

# Inhaltsverzeichnis

<b>Symbole</b>	<b>iii</b>
<b>Abbildungen</b>	<b>xi</b>
<b>Tabellen</b>	<b>xix</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen und wissenschaftlicher Kenntnisstand</b>	<b>5</b>
2.1 Rauheit an Turbinenschaufeln . . . . .	5
2.1.1 Beschreibung rauer Oberflächen . . . . .	5
2.1.2 Entstehung rauer Oberflächen an Turbinenschaufeln . . . . .	8
2.2 Umströmung von Turbinenschaufelprofilen . . . . .	12
2.2.1 Staupunktumströmung . . . . .	15
2.2.2 Laminare Grenzschicht . . . . .	17
2.2.3 Transitionale Grenzschicht . . . . .	20
2.2.4 Turbulente Grenzschicht . . . . .	24
<b>3 Zielsetzung</b>	<b>33</b>
<b>4 Versuchsaufbau und Messtechnik</b>	<b>35</b>
4.1 Versuchsaufbau . . . . .	35
4.1.1 Turbulenzerzeuger . . . . .	35
4.1.2 Messstrecke mit ebener Platte . . . . .	39
4.2 Messtechnik . . . . .	40
4.2.1 Messung der Freistromturbulenz . . . . .	41
4.2.2 Messung der Geschwindigkeitsverteilung . . . . .	45
4.2.3 Messung der Wärmeübergangsverteilung . . . . .	45
4.2.4 Messung der Turbulenzfleckenkinematik . . . . .	48
4.3 Definition und Herstellung der rauen Oberflächen . . . . .	52
<b>5 Untersuchung der An- und Umströmbedingungen der Messplatte</b>	<b>59</b>
5.1 Charakterisierung des Turbulenzerzeugers . . . . .	59
5.1.1 Homogenität und Isotropie . . . . .	59
5.1.2 Abklingverhalten der turbulenten kinetischen Energie . . . . .	62
5.1.3 Turbulenzspektren . . . . .	66
5.1.4 Mikrolängenmaße . . . . .	69
5.1.5 Integrale Längenmaße . . . . .	70
5.1.6 Betriebsbereich . . . . .	73
5.2 Definition der Betriebspunkte . . . . .	76
5.3 Druckverteilung im Mittelschnitt . . . . .	78
<b>6 Einfluss der Oberflächenrauheit auf den Wärmeübergang im Staupunkt</b>	<b>81</b>

<b>7 Einfluss der Oberflächenrauheit auf den Wärmeübergang in der transitionalen Grenzschicht</b>	<b>83</b>
7.1 Einfluss der Rauheit und des Turbulenzgrads . . . . .	84
7.2 Einfluss der Rauheit und der Turbulenz Reynoldszahl . . . . .	86
7.3 Einfluss der Rauheitshöhe . . . . .	87
7.4 Einfluss der Exzentrizität der Rauheitselemente . . . . .	89
<b>8 Entwicklung einer neuen Startstellenkorrelation</b>	<b>91</b>
8.1 Bestimmung der Startstelle und Länge der Transition aus Wärmeübergangsverteilungen . . . . .	92
8.2 Entwicklung einer Korrelation für glatte Oberflächen . . . . .	94
8.3 Entwicklung einer Korrelation für raue Oberflächen . . . . .	97
8.4 Genauigkeit der neuen Startstellenkorrelation . . . . .	101
8.5 Einfluss der Rauheit auf die Transitionslänge . . . . .	104
<b>9 Kinematik natürlich entstandener Turbulenzfleck</b>	<b>107</b>
9.1 Form natürlich entstandener Turbulenzfleck . . . . .	108
9.2 Geschwindigkeit natürlich entstandener Turbulenzfleck . . . . .	111
9.3 Laterale Ausbreitung natürlich entstandener Turbulenzfleck . . . . .	115
<b>10 Einfluss der Oberflächenrauheit auf die turbulente Grenzschicht</b>	<b>119</b>
10.1 Bestimmung des turbulenten Wärmeübergangs . . . . .	120
10.2 Einfluss der Rauheitshöhe, -dichte und Elementwärmeleitfähigkeit . . . . .	122
10.3 Überlagerter Einfluss von Rauheit und Freistromturbulenz . . . . .	125
10.4 Überlagerter Einfluss der Elementwärmeleitfähigkeit und des Turbulenzgrads . . . . .	127
10.5 Einfluss der Exzentrizität der Rauheitselemente . . . . .	128
<b>11 Zusammenfassung</b>	<b>131</b>
<b>Literatur</b>	<b>134</b>
<b>Betreute studentische Arbeiten</b>	<b>154</b>
<b>Anhang</b>	<b>157</b>
A.1 Geometrien und Koordinaten der Messstellen . . . . .	157
A.1.1 Konturierte Wände . . . . .	157
A.1.2 Druckmessstellen . . . . .	163
A.1.3 Temperaturmessstellen . . . . .	164
A.2 Fehlerrechnung zur Messung der Wärmeübergangsverteilung . . . . .	165
A.3 Nußeltzahlverläufe bei saugseitiger Druckverteilung und verschiedenen strukturierten Oberflächen . . . . .	168
A.4 Nußeltzahlverläufe bei druckseitiger Druckverteilung und verschiedenen strukturierten Oberflächen . . . . .	196