

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungen</b>	<b>iv</b>
<b>Tabellen</b>	<b>viii</b>
<b>Symbole</b>	<b>ix</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
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
<b>2 Kenntnisstand und Zielsetzung</b>	<b>8</b>
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
<b>3 Messverfahren zur Untersuchung von Wandfilmen</b>	<b>27</b>
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
<b>4</b>	<b>Messstrecken</b>	<b>64</b>
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
<b>5</b>	<b>Charakterisierung der filminternen Strömung</b>	<b>73</b>
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
<b>6</b>	<b>Charakterisierung der globalen Eigenschaften von Wandfilmströmungen</b>	<b>95</b>
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
<b>7</b>	<b>Daten zur Validierung numerischer Simulationen</b>	<b>127</b>
7.1	Beschleunigte Wandfilme auf einer ebenen Fläche . . . . .	128
7.2	Beschleunigte Wandfilme auf gekrümmten Flächen unter erhöhtem Druck . . .	130
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>135</b>
	<b>Literatur</b>	<b>137</b>