

HOCHTEMPERATUR-WÄRMESPEICHER

Nina HACK¹, Simon UNZ¹, Tobias REICH¹, Michael BECKMANN¹

Einleitung und Motivation

Thermische Energiespeicher können einen wichtigen Beitrag zur Nutzung von Abwärme auf Hochtemperaturniveau und zur Energiewende durch Nutzung von Überschussstrom zur elektrischen Beheizung leisten. Als Speichermaterial kommen insbesondere keramische Materialien in Frage, welche bis 1.200°C und teilweise darüber hinaus beständig sind.

Diese Art von Speicher stellt ein Glied in einer Kette zur Reduzierung von Treibhausgasen dar. Der hohe Energiebedarf für industrielle Hochtemperaturprozesse kann durch Wärmerückgewinnung mittels Hochtemperatur-Wärmespeicher reduziert werden. Damit steigt die Prozesseffizienz, die Prozessparameter können stabilisiert werden und gleichfalls kann nicht ins Netz integrierbare elektrische Leistung als zuschaltbare Last unabhängig vom laufenden Prozess genutzt werden. Durch Kombination des Hochtemperaturspeichers mit Wärmekraftprozessen lässt sich auch eine Rückverstromung realisieren.

Herausforderung

Für eine erfolgreiche und sinnvolle Auslegung und Anwendung eines Hochtemperatur-Wärmespeichers ist es entscheidend, seine Charakteristik beim Laden, Entladen und im Haltemodus im Voraus zu kennen und für jeden Zeitpunkt berechnen zu können. Dabei sind der zeitdiskrete Ladezustand und die Temperaturprofile des Speichermaterials bzw. des Arbeitsfluides entlang des Strömungsweges für unterschiedliche Lade- und Entladeleistungen von hohem Interesse. In diesem Beitrag werden hierzu ein mathematisches Modell, eine Versuchsanlage mit keramischen Wabenkörpern und der Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen vorgestellt.

Mathematisches Modell

Das Ziel des mathematischen Modells ist eine präzise und gleichzeitig schnelle Berechnung von Belade-, Entlade- und Halteprozessen, um damit ein Online-Bilanz- und Simulationswerkzeug für den optimierten Speichereinsatz zu erstellen. Dieser Ansatz schließt zeit- und kostenaufwändige Berechnungsverfahren wie bspw. CFD aus. Durch die besonderen Randbedingungen des Wabenkörperspeichers mit dünnen Wänden der keramischen Wabenkörper weist die Wärmeleitung quer der Wände ein quasistatisches Verhalten auf, so dass die Methode eines eindimensionalen Zellenmodells für die instationäre Simulation angewandt werden kann. Die Berechnung des Wärmeübergangs zwischen den Wabenkörperwänden und dem Belade-/Entlademedium beinhaltet in diesem Modell Konvektion und Gasstrahlung. Für den Fall der Durchströmung des Speichers mit Abgas, welches hohe Mengen an strahlungsaktiven Gasen enthält, muss der Wärmeübergang durch Gasstrahlung berücksichtigt werden. In diesem Modell ist die Gasstrahlung von CO₂ und H₂O implementiert. Das generierte Simulationstool, basierend auf diesem Modell, ermöglicht Online-Simulationen, da dessen Berechnungszeit auf einem Standardrechner viel kürzer ist als die simulierte Zeit. Mittels des Simulationsprogramms ist es auch möglich, sinnvolle Belade- und Entladegrenzen zu ermitteln um im späteren Betrieb Exergie- und Energieverluste zu minimieren. Als Online-Simulation können außerdem auf Basis des aktuellen Speicherzustandes die Einsatzfahrpläne für die folgenden Tage optimiert werden.

Experimentelle Untersuchungen

Die Versuchsanlage beinhaltet mehrere keramische Wabenkörper-Steine. Diese zeichnen sich vor allem durch eine hohe Korrosions- und Temperaturbeständigkeit (> 1200 °C) und durch ein hohes Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis, welches hohe Beladungsleistungen ermöglicht, aus. Die Eigenschaften der hier verwendeten Speichermaterialien sind in Tabelle 1 aufgeführt.

