

“Power-to-Heat”

P2H in Hochtemperatur- Latentwärmespeichern für Prozesswärmeanwendungen

Ulrich Nepustil, Doerte Laing

INEM – Institut für Nachhaltige Energietechnik und Mobilität

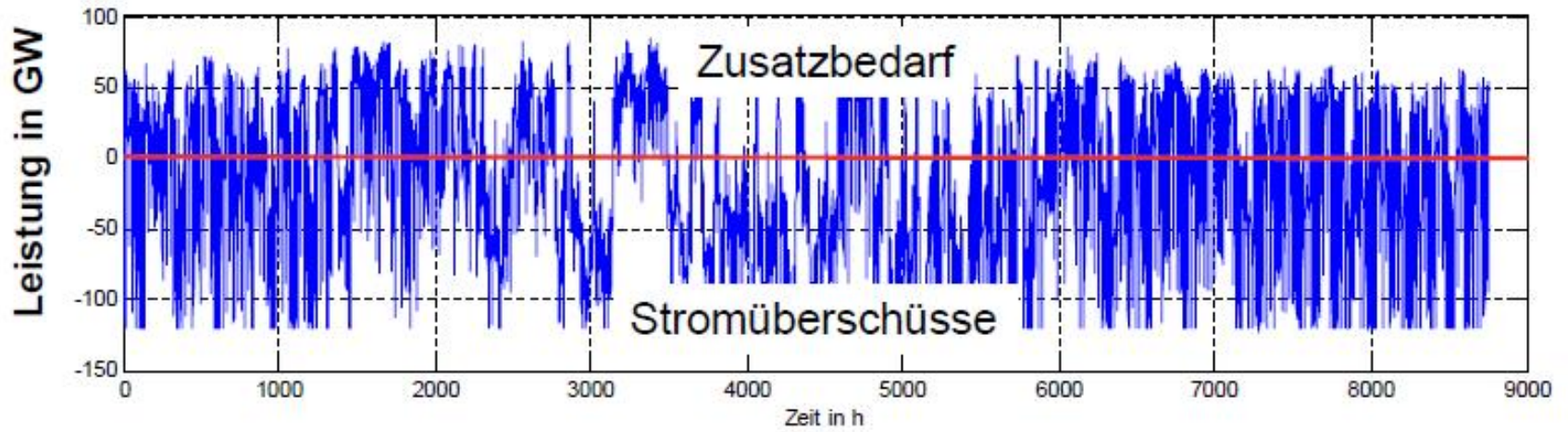
Hochschule Esslingen – University of Applied Sciences

Dialogplattform Power-to-Heat, Goslar - 05.05.2015

Agenda

- » Power-to-Heat Motivation
- » Warum Thermische Speicher
- » Arten Thermischer Energiespeicher
- » Einsatzgebiete und Herausforderungen bei Latentwärmespeichern
- » Neues Konzept für Latentwärmespeicher
- » Aktuelle Entwicklungen und Ausblick

Power-to-Heat Motivation

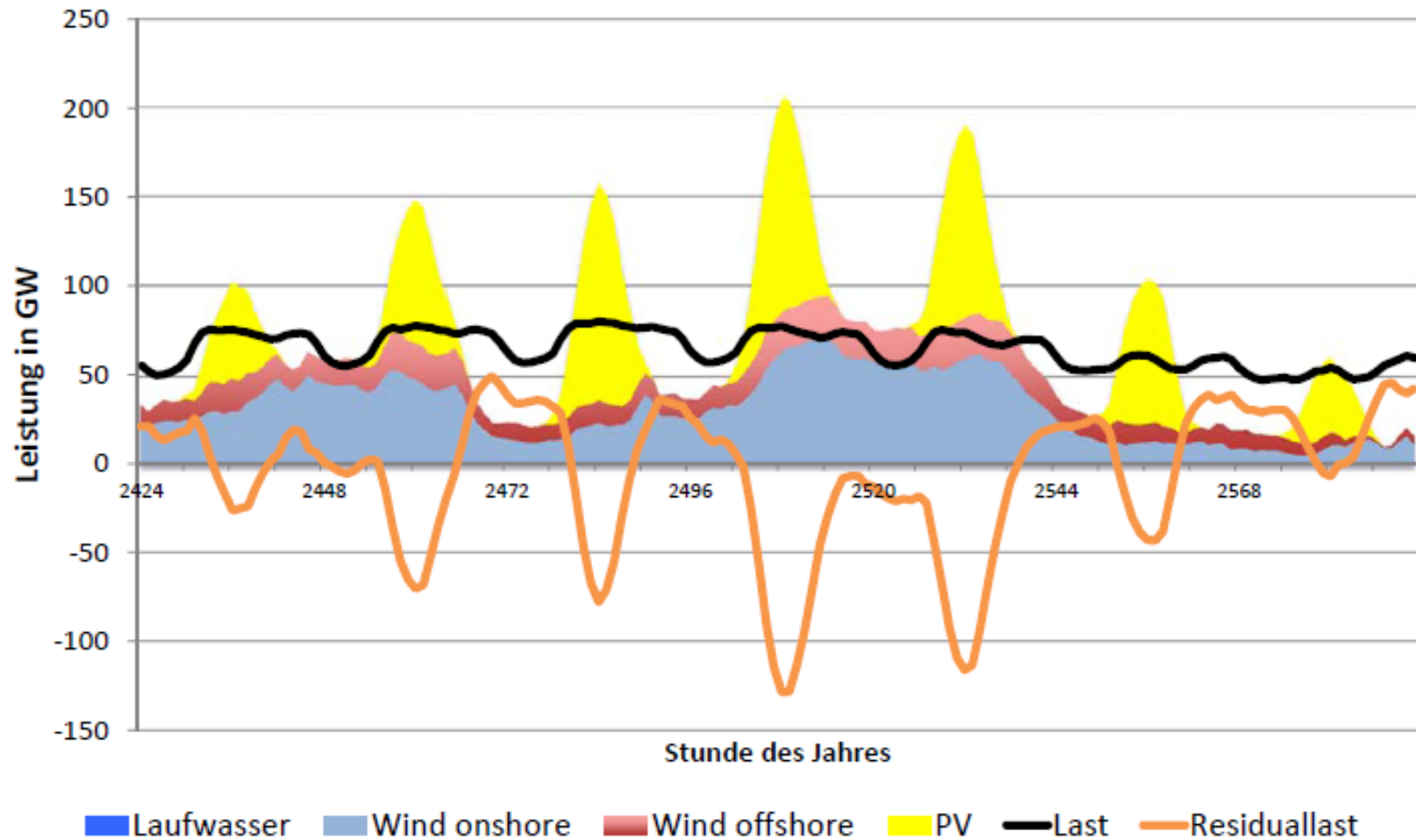


Fluktuierende
Stromerzeuger



Quelle: RWTH

Power-to-Heat Motivation



Quelle: RWTH

Südwestpresse 17.03.2015

Stromnetz unter Stress

Während der Sonnenfinsternis könnten alle Photovoltaik-Anlagen ausfallen

Lampen erlöschen, Maschinen gehen jaulend aus: Die Sonnenfinsternis am Freitag könnte das Stromnetz irritieren. Denn ein Drittel des Stroms stammt aus Sonnenenergie. Die Netzbetreiber sind gewappnet.

ANDREAS BÖHME

Stuttgart. Was für ein herrlicher Vorfrühlingsmorgen: Kalt, aber gleißende Sonne, kein Wölkchen trübt den Himmel zwischen Husum und Waldshut. Die Sonnenkollektoren laufen auf Hochtouren und liefern reichlich Ökostrom. Kaum vorstellbar, dass ein theoretisch denkbarer Katastrophentag für die deutsche Energiewende so strahlend beginnt.

risch. Dann müsste man auf die Sonnenenergie keine Rücksicht nehmen, denn dann bullerten die konventionellen Kraftwerke von Atom über Kohle bis Gas einfach weiter vor sich hin. Die Spitzen und Senken der Nachfrage ließen sich dann im üblichen Viertelstundenrhythmus ausgleichen. Das ist jene Zeitspanne, mit der an der Strombörse die Kontrakte gehandelt werden.

Andererseits ist Joswig durchaus neugierig: „Der Grad der Anspannung steigt von Tag zu Tag, die Sonnenfinsternis ist eine große Herausforderung für die Übertragungsnetzbetreiber.“ Zuversichtlich ist er dennoch: „Aufgrund ihrer Vorhersagbarkeit ist sie beherrschbar.“ Die Wissenschaftler der Universität Aa-

chen, sozusagen die Stromnetz-päpste der Republik, sehen das genauso. Jedenfalls theoretisch.

Schon lange bereiten sich die Netzbetreiber auf die Sonnenfinsternis vor. Früher, als Stromerzeugung und -verteilung in monopolistischer Hand war, hätte ein Tastendruck genügt und die Kraftwerke wären zu- und abgeschaltet worden. „Heute hat der Markt viele hundert Partner“, sagt Joswig, und keiner hat Erfahrung mit einem so seltenen Ereignis.

Die Mitarbeiter der Schaltwarte der TransnetBW in Wendlingen sind geschult. Es gibt keine Urlaubssperre, aber Verstärkung in der Schicht am Morgen. Mit den Kunden, der Bundesnetzagentur, mit

dem Wirtschaftsministerium und den Kraftwerksbetreibern, mit den Eignern der Verteilnetze und den Gutachtern stimmt man sich in den nächsten Monaten ab.

