



2. Aachener Ofenbau- und Thermoprozess Kolloquium
am 10. und 11. Oktober 2019

Innovative Wärmespeicher als Schlüssel zur Abwärmenutzung an Industrieöfen

Benedikt Bender, M.Sc. - Oel-Waerme-Institut;

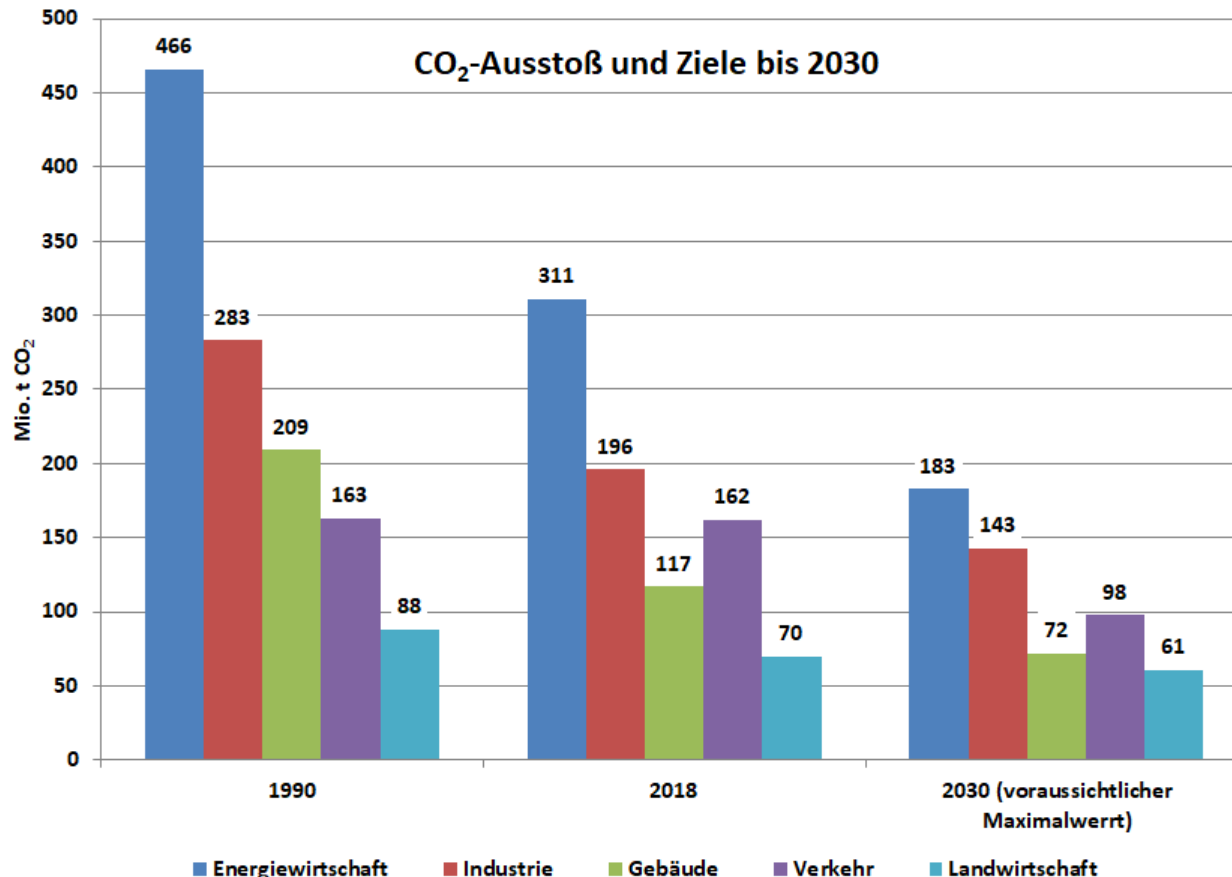
Dipl.-Ing. Torsten Seidel - Fraunhofer IFAM Dresden

