

Inhaltsverzeichnis

Abbildungen	iv
Tabellen	viii
Symbole	ix
1 Einleitung	1
1.1 Die Gasturbine als Antrieb für die Luftfahrt	1
1.2 Schadstoffarme Verbrennung als Schlüssel für die Zukunft	2
1.3 Prozesskontrolle durch gezielte Brennstoffzufuhr	4
1.4 Entwicklungsmethoden für neue Zerstäuber	5
2 Kenntnisstand und Zielsetzung	8
2.1 Flüssige Wandfilme in technischen Systemen	8
2.2 Dynamik dünner schubspannungsgetriebener Wandfilme	8
2.3 Numerische Berechnungsverfahren für Wandfilme	10
2.3.1 Grundlegendes Modell zur Vereinfachung der Filmströmung	11
2.3.2 Vorgehensweise bei gekoppelten Berechnungen	11
2.3.3 Kopplung zwischen Gasphase und Film	12
2.4 Tropfenabriss bei überkritischer Filmströmung	13
2.5 Filminterne Strömungsvorgänge	14
2.6 Stoffwerte des Filmfluids in einem Flugtriebwerk	18
2.7 Zielsetzung und Vorgehensweise dieser Arbeit	25
3 Messverfahren zur Untersuchung von Wandfilmen	27
3.1 Filmdickenmesstechnik	27
3.1.1 Laser-Focus-Displacement-Meter (LFDM)	29
3.2 Bestimmung filminterner Strömungsgeschwindigkeiten	31
3.2.1 Grundlagen der Laser-Doppler-Anemometrie (LDA)	32
3.2.2 LDA zur Messung filminterner Strömungsgeschwindigkeiten	36
3.2.3 Grundlagen der Particle Image Velocimetry (PIV)	43
3.2.4 PIV zur Messung filminterner Strömungsgeschwindigkeiten	45

3.2.5	Impfung der Strömung mit Partikeln für LDA- und PIV-Messungen	55
3.3	Messtechnische Bestimmung der Phasenwechselwirkungen	57
3.3.1	Messung des Geschwindigkeitsprofils über dem Film	58
3.3.2	Theoretische Beschreibung des Grenzschichtprofils zur Auswertung von gemessene Daten	59
3.3.3	Auswertung gemessener Grenzschichtprofile	62
3.3.4	Ermittlung des Druckgradienten in der Hauptströmungsrichtung	63
3.3.5	Anforderungen der Messtechnik an die Versuchsaufbauten	63
4	Messstrecken	64
4.1	Filmleger	64
4.2	Ebene atmosphärische Messstrecke	65
4.3	Ebene Hochdruckmessstrecke	67
4.4	Zylindrische Hochdruckmessstrecke	69
4.5	Filmfluide zur Untersuchung triebwerkstypischer Bedingungen	71
5	Charakterisierung der filminternen Strömung	73
5.1	Wandfilme unter dem Einfluss stationärer Strömung	74
5.2	Wandfilme unter dem Einfluss einer beschleunigten Strömung	77
5.2.1	Wandfilm-LDA in beschleunigter Strömung	77
5.2.2	Wandfilm-PIV in beschleunigter Strömung	81
5.2.3	Zeitlich gemittelte Geschwindigkeitsprofile aus PIV Messungen	92
6	Charakterisierung der globalen Eigenschaften von Wandfilmströmungen	95
6.1	Ebene Filmströmung - Einfluss einer stationären Strömung	96
6.1.1	Filmdicken bei stationärer Strömung	96
6.1.2	Vergleichende Messungen der Filmdicke bei stationärer Strömung	98
6.1.3	Phasenwechselwirkung bei stationärer Strömung	99
6.1.4	Einordnung der Resultate einer stationären Strömung	101
6.2	Ebene Filmströmung - Einfluss einer stationären Strömung unter Druck	102
6.2.1	Filmdicken bei stationärer Strömung unter Druck	102
6.2.2	Vergleich der Filmdicken bei ausgewählten Bedingungen	107
6.2.3	Grenzen der unterkritischen Filmströmung	109
6.2.4	Phasenwechselwirkungen bei stationärer Strömung unter Druck	110

6.2.5 Einordnung der Resultate einer stationären Strömung unter Druck	113
6.3 Ebene Filme unter dem Einfluss einer beschleunigten Strömung	114
6.3.1 Charakterisierung der Gasphase bei beschleunigter Strömung	114
6.3.2 Filmdicken bei beschleunigter Gasphase	116
6.3.3 Phasenwechselwirkungen bei beschleunigter Gasphase	121
6.3.4 Einordnung der Resultate einer beschleunigten Strömung	123
6.4 Korrelation der Messergebnisse	124
7 Daten zur Validierung numerischer Simulationen	127
7.1 Beschleunigte Wandfilme auf einer ebenen Fläche	128
7.2 Beschleunigte Wandfilme auf gekrümmten Flächen unter erhöhtem Druck	130
8 Zusammenfassung	135
Literatur	137