



**Hochschule Osnabrück**  
University of Applied Sciences

## **Bachelorarbeit**

### **Numerische und experimentelle Analyse der Phasengrenze in thermischen Energiespeichern mit Fest-Flüssig- Phasenwechselmaterial**

vorgelegt von

**Janina Hagedorn**

Matr. Nr. 587898

September 2016



Betreuer Hochschule:  
Prof. Dr.-Ing. Markus Eck



Betreuer extern:  
Dipl.-Ing. Julian Vogel

---

## Kurzreferat

Durch die heutzutage knapper werdenden fossilen Ressourcen, müssen die vorhandenen Energiequellen besser genutzt werden. Vor allem im Bereich der erneuerbaren Energien, welche nicht kontinuierlich verfügbar sind, bedeuten Speicher eine Effizienzsteigerung, wodurch ihr Anteil am Gesamtenergiebedarf gesteigert werden kann. Durch den Einsatz von thermischen Energiespeichern können Kosten und Ressourcen geschont werden. Dabei besitzen latente Wärmespeicher eine höhere Energiedichte als sensible Speicher. Besonders in solarthermischen Kraftwerken können Speicher mit Phasenwechselmaterial somit eine Effizienz- und Ausnutzungssteigerung bedeuten.

Zur Untersuchung des Aufschmelzvorganges wird in der vorliegenden Arbeit die Phasengrenze visualisiert. Hierfür wird ein zweidimensionales Modell eines vorhandenen Versuchstandes simuliert. Die Untersuchung umfasst das Hochtemperatur Speichermaterial Kaliumnitrat-Natriumnitrat ( $\text{KNO}_3\text{-NaNO}_3$ ) und das Niedertemperaturmaterial Laurinsäure ( $\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$ ). Die numerische Untersuchung erfolgt mit beiden Speichermaterialien, die experimentelle Untersuchung mit Laurinsäure. Die Beheizung der Versuchskammer in den Simulationen und den Experimenten erfolgt mit einer kontinuierlichen Heiztemperatur an zwei gegenüberliegenden Seiten. Die Versuche werden mit den Simulationen anhand der Temperaturverläufe an zwei Messpunkten und Schattenbildaufnahmen verglichen.

## Abstract

Due to declining resources, the available energy sources have to be used more efficient. Especially in the field of renewable energies, which aren't available all the time, energy storage is an important solution. With thermal energy storage, costs and resources can be saved. Latent heat storage owns higher efficiency and utilization than sensible storages. But especially for fossil and solar power plants thermal energy storage with phase change material can enhance efficiency.

In this work case the phase boundary which develops during the melting process should be visualized. For this purpose a two-dimensional test-case of a real experimental rig will be simulated. The analysis comprises sodium nitrate ( $\text{KNO}_3\text{-NaNO}_3$ ) as high temperature storage material and lauric acid ( $\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$ ) as low temperature storage material. The numerical analysis is carried out with both materials, the experimental analysis just with lauric acid. The phase-change-material will be heated by two alternate sides with constant wall temperature. The results of the experiments and the simulations are compared with the temperature profile of two points and the shadowgraph images.

## Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche und Urheberrechts-Erklärung .....	I
Kurzreferat.....	II
Abstract .....	II
Nomenklatur .....	IV
1. Einleitung und Aufgabenstellung .....	1
2. Darstellung des Standes der Technik .....	3
3. Methodik: Simulation.....	8
3.1. Grundlagen .....	8
3.1.1. Erhaltungsgleichungen .....	8
3.1.2. Phasenwechselmodell .....	9
3.1.3. Wärmeübergänge .....	11
3.2. Numerische Grundlagen .....	14
3.2.1. Diskretisierung.....	14
3.3. Numerische Verfahren .....	15
3.3.1. Fehlerarten .....	15
3.3.2. Finite-Volumen-Methode .....	16
3.3.3. Lösungsmodelle .....	17
3.4. Geometrieerstellung.....	19
3.5. Gittererstellung.....	20
3.6. Strömungslöser.....	21
4. Methodik: Versuche .....	24
4.1. Aufbau .....	25
4.2. Messeinrichtung.....	26
5. Arbeitsergebnisse .....	28
5.1. Simulation .....	28
5.1.1. Gitter- und Zeitschrittstudie.....	28
5.1.2. Symmetrierandbedingung.....	30
5.1.3. Wärmeverluste .....	31
5.1.4. Flüssige Phase .....	33
5.1.5. Vergleich Simulation 2D-3D.....	33
5.1.6. Validierungsexperiment .....	36
5.2. Experiment.....	38
5.3. Vergleich Simulation mit Experiment.....	44
6. Zusammenfassung und Ausblick .....	50
7. Anhang .....	52
Literatur .....	58
Abbildungsverzeichnis.....	60
Tabellenverzeichnis.....	62