2021, wenn die nächste partielle Sonnenfinsternis stattfindet, werden entsprechend den Prognosen Sonnenkollektoren für 50 Gigawatt Sonnenenergie installiert sind, haben mehr Erfahrung. Und viele mehr Leitungen. „Die Anforderungen an das Stromversorgungsnetz wachsen stetig“, betont Joswig. „Deshalb ist es wichtig, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien auch die Netze zukunftsfähig ausgebaut werden.“

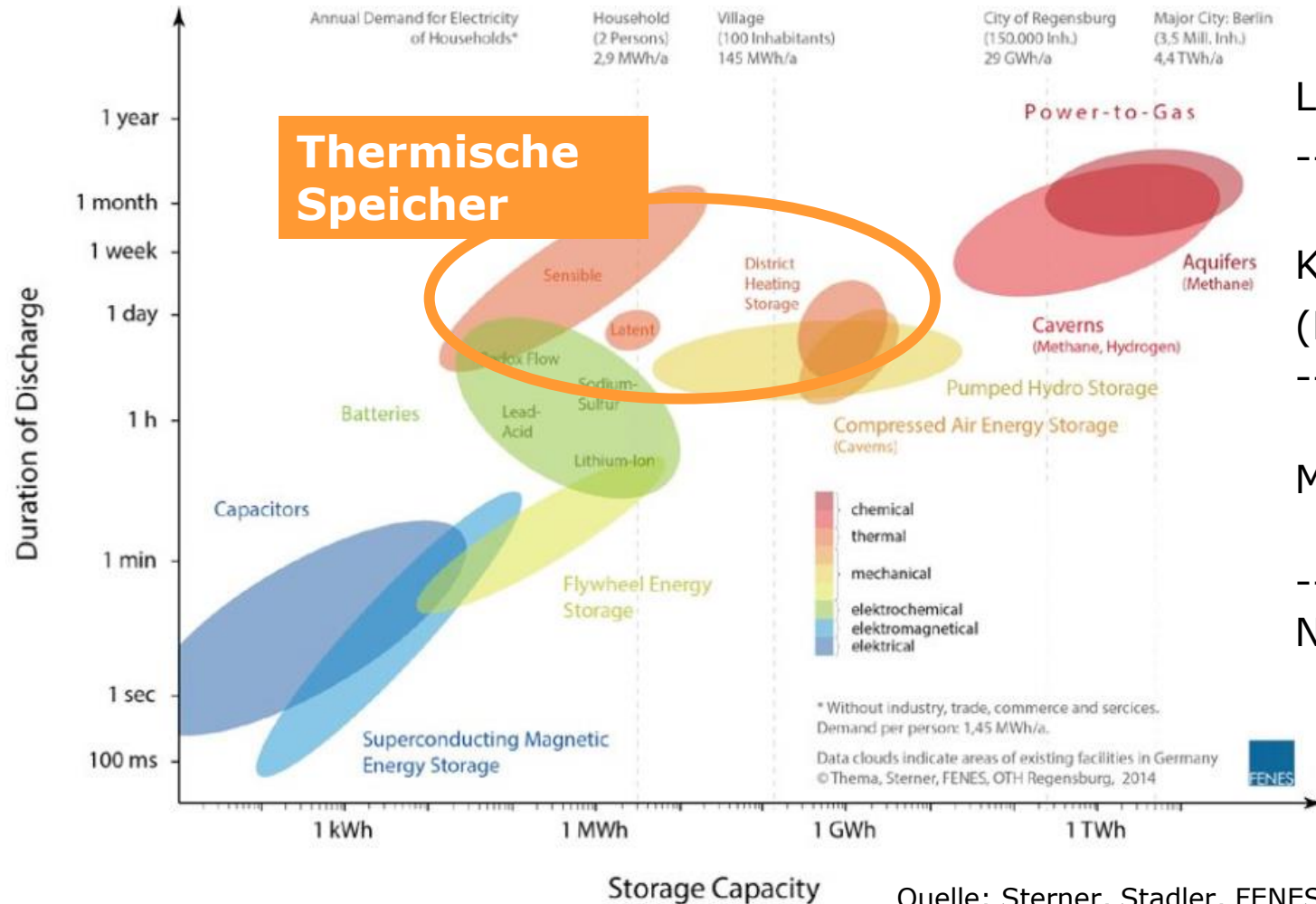
Von heute an gilt ein minutengenauer Fahrplan: Zwei Tage vor dem Finsternis zwischen 11 und 12 Uhr wird der Bedarf an Energie bestimmt, also der S

Stromnetze in Baden-Württemberg

Power-to-Heat

Warum Thermische Speicher

Speichertechnologien



Quelle: Sterner, Stadler, FENES, OTH Regensburg, 2014

Power-to-Heat

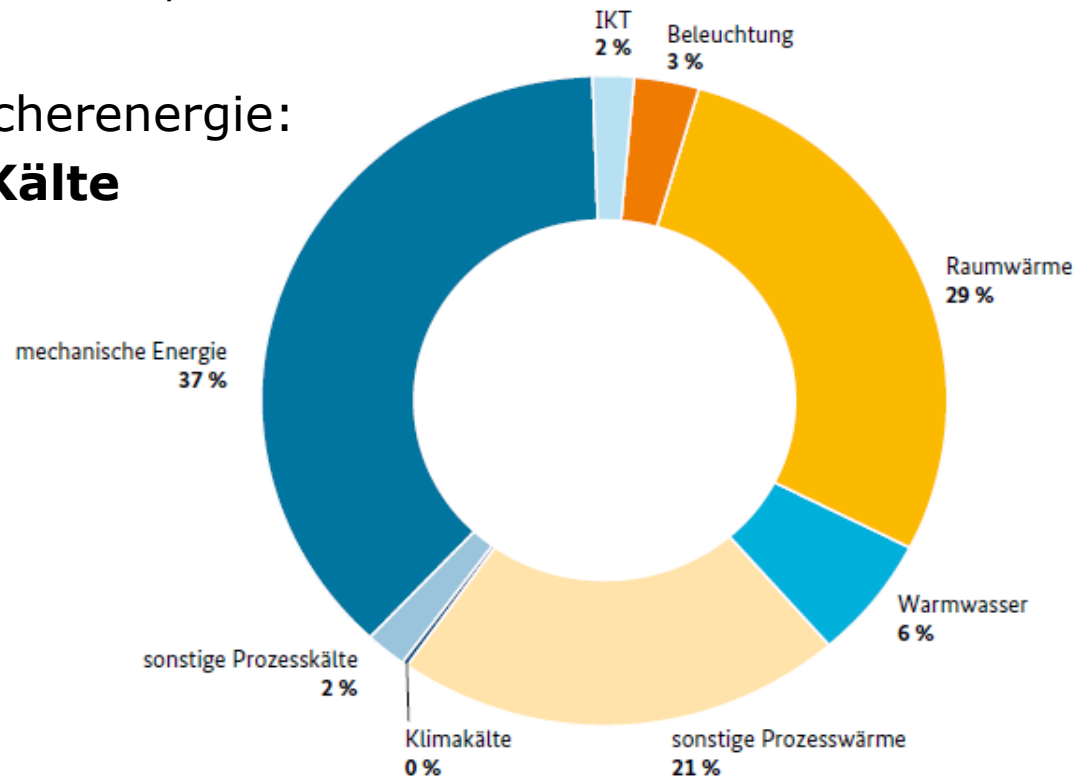
Warum Thermische Speicher

Gesamtenergieverbrauch Deutschland 2013:

- » Primärenergie 13,828 PJ
- » Endverbraucherenergie 9,269 PJ

Verteilung der Endverbraucherenergie:

⇒ **58% für Wärme und Kälte**



Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB), Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW)

Wärmespeicher sind ein wesentlicher Baustein für die Steigerung der Effizienz energieverfahrenstechnischer Prozesse
=> Schlüsselement zur Brennstoffeinsparung und zum Klimaschutz

Anwendungsbereiche

- » Heizen und Kühlen
- » Industrielle Prozesswärme und Abwärmenutzung
- » Konventionelle Kraftwerkstechnik
- » Solarthermische Kraftwerke
- » Wenige Wärmespeicher im Bereich $> 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ kommerziell verfügbar
=> noch zu teuer für breite Anwendung
- » Entwicklung fortschrittlicher Konzepte, Komponenten, Verfahren und Systemtechniken zur Wärmespeicherung im Hochtemperaturbereich erforderlich

Power-to-heat mittels Elektrischer Heizer

- » Niedertemperaturanwendungen (bis 100°C (< 130°C))
("Tauschsieder")
- » Beispiel:
 - » 5MW Heizer der Stadtwerke Tübingen
 - » Temperatur 130°C