Dr.-Ing. Hansjochen Oertel *), Dipl.-Ing. Sven Hadrian – GIWEP

Dr.-Ing. Wolfgang Bender - Hülsenbusch Apparatebau

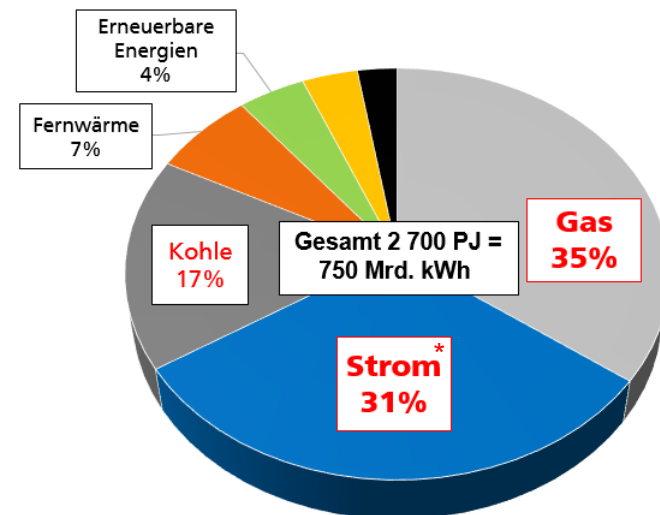
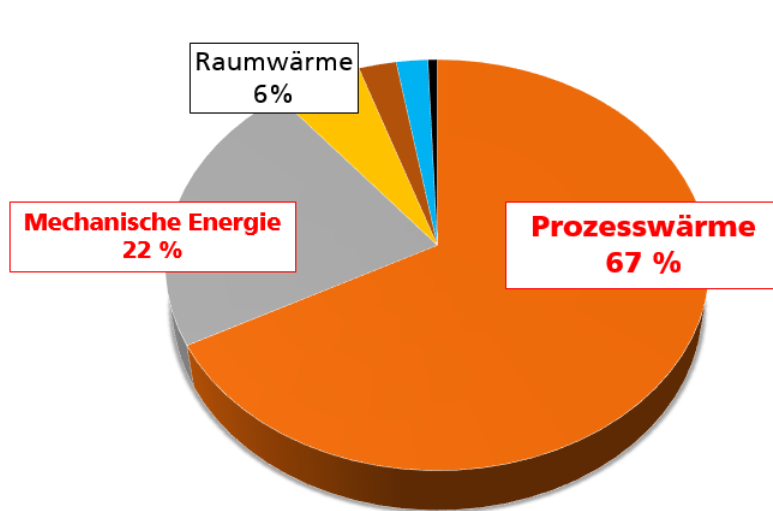
*) Vortragender

- politische Vorgaben zur deutlichen Verringerung der Treibhausgasemissionen und damit der Primärenergie aus fossilen Quellen
- industrieller Sektor als zweitgrößter CO₂-Emittent im Fokus



- Endenergie in der Industrie ist überwiegend Prozesswärme
- großer Anteil an nicht genutzter Energie in Form von Abwärme aus der Erdgasverbrennung (in Industrieöfen $\geq 20\%$)
