



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt

Institut für Technische Thermodynamik

Simulation von Strömungs- und Wärmeübertragungsvorgängen in thermischen Energiespeichern mit Phasenwechsel

Bachelorarbeit
von

Jonina Felbinger

Matrikelnummer 323995
Studiengang Energie- und Prozesstechnik
Technische Universität Berlin

Oktober 2014

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Tsatsaronis
TU Berlin – Institut für Energietechnik
Betreuer: Dipl.-Ing. Pieter Mergenthaler
TU Berlin – Institut für Energietechnik
Dipl.-Ing. Julian Vogel
DLR – Institut für Technische Thermodynamik

Bachelorarbeit

für Frau Jonina Felbinger

Simulation von Strömungs- und Wärmeübertragungsvorgängen in thermischen Energiespeichern mit Phasenwechsel

Thermische Energiespeicher sind eine Schlüsseltechnologie für die effiziente und zuverlässige Nutzung solarthermischer Kraftwerke zur Stromerzeugung. Durch diese kann die schwankende Verfügbarkeit von Sonnenenergie gepuffert und somit an den Bedarf des Verbrauchers angeglichen werden. Eine Möglichkeit zur Speicherung thermischer Energie sind Latentwärmespeicher (auch Phasenwechselspeicher), bei denen ein festes Speichermedium (z.B. Nitratsalz) beim Beladen schmilzt. Dabei wird Energie in Form der Schmelzenthalpie gespeichert. Bei Bedarf kann mit der gespeicherten Wärme wieder Dampf erzeugt und z.B. eine Dampfturbine betrieben werden.

Zur Auslegung solcher Speichersysteme muss deren transientes und nichtlineares Wärmeübertragungsverhalten verstanden und abgebildet werden. Aktuelle Forschungsarbeiten umfassen unter anderem das Auftreten natürlicher Konvektion in der flüssigen Phase des Speichermediums und dessen Einfluss auf die Wärmeübertragung im Speicher. Die Simulation dieses Vorgangs in Verbindung mit dem Phasenwechsel gestaltet sich schwierig, da hierfür neben der Energiegleichung auch Strömungsgleichungen transient gelöst werden müssen. Daher wird darauf in einfachen Ansätzen meist verzichtet und der Einfluss vernachlässigt. Als Resultat zeigen sich jedoch teils starke Abweichungen zwischen Simulation und Experiment. Zur Simulation natürlicher Konvektion wurde bereits eine Modellierungsmethodik umgesetzt und erfolgreich mit experimentellen Daten validiert. Das Auftreten und die Intensität natürlicher Konvektion hängen jedoch stark von den Randbedingungen und Dimensionen des Speichersystems ab. Der nächste Schritt ist daher eine Untersuchung, wie natürliche Konvektion die Wärmeübertragung im Speicher beeinflusst und in welchem Zusammenhang dies mit den Speicherdimensionen steht. Dazu wird eine Parameterstudie durch Variation der Abmessungen eines Speichertyps mit rechteckigen Speichermedium-Behältern angestrebt. Diese Ergebnisse liefern die Grundlage zur Berücksichtigung natürlicher Konvektion in der Auslegung von thermischen Energiespeichern mit Phasenwechsel.

Im Rahmen der Arbeit sollen folgende Teilaufgaben bearbeitet werden:

- Literaturrecherche zum Phasenwechsel und natürlicher Konvektion in thermischen Energiespeichern
- Anfertigung einer Studie zur Abhängigkeit der Simulationsmethodik von der Gitter- und Zeitschrittweite und Auswahl einer geeigneten Diskretisierung
- Durchführung einer numerischen Parameterstudie durch Geometrierstellung, Gittererstellung, Konfiguration und Simulation verschiedener Speicherabmessungen
- Auswertung der Ergebnisse und Bewertung des Einflusses natürlicher Konvektion auf die Wärmeübertragung im Speicher in Abhängigkeit der Speicherabmessungen

Die vorgenommenen Arbeiten und Ergebnisse sind in geeigneter Form zu dokumentieren.

Betreuer: Dipl.-Ing. Julian Vogel
DLR-Institut für Technische Thermodynamik

Kurzreferat

Die Integration von Phasenwechselspeichern in solarthermische Kraftwerke mit Direktverdampfung oder industrielle Prozesse stellt eine vielversprechende Technologie zur Steigerung der Anlageneffizienz dar. Im Rahmen dieser Arbeit wird durch numerische 2D-Simulationen von transienten Strömungs- und Wärmeübertragungsvorgängen die Auswirkung natürlicher Konvektion auf die Be- und Entladevorgänge thermischer Energiespeicher mit Fest-Flüssig-Phasenwechseln untersucht. Fokus dabei ist, den Einfluss geometrischer Parametervariationen auf das Speicherverhalten zu ermitteln. Dazu wird das Modell eines rechtwinkligen Plattenwärmespeichers mit vertikalen Speicherkammern entwickelt, in dem ein Nitratsalz ($\text{KNO}_3 - \text{NaNO}_3$) durch ein zweiphasiges Wärmeträgerfluid (Wasser) seitlich beheizt oder gekühlt wird. Die Kammern sind in Höhe und Breite variabel. Es werden unabhängig voneinander jeweils drei verschiedene Abmessungen betrachtet, wodurch sich Seitenverhältnisse (Höhe/Breite) von 4-40 ergeben. Die Ergebnisse der Parameterstudie werden in absoluter Form sowie anhand einer dimensionslosen Analyse dargestellt. Es kann unter Verwendung relevanter Kennzahlen, wie Rayleigh- und Fourier-Zahl, ein Zusammenhang für das Schmelzverhalten in den verschiedenen Speicherkammern gefunden werden. Zudem wird anhand der Nußelt-Zahl ein Faktor für die Verstärkung des konvektiven Wärmeübergangs in Abhängigkeit der Speicherabmessungen gegeben.