Vorteile

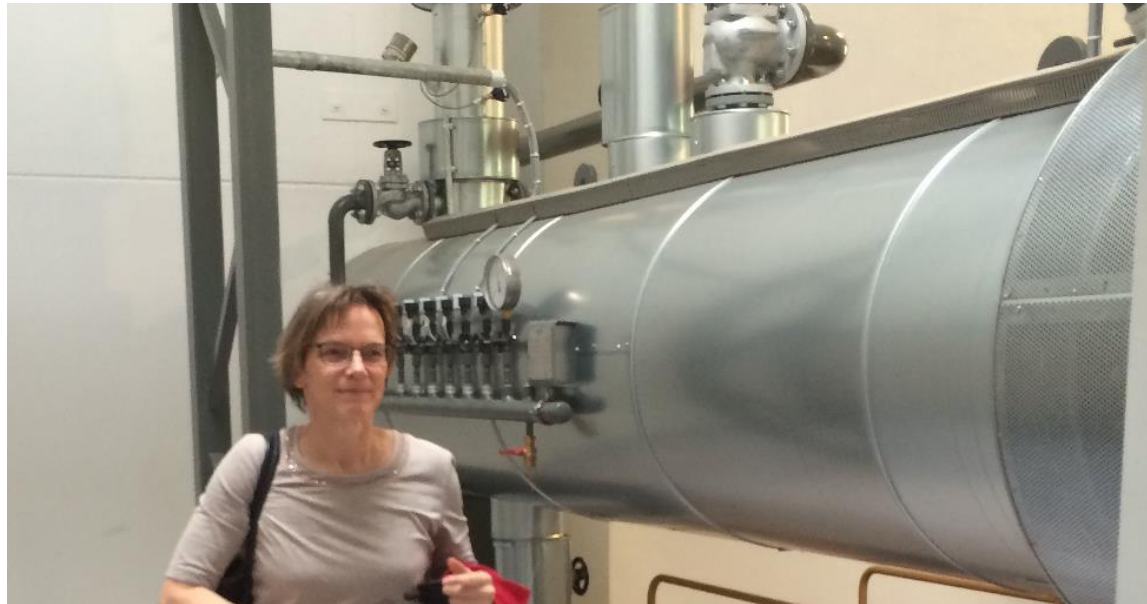
- » Kostengünstig
- » Negative Regelleistung

Status

- » Heute verfügbar

Herausforderungen

- » Fernwärmenetzausbau



Power-to-heat mittels Elektrischer Heizer

- » Hochtemperaturanwendung (über 100°C (> 150°C))

Vorteile

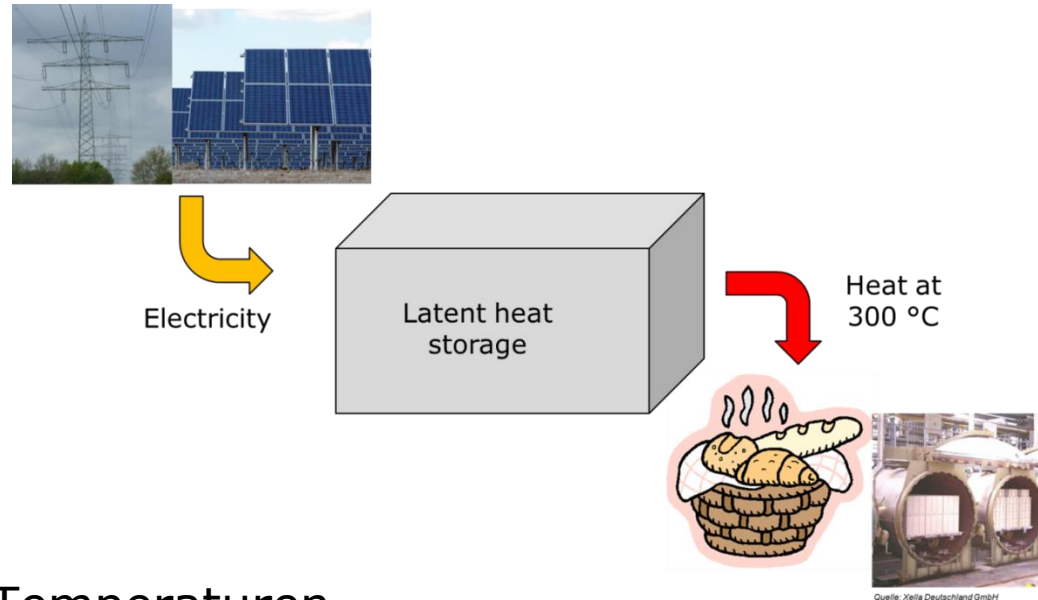
- » Hohe Qualität der Wärme durch hohes Exergieniveau
- » Breites Anwendungsspektrum

Status

- » Noch keine kommerziellen Anwendungen

Herausforderungen

- » Geeignete Speicher für hohe Temperaturen
- » Identifikation geeigneter Anwendungen
- » Keine Standardlösungen – vielfältige Anwendungen möglich



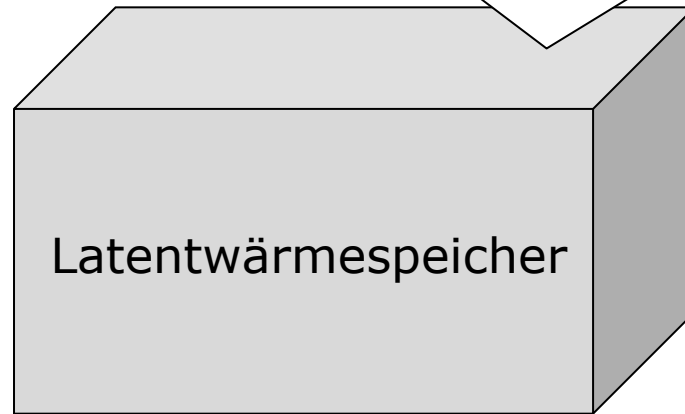
Power-to-Heat

Beispielanwendung Hochtemperatur



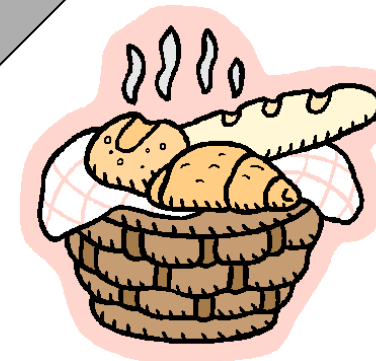
Phasenwechsel NaNO_3 bei **305 °C**
Latente Speicherkapazität 100 kWh/m³
⇒ **bei konstanter Temperatur**

Elektrische
Energie

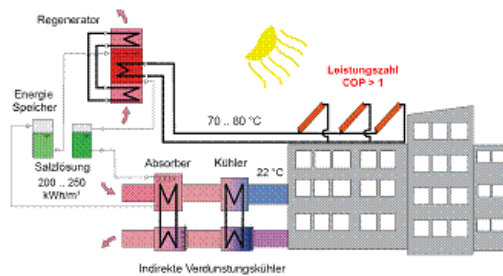
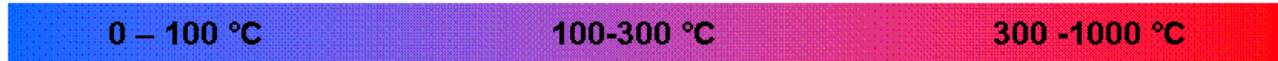
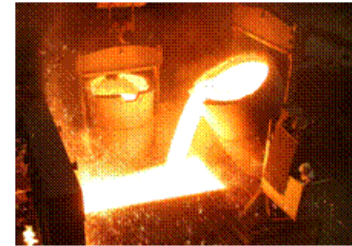
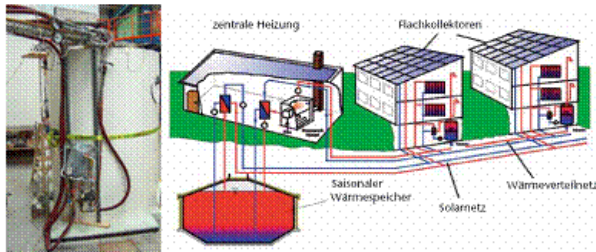


