

# Modulare Hochtemperatur-Wärmespeicher zur wärmetechnischen Prozesskopplung an Industrieöfen

## 3. Aachener Ofenbau- und Thermoprozess-Kolloquium

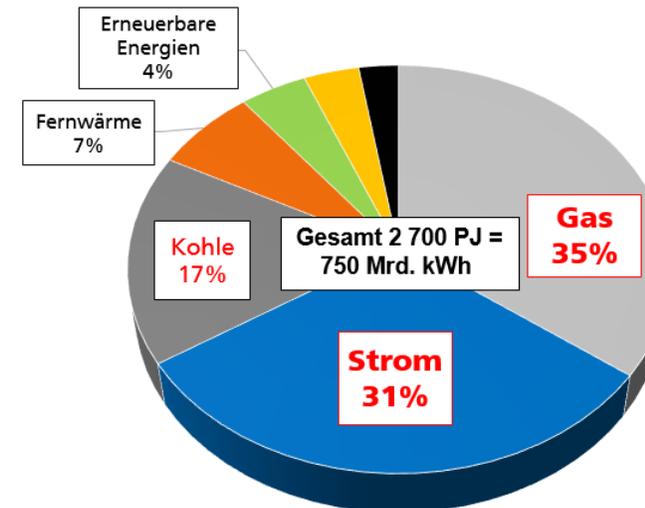
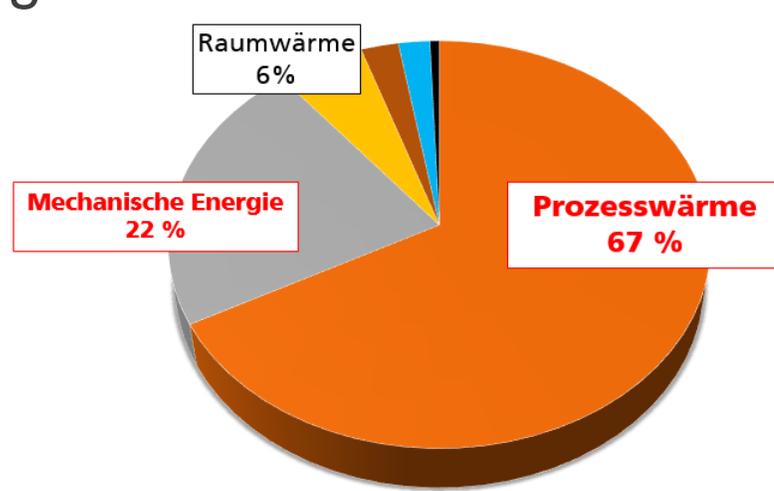
Benedikt Bender, M.Sc., Dr.-Ing. Elmar Pohl, OWI Science for Fuels  
Dipl.-Ing. Torsten Seidel; Fraunhofer IFAM, Institutsteil Dresden  
Dr.-Ing. Hansjochen Oertel, Dipl.-Ing. Sven Hadrian; GIWEP  
Dr.-Ing. Wolfgang Bender, Maik Scheef, B.Sc.; Hülsenbusch Apparatebau  
Aachen, 07.10.2021 – 08.10.2021

# Agenda

- Motivation und Projektidee
- Aufbau Wärmespeicher
- Thermoprozesssteuerung
- Versuchsergebnisse Sensibler Speicher
- Versuchsergebnisse Latentwärmespeicher
- Verschaltungsvarianten
- Fazit und Ausblick

# Motivation

- Endenergie in der Industrie ist überwiegend Prozesswärme
- Ungenutzte Energie geht zum großen Teil als Abwärme verloren
  - An erdgasbeheizten Industrieöfen liegt der Abwärmeanteil bei 20 % bis 75 %, abhängig von Temperatur und Betriebsweise
- Abwärmeanfall ist starken zeitlichen Schwankungen unterworfen und nicht synchron zu möglichen Abnehmern



\* Anteil fossiler Energieträger an der Stromerzeugung > 50 %

Quelle: AG Energiebilanzen

Endenergie in der deutschen Industrie 2017 nach Anwendungsbereichen (links) und Energieträgern (rechts)

# Projektidee



- Einsatz von Wärmespeichern für die Sekundärnutzung der Energie aus Abwärme
- Einsatz von Wärmespeichern für die Speicherung von Überschussstrom aus erneuerbaren Energiequellen (Sektorkopplung)
- aber: flexible Standardlösungen für die Speicherung von Prozesswärme kaum kommerziell verfügbar

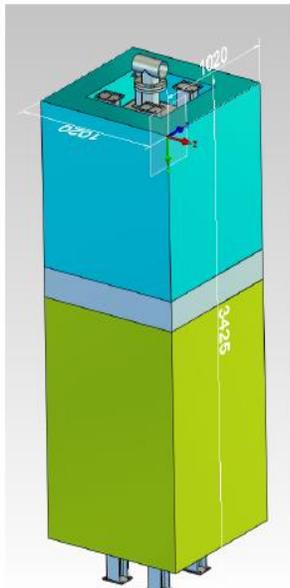
→ Projektidee "Modul-Heat-Store":

- modularer, skalierbarer und kostengünstiger thermischer Speicher
- flexible Kombination verschiedene Speichermaterialien
- einfache Anpassung an verschiedene Einsatzbedingungen (Temperatur, Massenstrom, Wärmeträger, zeitliche Schwankungen)
- Eignung für unterschiedliche Abnehmer (Prozesswärme, Verstromung, ...)