- Abwärmeanfall ist starken zeitlichen Schwankungen unterworfen und nicht synchron zu möglichen Abnehmern

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



* Anteil fossiler Energieträger an der Stromerzeugung > 50 %

Quelle: AG Energiebilanzen

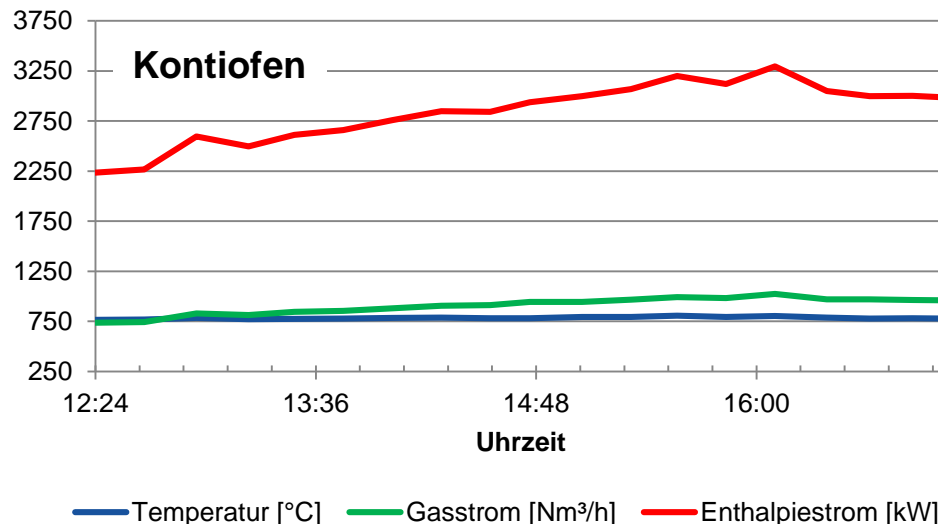
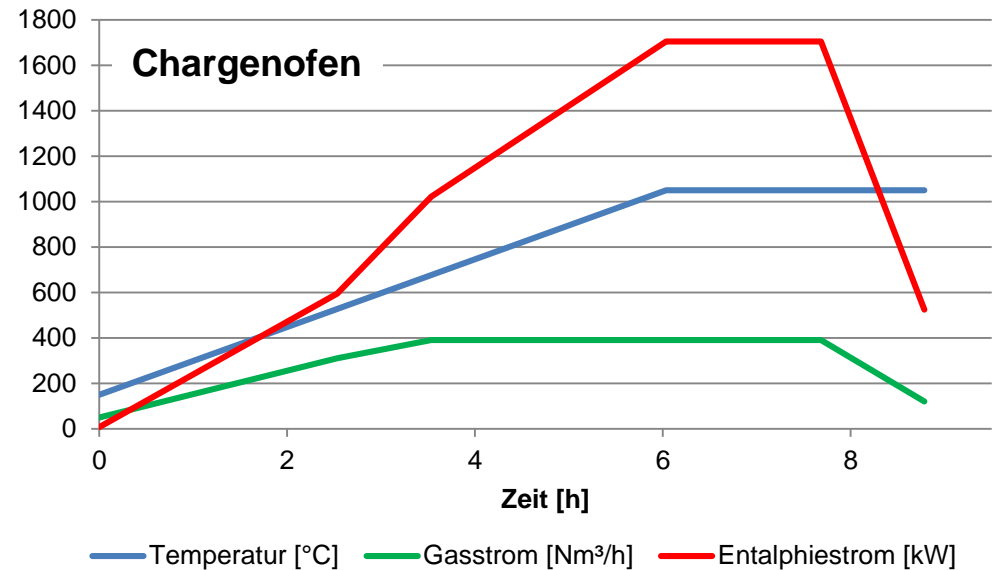
- Einsatz von Wärmespeichern für die Sekundärnutzung der Energie aus Abwärme
- Einsatz von Wärmespeichern für die Speicherung von Überschussstrom aus erneuerbaren Energiequellen (Sektorkopplung)
- aber: flexible Standardlösungen für die Speicherung von Prozesswärme kaum kommerziell verfügbar

