

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	iii
1 Einleitung und Zielsetzung	1
2 Filmkühlung transsonisch umströmter Turbinenschaufeln	5
2.1 Grundlagen der Filmkühlung	7
2.1.1 Beschreibung des thermischen Verhaltens	7
2.1.2 Beschreibung des Durchflussverhaltens	11
2.1.3 Ähnlichkeitskennzahlen der Filmkühlung	12
2.2 Grundlegende Phänomene in Überschallströmungen	15
2.2.1 Expansionswellen	16
2.2.2 Der senkrechte Verdichtungsstoß	17
2.2.3 Der schräge Verdichtungsstoß	17
2.2.4 Kühlfilmausblasung in Überschallströmungen	20
2.3 Aerodynamik und Wärmeübergang in transsonisch durchströmten Turbinenstufen	21
3 Experimenteller Aufbau und aerodynamische Auslegung	30
3.1 Hochdruck-Hochtemperaturanlage (HDT)	30
3.2 Messstrecke	30
3.3 Versuchsträger und Ausblasegeometrien	37
3.3.1 Nahe adiabate Messplatte	38
3.3.2 Diabater Messplattenverbund	39
3.4 Messwerterfassung und Messsysteme	41
3.4.1 Messwerterfassung	41
3.4.2 Infrarotthermographie	41
3.4.3 Background-Oriented-Schlieren-Verfahren	42
3.4.4 Laser-Doppler-Anemometrie	44
3.5 Bestimmung der Durchflusskoeffizienten	47
3.6 Bestimmung der Filmkühlgrößen	48
3.6.1 Bestimmung der Wärmeströme	49
3.6.2 Anwendung des Superpositionsprinzips zur Bestimmung des Wärmeübergangskoeffizienten	51

3.6.3	Anwendung des Superpositionsprinzips zur Bestimmung der adiabaten Filmkühleffektivität	54
3.6.4	Rechnergestützte Auswertung	55
3.7	Versuchsprogramm und experimentelle Randbedingungen	56
4	Entwicklung eines infrarotthermographischen Messverfahrens	57
4.1	Grundlagen der Thermographie	58
4.2	Erfassung von Szenarien hoher Strahlungsdynamik	59
4.2.1	Radiometrische Selbstkalibrierung	60
4.2.2	Eliminierung von Detektorungleichförmigkeiten	63
4.2.3	Validierungsmessungen	65
4.2.4	Erstellen einer hochdynamischen Infrarotaufnahme	75
4.3	Temperaturkalibrierung	78
4.3.1	Modellierung der Strahlungssituation	78
4.3.2	Kalibrierverfahren	79
4.3.3	Reduktion freier Kalibrierparameter	82
4.3.4	Optimierung des optischen Aufbaus	88
4.3.5	Validierungsmessungen	97
4.3.6	Fehlerabschätzung	101
5	V Versuchsergebnisse und Diskussion	104
5.1	Vergleich mit Literaturdaten	104
5.2	Charakterisierung der supersonischen Freiströmung	107
5.3	Charakterisierung der Stoß-Grenzschicht-Interaktion	110
5.4	Filmkühlung bei Ausblasung an Position 1	111
5.5	Filmkühlung bei Ausblasung an Position 2	118
5.6	Korrelation des Durchflussverhaltens bei Ausblasung in eine Überschallströmung	125
5.6.1	Variation der Freistrom-Machzahl	125
5.6.2	Korrelationsentwicklung	128
6	Zusammenfassung und Ausblick	133
	Literatur	137
	Anhang	147