Prozesswärme
mit 300 °C

Speicherdauer von Stunden bis
mehreren Tagen

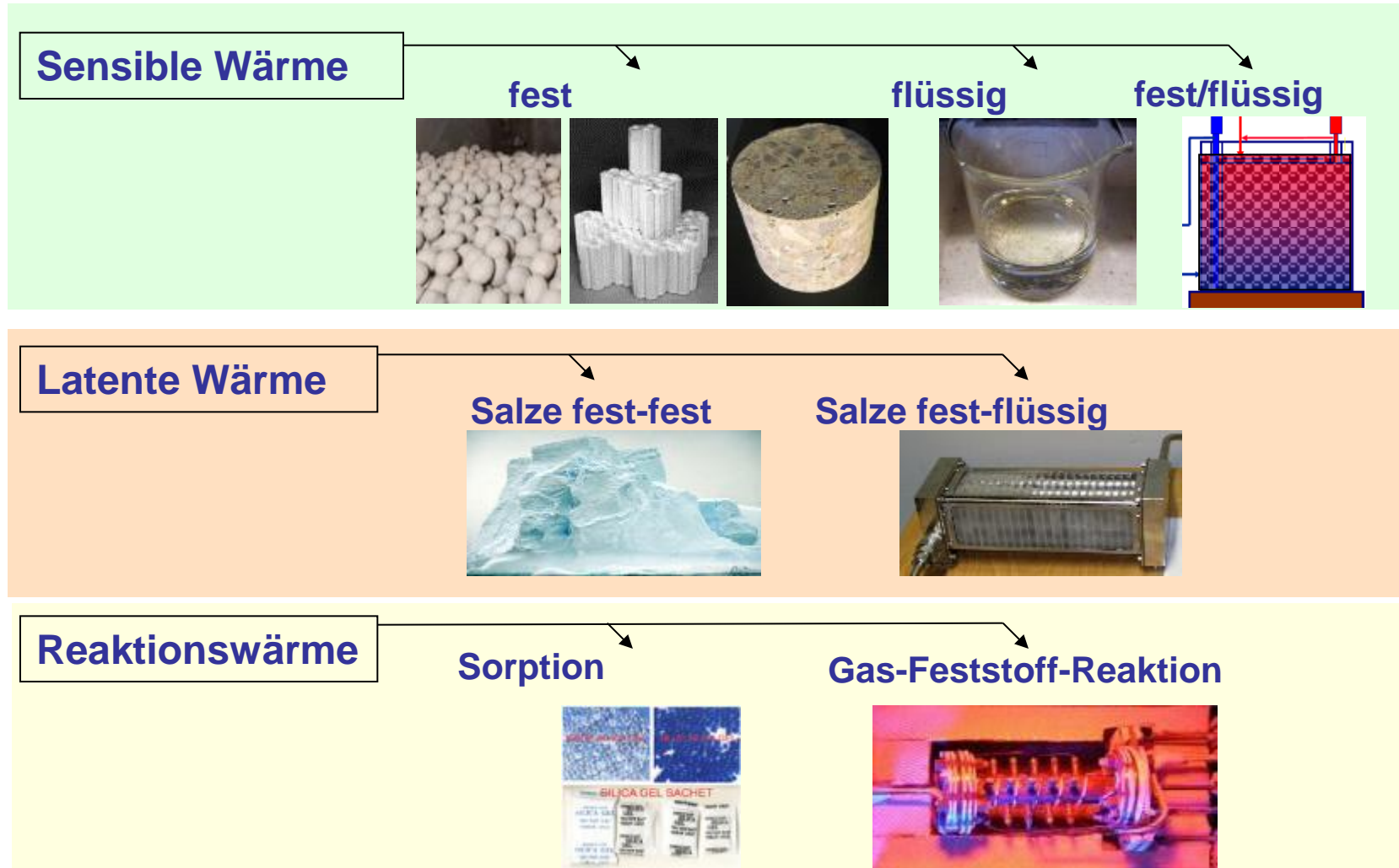


Quelle: Xella Deutschland GmbH



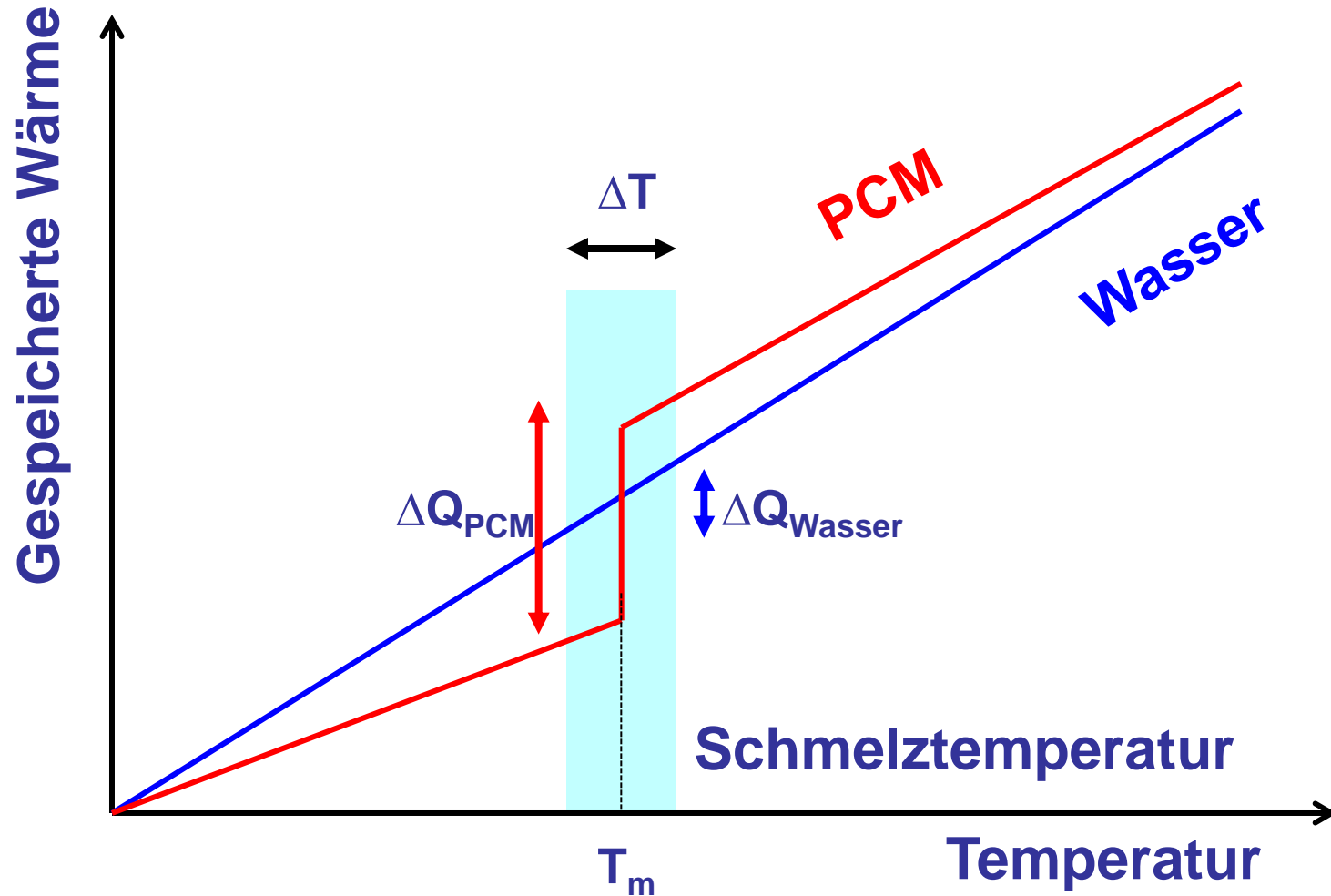
⇒ **EIN Speicher-
typ kann nicht alle Anforderungen abdecken!**

- » Leistungsbereich von kW bis MW
- » Kurzzeitspeicher (Minuten/Stunden) bis Langzeitspeicher (Tage/Wochen/ Monate)
- » Kapazität von wenigen kWh bis GWh
- » Temperaturbereich von 0 – 1000 °C
- » Diverse Wärmeträgermedien wie: Wasser, Kältemittel, Öl, Salz, Luft...



Power-to-Heat

Sensible / Latente Speicher



Beispiel Parrafin



Ladevorgang



Voller Speicher

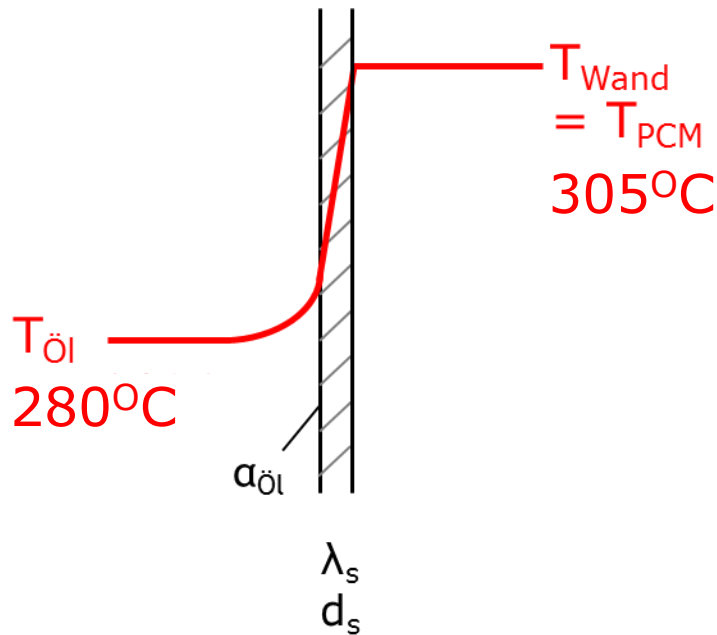


Entladevorgang

Wärmedurchgang PCM-Öl bei Entladung:

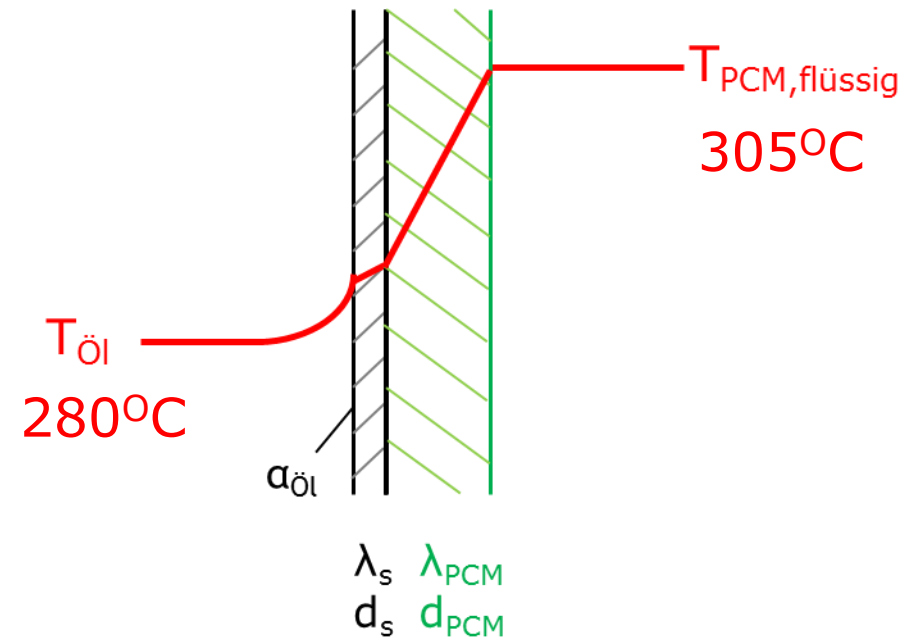
Beginn der Entladung
PCM vollständig flüssig