¹ Technische Universität Dresden, Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik / Professur für Energieverfahrenstechnik, 01062 Dresden, Fax: +49 351 463-37753, Tel.: +49 351 463-{3768|33832|34493}, {nina.hack|simon.unz|michael.beckmann}@tu-dresden.de, tobias.reich@mailbox.tu-dresden.de, www.tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/ifvu/evt

Material	(F)-Dichte [kg/m ³] (W)-Masse [kg]	Kapazität c _p (F)- [J/(kg*K)] (W)- [kJ/K]	Oberfläche (F)- [m ² /m ³] (W)- [10 ⁻³ m ²]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/m*K]
C130 (F)	2700	877	1,067	2,1
C130 (W)	6,6	5,788	7,2	
C520 (F)	2010	810	1,067	1,9
C520 (W)	5,1	4,131	7,2	

Tabelle 1: Eigenschaften der Speichermaterialien Tonerdeporzellan (C130) und Cordierit (C520) jeweils bezogen auf das (F)estmaterial und betrachtet für jeweils einen (W)abenkörper mit den Abmaßen von (150*150*300) mm³ und mit 50*50 Kanälen.

Die Beladung des Test-Speichers erfolgt mit elektrisch vorgeheizter Umgebungsluft, die Entladung mit kalter Umgebungsluft.

Ergebnisse

In Abbildung 1 sind beispielhaft gemessene Temperaturverläufe für verschiedene Entfernungen vom Gaseintritt für das Be- und Entladen des Test-Speichers dargestellt. Dabei liegen in diesem Beispiel eine Aufheizrate von 20 K/min und eine Maximaltemperatur der elektrischen Heizung von zunächst 600 °C vor.

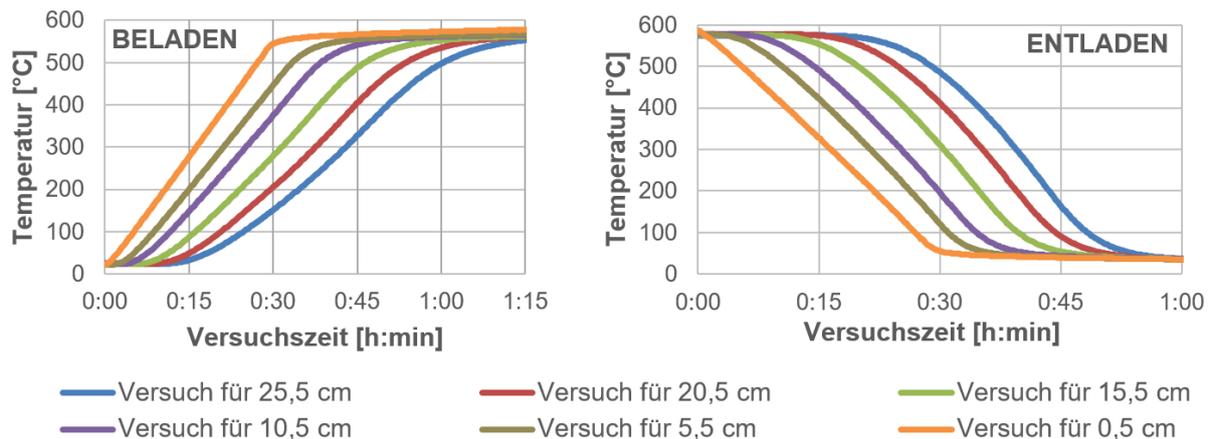


Abbildung 1: Darstellung aufgenommener Versuchstemperaturverläufe

Die ersten Versuchsergebnisse bestätigen den erwarteten Verlauf für das kontinuierliche Erwärmen bzw. Abkühlen in unterschiedlichen Ebenen. In der Versuchsreihe werden unterschiedliche Masseströme und unterschiedliche Heizraten eingestellt. Insbesondere bei dem wärmetechnisch günstigeren Material C130 (höhere Wärmeleitfähigkeit und höhere Kapazität) traten jedoch bei hohen Masseströmen und hohen Heizraten Risse in den Speichersteinen auf. Bei den bisherigen Versuchen mit C520 konnte dies bislang nicht festgestellt werden. Im nächsten Schritt werden nun die experimentellen Daten mit den Simulationsergebnissen verglichen und so das Modell validiert.