

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	iii
1 Einleitung	1
1.1 Kühlung und Umströmung der Turbinenschaufel-Hinterkante	3
1.2 Problemstellung	4
1.3 Zielsetzung und Vorgehensweise	6
2 Grundlagen und Kenntnisstand	8
2.1 Turbulenz, Mischungsvorgänge, Kohärente Strukturen	8
2.2 Klassifizierung der Untersuchungsmethoden	10
2.3 Mathematische Beschreibung turbulenter Strömungen	11
2.4 Simulation und Modellierung	14
2.4.1 Direkte Numerische Simulation (DNS)	14
2.4.2 Large-Eddy Simulation (LES)	15
2.4.3 Statistische Turbulenzmodelle	18
2.5 Numerische Experimente mit DNS und LES	19
2.6 Filmkühlung zurückgeschnittener Turbinenschaufel-Hinterkanten	20
2.7 Übersicht existierender Untersuchungen und Fazit	24
3 Simulationsmethodik	31
3.1 Referenzexperiment und Annahmen	31
3.2 Numerische Konfiguration	33
3.2.1 Rechengebiet und Randbedingungen	34
3.2.2 Numerisches Lösungsverfahren LESOCC2	35
3.2.3 Rechengitter	37
3.3 Übersicht der Simulationen	38
3.4 Datenauswertung	39
4 Validierung der Simulationsmethodik	46
4.1 Auflösung der kleinskaligen Turbulenz	46
4.2 Auflösung der großskaligen Turbulenz	49
4.3 Vergleich mit aerodynamischen Messdaten	51

4.4	Vergleich mit thermischen Messdaten	56
4.5	Beurteilung	58
5	Strömungsphysik	61
5.1	Einfluss von Ausblaserate auf Kühlfilmwirkung	61
5.1.1	Das unerwartete Verhalten	61
5.1.2	Mischung	63
5.1.3	Einfluss von Turbulatoren	68
5.2	Statistische Beschreibung des Strömungsfeldes	74
5.2.1	Mittlere Geschwindigkeiten	75
5.2.2	Turbulente kinetische Energie und Reynolds-Spannungen	78
5.2.3	Einfluss von Turbulatoren	84
5.3	Identifizierung instationärer Wirbelstrukturen	89
5.3.1	Visualisierung kohärenter Strukturen	89
5.3.2	Zeitliches Verhalten der Strukturen	92
5.3.3	Einfluss von Turbulatoren	97
5.4	Beziehung zwischen Strukturen und Schwankungsbewegungen	108
5.4.1	Instationäre Schwankungsbewegungen	108
5.4.2	Schwankungsbewegungen und Reynolds-Spannungen	113
5.4.3	Einfluss von Turbulatoren	115
5.5	Konsequenzen für den turbulenten Wärmetransport	121
5.5.1	Strukturen und Temperaturschwankungen	121
5.5.2	Turbulente Wärmeströme	125
5.5.3	Einfluss von Turbulatoren	127
6	Zusammenfassung und Ausblick	137
A	Anhang	141
A.3	Simulationsmethodik	141
A.4	Validierung	143
A.5	Strömungsphysik	145
	Literaturverzeichnis	159