

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Motivation	1
1.1 Wissenschaftliche Fragestellung	5
2 Grundlagen	7
2.1 Clearance-Averaged Pressure Model	7
2.1.1 Grundgleichungen	8
2.1.2 Hirs' Reibungsfaktormodell für Schmierfilme	18
2.1.3 Abschätzung bezüglich des Rauheitsregimes	20
2.2 Stand der Forschung zur Modellierung profilerter Dichtspalte	24
2.2.1 Labyrinthdichtungen	26
2.2.2 Dämpferdichtungen	31
2.3 Wandstrahlströmung	35
2.4 Unsicherheitsfortpflanzung	41
2.4.1 Grundbegriffe	42
2.4.2 Verteilungsfunktionen	47
2.4.3 Monte-Carlo-Methode	50
3 Verallgemeinerte Einlassrandbedingungen unter Berücksichtigung des Lomakin-Effektes	55
3.1 Modellbildung	59
3.2 Methodik zur Ermittlung der Umfangsverteilung des Einlassdruckverlustkoeffizienten	63
3.3 Ergebnisse für stationäre laminare Strömung im exzentrischen Spalt	66
3.4 Ergebnisse bei turbulenter Spaltströmung mit Orbitalbewegung des Rotors	77
4 Modellierung profilerter Spalte	87
4.1 Generische Labyrinthdichtung	87
4.2 Vorstudie zum ebenen Wandstrahl	91
4.3 Wandstrahltheorie bei der ebenen Einzelnut	96
4.4 Reibungsfaktormodell für Labyrinthdichtungen	101
4.4.1 Skalierung mit der Exzentrizität und Nutgeometrie . .	101

4.4.2	Eintrittsdruckverlust nach der Nut	103
4.4.3	Modellkalibrierung	104
4.5	Industrielles Bohrlochprofil	115
4.6	Reibungsfaktormodell für Dämpferdichtungen	117
4.6.1	Modellkalibrierung	119
5	Experimentelle Validierung und Unsicherheitsfortpflanzung	125
5.1	Glatter Spalt	126
5.1.1	Stationäre Eigenschaften	127
5.1.2	Rotordynamische Koeffizienten	129
5.2	Labyrinthdichtung	134
5.2.1	Stationäre Eigenschaften	136
5.2.2	Rotordynamische Koeffizienten	140
5.3	Bohrlochprofil	144
5.3.1	Stationäre Eigenschaften	145
5.3.2	Rotordynamische Koeffizienten	147
6	Zusammenfassung und Ausblick	149
Literatur		164
A	Modellerweiterungen des CAPM	165
A.1	Modell für laminare Strömung	165
	Herleitung der Reynolds'schen Differentialgleichung	168
A.2	Herleitung typischer Bulk-Flow-Modelle	170
A.3	Verfahren bei fehlender Druckdifferenz bzw. Leckage	172
A.4	Unterscheidung von Strömungsregimes der Spaltströmung	174
B	Numerische Grundlagen der CFD-Simulationen	179
B.1	Vollständige Ringspalte	179
B.2	Einzelnut und Bohrlochprofilelement	183
C	Spaltströmungsprüfstand	187
D	Rotordynamische Koeffizienten der Labyrinthdichtungen	189
Eigene Publikationen		193