



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt**

Institut für Technische Thermodynamik
Prof. Dr. André Thess



Lehrstuhl für Hydromechanik und
Hydrosystemmodellierung
Prof. Dr.-Ing. Rainer Helmig

Bachelorarbeit

Experimentelle Untersuchung der effektiven Gaspermeabilität von feinen Schüttungen

Daniel Gugel

Matrikel-Nr.: 2786610

Betreuerin am DLR: Dipl.-Ing. Marie Gollsch

Eingereicht am 21.03.2016

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit (bzw. bei einer Gruppenarbeit meine entsprechend gekennzeichneten Anteil der Arbeit) selbständig verfasst habe, dass ich keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommenen Aussagen als solche gekennzeichnet habe, dass die eingereichte Arbeit weder vollständig noch in wesentlichen Teilen Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens gewesen ist, dass ich die Arbeit weder vollständig noch in Teilen bereits veröffentlicht habe und dass das elektronische Exemplar mit den anderen Exemplaren übereinstimmt.

Stuttgart, den



Starten Sie Ihre Mission beim DLR.

Das DLR ist das Forschungszentrum für Luft- und Raumfahrt sowie die Raumfahrtagentur der Bundesrepublik Deutschland. Rund 7.700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter forschen gemeinsam an einer einzigartigen Vielfalt von Themen in Luftfahrt, Weltraum, Energie, Verkehr und Sicherheit. Ihre Missionen reichen von der Grundlagenforschung bis hin zur Entwicklung von innovativen Anwendungen und Produkten von morgen. Wenn auch Sie sich für Spitzenforschung in einer inspirierenden, wertschätzenden Umgebung begeistern, starten Sie Ihre Mission bei uns.

Abschluss-/Studienarbeit

Experimentelle Untersuchung der effektiven Gaspermeabilität feiner Schüttungen

Das Institut für Technische Thermodynamik des DLR forscht mit über 150 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern auf dem Gebiet effizienter und ressourcenschonender Energiespeicher und Energiewandlungstechnologien der nächsten Generation.

Ihre Zielsetzung:

Die Möglichkeit der Speicherung thermischer Energie kann in Zukunft einen wichtigen Beitrag zu einer kostengünstigen und ressourcenschonenden Energieversorgung liefern. Thermochemische Speicher, bei denen die Wärme einer reversiblen chemischen Reaktion zur Speicherung genutzt wird, sind insbesondere aufgrund der damit verbundenen hohen spezifischen Speicherdichte eine vielversprechende Möglichkeit thermische Energie kostengünstig zu speichern.

Im Fachgebiet Thermochemische Systeme der Abteilung Thermische Prozesstechnik werden verschiedene Gas-Feststoff-Reaktionssysteme als thermochemische Speichermaterialien untersucht, bei denen der Feststoff als feinkörniges Schüttgut vorliegt. Da Vorarbeiten gezeigt haben, dass ein unzureichender Stoff- und Wärmetransport innerhalb des Reaktionsbettes eine deutliche Limitierung des Reaktionsverlaufs zur Folge haben kann, ist ein grundlegendes Verständnis der Transportvorgänge innerhalb dieser Schüttungen notwendig. Ziel dieser Arbeit ist daher die experimentelle Untersuchung der effektiven Gaspermeabilität feiner Schüttungen unter typischen Reaktionsbedingungen. Hierzu soll eine neue Messzelle konzipiert und in einen bestehenden Teststand integriert werden. Der Fokus der anschließenden Versuche liegt auf Veränderungen der effektiven Gaspermeabilität aufgrund Änderungen des Drucks, der Temperatur und des durchströmenden Gases.

Ihre Mission:

Im Rahmen der Arbeit sollen folgende Teilaufgaben bearbeitet werden:

- Auslegung und Integration einer neuen Messzelle für Durchströmversuche
- experimentelle Untersuchung der Durchströmbarkeit feiner Schüttungen
- Auswertung der Experimente und Bewertung der Ergebnisse

Ihre Qualifikation:

- Studium einer Ingenieurwissenschaft (Energie-, Umwelt-, Verfahrenstechnik oder ähnliches)
- Freude an experimentellem Arbeiten
- Eigeninitiative und Selbstständigkeit

Ihr Start: ab sofort für 6 Monate

Kontakt bei Rückfragen:

Marie Gollsch, DLR, Institut für Technische Thermodynamik, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart
Tel. 0711 6862-8117 oder E-Mail: marie.gollsch@dlr.de



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt**



Kurzfassung

In dieser Arbeit wurden Experimente zur Untersuchung der effektiven Permeabilität von Quarzsand und Quarzmehl in Abhängigkeit der Temperatur- und Druckänderung und unter Verwendung verschiedener Fluide durchgeführt. Hierzu wurde ein Quarzglaszylinder konzipiert, mit dem Vorgänge innerhalb der Schüttung optisch sichtbar gemacht werden können. Eine Schüttung aus Quarzsand bzw. Quarzmehl wurde von oben mit Stickstoff und Argon durchströmt und der sich dabei einstellende Druckverlust bei unterschiedlichen Ausgangsdrücken über die Schüttung aufgezeichnet, dabei wurde die Temperatur auf bis zu 500 °C erhöht.

Es konnte festgestellt werden, dass sich die effektive Permeabilität unter Temperatur- und Druckänderung und unter Verwendung unterschiedlicher Gase als Fluide verändert. So kam es bei einer Druckerhöhung zu einer Abnahme der effektiven Permeabilität. Eine Durchströmung mit Stickstoff führte zu einer niedrigeren effektiven Permeabilität als bei einer Durchströmung mit Argon. Bei der Änderung der Temperatur zeigte sich, dass eine Erhöhung der Temperatur zu einer niedrigeren effektiven Permeabilität einherging.

Summary

This thesis investigates effective permeability and how far it changes depending on temperature, pressure and various fluids. For this reason a quartz glass cylinder was designed to show changes within the bulk in an early stage. The bulk consisting of quartz sand or quartz flower was flown through with argon and nitrogen respectively. The occurring pressure difference was logged; during the process the temperatures were heightened up to 500 °C.

Changes in the effective permeability were determined in relation to variations of temperature, pressure and used gas. An increase of the pressure led to a lower effective permeability. When the bulk was flown through with nitrogen a lower effective permeability was observed than with a flow of Argon. By increasing the temperature a lower effective permeability was achieved.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Grundlagen Druckverlust in Schüttungen.....	3
2.1. Schüttungen	3
2.2. Das Darcy-Gesetz	4
2.3. Anpassungen des Darcy-Gesetzes	8
3. Versuchsaufbau	11
3.1. Veränderungen des vorherigen Aufbaus.....	11
3.2. Versuchsstand	11
3.3. Bauteile und Material.....	13
3.4. Messtechnik	19
4. Versuchsdurchführung.....	21
5. Versuchsergebnisse und -auswertung.....	24
5.1. Validierung durch Permeabilitätsbetrachtung.....	24
5.2. Permeabilitätsuntersuchungen.....	27
5.2.1. Permeabilitätsuntersuchung der ersten Schüttung	28
5.2.2. Permeabilitätsuntersuchung der zweiten Schüttung	33
5.2.3. Permeabilitätsuntersuchung der dritten Schüttung	36
5.2.4. Permeabilitätsuntersuchung der vierten Schüttung	39
5.2.5. Permeabilitätsuntersuchung der fünften Schüttung	50
6. Zusammenfassung und Ausblick	56
7. Literaturverzeichnis	58
8. Anhang.....	60