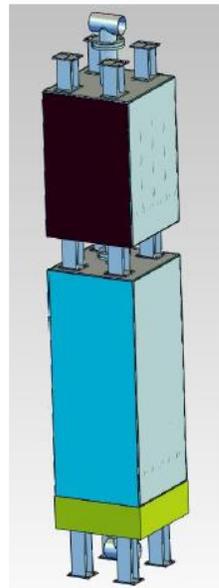
# Aufbau Wärmespeicher

- Große Wärmekapazität und hohe Wärmeleistung durch zielgerichtete Auslegung des Wärmespeichers
- Geeignet für Schwankungen bei Volumenstrom und Temperatur
- Auslegung und Berechnung durch eigene Simulationsprogramme
- Speziell entwickeltes Automatisierungs- und Regelungsprogramm zur Verbindung mit dem Ofen

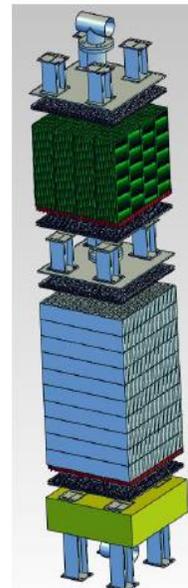
a) Speichermodule komplett



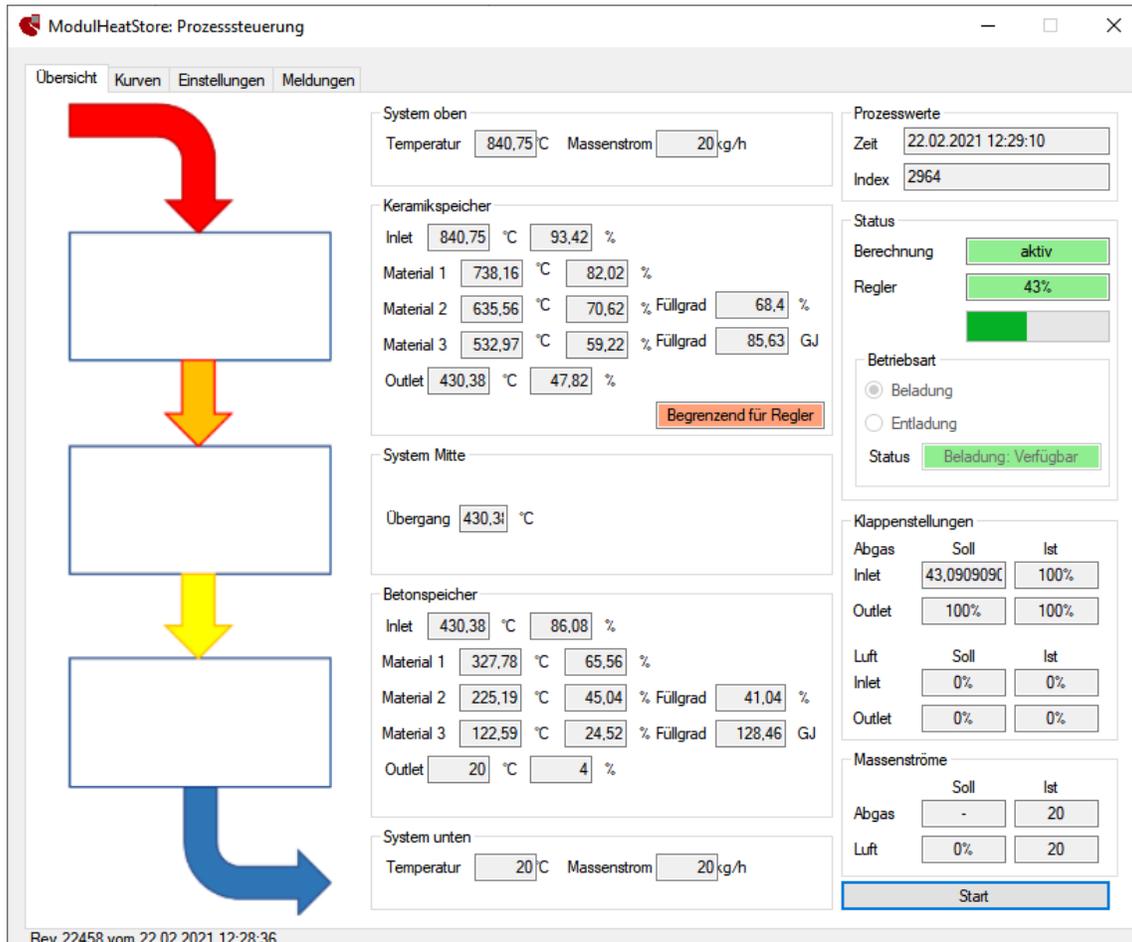
b) Speichermodule ohne Wärmedämmung



c) Speichermodule ohne Wärmedämmung und ohne Gehäuse

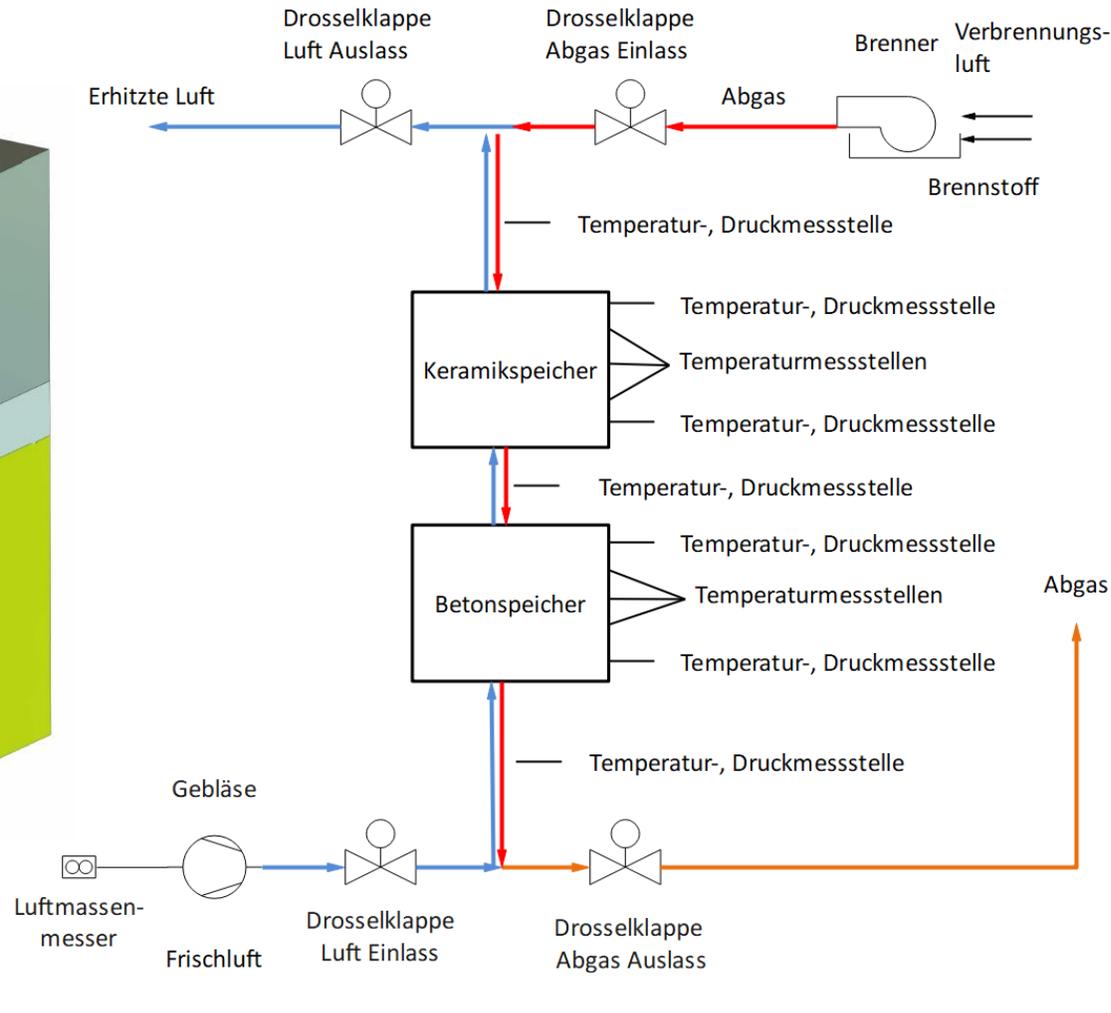
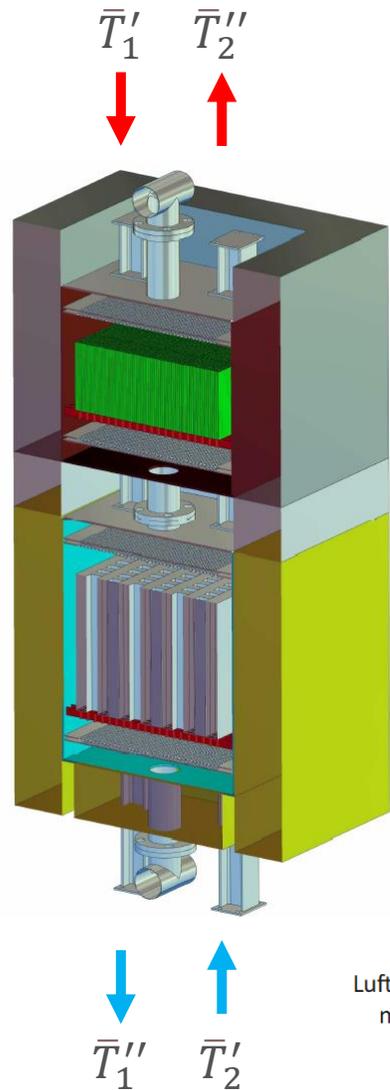