$$\Rightarrow T_{\text{wand}} = T_{\text{PCM}}$$



Im Verlauf der Entladung
Schicht d_{PCM} im PCM erstarrt

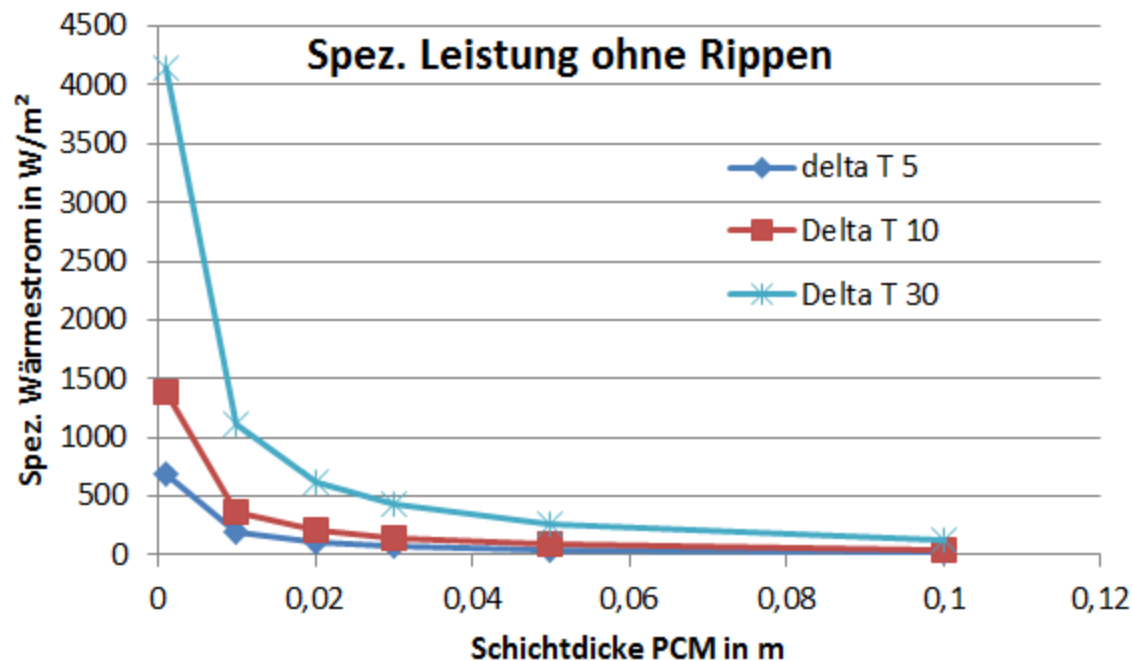
$$\Rightarrow T_{\text{wand}} < T_{\text{PCM}}$$



Wärmedurchgang PCM-Öl bei Entladung:

» Ann.: $\alpha_{\text{öI}} = 200 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, $\Delta T = 10 \text{ K}$

d_{PCM} [mm]	0	1	10	30	100
k [W/(m ² K)]	198	142	40	15	5
$\dot{q}_{\text{Entladung}}$ [kW/m ²]	1,98	1,38	0,37	0,14	0,05



⇒ mittlere spez. Leistung bei $\Delta T = 10 \text{ K}$:
ca. $400 \text{ W}/\text{m}^2$

Herausforderung – Geringe Wärmeleitfähigkeit des PCM

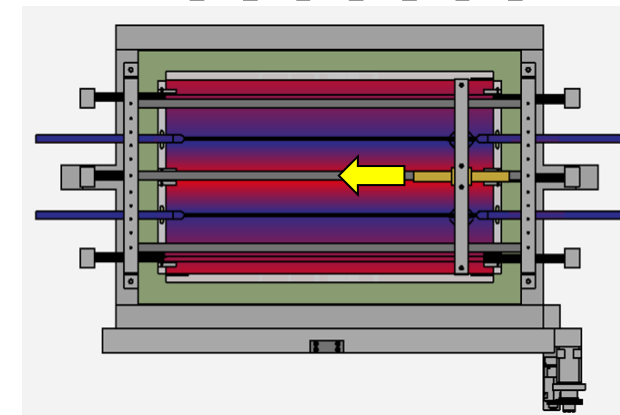
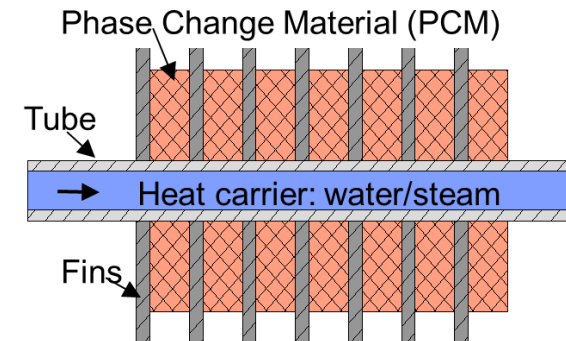
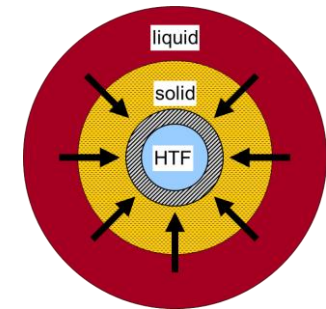
- » Wärmeübergangskoeffizient ist maßgeblich durch die Schichtdicke des festen PCM bestimmt

Stand der Technik – Passive Wärmeleitstrukturen

- » Konzept mit berippten Rohren
- » Vergrößerung der Wärmeübertragerfläche

Neues Konzept – Aktive Elemente

- » Linearschaber
- » Konstante (dünne) Schicht aus festem PCM
- » PCM Slurry



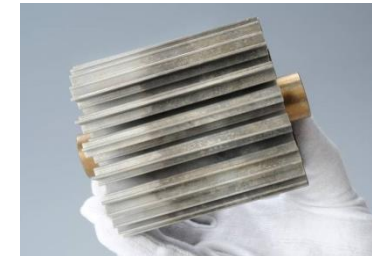
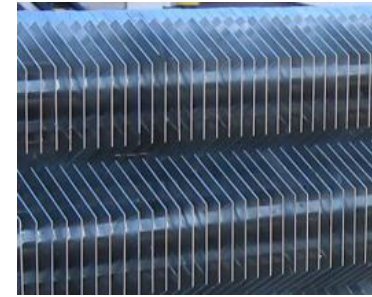
Beripptes Rohrkonzept demonstriert am DLR

- » Graphitrippen / horizontale Rohre
- » => begrenzt auf <250 °C
- » Aluminiumrippen radial / vertikale Rohre
- » Aluminiumrippen extrudiert / vertikale Rohre

5 Testmodule mit 140 - 2000 kg PCM

Vier Salz-Systeme demonstriert

- | | |
|--|--------|
| » NaNO ₃ - KNO ₃ - NaNO ₂ | 142 °C |
| » LiNO ₃ - NaNO ₃ | 194 °C |
| » NaNO ₃ - KNO ₃ | 222 °C |
| » NaNO ₃ | 305 °C |



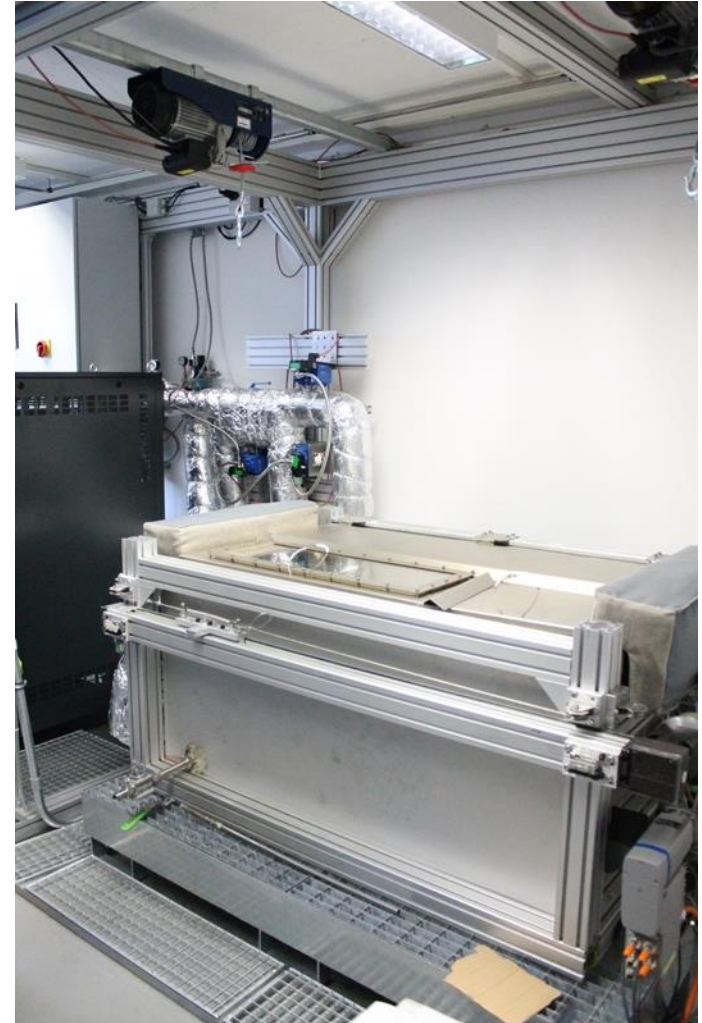
Quelle: DLR

Teststand

- » Heiz- und Kühlkreislauf
- » Thermoöl und elektrische Heizer
- » 20 kW Heizleistung (Öl)
- » 3*4 kW Heizleistung (Elektrisch)
- » 80 kW Kühlleistung

