

Technische Universität Berlin

Institut für Strömungsmechanik und technische Akustik (ISTA)
Fachgebiet Experimentelle Strömungsmechanik

Bachelorarbeit

im Studiengang Physikalische Ingenieurwissenschaft

Thema

Simulation einer Drehkolbenpumpe mit der Immersed-Solid-Methode

eingereicht von: Tobias Schwotzer
Matrikelnr.: 310435
eingereicht am: 10. September 2009
Betreuer: Prof. Dr.-Ing. C. O. Paschereit (Technische Universität Berlin)
Dr.-Ing. Christian Navid Nayeri (Technische Universität Berlin)
Dr. rer. nat. Andreas Spille-Kohoff (CFX Berlin Software GmbH)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	III
Nomenklatur	V
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1 Einleitung und Stand der Technik	1
1.1 Zielsetzung	2
1.2 Aufbau der Arbeit	2
1.3 Einführung in die Technik von Drehkolbenpumpen	3
2 Grundlagen der Strömungssimulation	9
2.1 Allgemeine Transportgleichung	9
2.2 Strömungsmechanische Bilanzgleichungen	9
2.3 Diskretisierung der Transportgleichungen	11
2.4 Lösungsverfahren bei CFD-Verfahren	13
2.5 Vorgehensweise bei einer CFD-Simulation	14
2.6 Turbulenzbehandlung	15
2.7 Immersed-Solid-Methode	19
3 Simulation eines Kugelventils (Vorstudie)	23
3.1 Überblick über die Kugelventilsimulation	23
3.2 Verwendete Gitter	25
3.3 Laminare Simulation	27
3.4 Turbulente Simulation	32
3.5 Zusammenfassung	36
4 Simulation der Drehkolbenpumpe	37
4.1 Geometrie	37
4.2 Gittergenerierung	37
4.3 Pre-Processing	44
4.4 Realisierung einer Umdrehung	45
4.5 Turbulente 2D-Simulation	47
5 Zusammenfassung und Ausblick	65
Literatur	67
Anhang	69
A Danksagung	71
B Simulationskonfigurationen	72
B.1 Vorstudie: Kugelventil	72
B.2 Drehkolbenpumpe	76
C Rechenzeiten	78

5 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurde die Leistungsfähigkeit der Immersed-Solid-Methode anhand der Simulation einer Drehkolbenpumpe numerisch untersucht. Für die Validierung wurde die "herkömmliche" Vernetzungsmethode mit bewegten Gittern herangezogen.

In einer Vorstudie wurde die Methode zunächst für ein stationäres Immersed-Solid in einem 2D-Kugelventil getestet. Dabei wurden die Immersed-Solid-Simulationen, die auf verschiedenen Gittern durchgeführt werden, sowohl für den laminaren als auch für den turbulenten Fall mit einer Referenzlösung ohne IMS²⁶ verglichen. Es zeigte sich, dass das Geschwindigkeitsfeld im laminaren Fall sehr gut wiedergegeben werden konnte. Der Druckabfall jedoch konnte bei einer ähnlich hohen Gitterfeinheit wie im Referenzfall nur mäßig reproduziert werden. Die turbulente Simulation zeigte die Schwäche der aktuellen Implementierung. Bis zur Version ANSYS CFX 12 (SP 1) findet keine Wandbehandlung am Immersed Solid statt. Die daraus resultierende erhöhte Viskosität in der Nähe des IMS vermindert den Geschwindigkeitsgradienten in wandnormaler Richtung und sorgt so in kleinen Spalten für einen verminderten Durchfluss.

