



Fachhochschule
Kaiserslautern

University of
Applied Sciences



Bachelorarbeit

Studiengang Maschinenbau

Strömungsmechanische Untersuchung horizontal durchströmter Hochtemperatur - Wärmespeicher

vorgelegt von:
Matrikelnummer:

Christian Henry
861445

Gutachter:
Zweitgutachten:

Prof. Dr. Norbert Gilbert
Dipl. Ing. Joachim Hahn

Abgabetermin:

17.07.2014

Aufgabenstellung Abschlussarbeit

Institut für Technische Thermodynamik, DLR Stuttgart

„Strömungsmechanische Untersuchung horizontal durchströmter Hochtemperatur - Wärmespeicher“

Motivation:

Thermische Energiespeichersysteme sind zentrale Elemente verschiedener, mit regenerativen Energien betriebener, Kraftwerkstypen. Zwei derzeit untersuchte Anwendungsbeispiele sind solare Turmkraftwerke für den Einsatz in Südeuropa und adiabate Druckluftspeicherkraftwerke für die Netzintegration von Windenergie in Nord-West-Europa. Beide Kraftwerkstypen benötigen für eine erfolgreiche Markterschließung effiziente thermische Energiespeicher in einem Temperaturbereich von 600 - 900°C.

Direktdurchströmte Feststoff-Wärmespeicher auf der Basis von Schüttungen sind für diese Anwendungen eine sehr aussichtsreiche Technologie, aufgrund kostengünstiger Inventaroptionen und effektivem Wärmetransport. Ein wesentliches Hemmnis für die großmaßstäbliche Nutzung sind thermisch induzierte Spannungen in der Schüttung, die zu Materialschäden bei Inventar und Hochtemperaturisolation führen. Speicheraufbauten mit reduzierten Betthöhen eröffnen hierfür das Potential, thermomechanische Risiken zu mindern. Eine Möglichkeit hierzu bieten horizontal durchströmte Schüttbetten. Allerdings besteht bei solchen Schüttbetten die Gefahr der Ausbildung von Spalten durch Setzungsprozesse im Schüttgut. Diese Spalte erzeugen Bypass Strömungen, welche zu einer ungleichförmigen Be- bzw. Entladung und damit zu einer schlechten Be- / Entladeleistung führen.

Aufgabenstellung:

Ziel der Arbeit ist es mittels CFD Werkzeugen, die Wirksamkeit von Einbauten zur Vermeidung von Bypass Strömungen in horizontal durchströmten Schüttspeichern an einem exemplarischen Auslegungsfall zu untersuchen und zu charakterisieren. Dazu ist es notwendig, in einer instationären Simulation das resultierende Strömungsfeld zu ermitteln. Die Berechnung umfasst dabei mehrere Be- und Entladevorgänge des Speichers, um etwaige zyklische Vorgänge zu erfassen. Die durchgeführten Simulationen und deren Bewertung hinsichtlich der

Aufgabenstellung

Ausbildung eines homogenen Temperaturfeldes perpendicular zu Hauptströmungsrichtung, beinhalten Parameterstudien der Eingangsgrößen, wie Anzahl und Größe der Einbauten.

Teilaufgaben sind:

- *Einarbeitung in das CFD-Werkzeug (Vorpraktikum)*
- *Entwurf von Speichergeometrien und Einbauten (Vorpraktikum)*
- *Modellerstellung (Vorpraktikum)*
 - o *Erzeugung der Rechengitter*
 - o *Gitteranalyse*
- Berechnung des instationären Strömungsbildes
- Durchführen von Parameterstudien
- Auswertung der Ergebnisse
 - o Vergleich der zeitabhängigen Temperaturprofile
 - o Ermittlung von relevanten Einflussfaktoren auf die Temperaturverteilung.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VI
Nomenklatur	VII
1 Einleitung und Problemstellung (Ziel der Arbeit)	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Abgrenzung des Themas	3
2 Theoretische Grundlagen	4
2.1 Schüttungen	4
2.1.1 Porosität räumlich begrenzter Kugelschüttungen	5
2.1.2 Druckverlust in Kugelschüttungen	7
2.1.3 Wärmeübergang in Kugelschüttungen	8
2.2 Navier-Stokes-Gleichungen	11
2.3 Rechengitter	13
2.3.1 Strukturierte Gitter	13
2.3.2 Unstrukturierte Gitter	14
2.3.3 Qualitätskriterien	15
2.4 Turbulenz und Turbulenzmodell	18
2.4.1 Das k- ϵ -Modell	18
2.4.2 Das k- ω -Modell	19
2.4.3 SST-Modell	19
2.4.4 Poröses Modell	20
3 Modellierung des Speichers	23
3.1 Randbedingungen (Betriebsparameter des sensible Wärmespeicher)	23
3.2 Gewählte Modelle und Vereinfachungen	24
3.3 Ein-/Auslaufvarianten	25
3.4 Voruntersuchungen zur numerischen Simulation	27
3.4.1 Gittererstellung	27
3.4.2 Gitterunabhängigkeitsstudie	30
3.4.3 Wahl der Zeitschrittweite	35
4 Berechnete Fälle	37
4.1 Variable Randporosität	37
4.2 Feste Porosität	38

4.3 Spalt.....	38
4.4 Einbauten.....	40
4.4.1 2 Einbauten (kurz)	40
4.4.2 3 Einbauten (kurz)	42
5 Auswertung und Ergebnisse	44
5.1 Ergebnisgrößen.....	44
5.1.1 Eingeschwungener Speicherzustand.....	44
5.1.2 Speichernutzungsgrad.....	45
5.1.3 Ungleichförmigkeitsgrad	46
5.2 Untersuchung der Variante 2.....	48
5.2.1 Untersuchungsergebnisse des Speichers mit Fester Porosität	48
5.2.2 Untersuchungsergebnisse der Modelle Variable Randporosität und Spalt.....	50
5.2.3 Untersuchungsergebnisse der Modelle 2 Einbauten (kurz) und 3 Einbauten (kurz)	54
5.3 Untersuchung der Variante 1	58
5.4 Vergleich der beiden Varianten und Bewertung	63
6 Zusammenfassung und Ausblick	66
Literaturverzeichnis.....	68
Anhangsverzeichnis.....	70
Eidesstattliche Versicherung	72
Sperrvermerk	72