→ 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, ...)

Prozessdaten realer Anlagen

- Messwerte aus industrieller Praxis
- Unterschiede zwischen Chargenöfen und "kontinuierlich" betriebenen Öfen machen verschiedene Speicherstrategien nötig



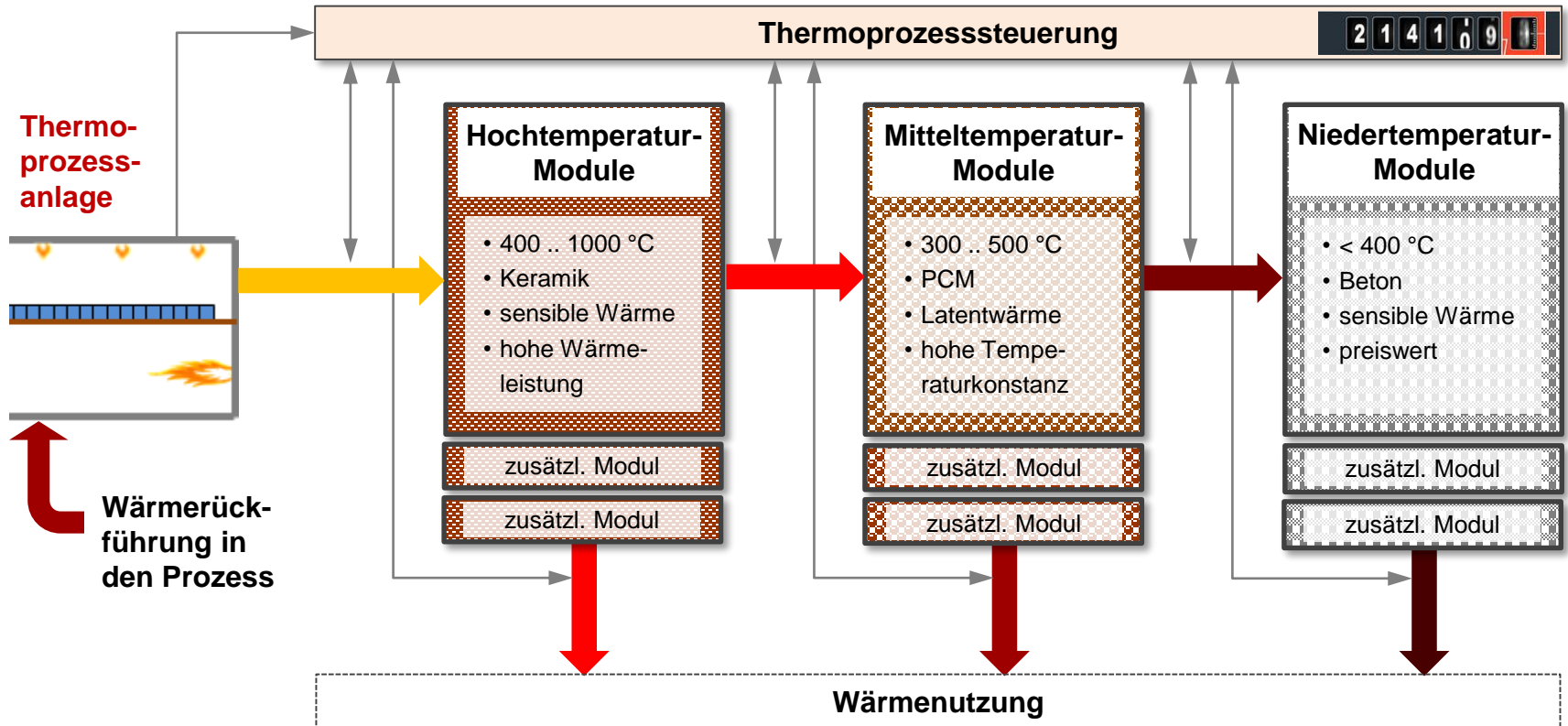
Anforderungen an den Wärmespeicher

- Einsatz an Hochtemperaturanlagen, wie z.B. Industrieöfen
- Geeignet für Temperaturen bis 1.200°C
- Flexibler Einsatz für schwankende Temperaturen und Volumenströme
- Hoher Wirkungsgrad
- Nutzung von Standard-Bauteilen
- Geringe Investitions- und Installations-Kosten

Vorgaben für die Entwicklung

- Kombination von Speichermassen
 - für hohe Temperatur
 - für mittlere und niedrige Temperatur
- Kostengünstige Speichermassen für die Standard-Einsatzfälle
- Nutzung von Latentwärme für Einsatzfälle mit hoher Temperaturkonstanz
- Modularer konstruktiver Aufbau und Möglichkeit zum "Stacking" zur leichten Anpassung an unterschiedliche Einsatzparameter
- Verwendung von Standardbauteilen

Komponenten des thermischen Speichers



Speichermassen für Standard-Einsatzfälle

Geometrie der Speichermassen

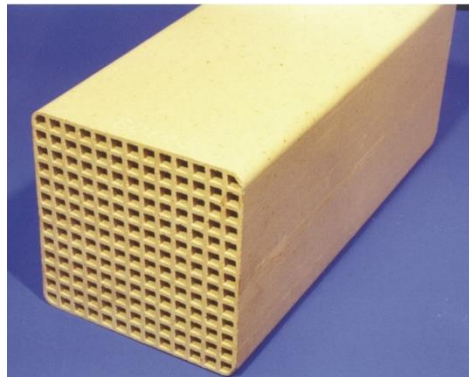
Kriterien: spezifische Heizfläche, Strömungsdurchmesser, äquivalente Wanddicke, Freiflächenverhältnis

Speichermasse	f in m ² /m ³	d _h in mm	δ _{äq} in mm	Φ -
Wabenkörper	308	8	2	0,69
Formsteine	54	30	21,6	0,41

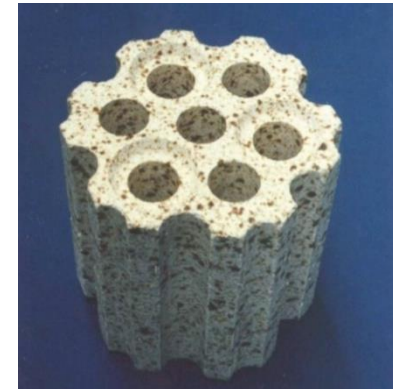
Material der Speichermassen

Kriterien: max. Temperatur, Temperaturwechselbeständigkeit, chemische Beständigkeit und Kosten