# Thermoprozesssteuerung



- Entwicklung einer Thermoprozesssteuerung für den modularen Wärmespeicher
- Aufwendige Anpassungen an Bestandsöfen nicht notwendig
- Be- und Entladekonzept zur optimalen Nutzung der Abwärme
- Vorgelagerter Prozess wird nicht negativ beeinflusst
- Abnehmer wird mit der gewünschten Wärmemenge versorgt

# Versuchsaufbau



- HT-Modul mit Wabenkörpern
- NT-Modul mit Betonelementen
- Module haben Standard-Baugröße und Tragsystem
- gleichmäßige Anströmung der Speichermassen durch Einbauten
- betriebsnahe Versuche durch Anschluss an eine Industriefeuerungsanlage

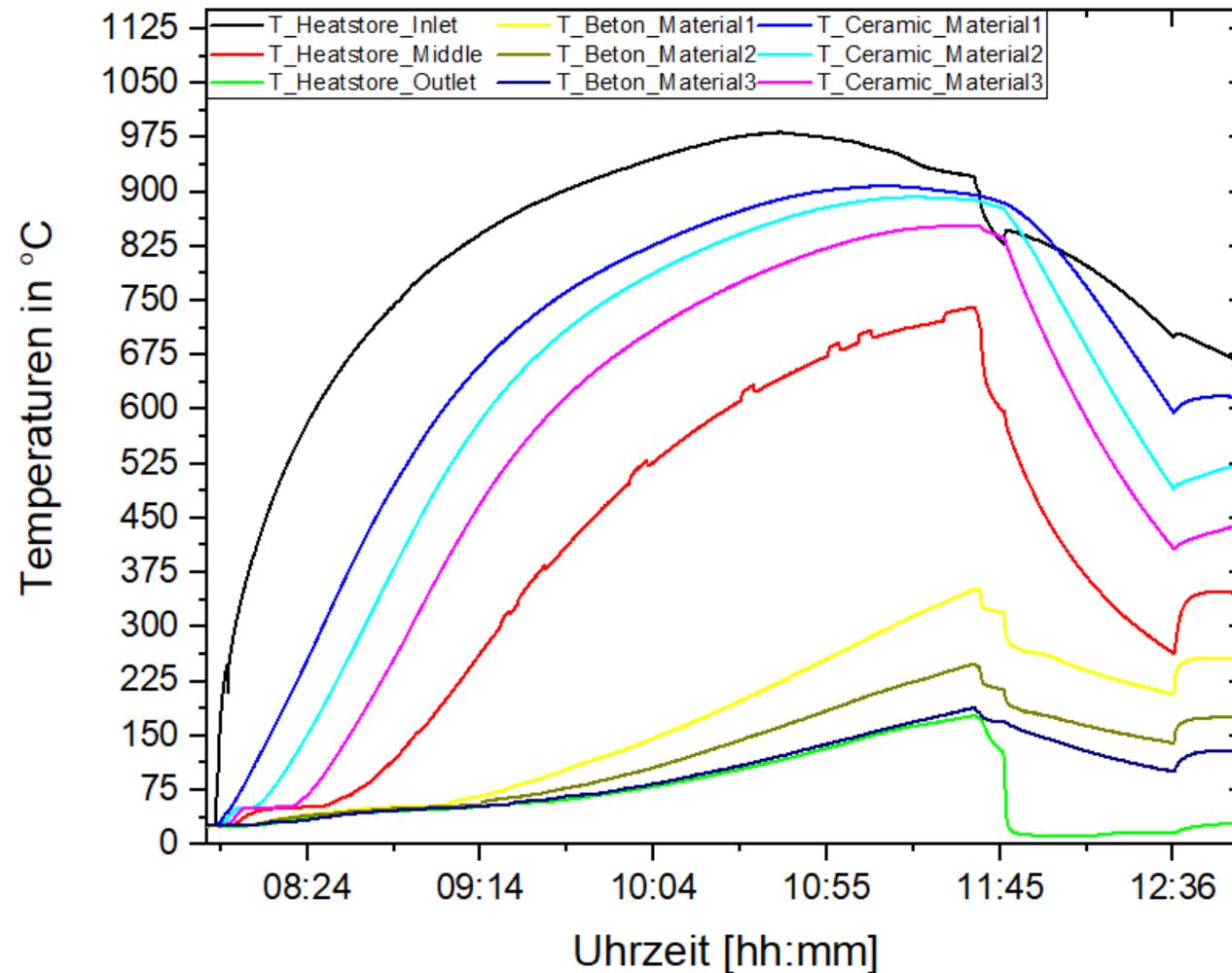
- Nutzungsgrad:

