

Experimentelle Untersuchung und numerische Modellierung eines sensiblen Hochtemperaturspeichers

Themenbereich (2): Strom- und Wärmeerzeugung sowie Speicher
Alexej PAUL¹, Felix HOLY², Michel TEXTOR³, Prof. Dr.-Ing. Stefan LECHNER⁴
Institut für Thermodynamik, Energietechnik und Systemanalyse (THESA)
der Technischen Hochschule Mittelhessen (THM)

Motivation und zentrale Fragestellung

Durch den Ausbau der Erneuerbaren Energien besteht ein zunehmender Anspruch an dezentralen Speichertechnologien, die einen sicheren und stabilen Netzbetrieb gewährleisten. Der hier betrachtete Hochtemperaturspeicher (HTS) wandelt mittels integrierter Widerstandsheizelemente Strom in Wärme und speichert diese auf einem Temperaturniveau $> 1000^{\circ}\text{C}$ in keramischen Festkörpern. Bei Strom- und Wärmebedarf wird die sensible Wärme an einen Luftstrom übertragen, welcher eine Rückverstromungseinheit nach dem KWK-Prinzip betreibt. Das Verfahren der Hochtemperaturspeicherung stellt somit ein Element der Sektorenkopplung dar, das in Verbindung mit einer Wärmesenke (z.B. Fernwärmenetz) eine hohe Gesamt-Energierückgewinnung von bis zu 90% ermöglicht, mit bis zu 45% elektrischem Wirkungsgrad. Aufbauend auf dem Forschungsprojekt „High-T-Stor“ [1,2] wird in dieser Arbeit eine experimentelle Studie mit dem Demonstrator „HTS312“ durchgeführt und zusätzlich das instationäre Verhalten analysiert. Eine detaillierte CFD-Simulation der instationären Prozesse bedarf hoher Rechenzeiten, wodurch die Entwicklung eines abstrahierten thermischen Netzwerks notwendig ist. Nach der Validierung des Modells sollen die Erkenntnisse in die Konzeptionierung eines Nachfolger-HTS einfließen.

Methodische Vorgehensweise

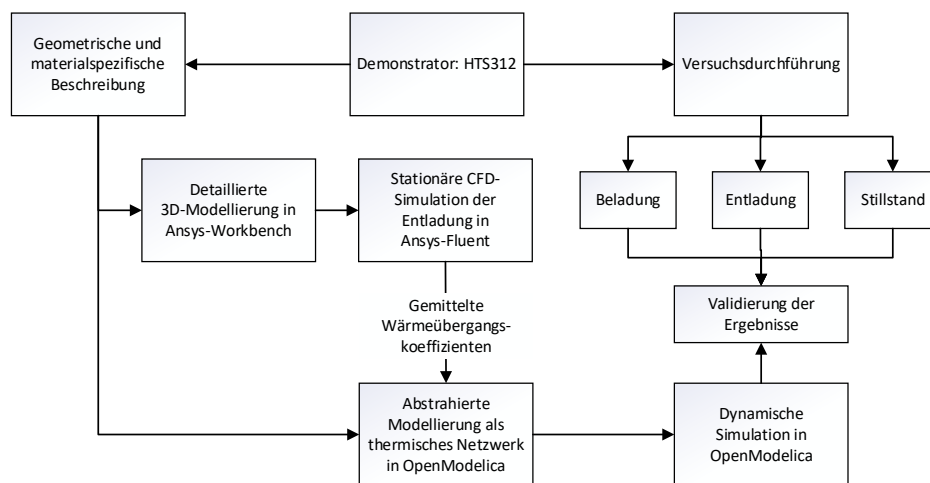


ABBILDUNG 1: DARSTELLUNG DER METHODIK.

Die simulativen und messtechnischen Untersuchungen des HTS werden in drei Phasen unterteilt. Die Messungen erfolgen vor Ort am Demonstrator und die Modellierung wird in der OpenSource-Sprache Modelica umgesetzt, basierend auf der Modelica-Standard-Library. Die methodische Vorgehensweise kann Abbildung 1 entnommen werden. Eine geometrische Abbildung der Strömungskanäle des HTS312

¹ E-Mail: alexej.paul@me.thm.de, Tel.: +49-641-3092194, *

² Jungautor. E-Mail: felix.holy@me.thm.de, Tel.: +49-641-3092185, *

³ Jungautor. E-Mail: michel.textor@me.thm.de, Tel.: +49-641-3092183, *

⁴ E-Mail: stefan.lechner@me.thm.de, Tel.: +49-641-3092116, *

bildet die Grundlage der stationären CFD-Simulationen. Durch die Aufprägung der messtechnisch erfassten Randbedingungen der Luft (Eintrittstemperatur, Massenstrom) und des Festkörpers (Temperaturprofil) wird eine CFD-Simulation mit stationären Randbedingungen der Entladung des HTS durchgeführt. Die numerisch berechneten mittleren Wärmeübergangskoeffizienten fließen als Input in die dynamische Simulation ein.