Wabenkörper

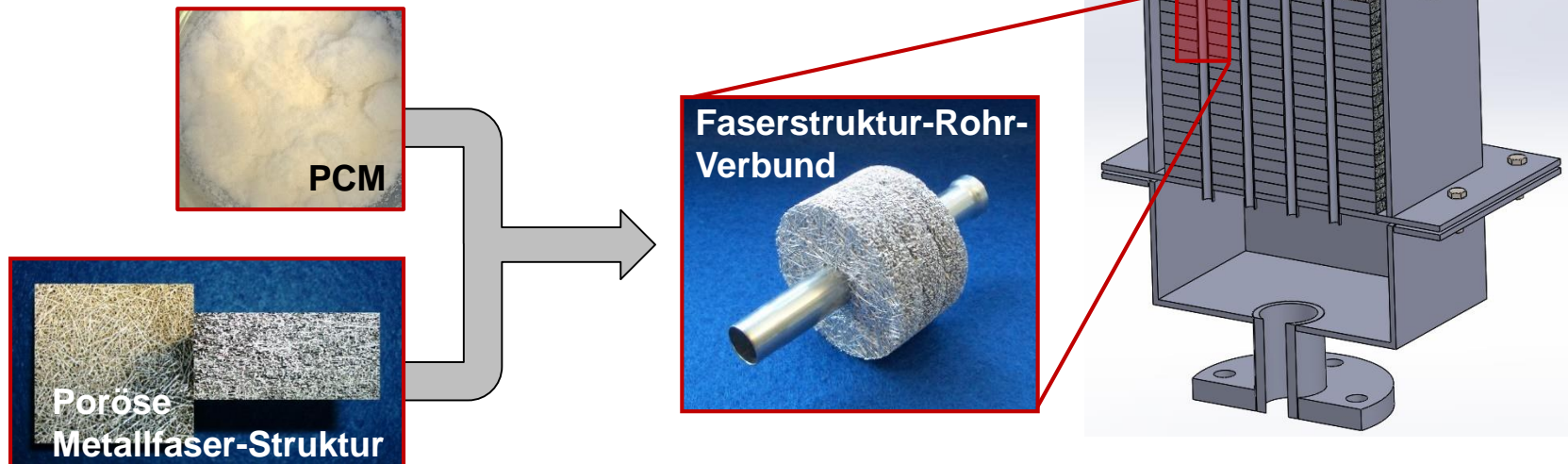


Formstein



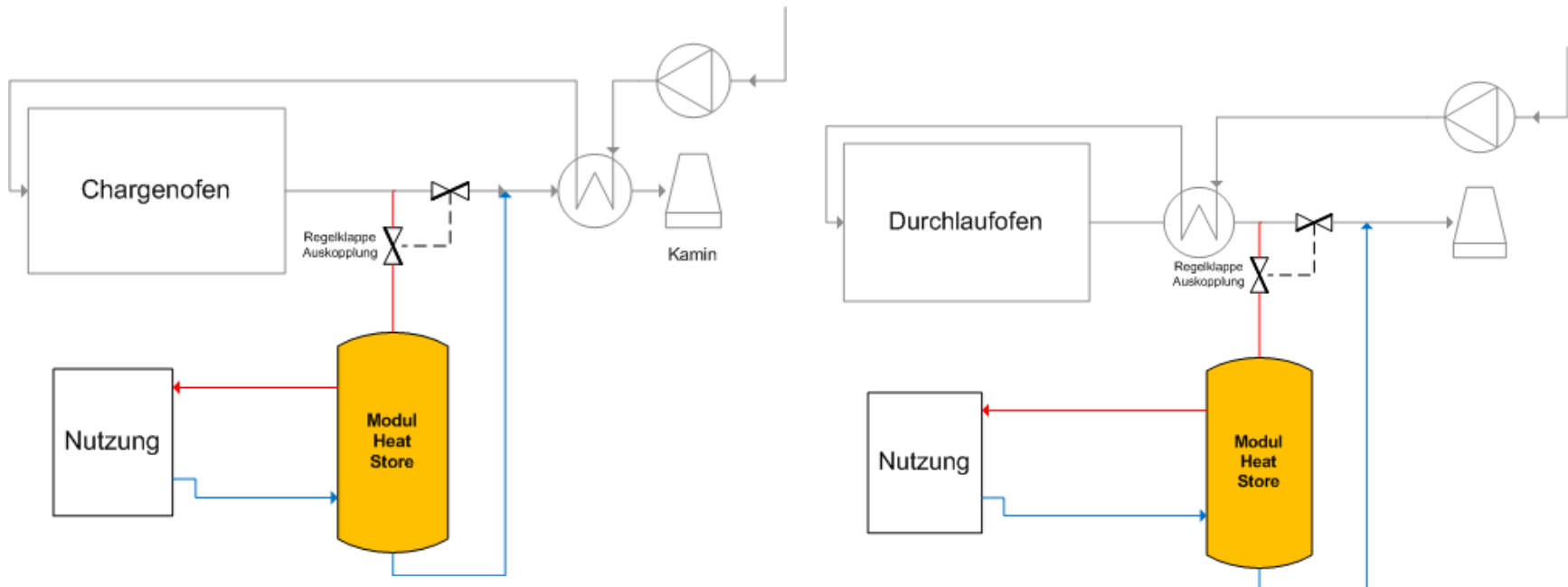
PCM-Speichermassen

- 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



Integration des Wärmespeichers in die bestehende Anlage

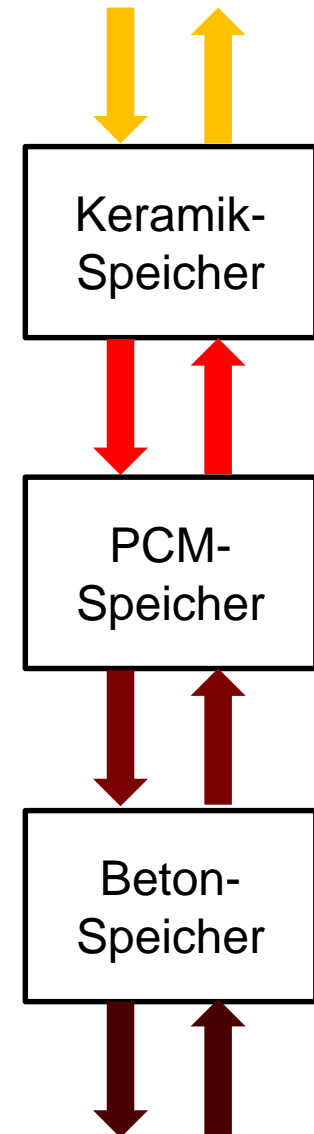
- Produktionsprozess des Ofens darf nicht beeinflusst werden
 - Abgasabführung · Ofendruckregelung
 - Keine Kondensation im Abgasstrang
- Vorhandene Abgaswärmenutzung darf nicht beeinflusst werden
 - Bei Kühlluft einblasung vor Rekuperator: Auskopplung statt Kühlung
 - Bei Direktbeaufschlagung des Rekuperators: Auskopplung erst nach Rekuperator



