

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	ix
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	5
2.1 Stabiler Operationsbereich	5
2.2 Verdichterinstabilitäten	6
2.2.1 Rotating stall	8
2.2.1.1 Entstehungsmechanismen	8
2.2.1.2 Ausprägungsformen	13
2.2.2 Surge	14
2.2.3 Unterscheidungskriterium für Verdichterinstabilitätstypen nach Greitzer	16
2.3 Casing Treatments	17
2.3.1 Überblick über gängige Bauformen	18
2.3.2 Historische Entwicklung von Casing Treatments	20
2.3.3 Wirkungsweise von Casing Treatments	22
2.3.3.1 Wirkungsweise von Umfangsnuten	23
2.3.3.2 Wirkungsweise von axialen Schlitzten	25
2.3.3.3 Einfluss auf den Wirkungsgrad	25
2.3.4 Das Casing Treatment der MTU	26
3 Numerische Simulation mit TRACE	29
3.1 Physikalisches Modell	29
3.1.1 URANS-Gleichungen	29
3.1.2 Verwendete Interface-Typen	30
3.2 Mathematisches Modell	32
3.3 Geometrisches Modell	32
3.4 Validierung des TRACE-Codes	33
3.4.1 Aufbau des PIV-Versuchsstands	33
3.4.2 Verwendetes Casing Treatment	35
3.4.3 Verwendetes Rechenmodell	35
3.4.4 Ergebnisse	36
4 Analyse der CT-Wirkungsweise	41
4.1 Charakterisierung der untersuchten Verdichter	41
4.2 Untersuchung eindimensionaler Größen entlang einer Kennlinie	42

4.2.1	Massendurchsatz durch das Casing Treatment	43
4.2.2	Totaltemperatur im Casing Treatment	46
4.3	Beobachtete Phänomene aus instationären CFD - Rechnungen	50
4.3.1	Druckverteilungen	50
4.3.2	Axialgeschwindigkeit	52
4.3.3	Einfluss auf den Spaltwirbel	56
5	Modellierung des MTU Casing Treatments im 3D-Navier-Stokes-Verfahren	59
5.1	Motivation	59
5.2	Bodyforce-Modellkonzept	59
5.3	Zeitliche Mittelung der URANS-Gleichungen	62
5.3.1	Zeitliche Mittelung der Kontinuitätsgleichung	63
5.3.2	Zeitliche Mittelung der Impulserhaltung	64
5.3.3	Zeitliche Mittelung der Energieerhaltung	66
5.4	Umfangsmittelung der RANS-Gleichungen	68
5.4.1	Umfangsmittelung der Kontinuitätsgleichung	68
5.4.2	Umfangsmittelung der Impulserhaltung	69
5.4.3	Umfangsmittelung der Energieerhaltung	73
5.5	Umsetzung	75
5.5.1	Modellgeometrie	75
5.5.2	Implementierung in TRACE	76
5.5.3	Vorprozesse	77
5.5.3.1	Straight-H-Netz	77
5.5.3.2	Zeitliche DS-Werte	78
5.5.3.3	Örtliche DS-Werte	79
5.6	Grenzen des CT-Modells	79
6	Validierung des CT-Modells anhand verschiedener Verdichterbeispiele	83
6.1	Validierung anhand des HDV	83
6.1.1	Einfluss der deterministischen Spannungswerte	83
6.1.2	Verwendetes Rechenmodell	93
6.1.3	1D-Vergleich	93
6.1.4	2D-Vergleich	97
6.2	Validierung anhand des MDV	110
6.2.1	Einfluss der deterministischen Spannungswerte	110
6.2.2	Verwendetes Rechenmodell	115
6.2.3	1D-Vergleich	115
6.2.4	2D-Vergleich	117
6.3	Validierung anhand des NDV	123
6.3.1	Einfluss der deterministischen Spannungswerte	124
6.3.2	Verwendetes Rechenmodell	128
6.3.3	1D-Vergleich	128
6.3.4	2D-Vergleich	130
6.4	Anwendungsmöglichkeiten	136

6.5	Mögliche Modellerweiterungen	141
6.5.1	Alternative Ermittlung der Druckverteilung	141
6.5.2	Einfluss auf die Turbulenzmodellierung	142
7	Parameterstudie mit Hilfe des CT-Modells	143
7.1	Parametermodell	143
7.2	Ergebnisse von Parametervariationen	146
8	Zusammenfassung	153
	Literaturverzeichnis	155
	Abbildungsverzeichnis	161
	Tabellenverzeichnis	165
A	Anhang	167
A.1	Die zeitlich und in Umfangsrichtung gemittelten Erhaltungsgleichungen	167
A.2	Panelmethoden zur Ermittlung von Druckverteilungen	170