

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>IX</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>XVII</b>
<b>1 Einleitung und Aufgabenstellung</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen von Tankflammen</b>	<b>5</b>
2.1 Grundlegende Flammentypen . . . . .	5
2.2 Fluidodynamische Strukturen . . . . .	7
2.3 Abbrandgeschwindigkeit und Massenabbrandrate . . . . .	9
2.4 Flammenlänge und -kontur . . . . .	13
2.5 Auftriebskräfte und Luft-Entrainment . . . . .	16
2.6 Strömungsgeschwindigkeiten . . . . .	18
2.7 Flamenttemperaturen . . . . .	20
2.7.1 Temperaturfelder in Flammen . . . . .	20
2.7.2 Ermittlung von Flamenttemperaturen . . . . .	24
2.8 Spezieszusammensetzung der Flammengase . . . . .	26
<b>3 Holographische Interferometrie von Phasenobjekten</b>	<b>31</b>
3.1 Real-time- und Doppelbelichtungsverfahren . . . . .	31
3.2 Interferogramme . . . . .	32
3.3 Abel Transformation . . . . .	35
3.4 Gladstone-Dale-Gleichung . . . . .	37

XIII

<b>4 Experimentelles</b>	<b>41</b>
4.1 Holographisches real-time Mach-Zehnder Interferometer . . . . .	41
4.1.1 Mechanischer Aufbau . . . . .	41
4.1.2 Optischer Aufbau mit neuartiger Abbildungsoptik . . . . .	43
4.2 Gaschromatographische Untersuchungen . . . . .	46
4.3 Thermoelement Messungen der Flammtemperaturen . . . . .	47
4.4 Apparaturen zur Aufzeichnung und Digitalisierung von Interferogrammen . . . . .	48
4.5 Labortank und Brennstoff . . . . .	49
<b>5 CFD Simulation von Verbrennungsvorgängen</b>	<b>51</b>
5.1 Erhaltungsgleichungen . . . . .	51
5.1.1 Erhaltung der Gesamtmasse . . . . .	51
5.1.2 Erhaltung der Speziesmassen . . . . .	52
5.1.3 Erhaltung des Impulses . . . . .	53
5.1.4 Erhaltung der Energie . . . . .	54
5.2 Submodelle . . . . .	56
5.2.1 Turbulenzmodelle . . . . .	56
5.2.1.1 Reynolds-gemittelte Navier-Stokes-Gleichungen (RANS) .	58
5.2.1.2 Large-Eddy Simulation (LES) . . . . .	61
5.2.1.3 Direkte numerische Simulation (DNS) . . . . .	62
5.2.2 Verbrennungsmodelle . . . . .	63
5.2.2.1 Eddy-Dissipations-Modell (EDM) . . . . .	63
5.2.2.2 PDF-Transportmodell . . . . .	65
5.2.2.3 Flamelet Modell . . . . .	66
5.2.2.4 ILDM Methode . . . . .	67
5.2.3 Konzept des Mischungsbruchs . . . . .	68
5.2.3.1 Transportgleichungen für den Mischungsbruch und die Varianz . . . . .	71

5.2.3.2	Zusammenhang des Mischungsbruchs mit den Feldgrößen . . . . .	72
5.2.3.3	Berücksichtigung der Turbulenz . . . . .	73
5.2.3.4	Modellierung und Lösungsprinzipien . . . . .	74
5.3	Durchführung der CFD Simulation . . . . .	75
5.3.1	Geometrie- und Gittergenerierung . . . . .	75
5.3.2	Anfangs- und Randbedingungen . . . . .	79
5.3.3	Auswahl und Konfiguration der Submodelle . . . . .	81
5.3.3.1	Turbulenzmodell . . . . .	81
5.3.3.2	Verbrennungsmodell . . . . .	82
5.3.4	Strömungslöser (Solver) . . . . .	82
<b>6</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b> . . . . .	<b>85</b>
6.1	Experimentelle Interferogramme der Hexanflamme . . . . .	85
6.2	Simulation von Interferogrammen . . . . .	87
6.3	Digitales Auswerteverfahren der Interferogramme . . . . .	93
6.4	Vorhergesagte und gemessene Profile der Interferenzstreifenordnung . . . . .	96
6.5	Vorhergesagte und gemessene Brechzahlprofile . . . . .	98
6.6	Spezieskonzentrationsprofile . . . . .	100
6.6.1	Vorhergesagte und gemessene radiale Spezieskonzentrationsprofile .	100
6.6.2	Vorhergesagte und gemessene axiale Spezieskonzentrationsprofile .	105
6.7	Profile der spezifischen Refraktion . . . . .	108
6.7.1	Vorhergesagte und gemessene radiale Profile der spezifischen Refraktion . . . . .	108
6.7.2	Vorhergesagte und gemessene axiale Profile der spezifischen Refraktion . . . . .	111
6.8	Vorhergesagte und gemessene Dichteprofile . . . . .	112
6.9	Vorhergesagte und gemessene Temperaturprofile . . . . .	114
6.9.1	Fehleranalyse bei der Ermittlung von Flammentemperaturen aus Interferogrammen . . . . .	119

6.9.2 Fehleranalyse bei der Ermittlung von Flammenperaturen mit Thermoelementen . . . . .	121
6.10 Einfluss der Spezieszusammensetzung auf die Flammentemperaturen . . . . .	121
<b>7 Folgerungen und Ausblick</b>	<b>127</b>
<b>Literatur</b>	<b>131</b>
<b>Anhang A</b>	<b>143</b>
<b>Anhang B</b>	<b>147</b>
<b>Publikationsliste</b>	<b>159</b>
<b>Lebenslauf</b>	<b>163</b>