Für die Hauptuntersuchung wurde zunächst eine Referenzlösung mit bewegten Gittern erstellt. Es wurden zwei verschieden feine Gittersätze für jeweils eine 90°-Drehung erzeugt, wodurch eine gitterunabhängige Lösung sichergestellt werden sollte. Durch das Hintereinanderschalten der Vierteldrehungen konnten ganze Umläufe realisiert werden. Die Lösungen für die unterschiedlich feinen Berechnungsgitter wiesen eine andere Strömungscharakteristik im Ansaugstutzen auf, die auf die Gitterfeinheit zurückzuführen sein könnte. Das GGI²⁷ als Interface zwischen den beiden Rotoren und dem Gehäuse erzeugte in der Sperrdichtstelle eine unphysikalische Geschwindigkeitsverteilung, die unabhängig von der Feinheit der Gitter dort auftrat. Ebenso wurde eine Phasenverschiebung zwischen dem theoretischen und simulierten Förderstromverlauf aufgezeigt, was auf dem hohen Spaltverluststrom durch die Sperrdichtstelle basiert.

Die Simulationen mit der Immersed-Solid-Methode wurden unter der Variation der Spaltauflösung und des Skalierungsfaktors durchgeführt. So zeigt der Vergleich, dass die Immersed-Solid-Methode mit steigendem Skalierungsfaktor eine nahezu ideale Drehkolbenpumpe simuliert. Die Verlustströme durch die Kopfspalte werden mit bis zu 40% des Referenzverlusts besser abgebildet als die Rückströmung durch die Sperrdichtstelle, die nur zu einem Neuntel der Bezugsverluste berechnet werden. Die fehlerhafte Wiedergabe des Verluststromes durch den Spalt zwischen den Rotoren beruht unter anderem auf der schlechten Auflösung dieses Bereiches. Aus ökonomischen Gründen ist eine adäquate Gitterfeinheit in diesem Abschnitt kaum möglich. Die mangelhafte Wiedergabe des Druckfeldes, die in der Vorstudie ein Problem darstellte, wurde in der Simulation der Drehkolbenpumpe bestätigt. Die Immersed-Solid-Methode unterstützt in der aktuellen Version noch keine Mehrphasenströmungen, sodass lediglich die hydrodynamischen Eigenschaften untersucht werden konnten und Kavitationsanalysen nicht möglich waren. Aufgrund dieser Vereinfachung wurden negative Drücke in der Sperrdichtstelle beider Simulationsansätze simuliert, die physikalisch nicht möglich sind.

Hinsichtlich der "herkömmlichen" Vernetzungsvariante wird empfohlen eine gitterunabhängige Lösung zu erzielen, um somit Gewissheit über die Strömungsstruktur in der Drehkolbenpumpe zu erlangen. Die Untersuchung des unterschiedlichen Anlegeverhaltens der Rückströmung aus der Sperrdichtstelle in Abhängigkeit von der Gitterfeinheit und der geometrischen Abmaße könnte hierfür zielführend sein. Unter Verwendung der Multikonfigurationsmethode sollte insbesondere darauf geachtet werden, dass das Ausgangsgitter und das letzte Gitter identisch sind, sodass die Interpolation zwischen den einzelnen 90°-Drehungen keinen Einfluss hat. Interessant ist weiterhin die Untersuchung des GGI-Verhaltens im Spalt. Das Setzen einer Wand ohne Wandhaftbedingung scheint von verschiedenen Kriterien (Geschwindigkeit, Aspektverhältnis etc.) abzuhängen. Es kann an dieser Stelle nicht ausgeschlossen werden, dass andere Einstellungen am Interface diesen Fehler beheben könnten.

Weiterhin ist die Phasenverschiebung zwischen dem theoretischen Förderstromverlauf und den simulierten Ver-

²⁶Immersed-Solid

²⁷General Grid Connection

läufen zu untersuchen. Besonderes Augenmerk könnte dabei auf dem Verluststrom durch die Sperrdichtstelle liegen, welcher durchaus in den Simulationen höher ausfällt als in der Realität.

Bezüglich der Immersed-Solid-Methode bleibt abzuwarten, inwiefern diese Herangehensweise in den folgenden Softwaregenerationen verbessert wird. Vorgesehen ist bisher eine Erweiterung um die turbulente Wandbehandlung, sodass auch die Randbedingungen der turbulenten Größen richtig gesetzt werden. Die mangelhafte Reproduktion des Druckfeldes könnte die Vorhersage von Kavitationsschäden erschweren.