

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	i
Übersicht	iii
Abstract	v
Nomenklatur	xi
1 Einleitung	1
2 Stand der Forschung	5
2.1 Grenzschichtumschlag und Profilverluste	5
2.1.1 Profilverluste und Grenzschichtverhalten	6
2.1.2 Topologie der laminaren Ablöseblase	8
2.2 Aktive Grenzschichtbeeinflussung	10
2.2.1 Pneumatische Wirbelgeneratoren	11
2.2.2 Kontinuierlich arbeitende VGJs in laminaren Strömungen	14
2.2.3 Gepulst arbeitende VGJs in laminaren Strömungen	16
2.3 Schlussfolgerung und Zielsetzung	19
2.3.1 Schlussfolgerung	19
2.3.2 Zielsetzung	20
3 Versuchsanlage und Messtechnik	23
3.1 Versuchsanlage	23
3.2 Hitzdrahtanemometrie	25
3.2.1 Konstant Temperatur Anemometrie	25
3.3 Particle Image Velocimetry	27
3.3.1 Prinzipielle Funktionsweise der Standard PIV	27
3.3.2 Ergänzungen und stereoskopische PIV	30
4 Experiment, Aktuatorik und Voruntersuchungen	35
4.1 Ebenes Plattenexperiment mit Druckgradient	35
4.1.1 Versuchsaufbau und Durchführung der Messungen	35
4.1.2 Vorversuche zur ebenen Plattengrenzschicht	42
4.2 Pneumatische Wirbelgeneratoren	44
4.2.1 Auslegung und Aufbau der Aktuatorik	44

4.2.2 Numerisches Modell des Aktuatorsystems	48
4.2.3 Vorversuche zum Aktuatorsystem	51
5 Datenreduktion	55
5.1 Mittelwerte und statistische Momente	55
5.1.1 Kontinuierlich erfasstes Zeitsignal (Hitzdrahtanemometrie)	56
5.1.2 Stochastisch erfasstes Zeitsignal (PIV)	56
5.1.3 Phasenmittelwert	57
5.1.4 Standardabweichung	57
5.1.5 Statistische Momente höherer Ordnung	58
5.2 Integrale Grenzschichtparameter	58
5.2.1 Verdrängungsdicke δ_1	58
5.2.2 Impulsverlustdicke δ_2	59
5.2.3 Formparameter H_{12}	59
5.3 Integrales Impulsflussverhältnis η_{BL}	59
5.4 Fouriertransformation und Leistungsspektrum	61
5.5 Intermittenzfaktor γ	62
5.5.1 TERA-Verfahren	62
5.5.2 Beschreibung des genutzten Verfahrens	63
5.6 Wandreibungsbeiwert c_f	65
5.7 Charakterisierung der Längswirbelstrukturen	67
5.7.1 Wirbelkernposition	67
5.7.2 Wirbelstärke und Zirkulation	68
5.7.3 Wirbelkerndurchmesser	69
6 Das unbeeinflusste Strömungsfeld	71
6.1 Die transitionale Ablöseblase	72
6.1.1 Topologie der Strömungsfelder im Mittenschnitt	72
6.1.2 Experimente bei $Re_\infty = 300.000$ und $Re_\infty = 100.000$	74
6.1.3 Experimente bei $Re_\infty = 160.000$ und $Re_\infty = 80.000$	78
6.1.4 Einfluss des Turbulenzgrades der Außenströmung	79
6.1.5 Zweidimensionalität der ebenen Plattenströmung	80
6.2 Ablösung, Transition und Instabilität	81
6.2.1 Transitionsmodi der Ablöseblase	81
6.2.2 Untersuchungen zur Scherschichtinstabilität	83
6.3 Zusammenfassung	86
7 Das beeinflusste Strömungsfeld	87
7.1 Beeinflussung mithilfe stationärer VGJs	87
7.1.1 Topologie des Strömungsfeldes im Mittenschnitt	87
7.1.2 Einfluss des Ausblasortes und der Ausblasrate	91
7.1.3 Transitionsbeginn und Impulstransport	93
7.1.4 Der induzierte Längswirbel	99
7.1.5 Einfluss des Druckgradienten	106

7.1.6	Einfluss der Reynoldszahl und des Turbulenzgrades	108
7.1.7	Wirkungsweise kontinuierlich arbeitender VGJs	111
7.2	Beeinflussung mithilfe gepulster VGJs	112
7.2.1	Zeitaufgelöste Betrachtung des Strömungsfeldes	112
7.2.2	Einfluss der Ausblasfrequenz auf das Strömungsfeld	118
8	Zusammenfassung	123
A	Anhang - Fehlerrechnung	127
A.1	Hitzdrahtanemometrie	127
A.1.1	Frequenzantwort und Grenzfrequenz	127
A.1.2	Kalibration	128
A.1.3	Umgebungsbedingungen	132
A.1.4	Anemometer und Datenerfassung	133
A.1.5	Gesamtfehler	133
A.2	Particle Image Velocimetry	135
A.2.1	Einflussfaktoren der Messunsicherheit	135
A.2.2	Fehlerabschätzung	137
Abbildungsverzeichnis		139
Tabellenverzeichnis		145
Literaturverzeichnis		147
Lebenslauf		157