

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

v

Formelzeichen	viii
Lateinische Buchstaben	ix
Griechische Buchstaben	xi
Indizes	xii
Sonderzeichen	xiii
Abkürzungen	xiii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Stand der Technik	3
1.2.1 Fluid-Struktur-Wechselwirkung an Ventilen	4
1.2.2 Aufschlagschwingungen	8
1.2.3 Aerodynamische Kopplung von Bewegungsmoden	11
1.3 Umriss und Zielsetzung der Arbeit	13
2 Theoretische Grundlagen	15
2.1 Strömungsmechanik	15
2.1.1 Erhaltungsgleichungen	16
2.1.2 Turbulenz	17
2.1.3 Bewegung von Festkörpern im Rechengebiet	18
2.2 Strukturmechanik	23
2.2.1 Starrkörperdynamik	23
2.2.2 Kontaktmechanik	24

2.3	Kopplung von Struktur- und Strömungslöser	29
2.3.1	Zwei-Wege-Kopplung	29
2.3.2	Ein-Wege-Kopplung	32
2.4	Vereinfachte Modellierung der Ventilströmung	33
2.4.1	Bestimmung von Durchfluss- und Kraft- bzw. Mo- mentenbeiwerten	33
2.4.2	Instationäre Ventilströmung	35
2.4.3	Einwegekopplung mit aerodynamischen Einfluss- koeffizienten	35
3	Experimentelle Untersuchungen	37
3.1	Prüfstandsaufbau	37
3.2	Klappenmodelle	39
3.3	Messtechnik	41
3.4	Auswertemethode	42
4	Numerische Untersuchungen	47
4.1	Validierung und Kalibrierung des Kontaktalgorithmus	47
4.1.1	Validierung auftretender Kontaktkräfte	48
4.1.2	Kalibrierung der Kontaktdämpfung	50
4.1.3	Kalibrierung der Referenz-Reibgeschwindigkeit	51
4.1.4	Validierung der Auswertemethode für die Energie- dissipation	53
4.2	Validierung des CFD-Setups	56
4.3	Ermittlung der aerodynamischen Beiwerte	62
4.3.1	Statische Korrekturbeiwerte	63
4.3.2	Dynamische Korrekturbeiwerte	66
4.4	Vergleich der Simulationsmethoden	69
4.4.1	Modell mit einem Bewegungsfreiheitsgrad	69
4.4.2	Modell mit zwei Bewegungsfreiheitsgraden	80

4.4.3	Modell mit fünf Bewegungsfreiheitsgraden	84
4.4.4	Auswahl der geeigneten Simulationsmethode	90
4.5	Weitere Simulationsergebnisse	97
4.5.1	Modell mit einem Bewegungsfreiheitsgrad	97
4.5.2	Modell mit fünf Bewegungsfreiheitsgraden	103
4.6	Diskussion der Ergebnisse	107
5	Anwendung auf den Realmotor	109
5.1	Experimentelle Untersuchungen	109
5.1.1	Auswertemethode	110
5.2	Aufbau des Simulationsmodells	112
5.2.1	CFD-Setup und Randbedingungen	112
5.2.2	Übertrag der Kontaktämpfung	113
5.3	Experimentelle Ergebnisse	114
5.4	Simulationsergebnisse	123
5.4.1	CFD-Ergebnisse	124
5.4.2	FSI-Ergebnisse	126
6	Zusammenfassung	139
A	Anhang	143
A.1	Fehlerabschätzung für die experimentelle Energiedissipationsrate	143
A.2	Analytische Lösung für das Kontaktmodell	146
A.3	Abschätzung der Kontaktämpfung für andere Materialien	148
Literaturverzeichnis		151