



---

Investigation of the Heat Transfer Enhancement for a  
Novel Latent Heat Storage with Moveable Storage  
Material

*Diploma Thesis*

**ANDREAS SCHEYHING**

SUPERVISOR

Dipl. Ing. Harald Pointner

EXAMINER

Professor Dr. André Thess

Issue: 01.05.2014

Submission: 30.09.2014

Fakultät 4  
Energie-, Verfahrens- und Biotechnik  
UNIVERSITÄT STUTTGART



**Statutory Declaration**

I hereby certify that I have prepared the diploma thesis as submitted independently and in the process, have not used any aids other than those cited in the listing of sources and literature.

The work has not been submitted in identical or similar form as an examination paper.

Stuttgart, 30.09.2014

Andreas Scheyhing

**Task**

---

M.Sc. Andreas Scheyhing • Am Seeddamm 2 • 72074 Tübingen • Germany

Mobil: 01577 - 30 57 300 • E-Mail: andreas.scheyhing@gmail.com

---

## Externe Diplomarbeit

### Untersuchung der Wärmeübertragung innerhalb eines neuartigen Latentwärmespeichers mit beweglichem Speichermedium

**Beginn:** 01.Mai.2014    **Ende:** 30.September.2014

#### Hintergrund:

Den momentanen Stand der Technik im Feld der thermischen Energiespeicherung bei thermischen Kraftwerken stellen Flüssigsalzspeicher dar. Hierbei handelt es sich um einen sensiblen Speicher, bei dem Energie durch Temperaturänderungen des Speichermediums ein- bzw. ausgespeichert wird. Für direktverdampfende solarthermische Kraftwerke bieten sich jedoch Latentwärmespeicher an, da aufgrund der zwei gekoppelten isothermen Prozesse (Phasenwechsel Wasser-Dampf-System und Phasenwechsel Speichermedium) nur geringe Temperaturdifferenzen zur Übertragung der Wärme notwendig sind. Dies verspricht eine hohe Effizienz. Beim Entladen jedoch weisen derartige Speicher aufgrund der sich am Wärmeübertrager anlagernden festen Schicht einen Abfall der Leistung auf.

#### Verfahren:

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit geförderten Projekts „nextPCM“ soll ein Latentwärmespeicherkonzept, das eine regelbare Leistungscharakteristik aufweist, entwickelt und demonstriert werden. Im hierfür ausgewählten sog. „PCMflux -Konzept“ wird das Speichermedium in Behälter gekapselt, die mit einer spezifischen Geschwindigkeit am Wärmeübertrager vorbeigefahren werden. Auf diese Weise kann eine konstante und regelbare thermische Leistung abhängig von der Vorschubgeschwindigkeit realisiert werden.

#### Ziel und Vorgehensweise:

Im Rahmen der Diplomarbeit sollen verschiedene Geometrien der erwähnten Speichermediumkapseln untersucht werden. Dazu sollen zuerst verschiedene Designvarianten entwickelt und so weit wie möglich berechnet bzw. simuliert werden. Die vielversprechendste(n) Option(en) sollen daraufhin gefertigt und am vorhandenen Teststand vermessen werden. Eventuell notwendige Änderungen am Teststand sollen geplant und durchgeführt werden. Das übergeordnete Hauptziel der Arbeit ist der theoretisch und versuchstechnisch begründete Vorschlag einer Behältergeometrie, die bei geringem Materialeinsatz eine möglichst effiziente Wärmeübertragung ermöglicht. Zudem soll die Bewegung der Behälter erstmals unter realitätsnahen Bedingungen demonstriert und die Auswirkungen auf die Wärmeübertragung untersucht werden.

