



Hochschule Kempten
University of Applied Sciences



Deutsches Zentrum
DLR für Luft- und Raumfahrt

Diplomarbeit

Maximilian Schmid

Auslegung und Aufbau einer Zyklusanlage für
Gas-Feststoff-Reaktionssysteme

Auslegung und Aufbau einer Zyklusanlage für
Gas-Feststoff-Reaktionssysteme

Diplomarbeit

Eingereicht in der Fakultät Maschinenbau der Hochschule Kempten zur Erlangung
des akademischen Grades eines

Diplomingenieur (FH)

Vorgelegt von: Maximilian Schmid

Studiengang: Maschinenbau

Matrikelnummer: 256440

Stuttgart/Kempten

Betreuung durch:

Prof. Dr.-Ing. M. Finkenrath

Hochschule Kempten

Fakultät Maschinenbau

und

Dipl.-Ing. M. Gollsch

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Institut für Technische Thermodynamik

©2016



Diplomarbeit

„Auslegung und Aufbau einer Zyklusanlage für Gas-Feststoff-Reaktionssysteme“

Thermochemische Energiespeicher können durch ihre hohe Speicherdichte und hohen Wirkungsgrad über längere Zeiträume in Zukunft einen wichtigen Teil der Speichertechnologien ausmachen. Das Prinzip der thermochemischen Energiespeicher ist eine reversible Reaktion zwischen zwei Stoffen, einem Gas- und einem Feststoff. Die Ein- und Ausgangstemperaturen dieser Speicher sind stoffabhängig und können entsprechend der vorhandenen Wärme gewählt werden.

Im Fokus dieser Arbeit steht die Entwicklung einer Laboranlage für Versuche zur Zyklusbeständigkeit verschiedener Stoffe für die chemische Speicherung von thermischer Energie. Aus den Erkenntnissen, die mit dieser Anlage gewonnen werden können, kann die Eignung eines Stoffes zur Speicherung validiert werden.

Aufgaben

- Entwicklung und Konstruktion einer Laboranlage unter verschiedenen Randbedingungen:
 - Automatisches Zyklieren eines Stoffes
 - Messung des Umsatzes
 - Unter verschiedenen Temperaturen und Drücken
- Aufbau
- Schriftliche Ausarbeitung

Beginn: November 2015

Dauer: 5 Monate

Betreuung: Dipl.-Ing. Marie Gollsch
Prof. Dr.-Ing. Mathias Finkenrath

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	v
Zusammenfassung.....	vii
Abstract.....	ix
Formel- und Abkürzungsverzeichnis	xi
Abbildungsverzeichnis	xiv
Tabellenverzeichnis	xvi
1. Einleitung.....	1
2. Motivation	3
3. Grundlagen thermischer Speicher	5
3.1 Sensible thermische Speicher.....	6
3.2 Latente thermische Speicher	7
3.3 Thermochemische Speicher	7
3.3.1 Eigenschaften.....	7
3.3.2 Gas-Feststoff-Reaktion.....	8
3.3.3 Wärmetransformation	10
3.4 Vergleich der Technologien	11
4. Grundlagen der Messtechnik.....	13
4.1 Messfehler Φ	13
4.2 Messtechniken	14
4.3 Kalibrierung.....	15
5. Auslegung des Teststandes	16
5.1 Verfahrensflussbild	20
5.2 Bauteilliste.....	21
5.3 Auswahl des Reaktors	22
5.4 Auswahl der thermischen Energiezuführung.....	26

5.5	Auswahl des Verdampfers	30
5.6	Auswahl der Messtechnik	33
5.6.1	Bestimmung des Umsatzes der Reaktion.....	33
5.6.2	Thermoelemente	36
5.6.3	Drucksensoren	37
5.7	Auswahl der Vakuumpumpe	39
5.8	Auswahl der Steuerung.....	42
5.9	Auswahl der Wasserversorgung des Verdampfer	43
6.	Aufbau der Testanlage	44
7.	Zusammenfassung und Ausblick.....	53
8.	Anhang	i
9.	Erklärung	xxviii
10.	Literatur	xxix

Zusammenfassung

Durch die Energiewende wird bevorzugt auf fluktuierende Energieerzeuger gesetzt. Um die zeitliche Diskrepanz zwischen Erzeugung und Verbrauch der Energie zu kompensieren werden Speicher benötigt. 54 % der erzeugten Energie wird für thermische Prozesse benötigt. Um den CO₂-Ausstoß für die Energiewende zu verringern, muss man auf erneuerbare Energien setzen, oder bei den vorhandenen Verbrauchern die Effektivität steigern. Hier gibt es die größten Einsparmöglichkeiten bei den thermischen Prozessen, da sie den größten Teil der verbrauchten Energie ausmachen.

Um die Effektivität vorhandener Energieverbraucher zu erhöhen gibt es die Möglichkeit der Rückkopplung von nicht verbrauchter Energie, zum Beispiel aus Abwärme. Abwärme tritt meist in einem Temperaturniveau auf, das zur weiteren Verwertung ineffizient ist, oder aber zu einer Zeit, bei der die Abwärme nicht benötigt wird.

