



# Inhaltsverzeichnis

<b>Nomenklatur</b>	<b>viii</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>ix</b>
<b>1 Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2 Theoretische Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1 Grundlagen der Außenzahnrادpumpe . . . . .	3
2.1.1 Außenzahnrادpumpe . . . . .	3
2.1.2 Zahnräder . . . . .	5
2.2 Strömungsmechanische Grundlagen . . . . .	8
2.2.1 Grundgleichungen . . . . .	8
2.2.2 Kavitation und Blasendynamik . . . . .	11
2.3 Numerische Grundlagen . . . . .	13
2.3.1 Finite Volumen Methode . . . . .	13
2.3.2 Lösung des Gleichungssystems . . . . .	16
2.3.3 Turbulenzmodellierung . . . . .	17
2.3.4 Volume-of-Fluid Methode . . . . .	20
2.3.5 Modellierung von Kavitation und Gaslösung . . . . .	22
<b>3 Modellaufbau und Vorbereitung der Simulation</b>	<b>25</b>
3.1 Geometrie und Netzerstellung . . . . .	25
3.2 Randbedingungen und Modellkonfiguration . . . . .	33
3.3 Förderverhalten der Außenzahnrادpumpe . . . . .	35
3.4 Gitterstudie und Winkelschrittstudie . . . . .	36
3.5 Spaltstudie . . . . .	43
<b>4 Betrachtung der Modelle</b>	<b>47</b>
4.1 Full Reighleigh-Plesset Modell . . . . .	48
4.2 Schnerr-Sauer Modell . . . . .	53
4.3 Gaslösung . . . . .	55
4.4 Diskussion der Modellierungen . . . . .	61
<b>5 Einfluss des Drucks am Einlass</b>	<b>63</b>
<b>6 Fehlerbetrachtung</b>	<b>67</b>

<b>7 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>69</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>V</b>

# 1 Einleitung und Zielsetzung

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit der Strömung innerhalb einer Außenzahnradpumpe, in der es zu Kavitation kommt. Die Außenzahnradpumpe besteht aus zwei nebeneinander angeordneten, ineinandergreifenden Zahnrädern und erreicht durch eine hydrostatische Förderung hohe Wirkungsgrade unter moderaten bis hohen Betriebsdrücken. Durch diese Eigenschaften findet sie Gebrauch in vielen technischen Anwendungen. Tritt jedoch Kavitation in der Außenzahnradpumpe auf, fällt der Wirkungsgrad ab und das Förderverhalten der Pumpe wird beeinflusst.

Das Entstehen und Zusammenfallen von Dampfblasen in einer Flüssigkeit wird Kavitation genannt. Für Pumpenanwendungen tritt Kavitation unter niedrigen Drücken im Zustrom oder einer hohen Drehzahl ein. Durch die Förderung des Dampfvolmens sinken Förderstrom und Wirkungsgrad ab. Zudem wird die Lebensdauer der Pumpe beeinflusst, da durch den Blasenzusammenfall hohe Kräfte freigesetzt werden, die zu Materialabtrag führen können. Des Weiteren entstehen Laufunruhe und ein höherer Lärmpegel, weswegen das Auftreten von Kavitation in Pumpen unerwünscht ist.

Die numerische Strömungssimulation (Computational Fluid Dynamics) (CFD) wird sowohl industriell als auch in der Forschung für die Untersuchung von strömungsmechanischen Anwendungen eingesetzt. Die Simulation von Mehrphasenströmungen, wie beispielsweise Kavitation, ist durch verschiedene Modellierungen bereits etabliert. Im Rahmen dieser Arbeit soll die Modellierung von Kavitation durch die Volume-of-Fluid Methode innerhalb der Simulationssoftware Simcenter STAR CCM+, am Beispiel einer Außenzahnradpumpe, untersucht werden. Diese Modellierung basiert auf der volumetrischen Verteilung der Phasen, wobei mechanische Kräfte, die durch Kavitation hervorgerufen werden, wie beispielsweise die Druckstöße, die zu Materialabtrag führen, nicht explizit modelliert werden.

Nachdem die theoretischen Grundlagen eingeführt wurden, wird auf die Geometrie- und Netzerstellung eingegangen. Um die zeitliche und räumliche Diskretisierung zu untersuchen, wird eine Winkelschritt- und Gitterstudie durchgeführt. Im Rahmen einer Spaltstudie soll der Einfluss der Spalte im Zahneingriff auf die Kavitationsausbildung untersucht werden. Daraufhin werden die verschiedenen Kavitationsmodelle sowie die Modellierung von Gaslösung betrachtet und das Kavitationsverhalten unter den verschiedenen Modellen verglichen. Zudem wird der Einfluss des Drucks im Zustrom untersucht, da dieser maßgeblich die kavitierende Strömung beeinflusst. Zum Ende der Arbeit wird die Fehlerbetrachtung durchgeführt und eine Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse mit einem Ausblick auf weitere Untersuchungen gegeben.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde mithilfe der numerischen Strömungssimulation die, in einer Außenzahnradpumpe auftretende Kavitation untersucht.

Um Simulationen mit einer hohen Genauigkeit zu erzielen, wurden mehrere hochauflösende Netze mithilfe der Software TwinMesh und Simcenter STAR CCM+ erstellt und anschließend in Abschnitt 3.4, miteinander verglichen, um eine Unabhängigkeit der numerischen Diskretisierung zu zeigen. Zudem wurde innerhalb der Spaltstudie die, durch die Vernetzung nötige Änderung der Geometrie, in Bezug auf die Spalte im Zahneingriff, untersucht und weitere Einflüsse der Spalte auf die Kavitation betrachtet. Daraufhin wurden die Kavitationsmodelle, sowie die Modellierung der Gaslösung ausführlich analysiert. In Abschnitt 4.4 wurden die Annahmen der Modelle und ihre physikalische Abbildung, in Bezug auf eine reale Strömung diskutiert. Es wurde erschlossen, dass die vorliegende Modellierung von Kavitation, als kugelförmige Einzelblase, eine Vielzahl an Annahmen trifft, die in realen Strömungen nicht vorliegen. Dennoch wird, durch die vorgestellten Modelle, ein physikalisches Verhalten der Kavitationsblasen abgebildet und qualitative Ergebnisse erzielt. Zuletzt wurde das Förderverhalten des Dampfs unter verschiedenen Drücken im Zustrom untersucht und weitere Erkenntnisse über das Auftreten von Kavitation in verschiedenen Betriebspunkten der Pumpe erschlossen.

Im Ausblick auf weitere Untersuchungen der kavitierenden Strömung in einer Außenzahnradpumpe sind folgende Themen denkbar:

- Experimentelle Validierung  
Die experimentelle Feststellung von Kennlinien und Abrisskurven der Pumpe bei verschiedenen Betriebspunkten und der direkte Vergleich mit der CFD über das modellierte Förderverhalten.
- Die Geometrische Optimierung der Zahnräder  
Um das Auftreten von Kavitation zu verhindern, wäre eine gleichmäßigere Druckänderung in den eingeschlossenen Zahnkammern nötig. Diese wäre beispielsweise durch Einkerbungen in den Zahnkammern als auch das Hinzufügen eines Schrägungswinkel in einer 3D-Simulation umsetzbar.
- Der Einfluss der Eigenschaften des Fluids  
Sowohl die grundlegenden Parameter des Keimmodells, Keimdichte  $n_0$  und initialer Blasenradius  $R_0$ , als auch die Stoffeigenschaften wie Viskosität, Oberflächenspannung und Temperatur haben einen starken Einfluss auf das Kavitationsverhalten.