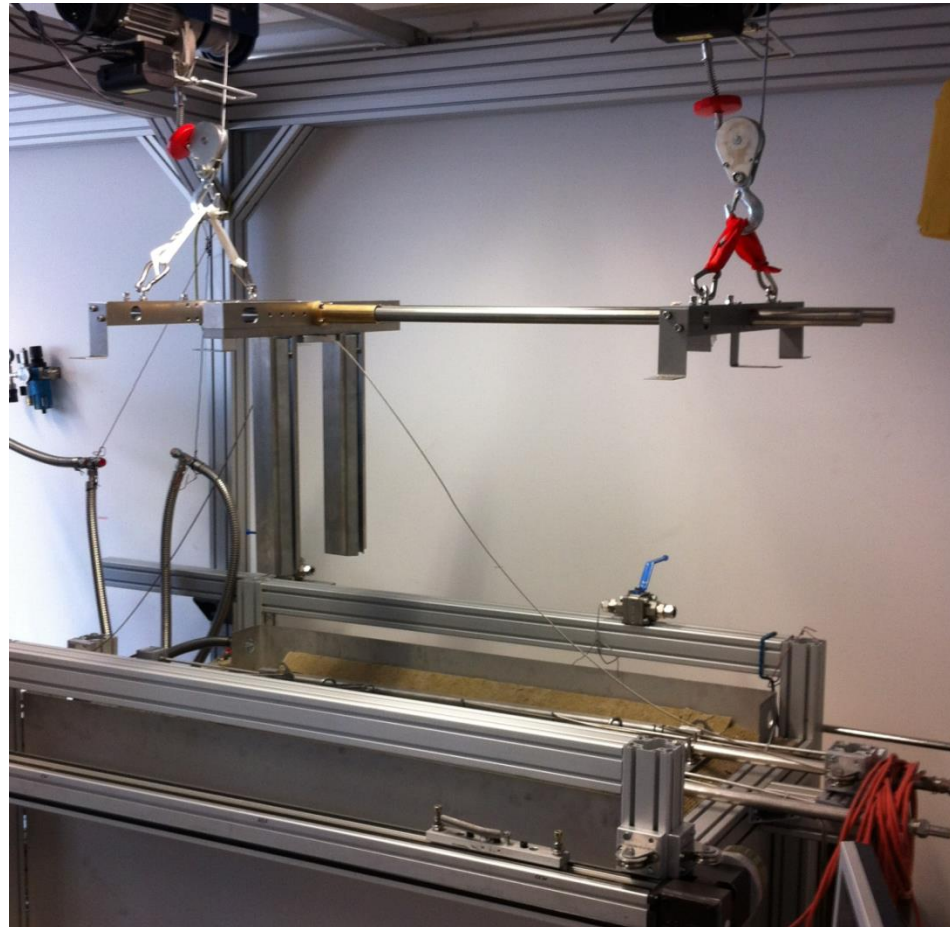
Latentwärmetestspeicher

- » 575 kg NaNO_3
- » 305°C Schmelztemperatur
- » 31 kWh latente Wärmekapazität



Teststand für Hochtemperatur-Latentwärmespeicher

Einbau der Mechanik der Linearschaber



Elektrische Heizplatten

Linearschaber

Wärmeübertragerplatten
(Pillowplates mit Thermoöl)



