

SIMULATIVE UNTERSUCHUNGEN DER THERMISCHEN BE- UND ENTLADUNGSPROZESSE EINES SENSIBLEN HOCHTEMPERATURWÄRMESPEICHERS

Themenbereich 2: Strom- und Wärmeerzeugung sowie Speicher

Manuela RICHTER¹, Sergej HERZOG², Dr.-Ing. Stefan LECHNER³

Institut für Thermodynamik, Energietechnik und Systemanalyse (THESA)
der Technischen Hochschule Mittelhessen (THM)

Motivation und zentrale Fragestellung

Aufgrund der fluktuierenden und nicht bedarfsgerechten Einspeisung der Erneuerbare-Energien (EE)-Anlagen ins Stromnetz, steigt der Bedarf an Regelenergie zur Sicherstellung der Netzsicherheit und -stabilität. Der Hochtemperatur-Stromspeicher (HTS), bestehend aus einem Wärmespeicher und einer Rückverstromungseinheit, ist in der Lage, sehr flexibel Überschussstrom zu speichern und zudem in hohem Maße Regelenergie bereitzustellen [1].

Die zeitabhängige Temperaturverteilung im Wärmespeicher gibt den aktuellen Beladezustand (engl. State of Charge, SoC) des gesamten Stromspeichersystems an und wirkt somit aktiv auf dessen Betriebsstrategie. Daraus ergibt sich auch die zentrale Fragestellung: Wie laufen die dynamischen Wärmeübertragungsvorgänge bei der Be- und Entladung des keramischen Energiespeichers ab und welche Verbesserungspotentiale hinsichtlich dessen Geometrie und der Betriebsweise lassen sich daraus ableiten?

Methodische Vorgehensweise

Die simulativen Untersuchungen der thermischen Be- und Entladungsprozesse des sensiblen Wärmespeichers bestehen aus der Modellierung des Wärmespeichers und der Simulation der stattfindenden Wärmeübergangsmechanismen, mit dem Ziel die zeitliche und räumliche Temperaturverteilung zu bestimmen und daraus Schlussfolgerungen in Bezug auf den Aufbau des Wärmespeichers sowie eine optimale Betriebsstrategie zu ziehen.

Die beiden Modelle für Be- und Entladung basieren auf der Überführung des zu untersuchenden Teilabschnittes des Wärmespeichers in ein Netzwerk- [2] oder Graphenmodell [3] durch eine örtliche Diskretisierung in finite Volumina mit konzentrierten Parametern. Für die einzelnen Volumina werden Wärmebilanzgleichungen in Hinsicht auf deren zeitliche Temperaturänderung erstellt, woraus sich ein Differentialgleichungssystem ergibt.

Das Netzwerkmodell bietet den Vorteil der Ermittlung des thermischen Verhaltens des Wärmespeichers mittels Matrizen. Hierbei werden die Wärmekapazitäten der einzelnen Volumina (C), der reziproken Wärmeleit- und Wärmeübergangswiderstände (L_C und L_R), die Struktur des Netzwerks/Graphen (A) sowie die Quellen und Senken im System (I) in Matrizen und Vektoren zusammengefasst und zur Erstellung des Differentialgleichungssystems zur Verfügung gestellt.

$$\frac{dT}{dt} = \underline{\underline{C}}^{-1} \cdot \underline{\underline{A}} \cdot \left(-\underline{\underline{L}}_C \right) \cdot \underline{\underline{A}}^T \cdot \underline{\underline{T}} + \underline{\underline{C}}^{-1} \cdot \underline{\underline{A}} \cdot \left(-\underline{\underline{L}}_R \right) \cdot \underline{\underline{A}}^T \cdot \underline{\underline{T}}^4 + \underline{\underline{C}}^{-1} \cdot \underline{\underline{I}}$$

(Gl.1) Differentialgleichungssystem in Matrixform im Beladungsmodell

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Abbildung 1 stellt die zeitliche Temperaturrentwicklung des Heizelementes sowie der mittleren Speichertemperatur in Abhängigkeit der Beladungszeit dar. Hierbei wird ersichtlich, dass das Heizelement

¹ Jungautorin. E-Mail: manuela.richter@me.thm.de, Tel.: +49-641-3092194, Web: www.thm.de/thesa Adresse: Wiesenstraße 14, 35390 Gießen

² Jungautor. E-Mail: sergej.herzog@me.thm.de, Tel.: +49-641-3092185, Web: www.thm.de/thesa Adresse: Wiesenstraße 14, 35390 Gießen

³ E-Mail: stefan.lechner@me.thm.de, Tel.: +49-641-3092116, Web: www.thm.de/thesa Adresse: Wiesenstraße 14, 35390 Gießen

zunächst einen sprunghaften und zum Schluss gar keinen Temperaturanstieg erfährt und sich dazwischen kontinuierlich auf seine maximale Temperatur erwärmt. Die Speichertemperatur nimmt linear zu, jedoch schwächt sich der Temperaturgradient ab, sobald die maximale Heizelementtemperatur erreicht wird.