Um die anfallende thermische Energie nutzbar zu machen wird sie auf einem höheren Temperaturniveau benötigt. Dies lässt sich mit einem thermochemischen Speicher realisieren.

Im Winter wird abfallende Wärme zur Beheizung von Räumen verwendet. Diese Wärme wird den Sommer über nicht benötigt. Daher wird nach einem System gesucht, das die Wärme über einen langen Zeitraum ohne große Verluste speichern kann. Aber auch Kurzzeitwärmespeicher von einigen Stunden sind für die Speicherung der Abwärme erforderlich, um Energieverbrauch und Nachfrage anzugleichen.

Im Optimalfall soll dieser thermische Speicher die Energie nicht nur über eine ganze Saison hinweg speichern können, sondern zusätzlich die thermische Energie aufwerten, von einer niederkalorischen Wärme auf ein höheres Temperaturniveau.

Aus diesem Grund wird am Institut für technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt am Standort Stuttgart an thermochemischen Speichern geforscht und gearbeitet. So werden verschiedene Stoffe auf ihre Fähigkeit und Effizienz als Speicherstoff getestet.

Um die Kinetik eines Stoffes, die unter idealen Bedingungen gemessen wurden, zu überprüfen, sollen die Stoffe nun unter realen Bedingungen auf die Zyklusstabilität überprüft werden. Mit einer automatischen Zyklusanlage für Gas-Feststoff-Reaktionssysteme lassen sich Speicherstoffe sehr gut testen, ob sie auch über längere Zeit, also viele Be- und Entladezyklen des Speichers, als Speicher zu gebrauchen sind. So wird, wie in dieser Arbeit beschrieben, eine Anlage entwickelt, ausgelegt und aufgebaut, die unter möglichst vielen und unterschiedlichen Bedingungen verschiedene mineralische Stoffe und Salze als Speichermaterialien testen kann. Für die einzelnen Aufgaben der Anlage das passende Gerät zu entwickeln und auslegen auf die Gegebenheiten von Temperatur, Druck, Geometrie und deren Aufgabe.

Die Zyklusanlage stellt Wasserdampf bei einem bestimmten Druck als Reaktionspartner zur Verfügung und heizt den Reaktor auf bis zu 500 °C auf. Durch die Messung des Umsatzes auf zwei verschiedene Wege kann eine zuverlässige Aussage getroffen werden, wie der Reaktionsverlauf während eines Zyklus ist und wie sich die Reaktion nach vielen Zyklen ändert.

Mithilfe der entwickelten Anlage werden Tests an verschiedenen Materialien durchgeführt. Diese Tests können jeweils an die benötigten Bedingungen angepasst werden und vollständig automatisch selbst über einen längeren Zeitraum den Speicherstoff testen und dabei alle benötigten Daten und Messgrößen aufnehmen und abspeichern. Solche Tests stellen einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung eines effizienten und ökonomischen thermischen Speichers dar.

Abstract

Because of the exit from nuclear and fossil-fuel energy, new types of energy production have to be refined. The problem with renewable energy sources is that they do not emit the same amount of energy all the time. The produced energy is fluctuating, for example when a cloud covers the sun for a few minutes and then solar power plants produce in that time less energy.

For a better fit of the produced to the demanded energy the temporal mismatch of the energies can be reduced by storing energy, when more is produced than used, and releasing the stored energy when the demand of energy is high.

New possibilities of storage have to be developed. Not only for the storage of electrical energy but also of thermal energy. 54 % of the needed energy in Germany is for thermal energy, especially in the winter time to heat the buildings and for many industrial applications.

In the cold season the waste heat of a process can be used to heat up the building, but in the summer time the waste heat is released unused to the environment. This wasted heat can be stored in seasonal thermal energy storages and can be reused in cold seasons to heat rooms. For other tasks the waste heat can be reused, if the energy is stored for a shorter time of a few hours.

Thermochemical heat storage systems can store thermal energy over a long time without high losses of energy. Furthermore these storage systems can convert low calorific thermal energy to a higher level of temperature.

This is the reason why the German Aerospace Center (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.; DLR) in Stuttgart does research in thermochemical heat storage systems. Many different materials are tested for their suitability and efficiency of storing thermal energy.

Many materials were already tested for their thermodynamic under ideal conditions. Preceded works have shown that there is a big difference between the thermodynamic tests and the work under actual conditions.

For that a reason a new test bench is built in Stuttgart to test different materials for their stability over many cycles of charging and discharging as a storage system. With the automates cycling setup for gas-solid-reaction-systems, different mineral and salty materials can be tested for their reaction with water vapor. The conditions in the Test bench are adjustable up to 500 °C and up to 5 bar absolute pressure. The conversion during the reaction is measured by two different ways, to gain a significant result. This result leads to a statement of the reaction system and the behavior during the reaction and after a long time of working as a storage system.

With the help of the new setup many tests can be realized for many different materials by changing the conditions in the construction. The data of the measurement during the cycling process are stored and can be evaluated to gain a better understanding of the different types of heat storage materials.

Tests with the new automated cycling test bench for gas-solid-reaction-systems achieve an important input for the development of efficient and economical thermal energy storage systems.