

# Inhaltsverzeichnis

<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>iii</b>
<b>1 Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2 Filmkühlung transsonisch umströmter Turbinenschaufeln</b>	<b>5</b>
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 Kühlfilmausblassung in Überschallströmungen . . . . .	20
2.3 Aerodynamik und Wärmeübergang in transsonisch durchströmten Turbinenstufen	21
<b>3 Experimenteller Aufbau und aerodynamische Auslegung</b>	<b>30</b>
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 Wärme-übergangskoeffizienten . . . . .	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
<b>4</b>	<b>Entwicklung eines infrarotthermographischen Messverfahrens</b>	<b>57</b>
4.1	Grundlagen der Thermographie . . . . .	58
4.2	Erfassung von Szenerien 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
<b>5</b>	<b>Versuchsergebnisse und Diskussion</b>	<b>104</b>
5.1	Vergleich mit Literaturdaten . . . . .	104
5.2	Charakterisierung der supersonischen Freistromung . . . . .	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
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>133</b>
<b>Literatur</b>		<b>137</b>
<b>Anhang</b>		<b>147</b>