

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>Formelzeichen und Abkürzungen</b>	<b>XIII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1 Besonderheiten transsonischer Axialverdichter	6
2.2 Strömungseffekte im Rotorspitzenbereich	8
2.2.1 Stoß-Wirbel-Wechselwirkung	9
2.2.2 Stoß-Grenzschicht-Wechselwirkung	11
2.2.3 Zusammenhang zwischen Blockageentwicklung und Verdichterstabilität	13
2.3 Stufenabstimmung	15
2.4 Gehäusestrukturierungen	20
<b>3 Numerische Strömungssimulation und Modellaufbau</b>	<b>31</b>
3.1 Numerische Strömungssimulation	31
3.1.1 Turbulenz- und Grenzschichtmodellierung	32
3.1.2 Angaben zum verwendeten Strömungslöser	33
3.2 Modellaufbau	35
3.2.1 Randbedingungen	36
3.2.2 Verwendete Schnittstellen	40
3.2.3 Phasenversatzrandbedingungen	43
3.2.4 Modellierung der Deckbandkavitäten	46
3.2.5 Besonderheiten der Netzgenerierung	47
<b>4 Untersuchungen zum Referenzmodell</b>	<b>49</b>
4.1 Teildrehzahl	49
4.1.1 Aerodynamischer Versagensmechanismus des ersten Rotors	51

4.1.2	Betrachtung des Strömungsfeldes der ersten Leitschaufel	57
4.1.3	Bewertung des Strömungsfeldes des zweiten Rotors	60
4.1.4	Bewertung des Strömungsfeldes der zweiten Leitschaufel	63
4.2	Auslegungsdrehzahl	65
<b>5</b>	<b>Einsatz von Axialnuten zur Stabilisierung des ersten Rotors</b>	<b>71</b>
5.1	Auswirkungen auf den Stufenverbund bei Teildrehzahl	71
5.1.1	Einfluss von Axialnuten auf die Stabilität des ersten Rotors	72
5.1.2	Auswirkungen von Axialnuten auf den Stufenverbund	77
5.1.3	Einfluss der Axialnuten auf das Strömungsfeld der ersten Leitschaufel	78
5.1.4	Einfluss der Axialnuten auf das Strömungsfeld des zweiten Rotors	84
5.1.5	Strömungsfeld der zweiten Leitschaufel bei Einsatz von Axialnuten	87
5.2	Auswirkung auf den Stufenverbund bei Auslegungsdrehzahl	89
<b>6</b>	<b>Sensitivitätsstudien</b>	<b>101</b>
6.1	Variation der Rotorspaltpalte des ersten Rotors bei Teildrehzahl	101
6.1.1	Einfluss der Spaltweite auf die Strömungsstabilität des ersten Rotors	103
6.1.2	Auswirkungen der Spaltweite auf die Stabilität des zweiten Rotors	108
6.1.3	Einfluss der Spaltweite auf das Stabilisierungspotential von Axialnuten	112
6.2	Variation der Rotorspaltpalte des ersten Rotors bei Auslegungsdrehzahl	116
6.3	Variation der Nabenteilspalthöhe und Dichtspalthöhe der ersten Leitschaufel	119
<b>7</b>	<b>Abstimmung der Gehäusestrukturierung auf Teildrehzahlbedingungen</b>	<b>125</b>
7.1	Modifikation der Axialnuten	125
7.2	Rezirkulationskanäle zur Stabilisierung des Stufenverbundes	129
7.2.1	Einfluss von Rezirkulationskanälen bei Teildrehzahl	130
7.2.2	Vergleich von Rezirkulationskanälen und Axialnuten	132
7.3	Mehrstufige Anwendung von Axialnuten	134
<b>8</b>	<b>Anpassung des Stufenentwurfs</b>	<b>137</b>
8.1	Anpassung der Leitschaufelverstellung	137
8.2	Neuentwurf der Vorleitschaufel	141
8.2.1	Auswirkungen auf die Stabilität des ersten Rotors	143

8.2.2	Auswirkungen auf die Stabilität des zweiten Rotors	148
8.3	Anpassung der Gehäusekontraktion	150
8.3.1	Einfluss auf die Wirkungsweise der Axialnuten bei Auslegungsdrehzahl	152
8.3.2	Einfluss auf das Stabilisierungspotential der Axialnuten bei Teildrehzahl	156
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>161</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>167</b>
	<b>Anhang A: Evaluation des numerischen Mehrstufenmodells</b>	<b>177</b>
A.1	Netzunabhängigkeitsstudie	177
A.2	Einfluss der stationären Betrachtungsweise auf die Strömungslösung	186
A.3	Auswahl der Anzahl an Harmonischen zur Abspeicherung der Strömungslösung	188
A.4	Evaluation der Phasenversatzrandbedingung	190
	<b>Anhang B: Auswertung der Massenströme innerhalb der Axialnuten</b>	<b>195</b>
	<b>Anhang C: Ergänzende Diagramme zum Totaldruckverlustkoeffizienten</b>	<b>199</b>
C.1	Zu Kapitel 4: Referenzkonfiguration bei Teildrehzahl	199
C.2	Zu Kapitel 5: Einsatz von Axialnuten	200
C.3	Zu Kapitel 6: Variation der Spaltweite des ersten Rotors	203
C.4	Zu Kapitel 7: Abstimmung der Gehäusestrukturierung	206
C.5	Zu Kapitel 8.1: Anpassung der Leitschaufelverstellung	208
C.6	Zu Kapitel 8.2: Neuentwurf der Vorleitschaufel	210
C.7	Zu Kapitel 8.3: Anpassung der Gehäusekontraktion	212
	<b>Anhang D: Ergänzende Darstellung zu Kapitel 5.2 - Profildruckverteilung</b>	<b>215</b>