

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	v
1 Einleitung	1
2 Einflüsse auf Wärmetransport und Filmkühlung an Turbinenseitenwänden	5
2.1 Strömungsfeld, Wärmeübergang und Verluste	5
2.1.1 Grenzschicht und Wärmeübergang der Seitenwand	7
2.1.2 Verluste an der Seitenwand	10
2.2 Formoptimierung der Seitenwand	11
2.3 Grundlagen der Filmkühlung	15
2.3.1 Thermisches Verhalten der Filmkühlung	17
2.3.2 Anwendung des Superpositionsprinzips als Messverfahren	20
2.3.3 Interaktion mit der Hauptströmung	23
2.3.4 Geschlossener Kühlfilm und Superposition	25
2.4 Übersicht existierender Untersuchungen zum Wärmeübergang und zur Filmkühlung von konturierten Seitenwänden	27
2.5 Zielsetzung	38
3 Versuchsanlage und Messtechnik	41
3.1 Versuchsaufbau	41
3.1.1 Versuchsanlage für Filmkühluntersuchungen	41
3.1.2 Lineare Schaufelkaskadenmessstrecke	43
3.1.3 Geometrie der Seitenwand	45
3.1.4 Filmkühlung der Seitenwand	46
3.2 Messwerterfassung, Messtechnik und Instrumentierung	47
3.2.1 Messwerterfassung	47
3.2.2 Infrarotthermografie	48
3.3 Bestimmung der Druckverteilung auf der Seitenwand	50
3.4 Bestimmung der Ausblaserate	52
3.5 Charakterisierung der Schaufelkaskade und des Prüfstandes	54

4	Bestimmung von Wärmeübergang und Filmkühlgrößen	59
4.1	Messträger	60
4.1.1	Filmkühlmodul	61
4.1.2	Messgenauigkeit der Methode	62
4.2	Bestimmung der Temperatur an der Seitenwand	64
4.2.1	Kalibrierung der Infrarotdaten	64
4.2.2	Projektion der Infrarotaufnahmen	65
4.2.3	Zusammensetzen zur Temperaturkarte und Filterung	69
4.3	Bestimmung der konvektiven Wärmestromdichte	69
4.3.1	Konduktive Wärmestromdichte	70
4.3.2	Radiative Wärmestromdichte	72
4.4	Berechnung des Wärmeübergangs und der Filmkühlgrößen	74
4.5	Einfluss der Modultaschen	75
4.6	Bewertung des Messverfahrens	78
4.7	Zusammenfassung und Versuchsprogramm	80
5	Ergebnisse der Untersuchung	83
5.1	Wärmeübergang und Filmkühleffektivität	83
5.1.1	Einfluss der Konturierung auf den Wärmeübergang	83
5.1.2	Einfluss der Konturierung auf die Spaltfilmkühlung	85
5.1.3	Lokale Filmkühlung	88
5.2	Vorgehen zur Analyse der Einflüsse auf die Filmkühlung	90
5.2.1	Transformation und Datenreduktion	91
5.2.2	Vergleichsdaten für die Filmkühleffektivität	93
5.2.3	Normierung des Wärmeübergangskoeffizienten	94
5.3	Analyse der lokalen Filmkühlung	95
5.3.1	Interaktion des Sekundärwirbelsystems und der Filmkühlung	97
5.3.2	Ausblasestelle, Einfluss der Bohrungsgeometrie und Ausblaserate . . .	103
5.3.3	Wärmeübergangserhöhung an der Ausblasestelle	107
5.3.4	Interaktion von Heißgas und Kühlluft stromab der Ausblasestelle . . .	110
5.4	Zusammenfassung der Ergebnisse	118
6	Zusammenfassung und Ausblick	121

Literatur	125
A Anhang	147
A.1 Geometrie und Charakterisierung des Prüfstandes	147
A.2 Einfluss der Umgebungsbedingungen auf den statischen Druck an der Seitenwand	152
A.3 Durchflussbeiwert	153
A.4 Filmkühlmodul – Modellbildung und Korrektur	155
A.5 Abschätzung des Einflusses der Kühllufttemperatur auf die adiabate Filmkühlfektivität	157
A.6 Darstellung der Daten	159
A.7 Konturplots: Filmkühlgrößen und Stromlinien	161
A.8 Vergleichsplots: Filmkühlgrößen	167