

Inhaltsverzeichnis

Symbole	iii
Abbildungen	vii
Tabellen	xi
1 Einführung und Zielsetzung	1
2 Stand der Forschung	3
2.1 Übersicht über Transitionsmechanismen	3
2.2 Grenzschichten mit natürlicher laminar-turbulenter Transition	5
2.3 Grenzschichten mit laminar-turbulenter Bypass-Transition	6
2.3.1 Staupunkt	8
2.3.2 Laminare / prätransitionale Grenzschicht	11
2.3.3 Transitionale Grenzschicht	14
2.3.4 Turbulente Grenzschicht	20
2.4 Grenzschichten mit Transition über eine Ablöseblase	22
2.5 Ziel dieser Arbeit	22
3 Versuchsaufbau und Messtechnik	25
3.1 Thermowindkanal	25
3.1.1 Turbulenzerzeugung	25
3.1.2 Messstrecke zur Untersuchung von Grenzschichtströmungen	29
3.2 Bestimmung der Druckverteilung	32
3.3 Hitzdraht- und Heißfilmanemometrie	32
3.3.1 Kalibriervorrichtung für Hitzdrahtanemometrie	33
3.3.2 Eindrahtsonden	34
3.3.3 X-Drahtsonden	37
3.3.4 Heißfilmsensoren	37
3.4 Messtechnik zur Bestimmung der Wandintermittenz	39
3.4.1 Erweiterung zur Messung an rauen Oberfläche	40
3.4.2 Erweiterung zu einem Heißfilmmarray	42
3.5 Bestimmung der Wandintermittenz auf Basis der Heißfilmmessung	43
3.5.1 PDF-Verfahren	44
3.5.2 Peak-Valley-Counting-Verfahren (PVC)	46
3.5.3 Neue Auswerteroutine	48
3.5.4 Bestimmung der Turbulenzfleckengeschwindigkeiten	53
3.5.5 Bestimmung der Breite von Turbulenzflecken	55
3.6 Bestimmung der Wärmeübergangsverteilung	56
4 Experimentelle Untersuchungen	61
4.1 Bestimmung der Druckverteilung	61

4.2	Turbulenzintensität und turbulente Längenmaße	63
4.3	Strömungsgrößen in der Anströmung	68
4.4	Strömungsgrößen in der Freiströmung entlang der Messplatte	69
4.5	Wärmeübergangs- und Intermittenzverteilung	80
4.6	Entstehung von Turbulenzflecken und Beginn der Transition	86
4.6.1	Klassischer Ansatz - konzentrierte Turbulenzfleckenentstehung	86
4.6.2	Verteilte Turbulenzfleckenentstehung	90
4.7	Turbulenzfleckkinematik	97
4.8	Einfluss der Oberflächenrauheit auf Turbulenzfleckenproduktion und -kinematik	101
5	Berechnungsansätze für transitionale Grenzschichten	105
5.1	Berechnung der Freistromturbulenz	105
5.1.1	Large-Eddy-Simulation	105
5.1.2	Reynoldsspannungsmodell für die turbulente Freiströmung	108
5.2	Modellierung der transitionalen Grenzschicht mit verteiltem Transitionsbeginn	112
6	Zusammenfassung	119
Literatur		120
Betreute studentische Arbeiten		132
Anhang		135
A.1	Druckmessstellen	135
A.2	Temperaturmessstellen	136
A.3	Fehlerabschätzung der Wärmeübergangsmessungen	137
A.4	Koordinatentransformation ins Wandkoordinatensystem	140
A.5	Herleitung der Reynoldsspannungsgleichungen	140
A.6	Grenzschichtuntersuchung bei saugseitiger Druckverteilung	147
A.7	Grenzschichtuntersuchung bei druckseitiger Druckverteilung	173