

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik (ISTA)
Fachgebiet Numerische Fluidodynamik
Prof. Dr. Julius Reiss

Abschlussarbeit zum Thema

Implementierung und Vergleich von Modellierungsansätzen
für Lamellenventile in Strömungssimulationen

Simon Galap

Berlin, den 14. Februar 2022

Email: simongalap@gmail.com
Matrikelnummer: 342281
Studiengang: Physikalische Ingenieurwissenschaft
Betreuer: Prof. Dr. Julius Reiss
Dr. Andreas Spille

Zusammenfassung

Die Performance von Kompressoren wird stark durch Lamellenventile beeinflusst. Deshalb ist eine realitätsnahe Simulation einer solchen Maschine nur möglich mit einer genauen Abbildung des Ventilverhaltens, welches durch Fluid-Struktur-Interaktion-Simulation erreicht werden kann. Fluid-Struktur-Interaktion-Simulation von Lamellenventile stellt aber einen sehr hohen Aufwand dar und erfordert viel Anwenderfahrung und Rechenzeit. In dieser Arbeit werden deshalb vereinfachte Modellierungsansätze implementiert und verglichen mit dem Ziel, die Abbildungsgüte und der dazu benötigte Implementierungsaufwand abzuschätzen. Dazu wird nach einer Literaturrecherche mit besonderem Fokus auf existierende Lamellenventilmodellierungen ein Referenzmodell angefertigt, der mit Literaturergebnissen validiert wird. Das Referenzmodell wird dann dazu verwendet, Referenzdaten bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen zu generieren, womit vereinfachte Modelle verglichen werden können. Anschließend werden vereinfachte Modellierungsansätze implementiert. Zum Einsatz kommen sowohl Modelle mit Abbildung der Lamellengeometrie als auch Modelle, wo das Ventilverhalten in einem Volumen bzw. an einer Fläche eingebaut ist. Die Modelle lassen sich in drei Klassen einteilen: Kennlinienmodelle, Modelle mit Berechnung der Ventilposition durch ein dynamisches System und Modelle ohne Vorwissen. Es zeigt sich, dass Modelle mit Berechnung der Ventilposition das Ventilverhalten unter verschiedene Betriebsbedingungen gleich gut abbilden können, während andere Modelle deutlich schlechter das Ventilverhalten in den unteren Drehzahlen wiedergeben als bei höheren. Eine weitere Erkenntnis ist die Tatsache, dass ein Modell ohne Vorwissen dazu helfen kann, ein sinnvolles Modell für bestimmte Betriebsbedingungen auszuwählen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VII
Nomenklatur	IX
1 Einleitung	1
1.1 Aufbau und Funktionsweise von Lamellenventilen	1
1.2 Ziele und Aufbau der Arbeit	2
2 Grundlagen	5
2.1 Lamellenventile: Bauweise und Einsatzgebiete	5
2.2 Modellierungen von Lamellenventilen	6
2.2.1 Grundbegriffe	6
2.2.2 Ventilmodellierungen in der Strömungssimulation	9
2.2.3 Instationäre Ventilströmung nach Böswirth	12
2.3 Numerische Grundlagen	16
2.3.1 Grundgleichungen	16
2.3.2 Diskretisierungen	17
2.4 Grundlagen der Porösen Medien	19

3	Auswahl, Implementierung und Validierung eines Referenzmodelles	21
3.1	Herleitung und Implementierung	21
3.1.1	Untersuchung des Biegeverhaltens des Lamellenventils	21
3.1.2	Dynamisches System	27
3.2	Validierung	28
3.3	Erzeugung von Referenzdaten	43
4	Implementierung von vereinfachten Modellen	47
4.1	Volumenmodelle	47
4.1.1	Modell mit starrer Drehplatte	47
4.1.2	Modell mit porösem Medium	50
4.2	Flächenmodelle	66
4.2.1	Netzverbindungsmodelle	67
4.2.2	Modell mit Auslassrandbedingung oder <i>Opening</i> -randbedingung	70
5	Vergleich der Modelle	75
5.1	Vergleich der Genauigkeit der implementierten Modelle	75
5.2	Vergleich des Implementierungsaufwands der Modelle	76
5.3	Fazit	81
5.4	Ausblick	82
	Literaturverzeichnis	83