Simulationsmodell

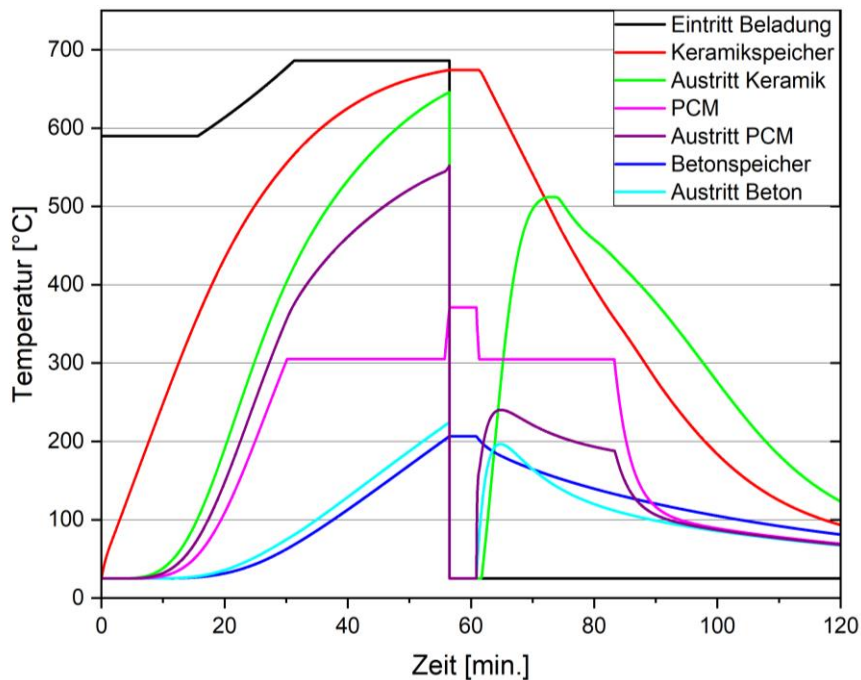
→ für die Auslegung des Wärmespeichers

- Modell in Matlab/Simulink
- Module für HT-, MT- und NT-Speicher können beliebig hinzugefügt oder entfernt werden
- Be- und Entladeströme in ihren Eigenschaften - auch über die Zeit - anpassbar
- Größe, Geometrien und Materialeigenschaften der Speichermodule anhand von Kennzahlen veränderbar
- Segmentierung der Speichermodule über die Länge und Dicke des Speichermaterials
- Speichertemperaturen über die Länge und orthogonal zur Durchströmungsrichtung aufgelöst
- Variabilität der einzelnen Wärmespeichermodule sowie der Be- und Entladeströme gewährleistet, dass verschiedenste Prozesse modelliert und eine Anpassung des Wärmespeichers durchgeführt werden können