$$N_{Abwärme} = \frac{Q_{Ausgespeicherte, Wärmemenge}}{Q_{Enthalpiemenge, Eintritt Beladung}}$$

- Wirkungsgrad:

$$\eta_{ws} = \frac{\bar{T}_2'' - \bar{T}_2'}{\bar{T}_1' - \bar{T}_2'}$$

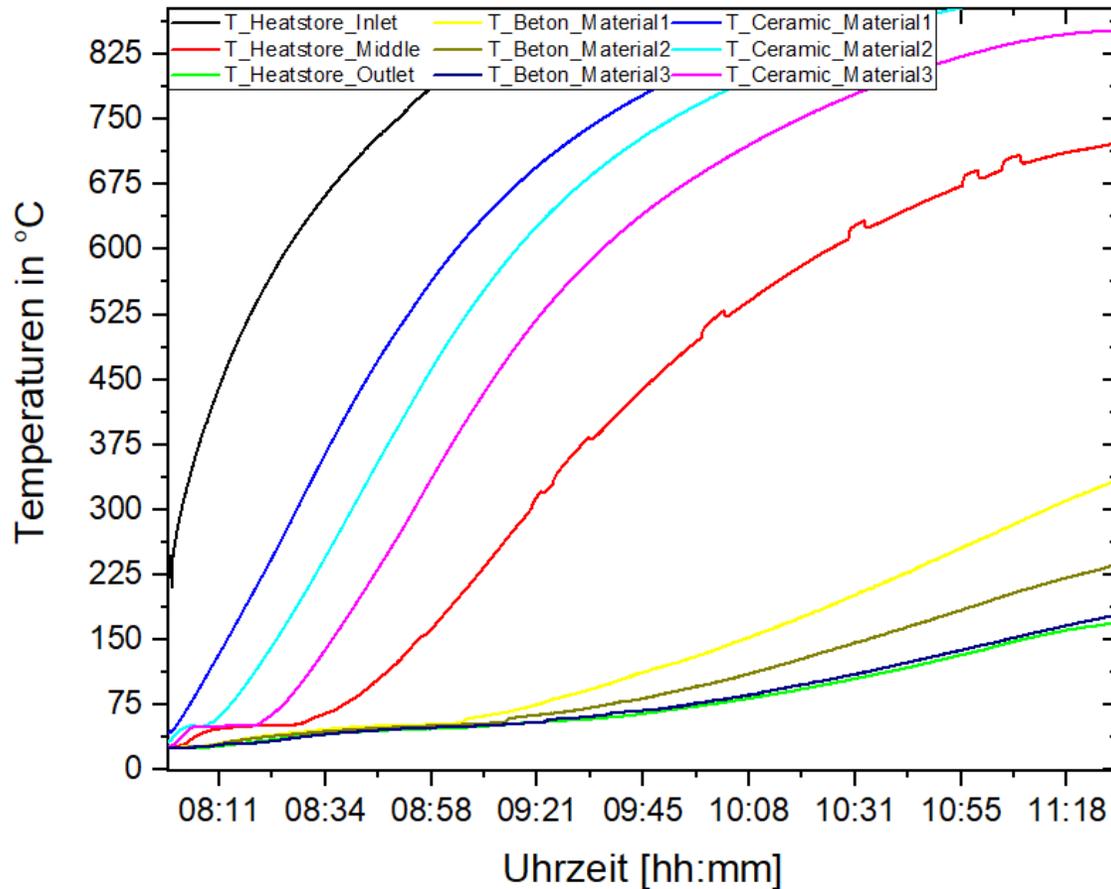
