

Simulative Untersuchungen der thermischen Be- und Entladungsprozesse eines sensiblen Hochtemperaturwärmespeichers

(2) Strom, Wärmeerzeugung sowie Speicher

Ausschlaggebend für die Funktionsfähigkeit eines Wärmespeichers ist dessen zeitabhängige Temperaturverteilung (Beladezustand). Dementsprechend sind Untersuchungen dieses Zustandes sowohl für die Projektierung, den Aufbau, die Inbetriebnahme als auch den Betrieb von großem Interesse. Basierend auf der Graphentheorie [2] wurde der Speicher des Forschungsprojektes High-T-Stor hinsichtlich verschiedener Einflussparameter bei der Be- und Entladung untersucht, um konstruktive Randparameter sowie Einflüsse auf die Betriebsstrategie zu ermitteln. Herausragende Eigenschaft des Speichers ist die Beladung des keramischen Materials durch Strahlung (elektrische Heizelemente) sowie die direkte Entladung mittels konvektiver Wärmeübertagung auf ein Fluid.

Modellierungsgrundlagen

Ziel der Modellierung ist die Darstellung des dynamischen Verhaltens des Speichers im Falle der Be- und Entladung. Dabei wird der Speicher als technisches System aufgefasst, welches in finite Volumina (Zellen) aufgeteilt wird. Mittels der Methode der Blockkapazität entsteht so ein System mit konzentrierten Parametern. In der Graphentheorie werden diese Zellen als Knoten bezeichnet, welche durch Kanten miteinander verbunden sind. Die mathematische Beschreibung des zeitabhängigen Temperaturverlaufes erfolgt über die Bilanzierung der Zellen, wobei zwischen Solid- und Fluidzelle differenziert wird, siehe Abbildung 1.

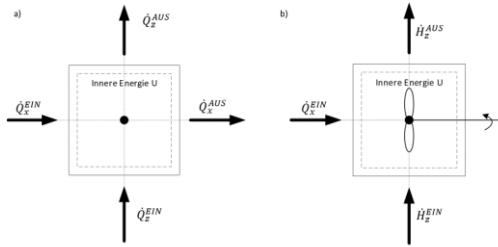


Abbildung 1: zweidimensionale Bilanzierung a) Solidzelle b) Fluidzelle

In Abhängigkeit des Zelltyps ergibt sich die Formulierung für die zeitliche Änderung der inneren Energie:

$$\frac{dU}{dt} = \sum \dot{Q}_{Ein} - \sum \dot{Q}_{Aus} \quad \text{bzw.} \quad \frac{dU}{dt} = \sum \dot{H}_{Ein} - \sum \dot{H}_{Aus} + \sum \dot{H}_{Ein}$$

In diesem Zuge wird die Fluidzelle als kontinuierlich betriebener Rührkessel angesehen, die Fluidströmung durchläuft demnach eine Rührkesselkaskade [3]. Das technische System kann so als thermisches Netzwerk aufgefasst werden, bei dem die Formulierung, Darstellung sowie Berechnung der Differentialgleichungen durch Matrizen vorteilhaft ist [4].

Mathematische Formulierung

$$\underline{\underline{C}} \cdot \frac{dT}{dt} = \underline{\underline{K}} \cdot \left(\underline{\underline{L}}_C \right) \cdot \underline{\underline{K}}^T \cdot \underline{\underline{T}} + \underline{\underline{K}} \cdot \left(\underline{\underline{L}}_R \right) \cdot \underline{\underline{K}}^T \cdot \underline{\underline{T}}^4 + \underline{\underline{C}} \cdot \left(\underline{\underline{S}} - \underline{\underline{E}} \right) \cdot \underline{\underline{T}} + \underline{I}_1 + \underline{\underline{C}} \cdot \underline{I}_2 \cdot T^{Ein}$$

$\underline{\underline{K}}$: Kopplungsmatrix [Knoten x Kanten]

$\underline{\underline{K}} \cdot \left(\underline{\underline{L}}_C \right) \cdot \underline{\underline{K}}^T \cdot \underline{\underline{T}}$: Wärmeübertragung durch Leitung und Konvektion

$\underline{\underline{K}} \cdot \left(\underline{\underline{L}}_R \right) \cdot \underline{\underline{K}}^T \cdot \underline{\underline{T}}^4$: Wärmeübertragung durch Strahlung

$\underline{\underline{C}} \cdot \left(\underline{\underline{S}} - \underline{\underline{E}} \right) \cdot \underline{\underline{T}}$: Enthalpieströme

\underline{I}_1 : konstante Randbedingungen

$\underline{\underline{C}} \cdot \underline{I}_2 \cdot T^{Ein}$: eintretende Enthalpieströme

Ergebnisse und Schlussfolgerung

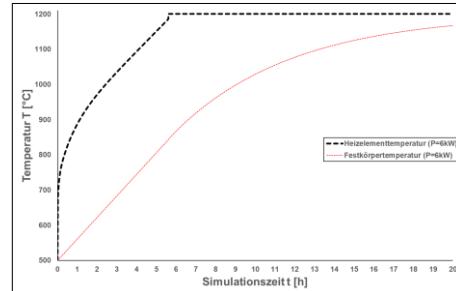


Abbildung 2: Temperaturverlauf bei der Beladung

Während der Beladung (Abbildung 2) weist das elektrische Heizelement ein instationäres Verhalten auf. Es herrscht eine treibende Temperaturdifferenz zwischen Heizelement und Festkörper während der gesamten Beladung, sodass die erreichbare Speichertemperatur knapp unterhalb der maximalen Heizelementtemperatur von 1200°C liegt.

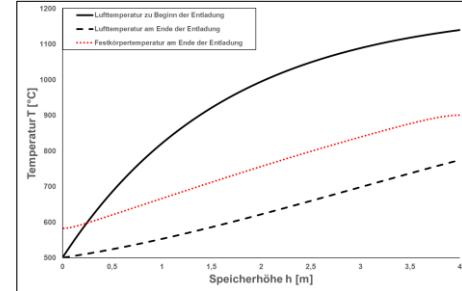


Abbildung 3: Temperaturverlauf bei der Entladung

Während der Entladung (Abbildung 3) sinkt die Speicheraustrittstemperatur des Fluids kontinuierlich. Entlang der Speicherhöhe erwärmt sich das Fluid, sodass die Festkörpertemperatur, die zu Beginn rund 1200 °C betrug, am Ende der Beladung eine Schichtung entlang der Speicherhöhe aufweist.

Quellen

[1] HERZOG, S. ; LECHNER, S. ; ALTENSEN, R.: Hochtemperatur-Stromspeicher (10. Internationale Energiewirtschaftstagung IEW). Wien, Februar 2017

[2] KRISCHKE, André ; RÖPCKE, Helge: Graphen und Netzwerktheorie: Grundlagen - Methoden - Anwendungen ; mit 137 Bildern und zahlreichen Beispielen. München : Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2015

[3] SCHULZE, Tobias: Gleichungsorientierte Modellierung der Wärme- und Stoffübertragungsprozesse in Verdunstungskühlturen. Dresden, Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen. Dissertation, 2015

[4] KUNZ, Gerald: Dynamische Simulation eingeschwungener thermischer Zustände von Druckgussformen. Dresden, Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen. Dissertation, 2013

Kontakt

Manuela Richter
manuela.richter@me.thm.de

+49 641/ 309 2194

Technische Hochschule Mittelhessen
Fachbereich Maschinenbau und Energietechnik

GEFÖRDERT VON



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Förderkennzeichen: 13FH163IN6