5.3 Fazit

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Modellierung von Lamellenventilen sowie mit dem Vergleich der Abbildungsgüte dieser Modellierungen. Zuerst wurde ein Referenzmodell eines Drucklamellenventils entwickelt, das anhand von Literaturwerten validiert wurde. Anschließend wurden diverse vereinfachte Modelle implementiert, die in Volumen oder an Flächen des Berechnungsgebiets wirken. Folgende vereinfachten Modelle wurden implementiert und untersucht:

- Starres Lamellenmodell
- BVT-basiertes poröses-Medium-Modell
- BVT-basiertes Interface-Modell
- Kennlinienbasiertes Interfacemodell
- Konditionelles Interfacemodell

Die vereinfachten Modelle wurden für 6 Betriebspunkte eingesetzt. Im Fall von Erweiterungen bestehender Modelle wurden weniger Betriebspunkte für die Erweiterung nachgerechnet. Der Vergleich der Ventilmodelle bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen ermöglichte eine differenzierte Beurteilung der Performance der Modelle. Es stellte sich heraus, dass Modelle, die auf der Berechnung der Ventilposition verzichten wie das Kennlinien-Modell und das konditionelle Interfacemodell, deutlich bessere Ergebnisse liefern, wenn das Ventil nicht schwingt. Das heißt, dass diese Modelle eher im oberen Drehzahlbereich verwendet werden können. Das konditionelle Interfacemodell kann dazu verwendet werden erste Informationen über das Ventilverhalten zu sammeln und somit den Einsatz eines Kennlinienmodells zu rechtfertigen oder auszuschließen. Modelle, die die Ventilposition berechnen, benötigen den Einbau eines aus Struktursimulationen angepassten dynamischen Systems. Soll die Lamelle geometrisch abgebildet werden, dann liefert der starre Lamellenmodell dem Referenzmodell ähnliche Ergebnisse bei der Wahl einer geeigneten Winkeldefinition. Soll dies nicht der Fall sein, dann muss zusätzlich die Fluiddämpfung geschätzt werden, um akzeptable Ergebnisse zu erzielen.

5.4 Ausblick

Im Laufe der Arbeit hat sich gezeigt, dass die Wahl des Volumens für den porösen Bereich im porösen-Medium-Modell den Massenstromverlauf beeinflusst. Eine interessante Fragestellung wäre die Bestimmung des optimalen Volumens für einen porösen Bereich.

Eine andere Fragestellung wäre die Verbesserung der *Extended Valve Theory*, um stabile Lösungen bei verschiedenen Betriebsbedingungen zu erhalten. Sollte dies gelingen, würde bei Anwendung dieser Theorie die Abschätzung der Fluiddämpfung entfallen.

Ebenso interessant wäre die Frage, wie sich die Abbildungsgüte der Ventilmodellierungen bei unterschiedlichen Ventilformen, Fluiden und Ventileigenschaften ändert.

Die Übertragbarkeit der Erkenntnisse dieser Arbeit am reduzierten Referenzmodell auf Modelle, die an Gesamtmaschinen implementiert sind, sollte überprüft werden. Im Kapitel 4 zeigte das konditionelle Interfacemodell viel geringere Abweichungen zum Massenstrom des Referenzmodells beim vollständigen Kompressor als beim reduzierten Modell. Die relative Abweichung des Mittelmassenstroms sank nämlich von über 400 % zu ca. -28 % bei 1200 UPM und von ca. 16 % zu -0,3% bei 7200 UPM! Der Massenstrom ist bei dem vollständigen Kompressor nicht nur durch den Druck sondern auch durch die Größe des Arbeitsraums beeinflusst.