# Speicherbeladung und Entladung



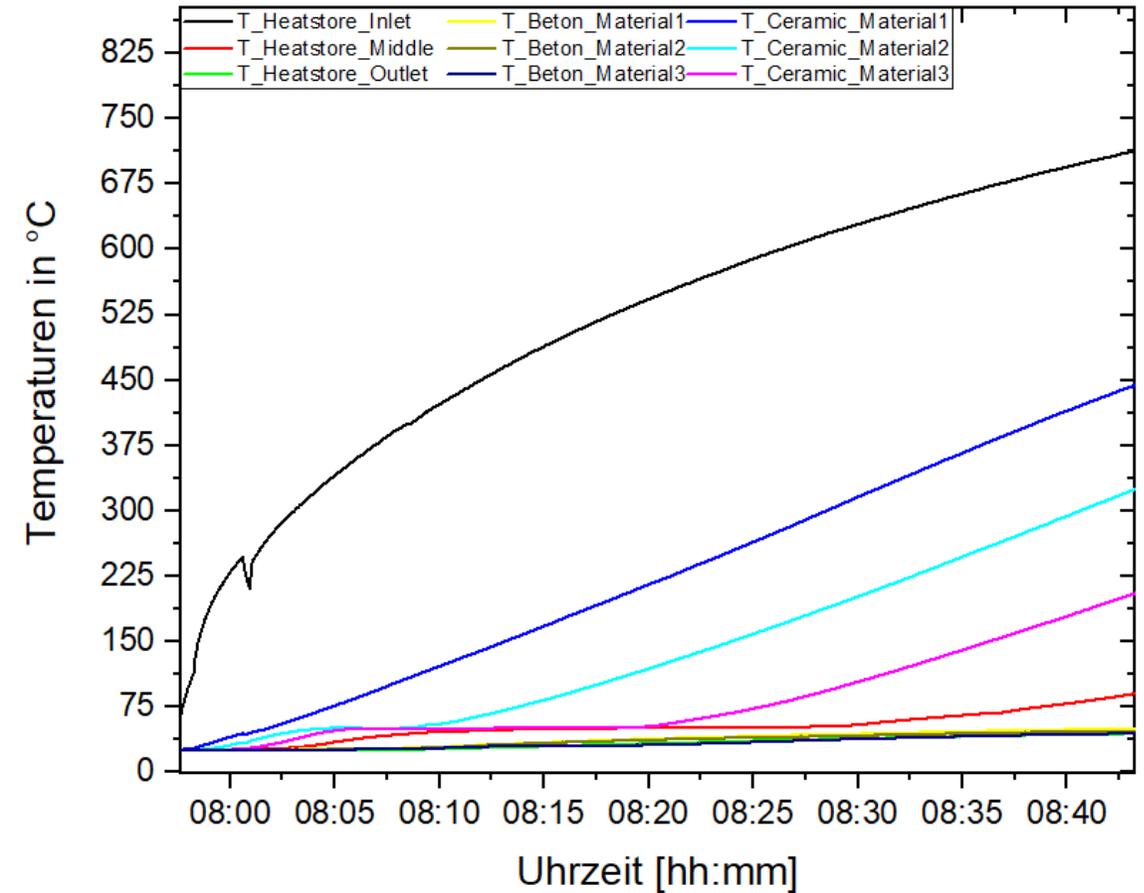
- Volumenstrom Beladung: 130 Nm<sup>3</sup>/h
- Volumenstrom Entladung: 125 Nm<sup>3</sup>/h

# Speicherbeladung

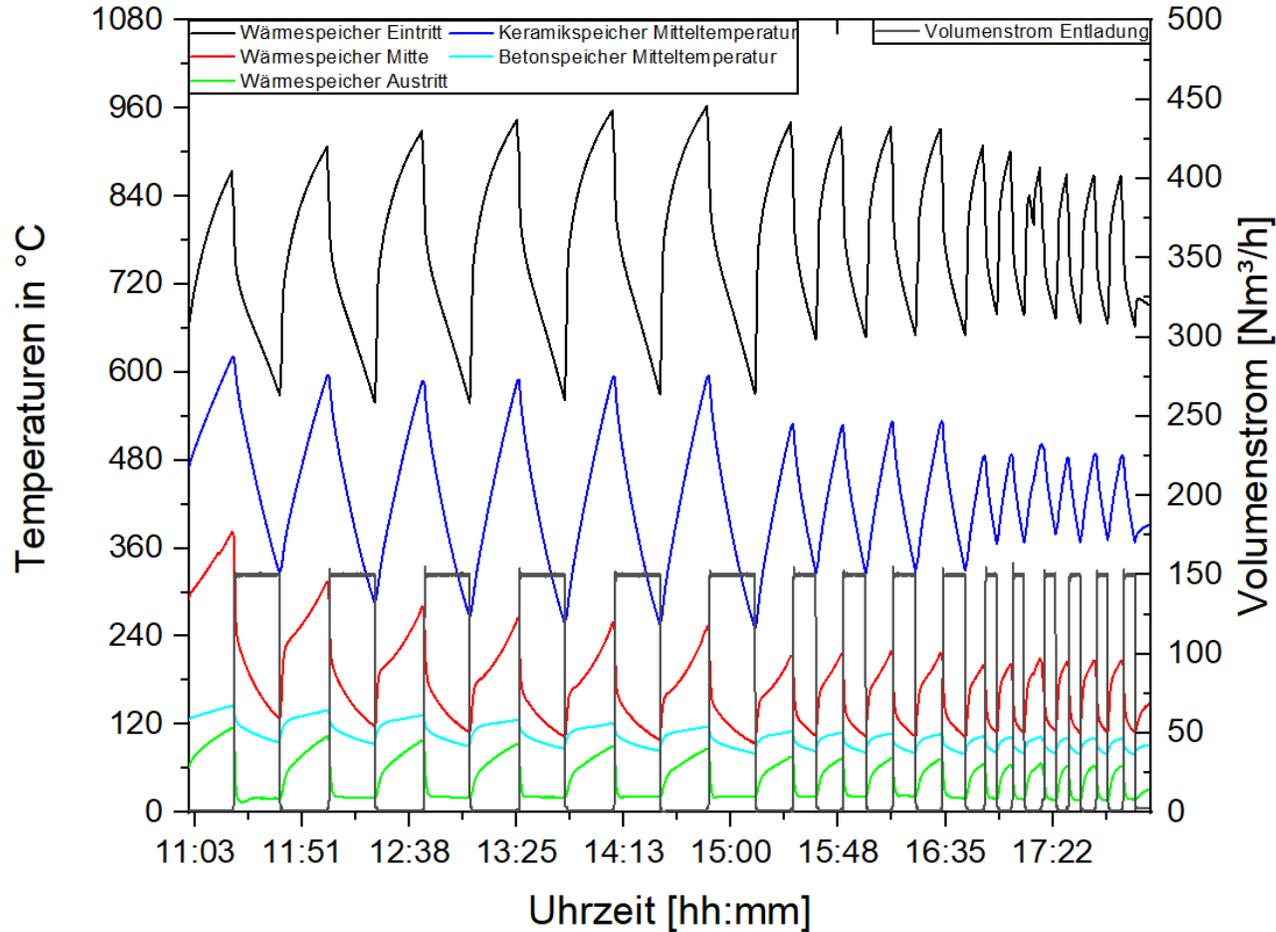
## ■ Betonspeicher:



