

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	xv
Tabellenverzeichnis	xxi
Nomenklatur	xxiii
1 Einleitung	1
1.1 Anforderungen an moderne Triebwerksverdichter	3
1.2 Motivation und Zielsetzung der Arbeit	7
1.3 Aufbau der Arbeit	8
2 Grundlagen und Stand der Wissenschaft	9
2.1 Funktionsweise eines Axialverdichters	9
2.1.1 Ähnlichkeitskenngrößen	10
2.1.2 Verdichterkennfeld	14
2.1.3 Verdichterstabilität	16
2.1.4 Verdichteraerodynamik in transsonischen Verdichtern	19
2.1.5 Einfluss von Schaufelwinkeländerungen	20
2.2 Verlustmechanismen in Verdichterstatoren	21
2.2.1 Strömungsverluste durch Reibung	22
2.2.2 Kanalwirbel	23
2.2.3 Hufeisenwirbel	24
2.2.4 Hinterkantenwirbel	24
2.2.5 Spaltwirbel	25
2.2.6 Eckenablösung	26
2.2.7 Leckageströmung in nicht-rotierenden Schaufelreihen	27
2.3 Funktionsweise des Tandemstators	28
2.4 Einordnung der Arbeit in den wissenschaftlichen Kontext	31
3 Versuchsträger, Messtechniken und Auswertemethodiken	35
3.1 Transsonischer Verdichterprüfstand	35
3.1.1 Stufenkonfigurationen	35
3.1.2 Statormodul	37

3.2	Experimente und Messtechnik	39
3.2.1	Bestimmung der Verdichterleistungsfähigkeit mittels stationärer Messtechnik	40
3.2.2	Bestimmung des Rotorverhaltens mittels instationärer Messtechnik	43
3.2.3	Detailanalyse der Aerodynamik mittels Sondenmesstechnik	45
3.2.4	Messtechnik zur Betriebsüberwachung	46
3.2.5	Messgenauigkeit	47
3.3	Kenngößen	52
3.4	Numerische Strömungssimulationen	56
3.4.1	Grundlagen numerischer Strömungssimulationen	57
3.4.2	Numerisches Setup	58
3.4.3	Validierung der Daten	60
4	Ergebnisse und Diskussion	61
4.1	Gesamtbetriebsverhalten	61
4.1.1	Vergleich zur Referenzkonfiguration	61
4.1.2	Ursache für die Verbesserung der Leistungsfähigkeit	67
4.2	Variation der Schaufelwinkel	71
4.2.1	Optimierung bei Volllastdrehzahl	71
4.2.2	Optimierung bei Teillastdrehzahl	78
4.3	Einfluss des Tandemstators auf die Verdichterstabilität	84
4.4	Detailuntersuchung des Tandemstators	98
4.4.1	Aerodynamische Belastung	98
4.4.2	Robustheit gegenüber Fehlanströmung	106
4.4.3	Einfluss der Leckageströmung	117
4.4.4	Vergleich mit numerischen Simulationen	123
4.5	Schlussfolgerung der Ergebnisse und Übertragbarkeit auf die reale Anwendung	129
5	Zusammenfassung	131
5.1	Fazit	133
5.2	Ausblick	133
	Literaturverzeichnis	135
A	Anhang	151
A.1	Grundlegende Gleichungen der Strömungsmechanik	151
A.2	Synchrone und nicht-synchrone Schaufelschwingungen	152

A.3	Ergänzungen zu Experimenten und Messtechnik	153
A.3.1	Messmatrix	153
A.3.2	Anordnung der Messtechnik	154
A.3.3	Interpolationsmethode zur Bestimmung der Verdichterleistungs- fähigkeit	156
A.3.4	Periodizität der Abströmung im TSV	157
A.3.5	Methodik zum Einsatz piezoresistiver Wanddrucksensoren unter Verwendung eines Einlaufbelages	158
A.3.6	Methode zur Bestimmung des Leckagemassenstroms	160
A.3.7	Ergänzungen zu Messgenauigkeit	162
A.4	Ergänzungen zu Kenngrößen	167
A.4.1	Korrekturmethode der Fünflochsondendaten	167
A.4.2	Messebenenübergreifende Auswertemethode	169
A.4.3	Vergleich zwischen Austrittskämmen und Fünflochsonde	170
A.5	Ergänzungen zu numerischen Strömungssimulationen	171
A.5.1	Beurteilung der Wandauflösung	171
A.5.2	Beurteilung der Netzqualität	172
A.5.3	Beurteilung des Konvergenzverhaltens	173
A.6	Ergänzungen zu experimentellen Ergebnissen	175
A.6.1	Einfluss des Eintrittsdruckes auf bezogene Kenngrößen	175
A.6.2	Einfluss der VIGV-Variation bei Teillastdrehzahl N3	176
A.6.3	Einfluss des Tandemstators auf die Verdichterstabilität	178
A.6.4	Blockageeffekte im Stator an der Sperrgrenze	181