



# Technische Fachhochschule Berlin

University of Applied Sciences

Fachbereich II Mathematik - Physik - Chemie

## Masterarbeit

von

Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Täubert  
Matrikelnummer: 741399

zur Erlangung  
des Grades Master of Engineering

im Studiengang  
Computational Engineering

Thema:

Numerische Strömungsberechnungen von Gieß- und Füllvorgängen

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Peter Bartsch  
Betreuer extern: Dr.-Ing. Alexander Steinmann, CFX Berlin Software GmbH  
Gutachter: Prof. Dr. math. Norbert Kalus

Eingereicht: 07. April 2008

## Inhalt

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>Formelzeichenverzeichnis</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung/Introduction</b> .....	<b>1</b>
1.1 Deutsche Version .....	1
1.1.1 Druckgussverfahren und ihre wirtschaftliche Relevanz .....	1
1.1.2 Aufgabenstellung und Aufbau der Arbeit .....	2
1.2 English version .....	3
1.2.1 Die casting processes and their economic relevance .....	3
1.2.2 Terms of reference and structure of the thesis .....	4
<b>2 Theoretische Grundlagen</b> .....	<b>6</b>
2.1 Grundlagen der Strömungssimulation .....	6
2.1.1 Strömungsmechanische Grundgleichungen .....	6
2.1.2 Diskretisierung der Erhaltungsgleichungen bei ANSYS CFX .....	16
2.1.3 Lösungsverfahren .....	23
2.1.4 Vorgehensweise bei einer CFD-Berechnung .....	24
2.2 Simulation der Mehrphasenströmung .....	25
2.2.1 Überblick über die Simulation mit mehreren Stoffen .....	25
2.2.2 Überblick über das Euler-Lagrange-Modell .....	26
2.2.3 Das Euler-Euler-Modell .....	26
2.2.3.1 Grundlagen .....	26
2.2.3.2 Das inhomogene Euler-Euler-Modell .....	27
2.2.3.3 Das homogene Euler-Euler-Modell .....	32
2.2.3.4 Das Modell für Strömungen mit aufgelösten freien Oberflächen .....	34
<b>3 Druckgussverfahren</b> .....	<b>35</b>
3.1 Definition und Ablauf des Druckgussverfahrens .....	35
3.2 Temperaturen beim Druckguss .....	38
3.3 Füllzeit und Angussquerschnitt .....	39
3.4 Formentlüftung .....	42

<b>4</b>	<b>Modellaufbau bei der Simulation eines T-Stücks</b>	<b>45</b>
4.1	Aufgabenstellung	45
4.2	Geometriemodellierung	46
4.3	Generierung der Rechengitter	50
4.3.1	Das 2D-Rechengitter	50
4.3.2	Das 3D-Rechengitter	52
4.4	Randbedingungen und Lösereinstellungen	53
4.5	Übersicht aller Parametereinstellungen	55
<b>5</b>	<b>Numerische Strömungsberechnungen des T-Stücks</b>	<b>56</b>
5.1	Parameterkombinationen für das 2D-Modell	56
5.2	Ergebnisse der 2D-Simulation	57
5.3	Parameteränderungen für die 2D-Simulation	60
5.3.1	Verwendung inkompressibler Luft	60
5.3.1.1	Berechnungen mit inkompressibler Luft	60
5.3.1.2	Ergebnisse mit inkompressibler Luft	60
5.3.2	Temperaturabhängige Strömung	62
5.3.2.1	Berechnungen bei temperaturabhängiger Strömung	62
5.3.2.2	Ergebnisse bei temperaturabhängiger Strömung	65
5.4	Parameterkombinationen für das 3D-Modell	68
5.5	Ergebnisse der 3D-Simulation	68
5.5.1	Verwendung inkompressibler Luft	68
5.5.2	Temperaturabhängige Strömung	73
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse</b>	<b>78</b>
6.1	Auswertung der Rechnungen	78
6.2	Art des Mehrphasenmodells	79
6.3	Art des Löses	80
6.4	Zeitschrittweite	80
6.5	Erkenntnisse und Vorschläge	83
<b>7</b>	<b>Schlussbemerkungen/Final remarks</b>	<b>86</b>
7.1	Deutsche Version: Fazit der Untersuchungen und Ausblick	86
7.2	English version: Conclusions and outlook	87
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>88</b>
	<b>Anhang</b>	<b>90</b>

## 7 Schlussbemerkungen/Final remarks

### 7.1 Deutsche Version: Fazit der Untersuchungen und Ausblick

Die vorliegende Arbeit hat die Bestimmung von optimalen Simulationsparametern wie der Art des Mehrphasenmodells (homogen oder inhomogen mit Untermodellen), der Art des Löser (sequentiell oder gekoppelt) und der Zeitschrittweite bei der numerischen Strömungsberechnung des Druckgussverfahrens zum Inhalt. Dafür waren die Zweiphasenströmung bei der Herstellung eines T-Stücks mit dem Programm ANSYS CFX zu simulieren und die gewonnenen Erkenntnisse zu verallgemeinern.

Zur Erfüllung dieser Aufgabe wurde eine Vielzahl von Berechnungen (Kapitel 5) durchgeführt, die es erlaubt, Schlussfolgerungen für die optimale Wahl der Parameter zu ziehen sowie Erkenntnisse für den Inhalt weiterer Untersuchungen zu gewinnen.

Zu den wichtigsten Schlussfolgerungen gehören:

- Das inhomogene Mehrphasenmodell stellt die Verteilung des Gussmaterials im Gussteil realitätsnäher und stabiler als das homogene Modell dar.
- Der sequentielle Löser scheint im Vergleich zum gekoppelten Löser für die Mehrphasensimulation des Druckgusses die bessere Wahl zu sein. Vor allem bei der Verwendung großer Zeitschritte werden mit diesem stabilere Lösungen erzielt.
- Generell sollte die Zeitschrittweite an das vorher generierte Netz angepasst werden, so dass die CFL-Bedingung (Gl. (41)) für implizite Rechnungen erfüllt ist. Die durchgeführten Rechnungen zeigen, dass größere Zeitschritte im Allgemeinen zu einer höheren numerischen Stabilität führen, die Ergebnisse aber unbedingt einer physikalischen Realitätsanalyse bedürfen.
- Sollten doch kleine Zeitschritte gewählt werden, zeigt sich, dass die Rechnungen bedeutend stabiler laufen, wenn eine „Geschwindigkeitsrampe“ verwendet wird.

Weitere Erkenntnisse wie z.B. die Empfehlungen, inkompressible Luft zu verwenden, die dynamische Viskosität der Luft an die der Aluminiumlegierung anzupassen, die Entlüftungskanäle für den Abkühlvorgang mitzusimulieren oder die Partitionierung manuell durchzuführen, sind Abschnitt 6.5 zu entnehmen.