## ■ Keramikspeicher:

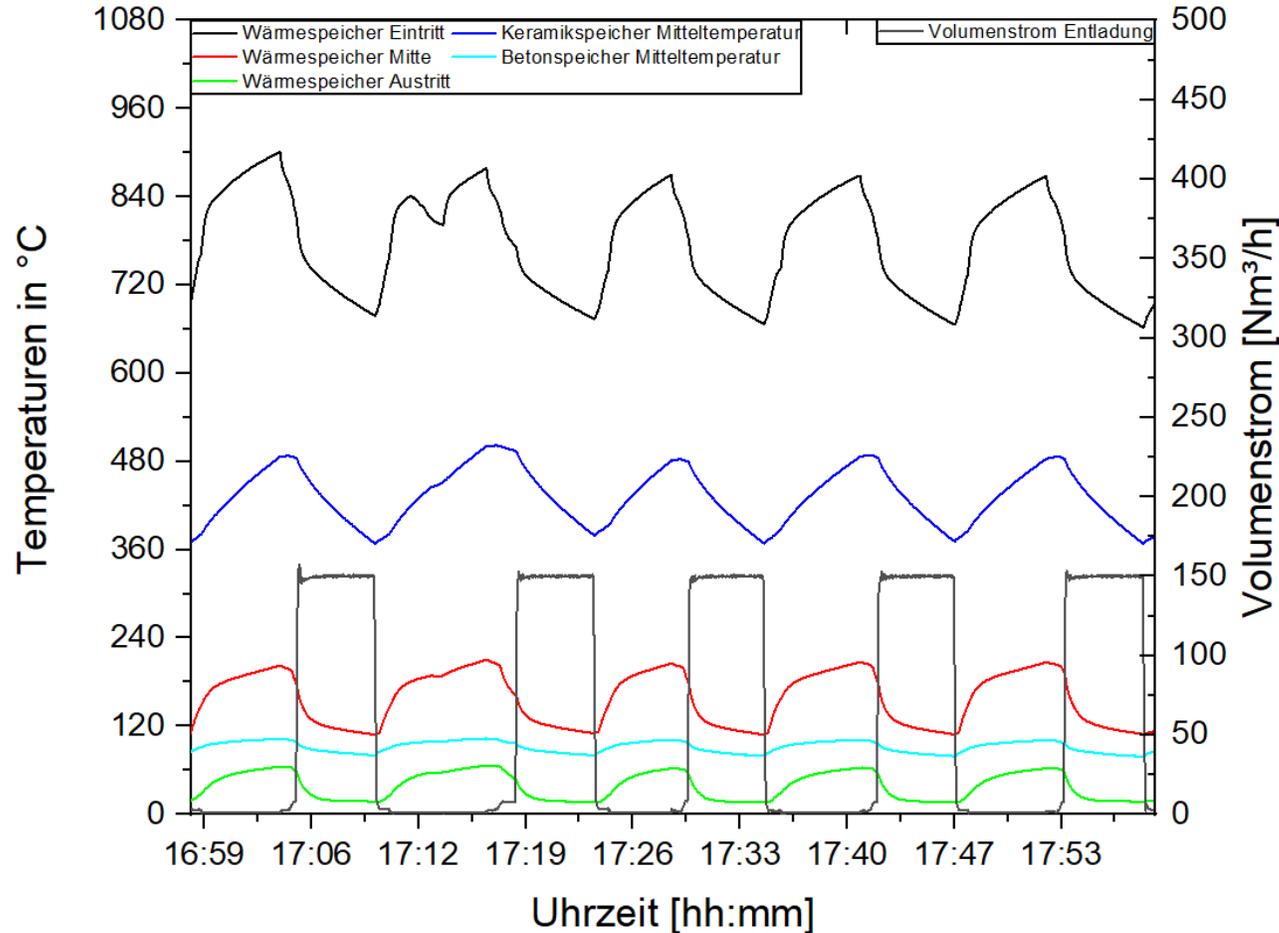


# Versuchslauf Variation Zykluszeit



- Beladung: 159 Nm³/h
- Entladung: 150 Nm³/h
- Zykluszeit: 5 – 20 min
  
- $N_{Abwärme} = 66,1 \%$
- $\eta_{ws} = 77,4 \%$

# Versuchslauf Variation Zykluszeit



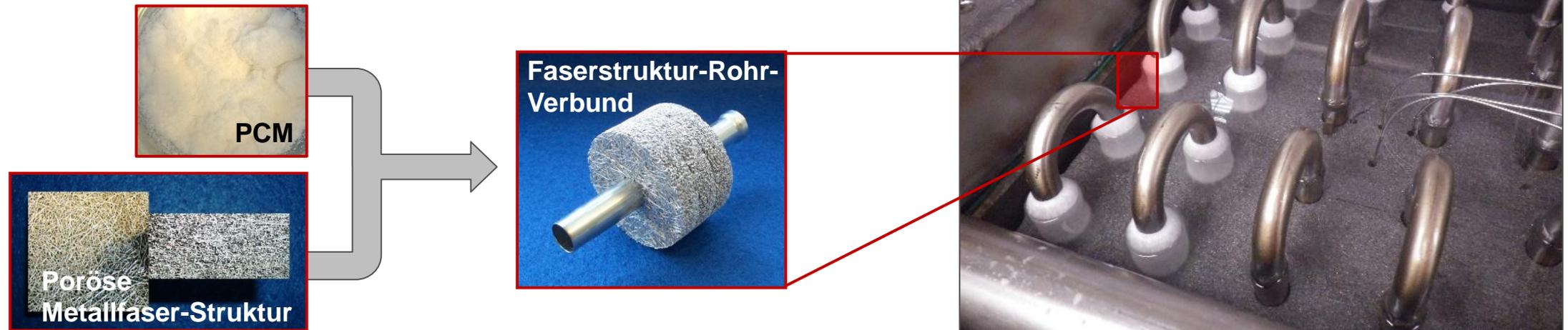
- Beladung: 159 Nm³/h
- Entladung: 150 Nm³/h
- Zykluszeit: 5 min
  
- $N_{Abwärme} = 71,8 \%$
- $\eta_{ws} = 83,7 \%$

# Nutzungs- / Wirkungsgrad

Zykluszeit [min]	Beladungsstrom [Nm <sup>3</sup> /h]	Entladungsstrom [Nm <sup>3</sup> /h]	Nutzungsgrad [%]	Wirkungsgrad [%]
5	159	150	71,9	83,7
5	200	180	68,6	85,0
10	200	180	68,2	83,7
40	85	80	70,5	82,5
80	85	80	66,3	77,6