Das thermische Netz, bestehend aus konduktiven, konvektiven, strahlenden und kapazitiven Leitungen, wird mit den geometrischen und materialspezifischen Eigenschaften des HTS312 parametrisiert. Anschließend werden die Ergebnisse aus den jeweiligen Speicherphasen mit den Messdaten aus der experimentellen Studie validiert und bewertet.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Validierung der drei betrachteten Speicherphasen liefert detaillierte Erkenntnisse zur Güte der Berechnung der instationären thermischen Vorgänge innerhalb des HTS. Exemplarisch wird in Abbildung 2 die Entladung des HTS mit einem Kaltluftstrom gezeigt. Die in Strömungsrichtung aufsteigenden Messzonen innerhalb des Speichers zeigen ein charakteristisches Abkühlverhalten, welches qualitativ mit der Simulation übereinstimmt. Der Luftstrom (Eintrittstemperatur = 30°C, Massenstrom = 0,133 kg/s) nimmt die thermische Energie des Speichers auf und erreicht nach einem dreistündigen Anfahrvorgang eine gemessene Austrittstemperatur von ca. 580°C. Nach 48 h kontinuierlicher Entladung beträgt die Austrittstemperatur noch ca. 430°C.

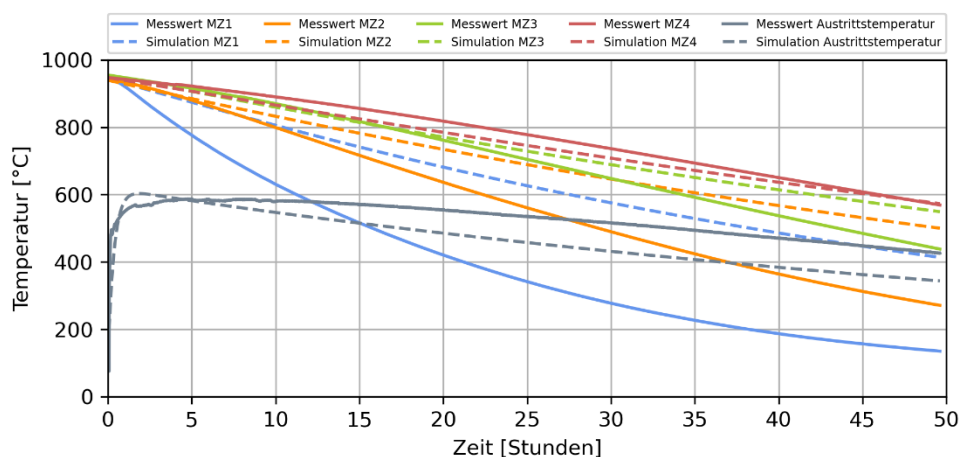


ABBILDUNG 2: SIMULIERTE UND EXPERIMENTELLE ERGEBNISSE DER THERMISCHEN ENTLADUNG.

Auf Basis des validierten Modells kann eine Neuauslegung des HTS600 für das Nachfolgeprojekt „EnEff:Stadt FlexQuartier Gießen“ [1] erfolgen. Die effiziente Rückverstromung über einen extern beheizten Gasturbinenprozess bedarf hoher Speicheraustrittstemperaturen. Eine Optimierung der Entladecharakteristik durch eine Verbesserung der konvektiven Wärmeübertragung, zum Beispiel durch eine Vergrößerung der Wärmeübertragungsflächen, ist ein quantifizierbares Ergebnis dieser Arbeit.

Literatur

- [1] S. Lechner, K. Behler, F. Holy, D. Thölken und M. Richter, „Sektorenübergreifender Hochtemperaturspeicher zum Ausgleich volatiler erneuerbarer Stromerzeugung (High-T-Stor),“ Abschlussbericht, Technische Informationsbibliothek Hannover, 2020.
- [2] M. Richter, S. Herzog und S. Lechner, „Simulative Untersuchungen der thermischen Be- und Entladungsprozesse eines sensiblen Hochtemperaturwärmespeichers,“ (11. Internationale Energiewirtschaftstagung IEWT), Wien, 2019.
- [3] Technische Hochschule Mittelhessen, „Forschungsprojekt: EnEff:Stadt FlexQuartier Gießen,“, 1. Dezember 2018. [Online]. Available: <https://www.thm.de/etem/forschung/projekte/drittmittelprojekte/-laufende-rojekte/flexquartier.html>. [Zugriff am 04 Mai 2021].