- Aufgaben:**
1. Literaturrecherche Behältergeometrie
  2. Entwurf neuer PCM – Behälter – Geometrien
  3. Theoretische Untersuchung der Behältergeometrien
  4. Fertigung der vielversprechendsten Geometrien
  5. Experimentelle Untersuchung der gefertigten Behälter
  6. Auswertung der Ergebnisse

#### Kontaktinformationen:

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.**  
Institut für Technische Thermodynamik  
Pfaffenwaldring 38-40 | 70569 Stuttgart

**Dipl.-Ing. Harald Pointner**  
Telefon +49 711 6862 8107  
[harald.pointner@dlr.de](mailto:harald.pointner@dlr.de)



---

## Abstract

The state-of-the-art latent heat energy storage has the major disadvantage of decreasing discharging power, which is compensated by additional heat transfer structures leading to an increase in investment costs. Novel latent heat energy storage with movable macro encapsulated storage material solves this problem. The purpose of this diploma thesis is to design a macro encapsulation to enhance the heat transfer within this novel latent heat energy storage. Thereby fin inserts for the macro encapsulation are developed and researched as well as mounting concepts to attach it to a motion system that moves the encapsulated storage material. Within a literature review, the state-of-the-art latent heat energy storage is presented. Furthermore, phase change material macro encapsulations as well as extended surfaces to enhance heat transfer are investigated. Thereupon macro encapsulations are developed including mounting concepts for a motion system that utilizes steel cable to move the macro encapsulated storage material. Based on simulations with ANSYS<sup>®</sup> - Mechanical, 13 different investigated and designed fin inserts are simulated and evaluated for the identified macro encapsulation to enhance the heat transfer. The most promising container with fin insert is manufactured and (in the last chapter) tested together with the joining of a steel cable and container. The preliminary results of this thesis shows that a cubical container as macro encapsulation with a plain shifted fin insert is the most promising design. With this fin insert the latent time is enhanced by a factor of 6.7 and a total coefficient of performance of 89.2 %. Furthermore, for the experimental part of this thesis, fin inserts were manufactured. In this process, the plain shifted fin was not totally straight and a self-repositioning took place during the experiments, therefore the performance of the plain shifted fin insert is experimentally not confirmed. However, the test with the sinus shifted fin insert with an enhancement factor of 4.8 and a coefficient of 85.4 % was also tested and shows the expected performance without repositioning itself, which is prevented by its geometrical shape. The tests of the joining of the steel cable with a container reveal that resistance spot welding is the most promising joining option. Finally, the second best fin, the sinus shifted fin insert, has been identified to be the most suitable with regards to heat transfer enhancement, manufacturability as well as stability within the cubical macro encapsulation.

*Keywords:* Macro encapsulation, PCM flux, enhanced heat transfer, fin inserts

---

## Content

<b>Statutory Declaration.....</b>	<b>III</b>
<b>Task .....</b>	<b>IV</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>V</b>
<b>List of Figures.....</b>	<b>VIII</b>
<b>List of Tables.....</b>	<b>XI</b>
<b>Nomenclature.....</b>	<b>XIII</b>
<b>1 Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Objective and Methodology.....</b>	<b>2</b>
<b>3 Literature Review.....</b>	<b>3</b>
3.1 State-of-the-art Latent Heat Energy Storage .....	3
3.2 PCM Macro Encapsulation.....	3
3.3 Enhanced Heat Transfer through Extended Surface.....	4
<b>4 Fundamentals &amp; Thermodynamic Theory .....</b>	<b>8</b>
4.1 Phase transition – solidification of a slab .....	8
4.2 Simulation Verification Theory .....	10
4.3 Evaluation Coefficients – Coefficient of Performance.....	12
4.4 Joining of Aluminum & Tribology.....	16
<b>5 Container and Mounting Concepts .....</b>	<b>19</b>
5.1 Container Concepts.....	20
5.2 Mounting Concepts for a Motion Concept utilizing a Steel Cable.....	22
<b>6 Container and Fin Inserts Design .....</b>	<b>25</b>
<b>7 Simulation .....</b>	<b>29</b>
7.1 Simulation Verification & Validation .....	30
7.2 Coefficient of Performance.....	33

---

<b>8 Experiments .....</b>	<b>45</b>
8.1 Qualitative Infrared Thermographic Testing with fixed Conditions .....	45
8.2 Qualitative Infrared Thermographic Testing of the Containers .....	53
8.3 Thermal Tension Testing .....	58
<b>9 Discussion.....</b>	<b>65</b>
<b>10 Conclusion.....</b>	<b>66</b>
<b>Literature .....</b>	<b>67</b>
<b>Appendix A .....</b>	<b>70</b>
<b>Appendix B.....</b>	<b>76</b>
<b>Appendix C .....</b>	<b>77</b>
<b>Appendix D .....</b>	<b>79</b>