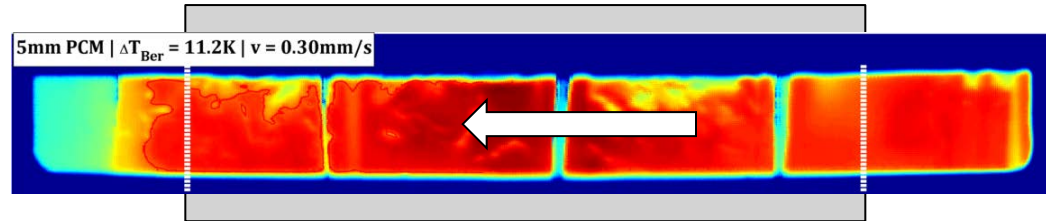
PCMflux im Labormaßstab

Position stationäre Phasenfront abhängig von Vorschub (Entladung)

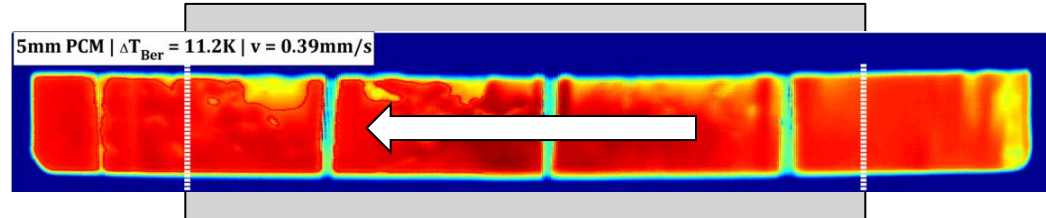
Vorschub = $0.7 w_{\text{optimal}}$



Vorschub = w_{optimal}



Vorschub = $1.3 w_{\text{optimal}}$



fest

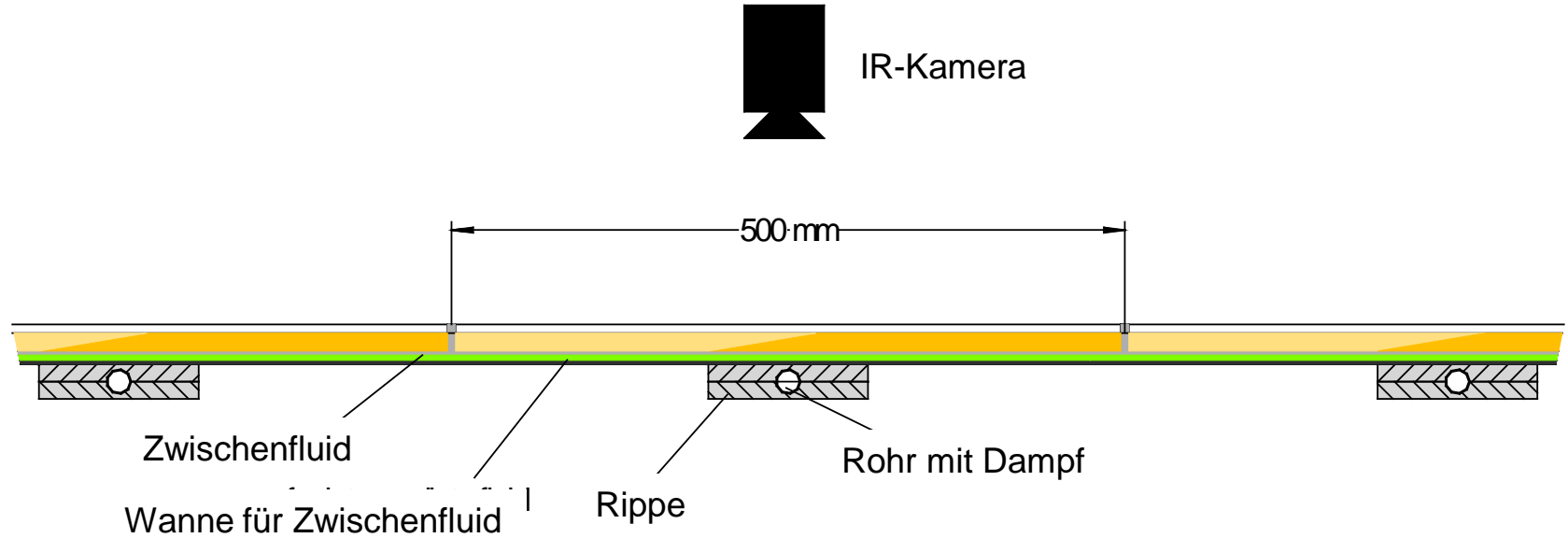


flüssig

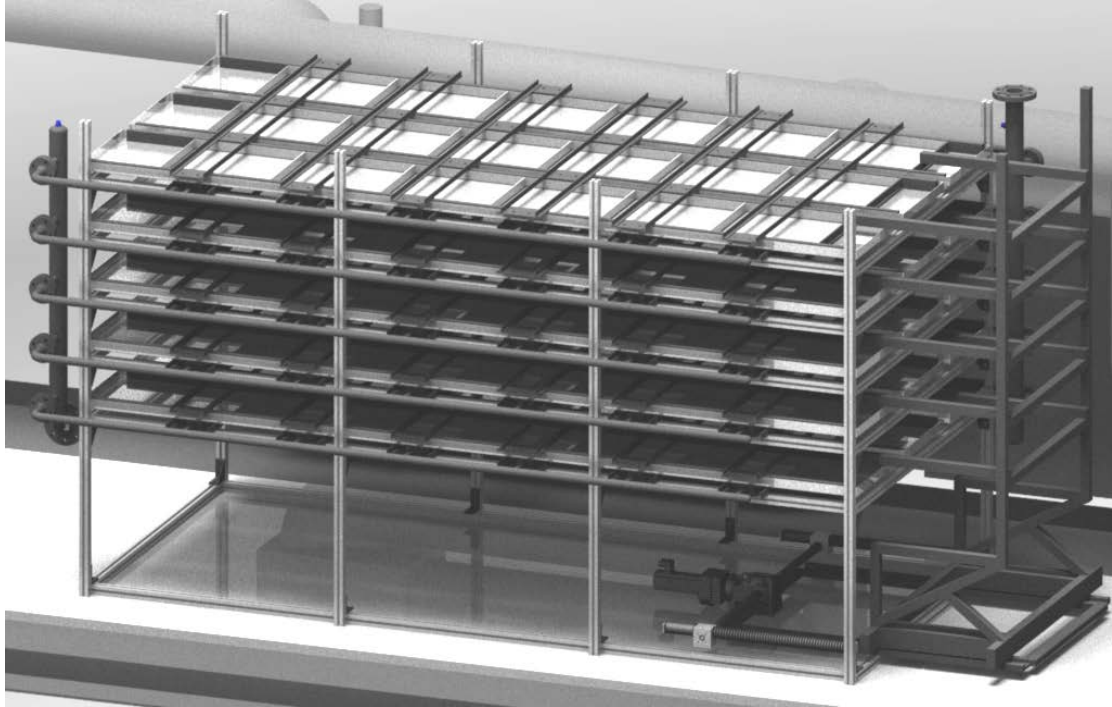


Demonstration 10 kW Testspeicher

Aufbau Einzelebene



Aufbau 10 kW Testspeicher



- 30 parallele Rohre
- $\text{NaNO}_3/\text{KNO}_3$ (eutekt.) als PCM
- Distanz Bewegung 0.5 m
- 400 kg PCM



Zusammenfassung und Ausblick

- PCMflux bietet verschiedene Vorteile:
 - konstante Leistung
 - reduzierter Wärmeübertrager (zugänglich)
 - kein direkter Kontakt zwischen PCM und druckführenden Rohren
 - nur niedrige Geschwindigkeiten, Bewegung über geringe Distanzen
 - Leistung kann über Vorschubgeschwindigkeit angepasst werden
- Status:
 - Entwurfsgrundlagen wurden durch Experiment und numerische ermittelt
 - Funktionsnachweis im Labormaßstab
 - 10 kW Testspeicher kurz vor Inbetriebnahme