# Aufbau PCM Speicher

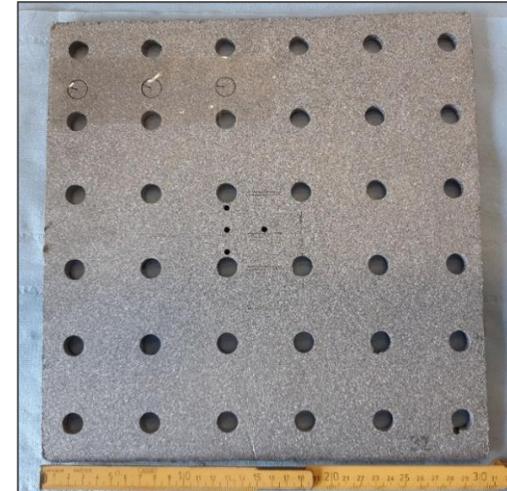
- PCM mit hohem Speichervermögen im Bereich der Schmelztemperatur (Auswahl entsprechend Prozessanforderungen)
- Kombination mit hochporöser (Volumen für PCM bis 90 %) Wärme leitender Metall-Struktur zum Ausgleich der geringen Wärmeleitfähigkeit
- kostengünstige Verbindungstechnik (geweitete Rohre)
- flexible Anpassung Verhältnis thermische Leistung/Speicherkapazität über Porosität
- Korrosion schränkt Materialauswahl ein



# Randbedingungen PCM Speicher

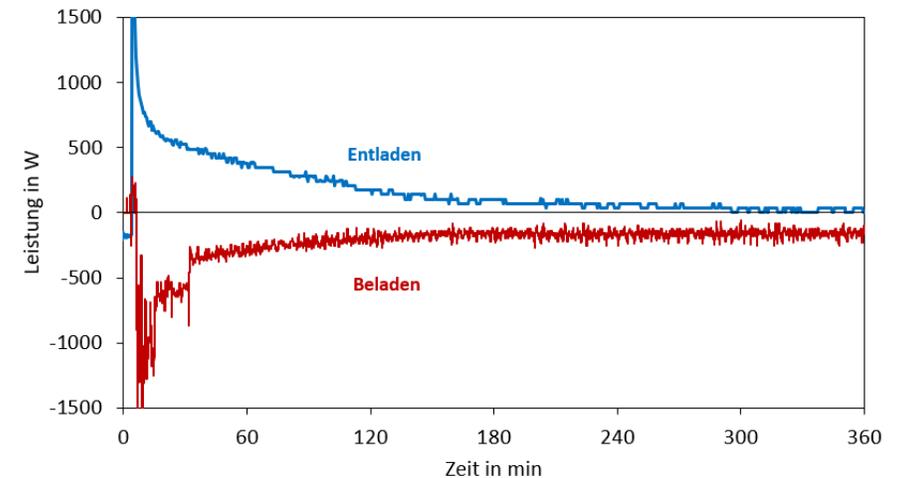
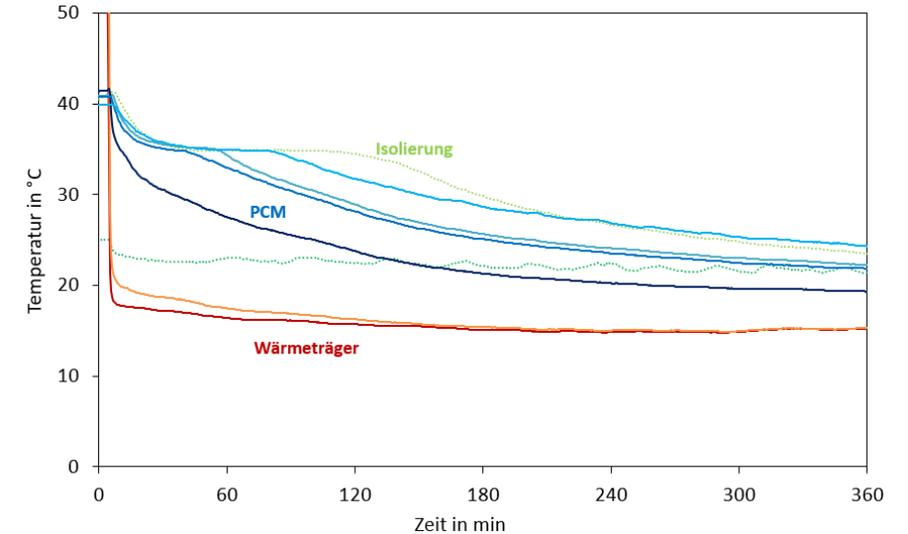
- Aufgrund technischer Einschränkungen Versuchstemperaturen bis max. 100 °C
- PCM mit einer Schmelztemperatur von 35 °C eingesetzt
- Durch Schwierigkeiten beim Weiten der Rohre keine formschlüssige Bindung der Rohre an der Wärmeleitstruktur

→ Verringerung der erreichbaren Wärmeströme



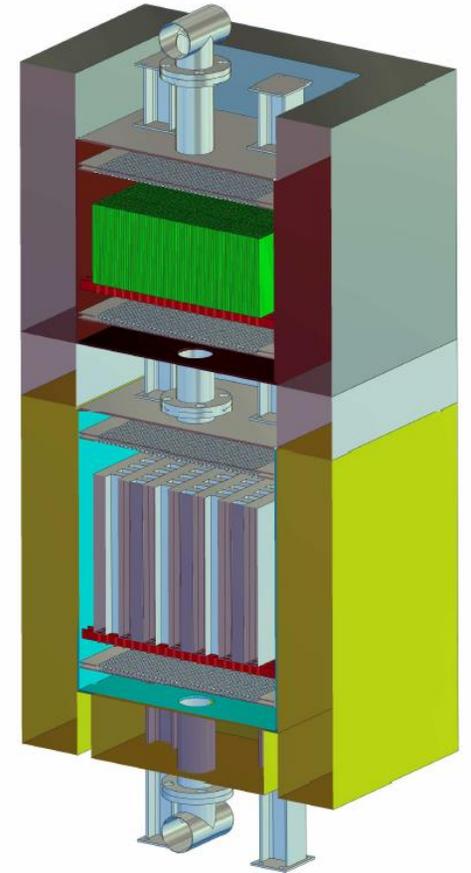
# Ergebnisse PCM Speicher

- Grundlegende Funktionsweise des Konzepts und aufgebauten Demonstrators konnte gezeigt werden
- Optimierung der Bauweise fand statt, stahlbasierte poröse Strukturen eingesetzt, sind in der thermischen Speicherung einen Neuheitswert
- Phasenwechseldauer von ca. 60 min
- erreichte Wärmeströme relativ gering, aufgrund des Spaltes zwischen Rohr und Wärmeleitstruktur

