

Entwicklung und Validierung neuer Ansätze
zur numerischen Untersuchung von
Quetschfilmdämpfern

Vom Fachbereich Maschinenbau
an der Technischen Universität Darmstadt
zur
Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

Dissertation

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Thomas Grönsfelder

aus Frankfurt am Main

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Rainer Nordmann
Mitberichterstatter Prof. Dr.-rer. nat. Michael Schäfer

Tag der Einreichung: 8. Mai 2006
Tag der mündlichen Prüfung: 27. Juni 2006

Darmstadt 2006

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Stand der Forschung	5
2.1. Analytische Betrachtung	5
2.2. Masseneffekte und Zuführnut	8
2.3. Mehrphasenströmungen	10
2.4. Numerische Berechnung	11
2.5. Motivation der Arbeit	13
3. Grundlagen	15
3.1. Erhaltungsgleichungen	15
3.2. Materialgesetze	16
3.3. Turbulenzmodellierung	17
3.3.1. RANS-Formulierungen	20
3.3.1.1. Wirbelviskositätsmodelle	21
3.3.1.2. Reynolds-Stress-Modelle	24
3.3.2. Weitere Modelle zur Erfassung von Turbulenz	25
3.4. Kavitation	25
3.5. Diskretisierungsverfahren	26
3.6. Numerische Verfahren	27
4. Modellbildung	31
4.1. Stationäre Berechnung	31
4.2. Transiente Berechnung	32
4.2.1. Vorgabe der Verschiebung von Wandknoten	33
4.2.2. Überwachung aller Knoten im Berechnungsgebiet	34
4.2.2.1. Projektion von Koordinaten bei Verschiebung	35
4.2.2.2. Modellierung von erweiterten Geometrien	38
4.2.2.3. Eigenschaften des Algorithmus	42
4.3. Randbedingungen	46
4.3.1. Wände	46
4.3.2. Durchflossene Ränder	48
4.3.2.1. Ungedichteter Dämpfer	48
4.3.2.2. Geschlossene Geometrie	49

4.3.3. Teilweise gedichtet	49
5. Validierung der Berechnungsverfahren	51
5.1. Vergleich mit analytischen Berechnungen	51
5.1.1. Stationäre Rechnung	52
5.1.2. Transiente Bahnen	56
5.2. Vergleich mit Messdaten aus der Literatur	60
5.2.1. Versuchsaufbau und -durchführung	60
5.2.2. Modellierung des Versuchs	63
5.2.3. Gittereinfluss und Turbulenzmodelle	64
5.2.4. Vergleich mit Messergebnissen	69
5.3. Vergleich mit transienten Versuchsdaten	74
5.3.1. Geometrie und Versuchsdurchführung	75
5.3.2. Modellierung und Vergleich der Ergebnisse	76
5.4. Ergebnis der Validierung	87
6. Untersuchung ausgewählter Parametervariationen	89
6.1. Position der Nut und Kopplung mit dem Spalt	92
6.2. Einfluss der <i>Spaltreynoldszahl</i>	98
6.3. Zuführbohrungen	101
7. Dynamisch gekoppelte Systeme	105
7.1. Simulation eines Durchflussmessers	106
7.2. Quetschfilmdämpfer unter Krafterregung	110
8. Zusammenfassung und zukünftige Arbeiten	115
A. Analytische Lösungen	127
A.1. Druckfunktionenen	127
A.2. Radial- und Tangentialkräfte	130
B. Erweiterung der Projektion	133