

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik (ISTA)
Fachgebiet Fluidsystemdynamik
Prof. Dr.-Ing. P. U. Thamsen

Bachelorarbeit zum Thema

Numerische Simulation der kavitierenden Strömung im Spalteingriff einer Zahnradpumpe mit dem Full-Cavitation-Model

vorgelegt von

Farai Hetze
Matrikelnr. 332405

Berlin, den 2. Juni 2015

Studiengang Physikalische Ingenieurwissenschaft
Gutachter Prof. Dr.-Ing. P. U. Thamsen
Betreuer M. Sc. Raja Abou Ackl (Technische Universität Berlin)
 M. Eng. Matthias Voß (Technische Universität Berlin)
 Dr. rer. nat. Andreas Spille-Kohoff (CFX Berlin Software GmbH)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Nomenklatur	VII
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung	1
1.2 Aufbau der Arbeit	1
1.3 Grundlagen der Zahnradpumpen	2
1.3.1 Funktionsweise und Aufbau	2
1.3.2 Kenngrößen	4
1.4 Stand der Technik	5
2 Grundlagen	7
2.1 Strömungsmechanik	7
2.2 Turbulenzmodellierung	9
2.2.1 Eingleichungsmodelle	10
2.2.2 Zweigleichungsmodelle	11
2.3 Strömungssimulation	13
2.3.1 Diskretisierung	13
2.3.2 Lösung	16
2.3.3 Fehlertypen	17
2.3.4 Arbeitsablauf	19
2.4 Kavitation	20
2.4.1 Rayleigh-Plesset-Modell	21
2.4.2 Full-Cavitation-Model	22
3 Simulation der Zahnradpumpe	25
3.1 Geometrie	25
3.2 Vernetzung	26
3.2.1 Rotorvernetzung	28
3.2.2 Statorvernetzung	31
3.3 Gitterstudie	31
3.4 Winkelschrittstudie	36
3.5 Pre-Processing	38
3.5.1 Full-Cavitation-Model	38
3.5.2 Rand- und Anfangsbedingungen	40
3.5.3 Löseereinstellungen	41

4	Auswertung	43
4.1	Konvergenz	43
4.2	Startverhalten und eingeschwungene Lösung	44
4.3	Auswertung der Referenzlösung	46
4.3.1	Druck- und Geschwindigkeitsfelder	46
4.3.2	Massenströme und volumetrischer Wirkungsgrad	49
4.3.3	Kavitation und Ausgasung	53
4.4	Spaltstudie	53
4.4.1	Einfluss auf das System	54
4.4.2	Einfluss auf das Kavitationsverhalten	55
5	Zusammenfassung und Ausblick	59
	Literatur	61

5 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung der Strömung innerhalb einer Außenzahnradpumpe unter Verwendung des Full-Cavitation-Model.

Dazu wurden im ersten Kapitel die Aufgabenstellung und die Technik der Zahnradpumpen eingeführt. Zudem erfolgte ein Überblick über den aktuellen Stand der Technik bezogen auf die Simulation von Zahnradpumpen.

Im Anschluss folgten im zweiten Kapitel die für diese Arbeit notwendigen Grundlagen. Neben der Einführung des mathematischen Modells der Strömungsmechanik und einem kurzen Überblick über Turbulenzmodellierung wurden auch die Grundlagen der Strömungssimulation eingeführt. Abgeschlossen wurde dieses Kapitel mit den physikalischen Grundlagen der Kavitation und der Einführung der in dieser Arbeit verwendeten Kavitationsmodelle.

Aufbauend auf den Grundlagen wurde in Kapitel 3 die Durchführung der Simulation vorgestellt. Für die Rotoren wurden hochwertige, strukturierte Gitter mit der neuentwickelten Software TwinMesh erstellt. Für den Statorteil des Rechengebietes wurden ebenfalls strukturierte Gitter mit ANSYS ICEM erstellt. Es wurde eine eingeschränkte Gitterstudie durchgeführt, die aufgrund des hohen Aufwands für die Erstellung eines feineren Gitters lediglich aus dem Vergleich eines groben Gitters mit dem für die Lösung verwendeten Gitter bestand. Bei der Auswahl der Rotorgitter wurde daher mit der Expertise der Firma CFX Berlin, die auf Erfahrung in der Simulation von Verdrängermaschinen zurückgreifen kann, eine geeignete Vernetzung gewählt.