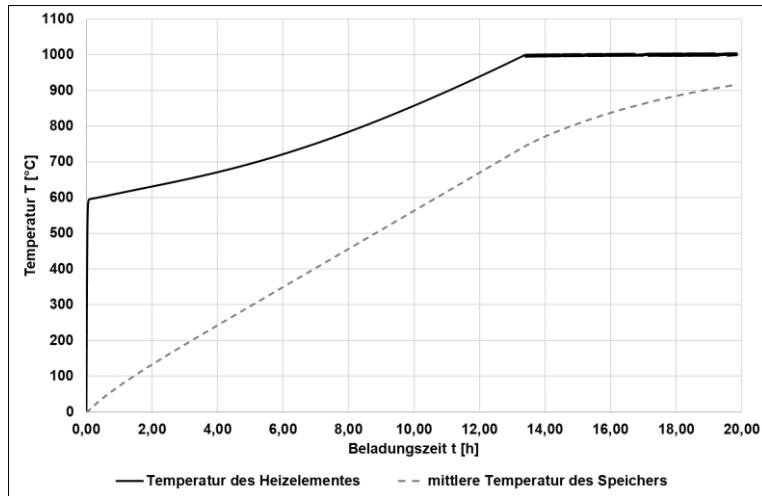


ABBILDUNG 1 ZEITLICHE TEMPERATURENTWICKLUNG WÄHREND BELADEPROZESS

Das Entladungsmodell liefert Aussagen über die zeitliche Entwicklung der Luftaustrittstemperatur, welche von Interesse für die nachgeschaltete Rückverstromungseinheit sind, sowie über die zeitliche und örtliche Temperaturentwicklung innerhalb des Speichers. In Abbildung 2 ist exemplarisch die Temperaturentwicklung aufgezeigt. Aus dieser Darstellung ist unter anderem erkennbar, dass eine Temperaturschichtung innerhalb des Speichers vorliegt.

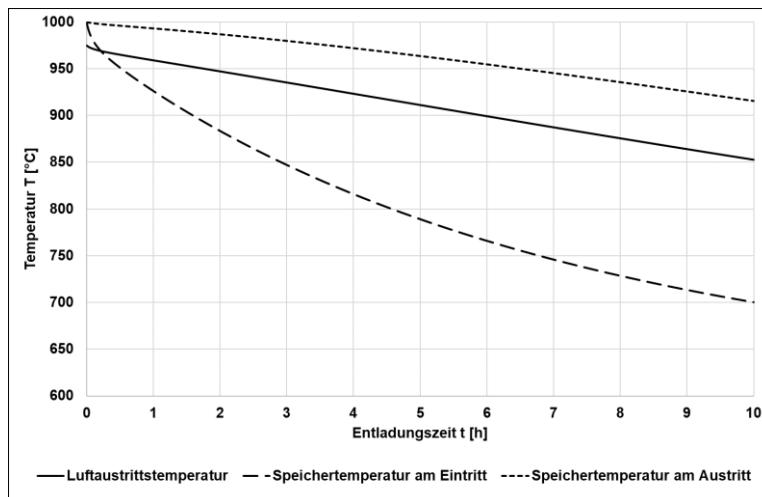


ABBILDUNG 2 ZEITLICHE TEMPERATURENTWICKLUNG WÄHREND ENTLADEPROZESS

Durch Variation der Eingangsparameter sowie Randbedingungen konnten aus beiden Modellen wichtige Schlüsse für die Betriebsweise sowie für die Konstruktion des Speichers gezogen werden. Zum einen kann die Beladeleistung und somit die aus dem Netz entnommene Leistung nicht konstant gehalten werden. Zum anderen konnte die zweckdienlichste Breite der Strömungskanäle durch das Entladeverhalten und das Teillastverhalten des Speichersystems bestimmt werden. Auch die Auswirkungen einer abnehmenden Luftaustrittstemperatur auf die Rückverstromungseinheit konnten ermittelt werden.

Literatur

- [1] Herzog, S.; Lechner, S.; Altensen, R.: Hochtemperatur-Stromspeicher. Publikation und Vortrag, 10. Internationale Energiewirtschaftstagung IEWT der TU Wien, Wien, Februar 2017
- [2] Kunz, G.: „Dynamische Simulation eingeschwungener thermischer Zustände von Druckgießformen“, Dissertation, TU Dresden, 2012
- [3] Strang, G.: „Wissenschaftliches Rechnen“, Springer Verlag, ISBN 978-3-540-78494-4, 2010