

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis

v

1 Einleitung	1
2 Grundlagen, wissenschaftlicher Kenntnisstand und Zielsetzung	3
2.1 Rauigkeiten in Gasturbinen	4
2.1.1 Definition von Rauigkeiten	4
2.1.2 Entstehung rauer Oberflächen	6
2.2 Grundlagen von Strömung und Wärmeübergang in einer Turbine	8
2.2.1 Übersicht über Strömungsbedingungen in einer Turbine und Schaufelumströmung	9
2.2.2 Laminare Grenzschicht	10
2.2.3 Transition, dreidimensionale Ablösung und dreidimensionale Grenzschicht	11
2.2.4 Turbulente Grenzschicht	17
2.2.5 Grenzschicht an Turbinenschaufeln unter dem Einfluss rauer Oberflächen	21
2.2.6 Strömung im Bereich der Seitenwand	21
2.3 Übersicht existierender Untersuchungen des Wärmeüberganges an Turbinenseitenwänden	27
2.4 Zielsetzung	34
3 Versuchsaufbau und Messtechnik	37
3.1 Kaskadenprüfstand	37
3.2 Auswahl und Definition der Rauigkeiten	40
3.3 Instrumentierung	45
3.3.1 Instrumentierung für Druck- und Temperaturmessungen in der Anströmung	45
3.3.2 Hitzdraht-Anemometrie	45
3.3.3 Instrumentierung für statische Druckmessungen	46
3.3.4 Instrumentierung für thermische Messungen	47
3.3.5 Druck- und Temperaturaufnehmer	47
3.4 Bestimmung des Wärmeübergangskoeffizienten	48

3.5	Erfassung des Temperaturfeldes mittels thermosensitiver Farbe	50
3.5.1	Physikalische Grundlagen	51
3.5.2	Messprinzip	53
3.5.3	Bildverarbeitung	56
3.5.4	Kalibrierung	60
3.6	Photogrammetrie	62
3.7	Unsicherheitsbetrachtung	64
4	Charakterisierung der Anströmung	67
4.1	Geschwindigkeits- und Temperaturverteilung	67
4.2	Turbulente Größen	69
5	Aerodynamische Charakterisierung des Strömungsfeldes	73
5.1	Ergebnisse der statischen Druckmessungen	73
5.2	Visualisierung des Strömungsfeldes mittels Ölanstrich	77
5.3	Potentialstromlinien zur detaillierten Auswertung	79
6	Ergebnisse der thermischen Untersuchung	83
6.1	Validierung der eingesetzten Messtechnik	83
6.2	Thermische Untersuchungen mit glatter Oberfläche	86
6.2.1	Charakterisierung des Wärmeüberganges an der ebenen glatten Seitenwand (Vergleichsfall)	86
6.2.2	Einfluss des Turbulenzgrades auf den Wärmeübergang bei glatter Seitenwand	90
6.2.3	Wärmeübergang bei glatter Seitenwand und gestörter Seitenwandgrenzschicht	92
6.2.4	Einfluss der Kontur auf den Wärmeübergang bei glatter Seitenwand	95
6.3	Thermische Untersuchungen mit rauer Oberfläche	98
6.3.1	Charakterisierung des Wärmeüberganges an der ebenen Seitenwand mit rauer Oberfläche	98
6.3.2	Einfluss des Turbulenzgrades auf den Wärmeübergang bei rauer Seitenwand	105
6.3.3	Einfluss der Kontur auf den Wärmeübergang bei rauer Oberfläche	108
7	Zusammenfassung	111

Literaturverzeichnis	115
Verzeichnis studentischer Arbeiten	133
Anhang	135
A.1 Instrumentierung für statische Druckmessungen	135
A.2 Instrumentierung für thermische Messungen	138
A.3 Turbulente Spektren in der Anströmung	139
A.4 Ergebnisse der statischen Druckmessung beim niedrigen Betriebspunkt	140
A.5 Detailansichten der Ölanstrich-Untersuchung	141
A.6 Nußeltzahlverteilungen bei glatter Seitenwand	142
A.7 Einfluss des Turbulenzgrades auf den Wärmeübergang bei glatter Seitenwand .	143
A.8 Wärmeübergang bei glatter Oberfläche und nicht-achsensymmetrischer Kontur	145
A.9 Einfluss rauer Oberfläche auf den Wärmeübergang an der ebenen Seitenwand .	147
A.10 Einfluss des Turbulenzgrades an den Wärmeübergang bei rauer Oberfläche .	148
A.11 Einfluss der Kontur auf den Wärmeübergang bei rauer Oberfläche	151