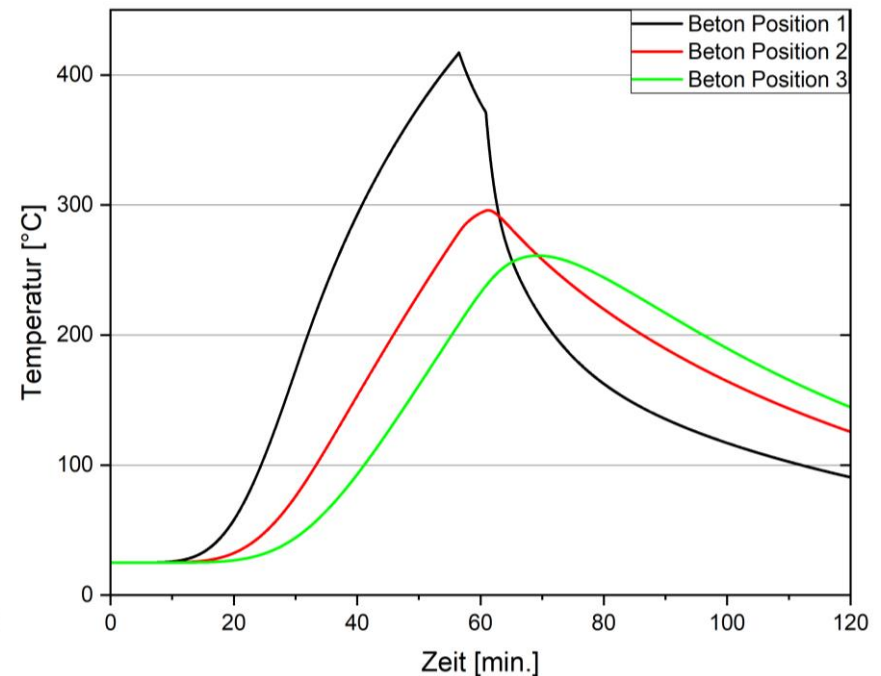


Ergebnisse Simulationsmodell

- Randbedingungen:
 - Beladung: Brennerabgas 50 kW, Temperaturen von 590 °C – 690 °C
 - Entladung: Luft mit 25 °C, 360 kg/h, ab Minute 60



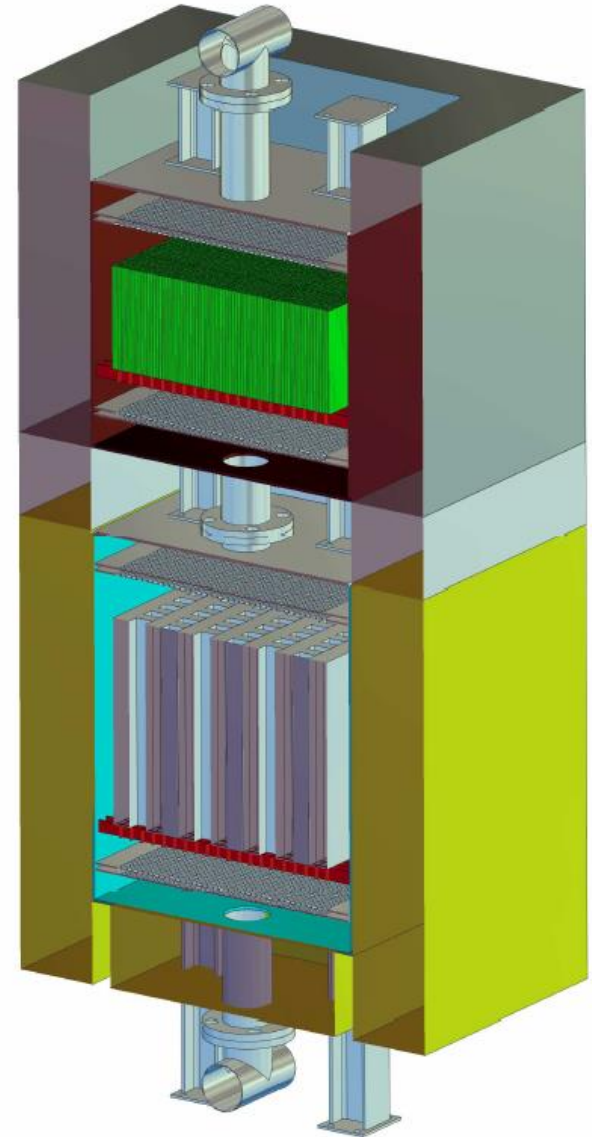
Temperaturen der Speichermodule und Gastemperaturen während der Be- und Entladung



Temperaturen des 1. Betonspeichersegments orthogonal zur Gasströmung an drei Positionen

Wärmespeicher im Technikumsmaßstab

- HT-Modul mit Wabenkörpern
- NT-Modul mit Betonelementen
- MT-Modul mit PCM wird im Bypass angeschlossen
- Module haben Standard-Baugröße zur leichten Kombinierbarkeit
- Tragsystem zum leichten Transport und Zusammenbau
- gleichmäßige Anströmung der Speichermassen durch Einbauten
- Wärmedämmung für geringe Verluste
- anpassbar an Temperatur und Zykluszeit
- betriebsnahe Versuche durch Anschluss an eine Industriefeuerungsanlage
- systematische Untersuchung der Parameter für industrielle Randbedingungen



Potentielle Nutzungsmöglichkeiten der gespeicherten Abwärme

- **Wärme**

- Prozesswärme für vorhandene Niedertemperatur-Anlagen
- Materialvorwärmung
- Beheizung von Beizbädern etc.
- Raumwärme · Warmwasser

