
Inhaltsverzeichnis

Abbildungen	iv
Tabellen	xi
Symbolverzeichnis	xiii
1 Einleitung	1
2 Dynamische Turbomaschinendichtungen – Einlaufsysteme	5
2.1 Funktionsweise & Anforderungen	5
2.1.1 Funktionsweise	5
2.1.2 Anforderungen.....	6
2.2 Einlaufbeläge – Stand der Technik.....	7
2.2.1 Weiche Einlaufbeläge ohne Porosität.....	8
2.2.2 Poröse Einlaufbeläge.....	8
2.2.3 Periodische Hohlkörperstrukturen.....	9
2.3 Anstreifen in Einlaufsystemen – Grundlagen & Stand der Forschung	11
2.3.1 Tribologische Grundlagen.....	12
2.3.2 Stand der Forschung: Experimentelle Untersuchungen	16
2.3.3 Stand der Forschung: Modellierung von Anstreifvorgängen.....	23
2.4 Ableitung der Zielsetzung & Vorgehensweise.....	28
2.4.1 Zielsetzung	28
2.4.2 Vorgehensweise.....	29
3 Experimentelle Anstreifversuche	31
3.1 Strategie.....	31
3.1.1 Geometrie	31
3.1.2 Werkstoffauswahl.....	33
3.2 Beschreibung des Anstreifprüfstands	35
3.2.1 Versuchsaufbau	35
3.2.2 Messtechnik.....	38
3.3 Versuchsdurchführung	40
3.3.1 Testablauf.....	40
3.3.2 Versuchsplan	42
3.4 Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen	43
3.4.1 Radial- & Querkräfte.....	43
3.4.2 Blechtemperaturen.....	49
3.4.3 Dichtspitzentemperaturen.....	55
3.4.4 Verschleiß.....	57

3.5	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.....	61
4	Modellentwicklung – Einlaufvorgänge in Labyrinthdichtungen	63
4.1	Modellierungsstrategie.....	63
4.2	Beschreibung des Kontaktmodells.....	65
4.3	Beschreibung des thermischen Modells.....	71
4.3.1	Thermisches Reib- & Kontaktmodell.....	73
4.3.2	Kinematische Kontaktbedingungen & periodischer Wärmeeintrag	77
4.3.3	Wärmeabfuhr	82
4.3.4	Effektive Reibwärmeaufteilung.....	82
4.3.5	Blitztemperaturen.....	84
4.3.6	Implementierung.....	88
4.4	Beschreibung des Verschleißmodells	89
4.4.1	Materialabtragender Verschleiß.....	90
4.4.2	Plastischer Verschleiß.....	93
4.5	Modellimplementierung.....	94
5	Modellvalidierung.....	97
5.1	Bestimmung der Modellparameter.....	97
5.1.1	Modellgeometrie & Randbedingungen.....	97
5.1.2	Anstreifbedingungen.....	99
5.1.3	Tribologische Modellparameter.....	101
5.1.4	Verschleißmodellierung.....	102
5.1.5	Blitztemperaturen.....	103
5.2	Vergleich von Simulation & Experiment	107
5.2.1	Konvergenzstudie AnstreifszENARIO S3.....	108
5.2.2	Vergleich für alle AnstreifszENARIEN S1-S5	111
5.3	Diskussion ausgewählter Systemparameter	114
5.3.1	Verschleißverhalten	114
5.3.2	Effektive Reibwärmeaufteilung & Reibtemperaturen	116
5.3.3	Blitztemperaturen.....	121
5.4	Fazit Modellvalidierung.....	124
6	Sensitivitätsanalyse	127
6.1	Definition des Simulationsplans	127
6.2	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse	129
6.3	Fazit Sensitivitätsanalyse	137
7	Zusammenfassung & Ausblick	139
7.1	Zusammenfassung.....	139

7.2	Ausblick.....	140
Literaturverzeichnis		143
8	Anhang	155
8.1	Geometrischer Messfehler der Kontakt- & Reibkräfte.....	155
8.2	Einfluss der Zustelltiefe auf die gemessenen Kräfte	158
8.3	Ergebnisse der Drehmomentmessung	159
8.4	Einfluss der Dichtspitze auf die gemessenen Kräfte	160
8.5	HDR-Bilder aller Anstreifsznarien	162
8.6	Mittlere Blechtemperaturprofile	163
8.7	Größe des Anstreifsegments.....	163
8.8	Zeitgemittelte Pyrometertemperaturen.....	165
8.9	Einfluss der Dichtspitzengeometrie auf das Verschleißverhältnis	166
8.10	Plastisches Verformungsverhalten bei vorgegebener Verschiebung.....	166
8.11	Ablaufschema des Modellierungsansatzes	168
8.12	Temperaturerhöhungsfaktoren für Metallblech und Dichtspitze	170
8.13	Analytische Abschätzung des Temperaturerhöhungsfaktors: Metallblech	175
8.14	Analytische Abschätzung des Temperaturerhöhungsfaktors: Dichtspitze	178
8.15	Abhängigkeit der tribologischen Modellparameter von den Reibtemperaturen	182
8.16	Auswahl der statistischen Versuchspläne.....	183
8.17	Weitere Ergebnistabellen der Sensitivitätsstudie	185