

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	ix
Kurzfassung	xv
Abstract	xvii
1 Einleitung	1
2 Einführung in die Problematik verstimmter Strukturen	5
3 Stand der Wissenschaft	7
3.1 Überblick über historisch bedeutende Forschungsarbeiten auf dem Themengebiet der gekoppelten Schaufelschwingungen	7
3.2 Probabilistische Untersuchung des erzwungenen Schwingungsverhaltens	8
3.3 Amplitudenreduktion durch gezieltes Einbringen von strukturellen Verstimmungen	10
3.4 Amplitudenüberhöhung durch gezieltes Einbringen von strukturellen Verstimmungen	11
3.5 Identifikation von strukturellen Verstimmungen	12
4 Modellierung elastischer, rotierender Strukturen	15
4.1 Methode der Finiten Elemente	15
4.2 Vereinfachte Berücksichtigung von Rotationseffekten	16
4.3 Zustandsraumdarstellung	17
5 Modellierung der Aeroelastik	19
5.1 Modellierung der aerodynamischen Anregung	19
5.2 Modellierung der aerodynamischen Dämpfung	21

5.3 Berechnung der aerodynamischen Anregung	24
5.4 Bemerkungen zur aerodynamischen Dämpfung	25
6 Modellordnungsreduktion	27
6.1 Modales Abschneiden	27
6.1.1 Berücksichtigung von Rotationseffekten	31
6.2 Substrukturverfahren	33
6.2.1 Craig-Bampton Verfahren	33
6.2.2 Craig-Chang Verfahren	35
6.2.3 Craig-Chang-Martinez Verfahren	37
6.3 Interface-Reduktion	38
6.3.1 Wave-Based Substructuring	38
6.3.2 Quantifizierung der Approximationsgüte der reduzierten Modelle .	41
7 Kopplung periodischer Elemente	43
7.1 Systemassemblierung in physikalischen Koordinaten	43
7.2 Verwendung von zyklischen Randbedingungen	46
7.3 Assemblierung zum 360°-Modell	49
8 Verstimmungsidentifikation	51
8.1 Best Achievable Eigenvektor Ansatz	51
8.2 Ein neuer Ansatz zur Verstimmungsidentifikation	54
8.3 Verstimmungsidentifikation als Optimierungsproblem	57
9 Quantifizierung von Verstimmungseffekten	59
9.1 Begriff der Frequenzpfadverfolgung	59
9.2 Begriff der Modenfülligkeit	61
9.3 Begriff der Amplitudenüberhöhung	61
10 Validierung des erweiterten SNM-Ansatzes	65
10.1 Einführung des Fallbeispiels <i>ITSM-M1</i>	65
10.2 Statische Vorspannungsanalyse und Matrizenexport	66

10.3 Genauigkeit der implementierten Reduktionsansätze in der Vorhersage des Eigenschwingungsverhaltens	67
10.4 Zusammenfassung	74
11 Probabilistische Verstimmungsuntersuchungen	77
11.1 Analyse des Eigenschwingungsverhaltens der unverstimmten Struktur	77
11.2 Validierung der Approximationsgenauigkeit in der Vorhersage des Eigenschwingungsverhaltens	78
11.3 Probabilistische Analyse des Eigenschwingungsverhaltens verstimmter Strukturen	80
11.4 Validierung der Approximationsgenauigkeit in der Vorhersage des erzwungenen Schwingungsverhaltens	87
11.5 Probabilistische Analyse des erzwungenen Schwingungsverhaltens RCM1KD6	89
11.6 Probabilistische Analyse des erzwungenen Schwingungsverhaltens RCM2KD4	92
11.7 Zusammenfassung	96
12 Resonanzamplitudenänderung bei gezieltem Einbringen struktureller Verstimmungen	99
12.1 Mechanismen der Amplitudenreduktion	99
12.2 Maximale Amplitudenüberhöhung	104
12.3 Zusammenfassung	106
13 Eignung und Potenzial von Substrukturverfahren	109
13.1 Bemerkungen zur Interface-Reduktion bei Verwendung von Substrukturverfahren	109
13.2 Genauigkeit bei Verwendung der wellenbasierten Interface-Reduktion	112
13.3 Eignung der Reduktionsansätze bei Berücksichtigung großer Verstimmungen: Eigenschwingungsverhalten	113
13.4 Eignung der Reduktionsansätze bei Berücksichtigung großer Verstimmungen: Erzwungenes Schwingungsverhalten	117
13.5 Zusammenfassung	118

14 Validierung des SNM-ID Ansatzes	119
14.1 Validierung ohne Messrauschen	119
14.2 Validierung mit Messrauschen	125
14.3 Vergleich elastizitätsmodulbasierter Identifikationsansätze	129
14.4 Zusammenfassung	132
15 Verstimmungsidentifikation am Axialverdichterlaufrad <i>ITSM-ASB1</i>	135
15.1 Experimentelle Modalanalyse	135
15.2 Frequenzvergleich und Modenextraktion	137
15.3 Validierung der implementierten Identifikationsansätze	138
15.4 Zusammenfassung	146
16 Zusammenfassung	147
17 Ausblick	151
Literaturverzeichnis	153
A Anhang zu Kapitel 6	169
B Anhang zu Kapitel 7	171
C Anhang zu Kapitel 8	173
D Anhang zu Kapitel 10	177
E Anhang zu den Kapiteln 12, 14 und 15	181