- **Kälte**

- Absorptions-/Adsorptionskälte

- **Strom**

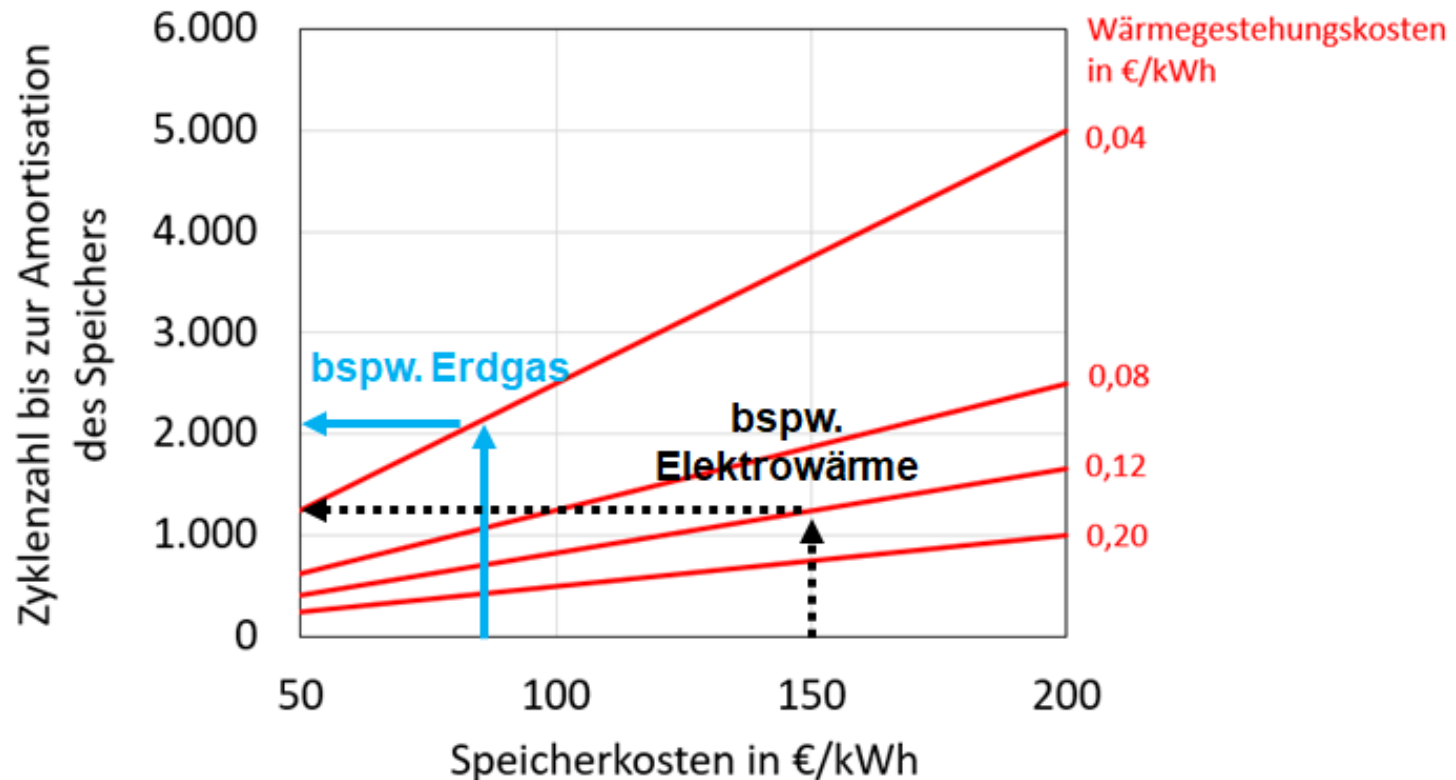
- bspw. ORC-Anlage zur Stromerzeugung

→ **Nutzungskonzept muss auf das konkrete Anlagenumfeld abgestimmt werden**

Wirtschaftlichkeit

Wesentlicher Einfluss auf Wirtschaftlichkeit u. a.

- Investitionskosten für Speicher
- Wärmegestehungskosten der substituierten Wärme



Wichtigste Ergebnisse

- Neuartiger Wärmespeicher für den industriellen Einsatz bei Hochtemperatur und für Sektorenkopplung
- Flexible Nutzung durch modulares Konzept, einfache Skalierung für unterschiedliche Anwendungen
- Geringe Kosten durch modulare Bauweise und preiswerte Speichermassen
- Leichte Integration des Wärmespeichers in bestehende Anlagen durch eigene Prozesssteuerung, keine Beeinflussung des Anlagenbetriebes
- Simulationsmodell für Be- und Entladevorgänge des Wärmespeichers, Berücksichtigung aller Speichermassen und Betriebsfälle
- Erprobung des Wärmespeichers unter betriebsnahen Bedingungen im Technikum

Ausblick und nächste Schritte

- Optimierung des Wärmespeichers basierend auf den Ergebnissen der Technikumsversuche
- Weiterentwicklung der Speichermodule und Speichermedien
- Realisierung des Wärmespeichers an einer industriellen Ofenanlage
- Realisierung des Wärmespeichers an einer Anlage zur Sektorenkopplung
- Experimentelle Erprobung der industriellen Wärmespeicher
- Markteinführung des Wärmespeichers als Produkt



Projekt: Modul Heat Store