

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Aeroelastik in Turbomaschinen	1
1.2. Motivation	2
1.3. Zielsetzung und Übersicht der Arbeit	3
2. Stand der Forschung	5
2.1. Forced Response Bewertung in der Schaufelauslegung	5
2.2. Nachlaufinduzierte Ausbildungsmechanismen instationärer Profildruckverteilungen	10
2.3. Einfluss von Strouhalzahl und Durchflusszahl	13
2.4. Stand der CFD-Methoden im Auslegungsprozess	15
2.4.1. Literatur	16
2.4.2. Strömungslöser TRACE	17
3. Numerische Voruntersuchungen anregungsrelevanter Einflussfaktoren	19
3.1. Netzgenerierung und numerisches Setup	20
3.2. Wahl der Harmonischenordnung im HB Verfahren	23
3.3. Analyse der Vorticity- und Druckstörung im Abströmfeld des R_1 Rotors	25
3.4. Analyse der instationären Profildruckverteilung im S_2 Statorgitter	29
3.4.1. Einfluss überlagerter Störgrößen	29
3.4.2. Separation der Störeffekte	31
3.4.3. Intensität der Druckschwankungen	34
4. Validierung an Messdaten aus Turbinen Testaufbauten	37
4.1. Messdatenanalyse instationärer Drucksignale	37
4.2. Einfluss von Kavitätenströmung und Schaufelindizierung	39
4.2.1. Beschreibung des Testaufbaus #1	40
4.2.2. Instrumentierung und Messunsicherheit	41
4.2.3. Instationäre Profildruckverteilung auf dem R_1 Rotor	43
4.2.4. Einfluss der Schaufelindizierung auf dem S_2 Stator	49
4.2.5. Einfluss der Kavitätenströmung auf dem S_2 Stator	54
4.2.6. Sensitivität gegenüber Betriebspunktverschiebungen	60
4.3. Einfluss der Turbulenzmodellierung in höheren Harmonischen	61
4.3.1. Beschreibung des Testaufbaus #2	61
4.3.2. Instrumentierung und Messunsicherheit	63
4.3.3. Zeitgemittelte statische Profildruckverteilung auf dem S_2 Statorgitter	65
4.3.4. Abströmfeld des S_2 Statorgitters in der Traversierebene $ME9.4$	68
4.3.5. Instationäre Profildruckverteilung auf dem S_2 Stator	73
4.3.6. Rechenzeitersparnis durch die Harmonic Balance Methode	75

4.4.	Einfluss des Abströmfeldes umlenkender Vorleiträder (<i>TMTF</i>)	76
4.4.1.	Beschreibung des Testaufbaus #3	76
4.4.2.	Zeitgemittelte Profildruckverteilung auf dem <i>TMTF</i>	77
4.4.3.	Abströmfeld des <i>TMTFs</i> in der Traversierebene <i>ME1.4</i>	78
4.4.4.	Zeitgemittelte Profildruckverteilung auf dem R_1 Rotor	81
4.4.5.	Instationäre Profildruckverteilung auf dem R_1 Rotor	81
4.5.	Quantifizierung der numerischen Berechnungsgenauigkeit	82
4.6.	Zusammenfassung hinsichtlich der Optimierungsanforderungen	85
5.	Optimierung mit der Harmonic Balance Methode	87
5.1.	Optimierungsstrategie	88
5.2.	Kurzbeschreibung des Optimierungsprozesses	91
5.3.	Auswertung der Optimierungsergebnisse	96
5.3.1.	<i>TMTF</i> Geometrieparameter	100
5.3.2.	Zeitgemittelte Strömungsgrößen auf dem <i>TMTF</i>	102
5.3.3.	<i>TMTF</i> Abströmfeld	103
5.3.4.	Instationäre Profildruckverteilung und Verteilung der aerodynamischen Arbeit auf der angeregten Rotorschaukel	108
5.4.	URANS Nachrechnung der optimierten Schaukelgeometrie	113
6.	Zusammenfassung und Ausblick	115
	Literaturverzeichnis	124
	Abbildungsverzeichnis	130
	Tabellenverzeichnis	131
A.	Numerische Berechnungsmethoden	133
A.1.	Aerodynamische Grundgleichungen	133
A.2.	Strukturiertes zellzentriertes Finite-Volumen-Verfahren TRACE	135
A.2.1.	Nicht-lineare instationäre Zeitbereichsmethode	136
A.2.2.	Nicht-lineare Frequenzbereichsmethode Harmonic Balance	136
A.2.3.	Stabilitätsproblematik im HB Verfahren bei Verwendung des Turbulenzmodells in den höheren Harmonischen	140
A.2.4.	Randbedingungen	141
A.3.	Numerisches Dissipations- und Dispersionsverhalten	149
A.4.	Numerisches Transmissions- und Reflexionsverhalten	155
A.5.	Einfluss auf die numerische Berechnungsgenauigkeit	161
A.6.	Tabellarische Übersicht der verwendeten numerischen Setups	165