Prinzip

Direkte elektrische Beladung

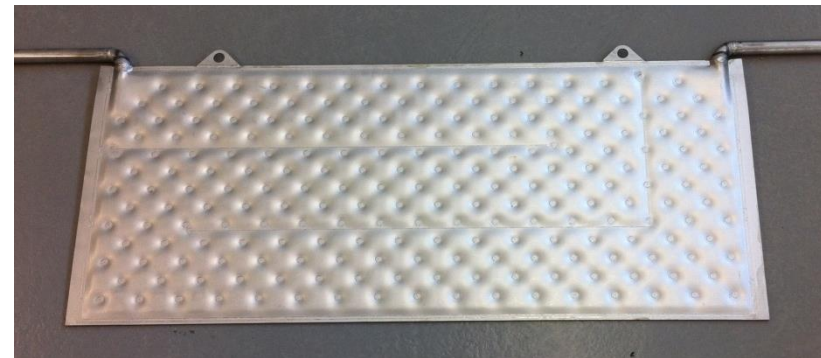
- » Elektrische Heizer direkt im Salz

Aktuelle Ausführung

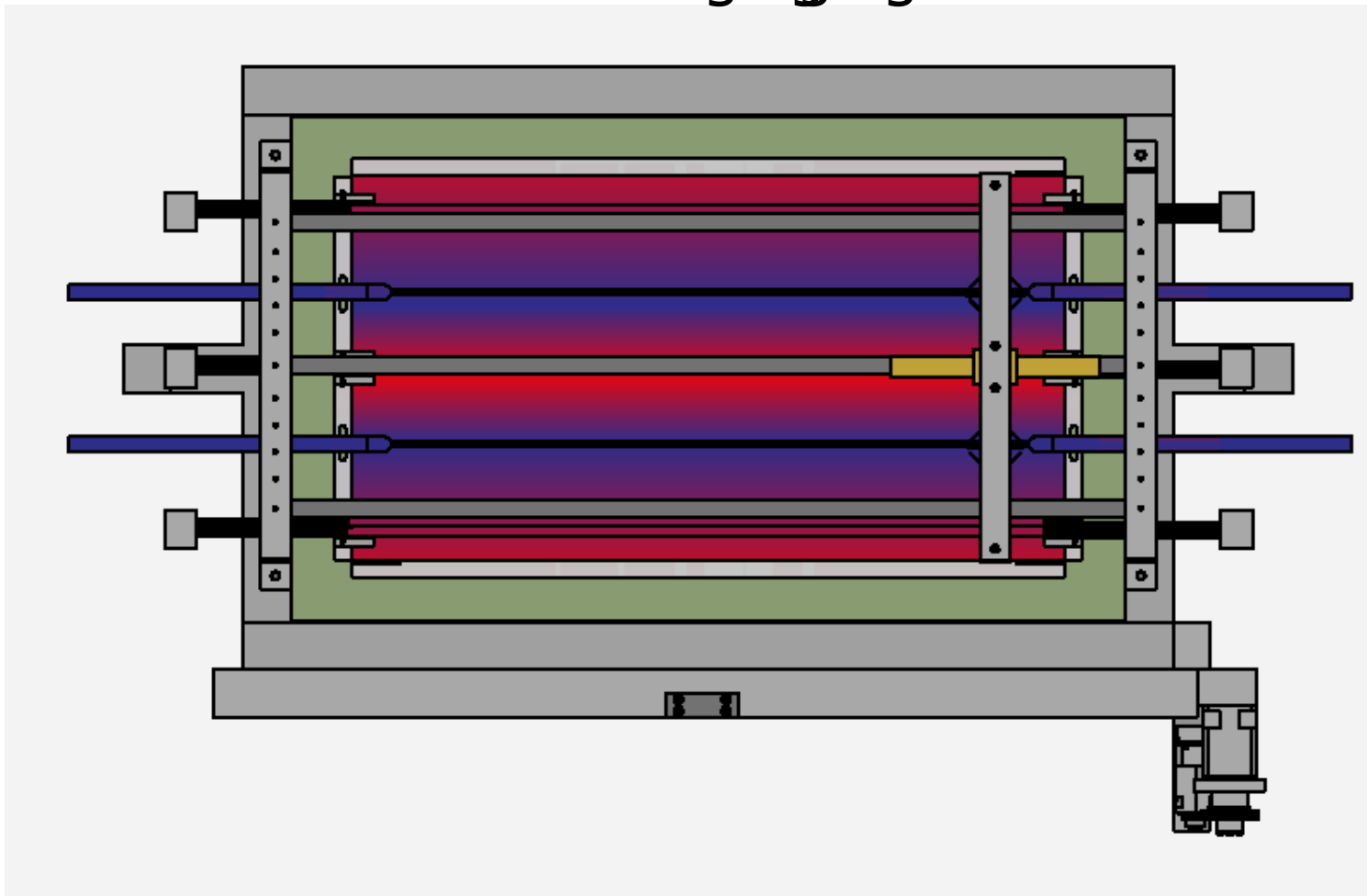
- » Getrennte Heiz- und Kühlplatten

Aktuelle Entwicklung

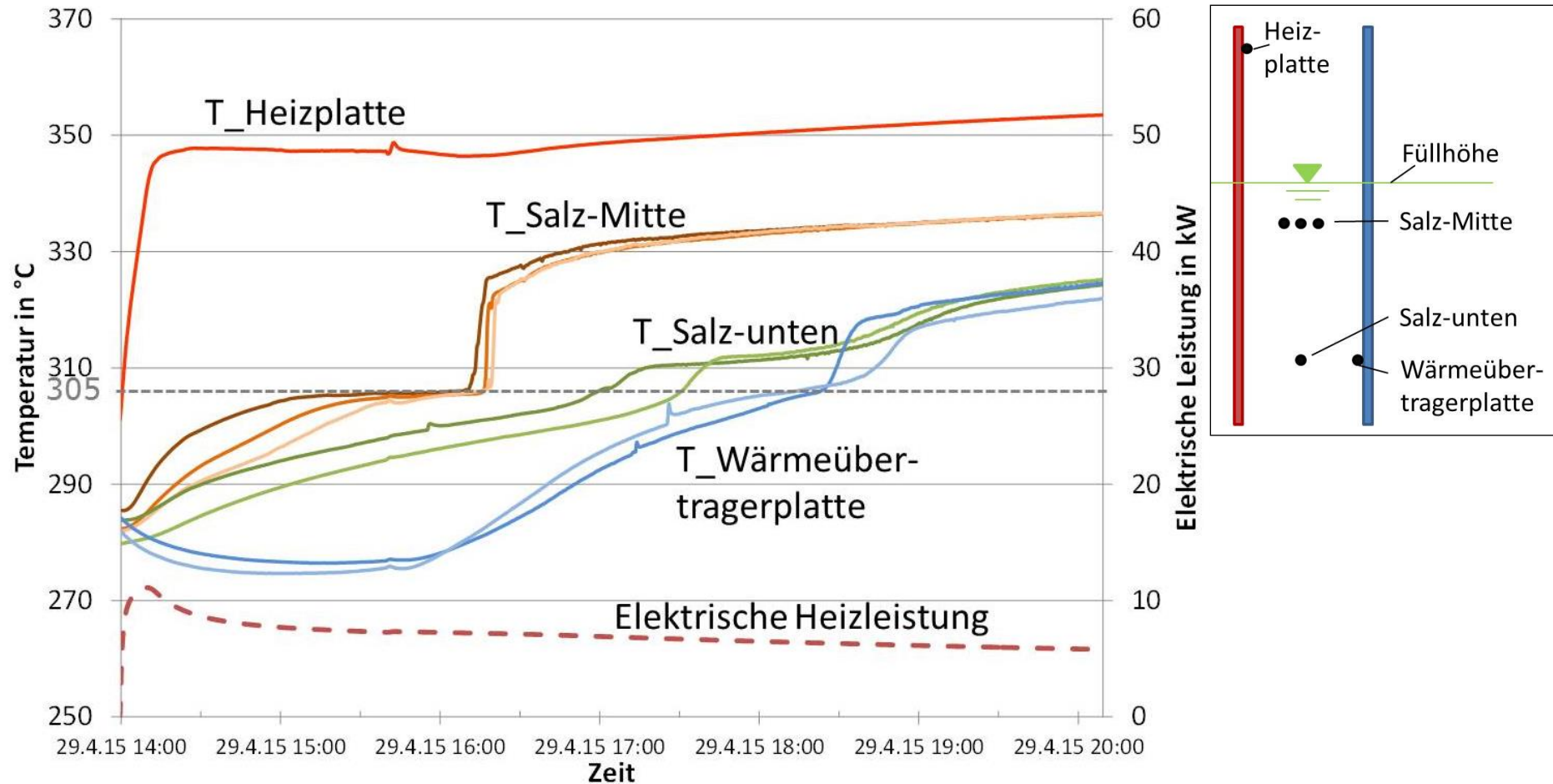
- » Integration der Heizplatten und der Öl durchströmten Wärmeübertragerplatten



Discharging

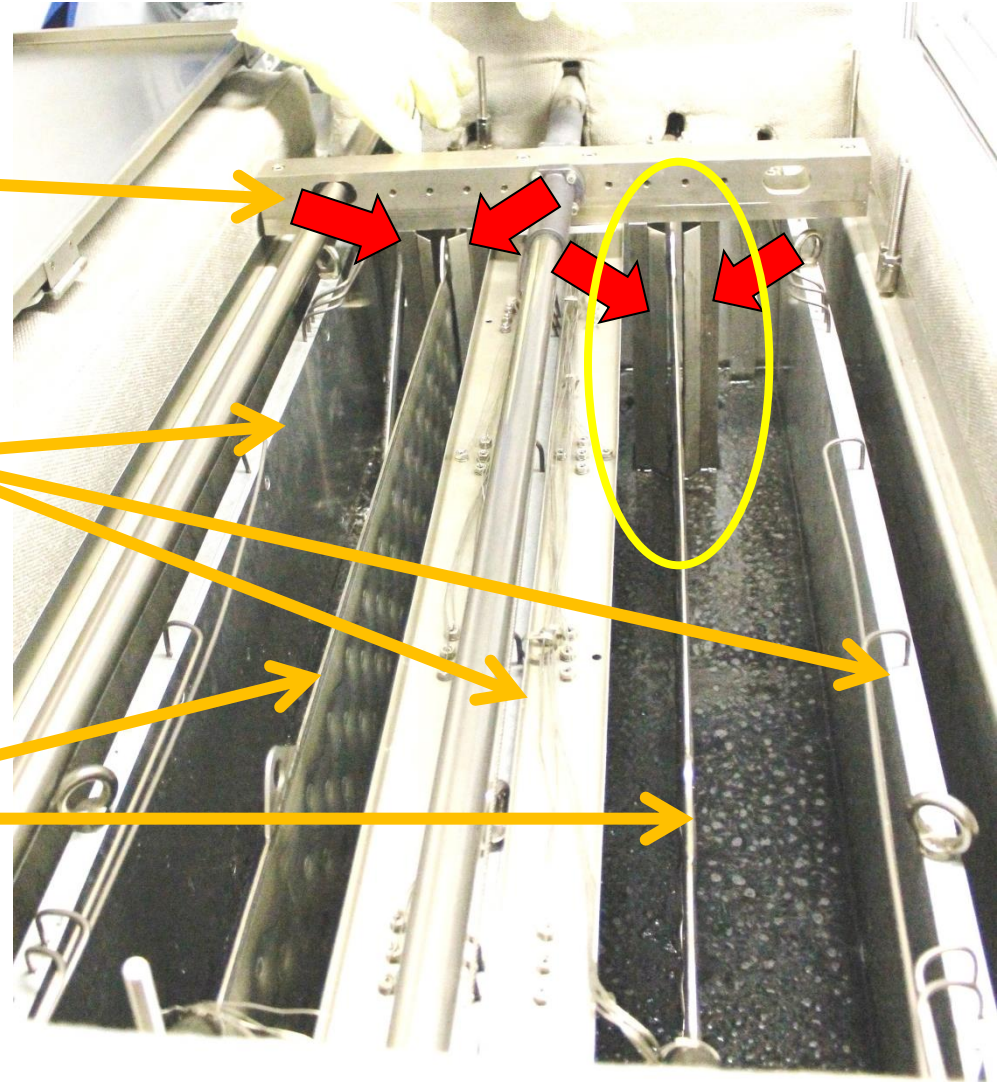


Hochtemperatur-Latentwärmespeicher Testspeicher bei elektr. Beladung



Latentwärme Testspeicher

- » Linearschaber
- » Elektrische Heizplatten
- » Öl durchströmte
» Wärmeübertragerplatten