Um die optimale zeitliche Diskretisierung zu ermitteln, wurde eine Winkelschrittstudie mit drei verschiedenen Winkelschritten durchgeführt. Es hat sich hierbei herausgestellt, dass eine zu grobe Diskretisierung zu einer instabilen Simulation mit abweichenden Ergebnissen in Hinblick auf die Kavitation führt und dass eine weitere Verfeinerung des Winkelschritts einen geringen Einfluss auf die Qualität der Lösung hat. Somit wurde ein Winkelschritt von $0,218^\circ$ für die Simulation ausgewählt.

Abschließend wurde in diesem Abschnitt der Simulationsaufsatz in CFX-Pre besonders in Hinblick auf die Implementierung des Full-Cavitation-Model vorgestellt.

Kapitel 4 beinhaltet die Auswertung der durchgeführten Simulationen. Neben der Referenzlösung wurden hier Simulationen mit veränderter Geometrie vorgestellt: Der Spalt des Zahneingriffs wurde durch Normalskalierung variiert, wobei der Radialspalt zwischen Zahnkopf und Gehäuse konstant gehalten wurde. Für die Referenzlösung wurde ein Spalt von $40\ \mu\text{m}$, für den Vergleich wurden Spalte mit $20\ \mu\text{m}$, $60\ \mu\text{m}$ und $80\ \mu\text{m}$ untersucht. Die Simulation mit $20\ \mu\text{m}$ konnte im Rahmen dieser Arbeit aufgrund der extremen Druck- und Geschwindigkeitsgradienten und dem daraus resultierenden instabilen Verhalten nicht durchgeführt werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass die Strömung innerhalb der Pumpe gut wiedergegeben wird. In Hinblick auf die Spaltmaße lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Der Auslassmassenstrom skaliert mit dem Eingriffsspaltmaß der Pumpe, wodurch ein direkter Zusammenhang zur Performance der Pumpe besteht.
- Druckstöße aus der Verzahnung skalieren ebenfalls mit dem Eingriffsspalt.
- Dampfkavitation und Ausgasung sind bei kleinerem Eingriffsspalt bedingt durch die Druckstöße transienter und der globale Volumenanteil liegt deutlich höher.
- Der Löseraufwand steigt bedingt durch hohe Druck- und Geschwindigkeitsgradienten bei kleineren Spaltmaßen.

Im Hinblick auf folgende Arbeiten in diesem Bereich sind folgende Untersuchungen denkbar:

- Kennlinie
Um die Abbildung des realistischen Pumpenverhaltens zu validieren, wäre eine Kennlinienbestimmung in Verbindung mit einer experimentellen Bestimmung anwendbar.
- Axialspalte und Quetschnut
Um die realen Verlustströme und den Einfluss der Quetschnut abzubilden, könnte eine dreidimensionale Simulation unter Berücksichtigung der Geometrie der Lagerbrillen genauere Ergebnisse und kleinere Spaltmaße ermöglichen.
- Energiegleichung
Um Effekte der viskosen Erwärmung zu berücksichtigen, die einen Einfluss auf das Verhalten des Quetschvolumens haben können, wäre eine Rechnung mit Energiegleichung denkbar.
- Medium
Da in Hydraulikpumpen i. A. Hydrauliköl zum Einsatz kommt, wäre eine Simulation mit Hydrauliköl unter Verwendung des Full-Cavitation-Model eine denkbare Fortführung dieser Arbeit.
- Variation des Radialspalts
Neben der hier durchgeführten Eingriffsspaltstudie kann eine getrennte Untersuchung des Einflusses der Radialspalte zwischen Zahnköpfen und Gehäuse vorgenommen werden.
- Geometrie
Da sich die Pumpengeometrie als nicht ideal herausgestellt hat, wären Variationen am Ein- und Auslassbereich denkbar um die Performance zu steigern und den Einfluss der Druckstöße weiter zu untersuchen.