



Netzgenerierung und CFD-Simulation von Rotationsverdrängern mit drei Rotoren

Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des Grades
Bachelor of Science (B.Sc.)

vorgelegt von
Hanno Christian Drepper

Matrikelnummer
450682

Unter der wissenschaftlichen Leitung von
Prof. Dr. Angela Busse

Unter der wissenschaftlichen Betreuung von
Dr. Andreas Spille

Berlin, Juni 2025

Technische Universität Berlin
Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme
Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik
Fachgebiet Numerische Fluidodynamik

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	i
Tabellenverzeichnis	ii
Codeverzeichnis	iii
Symbolverzeichnis	iv
Abkürzungsverzeichnis	vii
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung der Arbeit	1
1.2 Aufbau der Arbeit	1
2 Theoretische Grundlagen	3
2.1 Grundlagen der Strömungsmechanik	3
2.2 Numerik	6
2.2.1 Diskretisierung	6
2.2.2 Turbulenzmodellierung	9
2.2.3 Randbedingungen	14
2.2.4 Lösung des algebraischen Gleichungssystems	15
2.2.5 Numerische Fehler	16
2.3 Dreispindelige Schraubenpumpen	17
2.4 Arten der Netzgenerierung für Rotationsverdrängermaschinen . . .	19
3 Gittergenerierung	21
3.1 Workflow mit TwinMesh	21
3.2 Anforderungen an das Python-Skript	24
3.3 Implementierung	24
3.3.1 Bestimmung der Gitterparameter	27
3.3.2 Mirror-Methode	28
3.3.3 Merge-Methode	30
3.3.4 Anforderungen an TwinMesh-Gitter	33
3.4 Effizienzanalyse	34
3.5 Gitterqualität	37

INHALTSVERZEICHNIS

4	Anwendung in der Strömungssimulation	39
4.1	Simulation einer dreispindeligen Schraubenpumpe mit STAR-CCM+	39
4.1.1	Konfiguration der Pumpe	39
4.1.2	Preprocessing	41
4.1.3	Gitterstudie	44
4.2	Auswertung der Ergebnisse	47
5	Fazit	52
5.1	Zusammenfassung	52
5.2	Ausblick	53
	Literaturverzeichnis	55
A	Python Skripte	57

5 Fazit

Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst, diskutiert und im Hinblick auf die eingangs formulierten Ziele reflektiert. Außerdem wird ein Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen und offene Fragestellungen, die im Laufe der Untersuchung entstanden sind, gegeben.

5.1 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, Möglichkeiten der Gittergenerierung für die CFD-Simulation von dreiachsigen Rotationsverdrängern auf der Basis der Software TwinMesh zu untersuchen und mithilfe einer Python-Routine zu vereinfachen. Zu diesem Zweck wurden zwei verschiedene Methoden entwickelt und anschließend implementiert, die aus TwinMesh-Gittern für zwei Rotoren solche für drei Rotoren ableiten können. Beide Methoden haben ihre Vor- und Nachteile. Die Mirror-Methode bedarf weniger Vorbereitung und Anpassung in der Gittererstellung mit TwinMesh, funktioniert aber nur für Abtriebsrotoren mit einer geraden Anzahl an Rotorzähnen, während die Merge-Methode auch Gitter mit einer ungeraden Anzahl an Rotorzähnen korrekt bearbeitet, jedoch zwei TwinMesh-Projekte vorbereitet und angepasst werden müssen.

Außerdem wurde eine Reihe von Anforderungen an die Funktion und Benutzerfreundlichkeit der Skripte gestellt, die sich aus dem typischen Workflow für zweiachsige Gitter mit TwinMesh ergeben. Folgendes wurde bei der Implementierung berücksichtigt:

- Die Laufzeit der Skripte wurde durch eine Verarbeitung der Gitterdaten mit dem in Python enthaltenen NumPy-Modul optimiert.

