

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>xv</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>xxi</b>
<b>Nomenklatur</b>	<b>xxiii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Anforderungen an moderne Triebwerksverdichter . . . . .	3
1.2 Motivation und Zielsetzung der Arbeit . . . . .	7
1.3 Aufbau der Arbeit . . . . .	8
<b>2 Grundlagen und Stand der Wissenschaft</b>	<b>9</b>
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
<b>3 Versuchsträger, Messtechniken und Auswertemethodiken</b>	<b>35</b>
3.1 Transsonischer Verdichterprüfstand . . . . .	35
3.1.1 Stufenkonfigurationen . . . . .	35
3.1.2 Statormodul . . . . .	37

<b>3.2 Experimente und Messtechnik</b>	<b>39</b>
3.2.1 Bestimmung der Verdichterleistungsfähigkeit mittels statio- närer Messtechnik	40
3.2.2 Bestimmung des Rotorverhaltens mittels instationärer Mess- technik	43
3.2.3 Detailanalyse der Aerodynamik mittels Sondenmesstechnik	45
3.2.4 Messtechnik zur Betriebsüberwachung	46
3.2.5 Messgenauigkeit	47
<b>3.3 Kenngrößen</b>	<b>52</b>
<b>3.4 Numerische Strömungssimulationen</b>	<b>56</b>
3.4.1 Grundlagen numerischer Strömungssimulationen	57
3.4.2 Numerisches Setup	58
3.4.3 Validierung der Daten	60
<b>4 Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>61</b>
<b>4.1 Gesamtbetriebsverhalten</b>	<b>61</b>
4.1.1 Vergleich zur Referenzkonfiguration	61
4.1.2 Ursache für die Verbesserung der Leistungsfähigkeit	67
<b>4.2 Variation der Schaufelwinkel</b>	<b>71</b>
4.2.1 Optimierung bei Vollastdrehzahl	71
4.2.2 Optimierung bei Teillastdrehzahl	78
<b>4.3 Einfluss des Tandemstators auf die Verdichterstabilität</b>	<b>84</b>
<b>4.4 Detailuntersuchung des Tandemstators</b>	<b>98</b>
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
<b>4.5 Schlussfolgerung der Ergebnisse und Übertragbarkeit auf die reale Anwendung</b>	<b>129</b>
<b>5 Zusammenfassung</b>	<b>131</b>
<b>5.1 Fazit</b>	<b>133</b>
<b>5.2 Ausblick</b>	<b>133</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>135</b>
<b>A Anhang</b>	<b>151</b>
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 Verdichterleistungsfähigkeit . . . . .	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