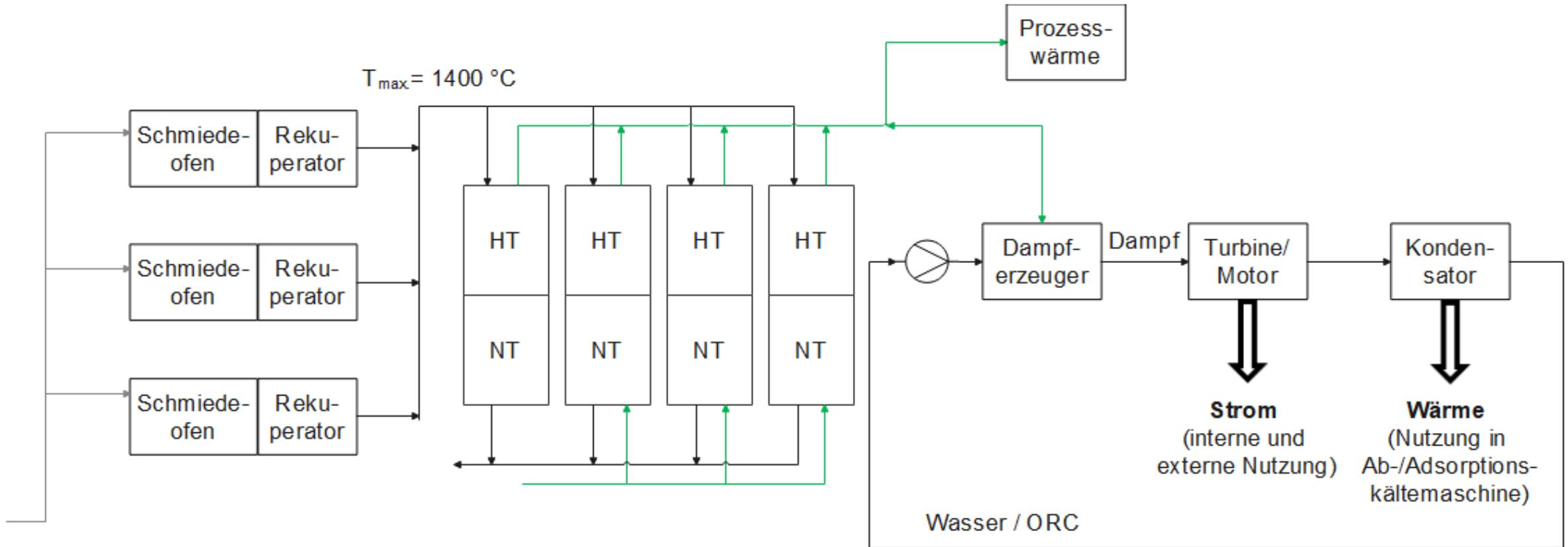


# Ergebnisse

- Betonspeicherelemente als Grundlast nutzbar
- Eintrittstemperaturen am Betonspeicher bis zu 600 °C ohne erkennbare Probleme bezüglich der Stabilität
- Flexible Nutzung durch modulares Konzept, einfache Skalierung für unterschiedliche Anwendungen
- Erprobung des Wärmespeichers unter betriebsnahen Bedingungen im Technikum

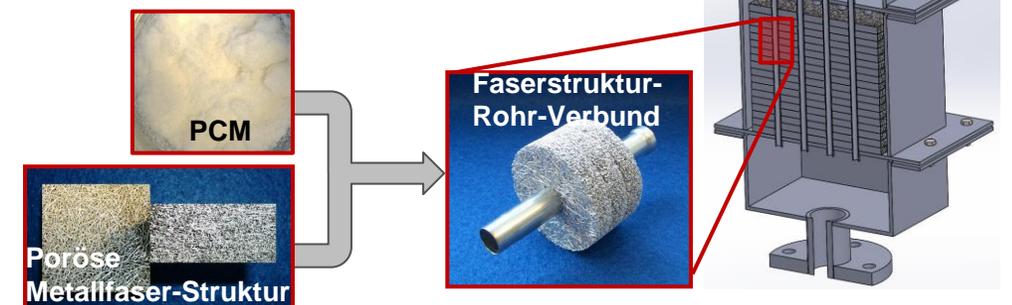
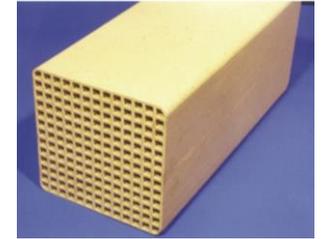


# Industrielle Umsetzung



# Fazit und Ausblick

- Optimierung und Weiterentwicklung des Wärmespeichers, basierend auf den Ergebnissen der Technikumsversuche und weiteren Simulationsrechnungen
- Realisierung des Wärmespeichers und der zugehörigen Automatisierungstechnik an einer industriellen Ofenanlage
- Markteinführung des Wärmespeichers als Produkt
- Demontage Wärmespeicher, visuelle Überprüfung Betonspeicherelemente
- Modulares Konzept eignet sich für den industriellen Einsatz



# Herzlichen Dank!



## Kontaktdaten:

Benedikt Bender

OWI – Science for Fuels gGmbH  
Kaiserstraße 100  
52134 Herzogenrath

Tel.: +49 2407 9518 172

E-Mail: [b.bender@owi-aachen.de](mailto:b.bender@owi-aachen.de)

## Projekt: Modul Heat Store gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