- Die Skripte können die meisten Gitterparameter aus den Knotenkoordinaten berechnen, sodass sich die vom Anwender einzugebenden Input-Parameter auf ein Minimum beschränken.
- Die Methoden wurden derart geschrieben, dass sich möglichst wenige Beschränkungen für die TwinMesh-Gitter ergeben, welche in Abschn. 3.3.4 aufgelistet sind.
- Die Reihenfolge der Knoten in den TwinMesh-Dateien spielt für die Funktionalität des Programms keine Rolle.
- Die geschriebenen Funktionen funktionieren auch für von TwinMesh geschriebene Axialspalt-Netze.

Des Weiteren wurden in Kap. 4 die mit dem Skript erstellten Gitter einer dreispindeligen Schraubenpumpe in einer Strömungssimulation mit Simcenter STAR-CCM+ verwendet. Die Simulationsergebnisse zeigten eine gute Übereinstimmung mit den erwarteten Leistungsdaten des Herstellers und belegen die Funktionalität der Gitter. In einer Gitterstudie konnte die nötige Genauigkeit für eine akkurate Simulation der relevanten Strömungsgrößen bestimmt werden.

5.2 Ausblick

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Skripte bieten eine effiziente Möglichkeit, aus TwinMesh-Projekten Gitter für dreiachsige Rotationsverdränger zu erstellen. Dennoch verbleibt ein Potenzial zur Erweiterung und Optimierung.

Ein naheliegender nächster Schritt wäre das Automatisieren des Setups des dritten Rotors in Simcenter STAR-CCM+ über ein Java-Makro, ähnlich wie TwinMesh es schon für zwei Rotoren exportieren kann. Darin enthalten wären zum Beispiel die Definition der Rotation, der Interfaces und Randbedingungen sowie die Einbindung des dritten Rotors in die verschiedenen Post-Processing-Ansichten.

Weiterhin bestehen zahlreiche Optionen, die Skripte zu erweitern und zu verbessern. Beispielsweise könnte eine schräge Anordnung der Rotoren berücksichtigt werden, bei der der Achseneingriff des mittleren Rotors nicht parallel zu einer Koordinatenachse

verläuft. Außerdem könnte bei der Mirror-Methode die Abhängigkeit der Punktspiegelung vom Koordinatenursprung eliminiert werden, indem der Algorithmus den Ursprung des mittleren Rotors als Referenz zur Berechnung der punktgespiegelten Koordinaten benutzt.

Die Einschränkung bezüglich der Anzahl der Koordinaten auf dem Interface in den von TwinMesh generierten Netzen (s. Abschn. 3.3.4) ist, insbesondere wenn eine feine Auflösung der Spaltströmung gewünscht ist, hinderlich. Dieses Problem könnte mit einem Programm umgangen werden, das auf Basis der neuen bearbeiteten Koordinaten und der bekannten Gittertopologie direkt MSH-Dateien oder andere Gitter-Dateiformate generieren kann. Damit wäre es möglich, unabhängig von den Zellzuweisungen in den ursprünglichen MSH-Dateien auch Gitter zu schreiben, deren Gitterparameter (zum Beispiel `ncircum`) sich durch die Bearbeitung verändert haben.

Zudem wäre auch eine Übergangsbearbeitung im Bereich des Achseneingriffs denkbar, um deformierte Zellen an der Grenze zu vermeiden. Hierzu könnte eine Art Überblend-Funktion geschrieben werden, die die Koordinaten in Abhängigkeit von ihrer Distanz zur Grenze derart modifiziert, dass im Grenzbereich ein kontinuierlicher Übergang der Zellgröße entsteht.

Schließlich könnte noch eine Reihe von Simulationen berechnet werden, um die dreispindelige Schraubenpumpe aus Kap. 4 noch umfassender zu analysieren. Insbesondere der Einfluss der Spaltmaße auf die Leckage und die Abhängigkeit der Drehmomente von der Geometrie oder dem Fluid könnten in einer zukünftigen Simulation genauer untersucht werden. Zwar wurde eine Studie zur Unabhängigkeit der Lösung von der Gitterauflösung durchgeführt, jedoch wäre auch eine Studie sinnvoll, die den Einfluss des Zeitschrittes und damit auch des Winkelschrittes näher betrachtet.