Latentwärme Testspeicher

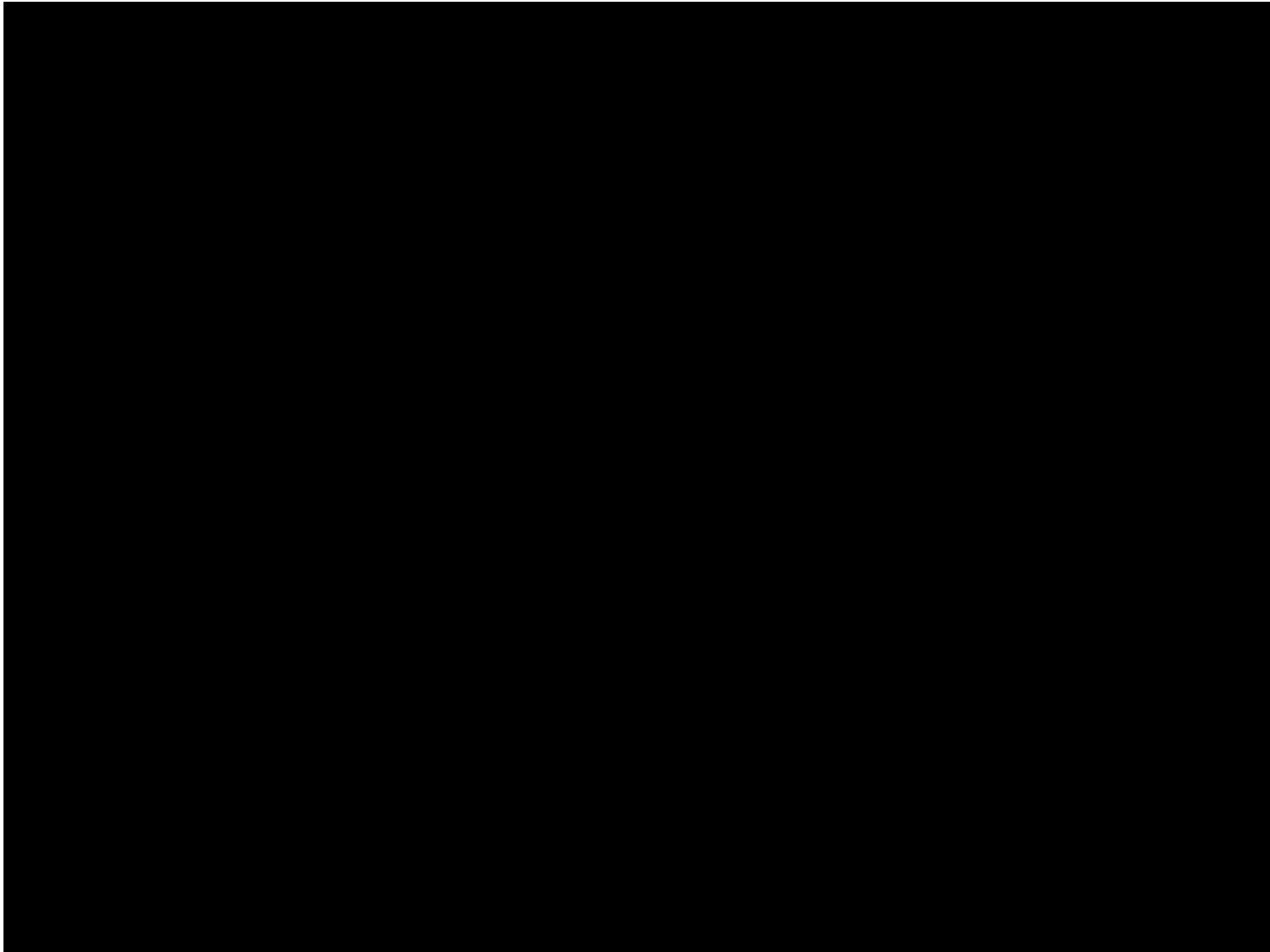
» Linearschaber

» Wärmeübertragerplatte

» Erstarrtes PCM bei
konstanter Schichtdicke

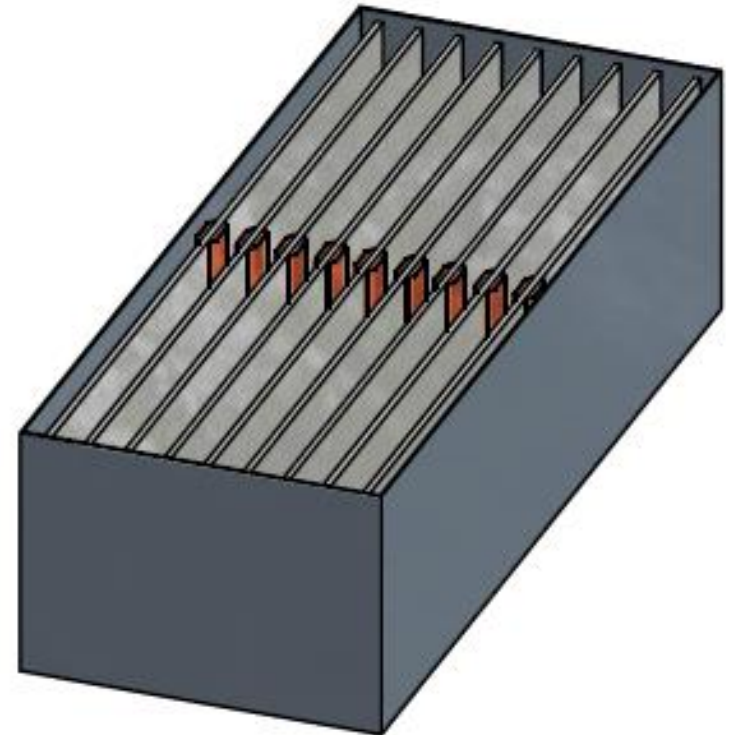
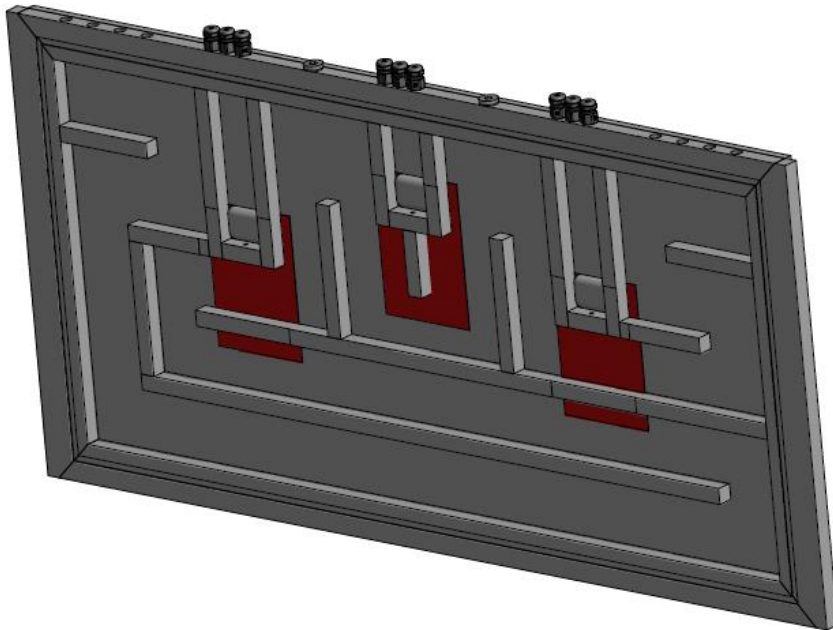
» PCM Slurry

Hochtemperatur-Latentwärmespeicher Testspeicher im Betrieb



Integration der elektrischen Heizer und der Wärmeübertrager

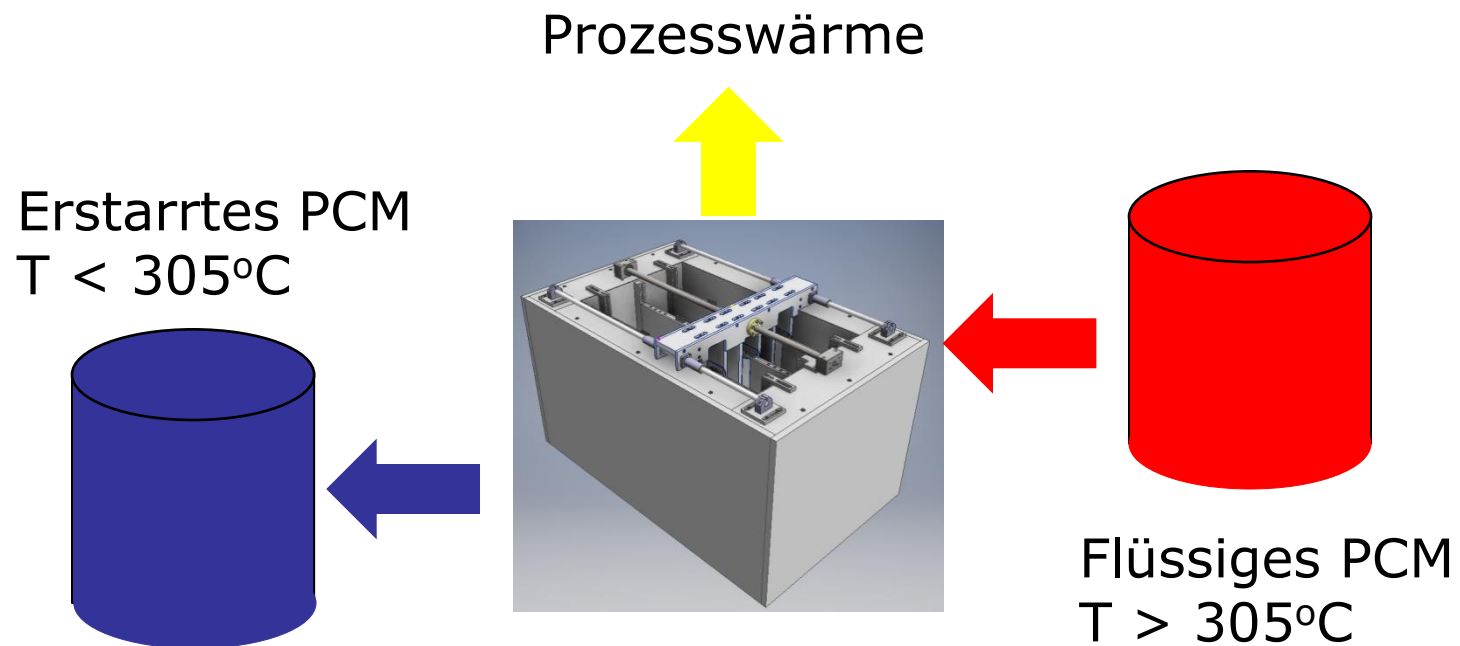
- » Erhöhung der Leistung durch Vergrößerung der Wärmeübertragerfläche
- » Modularer Aufbau, dadurch Variation der Leistung



Aktuelle Weiterentwicklungen

Trennung von Leistung und Kapazität

- » Kontinuierliches Entfernen der festen PCM-Anteile aus dem Slurry und Abspeichern im "kalten" Tank (300°C)
- » Nachfüllen des Speichers mit flüssigem PCM aus dem "heißen" Tank (320°C)



- » Power-to-heat ist eine einfache und für Niedertemperaturanwendungen bereits verfügbare Technologie
- » Kann zur Bereitstellung von negativer Regelleistung eingesetzt werden
- » Einsatz im Hochtemperaturbereich eröffnet ein breites Anwendungsgebiet für benötigte Prozesswärme und eine höhere Qualität der Wärme
- » Effiziente und kostengünstige Speichertechnologien sind hierfür notwendig
- » Vorteil von Latentwärmespeichern – konstante Wärme – ist für viele Prozessanwendungen ideal
- » Verbesserung der Leistungscharakteristik durch neues Konzept mit aktiven Elementen im Speicher
- » Dadurch Trennung von Leistung und Kapazität realisierbar

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontaktdaten:

Prof. Ulrich Nepustil / Prof. Doerte Laing

INEM – Institut für Nachhaltige Energietechnik und Mobilität

Hochschule Esslingen – University of Applied Sciences

Robert-Bosch-Straße 1

73037 Göppingen

ulrich.nepustil@hs-esslingen.de / doerte.laing@hs-esslingen.de

<http://www.hs-esslingen.de>